



Dissertation

**Ingenieurgeologische und geotechnische Untersuchungen  
von Massenbewegungen im Gebiet des Bunzkögeles  
bei Matrei in Osttirol**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der technischen Wissenschaft  
eingereicht an der Technischen Universität Wien Fakultät für Bauingenieurwesen  
von

Ing. Mag. Johann Thomas Sausgruber  
Matrikelnummer 8716187  
Serlesweg 13  
6161 Natters

Gutachter: Univ.-Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Rainer Poisel  
Institut für Geotechnik, TU-Wien  
Karlsplatz 13/220-1, 1040 Wien

Gutachter: Univ.-Prof. Ph.D. P.E. C.E.G. Daniel Scott Kieffer  
Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU-Graz  
Rechbauergasse 12, 8010 Graz

Wien, September 2010

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Joh. Th. Sausgruber', written over a horizontal line.





# Kurzfassung

Der Südhang des Bunzkögeles bei Matri in Osttirol, Österreich, stellt eine tiefgreifende Hangbewegung mit einem Volumen von etwa einem Kubikkilometer dar. Er wird aus einer Serie geringfester Kalkphyllite bis –glimmerschiefer der Bündner Schiefer Gruppe aufgebaut. Im Zuge der verschiedenen alpinen Gebirgsbildungsphasen erlitten die ehemals im penninischen Raum abgelagerten Sedimente eine intensive tektonische Beanspruchung und wurden metamorph überprägt. Die Hauptstruktur des Gebirges bildet die mit  $60^\circ$  nach Süden einfallende Schieferung. Sie folgt dem ursprünglichen Lagenbau der Sedimente und unterteilt den Hang, idealisiert betrachtet, in ein Set von tafelförmigen Kluffkörpern.

ZISCHINSKY (1966b), der die Lokalität Bunzkögele in den 60er Jahren eingehend untersuchte, kam aufgrund des Fehlens einer basalen Gleitfläche zum Schluss, dass sich der Hang, makroskopisch betrachtet, quasi bruchlos, d.h. fließend verformt. Aus theoretischen Überlegungen, in Analogie zur Mechanik von Gletschereis, leitete er ein viskoplastisches Modellverhalten ab und bezeichnete diesen Typ von Massenbewegung als „Sackung“.

Für die numerische Modellierung des Hangversagens wurde der Hang struktur- und ingenieurgeologisch neu kartiert und untersucht. Dabei haben sich einige interessante, bisher nicht bekannte Aspekte zur Mechanik der Hangbewegung ergeben. Das Versagen wird maßgeblich von den mit  $60^\circ$  nach Süden einfallenden Schieferungsflächen bestimmt. Es beginnt mit einem Scherversagen entlang der Schieferungsflächen, was zur Bildung von Geländestufen im Oberhang und zu einer S-förmigen Deformation der Gesteinslamellen im Inneren des Berges führt. Am Unterhang tritt ein Biegekippen auf. Die Deformation beinhaltet einerseits ein Gleiten entlang der Schieferungsflächen, andererseits aber auch das spröde Zerbrechen des Gesteins innerhalb einer breiten Zone. Eine diskrete Gleitfläche an der Basis ist daher nicht ausgebildet. Mechanisch betrachtet bildet die S-förmige, durch scharfe Knicke gekennzeichnete Struktur der Gesteinslamellen (Knickfalte) nichts anderes als eine großdimensionale, breite Scherzone.

Der beschriebene Versagensmechanismus wurde mit dem Programm UDEC unter Verwendung des MOHR-COULOMB Bruchkriteriums und elastoplastischem Verhalten für Material und Trennflächen modelliert. Die Modellierung zeigt das beschriebene komplexe Versagen von Gestein und Schieferungsflächen unter Ausbildung der S-förmigen Deformation der Gesteinslamellen. Die starke Zunahme der Gesteinslamellenbreite in den numerischen Berechnungen weist auf eine ausgeprägte Gebirgsdilatanz hin.

Eine Parameterstudie hat ergeben, dass Ähnlichkeiten einerseits zum Biegekippen, andererseits aber auch zum Hangkriechen bestehen. Keiner der beiden genannten Mechanismen kann aber das Versagen am Bunzkögele treffend beschreiben. Der wesentliche und bedeutende Unterschied besteht darin, dass ein Zugversagen im Oberhang fehlt. Grund dafür ist die spezielle Orientierung der Schieferungsflächen, die ein Scherversagen entlang dieser Flächen vorgibt. Ein kontinuumsmechanischer Ansatz zur Beschreibung der Mechanik, wie von ZISCHINSKY (1966b) vorgeschlagen, ist daher nicht geeignet, um das angetroffene Deformationsbild des Böschungskörpers mechanisch richtig zu erklären. Sein Ansatz ergibt aus heutiger Sicht ein Hangkriechen mit typischem Zugversagen am Oberhang der Massenbewegung.

Es wird vorgeschlagen, den Mechanismus im Sinne von KIEFFER (1998) als „Knickbandsackung“, die durch ein „Absacken“ respektive ein Abschieben von Gesteinslamellen im Oberhang und die Ausbildung einer Knickfalte beziehungsweise einer breiten Scherzone gekennzeichnet ist, zu bezeichnen.



# Abstract

The mountain Bunzkoegle, which is located northeast of the village Matrei, Eastern Tyrol, Austria, represents an ancient deep-seated landslide with a total volume of approximately one cubic kilometre. The southern slope is composed of a series of weak rock containing mainly calcareous phyllites and schists of the Buendner-Schiefer-Group. Originally these rocks belonged to sediments which were deposited in the realm of the South Penninic Ocean and became intensively folded and faulted as well as metamorphous during the Alpine orogeny. The main structure today is the 60° southward dipping schistosity forming parallel rock lamellae.

The site was investigated in the 60ies by ZISCHINSKY (1966b), who proposed a viscoplastic behaviour of the whole rock mass involved, similar to that of ice, due to his field observations lacking a basal shear zone. He called this type of mass movement “Sackung” (sagging).

A reinvestigation of the location using modern structural and engineering geology methods has brought some new, interesting, insights into the mechanics. The gravity-driven failure mechanism is controlled by the 60° southward dipping schistosity planes. Once the failure along these planes is initiated, morphological head scarps due to normal faulting are being produced. Simultaneously the rock lamellae begin to form kink-bands, i.e. S-shaped deformation of the lamellae in deeper parts of the mountain. The mountain’s toe, however, shows flexural toppling. The kink-bands represent a wide, triangle shaped failure zone where the rock undergoes distinct brittle deformation. Therefore the failure mechanism is a combination of sliding along the planes of weakness, representing the schistosity planes, and of breaking rock material, especially within the kink-bands, accompanied by a strong dilatancy.

The landslide behaviour was modelled by the numerical program UDEC 4.0 (Universal Distinct Element Code) from the Itasca Consulting Group. In order to model the failure and post yield behaviour of the rock the Mohr-Coulomb failure criterion and an elastoplastic material behaviour were chosen. For the joints the Coulomb slip model was applied. The model has confirmed the observed complex failure mechanism based on the slipping of joints and the yielding of rock. A parameter study has proved that the mechanism bears similarities not only to slope creep but also to flexural toppling. The main difference to the mentioned mechanisms is that no tensile failure appears on top of the landslide. This is due to the specific orientation of the schistosity planes, which allows shear failure to occur. With reference to ZISCHINSKY (1966b), who described the slope failure behaviour by means of a viscoplastic model, the numeric modelling clearly shows that ZISCHINSKY’S model is not able to describe the mechanic behaviour of the mass movement properly. In the case of viscoplasticity, slope creep with tensile failure at the landslide’s head occurs. This explains the failure mechanism according to KIEFFER (1998) and his terminology “kink-band sagging”, which takes the schistosity planes of the rock mass into account. This special failure results in a combination of sagging at the slope’s head, due to normal faulting, and the formation of a kink-band-fold, namely a broad shear zone, deeper within.



# Danksagung

Mein großer Dank gebührt R. Poisel, der mich motivierte diese Arbeit zu schreiben und der mir über die ganzen Jahre hinweg immer wieder gerne sein Wissen vermittelt hat.

Besonders danken möchte ich auch A. Preh, der mich in die „Geheimnisse der numerischen Berechnungen“ eingeführt hat und der mir oft mit Rat und Tat zur Seite stand.

Profitiert hat die vorliegende Arbeit durch die fachliche Diskussion im Zuge von Geländebegehungen, bei Präsentationen oder auch im Wirtshaus mit Freunden und Kollegen. Dafür danke ich: J. Angerer, E. Button, D. Engl, R. Hofmann, S. Kieffer, R. Marschallinger, M. Molk, H. Ortner, H. Pirkl, J. Reitner, R. Steinacher, E. Tentschert und Ch. Zangerl.

Ch. Prager danke ich für die kritische Durchsicht meiner Arbeit und fachliche Anregungen, G. Swoboda für die Durchsicht des numerischen Teils und G. Neuner für die Hilfestellung bei der Erstellung von Zeichnungen und Plänen. C. Deri hat dankenswerterweise das Manuskript gelesen und korrigiert.

Zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie, meiner Frau Selma und meinen Kindern, Simon, Laurin und Lina. Sie haben meinen Zeitmangel für die Familie geduldig ertragen und mich stets motiviert und aufgemuntert die Arbeit zu Ende zu bringen.



# Abkürzungen

## *Himmelsrichtungen*

E	...Osten
N	...Norden
S	...Süden
W	...Westen
N´	...nördlich

## *Zwischenrichtungen (Beispiele)*

SE	...Südost
NNE	...Nordnordost
NE´	...nordöstlich
SW´	...südwestlich

## *Regionale Geologie*

GDZ1	...Glockner Decke Zone 1
GDZ2	...Glockner Decke Zone 2
MZ	...Matreier Zone

## *Geologie*

ANHY	...Anhydrit
CPHY	...Chloritphyllit
DOLM	...Dolomitmarmor
GPHY	...Graphitphyllit
KGLS	...Kalkglimmerschiefer
KM	...Kalkmarmor
KPHY	...Kalkphyllit
PHY	...Phyllit
QZT	...Quarzit
SEP	...Serpentinit

## *Strukturgeologie*

Fa	...Faltenachse
Ha	...Harnisch
K	...Kluft
Li	...Linear
sf	...Schieferungsfläche(n) oder Schieferung

### *Geotechnik*

Ampl	...Amplitude
Abst	...Abstand
GSI	...Geological Strength Index (Kennwert für das Gebirge)
$\chi$	...Erstreckung der Trennfläche
KK	...Kluftkörper
JRC	...Joint Roughness Coefficient (Rauigkeitsbeiwert n. BARTON 1973)
JCS	...Joint Compressive Strength (Druckfestigkeit der Kluftwandung)
UCS	...Uniaxial Compressive Strength (Einaxsiale Druckfestigkeit)
V	...Verwitterung
WL	...Wellenlänge
ZG	...Zerlegungsgrad

### *Mechanik*

HB	...Hoek-Brown
MC	...Mohr-Coulomb



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Geografischer Überblick .....	5
3	Landschaftsbildende Prozesse .....	7
4	Geologie und Tektonik des Tauernfensters mit Bezug zum Arbeitsgebiet.....	9
4.1	Geologisch-tektonischer Rahmen .....	9
4.2	Fazielle Entwicklung der penninischen Gesteinsserien .....	10
4.2.1	Glockner Deckensystem .....	10
4.2.2	Matreier Zone .....	11
4.3	Beschreibung der Gesteine am Südrand des Tauernfensters .....	12
4.3.1	Gesteine des Glockner Deckensystems .....	13
4.3.2	Gesteine der Matreier Schuppenzone (Jura - Kreide) .....	14
4.4	Metamorphose des Tauernfensters .....	14
4.5	Tektonik und Strukturgeologie des Tauernfensters .....	15
5	Methodik .....	17
5.1	Luftbildauswertung .....	18
5.2	Ingenieurgeologische Kartierung.....	18
5.2.1	Geologie und regionaltektonischer Gebirgsbau .....	18
5.2.2	Geomorphologie .....	19
5.2.3	Hangtektonik .....	19
5.2.4	Geotechnische Eigenschaften .....	20
5.3	Numerische Modellierung .....	31
6	Strukturen der Tektonik und Hangtektonik im Bearbeitungsgebiet .....	33
6.1	Allgemeines .....	33
6.2	Tektonische Strukturen .....	33
6.2.1	Schieferung.....	33
6.2.2	Lineation.....	33
6.2.3	Duktile Falten .....	33
6.2.4	Scherzonen .....	35
6.3	Hangtektonische Strukturen.....	36
6.3.1	Übersicht der Massenbewegung Bunzkögele.....	36
6.3.2	Oberhang (Kopf) der Massenbewegung (Strukturbereich #1 und #2) .....	39
6.3.3	Mittelteil der Massenbewegung (Strukturbereich #3).....	47
6.3.4	Unterhang (Stirn) der Massenbewegung (Strukturbereich #4) .....	49
6.3.5	Ränder der Massenbewegung.....	54

6.3.6	Der strukturell kinematische Zusammenhang zwischen Hauptbewegung..... und der Bewegung Westsporn .....	55
6.3.7	Jüngste Hangtektonik .....	59
6.3.8	Sekundäre Massenbewegungen.....	64
6.4	Zusammenfassung zu den Strukturen.....	66
7	Geotechnische Verhältnisse des Arbeitsgebietes.....	67
7.1	Die geomechanischen Eigenschaften des von der Massenbewegung .....	
	unbeeinflussten Gebirges .....	68
7.1.1	Matreier Zone (MZ) .....	70
7.1.2	Glockner Decke Zone 2 (GDZ2).....	71
7.1.3	Glockner Decke Zone 1 (GDZ1).....	73
7.2	Die geotechnischen Eigenschaften des von der Massenbewegung .....	
	erfassten Gebirges .....	74
7.2.1	Kopf der Massenbewegung (Oberhang) .....	74
7.2.2	Mittelteil der Massenbewegung .....	74
7.2.3	Stirn der Massenbewegung (Unterhang).....	74
7.2.4	Knickbandzone (breite Scherzone) .....	75
7.3	Zusammenfassung Geotechnik.....	76
8	Numerische Modellierung des Hangversagens.....	81
8.1	Allgemeines zu den numerischen Verfahren.....	81
8.1.1	Mechanische Formulierung.....	81
8.1.2	Numerische Lösung.....	81
8.2	Kriterien zur Modellierung des Versagensmechanismus am Bunzkögele .....	84
8.3	Theoretische Grundlagen zum Programm UDEC .....	84
8.3.1	Charakterisierung der 2D DEM mit speziellem Bezug zu UDEC .....	84
8.3.2	Finite Differenzen .....	85
8.3.3	Die Bewegungsgleichungen.....	87
8.3.4	Die Behandlung deformierbarer Blöcke bei rein elastischen Verformungen	89
8.3.5	Die Modellierung des Materialverhaltens bei Einsetzen des Bruchs.....	92
8.3.6	Bruchkriterium für die Trennflächen .....	95
8.3.7	Elastoplastisches Verhalten.....	98
8.3.8	Berechnungszyklus in UDEC.....	103
8.4	Die Modellierung der Großhangbewegung Bunzkögele .....	104
8.4.1	Modellerstellung und Berechnungsablauf.....	104
8.4.2	Ermittlung der Modellgeometrie .....	105
8.4.3	Modellaufbau in UDEC .....	106
8.4.4	Aufbringen der Randbedingungen .....	107
8.4.5	Eingabe der Materialkennwerte .....	108

8.4.6	Simulation des Hangversagens.....	108
8.4.7	Vereinfachungen im Modell.....	109
8.4.8	Allgemeine Überprüfung der UDEC Ergebnisse .....	110
8.5	Ergebnisse der Berechnungen mit UDEC .....	110
8.5.1	Das Deformationsbild.....	111
8.5.2	Versagen von Trennflächen und Gestein.....	112
8.5.3	Die Verschiebungen .....	112
8.5.4	Die S-förmige Struktur der tafelförmigen Klufkörper .....	116
8.5.5	Ein selbststabilisierender Prozess? .....	117
8.5.6	Parameterstudie .....	119
8.5.7	Berechnungsvarianten .....	128
8.6	Vergleich der Festigkeitsparameter aus der UDEC Modellrechnung für das Grenzgleichgewicht mit den im Gelände erhobenen, geotechnischen Parametern (GSI und UCS) .....	142
8.6.1	Allgemeines .....	142
8.6.2	Ergebnisse der unterschiedlichen Rechnungen .....	143
8.6.3	Interpretation der Ergebnisse.....	144
8.7	Zusammenfassende Interpretation der numerischen Ergebnisse .....	146
9	Mechanische Interpretation der Großhangbewegung Bunzkögele .....	147
9.1	Forschungsstand.....	147
9.2	Interpretation Mechanik.....	148
9.2.1	Kinematik .....	148
9.2.2	Bruchmechanik und Deformationsverhalten.....	154
9.3	Bezugnahme auf ZISCHINSKYS Arbeit .....	166
9.4	Zusammenfassung Mechanik.....	167
10	Klassifizierung der Hangbewegung Bunzkögele .....	169
10.1	Allgemeines .....	169
10.2	Die Hangbewegung Bunzkögele im Vergleich mit anderen Massenbewegungen .....	171
10.3	Abschließende Bemerkungen .....	176
11	Weitere Hangbewegungen im Einzugsgebiet des Bretterwandgrabens.....	177
11.1	Hangbewegung Bretterwandbödele, Nr. 3.....	177
11.2	Hangbewegung Eppling, Nr. 4.....	181
11.3	Hangbewegung Brunnerkogel, Nr. 5 .....	183
11.4	Hangbewegung Brettergraben, Nr. 6 .....	186
12	Zusammenfassung.....	189
	Literatur .....	187
	Anlagenteil (eigene Mappe)	



# 1 Einleitung

Die Landschaft in den Alpen wurde maßgeblich während der letzten Eiszeit geformt. Üblicherweise besitzen die vom Gletscher geschaffenen Täler, vor allem inneralpin, häufig die Form eines „U“ bzw. parabelförmigen Trogs. Gar nicht so selten trifft man aber auf veränderte Talgeometrien, deren Ursache großmaßstäbliche Massenbewegungen sind. Die Folge des glazialen Ausschürfens sind beachtliche Reliefunterschiede und steile Einhänge. Nach dem Abschmelzen der Gletscher fehlte der Stützkörper Eis und die Hänge fingen an, sich zu entspannen. In Abhängigkeit vom geologisch-strukturell vorgegebenen Untergrund haben sich dadurch an einigen Orten große Hänge oder gesamte Talflanken erfassende Massenbewegungen entwickelt.

Neben dem relativ abrupten Versagen, das sich in schnellen Gleitungen oder Bergstürzen äußern kann, bilden viele Hänge langsam talwärtsstrebende Massen im Fels. Die Geschwindigkeit der zweitgenannten liegt oft nur im Bereich von wenigen Zentimetern pro Jahr, sodass man sie beim flüchtigen Hinsehen zuerst gar nicht erkennt. Erst bei genauer Betrachtung fallen geomorphologische Besonderheiten auf, die diese Bewegungen kennzeichnen. Typische Erscheinungsbilder dafür sind beispielsweise offene Spalten, Nackentäler oder Absetzungen des Geländes im Bereich von Bergkämmen. Im Längsprofil zeigen diese Hänge nicht selten einen konkaven Oberhang und eine konvexe, zum freien Talraum auswölbende, Stirn als sichtbare Ausdrucksform eines Massenverlagerungsprozesses vom Kopf zum Fuß. AMPFERER (1939, 1940) hat die beschriebenen Formen am Oberhang als „Bergzerreißen“ und STINI (1941) das Vordringen der Hänge in den freien Talraum als „Talzuschub“ bezeichnet. Beide Autoren führen die Strukturen am Oberhang auf ein Überschreiten der Zugfestigkeit der Gesteine zurück. Wenn auch der Prozess der tiefgreifenden Hangbewegungen durch Arbeiten wie etwa jene von STINI (1942) zunehmend mehr an Aufmerksamkeit erhielt, so blieb die Mechanik dazu bis Anfang der 50er Jahre wenig erforscht.

TERZAGHI (1950) unterscheidet deutlich zwischen dem Gleiten (engl. *landslides*) und dem Kriechen (engl. *creep*). In seinen Betrachtungen geht er auf das tieferliegende, von der Schwerkraft induzierte Kriechen, welches vom oberflächennahen, saisonellen Kriechen unbeeinflusst ist, ein. Dazu hält er fest, dass für Gleitungen die einaxiale Bruchfestigkeit des Gesteins maßgeblich ist, das Kriechen hingegen findet bereits deutlich unterhalb der Bruchfestigkeit des Materials statt.

Einen wesentlichen Beitrag zur Mechanik der tiefgründigen Massenbewegungen im Fels lieferte ZISCHINSKY (1966a, 1966b, 1969a, 1969b). An Lokalitäten mit besonders guten Aufschlussverhältnissen wie an der Millstätter Alpe in Radenthein oder am Bunzkögele bei Matrei machte er die Beobachtung, dass eine diskrete Gleitbahn an der Basis der Massenbewegung, wie man bislang oft angenommen hatte, nicht existiert. Er schloss daraus, dass die genannten Hänge von einer kriechenden Verformung erfasst wurden und leitete aus Analogieschlüssen zur Mechanik von Gletschereis ein allgemein gültiges, rheologisches Modell ab. ZISCHINSKY (1966a) bezeichnete diesen Typ von Hangbewegungen als „Sackungen“ und nahm an, dass viele Talzuschübe mechanisch derart funktionieren. Charakteristisch für Sackungen ist eine Hangdeformation, bei der die

Geschwindigkeit im Profil betrachtet von der Hangoberfläche zur Basis der Bewegung kontinuierlich abnimmt.

In Anknüpfung an ZISCHINSKY folgten weitere Überlegungen zum Kriechverhalten von Sackungen. BRÜCKL & SCHEIDEGGER (1972) beispielsweise kamen zu dem Schluss, dass ein logarithmisches Kriechgesetz für große, langsame Massenbewegungen an gut untersuchten Beispielen in den Ostalpen die besten Ergebnisse liefert.

Neben diesen, auf Geländebeobachtungen fußenden theoretischen Überlegungen wurden seit den 60er Jahren auch zunehmend mehr Modellversuche zum Versagen von Böschungen durchgeführt. Zum Beispiel erstellten FÜRLINGER (1972) und HOFMANN (1974) Versuche anisotoper, geklüfteter Böschungskörper und bewerteten den Einfluss von Kluftflächen auf das Verformungsverhalten, MENCL (1966, 1968) und MÜLLER (1968) führten Modellversuche zu Bewegungsmassen an einer geknickten Gleitbahn im Zusammenhang mit der Felsgleitung Vajont durch, die Versuche von POISEL & EPPSTEINER (1988, 1989) behandeln die Verformung von harten Gebirgskörpern auf einem weichen, nachgiebigen Gesteinssockel etc.

Diesen aufwändigen Materialversuchen folgten in den 70er Jahren mit der Verfügbarkeit von Personalcomputern erste numerische Modellierungen. CUNDALLS (1971) Betrachtungen zur Diskontinuumsmechanik bildeten die Basis zur Modellierung von geklüftetem Fels. Er formulierte ein Finite-Differenzen-Verfahren, das es erlaubt, das Verhalten von Gestein und Trennflächen getrennt zu betrachten und damit das komplexe, diskontinuumsmechanische Verhalten des Gebirges nachzubilden. Die forcierte Weiterentwicklung von leistungsstarken Rechnern und Software hat seither zu bedeutenden Fortschritten im Verständnis für das Verhalten von Fels im Allgemeinen und auch für die Mechanik tiefgründiger Massenbewegungen im Besonderen beigetragen. Zum Beispiel führten NICCOLE ET AL. (2002) eine numerische Modellierung zum Kippmechanismus von Böschungen durch, oder STEAD ET AL. (2006) setzten sich mit dem progressiven Bruch bei Felsböschungen auseinander.

Die Arbeiten von ZISCHINSKY (1966a, 1966b, 1969a, 1969b) führten dazu, dass die Mechanik vieler tiefgreifender Massenbewegungen als Sackung interpretiert wurde. In Anbetracht der häufigen, zum Teil widersprüchlichen Verwendung des Begriffs „Sackung“ sollte der Mechanismus der Großhangbewegung Bunzkögele auf exakt mechanischer Grundlage mit Hilfe eines numerischen Computerprogramms modelliert werden. Das Bunzkögele stellt in dieser Hinsicht quasi den Locus Typicus der Sackung dar. Aufgrund der guten Aufschlussverhältnisse im tief eingeschnittenen, Nord-Süd verlaufenden Bretterwandgraben können die interne Deformation der Massenbewegung eingesehen und die Ergebnisse der Modellierung überprüft werden.

PREH & POISEL (2004) gelang es erstmals, den speziellen Versagensmechanismus des Bunzkögeles mit dem Programm UDEC nachzubilden. Für ihre Untersuchungen wählten sie eine  $45^\circ$  steile Böschung mit  $80^\circ$  hangauswärts fallenden Kluftflächen. Da die Böschungsneigung und das Einfallen der Trennflächen am Bunzkögele deutlich flacher sind wie von den genannten Autoren angenommen, war nicht klar, ob der Mechanismus bei Verwendung der flachen, realen Böschungsgeometrie von  $24^\circ$  und mit  $60^\circ$  einfallenden Kluftflächen ablaufen würde.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand daher darin, den in der Natur vorgegebenen Versagensmechanismus struktur- und ingenieurgeologisch zu kartieren, um basierend darauf eine möglichst realitätsnahe Modellierung des Hangversagens durchzuführen. Die in der numerischen Modellierung mit MOHR-COULOMB für das Grenzgleichgewicht ermittelten Festigkeitsparameter wurden mit den im Gelände erhobenen geotechnischen Parametern (Geological Strength Index und einaxiale Druckfestigkeit) verglichen. Dazu wurden Vergleichsrechnungen mit einem Gleitkreisprogramm, das sowohl die Berechnungen mit MOHR-COULOMB als auch nach HOEK-BROWN ermöglichte, durchgeführt. Der Schluss der Arbeit beschreibt die Mechanik des Hangversagens im Vergleich zu ZISCHINSKYs Arbeiten und zu anderen Arten von Hangbewegungen.





## 2 Geografische Übersicht

Das Arbeitsgebiet befindet sich nordöstlich der Marktgemeinde Matri in Osttirol und stellt das weiter gefasste Einzugsgebiet des Bretterwandbaches dar. Die bedeutendsten Erhebungen sind das Bunzkögele und die Bretterwandspitze. Im Westen bildet das Tauerntal die Grenze, im Norden der Bergkamm Bunzkögele – Bretterwandspitze, im Osten der Grat Hintere Kendlspitze – Kals-Matreier-Törl und im Süden der Klaunzer Berg. Das Gebiet weist eine Fläche von 21 km<sup>2</sup> auf. Der engere, detailliert untersuchte Bereich hat eine Fläche von 11 km<sup>2</sup>. Er inkludiert das Bunzkögele mit seinen Einhängen zum Bretterwandgraben und zum Iseltal (Abbildung 2.1).

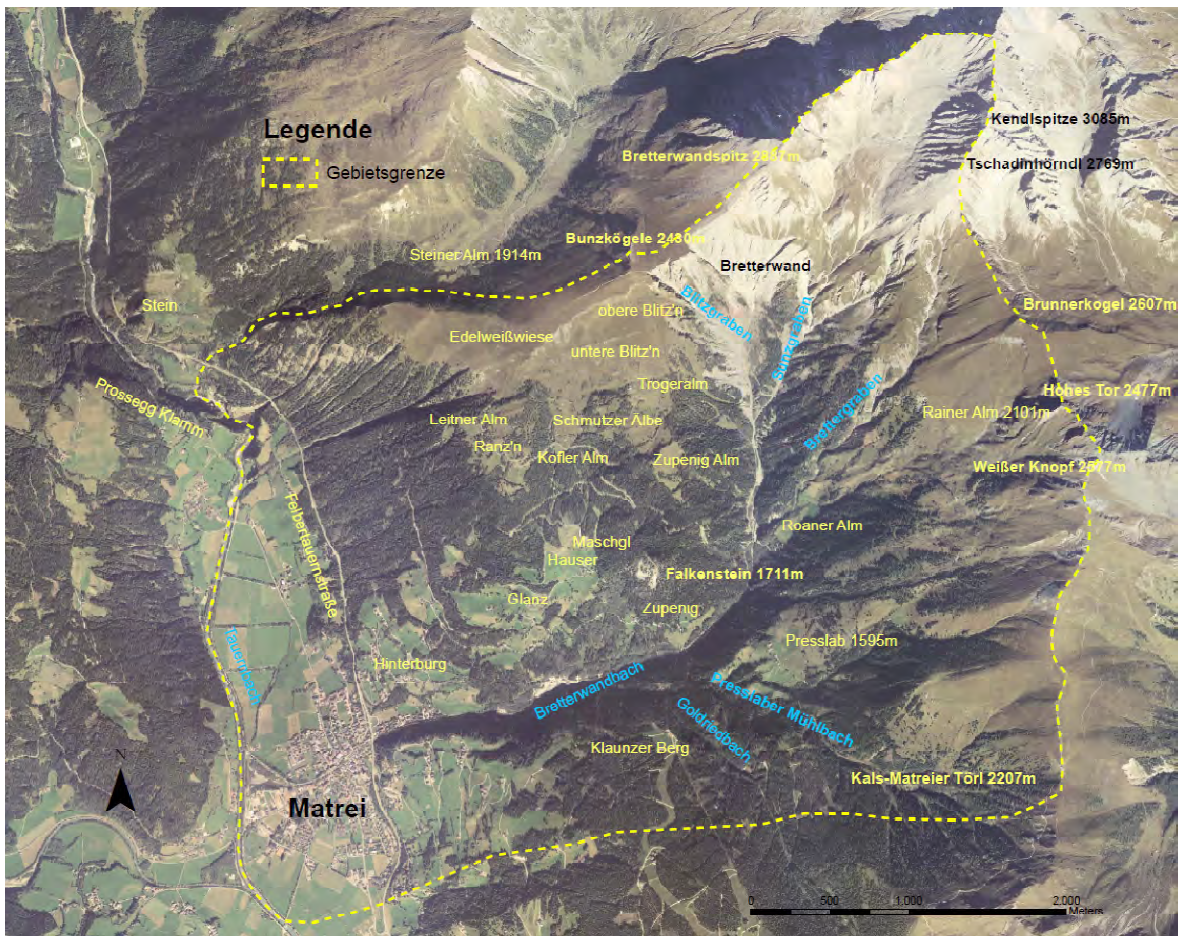


Abbildung 2.1: Orthofoto (LRFZ 2003) des Arbeitsgebietes (Bearbeitungsgrenze gelb strichliert)

Den besten Überblick über das Gebiet erlangt man von der Bergstation der Gondelbahn Goldried (2.146 m.ü.A.). Der Aussichtspunkt, welcher 150 m nördlich der Ausstiegsstelle der Gondelbahn gelegen ist, eröffnet ein beeindruckendes Panorama (Abbildung 2.2) eines imposanten Gebirgskessels, welcher im Westen mit dem Bunzkögele (2.430 m.ü.A.), geradeaus im Norden mit der Bretterwandspitze (2.887 m.ü.A.) und im Osten mit der Kendlspitze (3.085 m.ü.A.) – Weißer Knopf (2.577 m.ü.A.) abgeschlossen wird. Darin, viele 100 m tief eingeschnitten, verläuft, großteils canyonartig, der Bretterwandbach. Er entspringt am Fuß der Bretterwand (1.985 m.ü.A.), rinnt zuerst nach Süden bis 1.370 m.ü.A., wo er Richtung Westen abdreht und mündet bei Matri (960 m.ü.A.) in den Tauernbach. Der obere Abschnitt des Bretterwandbaches wird als Bretterwandgraben bezeichnet. Seine Zuflüsse bilden orografisch links der Sunzgraben (1.600 m.ü.A.), der Brettergraben (1.450 m.ü.A.), der Presslaber Mühlbach (1.280 m.ü.A.), der Goldriedbach (1.070 m.ü.A.) und orografisch rechts der Blitzgraben (1.830 m.ü.A.) und der Burgergraben (1.040 m.ü.A.).

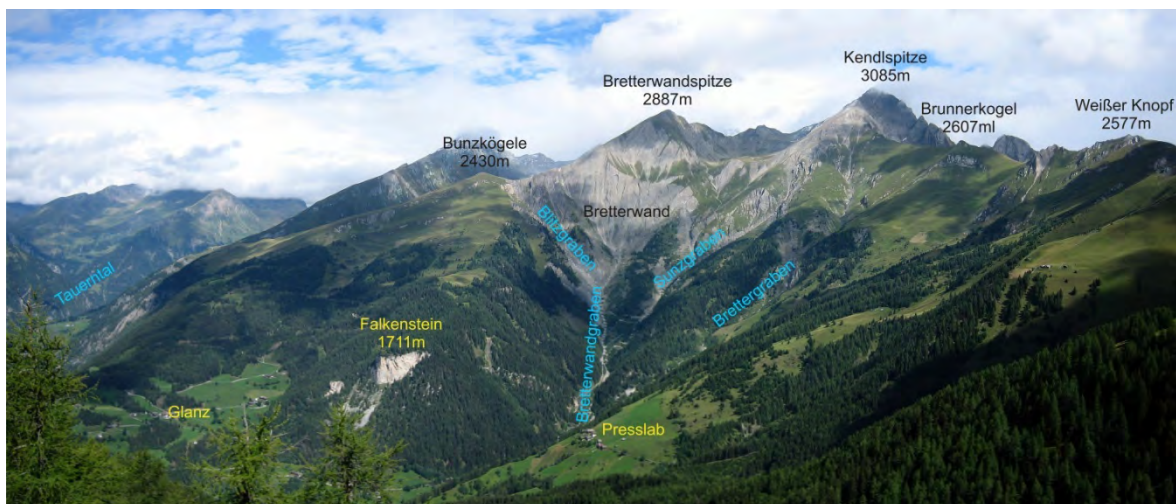


Abbildung 2.2: Blick vom Goldried (2.146 m.ü.A.) nach Norden zum Bunzkögele, zur Bretterwandspitze und Kendlspitze. Im Osten des Bunzkögeles verläuft tief eingeschnitten der Bretterwandgraben

Im weiteren Text werden die Lokalnamen der Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2 verwendet. Diese wurden der Österreich Karte, Blatt Nr. 152, Matri (BEV 2009), der Österreichkarte, Blatt Nr. 153, Großglockner (BEV 2009) und der Alpenvereinskarte, Blatt Nr. 39, Granatspitzgruppe (BEV 2002) entnommen.



### 3 Landschaftsbildende Prozesse

Das heutige Landschaftsbild im Raum Matriei wurde maßgeblich durch die formgebenden Prozesse verschiedener Eiszeiten, letztmalig während der Würmvereisung, sowie nacheiszeitlicher fluviatiler und hangtektonischer Vorgänge geprägt.

Unmittelbar südlich von Matriei trafen zur letzten Eiszeit zwei Gletscher, der Tauerntalgletscher von Norden und der Virgentalgletscher von Westen zusammen, um gemeinsam nach Süden zu fließen. Dementsprechend breit ist das Tal im Bereich Matriei und stellt ein kleines inneralpines Becken dar. Im Gegensatz dazu ist das Tauerntal ein enges, glazial geformtes Trogtal. Die Abbildung 3.1 zeigt die typische Parabelform am Ausgang des Tauerntals zum Matrieer Becken. Etwa 2.000 m.ü.A., im Bereich der Zedlacher Wiesen, orografisch rechts, bzw. der Edelweißwiesen, orografisch links, ist die klassische Trogschulter vorhanden. Den tiefsten Punkt des Trogtales markiert eine Felsschulter beim Weiler Stein und Hinteregg. Von dort senkt sich die Tiefenlinie des Troges nach Süden noch vor dem Zusammentreffen mit dem Virgentalgletscher stark ab. Die verstärkte Tiefenerosion hängt hier mit dem Gesteinswechsel von sehr festen Prasiniten und Glimmermarmoren zu wenig festen Kalkglimmerschiefer und Kalkphylliten zusammen. Nach dem Rückzug des würmeiszeitlichen Gletschers schnitt sich der Tauernbach im Bereich dieser Felsschwelle in die Tiefe und verläuft heute in der Felsenschlucht der Prosegg Klamm (Abbildung 3.1).



Abbildung 3.1: Blick ins glaziofluvial geformte Trogtal des Tauernbaches, im Vordergrund die Marktgemeinde Matriei

Nach PENK UND BRÜCKNER (1909) bzw. VAN HUSEN (1987) lag die Vereisungsgrenze im Gebiet von Matriei bei etwa 2.400 m.ü.A., d.h., das Bunzkögele wurde vom Eis noch überflossen, während die ca. 400 m höhere Bretterwandspitze über das Eisstromnetz ragte.

Blickt man vom Goldried nach Norden, fällt der ausgeprägt landschaftliche Kontrast zwischen den sanften Formen des von Wald und Wiesen bedeckten Bunzkögeles, welche sich östlich des Bretterwandgrabens bis zum Brunnerkogel fortsetzen, und den schroffen,

steilen, nur gelegentlich von einem grünen Grasband durchzogenen Plattenschüssen von Bretterwandspitze und Kendlspitze auf (Kap. 2, Abbildung 2.2). Die nach Süden einfallenden Gesteinsplatten, welche diese schroffen Gipfel aufbauen, waren bei der Bretterwand namensgebend. Der beschriebene landschaftliche Gegensatz hat seine Hauptursache in den unterschiedlichen Gesteinsfestigkeiten: Während die Bretterwandspitze und die Kendlspitze von harten Kalkglimmerschiefern bis Kalkglimmermarmoren aufgebaut werden, bilden das Bunzkögele und der Brunnerkogel vornehmlich weiche, verwitterungsanfällige Kalkphyllite (Kap. 7, Abbildung 7.1 und Abbildung 7.2). Ein weiterer Grund ist, dass die genannten schroffen Bergspitzen als Nunataka über die würmeiszeitliche Eisobergrenze hinaus ragten und damit einer starken Verwitterung ausgesetzt waren. Im Gegensatz dazu wurde das Bunzkögele vom Eis überflossen, was deutlich an der runden Gipfform zu erkennen ist.

Mit der Entlastung der Talflanken durch den Eisrückzug setzten im Einzugsgebiet des Bretterwandbaches tiefgreifende, langsame Hangbewegungen ein (ZISCHINSKY 1966a). Belege dafür liefern geomorphologische Besonderheiten, wie zum Beispiel die Felsstufen in den Gipfelbereichen von Bunzkögele und Brunnerkogel, an denen das Gelände bis zu 70 m tiefer gesetzt ist (Kap. 6 und Kap. 11). Weitere Merkmale sind Nackentäler und Zerrspalten im Bereich der Zupenig Alm oder die Geländestufen bei der Siedlung Glanz. Der Hang unterhalb des Brunnerkogels ist im Bereich der Rainer Alm auffällig konvex gewölbt.

In dem Gebirgskessel, der vom Bunzkögele, Bretterwandspitze, Kendlspitze, Tschadinhörndl und Weißer Knopf umrandet wird, verläuft heute tief, zum Teil schluchtenartig eingeschnitten der Bretterwandgraben. Auf moränenartige Sedimente der letzten Hauptvereisung oder nacheiszeitlicher Stände trifft man nur selten. Reste davon findet man beispielsweise bei der Zupenig Alm, am Roaner Moos oder bei der Rainer Alm (Kap. 4, Abbildung 4.4). Die räumliche Verteilung der Moränen lässt darauf schließen, dass sich der Bretterwandbach nach dem Eisfreiwerden noch beträchtlich eingetieft hat: Aufgrund des bereichsweise markant ausgeprägten Übergangs von den sanften, mit Moränen bedeckten Arealen zu den steilen, V-förmigen, von der fluviatilen Erosion geschaffenen Grabeneinhängen kann die postglaziale Tiefenerosion des Baches zwischen 60 und 100 Metern angenommen werden.

Am Klaunzerberg, am Ausgang des Bretterwandbaches zum Tauerntal, tritt ein zum Graben parallel verlaufender Moränenrücken auf. Dieser markiert einen späteren lokalen Gletscherstand. D.h., der Bretterwandgraben war zu dieser Zeit noch zum guten Teil verfüllt und nicht bis auf das heutige Niveau ausgeräumt. Die starke Tiefenerosion und vermutlich auch das Einsetzen der Hauptbewegungen erfolgten erst nach dem Rückzug des lokalen Gletschers. Zudem hat die Großhangbewegung Bunzkögele für die starke Ausräumung des Bretterwandgrabens eine wesentliche Rolle gespielt. Durch die südwärts gerichteten Bewegungen entwickelten sich an den Rändern Störungen (s. Kap. 6 und Kap. 9). Es ist anzunehmen, dass die fluviatile Erosion an der Nord-Süd verlaufenden Randstörung, die heute den Bretterwandgraben bildet, forciert stattgefunden hat.

## 4 Geologie und Tektonik des Tauernfensters mit Bezug zum Arbeitsgebiet

### 4.1 Geologisch-tektonischer Rahmen

Das Arbeitsgebiet liegt am Südrand des Tauernfensters, dem größten tektonischen Fenster der Ostalpen. Es erstreckt sich in Form einer langgezogenen, domartigen, 160 km Ost-West streichenden Antiklinalstruktur vom Brenner im Westen bis zum Katschberg im Osten (PESTAL 1995). Das Fenster gibt den Blick auf die tief liegende europäische Kruste inkl. auflagernder Sedimenthülle und penninische Einheiten<sup>1</sup>, die normalerweise unter Ostalpinen Einheiten verborgen wären, frei. Das tiefste und innerste tektonische Stockwerk ist das Venediger Deckensystem (FRISCH 1976, 1977), darüber folgen das Glockner Deckensystem (STAUB 1924) und am südlichen und nördlichen Fensterrand das Deckensystem der Matreier Schuppenzone bzw. die Nordrahmenzone<sup>2</sup> (Abbildung 4.1). Im Norden und Süden wird das Tauernfenster von steilstehenden, schrägabschiebenden Lateralstörungen begrenzt. Im Westen und Osten finden sich große, hauptsächlich duktile Abschiebungsstrukturen (SELVERSTONE 1988, GENSER & NEUBAUER 1989).

Das Venediger Deckensystem umfasst eine variszisch geprägte kontinentale Kruste mit auflagernden jungpaläozoischen und mesozoischen Metasedimenten, die häufig auch als „Ältere bzw. Innere Schieferhülle“ bezeichnet wird. Hinzu kommen saure bis intermediäre Plutonite, die sog. Zentralgneise, die im Zuge der variszischen Orogenese in das „Alte Dach“<sup>3</sup> intrudierten (PESTAL ET AL. 2009).

Die Gesteinsserien des penninischen Glockner Deckensystems wurden in Anlehnung an faziell ähnliche Gesteinsserien in der Schweiz von FRASL (1958) als „Bündner Schieferserie mit Ophiolithen“ bzw. von FRANK ET AL. (1987) als „Bündner-Schiefer-Gruppe“ bezeichnet. Auch „Jüngere Schieferhülle“ bzw. „Äußere Schieferhülle“ sind gängige Namen dafür. Dabei handelt es sich hauptsächlich um die metamorphen Produkte kreidezeitlicher Tiefseesedimente und Reste von ozeanischer Kruste.

Das höchste penninische Deckensystem, die Matreier Zone<sup>4</sup>, bildete die Suturzone zwischen Penninikum und dem austroalpinen aktiven Kontinentalrand. An ihr erfolgte die Subduktion des penninischen Ozeans. Die tektonisch stark beanspruchte Abfolge beinhaltet hauptsächlich jurassische und kreidezeitliche Metasedimente mit Resten von Erdmantelgesteinen und allochthonen Schollen von Perm-, Trias- und Unterjuragesteinen des ostalpinen Schelfs (PESTAL ET AL. 2009).

Das Untersuchungsgebiet liegt zur Gänze in Gesteinen des Glockner Deckensystems und des Deckensystems der Matreier Zone. Das Venediger Deckensystem liegt ca. 3,5 km weiter im Norden und reicht nicht mehr ins Gebiet. Der Überschiebungskontakt Ostalpin – Penninikum verläuft am Südrand des Bearbeitungsgebietes, vom Kals-Matreier Törl über den südlichen Klauzner Berg nach Westen (Abbildung 4.2).

1 Die Zuordnung der Matreier Schuppenzone zum Ostalpin oder zum Penninikum wurde lange Zeit kontrovers diskutiert. Heute wird die Matreier Zone aus paläografischen, sedimentologischen und tektonischen Überlegungen heraus eindeutig als die höchste penninische Einheit gesehen.

2 Die Nordrahmenzone im Norden ist das tektonische Pendant zur Matreier Schuppenzone im Süden.

3 Prävariszische Gesteinskomplexe

4 Die Glockner Decke im Sinne von STAUB (1924) oder die Venediger Decke im Sinne von FRISCH (1976, 1977) stellen korrekterweise ein System mehrerer Decken dar (s. auch bei LAMMERER & WEGER (1998); PESTAL ET AL. (2009)).

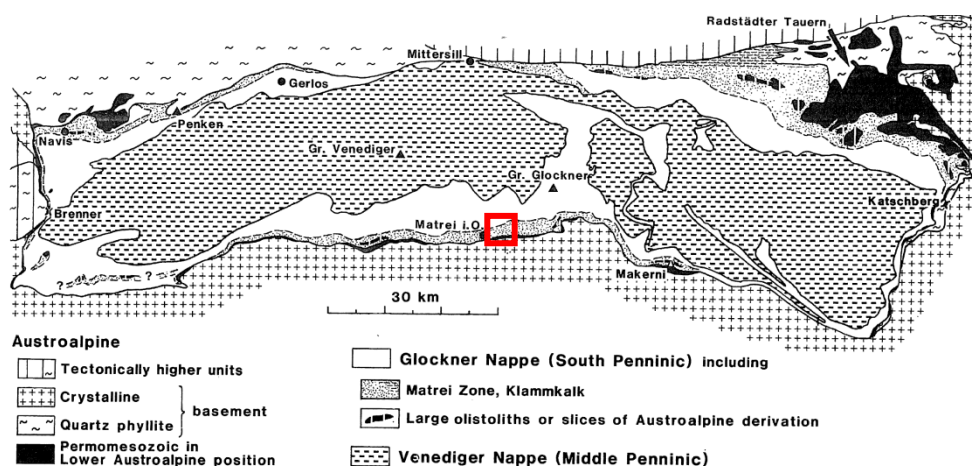


Abbildung 4.1: Tektonische Übersicht vom Tauernfenster nach FRISCH ET AL. (1987) bzw. THIELE (1980). Das rote Quadrat zeigt die Position des Arbeitsgebiets.

Ostalpin

19 Schoberkristallin

Penninikum

21 Unterostalpine Schuppen

24 Matreier Schuppenzone

25 Glockner Deckensystem

26 Venediger Deckensystem

27 Zentralgneiskerne

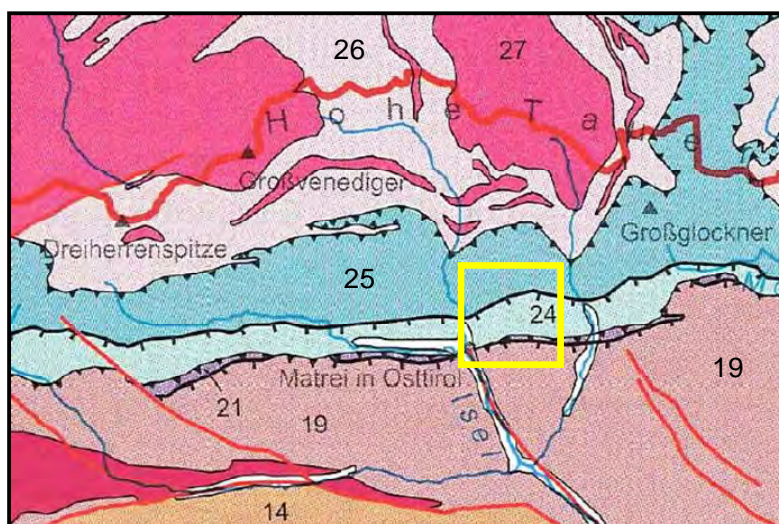


Abbildung 4.2: Tektonische Detailgliederung vom Südrand des Tauernfensters nach PESTAL ET AL. (2009). Das gelbe Quadrat markiert das Arbeitsgebiet. Die dünnen roten Linien repräsentieren Störungen. Die dicke rote Linie ist die Landesgrenze.

## 4.2 Fazielle Entwicklung der penninischen Gesteinsserien

Nach LAMMERER & WEGER (1998) besteht das penninische Deckensystem aus Fragmenten ozeanischer Kruste, eingebettet in einer mächtigen Abfolge von metamorphen Kalken, Mergel und Tonschiefer.

### 4.2.1 Glockner Deckensystem

Die fazielle Gliederung des penninischen Ablagerungsraumes geht auf FRASL & FRANK (1966) zurück. Im Arbeitsgebiet trifft man auf Gesteine, die von den genannten

Autoren als „Glockner Fazies“ beschrieben wurden. Die Entstehungsgeschichte (Abbildung 4.3) dieser, im zentralen Bereich des penninischen Trogs abgelagerten Gesteinsserie beginnt mit einsetzender Krustendehnung im Lias (FRISCH 1974, 1976). Die Ablagerungen umfassen kalkreiche, tonige Sedimente, die heute als Kalkphyllite und Kalkglimmerschiefer vorliegen. Die Lithologie der Metasedimente ist vielerorts durch einen Wechsel von feinkörnigen und grobkörnigen Lagen, welche an flyschartige Sedimentabfolgen erinnern, gekennzeichnet.

In der beschriebenen Abfolge kommen zudem Prasinite (i.e. metamorphe Vulkanite) und Amphibolite vor. HÖCK (1983) konnte nachweisen, dass es sich dabei um ehemalige tholeiitische Basalte, d.h. um Reste von ozeanischer Kruste handelt. Das Glockner Deckensystem erlangt Mächtigkeiten bis zu 4.000 Meter (PESTAL ET AL. 2009).

#### 4.2.2 Matreier Zone

Der Südrand des Bearbeitungsgebietes bzw. die Stirn der Massenbewegung Bunkzögele wird von der Matreier Zone aufgebaut. KOLLER & PESTAL (2003): „Sie ist eine aus Metasedimenten der Bündner-Schiefer-Gruppe, Ophiolithen und unterostalpinen Schollen permomesozoischer Gesteine bestehende tektonische Melangezone“.

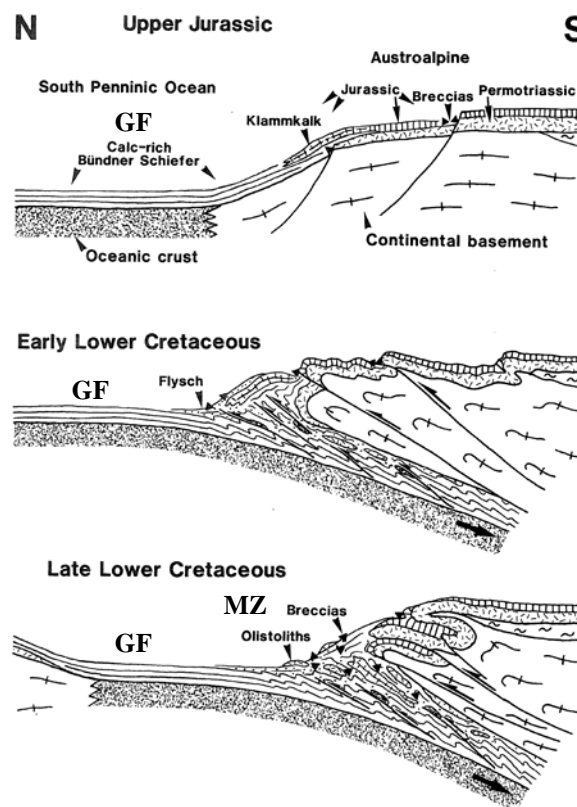
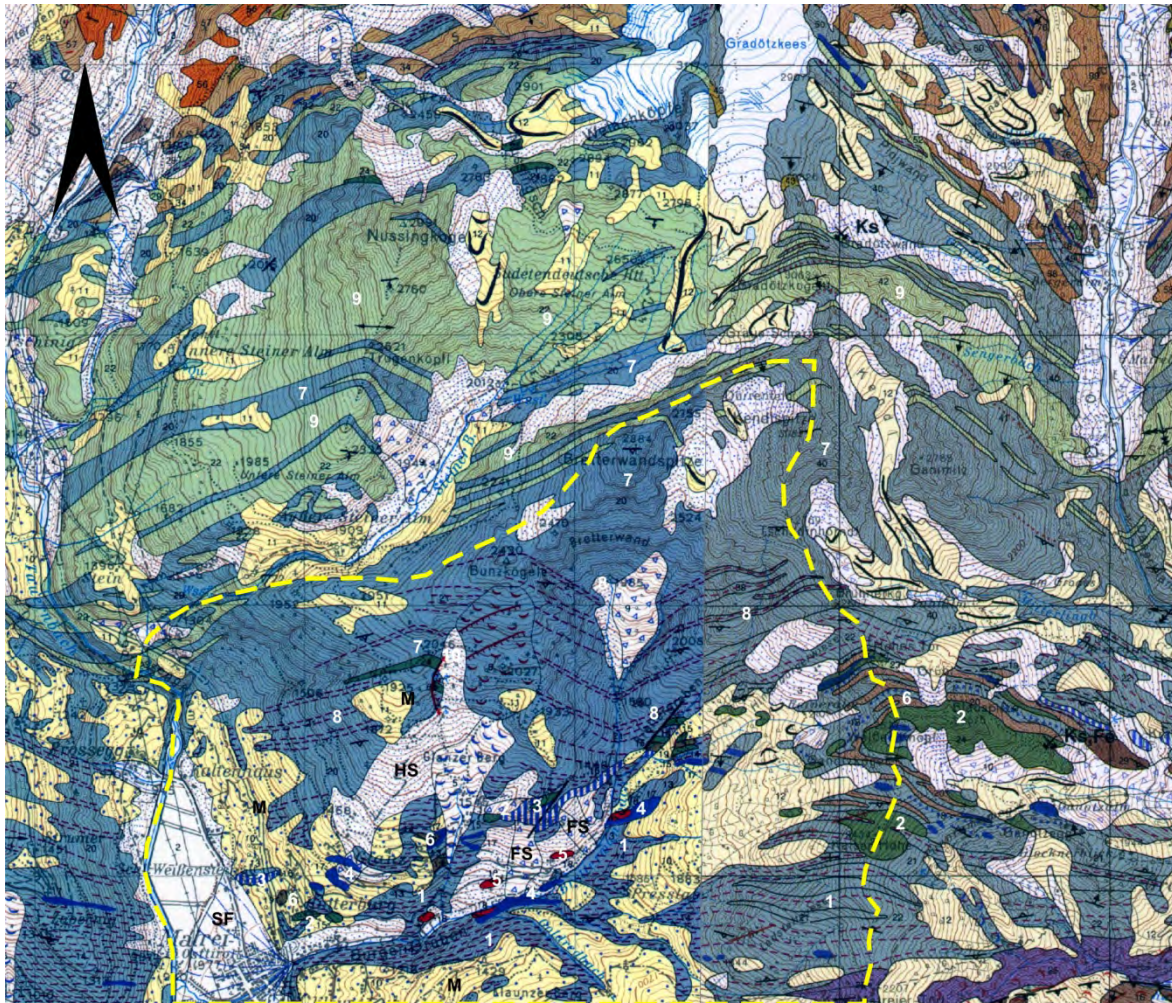


Abbildung 4.3: Tektonofazielle Entwicklung der Glockner Fazies (GF) und der Matreier Zone (MZ) zur Zeit des oberen Juras und der Unterkreide; ergänzt nach FRISCH ET AL. (1987)



### 4.3 Beschreibung der Gesteine am Südrand des Tauernfensters

Das Vorkommen der nachfolgend beschriebenen Gesteinseinheiten im Arbeitsgebiet zeigt die geologische Karte der Geologischen Bundesanstalt (Abbildung 4.4).



#### Legende

##### Quartär

- FS Felssturz
- HS Hang- und Verwitterungsschutt
- SF Schwenmfächer
- M Moräne

##### Penninikum

##### Matreier Schuppenzone

- 1 Dunkler Phyllit
- 2 Serpentin, Talkschiefer
- 3 Dolomitmarmor
- 4 Kalkmarmor
- 5 Gips
- 6 Quarzit

##### Penninikum

##### Glockner Decke

- 7 Kalkglimmerschiefer
- 8 Dunkler Phyllit
- 9 Prasinit
- 10 Serpentin

Abbildung 4.4: Geologische Karte der Geologischen Bundesanstalt (GBA) vom Arbeitsgebiet nach FRANK ET AL. (1987) und HÖCK & PESTAL (1994); Nummern und Buchstaben ergänzt; vereinfachte Legende gegenüber GBA-Legende; Grenze des Arbeitsgebietes gelb strichliert



### 4.3.1 Gesteine des Glockner Deckensystems

#### 4.3.1.1 Kalkglimmerschiefer (Oberer Jura - Kreide)

Nach CORNELIUS & CLAR (1939) ist die Bezeichnung „Kalkglimmerschiefer“ ein nicht allzu eng zu fassender Sammelbegriff für Glimmermarmore und Kalkglimmerschiefer der Bündner-Schiefer-Gruppe. Die typischen Kalkglimmerschiefer treten nördlich des Bunzkögeles auf. Charakteristische Aufschlüsse dafür bieten sich entlang der Felbertauernstraße, beispielsweise vis á vis des Felbertauernstüberls (Anlage A.2: Abbildung FTS-12) oder an der hohen Bretterwand (Anlage A.2: Abbildung HBWG-26). Das Gestein erscheint im Aufschluss plattig bis bankig. Die einzelnen „Bänke“ sind durch glimmerreichere Lagen getrennt (CORNELIUS & CLAR 1939). Der Mineralbestand setzt sich aus Kalzit, Hellglimmer und Quarz in unterschiedlichen Anteilen zusammen. Daneben kommen Chlorit, Dolomit und Feldspat vor (PESTAL ET AL. 2009). Im frischen Bruch zeigen die Kalkglimmerschiefer eine lichtgraue Färbung. Angewittert weisen die Schieferungsflächen sandige Oberflächen auf, und das Gestein ist oberflächlich ockerbraun gefärbt.

Als Edukte der Kalkglimmerschiefer gelten Arenite, pelagische mergelige Kalkschlämme und gelegentlich schwach bituminöse Mergel. Diese wurden zuerst am äußeren Kontinentalschelf abgelagert und dann in zyklischen Abständen, in Form von Trübeströmen (Turbidite), in die Tiefsee verfrachtet (PESTAL ET AL. 2009).

#### 4.3.1.2 Kalkphyllit und dunkler Phyllit (Kreide)

Nach Süden verzahnen die Kalkglimmerschiefer mit Kalkphylliten. Letztere unterscheiden sich deutlich von den Kalkglimmerschiefern durch ihren hohen Glimmergehalt und ihre Engschiefrigkeit (Anlage A.2: Abbildung FTS-09). Untergeordnet kommen Zentimeter bis mehrere Meter mächtige Einschaltungen von dunklen, kalkarmen bis kalkfreien Phylliten vor (Anlage A.2: Abbildung FTS-10). Die dunkle Farbe ist auf Graphit zurückzuführen. Der turbiditische Charakter der Metasedimente ist vielerorts gut erkenntlich (Anlage A.2: Abbildung HBWG-13 und Abbildung FT-04). Für diese Abfolge hat sich deshalb auch der Name „Tauernflysch“ (PESTAL 1995) eingebürgert.

Geomechanischen Gesichtspunkten folgend wurden die Kalkglimmerschiefer s.str., mit mehr oder weniger fehlenden Kalkphylliten als „Glockner Decke Zone 1“ bezeichnet (s. Kap. 7, Abbildung 7.1). Sie entsprechen dem tieferen Anteil der Glockner Decke mit den Prasiniten. Der Verzahnungsbereich von Kalkglimmerschiefern und Kalkphylliten zwischen der Glockner Decke Zone 1 und der Matreier Zone wurde als „Glockner Decke Zone 2“ bezeichnet. Dieser stellt den höheren Anteil der Glockner Decke dar. Er wurde in der älteren Literatur, zum Beispiel bei CORNELIUS & CLAR (1939), noch öfters zur Matreier Zone gerechnet, was den geotechnischen Eigenschaften (Kap. 7) besser entsprechen würde.

#### 4.3.1.3 Metabasit (Unterkreide)

Nördlich des Bunzkögeles treten erste Metabasitzüge, die nach Norden hin häufiger werden, auf. Sie können mitunter sehr mächtig werden und bauen beispielsweise auch den Großglockner auf. Die Metabasite bestehen hauptsächlich aus Prasiniten und Amphiboliten. Als Prasinit wird in der geologischen Literatur über das Tauernfenster ein

hellgrünes, feinkörniges Gestein bezeichnet. Der Mineralbestand inkludiert Albit oder Oligoklas, Aktinolith oder Hornblende, Epidot und Chlorit. Ausgangsgesteine der genannten Metamorphite bilden submarin abgelagerte, basische Effusiva (PESTAL ET AL. 2009). Die Geochemie weist auf tholeiitische Ozeanbodenbasalte hin (HÖCK 1983, HÖCK & MILLER 1987).

#### **4.3.1.4 Ultrabasit**

Ein 750 m langes, ca. 50 m mächtiges Vorkommen von serpentiniertem Ultrabasit streicht vom Ochsenstoan nach Westen zur Lackner Alm. Es stellt einen obduzierten Rest ehemals ozeanischer Lithosphäre dar. Die gesteinsbildenden Minerale sind verschiedene Serpentinminerale (u.a. Chrysotil, Anlage A.2: Abbildung OA-01).

#### **4.3.2 Gesteine der Matreier Schuppenzone (Jura - Kreide)**

Diese Metasedimente umfassen diverse kalkarme bis kalkfreie Phyllite. Als Varietäten sind Chloritphyllite (Anlage A.2: Abbildung FTS-02) und dunkle graphitführende Phyllite (Anlage A.2: Abbildung FTS-01, Abbildung GD-01 und Abbildung HBWG-03,) anzutreffen. Linsenförmiger Quarz ist häufig. Der Mineralbestand setzt sich hauptsächlich aus Hellglimmern, Chlorit und Quarz, untergeordnet aus Kalzit, Feldspat und Graphit zusammen. Quarzitisches Phyllite bis Quarzite sind genetisch als Turbidite zu interpretieren (Anlage A.2: Abbildung GD-01).

In der Metasedimentabfolge treten Einschaltungen allochthoner Gesteinsschollen auf. Die größten Schollen bestehen aus mittel- bis obertriadischen Karbonaten, wobei Dolomitmarmore häufiger vorkommen als Kalkmarmore. Ein mächtiger, morphologisch markant in Erscheinung tretender Dolomitmarmorzug ist der Große Falkenstein am Glanzer Berg (Anlage A.2: Abbildung VBWG-10).

Weitere nennenswerte, linsig verlaufende allochthone Gesteinszüge bilden noch Metarauhacke und Gips. Sie erreichen eine Mächtigkeit von einigen 10er Metern. Vergesellschaftet mit den massig erscheinenden Gipsvorkommen sind Chloritphyllite (Anlage A.2: Abbildung VBWG-05 und Abbildung VBWG-11).

Am Glanzerberg, beim Glanzdörfel sind helle, ockerbraun angewitterte Quarzite aufgeschlossen (Anlage A.2: Abbildung GD-02). Sie bilden dort innerhalb der phyllitischen Abfolge einen morphologisch hervortretenden Härtlingszug.

Vereinzelt treten auch Serpentinikörper, wie zum Beispiel an der Felbertauernstraße, vis a' vis der Ausfahrt von Matrei, auf. Diese sind teilweise in Talkschiefer umgewandelt (Anlage A.2: Abbildung FTS-06). Dem Serpentin folgt unmittelbar südlich ein grüner Quarzit (Anlage A.2: Abbildung FTS-05). Er wird als Metaradiolarit, der im ursprünglichen Kontakt mit dem Ozeanboden (Serpentin) stand, interpretiert.

#### **4.4 Metamorphose des Tauernfensters**

Das Tauernfenster ist durch ein mehrphasiges Metamorphosegeschehen gekennzeichnet. Während die Äußere Schieferhülle (Glockner Deckensystem) und die Matreier Schuppenzone nur eine alpidisch metamorphe Überprägung erhielten, weist die Innere Schieferhülle (Venediger Deckensystem) zusätzlich eine präalpidisch variszische Überprägung auf.

Die ozeanische Spreizung des penninischen Trogs fand in der Oberkreide ihr Ende (FRISCH ET AL. 1987). Mit der folgenden Schließung wird ozeanische Kruste inkl. auflagernder Sedimente subduziert. Die älteste alpidische Metamorphose findet sich in einem schmalen Streifen von Eklogiten an der Südabdachung des Tauernfensters. Die genannten Hochdruckgesteine treten zwischen Venediger und Glockner Deckensystem auf und markieren nach MILLER ET AL. (1980) bzw. FRANK ET AL. (1987) eine ältere Suturzone. Etwas jüngeren Alters sind Gesteinsrelikte blauschieferfazieller Überprägung im Deckensystem der Glockner Decke und auch der Matreier Schuppenzone, wie zum Beispiel die Serpentine der Matreier Zone am Westrand des Tauernfensters (KOLLER & PESTAL 2003).

Am Übergang Eozän/Oligozän kulminierte die Kollision der Kontinente Europa und Afrika. Das Penninikum wurde gänzlich von ostalpinen Einheiten überschoben. Die tieferen, heute aufgeschlossenen Krustenteile wurden von einer Regionalmetamorphose erfasst. Diese als „Tauernkristallisation“ bezeichnete Gesteinsumwandlung erreichte im zentralen Teil des heutigen Tauernfensters die Amphibolitfazies (Venediger Deckensystem) und im äußeren Teil die Grünschieferfazies (FRANK ET AL. 1987). Die Gesteine des Bearbeitungsgebietes weisen, nachdem sie am äußeren Rand des Tauernfensters liegen, nur Grünschieferfazies auf.

#### **4.5 Tektonik und Strukturgeologie des Tauernfensters**

Mit dem Einsetzen der Subduktion des Penninikums unter die ostalpine kontinentale Kruste in der Unterkreide geht die Bildung eines Akkretionskeils an der Stirn des Orogens, d.h. ein durch Faltung und Überschiebung gekennzeichnetes, extrem beanspruchtes tektonisches Element, welches heute die Matreier Schuppenzone repräsentiert, einher (Abbildung 4.3).

Der Zuschub des penninischen Sedimentationsraums bewirkte die Anlage eines Nordwest bis Nord gerichteten Falten- und Überschiebungsgürtels. Im frühen Tertiär wurden die penninischen Decken über den passiven europäischen Kontinentalrand geschoben (CHRISTENSEN ET AL. 1994). Im Eozän/Oligozän überschoben schließlich ostalpine Einheiten das penninische Deckensystem (PESTAL 1995).

Nach LAMMERER & WEGER (1998) beinhaltet die Deformation seit der Oberkreide u.a. das Abscheren, die Überschiebung und die Faltung der Hüllgesteine, die Stapelung von Orthogneisdecken und anderem kristallinen Basement. Folglich bildeten sich liegende Isoklinalfalten. Aufgrund der eingespannten Situation des Orogens wurden aber weitreichende Überschiebungen auf das Vorland verhindert. Interne Überschiebungen führten eine extreme Krustenverdickung herbei, und die vorliegenden Isoklinalfalten wurden durch offene Falten überprägt. Durch Faltung und Überschiebung wurde das Tauernfenster bis zu einem Drittel seiner ursprünglichen Länge in Nord-Süd-Richtung verkürzt. Die Nord-Süd-Einengung wurde durch duktilen lateralen Materialtransport kompensiert (LAMMERER & WEGER 1998).

Damit ist die tektonisch strukturelle Entwicklung des Tauernfensters aber noch nicht zu Ende. Die anhaltende Nord-Süd-Einengung der gebirgsbildenden jüngsten Phase führte seit dem Miozän/Oligozän zur Aufwölbung (Exhumation) des Tauernfensters bei gleichzeitiger

Ost-West-Extension (SELVERSTONE 1988, FÜGENSCHUH ET AL. 1997). Dabei wurde ein Krustenkeil an großen Seitenverschiebungen (u.a. die Periadratische Naht und die Mölltalstörung im Süden, die Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg Störung und die Inntalstörung im Norden) lateral extrudiert (RATSCHBACHER ET AL. 1991). Dieser Prozess führte zusammen mit der Erosion zur Freilegung tektonisch tief gelegener Stockwerke.

Die prägenden metamorphen und tektonischen Elemente der Gesteinsabfolgen im Arbeitsgebiet sind die penetrative Schieferung und liegende Isoklinalfalten. Die Falten können dabei Größen von wenigen Zentimetern bis mehreren Kilometern aufweisen. Ihre Achsenebenen liegen mehr oder weniger parallel zur Hauptschieferung. Falten im Großmaßstab ergeben sich aus dem geologischen Kartenbild, wie beispielsweise im Bereich des Gradötzkogels (Abbildung 4.5). Infolge der mehrphasigen Gebirgsbildung werden die älteren Isoklinalfalten von offenen Falten überprägt (Kap. 6, Abbildung 6.1). Durch die Heraushebung des Tauernfensters streichen heute im Bereich Matrei die tektonisch-sedimentologischen Einheiten konstant Ost-West und fallen mit etwa 60° nach Süden ein. Die Hauptschieferung folgt dabei mehr oder weniger dem ursprünglichen sedimentären Lagenbau.

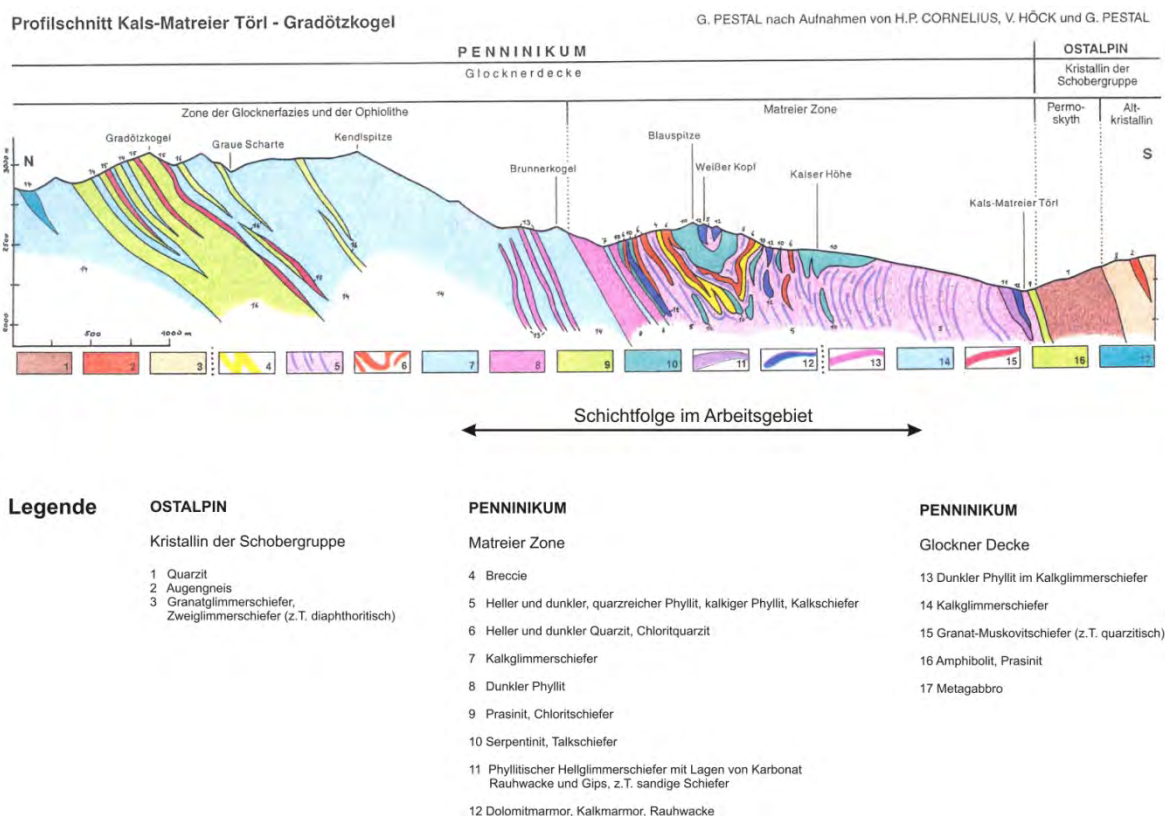


Abbildung 4.5: Geologisches Profil vom Ostrand des Arbeitsgebietes nach PESTAL (1995)

## 5 Methodik

Schon CLAR (1960, 1963) erkannte, dass die Aufnahme der Gefüge, im speziellen von vorgegebenen, großräumig verfolgbaren Elementen wie Schichtung und Schieferung einen wesentlichen Schlüssel zum Verständnis des mechanischen Verhaltens von Gebirgsmassen, angewandt auf Massenbewegungen darstellt. Mit Hilfe einer räumlichen Analyse der durch die Hangbewegungen verstellten Gefügeelemente kann das Deformationsbild des Böschungskörpers ableitet werden. ZISCHINSKY (1966a) hat treffend befunden, dass Massenbewegungen im Allgemeinen, besonders aber große, ganze Talflanken erfassende Bewegungen, gleichsam einen „Modellversuch der Natur“ darstellen.

ZISCHINSKY, ein Schüler CLARS, verfolgte diesen Ansatz in seiner Arbeit konsequent weiter und erstellte so zuerst ein Bewegungsbild des deformierten Hanges. In einem zweiten Schritt leitete er ein mechanisches Modell dafür ab. Das rheologische Verhalten der bewegten Felsmasse beschrieb er durch den Vergleich mit der Mechanik von Gletschereis (ZISCHINSKY 1966b, 1969a, 1969b).

Die vorliegende Neubearbeitung baut auf den oben zitierten Arbeiten von ZISCHINSKY auf. Sie erweitert seine Studie um einige wesentliche neue Geländebeobachtungen, durch die Anwendung strukturgeologischer Methoden, durch systematisch und methodisch im Gelände erhobene geotechnische Daten zu Gestein, Trennflächen und Gebirge und durch die numerische Modellierung des Hangversagens basierend auf exakten mechanischen Grundlagen.

Die einzelnen Arbeitsschritte, in logistischer Reihenfolge, gibt der in Abbildung 5.1 dargestellte Workflow wieder.

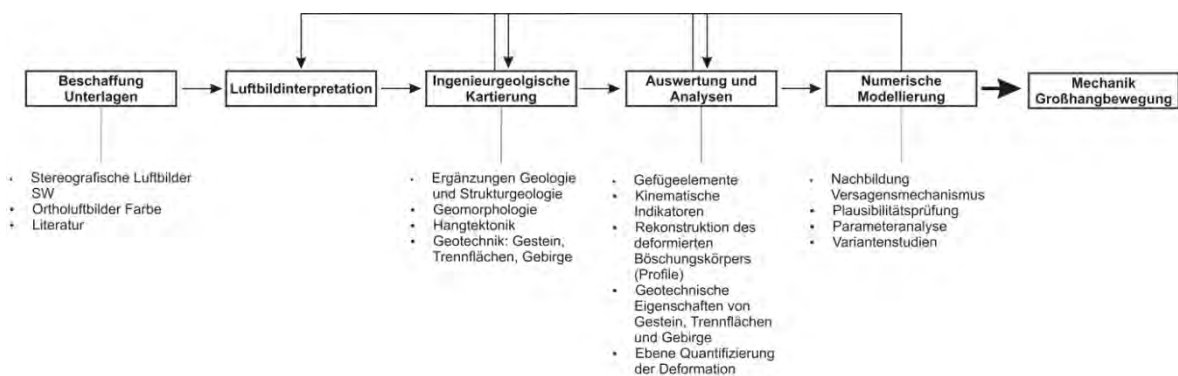


Abbildung 5.1: Workflow der einzelnen Arbeitsschritte

Die methodische Vorgehensweise war kein reines Aneinanderreihen der in Abbildung 5.1 angeführten Arbeitsschritte, sondern beinhaltete notwendigerweise rückwärtsorientierte Schleifen zu den vorher durchgeführten Arbeiten. Zum Beispiel wurden die Ergebnisse der numerischen Modellierung im Gelände immer wieder überprüft. Diese Vorgehensweise ermöglichte einerseits eine Plausibilitätsprüfung der Berechnungen, andererseits aber auch eine Verbesserung der mechanischen Interpretation der im Gelände beobachteten Strukturen.

## 5.1 Luftbildauswertung

In Ergänzung zur ingenieurgeologischen Geländekartierung erfolgte eine Auswertung stereografischer Luftbilderpaare in Schwarzweiß. Die verwendeten Bilder stammen aus der Gesamtbefliegung Tirols im Jahre 1974 (Abbildung 5.2). Das Untersuchungsgebiet wird durch

- Streifen 242, Bildnummern 2297 bis 2304,
- Streifen 243A, Bildnummern 2437 bis 2443 und
- Streifen 244 A, Bildnummern 2481 bis 2486 abgedeckt.

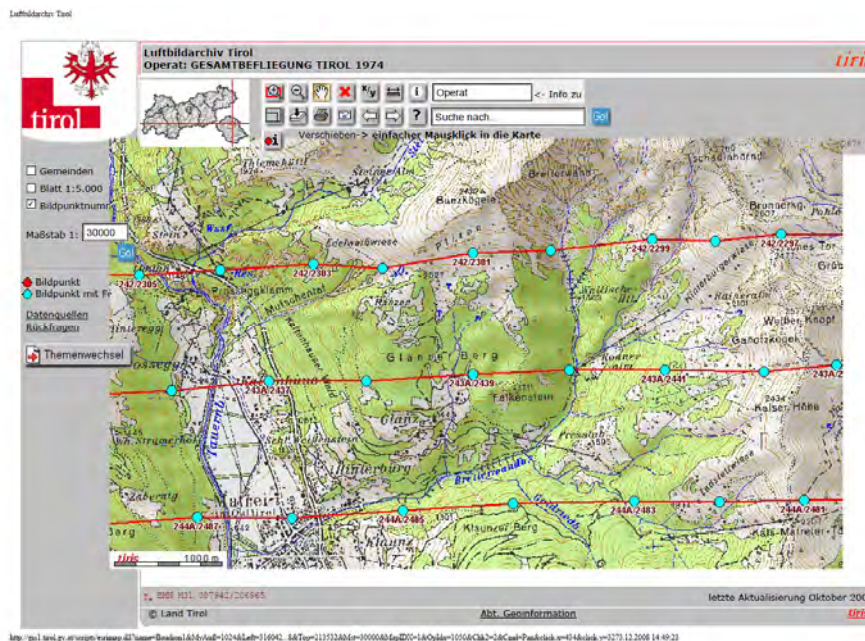


Abbildung 5.2: Gesamtbefliegung Tirols, 1974, Kartenausschnitt TIRIS ([www.tiris.gv.at](http://www.tiris.gv.at))

Die Ergebnisse der Luftbildauswertung ergänzten die geomorphologische Kartierung und wurden in die Geomorphologische Karte und in die Strukturgeologische Karte der Hangtektonik (Anlage E.1 und E.2) eingearbeitet.

## 5.2 Ingenieurgeologische Kartierung

Die ingenieurgeologische Bearbeitung beinhaltet folgende Themenbereiche:

1. Geologie und regionaltektonischer Gebirgsbau
2. Geomorphologie
3. Hangtektonik
4. Geotechnische Eigenschaften des Gebirges

### 5.2.1 Geologie und regionaltektonischer Gebirgsbau

Die Basis für die ingenieurgeologische Bearbeitung bildeten die geologischen Kartenblätter der Geologischen Bundesanstalt. Das Arbeitsgebiet umfasst Teile der Kartenblätter Matri in Osttirol (Blatt-Nr. 152, FRANK ET AL. 1987) und Großglockner

(Blatt-Nr. 153, HÖCK & PESTAL 1994) im Maßstab 1:50.000. Die dargestellten geologischen Inhalte der Blätter erwiesen sich vielerorts als ausreichend genau und gut, sodass es kaum Ergänzungen bedurfte. Sehr gute Einblicke in den Gebirgsbau der Gegend liefert das Geologische Profil von PESTAL (1995) (Kap. 4, Abbildung 4.5).

Demgegenüber sind die Massenbewegungen im Einzugsgebiet des Bretterwandbaches auf den geologischen Kartenblättern der GBA unzureichend oder nicht erfasst. Aus diesem Grund erfolgte eine Neuaufnahme der Massenbewegungen unter Verwendung der Kartierung von ZISCHINSKY (1965).

### 5.2.2 Geomorphologie

Hangbewegungen verändern sichtlich das Gelände: Beispielsweise hinterlassen Absetzungen von Gesteinskörpern ein stufiges Terrain, beim Versagen des Gesteins können sich Risse oder Spalten öffnen und Nackentäler entstehen, oder der Fußbereich kann sich durch die Deformation des Materials konvex wölben. Die geomorphologische Kartierung beinhaltet daher vordergründig alle erkennbaren Phänomene, die im Zusammenhang mit Massenbewegungen auftreten und die beim gewählten Maßstab von 1:5.000 noch darstellbar sind. Zudem enthält sie Angaben zur allgemeinen Hydrologie, wie beispielsweise Quellaustritte und Vernässungsstellen, aber auch Angaben zur allgemeinen Morphologie, wie beispielsweise eine markante Geländekante und Rinnen. Die Inhalte der geomorphologischen Karte orientieren sich am Legendenschlüssel für geomorphologische Kartierungen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (MÖLK & NEUNER 2004). Die geomorphologischen Phänomene wurden in ein GIS eingearbeitet (Anlage E.1 und E.2).

### 5.2.3 Hangtektonik

Die strukturgeologische Aufnahme und Analyse der Deformationsgefüge, die aus Hangtektonik entstanden sind, erfolgte durch Anwendung „moderner“ strukturgeologischer Methoden, u.a. von PETIT (1987), RAMSAY & HUBER (1983, 1987) TWISS & MOORES (1992). Dabei ist es wesentlich, zwischen Strukturen, die als Folge der alpidischen Tektonik und jenen, die als Folge von Hangtektonik entstanden sind, strikt zu unterscheiden.

Zur Analyse des Versagensmechanismus der Großhangbewegung wurden folgende Parameter erfasst:

1. Regionalmetamorphe Gefüge: Über die Verstellung der Schieferungsflächen durch Hangtektonik zum ursprünglichen regionaltektonischen Streichen und Einfallen kann die Deformation der Massenbewegung nachvollzogen werden.
2. Räumliche Stellung von Bruchstrukturen: Klüfte, Spalten, Abschiebungen (engl. *scarps*)
3. Kinematische Indikatoren, beispielsweise Schersinnkriterien zur Rekonstruktion des Bewegungsmechanismus<sup>1</sup>
4. Faltenstrukturen

---

<sup>1</sup> Die Erfassung kinematischer Indikatoren im Zusammenhang mit der Großhangbewegung stellt eine wesentliche Erweiterung der Arbeit Zischinskys aus den 60er Jahren dar.

## 5.2.4 Geotechnische Eigenschaften

Für die Entwicklung mechanischer Modellvorstellungen zur Großhangbewegung reichen geomorphologische Beobachtungen und strukturelle Gefügedaten alleine nicht aus. Erst durch die Erhebung und Analyse gebirgstechischer Eigenschaften kann ein vollständiges Bild in Bezug auf die Mechanik der Hangbewegung erstellt werden. Hierzu ist die Erhebung von Parametern, welche sowohl das Gestein, als auch die Trennflächen charakterisieren, notwendig. Unter den vielen methodischen Ansätzen zur Erfassung der Charakteristika von Gestein, Trennflächen und Gebirge wurden jene verwendet, die geländeprobat sind und die auch eine entsprechende Quantifizierung der Parameter im Gelände ermöglichen. Als geeignet erwiesen sich Methoden von BARTON (1973), BARTON & CHOUBY (1977), BARTON & BANDIS (1982), MARINOS & HOEK (2000, 2001), IAEG (1981), ISRM (1981a, 1981b) und teilweise MÜLLER (1963). Laboruntersuchungen wurden nicht durchgeführt.

### 5.2.4.1 Qualitative und quantitative Parameter zur Beschreibung von Gestein, Trennflächen und Gebirge

Die gebirgstechischen Eigenschaften wurden durch die Erhebung nachfolgender Parameter beschrieben:

#### *Gestein*

- Gesteinsart
- Gesteinsbeschreibung (Farbe, Ausbildung, Kristallgröße)
- Lithofazies
- Einaxiale Druckfestigkeit
- Verwitterung

#### *Trennflächen*

- Art
- räumliche Orientierung
- Durchtrennungsgrad
- JRC (Joint Roughness Coefficient)
- Mikro- und Makrorauigkeit
- Abstand
- Öffnung
- Füllung
- Wasser

#### *Gebirge*

- Geological Strength Index (GSI)
- Zerlegungsgrad (= Klufkörpergröße)
- Klufkörperform



### 5.2.4.1.1 Charakterisierung Gestein

Die Bestimmung der *Gesteinsart* und die Gesteinsbeschreibung erfolgten im Gelände. Dünnschliffanalysen wurden nicht durchgeführt. Ergänzend zur Gesteinsansprache wurde der Faziesbereich der Sedimente angegeben. Die fazielle Ausbildung der Gesteine kann für das geotechnische Verhalten des Gebirges einen bestimmenden Einfluss haben, wie beispielsweise bei Gesteinsabfolgen, die durch eine Wechsellagerung von gering festen und harten Schichten gekennzeichnet sind. Dies war im untersuchten Gebiet der Fall.

Die *einaxiale Druckfestigkeit* (engl. *UCS Uniaxial Compressive Strength*) ist ein wichtiger Parameter zur Abschätzung des Verformungsverhaltens des Gesteins. Sie wurde im Gelände für die unterschiedlichen Gesteinsarten unter Verwendung der Klassifikationstabelle der ISRM (1981b) innerhalb einer Bandbreite bestimmt. Die Zuordnung der Gesteinsfestigkeit ergibt sich aus der Anzahl der Schläge mit dem Geologenhammer, die notwendig sind, bis das Gestein bricht. Bewertet werden weiters, auf welche Art und Weise das Gestein zerbricht, zum Beispiel in Stücke oder zerbröseln, und wie der Klang beim Schlag auf die Probe ist. Sehr harte Gesteine, mit einer einaxialen Druckfestigkeit zwischen 100 und 250 MPa benötigen viele Schläge, um zu zerbrechen, und sie klingen hell. Gering feste Gesteine hingegen, mit einer Festigkeit von 5 bis 25 MPa zerbrechen mit einem kräftigen Schlag des Hammers und klingen dumpf. Extrem gering feste Gesteine (< 1 MPa) werden mit dem Taschenmesser und Fingernagel in den Festigkeiten abgegrenzt (Tabelle 5.1).

Grad Bez.	Beschreibung	Feldansprache	UCS [MPa]
R6	extrem hartes Gestein	Es lassen sich nur Gesteinschips mit einem Geologenhammer von der Probe schlagen.	>250
R5	sehr hartes Gestein	Die Probe benötigt viele Schläge, um zu zerbrechen.	100–250
R4	hartes Gestein	Die Probe benötigt mehr als einen Schlag, um zu zerbrechen.	50-100
R3	mittelhartes Gestein	Probe zerbricht durch einen heftigen Schlag mit dem Geologenhammer; lässt sich aber nicht mit einem Taschenmesser zerkratzen; es können kleine Teile mit dem Messer abgelöst werden.	25-50
R2	gering festes Gestein	Von der Probe lassen sich Teile mit dem Messer lösen; ein Schlag mit der Spitze des Geologenhammers hinterlässt eine flache Einkerbung.	5-25
R1	sehr gering festes Gestein	Probe zerbröseln mit einem Schlag, der mit der Spitze des Geologenhammers erfolgt; Teile lassen sich mit einem Taschenmesser ablösen.	1-5
R0	extrem gering festes Gestein	Probe lässt sich mit dem Fingernagel ritzen.	0,25-1
S6	harter Ton	Probe lässt sich schwer mit dem Fingernagel ritzen.	>0,5
S5	sehr steifer Ton	Probe lässt sich leicht mit dem Fingernagel ritzen.	0,25-0,5
S4	steifer Ton	Probe lässt sich leicht ritzen; Daumen kann aber nur mit hohem Druck in die Probe gedrückt werden.	0,1-0,25
S3	fester Ton	Daumen kann mit mäßigem Druck 4-6 cm in die Probe gedrückt werden	0,05-0,1
S2	weicher Ton	Daumen kann mit leichtem Druck in die Probe gedrückt werden.	0,025-0,05
S1	sehr weicher Ton	Faust kann mit leichtem Druck in die Probe gedrückt werden.	<0,025

Tabelle 5.1: Empirische Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit von Gesteinen und tonigen Kluffüllungen nach ISRM (1981b); R = Rock, S = Soil

Der *Grad der Verwitterung* hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gesteinsfestigkeit. Die Angabe der Verwitterung erfolgte in 7 Graden gem. der Tabelle 5.2:

<i>W-grad</i>	<i>IAEG ISRM</i>	<i>V-Grad</i>	<i>Bezeichnung und Beschreibung</i>
I	fresh	1	<b>frisch unverwittert</b> Keine erkennbaren makro- oder mikroskopischen Veränderungen.
II	slightly weathered	2	<b>angewittert</b> Erste Verfärbungen sind durch mikroskopische Zersetzung von Mineralien erkennbar, verringerte Druckfestigkeit des Gesteins.
-	-	3	<b>leicht verwittert</b> Die Verfärbung ist deutlich rotbraun entlang von Klüften, das Gestein ist deutlich (bis zu 15%) entfestigt.
III	moderately weathered	4	<b>mittelstark verwittert</b> Entlang der Klüfte tritt starke Verwitterung auf, die Reibung entlang dieser Trennflächen ist deutlich herabgesetzt, weniger als 40 bis 50% des Gesteins sind zersetzt; alle niedrigeren Verwitterungsstufen treten nebeneinander auf.
IV	highly weathered	5	<b>stark verwittert</b> Mehr als 40 bis 50% des Gesteins sind zersetzt, die ursprüngliche Struktur ist aber noch gut erkennbar, die Klüfte bestimmen noch das Gesamtverhalten des Gebirges, obwohl die Reibung entlang der Klüfte stark herabgesetzt ist.
V	extremely weathered	6	<b>extrem verwittert</b> Die Trennflächen sind nun wirkungslos, der ursprüngliche Zusammenhalt des Gesteins ist kaum noch vorhanden, aber die ursprüngliche Gesteinsstruktur ist noch in großen Bereichen erkennbar.
VI	residual soil	7	<b>völlig verwittert</b> Die ursprünglichen Strukturen und die Gesteinszusammensetzung sind restlos zerstört, es ist eine deutliche Volumenänderung feststellbar, aber der Boden ist nicht wesentlich transportiert worden.

Tabelle 5.2: Verwitterungsgrade (W - Weathering bzw. V - Verwitterung) nach ISRM (1981b) und IAEG (1981) ergänzt um die Klasse 3 nach THURO (1996)

### 5.2.4.1.2 Charakterisierung Trennflächen

Da das Hangversagen am Bunzkögele wesentlich von den Schieferungsflächen des Gebirges bestimmt wurde, war es notwendig, diese Flächen sowohl qualitativ als auch quantitativ zu erheben und zu beschreiben. In der Abbildung 5.3 sind wesentliche Trennflächeneigenschaften, die auf die Gebirgsfestigkeit Einfluss nehmen, dargestellt.

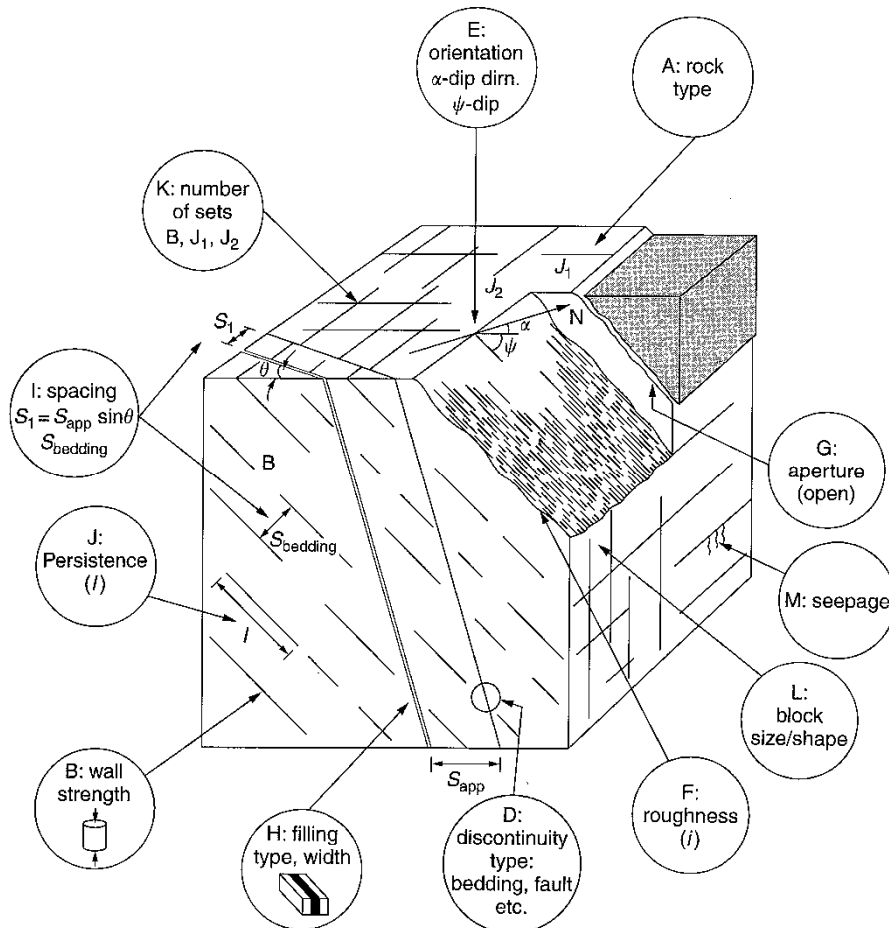


Abbildung 5.3: Darstellung wesentlicher gebirgs technischer Eigenschaften nach WYLLIE & MAH (2004)

Die *Art (D)* einer Trennfläche bezeichnet ihre Entstehung. Schieferung (sf) zum Beispiel bezeichnet ein Trennflächengefüge, welches auf die Metamorphose des Gesteins durch Mineralneubildung und Einregelung plattiger bis stengeliger Mineralien unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen zurückzuführen ist.

Im Arbeitsgebiet waren folgende Trennflächen zu unterscheiden:

- sf – Schieferungsfläche
- k – Kluft (Trennflächen ohne sichtbaren Versatz)
- s – Spalt (≡ offene Kluft)
- ha – Harnisch (einzelne Bewegungsfläche mit Bewegungslinear)
- st – Störung (breitere Zone, die sich aus vielen Bewegungsflächen zusammensetzt)

Die räumliche **Orientierung** (*E*) von Flächen kann auf den Versagensmechanismus eines Hanges einen entscheidenden Einfluss haben. Die Feldmessung von Flächen im Raum mit dem Geologenkompass ist daher eine grundsätzliche Voraussetzung für weitere Analysen, insbesondere für kinematische Betrachtungen. Eine Fläche wird im Raum durch die steilste Linie ( $\equiv$  Falllinie) festgelegt. Dazu werden zwei Werte benötigt:

- a) die Einfallsrichtung: Sie wird im Uhrzeigersinn als Abweichung von der Nordrichtung ( $\equiv$  Azimuth) gemessen und
- b) der Fallwert: Er repräsentiert den Winkel zwischen der Falllinie der Fläche und der Horizontalen.

Gleiches gilt für Lineare, wie Faltenachsen, Harnischstriemungen etc. Durch die Angabe von Richtung und Steilheit sind sie im Raum eindeutig festgelegt. Sämtliche in dieser Arbeit angeführten Messwerte zu Flächen und Linearen erfolgen in Altgrad.

Die Auswertung und Darstellung der Gefügedaten erfolgte mit dem Programm *Dips 5.0* der Firma ROCSCIENCE (2009) unter Verwendung der unteren Halbkugel und der stereografischen, winkeltreuen Projektion. Dabei handelt es sich um eine Zentralprojektion, bei welcher der Nordpol der Vollkugel das Projektionszentrum und die Äquatorebene die Projektionsebene bilden. Die stereografische Projektion hat ihre Stärken, wenn Winkelbeziehungen oder Symmetrien zwischen einzelnen Elementen dargestellt werden sollen (WALLBRECHER 1986). Die Hauptrichtungen der Trennflächen, i.e. die Schwerpunktvektoren, werden aus der sphärischen Normalverteilung (FISCHER-Verteilung) berechnet. Die Streuung vom gewichteten Mittelwert wird in Prozent angegeben.

### **Trennflächenbeschaffenheit** (*F*)

Die Erfassung der Trennflächenbeschaffenheit verfolgt das Ziel, die Scherfestigkeit und das Verhalten bei Scherverschiebungen einschätzen zu können:

- Makrorauigkeit führt bei Scherverschiebungen zu Dilatanz, wenn die Materialbrücken zu groß sind, um durchgeschert zu werden, d.h., der Hangendblock gleitet an großen Unebenheiten auf und die Flächen bewegen sich auseinander.
- Mikrorauigkeiten hingegen scheren bei Verschiebungen häufig durch, speziell dann, wenn das Verhältnis der Gesteinsfestigkeit an der Trennflächenwandung zur Normalspannung, die auf die Fläche wirkt, klein ist. Dies bedeutet dann auch, dass die Dilatanz klein ist (WYLLIE & MAH 2004).

Zweck der Erfassung der Oberflächenbeschaffenheit von Trennflächen ist es daher, die Scherfestigkeit und die Dilatanz einschätzen zu können.

Die Erfassung der Oberflächenbeschaffenheit von Trennflächen erfolgte einerseits deskriptiv nach ISRM (1981a) und andererseits durch den *Joint Roughness Coefficient* (*JRC*) nach BARTON (1973), BARTON & CHOUBY (1977) und BARTON & BANDIS (1982).

Bei der deskriptiven Methode erfolgen Angaben zur Mikrorauigkeit (rau, glatt, poliert) in der Dimension von mehreren Quadratzentimetern und zur Makrorauigkeit in der Dimension von mehreren Quadratmetern (gestuft, wellig, planar). Der erste Parameter

kann über die Fingerprobe bestimmt werden, der zweite ergibt sich aus dem Gesamteindruck (HESSE & TIEDEMANN 1989, TIEDEMANN 1992).

Aus Kombination der angeführten Werte ergeben sich die 9 deskriptiven Rauigkeitsklassen der Tabelle 5.3.

<i>Klasse</i>	<i>Mikrorauigkeit</i>	<i>Makrorauigkeit</i>
<b>I</b>	sehr rau	gestuft
<b>II</b>	rau	gestuft
<b>III</b>	glatt	gestuft
<b>IV</b>	sehr rau	wellig
<b>V</b>	rau	wellig
<b>VI</b>	glatt	wellig
<b>VII</b>	sehr rau	eben
<b>VIII</b>	rau	eben
<b>IX</b>	glatt	eben

Tabelle 5.3: Rauigkeitsklassen von Trennflächen, ISRM (1991a)<sup>2</sup>

In der Aufschlussbeschreibung (Anlage A.2) wurden die oben angeführten Bezeichnungen folgendermaßen abgekürzt:

sr...sehr rau	r...rau	gl...glatt
g...gestuft	w...wellig	e...eben

Eine relativ schnelle und einfach durchzuführende Methode zur Bestimmung des JRC nach BARTON (1973) zeigt die Abbildung 5.4. Dabei werden sowohl die Mikro- als auch die Makrorauigkeit bewertet.

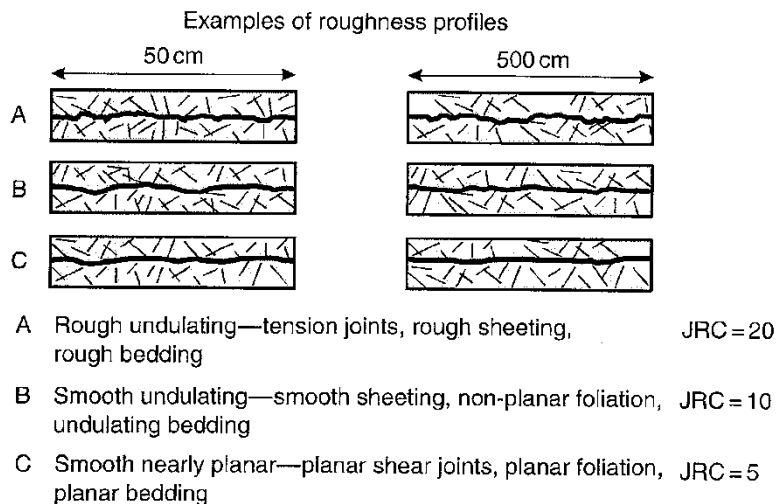


Abbildung 5.4: Standardprofile zur schnellen Bestimmung des JRC im Gelände nach BARTON (1973) (entnommen aus WYLLIE & MAH 2004)

<sup>2</sup> Die deutsche Übersetzung der Mikrorauigkeit von Englisch „smooth = glatt“ und „slickensided = poliert“ ist verwirrend; außerdem ist die Unterscheidung zwischen glatten und polierten Flächen im Gelände praktisch nicht durchführbar. Deshalb fanden die Bezeichnungen der Mikrorauigkeiten sehr rau, rau und glatt von TIEDEMANN (1992) Anwendung. Die Unterscheidung zwischen glatten und rauen Flächen lässt sich mit dem Finger spürbar nachvollziehen.

In Ergänzung zur angeführten, einfach gehaltenen 3-Klassen-Einteilung wurde der JRC der Flächen im Kleinbereich (10 Zentimeter) in Richtung des Gleitens anhand vorgegebener, fein abgestimmter Rauigkeitsprofile von BARTON & CHOUBY (1977) visuell erhoben (Abbildung 5.5a). Die Bestimmung des JRC im Makrobereich (Dezimeter bis Meter) erfolgte unter Anwendung des von BARTON & BANDIS (1982) entwickelten Nomogramms (Abbildung 5.5b). Dazu wird mit Hilfe eines geraden Stabes zuerst der Abstand zwischen zwei Rauigkeitsbergen (Wellenlänge) und dann das größte Abstichmaß (Amplitude) dazwischen bestimmt. Mit diesen beiden Eingangsgrößen kann der JRC aus dem Diagramm abgelesen werden

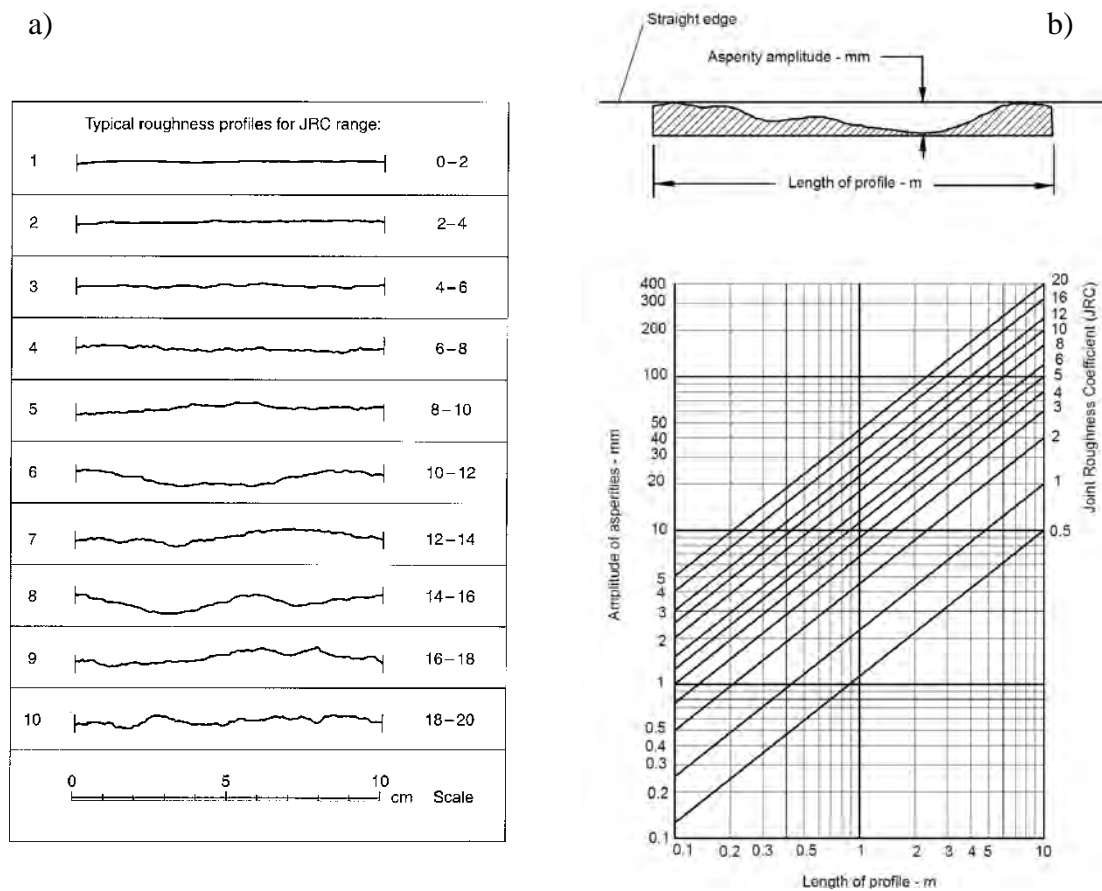


Abbildung 5.5: a) Standardprofile zur Bestimmung des JRC nach BARTON & CHOUBY (1977)  
b) Nomogramm zur Bestimmung des JRC nach BARTON & BANDIS (1982)

### Öffnung von Trennflächen (G)

Die Öffnung von Trennflächen bezeichnet den Normalabstand zweier benachbarter Flächen. Öffnungsweiten von Trennflächen geben einerseits Auskunft über die Teilbeweglichkeit der Klufkörper und andererseits Anhaltspunkte über die Permeabilität des Gebirgskörpers. Nach ISRM (1981a) werden 9 Klassen (Tabelle 5.4) unterschieden:

Klasse	Öffnung [mm]	Beschreibung	
1	< 0,1	sehr eng	geschlossen
2	0,1-0,25	eng	
3	0,25-0,5	tw. offen	
4	0,5-2,5	wenig weit offen	offen
5	2,5-10	mäßig weit offen	
6	> 10	weit offen	
7	10-100	sehr weit offen	kavernös
8	100-1.000	extrem weit offen	
9	> 1.000	kavernös	

Tabelle 5.4: Öffnungsklassen Trennflächen, ISRM (1981a)

Die visuelle Beurteilung der genauen Öffnungsweiten gestaltet sich in der Praxis als schwierig und ist häufig mit großen Unschärfen behaftet, besonders dann, wenn die Trennflächen in die Kategorie „geschlossen“ fallen, da die Abstufungen hier im Zehntelmillimeterbereich liegen. Zum anderen stellt die Öffnung der Trennfläche keine konstante Größe dar, sondern variiert, lateral gesehen, häufig. Auch die Überlagerung und die Höhe des Bergwasserspiegels haben einen Einfluss auf die Öffnungsweite, den es zu berücksichtigen gilt, da die Ansprache überwiegend an der Geländeoberfläche erfolgt. Trotz dieser Schwierigkeiten lassen sich die übergeordneten Kategorien geschlossen, offen und kavernös im Aufschluss bestimmen und allgemein gültige Aussagen zu den geomechanischen Eigenschaften, die durch die Öffnung der Trennflächen bestimmt werden, ableiten.

### Trennflächenabstand (I)

Der Abstand der einzelnen Trennflächensets (Tabelle 5.5), vorausgesetzt es liegt ein entsprechend hoher Durchtrennungsgrad (s. nächster Punkt) vor, kontrolliert die Größe der Klufkörper.

Klasse	Abstand deskriptiv	Abstand [mm]
1	extrem engständig	<20
2	sehr engständig	20-60
3	engständig	60-200
4	mittelständig	200-600
5	weitständig	600-2.000
6	sehr weitständig	2.000-6.000
7	extrem weitständig	>6.000

Tabelle 5.5: Trennflächenabstand für Klüfte und Schieferung, ISRM (1981a)

**Durchtrennungsgrad (J)**

Der Durchtrennungsgrad bezeichnet den Grad der Erstreckung von Diskontinuitäten. Die Tabelle 5.6 enthält als Meterintervalle ausgewiesene Klassen der Erstreckung von Trennflächen.

<i>Klasse</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Erstreckung [m]</i>
1	sehr geringe Erstreckung	<1
2	geringe Erstreckung	1-3
3	mittlere Erstreckung	3-10
4	große Erstreckung	10-20
5	sehr große Erstreckung	>20

Tabelle 5.6: Durchtrennungsgrad von Trennflächen ISRM (1981a)

Trennflächen mit einem hohen Durchtrennungsgrad begünstigen grundsätzlich die Teilbeweglichkeit der Klufkörper.

Ähnlich wie die Öffnungsweite stellt auch die Erstreckung von Trennflächen einen schwierig zu bestimmenden Parameter dar. Dies liegt häufig in unzureichend kleinen Aufschlüssen begründet. Andererseits können schräg oder normal auf die Aufschlussrichtung verlaufende Flächensets, sofern keine großen Felsvorsprünge vorhanden sind, nicht weiter verfolgt werden. Die für die Mechanik der Großhangbewegung maßgeblichen Schieferungsflächen sind als vollkommen durchtrennt anzunehmen (Klasse 5).

**Trennflächenfüllung (H)**

Bei gefüllten Trennflächen sind einerseits die Materialeigenschaften und andererseits die Mächtigkeit der Füllung von Interesse. Weiche, tonige Klufbeläge mit geringem Reibungswinkel erhöhen allgemein die Teilbeweglichkeit. Weisen diese eine entsprechende Mächtigkeit auf, so verschmieren bei Bewegungen die Mikrorauigkeiten der Klufflächen, sodass folglich die Reibung drastisch herabgesetzt wird.

**Wasserführung (M)**

Zur Abschätzung der momentanen Bergwasserverhältnisse wurde der Wasserfluss an den Trennflächen gem. der nachfolgenden Tabellen bewertet. Dabei wurde zwischen offenen, nicht gefüllten (Tabelle 5.7) und gefüllten Trennflächen (Tabelle 5.8) unterschieden.

<i>Klasse</i>	<i>Beschreibung</i>
1	enge und trockene Trennfläche; ein Wasserfluss entlang der Fläche kann ausgeschlossen werden
2	trockene Trennfläche ohne Hinweis auf Wasserfluss
3	trockene Trennfläche mit Hinweis auf Wasserfluss (Trennfläche verfärbt)
4	feuchte Trennfläche, freies Wasser ist nicht sichtbar
5	Trennfläche mit tropfendem Wasser, kein kontinuierliches Rinnen
6	rinnendes Wasser an der Trennfläche, kontinuierliches Rinnen

Tabelle 5.7: Durchfluss von nichtgefüllten, offenen Trennflächen ISRM (1981a)



<i>Klasse</i>	<i>Beschreibung</i>
1	stark konsolidierte und trockene Füllung, aufgrund der sehr niedrigen Permeabilität erscheint ein maßgeblicher Durchfluss unwahrscheinlich
2	feuchte Füllung, ohne freies Wasser (= Tropfwasser)
3	feuchte Füllung mit lokalem Tropfwasser
4	Füllung mit leichten Auswaschungen, kontinuierlicher Wasserfluss
5	Füllung lokal ausgewaschen, deutlicher Wasserfluss
6	Füllung komplett ausgewaschen, großer Wasserandrang

Tabelle 5.8: Durchfluss von gefüllten Trennflächen ISRM (1981a)

### 5.2.4.1.3 Charakterisierung Gebirge

Die Gebirgsfestigkeit setzt sich wesentlich aus der Gesteins- und Trennflächenfestigkeit zusammen. Zur Ableitung von Gebirgsfestigkeiten sind daher Kennwerte für das Gestein und die mechanisch wirksamen Trennflächen erforderlich. Durch Kombination der Werte lässt sich eine Gebirgsfestigkeit, wie sie verschiedene Klassifikationsschemata verwenden (zum Beispiel RMR, Q-System etc.), angeben. Zur Einschätzung der Gebirgsfestigkeit und um auch das Hangversagen mit dem HOEK-BROWN Kriterium zu modellieren (Kap. 8), wurde der Geological Strength Index (GSI) erhoben.

### *Geological Strength Index (GSI)*

HOEK & BROWN (1980a) definierten ein empirisches, nichtlineares Bruchkriterium für das Gebirge. Einen wesentlichen Eingangsparameter dieses Kriteriums stellt heute der GSI, welcher einen gebirgsspezifischen Wert bezeichnet, dar. Dieser kann im Gelände mit einiger Erfahrung auf Basis der Schaubilder nach MARINOS & HOEK (2000, 2001) bestimmt werden. Er ergibt sich aus der Kombination

- a. des Zerlegungsgrads, i.e. Blockgröße und
- b. der Trennflächenbeschaffenheit.

Je nach Gesteinsausbildung stehen zwei Tabellen zur Verfügung:

a) relativ homogen zusammengesetzte, klüftige Gesteine

**GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)**  
 From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS				
	DECREASING SURFACE QUALITY →				
	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
INTACT OR MASSIVE - Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

↓ DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓

b) Heterogene Gesteinsabfolgen, wie z.B. Flysch

**GSI FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (Marinos P and Hoek, E, 2000)**  
 From a description of the lithology, structure and surface conditions (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. Locate the position in the box that corresponds to the condition of the discontinuities and estimate the average value of GSI from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than giving GSI = 35. Note that the Hoek-Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

COMPOSITION AND STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)				
	VERY GOOD - Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD - Rough, slightly weathered surfaces	FAIR - Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR - Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR - Very smooth slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
<b>A. Thick bedded, very blocky sandstone</b> The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.	70	60	<b>A</b>		
<b>B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone</b>		50	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>C. Sandstone and siltstone in similar amounts</b>				<b>C</b>	<b>D</b>
<b>D. Siltstone or silty shale with sandstone layers</b>					<b>D</b>
<b>E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers</b>					<b>E</b>
<b>F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure</b>			30	20	<b>F</b>
<b>G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers</b>					<b>G</b>
<b>H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.</b>					<b>H</b> 10

→ : Means deformation after tectonic disturbance

### ***Kluftkörpergrößen und -form (L)***

Neben dem GSI wurden die Kluftkörpergröße und -form als weitere gebirgsspezifische Parameter erhoben. Nach PACHER (1959) bestimmen die Kenngrößen Trennflächenabstand und Durchtrennungsgrad gemeinsam den Zerlegungsgrad des Gebirges bzw. die Kluftkörpergrößen. Sie lassen Schlüsse über die potentielle Teilbeweglichkeit des Gebirges zu. Die Bestimmung der Kluftkörpergrößen erfolgte in Anlehnung an den von MÜLLER (1963) beschriebenen Regelkluftkörper, der über eine mittlere Kantenlänge definiert wird (Tabelle 5.9). Abweichend davon wurden jedoch keine Messlinien über die Aufschlüsse gelegt, sondern die Stein- und Blockgrößen der Schuttbildungen unterhalb von Felswänden unter Zuhilfenahme des Meterstabs eruiert. Zudem wurden die Blockgrößen an den dokumentierten Aufschlüsse visuell abgeschätzt.

<i>KG</i>	<i>Mittlere. Kantenlänge [cm]</i>
1	>200
2	200-60
3	60-20
4	20-6
5	<6

Tabelle 5.9: Kluftkörpergrößen (KG) nach MÜLLER (1963)

Die Kluftkörperform kann Hinweise auf das Vorherrschen einer Trennflächenschar liefern. Zum Beispiel bilden sich bei geschieferten Gesteinen vorzugsweise plattige Kluftkörper aus. Für die Ansprache der Kluftkörperform wurde die im Gelände einfach anzuwendende Klassifizierung der IAEG (1981) verwendet. Unterschieden wurde zwischen polyedrischen, prismatischen, plattigen und säuligen Typen.

### **5.3 Numerische Modellierung**

Das aus der Kartierung rekonstruierte Deformationsbild des Böschungskörpers wurde durch den Einsatz eines numerischen Rechenprogramms modelliert. Auf die Methodik der numerischen Modellierung wird speziell und detailliert im Kap. 8, Numerische Modellierung, eingegangen.



## 6 Strukturen der Tektonik und Hangtektonik im Bearbeitungsgebiet

### 6.1 Allgemeines

Die verschiedenen Deformationsphasen der Alpidischen Gebirgsbildungsära haben ein mannigfaltiges Inventar an metamorphen und tektonischen Strukturen in den Gesteinen der Bündner Schiefer Gruppe hinterlassen. Dieses wurde durch die im Postglazial einsetzenden Hangbewegungen (s. Kap. 3) am Bunzkögele überprägt, und es entstanden neue spröde Strukturen. Im Folgenden werden die Strukturen der Tektonik und der Hangtektonik beschrieben. Zudem werden die Unterscheide zwischen den Strukturen der Tektonik und der Hangtektonik erläutert.

### 6.2 Tektonische Strukturen

#### 6.2.1 Schieferung

Das bedeutendste Strukturelement stellt die metamorphe Schieferung der Bündner Schiefer dar. Sie folgt dem ursprünglichen Lagenbau der Sedimente und entstand während der Tauernkristallisation im Alttertiär (FRANK ET AL. 1987). Während der Regionalmetamorphose wurden die Minerale unter den vorherrschenden Druck- und Temperaturbedingungen bevorzugt ausgerichtet. Zusätzlich zur beschriebenen Hauptschieferung tritt parallel bis annähernd parallel dazu eine Achsenflächenschieferung isoklinaler Scherfalten auf (Abbildung 6.1; Anlage A.2: Abb. HBWG-10). Die Schieferung ( $\pm 180^\circ/60^\circ$ ) bedingt, dass am Bunzkögele und an der Bretterwandspitze die Gesteine parallele, nach Süden einfallende, tafelförmige Klufkörper respektive Lamellen bilden (Profil 1-1, Anlage E.5; Anlage A.2: Abb. HBWG-26). Die durchgängigen Schieferungsflächen des Böschungskörpers haben auf das Hangversagen (s. Kap. 9) einen entscheidenden Einfluss.

#### 6.2.2 Lineation

Neben der die Gesteine prägenden Hauptschieferung tritt noch ein subhorizontales, Ost-West bis Nordost-Südwest streichendes Streckungslinear (Anlage A.2: FTS-03, FTS-07, und FTS-11), welches im Zuge der lateralen Extrusion von Krustenteilen und der Heraushebung des Tauernfensters im Tertiär gebildet wurde, auf (LAMMERER & WEGER 1998). Bedeutung erlangt letzt Genanntes für die Rauigkeit der Schieferungsflächen (s. Kap. 7).

#### 6.2.3 Duktile Falten

Mit dem Einsetzen der Subduktion des Südpenninikums in der Unterkreide entwickelte sich anfangs ein Falten- und Überschiebungsgürtel in Form eines Akkretionskeils und in weiterer Folge durch die anhaltende Einengung ein übereinander gestapeltes Deckensystem mit liegenden isoklinalen Falten im Klein- und Großbereich, die später von offenen Falten überprägt wurden (LAMMERER & WEGER 1998). Kleine Falten, im

Zentimeter- bis Meterbereich, lassen sich an vielen Orten in den Gesteinen der Matreier Zone und der Glockner Decke beobachten.

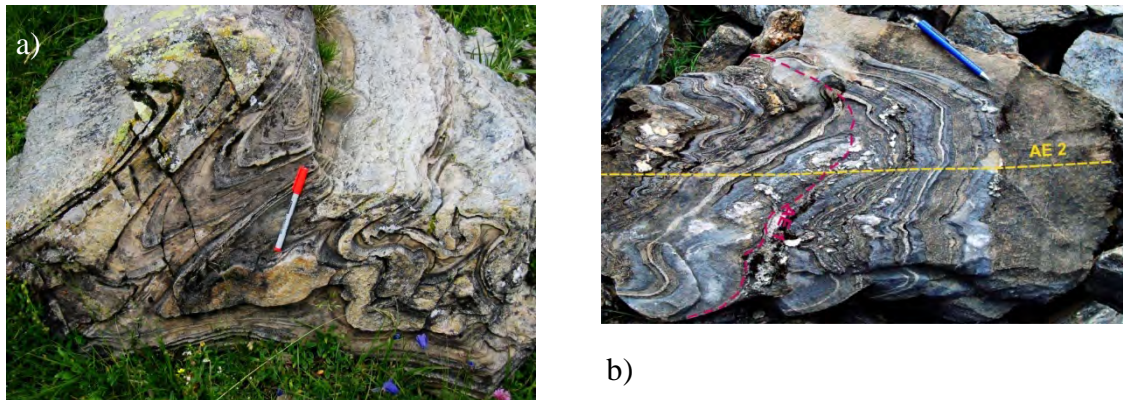


Abbildung 6.1: a) Duktil verfaltete Kalkglimmerschiefer der Glocknerdecke (Zone 2), 2.040 m.ü.A., Handstück Nähe „Ochsenstoan“ (Westsporn Bunzkögele); grobkörnigere, turbiditische<sup>1</sup> Schüttungen wittern hervor  
 b) Polyphase Faltung im Kalkglimmerschiefer der Glockner Decke; AE 1 – Spur der Achsenebene der älteren, isoklinalen Faltung, AE 2 - Spur der Achsenebene der jüngeren, offenen Faltung; Handstück Sunzgraben, 2.000 m.ü.A.

Abbildung 6.1 zeigt zwei Handstücke von isoklinalen Falten, die für den Baustil der Matreier Zone und Glockner Decke typisch sind. Sie entstanden aus anfänglichen Biegegleitfalten durch zunehmende tektonische Versenkung bei penetrativer Verformung an engständigen Scherflächen (EISBACHER 1991). Charakteristisch für diese Art der Verformung ist eine Schieferung, die parallel oder nahezu parallel zur Achsenfläche ausgebildet ist. In Abbildung 6.1a sind die Scharnieren deutlich dicker als die Schenkel. Unter Anwendung des Verfahrens der „Dip Isogonen“ nach RAMSAY & HUBER (1987) lassen sich die Falten als Klasse 1C bis 2 (annähernd kongruente bis kongruente Falten) klassifizieren. In Abbildung 6.1b ist ein polyphaser Faltenbau zu erkennen, bei dem die ältere, isoklinale Falten-generation AE 1 von einer jüngeren offenen AE 2 überprägt wurde. Am rechten Rand des Bildes ist die ausgeprägte Achsenflächenschieferung der jüngeren Falte ersichtlich. Die unterschiedliche Farbgebung (leicht braun und grau) spiegelt vermutlich den ursprünglichen Lagenbau des Sediments wider: gröbere, leicht braune Lagen, die quarzitischen Turbiditen entsprechen, wittern gegenüber kalkigeren Lagen hervor.

Im Gegensatz dazu unterscheiden sich die Falten der Hangtektonik klar durch ihren spröden Charakter wie zum Beispiel die Kleinfalten der Abbildung 6.12 (s. dieses Kapitel Pkt. 6.3.2.2). Die spröde Natur lässt sich hier an den geknickten Faltscharnieren und der gleichen Mächtigkeit der Schieferungslamellen ablesen.

<sup>1</sup> gravitative, subaquatische Sedimentströme



### 6.2.4 Scherzonen

Ein weiteres Merkmal des tektonischen Baustils sind spröd-duktilen Scherzonen in der Größenordnung von Dezimeter bis 10er Meter Breite. Diese Zonen bestehen häufig aus spitzwinklig zur Schieferung verlaufenden Scherflächen, die zusammen mit der Schieferung sigmoidale Scherkörper bilden (Abbildung 6.2; Anlage A.2: FTS-02, FT-03, und HBWG-25).

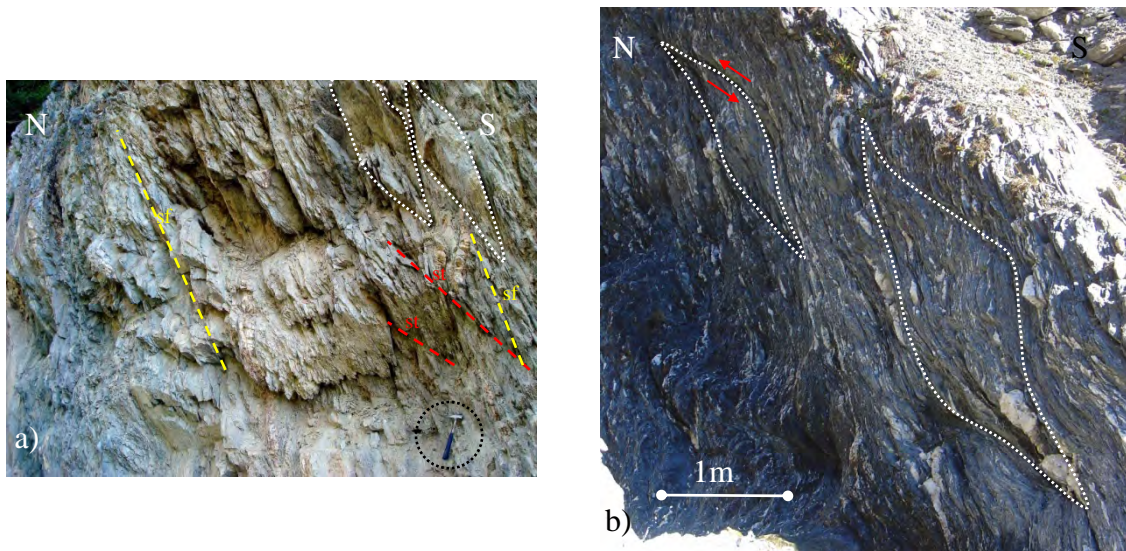
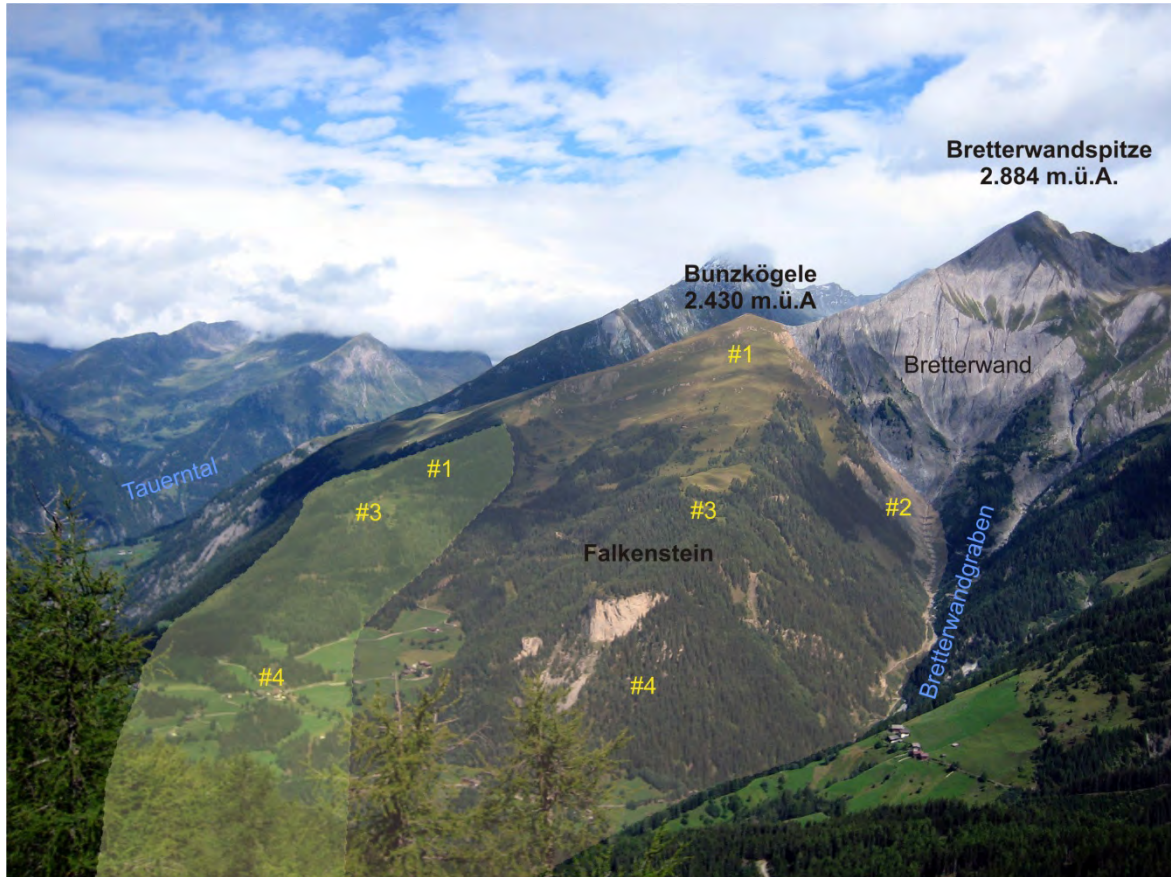


Abbildung 6.2: a) Störung Brettergraben; tektonische Scherzone mit sigmoidalen, linsig geformten Scherkörpern (Vertreter weiß strichliert); sf gelb strichliert; Scherflächen (st) rot strichliert; außerhalb der Großhangbewegung, Forststraße Roaneralm, 1.445 m.ü.A. b) sigmoidale Scherkörper (weiß punktiert angedeutet) in Kalkphylliten im hinteren Bretterwandgraben mit aufschiebendem, nach Norden weisenden Bewegungssinn (rote Pfeile), außerhalb der Großhangbewegung, 1.835 m.ü.A. (Anlage A.2: HBWG-25)

## 6.3 Hangtektonische Strukturen

### 6.3.1 Übersicht der Massenbewegung Bunzkögele



#### Legende

	Hauptbewegung
	Bewegung Westsporn

Abbildung 6.3: Übersicht der Massenbewegung Bunzkögele; Standpunkt Bergstation Gondelbahn Goldried; die Nummern bezeichnen maßgebliche, hangtektonische Strukturbereiche:

Strukturbereich # 1, Oberhang (Kopf): Zone der Abschiebungen (engl. *scarps*)

Strukturbereich # 2, Bretterwandgraben: Schlüsselaufschlüsse zur Interndeformation: Knickfaltung (breite Scherzone)

Strukturbereich # 3, Mittelteil: Nackentäler; Bereich mit Extension

Strukturbereich # 4, Unterhang (Stirn): Biegekippen respektive Topplingzone (überkippte Lagerung der sf), Schlüsselaufschlüsse im Bretterwandgraben zur Interndeformation, Faltenscharnier der Topplingzone



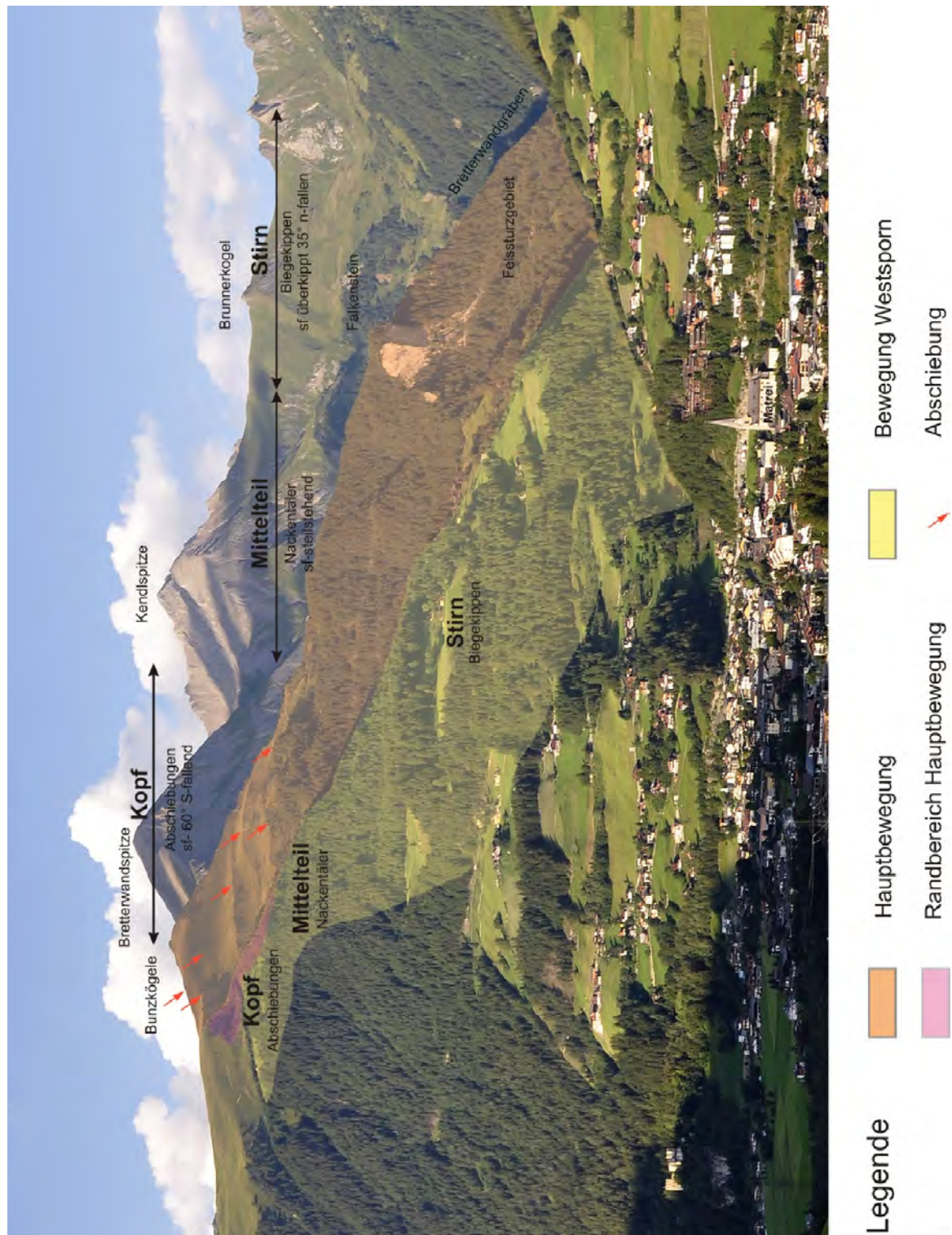


Abbildung 6.4: Übersicht der Massenbewegung Bunkögele; Standpunkt Kirche St. Nikolaus; Blickrichtung Nordosten

STRUKTURGEOLOGISCHE KARTE DER HANGTEKTONIK EZG BRETTERRWANDBACH

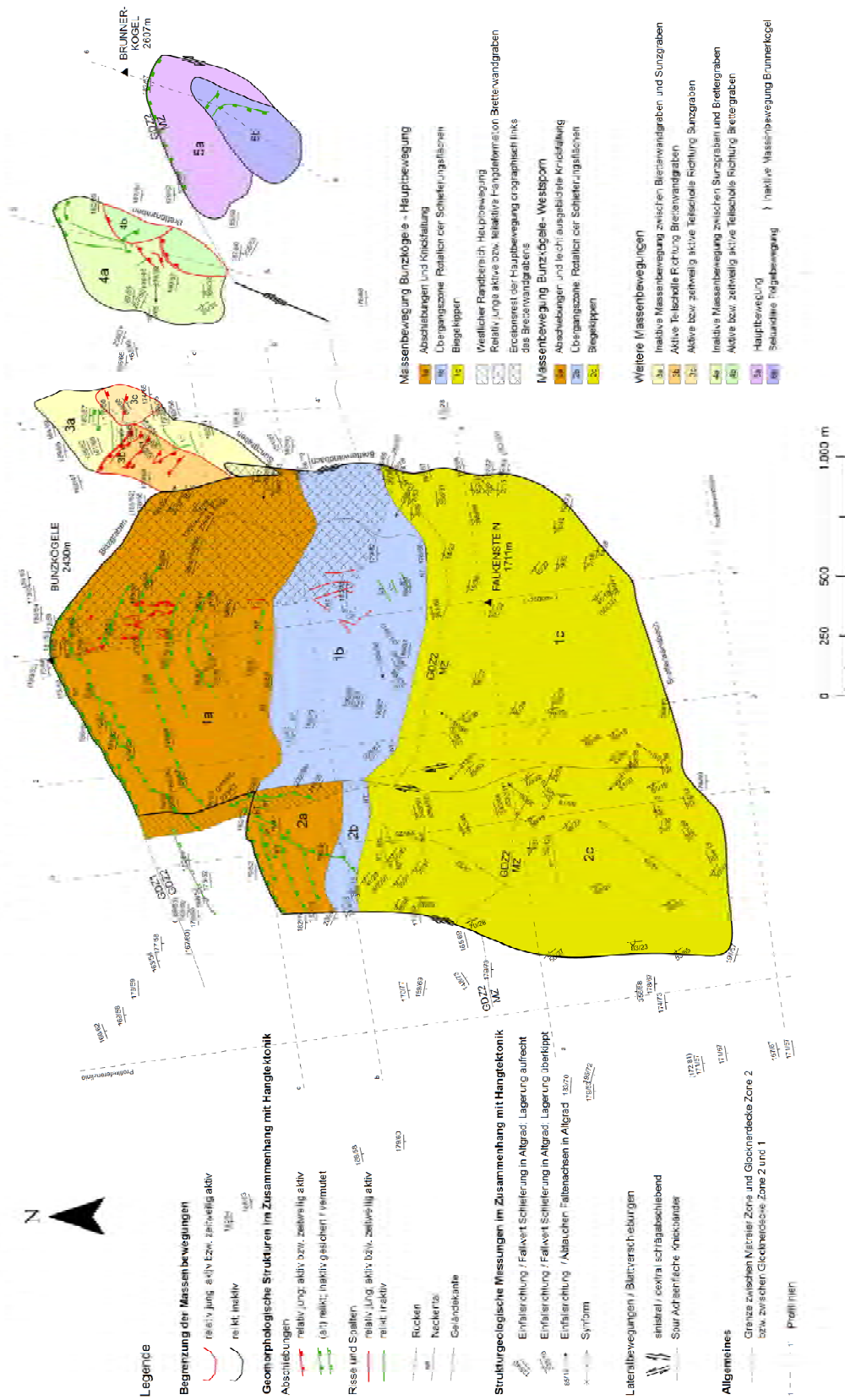


Abbildung 6.5: Strukturgeologische Karte der Hangtektonik (s.a. Anlage E.2 und E.3)



### 6.3.2 Oberhang (Kopf) der Massenbewegung (Strukturbereich #1 und #2)

#### 6.3.2.1 Geländeabsetzungen am Gipfelhang des Bunzkögeles (Strukturbereich #1)

Der Gipfelhang des Bunzkögeles wird von Absetzungen des Geländes (Abschiebungen, engl. *scarps*), welche von weitem deutlich sichtbar sind, gegliedert. Das Hangprofil ist von Norden nach Süden treppenartig gestuft (Abbildung 6.6; Abbildung 6.7). Die auffälligen geomorphologischen Stufen folgen dabei der Schieferung, die +/- Ost-West streicht und zwischen 45° und 60° nach Süden einfällt.

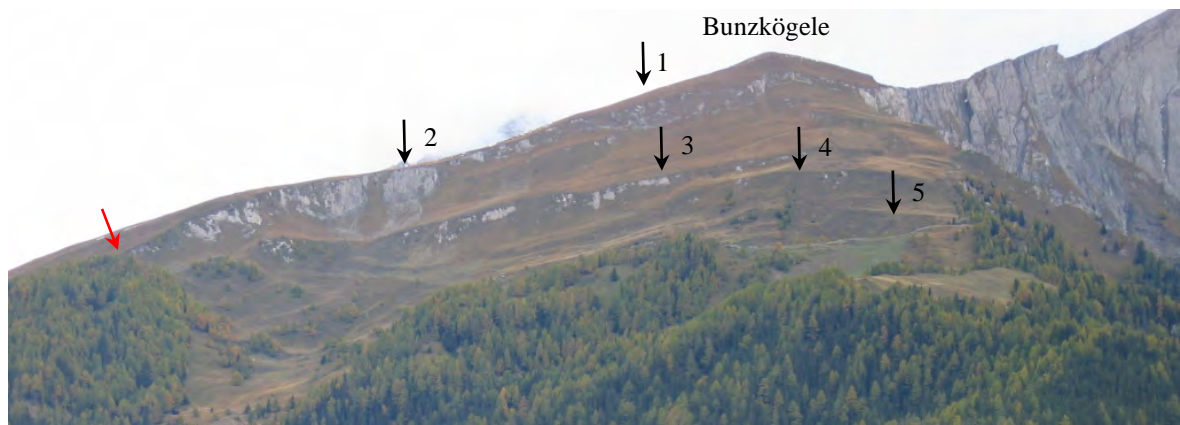


Abbildung 6.6: Die großen Abschiebungen (Nr. 2 bis 5) am Bunzkögele (Frontalansicht, Blickrichtung nach Norden); der rote Pfeil markiert das westliche Ende der Hauptabschiebung (Nr. 2); Nr. 1 zeigt die Position der „Gipfelabschiebung“ an

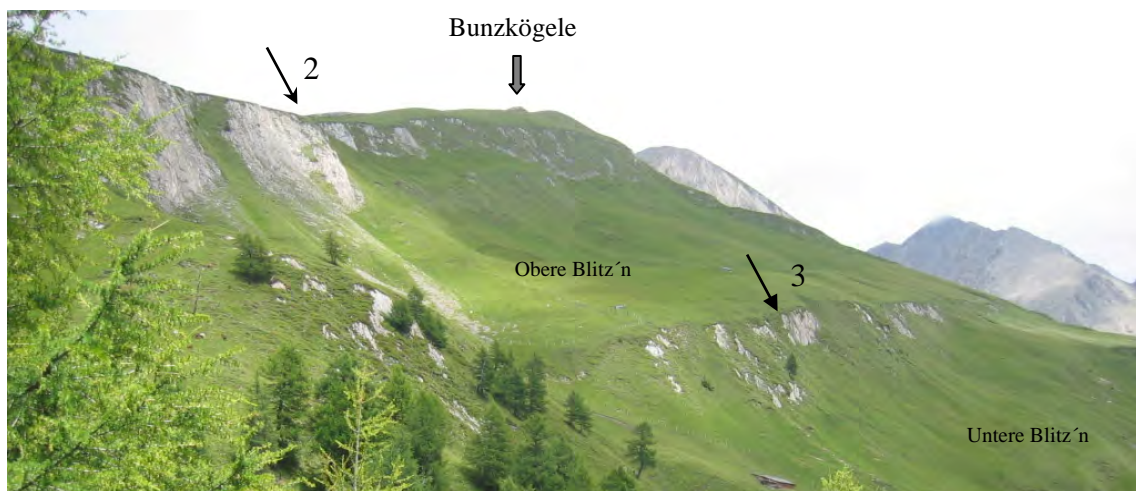


Abbildung 6.7: Abschiebungen Nr. 2 und 3 am Bunzkögele (Blick vom Ochsenstoan, Richtung Nordosten)

Ausgehend vom Gipfel des Bunzkögeles lassen sich folgende Abschiebungen kartieren:

Nr.	Beschreibung	Mittlerer Fallwert der Schieferung [Altgrad]	Versatz vertikal max. $\Delta V$ [m] <sup>2</sup>	Versatz horizontal max. $\Delta H$ [m]
1	- Abschiebung unmittelbar südlich vom Bunzkögele: Gipfelabschiebung; südlich davon kleinere Absätze (Anlage A.2:BL-04.); läuft im Westen aus, mündet im Osten in den Blitzgraben; begrenzt die Hangbewegung im Norden;	60	7	4
2	- Hauptabschiebung Obere Blitz'n, südlich davon kleinerer Absatz; mehrmals bis zu 65 m sinistral horizontal versetzt; konvexer Verlauf im Grundriss (Kap. 2, Abbildung 2.1); läuft im Westen aus (roter Pfeil, Abbildung 6.6);	60	70	40
3	- grenzt Obere und Untere Blitz'n ab (Abbildung 6.7); im Grundriss relativ gerader, dem Streichen der sf folgender Verlauf; läuft im Westen, beim Gratrücken Ochsenstoan aus;	54	40	29
4	- Nächst südlich gelegene Abschiebung; Abschiebung rechts- (40 m) und linkshändig (15 m) horizontal versetzt; Verlauf im Westen undeutlich;	50	40	34
5	- Abschiebung nördlich der Trogalm; lässt sich nur bis Geländemulde der Schmutzerälbe verfolgen;	50	30	25
6	- Abschiebung unmittelbar nördlich der Trogalm; nur dort erkenntlich, verliert sich im Osten und Westen;	50	8	7

Tabelle 1: Beschreibung der Hauptabschiebungen Oberhang des Bunzkögeles

Durch die Bildung der Summen der letzten beiden Spalten erhält man einen Gesamtbetrag für die Vertikalverschiebungen  $\Delta V$  von 195 m und für die Horizontalverschiebungen  $\Delta H$  von 139 m. Da verschiedene kleinere Abschiebungen nicht berücksichtigt wurden und der Fußpunkt der Abschiebungen durch Schutt und Verwitterungsbildungen nicht immer deutlich erkennbar bzw. rekonstruierbar war, sind die Werte als Minima zu betrachten.

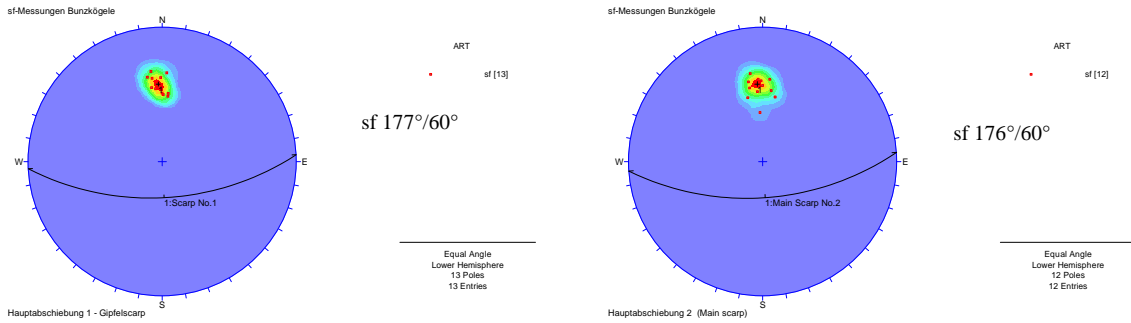
Die Messungen der Schieferungsflächen haben ergeben, dass sie in unmittelbarer Gipfelregion mit +/- 60° nach Süden einfallen. Nach Süden, zur Trogalm wird das Einfallen sukzessive flacher. Die Fallwerte weisen dort eine Steilheit zwischen 45° und 50° (Abbildung 6.8) auf. Zudem fällt auf, dass die Schieferungsflächen zum Gratrücken Ochsenstoan einerseits und am Ostende der Blitz'n und in der Steiflanke zum Bretterwandgraben andererseits nach Südwesten drehen (Abbildung 6.8, Abschiebung 3).

<sup>2</sup> im Gelände erkennbarer Versatz

Die Änderung im Streichen stellt eine Schleppung der Schieferung an den Rändern der Hauptbewegung dar. Auf diese Besonderheit wird unter Punkt 6.3.5 und in Kap. 9 noch näher eingegangen.

**Abschiebung Nr. 1 (Gipfelabschiebung)**

**Abschiebung Nr. 2 (Hauptabschiebung)**



**Abschiebung Nr.3**

**Abschiebung Nr. 4 und weitere**

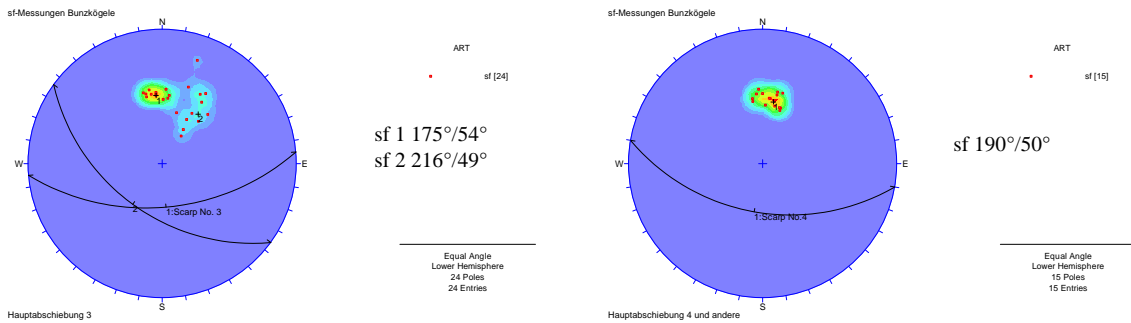


Abbildung 6.8: Gefügediagramme ausgewerteter sf der einzelnen Hauptabschiebungen Nr. 1 bis Nr. 4 am Gipfelhang Bunzkögele (Polpunkt- und Isoliniendarstellung; Hauptrichtungen als Großkreise eingezeichnet)

**6.3.2.2 Die Faltenzone (Knickfalte) des oberen Bretterwandgrabens, (Strukturbereich #2)**

Am oberen, orografisch rechten Einhang des Bretterwandgrabens, von 1.800 bis 1.850 m.ü.A. ist die Interndeformation der Massenbewegung aufgeschlossen. Die Gesteinspakete werden hier auf engem Raum verfaltet. Dabei ändert sich die Einfallrichtung der Schieferung von einem aufrechten Süd- in ein überkipptes Nordeinfallen. (Abbildung 6.9, Abbildung 6.11; Änderung der Fallrichtung der sf von 215°/51° auf 37°/59°)<sup>3</sup>. Das Zurückkehren der Schieferung in das Südeinfallen bei 1.580 m.ü.A., wie es von ZISCHINSKY (1965, 1966a) beschrieben und auch fotografisch festgehalten wurde, ist heute nicht mehr klar erkennbar, da das Scharnier durch Schutt der seitlichen Flanke bedeckt ist. Das Umbiegen lässt sich aber noch orografisch rechts über Messungen der Schieferungsflächen vom überkippten, nordwärts gerichteten Einfallen oberhalb der Wildbachsperre (HM 46,87) in das aufrechte, südwärts gerichtete (i.e. die hangtektonisch nicht verstellte Schieferungsfläche) unterhalb der Sperre nachvollziehen.

<sup>3</sup> s. auch Anlage B 2 und Strukturgeologische Karte Anlage E.2 und E.3

Ein weiteres, aufgeschlossenes Scharnier der Massenbewegung, bei dem die Schieferungsflächen von Norden nach Süden drehen, findet sich weiter bachabwärts, bei 1.460 m.ü.A., etwas nördlich der Dolomitmarmorrippe im Bereich der Topplingzone (Pkt. 6.3.4.1). Durch die beiden genannten Scharniere ist die Tiefe der Massenbewegung, welche mehr oder weniger dem Niveau des Bachs folgt, gut dokumentiert.

Das Scharnier der hangtektonischen Falte im oberen Bretterwandgraben befindet sich ca. bei 1.850 m.ü.A. Das Umbiegen in den überkippten nordfallenden Schenkel erfolgt etwa 350 Höhenmeter tiefer als die Abschiebungen im Oberhang. Die Falte hat eine Größe von mehreren 10er Metern und besitzt ein relativ enges Scharnier. Da die Gesteinspakete, wie beschrieben, höhenmäßig beim heutigen Bachniveau in ein normales, aufrechtes Südfallen zurückkehren, ergibt sich ein relativ kurzer, überkippter Nordschenkel zwischen zwei langen Südschenkeln (s. Profil 1-1, Anlage E.5). Falten, bei denen sich ein kurzer Schenkel zwischen zwei langen Schenkeln ausbildet und die enge Scharniere aufweisen werden als „Knickfalten“ (engl. *kink folds*) bezeichnet (RAMSAY & HUBER 1987, TWISS & MOORES 1992). Das Scharnier der Falte in Abbildung 6.9 ist komplex gebaut. Das Umbiegen erfolgt an einer Reihe von Knicken. Im Innersten der Falte haben daran Scherverschiebungen stattgefunden. Am aufrechten Schenkel treten kurz vor dem Scharnier Abschiebungen auf. Die hiedurch eingesunkene Scholle wird von jungen Hangschuttsedimenten plombiert, was die junge Bildung der Abschiebungen (s.a. Pkt. 6.3.7.1) belegt. Aber auch die zuvor genannten Kriterien weisen auf den spröden Charakter der Deformation hin und lassen somit eindeutig diese Strukturen als Bildungen der Hangtektonik erkennen.

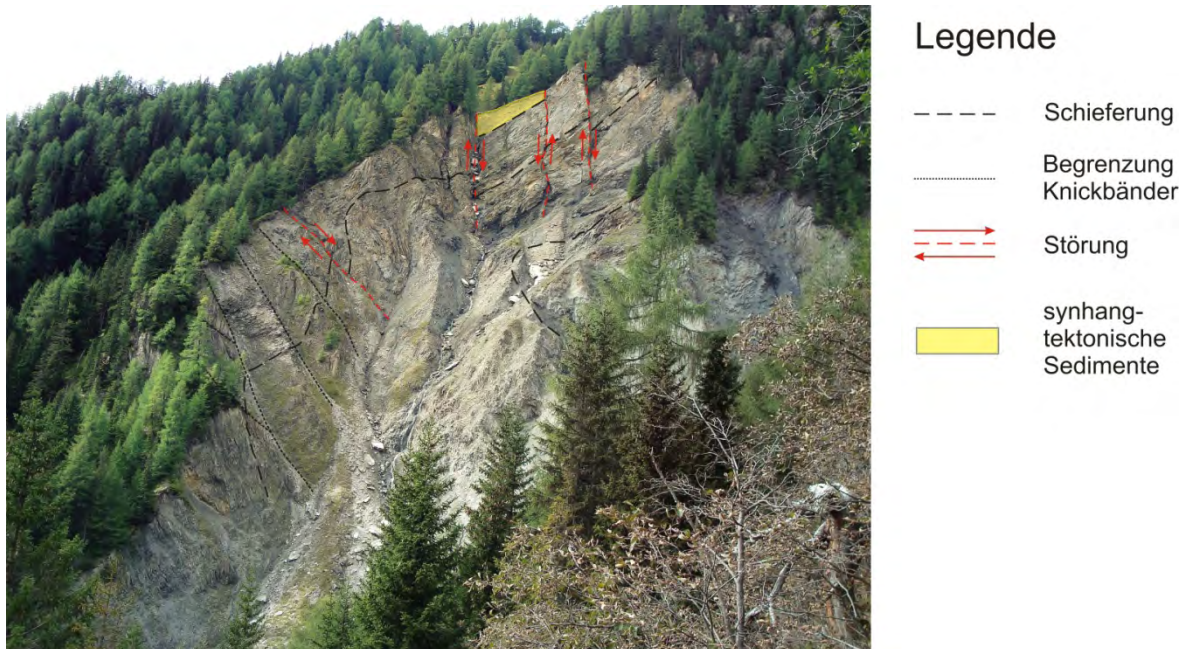


Abbildung 6.9: Hangtektonische Faltung der Gesteinspakete, Bretterwandgraben Osthang, 1.850 m.ü.A. Durch die Froschperspektive erscheinen die Proportionen der Falte verzerrt.



In der Abbildung 6.10 wurden die Schieferungsflächen des Faltscharniers für zwei nach Norden einfallenden Maxima in zwei Gefügediagrammen ausgewertet. Für das stärkere Maximum ergibt sich eine Faltenachse, die mit  $21^\circ$  nach Westnordwest abtaucht (Abbildung 6.10a), für das schwächere eine, die nahezu horizontal liegt und eine Richtung nach Südosten aufweist (Abbildung 6.10b). Weitere ausgewertete Faltenachsen zeigt die Abbildung 6.11b.

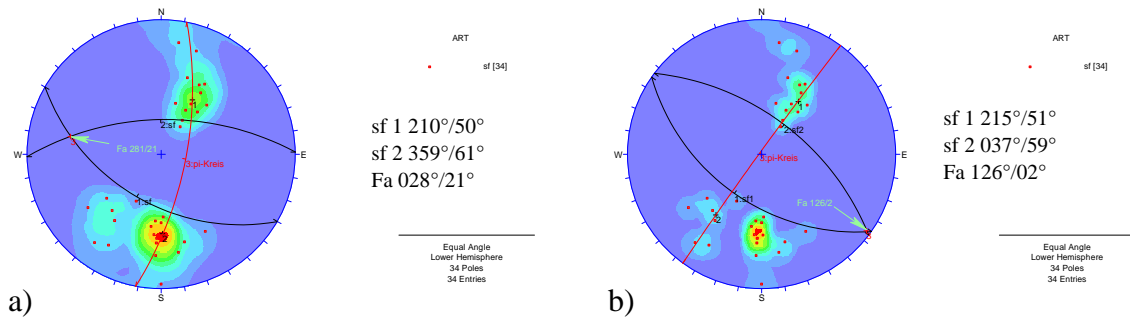


Abbildung 6.10: Gefügediagramme zweier ausgewerteter, unterschiedlicher Maxima zur Rekonstruktion der Faltenachsen des Scharniers im Bereich der großen Knickfalte, hinterer Bretterwandgraben (Polpunkt- und Isoliniendarstellung, Haupttrichtungen als Großkreise eingezeichnet)

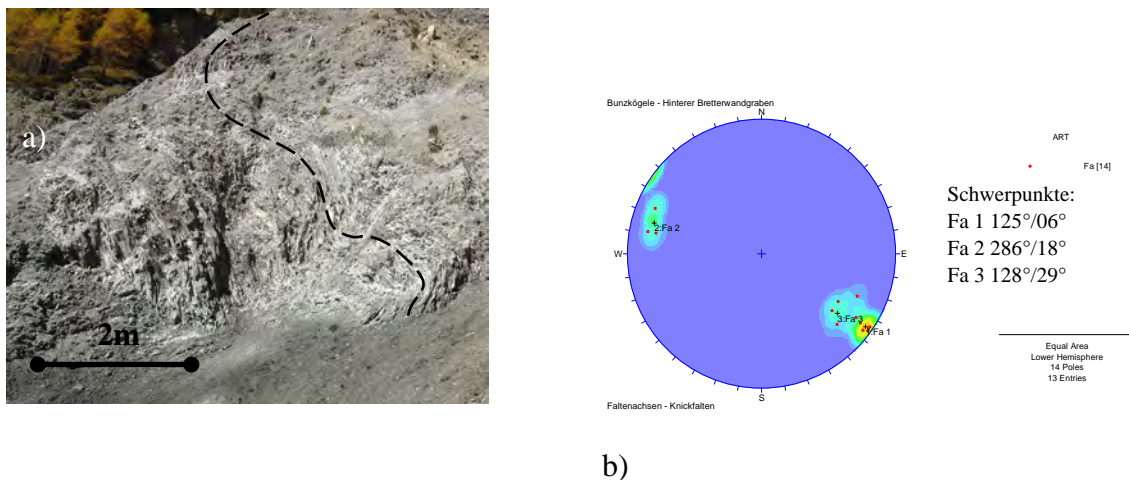


Abbildung 6.11: a) Stark deformiertes oberes Scharnier, hinterer Bretterwandgraben, 1.780 m.ü.A. b) ausgewertete Faltenachsen von Knickfalten des hinteren Bretterwandbaches (Polpunkt- und Isoliniendarstellung)

Die unterschiedlichen Einfallsrichtungen der Faltenachsen werden auf eine nicht ganz homogene Deformation sowie auf die Abweichung vom regionalen Ost-West-Streichen durch Schleppung der Schieferung, hier am Rande der Massenbewegung, zurückgeführt (s. Pkt. 6.3.5.1). Aus den Querprofilen geht hervor (Anlage E.7), dass die Faltenachse der großen Knickfalte, wie in der Auswertung der Abbildung 6.10a ersichtlich, flach nach Westen abtaucht. Kennzeichnend für die großen Faltenzonen ist, wie schon erwähnt, eine spröde Deformation, die keine Biegegleitfalten sondern Knickfalten<sup>4</sup> entstehen ließ. Die

<sup>4</sup> Zylindrischen Falten wären durch eine Gürtelverteilung der Polpunkte gekennzeichnet. Die Knickfalten weisen hingegen zwei, mehr oder weniger scharf gegenüberliegende Maxima, wie die der Abbildung 5.10b, auf.

Faltung geht dabei bis in den Kleinbereich von wenigen Dezimeter Größe. Abbildung 6.12 zeigt eine solche Faltung (Ziehharmonikafaltung) am überkippten Liegendschenkel der Großfalte im hinteren Bretterwandgraben. Charakteristisch für diesen Falten Typ sind neben den engen Scharnieren, Schenkel, die etwa die gleiche Länge aufweisen. Dieser Typ von Falten wird in der englischsprachigen Literatur als „*chevron fold*“ bezeichnet (TWISS & MOORES 1992). Der Bereich der Faltscharniere ist infolge des Knickens von maßgeblicher Dilatanz begleitet (s. Kap. 9, Pkt. 9.2.2.6).

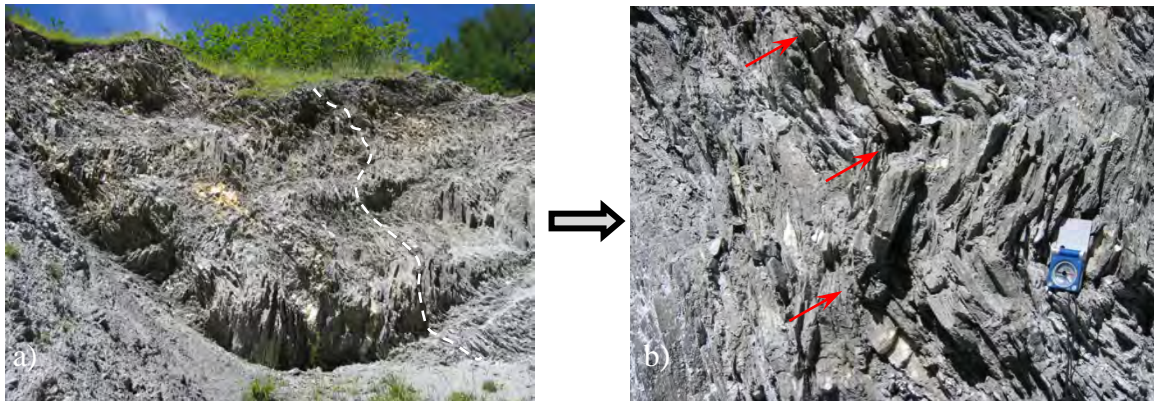


Abbildung 6.12: a) Ziehharmonikafaltung am überkippten Liegendschenkel, orografisch rechte Seite Bretterwandgraben, 1.550 m.ü.A.  
 b) Detaillierte Ansicht: Knickfalten (*chevron folds*) mit engen, scharfen Scharnieren und ausgeprägter Dilatanz in den Scharnieren (rote Pfeile); Faltenachsen der Kleinfalten tauchen flach nach Westen ab: Fa 270°/03°

### 6.3.2.3 *Antithetische und synthetische Abschiebungen am aufrechten Schenkel, (Strukturbereich #2)*

Am aufrechten, nach Süden einfallenden Schenkel tritt ein ausgeprägtes, steil nach Norden gerichtetes Trennflächensystem (Abbildung 6.14b) auf, welches zum Versatz der Schieferung von einigen Metern und in der Morphologie zu einem sägezahnartigen Gratverlauf führt (Abbildung 6.13 und Abbildung 6.14a).

Die neu gebildeten Bruchflächen<sup>5</sup> fallen mit ca. 75° nach Norden bis Nordnordwest ein. An den Störungen wird der jeweils nördlich gelegene Block tiefer gesetzt (Abbildung 6.14). Dieses als „Antitheter“ zu bezeichnende Störungssystem setzt etwa im Faltscharnier an und pflanzt sich bis an die Oberfläche fort. Der Ausdruck antithetisch wird hier analog zu MANDL (1988) in einem kinematischen Zusammenhang verwendet und bezeichnet ein untergeordnetes Störungssystem, das eine dem Hauptstörungssystem entgegengesetzte Scherrichtung aufweist: Die Hauptscherbewegung der Massenbewegung am Bunzkögele erfolgt entlang der Schieferungsflächen und ist linkssinnig, die der Antitheter ist dazu entgegengesetzt, d.h., rechtssinnig. Dabei stellen die Bewegungen zwischen den Schieferungslamellen die Fortsetzung der Abschiebungen am Gipfelhang des Bunzkögeles dar.

<sup>5</sup> Aufgrund der Beobachtungen, dass die Bruchflächen unregelmäßig zerfrante Oberflächen aufweisen und keinen vorgegebenen, +/- glatten Trennflächen folgen, werden sie als Neubildungen in Zusammenhang mit der Hangtektonik interpretiert.





**Legende**

- ..... Schieferung; Verlauf angedeutet
- - - Vertreter von Antithetern
- ..... Vertreter von Synthetern

Abbildung 6.13: Bruchstrukturen am aufrechten südfallenden Schenkel der Knickfalte, Ostflanke Bretterwandgraben (Blickrichtung nach Südwesten)

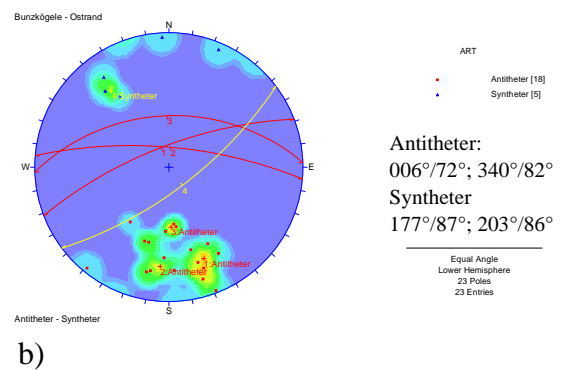


Abbildung 6.14: a) Detail aus Abbildung 6.13; Versatz von einigen Metern an einer antithetischen Störung.  
 b) Gefügediagramm mit den Haupttrichtungen (Großkreise) der Anti- und Syntheter am aufrechten Schenkel der Knickfalte (Polpunkt- und Isolinien-darstellung).

Neben der Trennflächenschar der antithetischen Verschiebungsbrüche<sup>6</sup> treten am südeinfallenden Schenkel gelegentlich steilere, die Schieferung durchtrennende Scherzonen mit abschiebendem Bewegungssinn auf. Diese fallen nach Süden bis Südosten ein und schließen mit den Schieferungsflächen einen spitzen Winkel von  $15^\circ$  bis  $25^\circ$  ein (Abbildung 6.13). Sie weisen denselben, sinistral abschiebenden Bewegungssinn wie die Hauptbewegung auf, stellen Riedel-Flächen dar und sind daher als „Syntheter“ zu bezeichnen.

#### 6.3.2.4 *Scherbrüche und Scherzonen des oberen Bretterwandgrabens, (Strukturbereich #2)*

In Zusammenhang mit der Hangtektonik bildete sich auch eine Reihe von Schergefügen im Mikrobereich. Abbildung 6.15a zeigt synthetische, en-echelon<sup>7</sup> angeordnete Scherbrüche, deren Entstehung auf abschiebende Bewegungen entlang und in Fallrichtung der Schieferungsflächen, ganz analog zu den großen synthetischen Störungen der Abbildung 6.13, zurückzuführen sind. In Abbildung 6.15b ist ein Knickband, welches ebenfalls durch Scherbewegungen entlang der Schieferung im Bereich des überkippten Schenkels der Knickfalte entstanden ist, zu sehen. Die beiden kinematischen Indikatoren belegen deutlich die Teilverschiebungen zwischen den Schieferungslamellen respektive die Fortsetzung der abschiebenden Bewegungen aus dem Oberhang.



Abbildung 6.15: a) Schersinnkriterium mit abschiebendem Bewegungssinn; aufrechter Schenkel orogr. rechter Einhang, 1.820 m.ü.A.  
b) Knickband, entstanden durch Scherbewegungen entlang der sf am überkippten Schenkel der Knickfalte; orogr. rechter Einhang, 1.630 m.ü.A.

### 6.3.3 *Mittelteil der Massenbewegung (Strukturbereich #3)*

Im Mittelabschnitt der Massenbewegung, etwas südlich der Trogalm, beginnen die nach Süden einfallenden Schieferungsflächen zu rotieren. Im Bereich der Zupenig Alm stehen sie dann +/- saiger und gelangen schließlich nördlich des Falkensteins in eine überkippte, flache,  $35^\circ$  nach Norden gerichtete Lagerung.

<sup>6</sup> Der Terminus „Verschiebungsbruch“ geht auf MÜLLER (1963) zurück und bezeichnet einen Bruch, entlang dessen ein Versatz feststellbar ist. Er ist dem Begriff der „Störung“ gleichzusetzen.

<sup>7</sup> staffelförmig

6.3.3.1 *Nackentäler*

Im Abschnitt Zupenig Alm – Falkenstein sind Nackentäler anzutreffen (Abbildung 6.16a), die als Folge von Hangtektonik entstanden sind. Die chieferungsflächen stehen in diesem Abschnitt steil (Abbildung 6.16b).

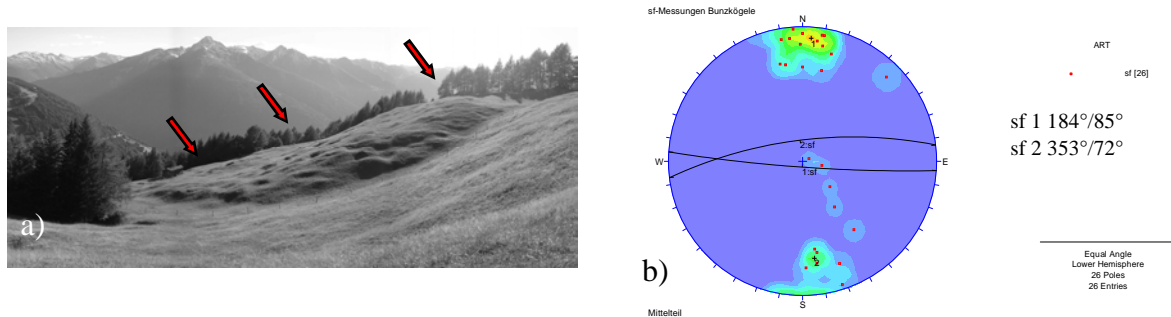


Abbildung 6.16: a) Nackentäler bei der Zupenig Alm, 1.880 m.ü.A., Blickrichtung nach Südwesten; die bucklige Oberfläche ist auf oberflächennahe Kriechbewegungen in einer dem Festgestein geringmächtig auflagernden Moräne zurückzuführen  
 b) Gefügediagramm der sf: Polpunkt- und Isoliniendarstellung, Haupttrichtungen als Großkreise ausgewiesen.

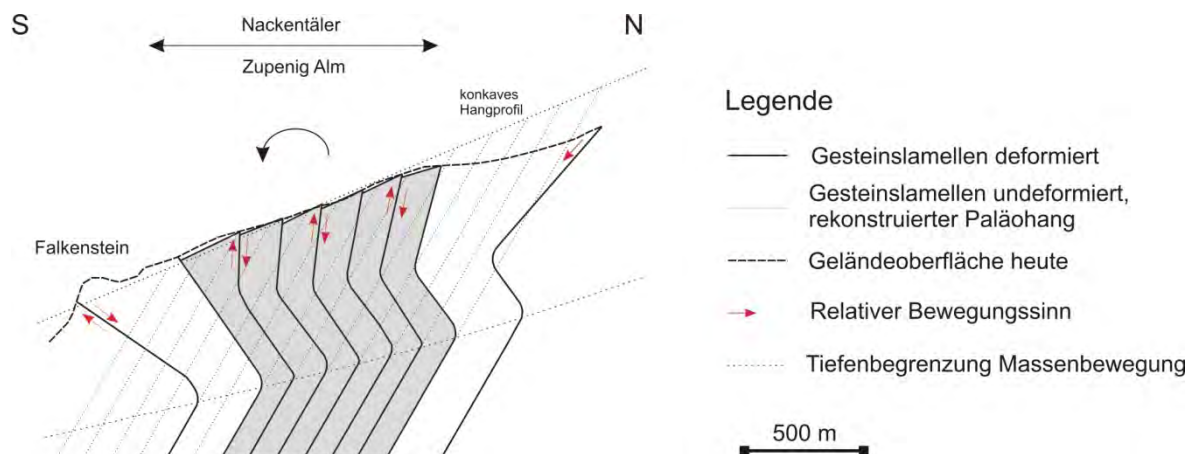


Abbildung 6.17: Skizze zur Entstehung der Nackentäler und der Knickfalten im Mittelteil der Massenbewegung

Die Bildung der Geländemulden geht auf das Auffächern der Schieferung zurück. Die zunehmende Rotation, welche mit Bewegungen zwischen den Schieferungslamellen einhergeht, führt dazu, dass sich die nördliche Lamelle gegenüber der südlich angrenzenden leicht senkt. Dadurch entstehen parallel zur Schieferung verlaufende Nackentäler (Abbildung 5.17).

6.3.3.2 *Knickfalten*

An der Forststraße Richtung Köfler Alm ist bei 1.745 m.ü.A. eine stuhlförmige Knickfalte aufgeschlossen (Abbildung 6.18a). Die Faltenachse streicht annähernd Ost-West (260°/06°), d.h. gleich wie die Schieferung. Die beschriebene Struktur (Anlage A.2: GB-02, GB-03, GB-07 und GB-08) tritt oberflächennah in einem Bereich auf, wo die



Rotation der Schieferungsflächen vom aufrechten Südfallen in ein überkipptes Nordfallen einsetzt. Die fächerförmige Rotation der Gesteinslamellen ist durch Zugversagen und Dilatanz gekennzeichnet. Letzteres hat das Einsinken und die knickförmige Deformation der Lamellen zur Folge (Abbildung 6.18a).

### 6.3.3.3 Querstörungen

Idealisiert lässt sich die Südflanke des Bunzkögeles als eine einheitliche Gesteinsabfolge charakterisieren. Dies hat für die mechanische Betrachtung im kleinen Maßstab durchaus seine Richtigkeit, trifft aber auf den Kleinbereich nicht zu. Relativ harte Gesteinszüge in der gering festen Abfolge der Phyllite, wie sie zum Beispiel der Dolomitmarmorzug des Falkensteins darstellt, bedingen anisotropes Spannungs- und Verformungsverhalten.

Ein Beispiel dafür ist die Nordnordost bis Südsüdwest streichende Harnischfläche bzw. Querstörung der Abbildung 6.18b. Sie ist am Forstweg nördlich des Falkensteins aufgeschlossen (Anlage A.2: GB-06), in einem Bereich, in dem die Gesteinsabfolge stark heterogen ist. Die Fasercalcite des Harnischs<sup>8</sup> zeigen einen schrägabschiebenden sinistralen Bewegungssinn nach Südwesten, welcher sich gut ins kinematische Bild der Hangbewegung einfügt. Auch für das Ostende der Massenbewegung ist eine sinistrale +/- südgerichtete Schrägabschiebung anzunehmen, wenn auch heute dafür kinematische Indikatoren in den Aufschlüssen fehlen, da sich der Bretterwandbach in diesem Abschnitt stark eingetieft hat.

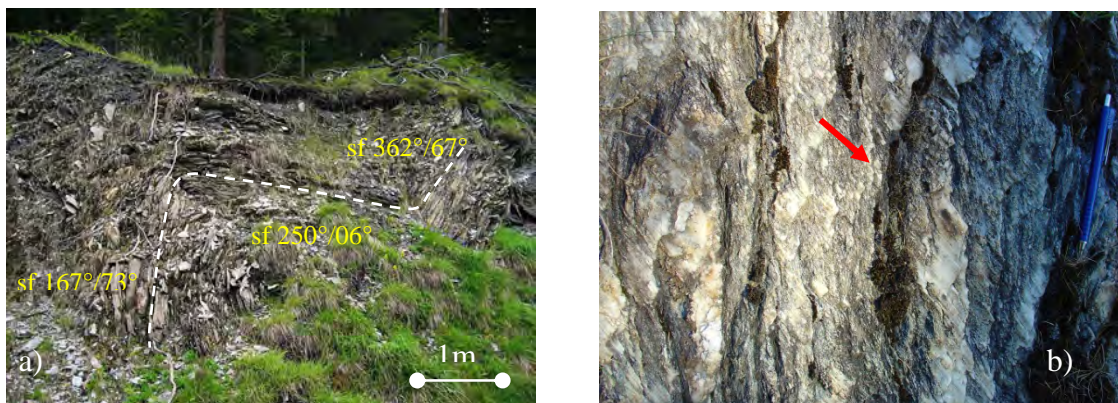


Abbildung 6.18: a) Knickfalte, Forstweg Richtung Köfler Alm, 1.750 m.ü.A.

b) sinistral schrägabschiebende Querstörung (Harnisch) mit Calcitfasern, Ha.:  $287^{\circ}/73^{\circ}$ , Li.:  $220^{\circ}/53^{\circ}$  (Bewegung des fehlenden Blocks roter Pfeil), nordwestlich der Dolomitmarmorrippe des Falkensteins

### 6.3.4 Unterhang (Stirn) der Massenbewegung (Strukturbereich #4)

Der Stirnbereich ist durch flache, nach Nordnordost einfallende Schieferungsflächen ( $20^{\circ}/22^{\circ}$ ) gekennzeichnet (Abbildung 6.23b). Die größere Streuung in den Einfallsrichtungen erklärt sich:

<sup>8</sup> Die Fasern der Calcite wachsen an kleinen, steilen Stufen, die durch die Bruchflächen gebildet werden auf. Die Stufen stellen quer zu den Scherflächen verlaufende Dehnungsbrüche dar. Die Bewegungsrichtung ergibt sich aus den Calcitstufen: der fehlende Block bewegt sich von den Stufen weg (RAMSAY & HUBER 1983, PETIT 1987, MESCHEDE 1994).

- aus dem primär tektonisch vorgegebenen flachwelligen Faltenbau der phyllitischen Serie und
- durch Schleppung der Schieferung an den Rändern der Massenbewegung, verursacht durch sinistrale bzw. dextrale schrägabschiebende Bewegungen (s. Pkt. 6.3.5).

Auf ein steileres Einfallen der Schieferung trifft man am Randbereich zum Mittelabschnitt und im Nahbereich des Scharniers (Abbildung 6.5).

Nördlich der Dolomitmarmorrippe des Falkensteinzugs, entlang des Aufschließungswegs und im Bachbett bieten sich erstklassige Abschlussverhältnisse, die einen Blick in die Interdeformation der Massenbewegung erlauben. Sie werden im Folgenden genauer beschrieben.

#### 6.3.4.1 *Scharnier der Topplingzone*

Einen Schlüsselaufschluss stellt das Scharnier der Topplingzone im Bachbett des Bretterwandbaches bei 1.470 m.ü.A. dar (Abbildung 6.19a; Anlage A.2: HBWG-06). Die Schieferungsflächen sind im Randbereich zum Unbewegten hangtektonisch geschleppt und fallen deshalb nach Nordost bzw. nach Südwest ein.

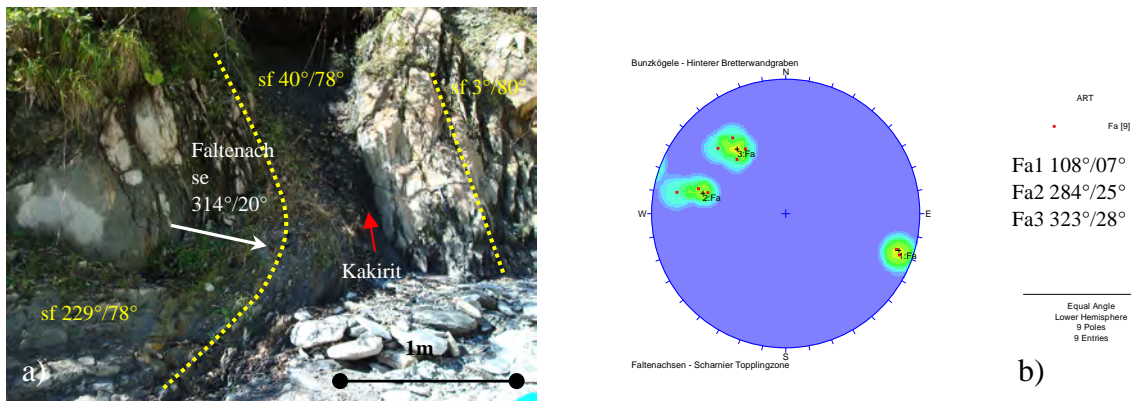


Abbildung 6.19: a) Scharnier der Topplingzone mit Kakiritzone; Bachbett Bretterwandbach, orografisch rechts, 1.470 m.ü.A.  
b) Gefügediagramm ausgewerteter, hangtektonischer Faltenachsen (Polpunkt- und Isolinienanstellung) in der Umgebung des Scharniers

Die Faltenachsen der durch die Hangtektonik geschaffenen Falten erscheinen, wie im Bereich der Knickfaltung, aufgrund der Schleppung zum Rand der Massenbewegung vom ursprünglich regionalen Ost-West-Streichen nach Nord-West bis Süd-Ost verdreht (Abbildung 6.19b).



### 6.3.4.2 Deformationsstrukturen am überkippten Schenkel

Direkt am Aufschließungsweg in den Bretterwandgraben begegnet man einer Scherzone am überkippten Schenkel der Topplingzone (Abbildung 6.20).



Abbildung 6.20: Topplingzone, überkippter Schenkel der Massenbewegung; Aufschließungsweg Bretterwandgraben, 1.500 m.ü.A.

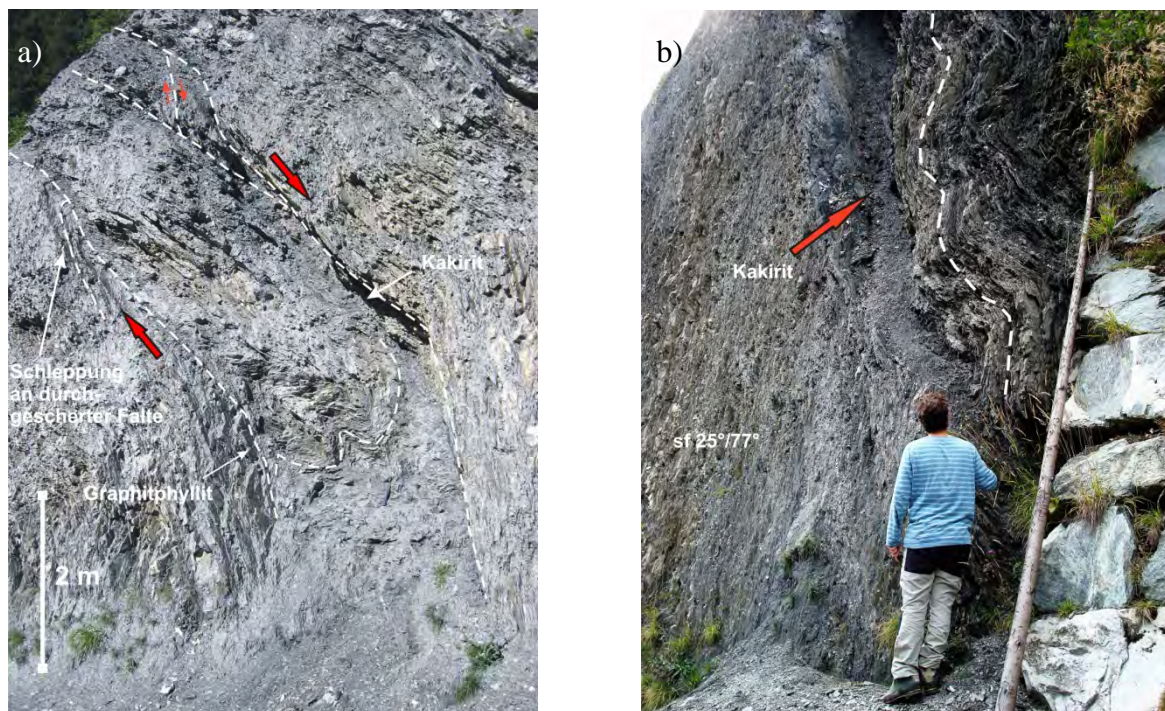


Abbildung 6.21: a) Detail aus Abbildung 6.20: Eng verfaltete Phyllite einer Scherzone am überkippten, nordfallenden Schenkel; Forstweg Bretterwandgraben 1.500 m.ü.A.  
 b) Kakiritzone (roter Pfeil), Randbereich hangtektonisch wellig verfaltet; selber Aufschluss wie vorher nur 30 Meter weiter nördlich

Die Phyllite wurden hier zwischen zwei Bewegungszonen, die den Schieferungsflächen folgen oder spitzwinkelig dazu verlaufen, kleinräumig verfaltet. Die Falten sind durch

enge, knickförmige Scharniere gekennzeichnet. Entlang der oberen Scherbahn ist das Gestein auf einer Breite von mehreren Zentimeter bis zu zwei Dezimeter vollkommen zu einer nahezu kohäsionslosen Störungsbreccie (Kakirit)<sup>9</sup> zerrieben, an der unteren treten Graphitphyllite mit sehr glatten Schieferungsflächen auf (Abbildung 6.21a). Eine mehrere dezimeterbreite Kakiritzone, deren Randbereich hangtektonisch wellig verfaltet ist, kommt am selben Aufschluss, etwa 30 Meter weiter nördlich vor (Abbildung 6.21b). Diese Scherzonen (s.a. Abbildung 6.19; Anlage A.2: HBWG-04, HBWG-06, HBWG-07 und HBWG-07) treten nur unweit nördlich der Dolomitmarmorrippe des Falkensteins auf. Wie bereits unter Punkt 6.3.3.3 beschrieben, ist anzunehmen, dass diese Scherzonen Ausdruck inhomogener Deformation, die der nahe gelegene Dolomitmarmorkörper (Fortsetzung des Falkensteinzuges) in der phyllitischen Serie erzeugte, sind.

In Abbildung 6.20 fällt weiters ein relativ scharfer Knick auf, an dem die Schieferungsflächen von einem flacheren Einfallen in ein steileres drehen. Dieser Knick kündigt das nahe Scharnier der Topplingzone an. Das Scharnier befindet sich im Bachbett ca. 30 Höhenmeter tiefer.

Die Entwicklung einer Scherzone im Kleinformat infolge einfacher Scherung (*simple shear*) zeigt die Abbildung 6.22a, aufgeschlossen am überkippten Schenkel, 70 Meter oberhalb der Aufschließungsstraße (1.570 m.ü.A.). Die Differentialbewegungen finden an der vorgegebenen Schieferung statt. Die Schieferungsflächen fallen oberhalb und unterhalb der Scherzone mit  $59^\circ$  nach Norden ein, in der Scherzone selbst mit  $52^\circ$  nach Süden. Damit errechnet sich für die Schieferungsflächen innerhalb der Scherzone ein Rotationswinkel von  $69^\circ$  (Abbildung 6.22b). Beim Vergleich der beschriebenen Kleinstruktur mit dem Deformationsbild des oberen Hanges wird deutlich, dass es sich um den gleichen Mechanismus handelt. Die Knickfalte der Massenbewegung Bunzkögele ist daher als eine großdimensionale Scherzone zu betrachten.

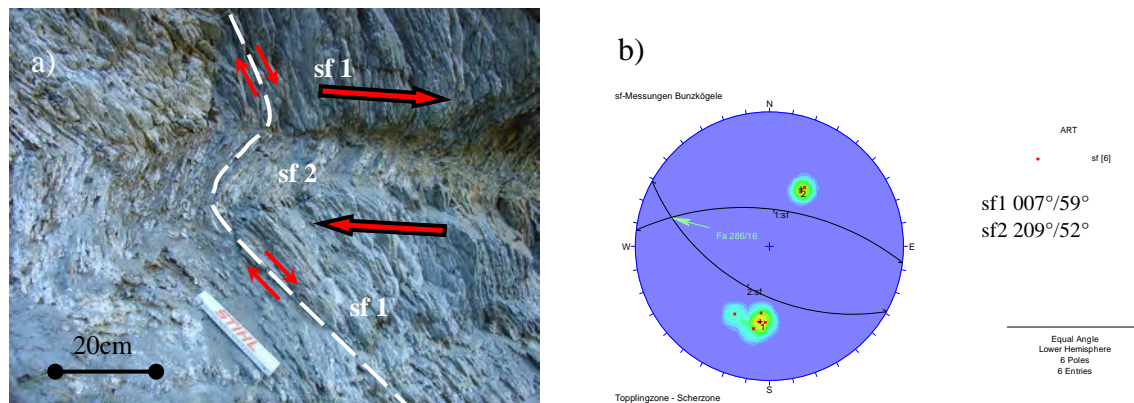


Abbildung 6.22: a) Scherzone am überkippten Schenkel der Topplingzone, 1.570 m.ü.A.  
b) Gefügediagramm von sf Messungen zur Scherzone; Polpunkt-, Isolinien und Großkreisdarstellung

<sup>9</sup> Als Kakirite werden nach HEITZMANN (1985) kohäsionslose Störungsbreccien bezeichnet. Sie sind Ausdruck betont spröder Verformung.



Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die beschriebenen Scherzonen und Falten im Gegensatz zu denen der duktil betonten alpidischen Tektonik (Abbildung 6.2) durch ihren ausgeprägt spröden Charakter auszeichnen. Die Relativbewegungen zwischen den Schieferungslamellen führen zur Entstehung von knickförmigen Falten und/oder zu Scherzonen.

6.3.4.3 *Gestuftes Gelände an der Stirn der Massenbewegung*

Der Stirnbereich der Massenbewegung lässt an einigen Stellen ein gestuftes Gelände erkennen (Abbildung 6.23a), welches sich aus dem Biegekippen der Gesteinslamellen, wie in Abbildung 6.24 dargestellt, erklären lässt: Durch Rotation und Scherbewegungen zwischen den einzelnen Lamellen wird die liegende Lamelle gegenüber der hangenden nach vorne geschoben. Die Hangende wird so rückversetzt, sodass ein Sprung in der Morphologie entsteht.

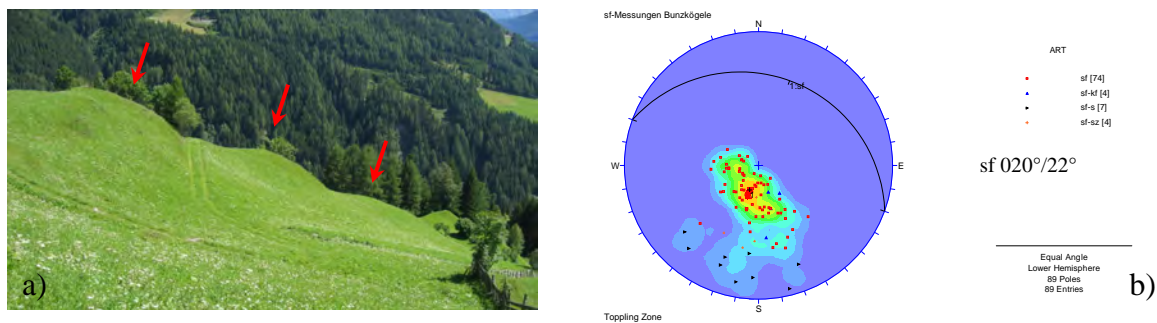


Abbildung 6.23: a) Gestuftes Gelände südlich des Weilers „Hauser“, 1.460 m.ü.A., Blickrichtung nach Südosten  
 b) Gefügediagramm von sf der Topplingzone (Polpunkt- und Isolinien-Darstellung; Haupttrichtung als Großkreis ausgewiesen)

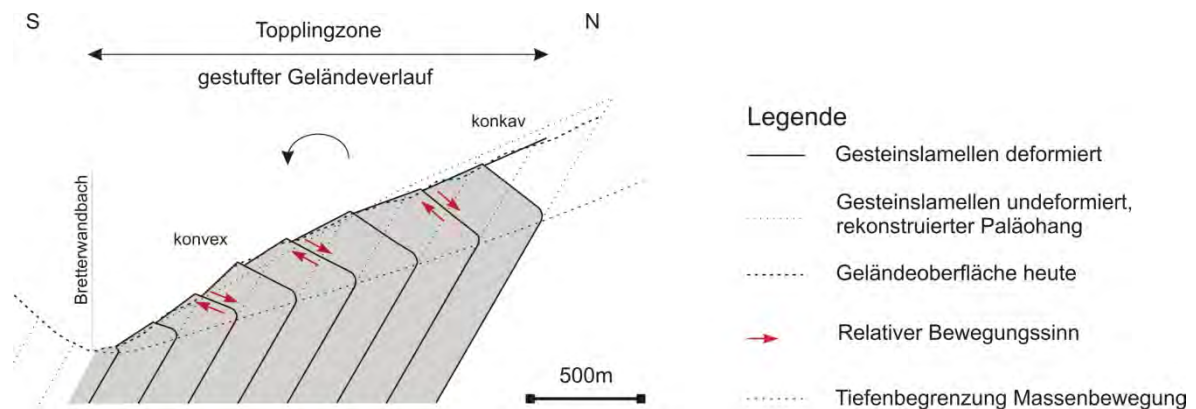


Abbildung 6.24: Skizze zur Erklärung des gestuften Geländeverlaufs sowie von Nackentälern an der Stirn der Massenbewegung (Topplingzone); idealisiert angepasst an das heutige Geländeprofil im Westen (s. Anlage E.5: Profil 3-3´); erkennbar auch das konvexe Ausbauchen der Massenbewegungsstirn

In wenigen Fällen, wie zum Beispiel beim Weiler Glanz, wird dieser Effekt verstärkt durch das Vorkommen von harten, 4 bis 6 Meter mächtigen Quarziteinschaltungen innerhalb der „weichen“ phyllitischen Serie. Dort hat der beschriebene Mechanismus zur Bildung eines Nackentals geführt.



### 6.3.5 Ränder der Massenbewegung

#### 6.3.5.1 *Östliche Begrenzung*

Östlich des Bretterwandgrabens zeigen die Messungen der Schieferung ein normales, der Südabdachung des Tauernfensters entsprechendes Einfallen nach Süden ( $178^\circ/66^\circ$ , s. Gefügediagramm, Anlage B.2, Nr. 14). Eine vom tektonischen Bau abweichende Verstellung der Gesteinslamellen kann nicht festgestellt werden. Deshalb wird der Schluss gezogen, dass das östlich vom Bretterwandbach gelegene Gebiet von der Massenbewegung Bunzkögele nicht mehr erfasst wurde. Eine Ausnahme besteht im oberen Bretterwandbach zwischen 1.610 und 1.650 m.ü.A. Auf der orografisch linken Grabenseite tritt hier nochmals der überkippte, nordeinfallende, extrem zerscherte Schenkel der Hauptbewegung (Anlage A.2: HBWG-19) zutage. Wie weit die Hauptbewegung nach Osten reicht, ist nicht festzustellen, da der Kontakt zum intakten Gebirge unter jüngeren Massenbewegungen, bestehend aus phyllitischem Lockermaterial, verdeckt ist (s. Kap. 11, Pkt. 11.1). Aus geometrischen und kinematischen Überlegungen heraus kann die Grenze im oberen Bretterwandgraben aber nicht allzu weit im Osten gelegen haben.

#### 6.3.5.2 *Westliche Begrenzung*

Die Grenze der Großhangbewegung zum Tauerntal im Westen ergibt sich wie im Osten aus dem Vergleich zwischen den ungestörten, regional vorherrschenden Lagerungsverhältnissen der Gesteinseinheiten mit jenen durch die Hangtektonik verstellten. Sie verläuft etwa 75 Meter westlich der Lackner Alm in südlicher Richtung bis zum Bretterwandbach. An der Westgrenze der Massenbewegung musste sich genauso wie am Ostrand eine Störung zwischen dem bewegten und unbewegten Gebiet entwickeln. Der Bewegungssinn der Störung am Westende ist der Störung am Ostende entgegengesetzt. Die Bewegung stellt daher eine dextrale Blattverschiebung mit schrägabschiebender Komponente dar. Die Störung lässt sich im Gebiet der Lackneralm nicht kartieren, da infolge der kleinen Abschiebungsbeträge (s. nächster Pkt. 6.3.5.3) keine großen Verschiebungen stattgefunden haben; die Verschiebungen werden hier durch eine Schleppung der Schieferung kompensiert. Erst im Bereich der Topplingzone nehmen die Verschiebungen zu und lassen eine Störung erkennen, wie zum Beispiel am alten Weg zum Zupenig Hof (Anlage A.2: Abb. HB-04), wo Moränensedimente von der Masse des Talzuschubs überfahren werden. Damit wird auch der Beweis erbracht, dass die Hangbewegungen im Postglazial einsetzen.

Wie unter Punkt 6.3.2.1 beschrieben, verlieren sich die Abschiebungsflächen im Westen, etwa beim Gratrücken Ochsenstoan und weisen dort auf das Ende der Hauptbewegung hin. westlich davon treten nochmals Strukturen, die einer eigenen Hangbewegung („Bewegung Westsporn“, s. Abbildung 6.3 und Abbildung 6.4) zugeordnet werden können, auf. D.h., die Großhangbewegung besteht aus zwei Teilen. Wie diese beiden Bewegungen strukturell und kinematisch zusammenhängen, ist das Thema der folgenden Ausführungen.

#### 6.3.5.3 *Strukturen am Westsporn*

Im Gebiet der Ranz´n – Lackneralm treten kleine, bis zu 5 Meter hohe Geländestufen auf. Sie folgen dem Ost-West-Streichen der Schieferung und werden in Analogie zur Hauptbewegung des Bunzkögeles als Abschiebungen interpretiert. Dieser Bereich

entspricht dem Kopf der Massenbewegung (s. Abbildung 6.25 bzw. Geomorphologische Karte, Anlage E.1 und Abbildung 6.5 bzw. Anlage E.2). Wenn auch aufgrund fehlender Aufschlüsse der Tiefgang der Hangbewegung im Westen nicht bekannt ist, so lässt doch die geringe Höhe der Abschiebungen auf einen deutlich kleineren Tiefgang als die Hauptbewegung schließen (Profil 3-3', Anlage E.5). In der Gegend der Kofler Ranz'n rotieren die Schieferungsflächen innerhalb einer schmalen, 60 Meter breiten Zone vom aufrechten Südfallen in ein überkipptes Nordfallen. Der Bereich ist durch Ost-West streichende Nackentäler gekennzeichnet. südlich daran anschließend fallen die Schieferungsflächen bis zum Bretterwandbach großteils flach nach Nordost ein, was auf das Biegekippen der Gesteinslamellen, gleich wie im Osten, zurückzuführen ist. Die Morphologie des Hanges weist einen typischen treppenartigen Verlauf auf, fallweise treten Nackentäler zutage (Abbildung 6.24). An den Rändern der Massenbewegung ist wie bei der Hauptbewegung eine Schleppung ersichtlich. Wegen der geringen Breite, die die Westbewegung aufweist, führt die Schleppung der Schieferung zur hangtektonischen Formung einer flachen Mulde (Abbildung 6.5).

### 6.3.6 Der strukturell kinematische Zusammenhang zwischen Hauptbewegung und der Bewegung Westsporn

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass mit dem Auslaufen der großen Abschiebungsflächen im Westen das Ende der Hauptbewegung festgelegt wird. Die Verschiebungen sind dort Null. Im Randbereich der Hauptbewegung, im Gebiet der Ranz'n – Schmutzerlälbe, fallen einige markante Strukturen (Abbildung 6.25) auf:

1. Nordnordost-Südsüdwest bis Nordost-Südwest streichende Nackentäler: Am Rande der Bergwiesen Ranz'n treten bis 8 Meter tiefe Gräben auf. Das Gelände ist beiderseits gleich hoch, die Form ist leicht V-förmig (Abbildung 6.26a).
2. Nordwest-Südost bis Nordnordost-Südsüdwest streichende, nahezu saiger stehende, nach Osten einfallende Wandabbrüche: Infolge dieser fällt der Bergrücken des Ochsenstoans Richtung Osten steil ab. Die höchste Wand weist 25 m Höhe auf. Es fällt auf, dass diese Flächen ausgefranst sind und kein vorgegebenes Trennflächenset erkennen lassen (Abbildung 6.26b). Das Gelände setzt sich an den Wandabbrüchen nach Osten hin treppenartig ab.

ZISCHINSKY (1966a) hat die Strukturen am Westende der Massenbewegung Bunzkögele als ein Auffiedern der großen Gleitbahnen, die in den unbewegten Hang auslaufen, interpretiert. Dagegen spricht, dass die beschriebenen Flächen gegenüber den Abschiebungen am Bunzkögele nahezu senkrecht stehen, d.h., zu steil sind, und dass sie im Streichen um  $50^\circ$  bis  $80^\circ$  von jenem der Abschiebungen abweichen. Sie folgen daher nicht den Schieferungsflächen, sondern verlaufen schräg bis normal auf diese. Zudem hat ZISCHINSKY (1966a) nicht erkannt, dass die Großhangbewegung aus zwei Teilbewegungen zusammengesetzt ist.

Wirft man einen Blick auf den obersten Hangabschnitt, so wird deutlich, dass die unter 1) und 2) beschriebenen Strukturen mit der Hauptbewegung in einem kinematischen Zusammenhang stehen. Dazu sind zwei Beobachtungen von Bedeutung:

- 1) Die Bewegung Westsporn und die Hauptbewegung überschneiden sich, d.h., die Hauptabschiebung Nr.2 reicht weiter nach Westen als der Gratrücken des Ochsenstoans (Abbildung 6.5 und Abbildung 6.6).
- 2) Die Verschiebungen des Westsporns im Oberhang sind im Vergleich zu denen der Hauptbewegung sehr klein.

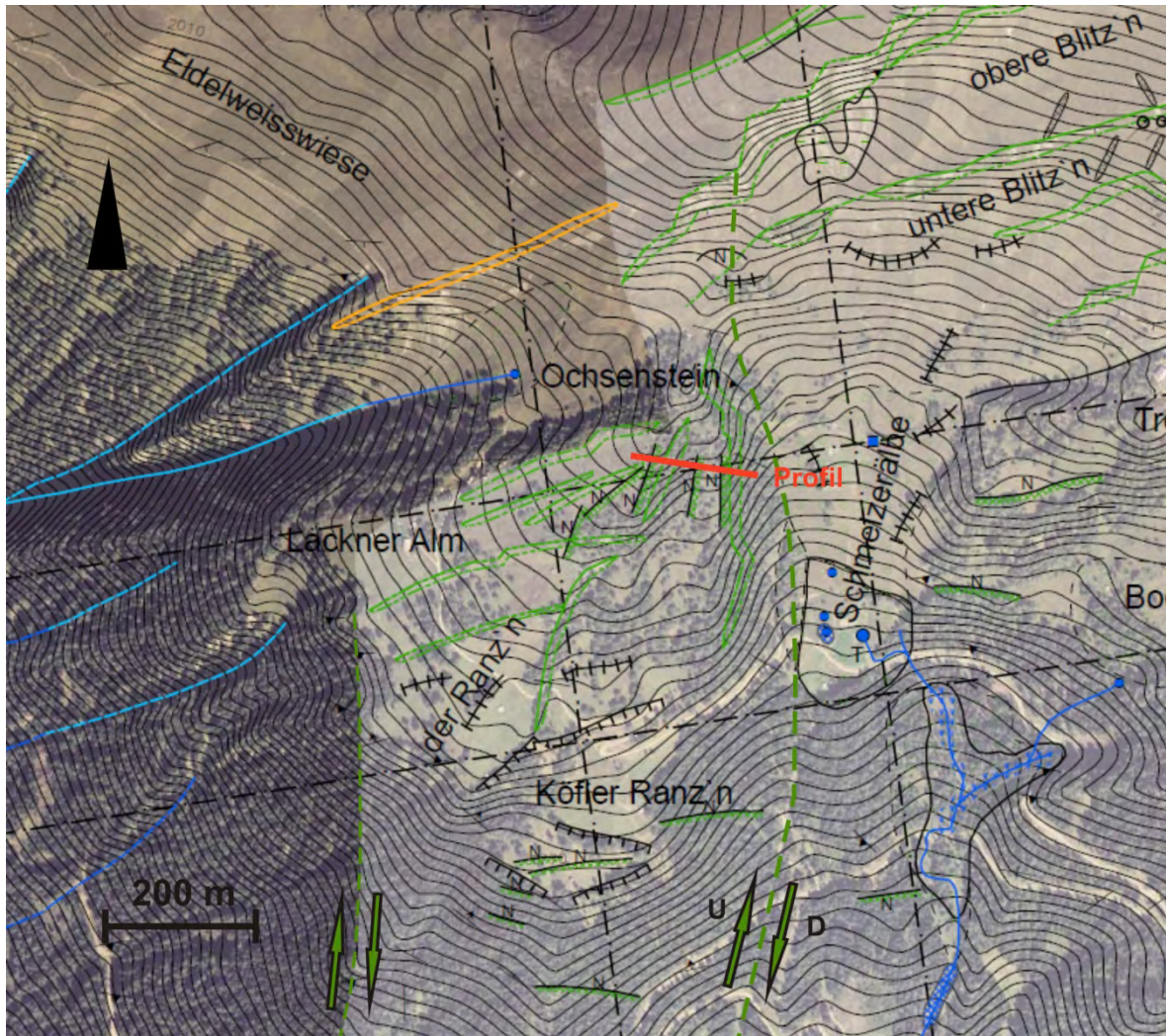


Abbildung 6.25: Lageplan zu den geomorphologischen Strukturen am Westende der Massenbewegung Bunzkoegle (Westsporn und Hauptbewegung):  
 N...Nackentäler bzw. Zerrspalten, grüne, länglich schmale Flächen entsprechen den Abschiebungen; D...tiefer gesetzte Scholle und U... „gehobene“ Scholle entlang der schrägabschiebenden Blattverschiebung; ausführliche Legende siehe Anlage E.1



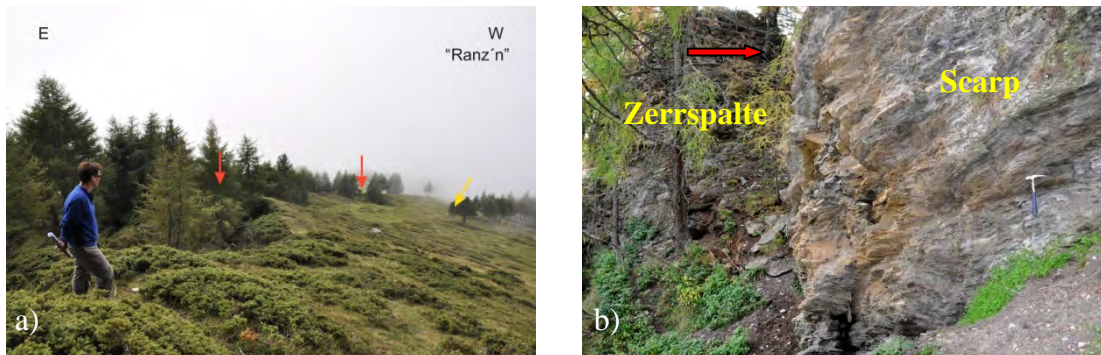


Abbildung 6.26: Hangtektonische Strukturen am Westrand der Hauptbewegung, Gratrücken Ochsenstoan

- a) Abschiebung Bewegung Westsporn (gelber Pfeil);  
Zerrspalten (rote Pfeile) am Randbereich der Hauptbewegung; das Gelände setzt sich ausgehend von hier an Wandabbrüchen nach Osten treppenartig ab (Blickrichtung nach Südwesten)
- b) Wandabbruch; Fläche uneben, sehr rau bzw. ausgefranst

Die Konsequenz daraus ist, dass sich zwischen den beiden Teilen der Großhangbewegung (Bewegung Westsporn und Hauptbewegung) eine Störung, ähnlich wie an den äußeren Rändern im Westen und Osten, entwickelte. Diese setzt ca. 50 Meter vor dem eigentlichen Ende der Hauptabschiebung (Nr. 2) an. Die Abschiebung Nr. 2 ist hier im Streichen 50 Meter sinistral (im Grundriss) versetzt (Abbildung 6.25) und weist noch die volle Versatzhöhe von 65 Meter auf. Aufgrund des Bewegungsvektors der Hauptbewegung, der wie das Einfallen der Schieferung nach Süden gerichtet ist, ergibt sich eine dextral schrägabschiebende Blattverschiebung. Die Störung folgt morphologischen Mulden, ausgehend von der Schmutzerälbe bis zum Weiler Glanz und setzt sich dann im Burgergraben bis zum Bretterwandbach fort.

Die Strukturen am Gratrücken Ochsenstoan werden im Sinne von HANCOCK (1985) als Begleitstrukturen einer Störung, die durch einfache Scherung entstand, interpretiert. Die Nackentäler, V-förmigen Spalten und Abschiebungen bilden dann Extensionsstrukturen zur Hauptbewegung (Abbildung 6.28). Sie treten in einem Winkel von  $30^\circ$  bis  $50^\circ$  dazu auf. Der rekonstruierte Verlauf der Hauptbewegung ergibt sich beim Gratrücken Ochsenstoan mit  $160^\circ\text{SE}$  bis  $170^\circ\text{S}$ . Der weitere Verlauf der Störung nach Süden ist, im Grundriss betrachtet, bereichsweise S-förmig. Mitunter teilt sie sich nördlich vom Weiler Glanz auch auf, da hier zwei morphologische Mulden ausgebildet sind. Insgesamt ergibt sich aber ein annäherndes Nord-Süd-Streichen. Durch die Extension entlang der schrägabschiebenden Lateralverschiebung wurde der östliche Teil gegenüber dem westlichen um mind. 50 Meter, an Abschiebungen tiefer gesetzt (Abbildung 6.27). Dies erklärt die ausgeprägte, morphologisch tiefe Mulde am Westende der Hauptbewegung. Im Randbereich zur Störung sind die Schieferungsflächen geschleppt (Anlage A.2: GB-10).

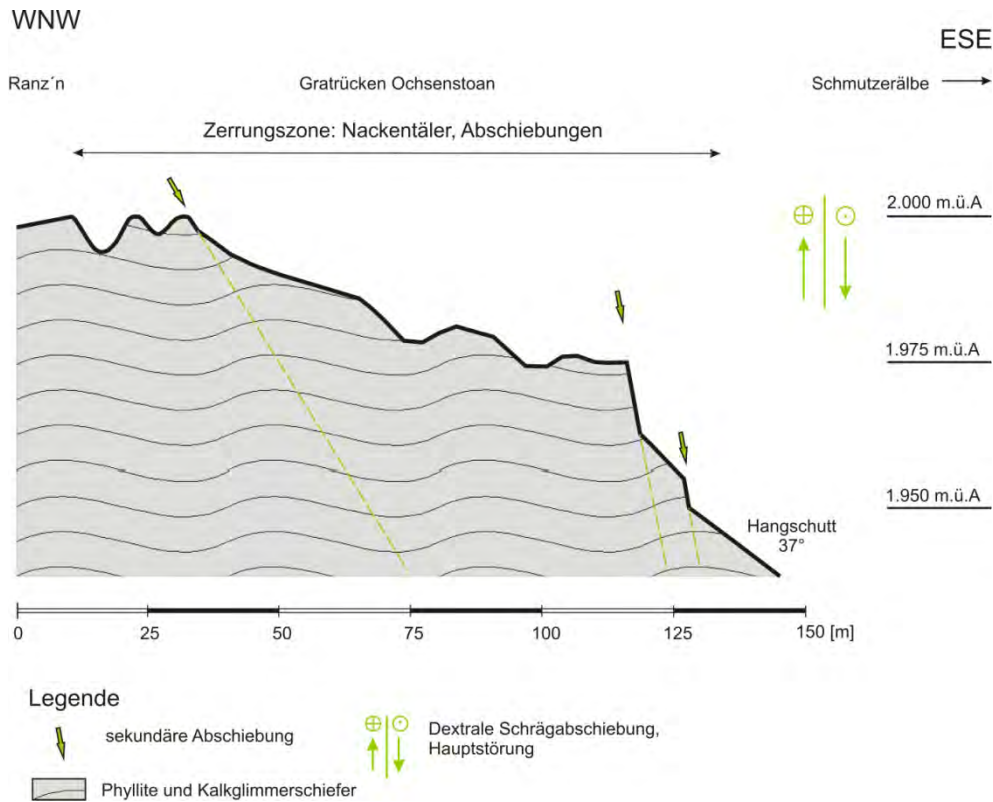


Abbildung 6.27: Profil vom Westrand der Hauptbewegung

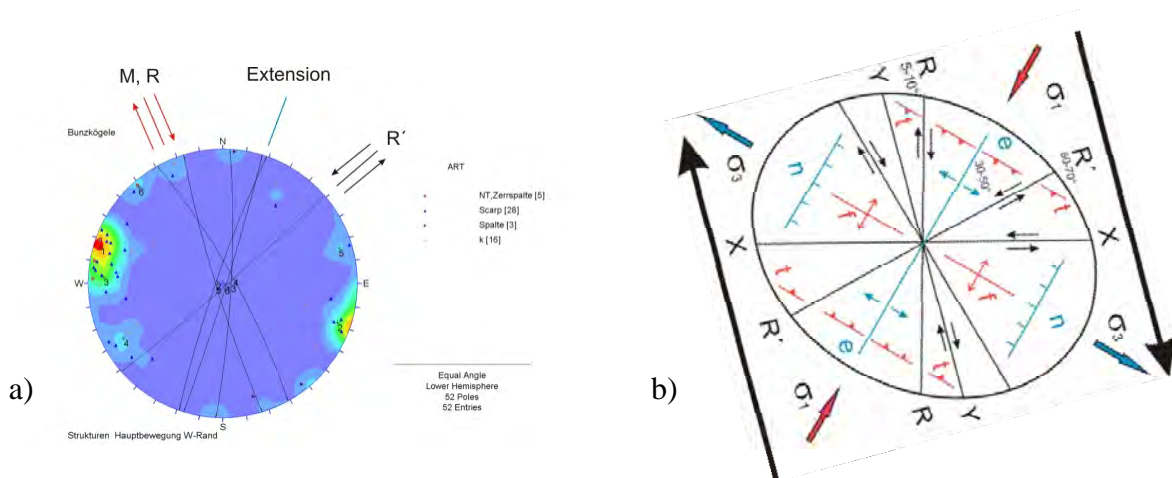


Abbildung 6.28: a) Richtungen und Interpretation der gemessenen hangtektonischen Strukturen (Zerrspalten bzw. Nackentäler und Wandabbrüche, resp. scarps) vom Westrand der Hauptbewegung  
 b) Synoptisches Diagramm für einfache Scherung, etwas verändert nach HANCOCK (1985) zur Erklärung der Strukturen am Westende der Hauptbewegung. Winkelangaben bezogen auf die Hauptstörung Y.  
 $\sigma_1$ ...größte Hauptspannung,  $\sigma_3$  kleinste Hauptspannung  
 Y...Hauptstörung, R...Riedel; dazu antithetische Störungen: R', X  
 Extensionsstrukturen: e...Extension (Zerrspalte, Nackental), n...Abschiebung  
 Kompressionsstrukturen: t...Überschiebung, f...Falte

Im Burgergraben, der als Störung die Hauptbewegung und die Bewegung des Westsporns trennt, sind an zwei Stellen hangtektonisch im Dezimeterbereich, intensiv verfaltete Phyllite aufgeschlossen (Abbildung 6.29; Anlage A.2 VBWG-02 und VBWG-04). Die Schieferungsflächen und die rekonstruierten Faltenachsen weisen auf eine Schleppung, die den dextralen Bewegungssinn der Störung wiedergibt, hin.

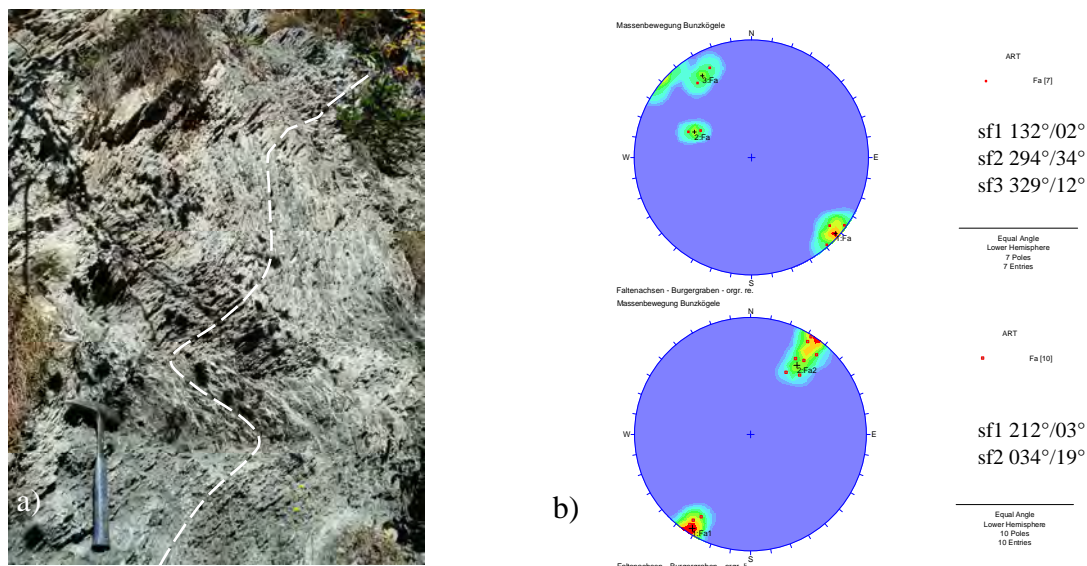


Abbildung 6.29: a) hangtektonisch verfaltete Phyllite nahe der Störung im Burgergraben, orografisch rechts, 1.270 m.ü.A.  
b) Gefügediagramme ausgewerteter Faltenachsen (Polpunkt- und Isoliniendarstellung); oben: Burgergraben, orografisch rechts, 1.270 m.ü.A.; unten: Burgergraben, orografisch links, 1.165 m.ü.A.

### 6.3.7 Jüngste Hangtektonik

#### 6.3.7.1 Ostflanke Bretterwandgraben

Am östlichen Ende der Gipfelhänge des Bunkkögeles und am Glanzer Berg, wo der Steilabfall zum Bretterwandbach beginnt, fällt in den Wiesen eine Reihe eigenständiger morphologischer Strukturen auf (Abbildung 6.5). Diese sind:

1. Nordöstlich der Trogalm, an der sog. „Oberen und Unteren Blitz´n“, bei ca. 2.220 m.ü.A. mehrere ca. Nordnordwest-Südsüdwest bis Nordnordost-Südsüdwest verlaufende Gräben respektive Zerrspalten und steile Abschiebungen. An den Letztgenannten ist das Gelände mehrheitlich nach Osten, vereinzelt aber auch nach Westen bis zu 6 Meter tiefer gesetzt. Durch die Abschiebungen entstanden unterschiedliche Schollenniveaus in Form einer kleinen Horst-Grabenstruktur (Abbildung 6.30; Abbildung 6.31). Die Bruchflächen erscheinen unregelmäßig fransig und verlaufen +/- normal zur Streichrichtung der Schieferung (Abbildung 6.33 und Abbildung 6.34b). Nur selten sind sie ebenförmig, was z.T. auch auf eine Kalkversinterung der Flächen zurückzuführen ist (Abbildung 6.34c).

2. im Bereich der Zupenigalm 10 bis 15 Meter tiefe, V-förmige Zerrspalten. Sie verlaufen, gleich wie im Bereich der Blitz'n, annähernd Nord-Süd und +/- normal auf die Schieferung. Die Spalten haben oben eine Breite bis zu 10 Meter und am Grund lediglich eine von 2 bis 4 Meter. Die Bruchflächen sind, wie unter Punkt 1) beschrieben sehr rau (Abbildung 6.34a). Die beiden Ufer der Spalte befinden sich auf gleicher Höhe, d.h., es hat kein vertikaler Versatz stattgefunden.

Die beschriebenen Strukturen sind im Sinne von AMPFERER (1939, 1940) als klassische Bergzerreißung zu bezeichnen. Die kartierten Flächen der Zerrspalten und Abschiebungen sind aufgrund ihrer unregelmäßigen und sehr rauen Oberfläche als neu gebildete Bruchstrukturen zu interpretieren (Abbildung 6.34a und Abbildung 6.34b). Nur vereinzelt sind ältere, tektonisch vorgegebene Trennflächen vorhanden (Abbildung 6.34c). Die Zerrspalten, Nackentäler und Abschiebungen durchtrennen die Schieferung und zum Teil die Hauptabschiebungen am Gipfelhang. Sie sind etwa 90° auf die Bewegungsrichtung der Hauptbewegung Bunzkögele orientiert (Abbildung 6.33). Die genannten geomorphologischen Formen stellen die Phänomene einer eigenständigen Bewegung, die jünger als die Hauptbewegung einzustufen ist, dar. Die Richtung ist nach Osten, d.h., normal auf den Nord-Süd verlaufenden Bretterwandgraben. Auch die Steilflanke zum Bretterwandgraben ist mit einem System von Zerrspalten, die der ostwärts gerichteten Bewegung zugeordnet werden können, durchzogen (Abbildung 5.32). Bei einem Höhenunterschied vom Grat zum Bretterwandbach von ca. 400 Meter, dem steilen Gelndegradienten von 50° und den relativ geringen Gesteinsfestigkeiten zwischen 5 bis 50 MPa sind Bewegungen Richtung Bretterwandgraben nachvollzieh- und erklärbar. Zudem sind für die nach Osten gerichteten Bewegungen insbesondere die starke Zerlegung, die a priori durch die nach Süden gerichtete Hauptbewegung erfolgte, entscheidend. HAUSMANINGER (2004) modellierte den Osthang des Bretterwandgrabens mit FLAC-3D. Er konnte nachweisen, dass aufgrund der niedrigen Gebirgsfestigkeit bereits bei einer Eintiefung des Bretterwandgrabens von nur 5 Metern ein Hangkriechen einsetzt. Insofern besitzen die Wildbachsperren für die Stabilität des Osthanges eine entscheidende Rolle. Der steile Westhang des Bunzkögeles zum Tauerntal hingegen wurde von der Großhangbewegung nicht mehr erfasst. Das Gebirge ist hier noch intakt. Folglich haben sich auch keine sekundären Massenbewegungen wie im Osten zum Bretterwandgraben entwickelt.



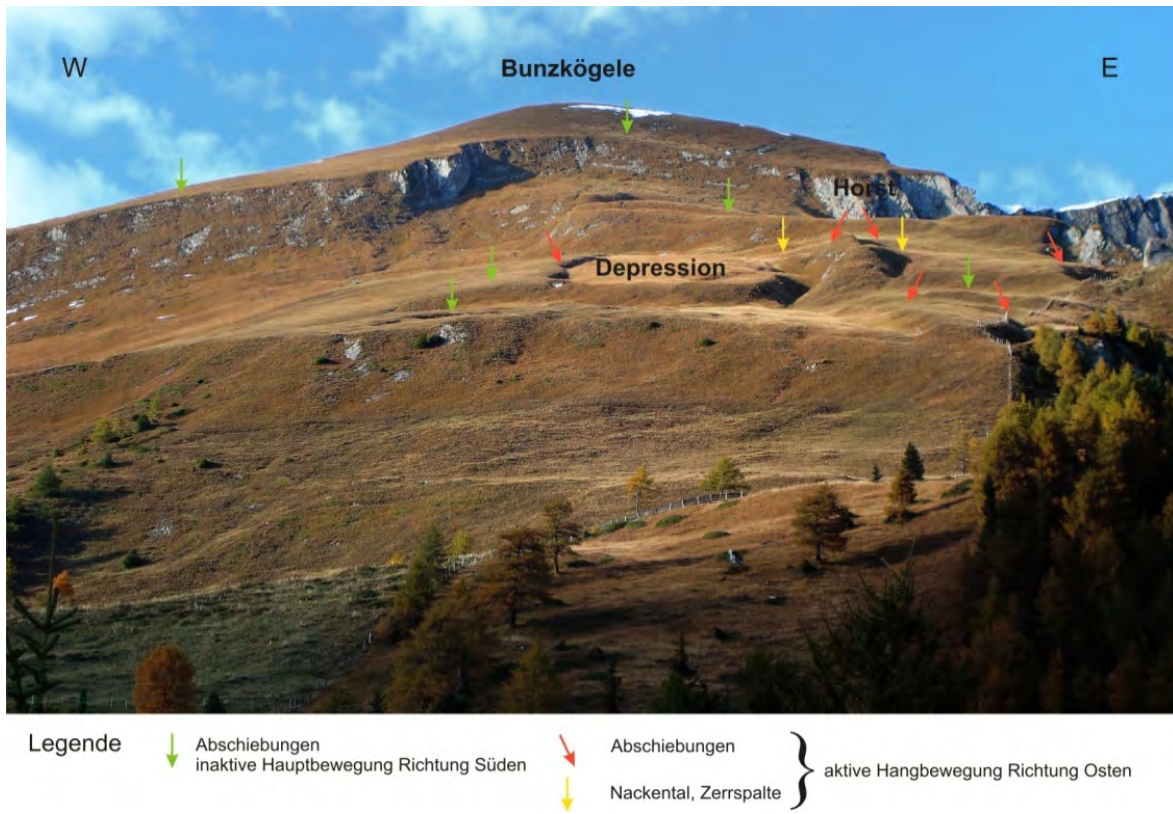


Abbildung 6.30: Bergzerreißung, Ostende Blitz´n (Bunzkögele 2.140 – 2.320 m.ü.A.).  
Blickrichtung von der Zupenig Alm nach Norden

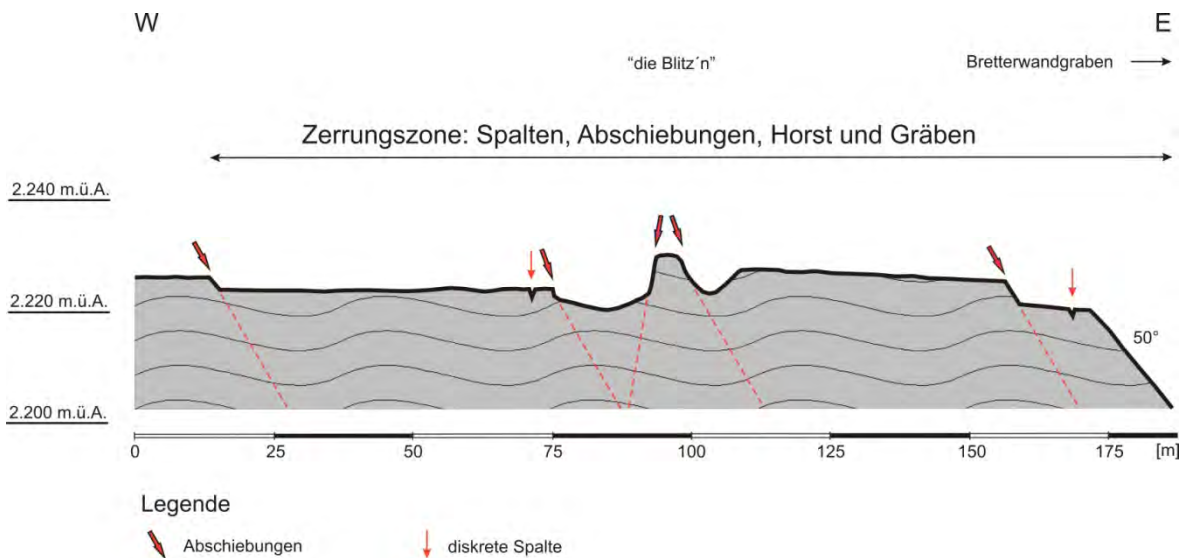


Abbildung 6.31: Profilskizze zur Erklärung der geomorphologischen Strukturen (Bergzerreißung) am Ostende der Massenbewegung Bunzkögele, Bereich Blitz´n



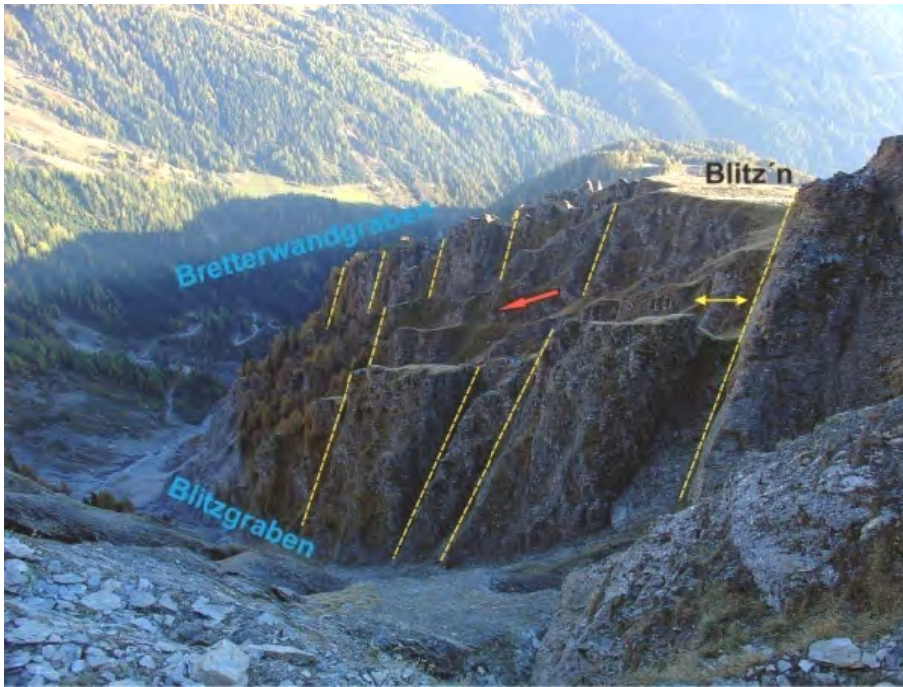


Abbildung 6.32: Zerlegung des östlichen Steilhanges durch junge Hangtektonik; Bruchstrukturen gelb gekennzeichnet; generelle Bewegungsrichtung des Hangkriechens nach Osten (roter Pfeil); Zerrspalte (gelber Doppelpfeil)

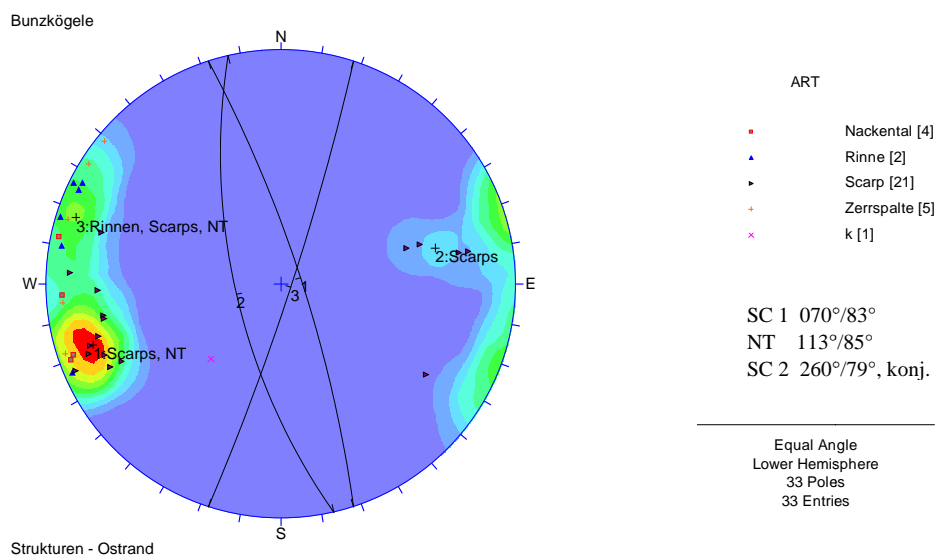


Abbildung 6.33: Großkreisdarstellung ausgewerteter Hauptrichtungen von konjugierten Abschiebungen (SC für scarps) und Zerrspalten respektive Nackentälern (NT) im Bereich Blitz'n und Zupenigalm (Polpunkt- und Isolinien-darstellung)



Abbildung 6.34: a) Nord-Süd verlaufende Zerrspalte bei der Zupenig Alm, 1.880 m.ü.A., Bruchflächen unregelmäßig, ausgefranst  
 b) Blitz'n, 2.220 m.ü.A.: Nackental, Zerrspalte; Bruchflächen unregelmäßig; im Bildhintergrund Spalten und konjugierte Abschiebungen (rote Pfeile), an denen eine Scholle tiefer gesetzt ist  
 c) V-förmige, einer Kluft folgende, ebenflächige Zugspalte am östlichen Rand der Blitz'n, 2.200 m.ü.A.

### 6.3.7.2 *Falkenstein*

Neben der beschriebenen Auflösung der Ostflanke wurden noch weitere Hinweise auf langsame, aktiv anzunehmende Massenbewegungen gefunden. Südöstlich des Falkensteins treten zwei außerordentlich große isolierte Körper von Dolomitmarmor (mehrere 10er bis 100te Kubikmeter), die auf „weichen“, nachgiebigen Phylliten lagern, auf. Die vorgefundene Situation wird als ein gravitatives Zerrgleiten auf einem geringfesten, durch die Hauptbewegung bereits stark beanspruchten Untergrund angesprochen und stellt gemäß POISEL & EPPENSTEINER (1988, 1989) ein System „Hart auf Weich“ dar. Hinweise für das laterale Auseinandergleiten des Dolomitmarmors stellen z.B. auch meterbreite Kluftgassen unmittelbar im Bereich des Kleinen und Großen Falkensteins dar.

Durch das ausgeprägt plastische Verformungsverhalten der Phyllite wurden die Gesteinslamellen im Liegenden des Falkensteins durch die Auflast des Dolomitkörpers



stärker als anderenorts verbogen und fallen daher flacher nach Nordnordost ein (s. Profil 3-3', Anlage E.5 und Strukturgeologische Karte, Anlage E.2).

### 6.3.8 Sekundäre Massenbewegungen

In Ergänzung zu den großen Strukturen der Großhangbewegung Bunzkögele wurde noch eine Reihe kleinerer, flachgründigerer, sog. sekundärer Massenbewegungen kartiert.

#### 6.3.8.1 *Kriechhang Násserwitz'n - Schmutzerálbe*

Die ausgeprägte Geländemulde zwischen Ochsenstoan und Trogalm zeigt eine bucklige Morphologie, gekoppelt mit einer Reihe von Quellaustritten zwischen 1.800 und 1.925 m.ü.A. Der untere wassergesättigte Hangabschnitt (Feuchtwiesen) bei der Schmutzerálbe (Násserwitz'n) von 1.780 bis 1.850 m.ü.A. wird als aktiv, der obere von 1.850 bis 1.950 m.ü.A. als derzeit inaktiv interpretiert. Die Kriechmasse besteht aus verwitterten Kalkphylliten und –glimmerschiefern. Ausschlaggebend für die Entstehung der sekundären Massenbewegung hier war im besonderen Maße auch die hangtektonische Zerlegung der Gesteine am Westende der Hauptbewegung (Pkt. 6.3.5.3).

#### 6.3.8.2 *Fossiler Erdstrom Bodenalm*

Der relativ flache Boden der Bodenalm ist durch eine unregelmäßig bucklige Geländeform gekennzeichnet, die im Osten durch einen auffällig steil abfallenden Wulst begrenzt wird. Diese Formen erinnern an einen fossilen Erdstrom. Gut in dieses Bild passt eine ergiebige Quelle, die in 1.825 m.ü.A. an der südlichen Stirn des Erdstroms austritt.



Abbildung 6.35: a) Buckelig geformter Kriechhang Schmutzerálbe (Nasserwitz'n), 1.800 m.ü.A.; Blickrichtung nach Norden; im Bildhintergrund die blanken, vegetationsfreien Abschiebungsflächen der Großhangbewegung  
b) Östlich begrenzende Wallform des fossilen Erdstroms bei der Bodenalm, 1.870 m.ü.A., Blickrichtung Nordosten

#### 6.3.8.3 *Aktiver Kriechhang, nördlich Gehöft „Mäschgl“*

Unterhalb der Forststraße zur Schmutzerálbe (1.750 m.ü.A.) bzw. nördlich des Gehöfts Mäschgl befindet sich ein stark vernässes Moor. Es bezieht sein Wasser zum einem aus einer Reihe von Quellaustritten, die hier in einer morphologischen Mulde entspringen, zum anderen aus Zuflüssen der Schmutzerálbe und der Bodenalm. Unterhalb von 1.730 m.ü.A. wird das Gelände steiler und lässt sich als stark vernässter, länglicher, aktiver Kriechkörper in einer Geländemulde bis 1.650 m.ü.A. verfolgen (Abbildung 5.36a). Nicht mehr aktiv

reicht der Kriechkörper noch bis 1.630 m.ü.A. hinunter. Mitunter ging dieser früher noch weiter nach Süden, in die Geländemulde der Gehöfte von Mäschgl und Hauser. Aufgrund der anthropogenen Überformung der Landschaft lässt sich das heute aber nicht mehr eindeutig feststellen.

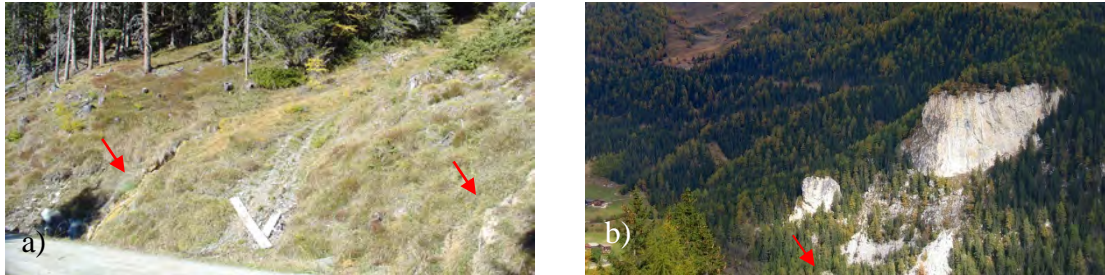


Abbildung 6.36: a) Stark vernässter Kriechkörper mit typisch kalkigen Sinterbildungen (rote Pfeile), welche Ausfällungen der stark kalkhaltigen Wässer (Kalkphyllite und Kalkglimmerschiefer) darstellen. Forststraße Glanzer Berg, 1.680 m.ü.A.  
b) Großer und Kleiner Falkenstein; die Felssturzablagerungen daraus reichen bis zum Bretterwandgraben; ein hausgroßer Block ist mit dem roten Pfeil markiert

#### 6.3.8.4 *Felssturzablagerungen*

In Zusammenhang mit dem Biegekippen am Unterhang wurde der Dolomitmarmorzug des Falkensteins steilgestellt und überkippt. Zusammen mit dem tektonischen Trennflächensystem bildete dies die Voraussetzung dafür, dass sich mehrere Felsstürze ereigneten. Sie bedecken heute ein Gebiet unterhalb des Kleinen und Großen Falkensteins (Abbildung 6.36b), wobei die Hauptablagerungen in der Umgebung des Gehöfts Zupenig anzutreffen sind.

#### 6.3.8.5 *Massenbewegungen an der Stirn*

Der Stirnbereich der Großhangbewegung zeigt östlich des Burgergrabens eine Reihe von markant ausgebildeten, muschelförmigen Hohlformen, innerhalb derer das Gelände unregelmäßig verläuft bzw. stufig abgesehen ist. Auffällig ist z.B. eine morphologische Hohlform westlich vom Gehöft Zupenig, wo auch etliche Quellen austreten. Sie speisen dort eine Reihe von künstlich angelegten Fischteichen. Die genannte Hohlform wird, wie auch die anderen, als relikte Anbruchsform von Rotationsrutschungen interpretiert. Wie aus den Rissen in der Straße zum Gehöft zu schließen ist, dürfte der die Mulde einnehmende Rutschkörper zumindest teilweise noch aktive, kriechende Bewegungen aufweisen.

Als Ursache für die Bewegungen an der Stirn gelten das übersteilte Gelände durch den Massenverlagerungsprozess der Großhangbewegung und die hangtektonische Beanspruchung der ohnehin schon geringfesten Phyllite. Die sekundären Massenbewegungen und der damit verbundene Massenabtrag erklären, weshalb die Stirn der Großhangbewegung heute nicht eine konvexe sondern eine leicht konkave Form aufweist.

## 6.4 Zusammenfassung zu den Strukturen

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Strukturen der alpidischen Gebirgsbildungsära von denen der jungen Hangtektonik im Gelände deutlich unterscheiden. Dabei sind letztere durch ihren durchwegs spröden Charakter gekennzeichnet. Aufgrund der besonderen, durch die Erosion des Bretterwandbachs geschaffenen Aufschlussverhältnisse lassen sich nicht nur die Strukturen an der Oberfläche sondern auch jene im Inneren des durch die Hangtektonik deformierten Böschungskörpers kartieren. Zu den wichtigsten zählen die Abschiebungen am Gipfelhang, die S-förmige Deformation der tafelförmigen Kluftkörper (Knickfaltung) im Bretterwandgraben, die Nackentäler im Mittelteil und das gestufte Gelände an der Stirn. Die Abschiebungen folgen den Schieferungsflächen, die mehr oder weniger einheitlich Ost-West streichen und mit  $60^\circ$  nach Süden einfallen. Etwas oberhalb der Mitte des Hanges beginnen dann die Schieferungsflächen vom regionaltektonisch verbreiteten Südfallen in ein flaches Nordfallen am Unterhang zu rotieren. Kinematische Indikatoren im Mikrobereich lieferten wichtige Beläge für die Bewegungsrichtung und ergänzten so das aus den Großstrukturen abgeleitete Bild.

Im Bretterwandgraben ist an zwei Stellen die Basis der Massenbewegung aufgeschlossen, an der die Schieferungsflächen vom überkippten Nordfallen in ein aufrechtes Südfallen zurückkehren. Damit bestätigt sich der wichtige Befund ZISCHINSKY'S (1966a), dass keine diskrete, basale Gleitfläche existiert. Gleichzeitig markieren diese beiden Aufschlüsse den Tiefgang der Massenbewegung, der +/- dem heutigem Bachverlauf entspricht.

Die Großhangbewegung gliedert sich in eine Hauptbewegung, die den zentralen und östlichen Bereich des Hanges einnimmt, und in eine Bewegung des Westsporns. Die zwei Teile werden untereinander und zu den äußeren Rändern hin durch schrägabschiebende Blattverschiebungen begrenzt. Die Hauptbewegung, welche bedeutend größere Abschiebungsbeträge als die Bewegung des Westsporns aufweist, reicht tiefer. An der Stirn des Hanges, wo beide Bewegungen ein Biegekippen zeigen, kommt es zu einer Angleichung der Bewegungstiefen.

Das Profil der Hauptbewegung zeigt typischerweise einen konkaven Oberhang. Die Stirn jedoch ist ebenfalls leicht konkav und nicht konvex, wie man es üblicherweise bei einem Talzuschub erwarten würde. Die konkave Form der Stirn ist auf Abtragungsprozesse sekundärer Massenbewegungen zurückzuführen. Bei der Bewegung am Westsporn ist die konvexe Auswölbung noch erhalten.

Die Strukturen am östlichen Steilhang zum Bretterwandgraben weisen auf eine junge, aktiv anzunehmende Hangtektonik hin. Auch im Bereich des Falkensteins sind Hinweise dafür vorhanden. Hingegen sind die Westhänge zum Tauerntal von tiefreichenden Massenbewegungen unbeeinflusst, da eine hangtektonische Entfestigung des Gebirges wie im Osten fehlt.



## 7 Geotechnische Verhältnisse des Arbeitsgebietes

Zum Verständnis des gebirgsmechanischen Verhaltens der Massenbewegung wurde eine Reihe geotechnischer Parameter für Gestein, Trennflächen und Gebirge gemäß den in Kapitel 5 beschriebenen Methoden erhoben und eine geomechanische Charakterisierung verschiedener Bereiche durchgeführt. Im Speziellen erfolgte ein Vergleich des „intakten“, von der Massenbewegung nicht erfassten Gebirges mit dem des von der Massenbewegung erfassten. Bereiche mit ähnlicher geomechanischer Charakteristik wurden zu „Geomechanischen Homogenbereichen“ zusammengefasst und ausgewiesen (Abbildung 7.1).

Bei Betrachtung der Südflanke Bunzkögele-Bretterwandspitze lässt sich erkennen, dass die Gesteine stark unterschiedliche Festigkeiten aufweisen: Während das Bunzkögele geomorphologisch durch sanfte, von Wiesen durchsetzte Bergformen geprägt ist und großteils aus diversen Phylliten niedriger Festigkeit aufgebaut wird, zeichnet sich die benachbarte Bretterwandspitze durch eine schroffe, steile Felsflanke, bestehend aus harten Kalkglimmerschiefern bis Glimmermarmoren, aus (Abbildung 7.2). Im Zuge der geologisch-geotechnischen Aufnahme der Gesteinseinheiten ergab sich weiterhin, dass die Abgrenzung geomechanisch ähnlich zu betrachtender Bereiche, sog. „geomechanischer Homogenbereiche“, nicht unbedingt an geologisch-tektonische Grenzziehungen gebunden ist (Kap. 4, Abbildung 4.2). So findet der beschriebene geomorphologische Wechsel zwischen Bunzkögele und Bretterwandspitze innerhalb der Glocknerdecke statt, und zwar am Übergang einer Serie von Kalkphylliten und Kalkglimmerschiefern zu einer von vorwiegend Kalkglimmerschiefern und Glimmermarmoren. Aus geomechanischen Überlegungen erfolgte deshalb eine Zweiteilung der Glockner Decke (Abbildung 7.1, Abbildung 7.2 und Abbildung 7.3) in einen weniger festen hangenden Teil (Glockner Decke Zone 2, GDZ2) und einen sehr festen liegenden Teil (Glockner Decke Zone 1, GDZ1). Der Stirnbereich der Massenbewegung besteht hauptsächlich aus einer Abfolge von geringfesten Phylliten, in die vereinzelt harte, linsig begrenzte Gesteinskörper vorkommen (Kap. 4, Abbildung 4.4). Zumal die vorgegebenen Schieferungsflächen den Versagensmechanismus am Bunzkögele wesentlich bestimmen, konzentrierten sich die Aufnahmen auf dieses Trennflächenset. Andere Richtungen von Trennflächen haben im Vergleich dazu kaum einen Einfluss, da sie entweder von geringer Erstreckung sind oder mit Zement verheilte Klüfte darstellen.



### Geotechnische Karte EZG Bretterwandgraben

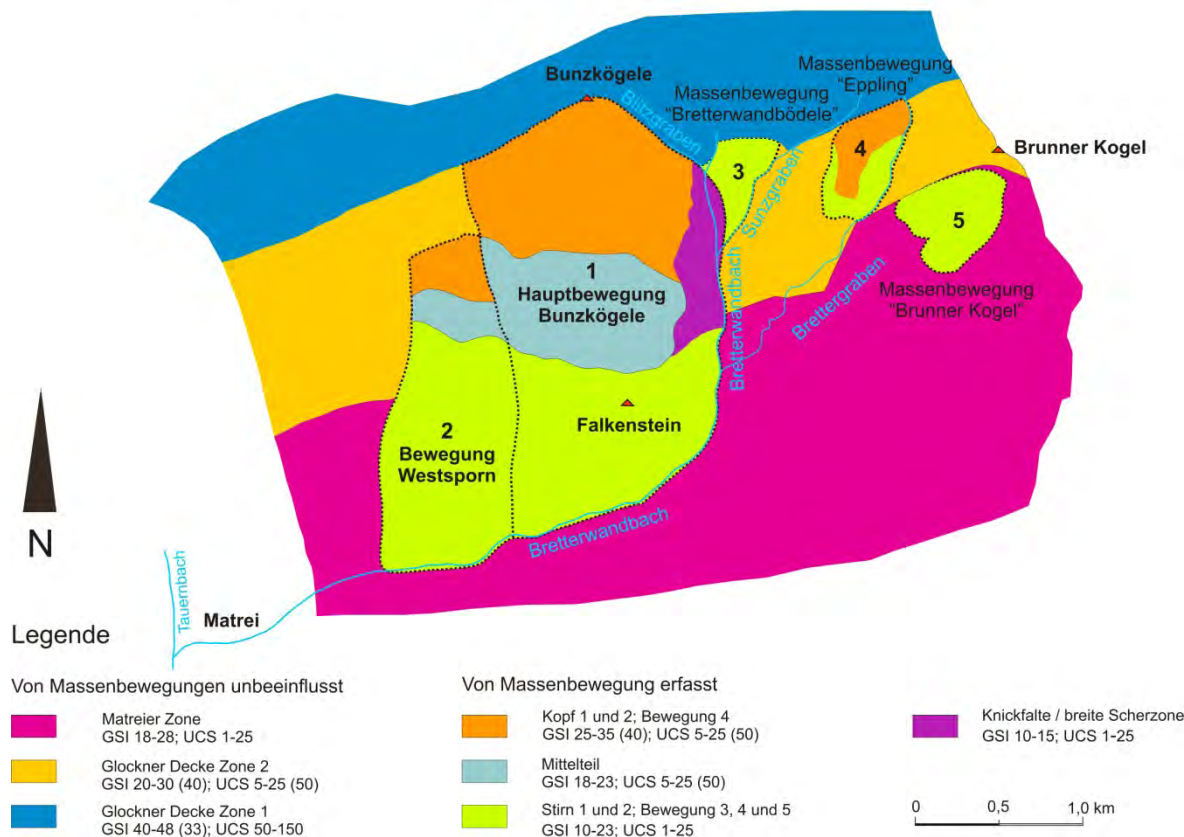
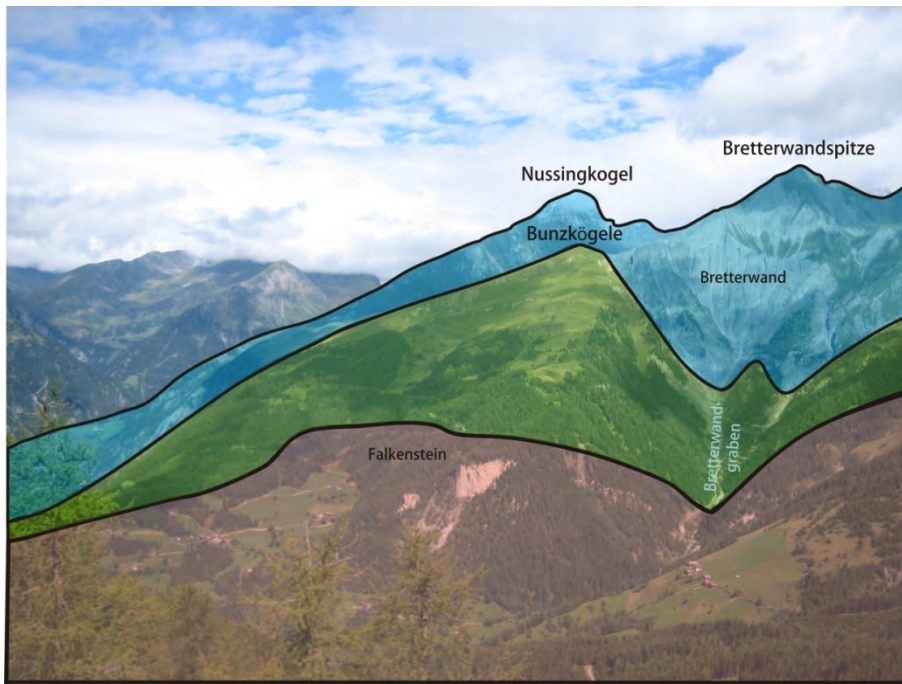


Abbildung 7.1: Flächige Verteilung der Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten vom weiter gefassten Einzugsgebiet des Bretterwandbaches (EZG). Die Werte in den Klammern stellen obere oder untere Werte der Festigkeit von Gestein oder Gebirge, die mengenmäßig in der Gesteinsabfolge untergeordnet vertreten sind, dar.

#### 7.1 Die geomechanischen Eigenschaften des von der Massenbewegung unbeeinflussten Gebirges

Den besten Einblick hierzu erhält man entlang der Felbertauernstraße (Anlage A.2: FTS-01 bis FTS-12 und FT-01 bis FT-04) und im Bereich Hinterburg (Anlage A.2: HB-01 bis HB-06). Gute Aufschlüsse befinden sich auch am Kopf der Massenbewegung (Anlage A.2: SA-01 und BL-01 bis BL-11), wo die Gesteinseinheiten durch die Hangtektonik wenig beansprucht sind, oder an den orografisch linken Einhängen des Hinteren Bretterwandgrabens (Anlage A.2: HBWG-02, HBWG-13 und HBWG-24).

Basierend auf den im Gelände erhobenen Daten können drei Homogenbereiche mit ähnlichen geomechanischen Eigenschaften unterschieden werden:



Legende  Matreier Zone  Glockner Decke Zone 2  Glockner Decke Zone 1

Abbildung 7.2: Übersicht des Arbeitsgebietes von der Bergstation Goldried mit Blickrichtung von Süden nach Norden  
 MZ und GDZ2 - Gebirge niedriger Festigkeit  
 GDZ1 - Gebirge hoher Festigkeit

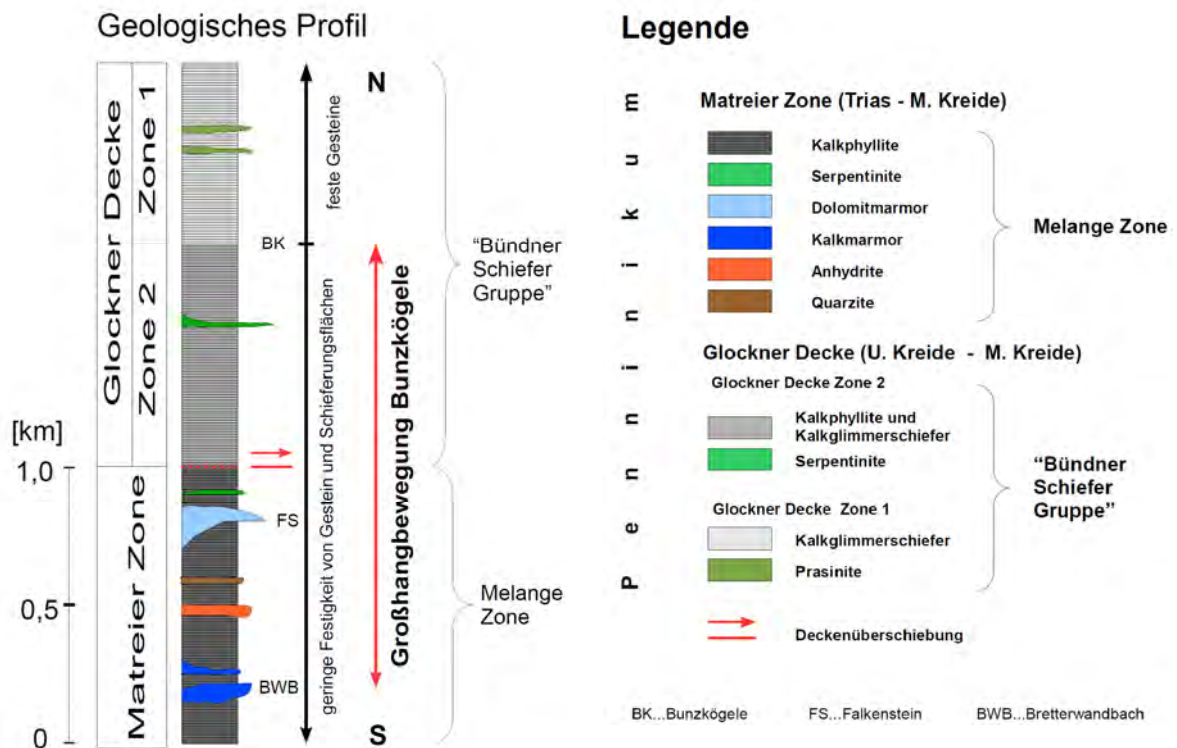


Abbildung 7.3: Geologisches Säulenprofil mit geotechnischer Charakterisierung der Gesteine

### 7.1.1 Matreier Zone (MZ)

#### a) Gesteinsbestand und petrographische Zusammensetzung

Die Gesteine der MZ bestehen größtenteils aus unterschiedlichen Phylliten, wie Serizitphyllite, Chloritphyllite und Graphitphyllite. Sie weisen allgemein geringe bis fehlende Kalkgehalte auf. Typisch im Erscheinungsbild der Phyllite sind Quarzlinzen. Diese entstanden im Zuge niedriggradiger Metamorphose aus mobilisiertem und schließlich rekristallisiertem Quarz des ursprünglichen Gesteinsverbandes. Quarzlinzen, die sich auf diese Art und Weise bilden werden als Segregationsquarz bezeichnet (VINX 2008). Der Mineralbestand (Tabelle 7.1) beinhaltet hauptsächlich Hellglimmer, meist in Form von Phengit; zudem treten Quarz, untergeordnet auch Feldspat und Karbonat auf (CORNELIUS & CLAR 1939, FRANK ET AL. 1987). Die Gesteine besitzen im frischen, unverwitterten Zustand einen typisch silbernen schimmernden Glanz (Anlage A.2: HB-03). Ein weiteres anzutreffendes Schichtsilikat ist Chlorit. Bei entsprechend hohem Gehalt verleiht er dem Gestein eine grünliche Farbe (Anlage A.2: FTS-02). Geomechanisch von Bedeutung sind noch dunkelgraue bis schwarze Graphitphyllite (Anlage A.2: FTS-01). Sie zeichnen sich durch sehr glatte Schieferungsflächen aus. Aufgrund des flyschoiden Charakters finden sich in den feinkörnigen Metapeliten immer wieder dünne, ca. 5 bis 10 Millimeter mächtige quarzitisches Lagen. Zuweilen erlangen diese Mächtigkeiten von mehreren Zentimetern bis zu einem Dezimeter<sup>1</sup> (Anlage A.2: VBWG-06 und HBWG-01).

In der beschriebenen phyllitischen Serie, die die Hauptgesteinsmasse darstellt, kommen zudem allochtone Gesteine des austroalpinen Kontinentalschelfs und des Erdmantels vor. Sie bilden ausgekeilte, linsig geformte Körper mit einer Mächtigkeit von mehreren Metern bis 10er Metern, in Ausnahmefällen bis zu einigen 100 Metern. Zu nennen sind Gips, Quarzit, Kalk-, Dolomitmarmor und Serpentin. Der Falkenstein zum Beispiel, ist ein 200 Meter mächtiger Körper aus Dolomitmarmor innerhalb der phyllitischen Abfolge, der sowohl lateral als auch in der Tiefe ausgekilt (Anlage E.5 Profil 1-1; Abbildung 7.2 und Abbildung 7.3).

#### b) Einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit<sup>2</sup>

Die Gesteinsfestigkeiten für diverse Phyllite der MZ bewegen sich meist zwischen 1 und 25 MPa. Höhere Festigkeiten werden von quarzreicheren Varietäten erreicht, niedrigere Festigkeiten stellen häufig graphitische Varietäten dar (Tabelle 7.2).

#### c) Kennwerte Schieferungsflächen

Die erhobene Rauigkeit der Schieferungsflächen von Phylliten zeigt, dass im Mikrobereich glatte gegenüber rauen Flächen vorherrschen (Tabelle 7.3). Sehr raue Flächen fehlen. Die aus den Profilen von BARTON & CHOUBY (1977) ermittelten niedrigen JRC (2-8) korrespondieren mit Phylliten, die einen hohen Phyllosilikatanteil aufweisen. Flächen, die einen höheren JRC (9-12) haben, sind durch höhere Quarzanteile (turbiditische Lagen) gekennzeichnet. Letztere besitzen typisch sandige Oberflächen. Oft wird eine höhere Rauigkeit auch durch das Vorhandensein eines ausgeprägten flach nach W einfallenden,

<sup>1</sup> Diese turbiditischen Abfolgen wurden von FRISCH ET AL. (1987) als „Tauernflysch“ bezeichnet.

<sup>2</sup> Die im Text verwendeten Begriffe „Gesteinsfestigkeit“ oder lediglich „Festigkeit“ bezeichnen stets die einaxiale Druckfestigkeit. Sollte es die Zug- oder Scherfestigkeit sein, wird sie explizit als solche bezeichnet.

quer zum Einfallen der Schieferungsflächen verlaufenden Streckungslinears<sup>1</sup> (Anlage A.2: FTS-03) bedingt. Sehr glatte Flächen haben Graphitphyllite (JRC 2-4), die als Zentimeter bis mehrere Meter mächtige Einschaltungen in der Abfolge vorkommen.

Im Makrobereich sind alle Flächen mit wenigen Ausnahmen als wellig anzusprechen. Verstärkt wird dies v.a. durch das Vorkommen von Quarzlinsen (Tabelle 7.3; Anlage A.2: HB-03). Der mit dem Nomogramm von BARTON & BANDIS (1982) ermittelte JRC für die Schieferungsflächen ergibt höhere Werte von 8-12 gegenüber jenen, die mit den Vergleichsprofilen von BARTON & CHOUBY (1977) erhoben wurden. Die Diskrepanz ist auf die wellige Gesamtcharakteristik (Makrorauigkeit) der Flächen zurückzuführen. Während die Profile von BARTON & CHOUBY (1977) primär auf die Mikrorauigkeit der Flächen im Labormaßstab (10 Zentimeter) abzielen, berücksichtigt der JRC von BARTON & BANDIS (1982) die Makrorauigkeit im Aufschluss (Meterbereich). Um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen wird der JRC, welcher mit den Profilen bestimmt wurde, mit einem vom Maßstab der Fläche abhängigen Faktor korrigiert (WYLLIE & MAH 2004). Die Mikrorauigkeit verliert bei großen Flächen gegenüber der Makrorauigkeit zunehmend an Bedeutung (HOEK 2007, WYLLIE & MAH 2004). Insofern stellen die mit dem Nomogramm bestimmten Werte des JRC die realistischeren Werte als jene, die mit den Profilen bestimmt wurden, dar.

#### d) Gebirgskennwerte

Der GSI für die Phyllite der MZ liegt aufgrund der geringen Gesteinsfestigkeit, der Engschiefrigkeit und des tektonischen Beanspruchungsgrades nur bei 18 bis 28 (Klasse G und F, Abbildung 7.1 und Tabelle 7.2). Dies äußert sich auch in einer kleinstückigen Zerlegung des Gesteins (Tabelle 7.2). Höhere Werte erreichen quarzreichere Phyllitabfolgen (GSI 25-30, Klasse E, Tabelle 7.2) und räumlich begrenzte Vorkommen von Dolomitmarmor und Quarzit (GSI 40-50, Klasse B, Tabelle 7.2).

#### Zusammenfassung

Die MZ ist im überwiegenden Maße durch geringe Festigkeiten sowohl der Gesteine (UCS 1-25) als auch der Schieferungsflächen (wellig, glatt) gekennzeichnet. Die geringe Gebirgsfestigkeit kommt in dementsprechend niedrigen GSI-Werten (18-28) zum Ausdruck. Das Gebirge besitzt aufgrund der sehr engstehenden Schieferungsflächen, die einen vollkommenen bzw. nahezu vollkommenen Durchtrennungsgrad zeigen und eine niedrige Festigkeit aufweisen, eine hohe Teilbeweglichkeit (Tabelle 7.3). Dies äußert sich auch in einer kleinstückigen Zerlegung des Gesteins (Tabelle 7.2).

### 7.1.2 Glockner Decke Zone 2 (GDZ2)

#### a) Gesteinsbestand und petrographische Zusammensetzung

Die Grenze zwischen der MZ und der Glockner Decke (GD) ist, obwohl sie nach PESTAL ET AL. (2009) einen tektonischen Kontakt darstellt, nicht scharf.

Allgemein ist der Übergang einerseits durch eine Zunahme des Karbonatgehaltes und andererseits mit dem vermehrten Auftreten turbiditischer Lagen gekennzeichnet. Der flyschoide Charakter der Metasedimente ist vielerorts ersichtlich (zum Beispiel

---

<sup>1</sup> Dieses Linear ist ein auffälliges, in allen Gesteinseinheiten anzutreffendes Element. Es entstand im Zuge der Heraushebung des Tauernfensters im Tertiär durch die starke Nord-Süd gerichtete Einengung bei gleichzeitiger duktiler Ost-West gerichteter Extension (LAMMERER & WEGER 1998).

Anlage A.2: FTS-07, FT-04, GB-01 und HBWG-13). Die Gesteine der hangenden Glockner Decke (GDZ2) umfassen vorwiegend Kalkphyllite mit mehr oder weniger Quarzanteil, denen Kalkglimmerschiefer, Quarzite und graphitische Phyllite zwischengeschaltet sind. Quarzlinzen sind relativ häufig. Der Mineralbestand inkludiert hauptsächlich variable Anteile von Calcit, Phyllosilikaten (Phengit, Paragonit, Margarit) und Quarz, untergeordnet treten Chlorit und Feldspat auf (FRANK ET AL. 1987, PESTAL ET AL. 2009). Graphit kommt immer wieder in bestimmten Lagen vor.

#### b) Einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit

Die einaxiale Druckfestigkeit der Gesteine ist gegenüber der MZ höher, was auf eine geringere tektonische Beanspruchung sowie auf das Vorkommen festerer Kalkglimmerschiefer und Quarzite zurückzuführen ist. Sie liegt großteils im Bereich zwischen 5 und 50 MPa. Werte darüber weisen festere Kalkglimmerschiefer bis Glimmermarmore und Quarzite auf, Werte darunter wenig feste Kalkphyllite und graphitische Phyllite (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.2).

#### c) Kennwerte Schieferungsflächen

Bei der Schieferung überwiegen raue Flächen (JRC 9 bis 12), daneben kommen auch glatte (JRC 2 bis 8) vor (Tabelle 7.3). Die rauen, sich sandig anführenden Schieferungsflächen sind den Kalkglimmerschiefern, quarzitischen Kalkphylliten und Glimmermarmoren zuzuordnen, die glatten Flächen den Kalkphylliten mit einem hohen Phyllosilikatanteil. Sehr glatte Flächen (JRC 2-4) treten bei graphitischen Phylliten auf (Tabelle 7.3). Eine wichtige Geländebeobachtung ist, dass an den Hauptabschiebungen sehr glatte Graphitphyllite vorkommen (Anlage A.2: BL-01, BL-04, BL-13 und HBWG-22,).

Der Gesamtcharakter der Flächen wird vom welligen Typus dominiert (beispielsweise Anlage A.2: BL-01). Wie in der MZ ist auch in der GDZ2 die Welligkeit durch das Vorkommen von Quarzlinzen lokal verstärkt (zum Beispiel Anlage A.2: FT-03).

#### d) Gebirgskennwerte

Der GSI spiegelt die Wechselfolge von Kalkphylliten und Kalkglimmerschiefern wider. Er ist daher variabel und weist eine Bandbreite von 20 bis 40 (Klasse G bis C) auf (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.2).

### Zusammenfassung

Die unterschiedlichen geotechnischen Eigenschaften der GDZ2 werden durch die bereits primär vorhandene Wechsellagerung der Metasedimente (turbiditische Charakter) bestimmt. Die Kalkphyllite weisen geringe Festigkeiten von 5 bis 25 MPa, die Kalkglimmerschiefer, Glimmermarmore und Quarzite Festigkeiten von 25 bis 150 MPa auf. JUNG & FELLNER (2003) geben für die Bündner Schiefer entlang der Trasse des Brenner-Basistunnels Werte zwischen 30 und 50 MPa an, die der mittleren einaxialen Druckfestigkeit der Gesteine im Arbeitsgebiet entsprechen. Die Trennflächen sind glatt und rau mit welligem Gesamtcharakter.

### 7.1.3 Glockner Decke Zone 1 (GDZ1)

#### a) Gesteinsbestand und petrographische Zusammensetzung

Die Gesteine der tieferen Glockner Decke (GDZ1) setzen sich großteils aus Kalkglimmerschiefern, Glimmermarmoren und Quarziten<sup>1</sup> zusammen (Anlage A.2: FTS-11, FTS-12, BL-06 und HBWG-24). Die Abfolge zeichnet sich durch fehlende bis geringmächtige Zwischenlagen von Kalkphylliten aus. Die Grenze zwischen der GDZ2 und der GDZ1 ist unscharf und verläuft etwas nördlich vom Bunzkögele (Anlage A.2: BL06). Der Mineralbestand der Kalkglimmerschiefer besteht hauptsächlich aus Calcit, +/- Quarz und +/- div. Hellglimmer. Weitere Bestandteile können Phlogopit, Chlorit, Dolomit und Feldspat sein (PESTAL ET AL. 2009; Tabelle 7.1). Quarz kommt zudem in linsiger Form als Segregationsquarz vor. Nördlich der Bretterwandspitze tauchen die ersten Prasinitzüge in der Serie der Kalkglimmerschiefer auf. PESTAL ET AL. (2009) beschreiben die Prasinite als feinkörnige, Grüngesteine, die aus Albit oder Oligoklas, Aktinolith oder Hornblende, Epidot und Chlorit bestehen. Ihr Auftreten wird nach N hin häufiger, wo sie hohe Gipfel, wie zum Beispiel den Großglockner, aufbauen.

#### b) Einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit

Die Kalkglimmerschiefer weisen relativ hohe Festigkeiten auf. Die nach der ISRM-Geländemethode (ISRM 1981b) geschätzten einaxialen Druckfestigkeiten liegen bei 50 bis 150 MPa und darüber (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.2). Die Bandbreite entspricht bekannten, im Labor ermittelten Werten aus der Literatur. STINI (1941) zum Beispiel bestimmte für Kalkglimmerschiefer 100 bis 130 MPa normal auf die Schieferung und parallel dazu 89 bis 95 MPa. Aus der Dabaklamm in Tirol liegen parallel zur Schieferung einaxiale Druckfestigkeiten zwischen 26 und 50 MPa und normal darauf welche von 33 bis 97 MPa vor (CZECH & HUBER 1990). Die große Bandbreite bei den zuletzt genannten Werten lässt vermuten, dass die Proben aus dem Abschnitt der GDZ2 (flyschoider Charakter der Metasedimente) stammen.

#### c) Kennwerte Schieferungsflächen

Die Mikrorauigkeit der Schieferungsflächen der Kalkglimmerschiefer und Glimmermarmore ist aufgrund der größeren Minerale (sandige Oberflächen) im Vergleich zu den Phylliten vielfach rau, die Makrorauigkeit ist wellig. Der bestimmte JRC liegt überwiegend zwischen 6 und 12 (Tabelle 7.3).

#### d) Gebirgskennwerte

Der GSI ist gegenüber der MZ und der GDZ2 merklich erhöht. Die Bandbreite reicht von 33 bis 48 (Klasse D-B). Dabei stellen Werte zwischen 40 und 48 (Klasse B) die häufigsten dar (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.2). Der geringe Zerlegungsrad des Gebirges äußert sich in der Bildung größerer Kluftkörper mit einer Kantenlänge, die im Mittel zwischen 20 und 60 Zentimeter liegt (Tabelle 7.2). Die hohe Gebirgsfestigkeit der GDZ1 kommt in der morphologisch auffallenden, steilen und hohen Bretterwand besonders deutlich zum Ausdruck (Abbildung 7.2).

<sup>1</sup> Es wird hier nochmals darauf hingewiesen, dass der Begriff Kalkglimmerschiefer ein Sammelbegriff für kalkige Schiefer, Glimmermarmore und Quarzite (s. Kap. 4) ist.

## Zusammenfassung

Die GDZ1 bildet im Vergleich zur GDZ2 eine +/- homogene Gesteinsabfolge, die sich allgemein durch eine hohe Gebirgsfestigkeit auszeichnet. Sie wurde in die Hangbewegung nicht mehr miteinbezogen.

## **7.2 Die geotechnischen Eigenschaften des von der Massenbewegung erfassten Gebirges**

### **7.2.1 Kopf der Massenbewegung (Oberhang)**

Aus Abbildung 7.1 und Tabelle 7.4 geht hervor, dass der Kopf der Massenbewegung relativ wenig beansprucht ist. Die Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten unterscheiden sich kaum von jenen der unbewegten Areale. Die einaxiale Druckfestigkeit der Kalkphyllite und

-glimmerschiefer liegt großteils zwischen 25 und 50 MPa (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.4). Geringere Festigkeiten unter 25 MPa stellen Kalkphyllite und Graphitphyllite dar, höhere als 50 MPa Kalkglimmermarmore und Quarzite (Tabelle 7.4). Der GSI hängt wesentlich vom Anteil der Kalkglimmerschiefer ab und bewegt sich zwischen 25 und 40 (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.4). Ein GSI von 20-25 weist auf eine stark betont phyllitische Abfolge hin.

### **7.2.2 Mittelteil der Massenbewegung**

Durch die Zunahme der Hangverschiebungen im Mittelteil nimmt auch der Grad der Beanspruchung zu (Anlage A.2: GB-08 und HBWG-11). Die geotechnischen Eigenschaften sind durch den flyschoiden Charakter der Metasedimente sehr variabel (vgl. GDZ2, Punkt 6.2). Die einaxiale Druckfestigkeit nach der ISRM-Methode (ISRM 1981b) lieferte überwiegend Werte zwischen 5 und 50 MPa, vereinzelt auch Werte darüber (Tabelle 7.4). Der GSI liegt häufig zwischen 18 und 23 (Klasse F, Abbildung 7.1 und Tabelle 7.4). Höhere Werte (GSI 30 bis 40, Klasse C und D, Tabelle 7.4) sind anzutreffen, wenn in der Abfolge vermehrt Kalkglimmerschiefer vorkommen (Anlage A.2: GB-02 und GB-04).

### **7.2.3 Stirn der Massenbewegung (Unterhang)**

Die Stirn der Massenbewegung wird von der tektonisch stark beanspruchten MZ eingenommen. Sie setzt sich in der Hauptmasse aus primär geringfesten Phylliten, in die harte, in ihrer räumlichen Ausdehnung begrenzte, allochthone Gesteinskörper (zum Beispiel der Dolomitmarmorzug des Falkensteins) eingeschaltet sind, zusammen. Die großen Hangverschiebungen an der Stirn haben zu einer weiteren Entfestigung des Gebirges geführt (Anlage A.2: GD-06, VBWG-08 und HBWG-07). Dementsprechend niedrig sind die Gesteins- und Gebirgskennwerte. Die einaxiale Druckfestigkeit liegt hauptsächlich im Bereich zwischen 1 und 25 MPa<sup>1</sup>, der GSI meist zwischen 10 und 23 (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.4).

---

<sup>1</sup> Allochthone, harte Gesteinskörper sind in diesen Werten nicht berücksichtigt.



### 7.2.4 Knickbandzone (breite Scherzone)

Der extreme Beanspruchungsgrad der Knickbandzone, die eine breite Scherzone darstellt, spiegelt sich in den geringen einaxialen Druckfestigkeiten (1-25 MPa), den schlechten GSI-Werten (10-15, entspricht den Klassen H und F) und der kleinstückigen Zerlegung des Gesteins wider (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.4). Das Gebirge ist stark zerschert und entfestigt (Anlage A.2: HBWG-1 und HBWG-19) und/oder intensiv, im Dezimeterbereich verfaultet (Anlage A.2: HBWG-15).

Gestein	Farbe (unverwittert)	Mineralbestand <sup>1</sup>	Korngröße [mm]	Erscheinungsbild <sup>2</sup>	UCS [MPa]
Phyllite / quarzitische Phyllite	grau, Oberfläche silbern glänzend	HGL (PHE) + QZ +/- FS (ALB)	<0,1-0,5	dünnschiefrig (Abb. FTS-10)	5-50
Chloritphyllite / quarzitische Chloritphyllite	hell bis dunkelgrün	+/- CHL + HGL (PHE) + QZ +/- FS (ALB),	<0,1-0,5	dünnschiefrig (Abb. FTS-02)	5-50
Graphitphyllite	dunkelgrau bis schwarz	HGL (PHE) + QZ +/- GPH +/- FS (ALB) +/- CHL	<0,1-0,5	dünnschiefrig (Abb. FTS-04)	1-25
Kalkphyllite / quarzitische Kalkphyllite	grau	CAL + HGL (PHE) +/- DOL + QZ +/- FS (ALB)	<0,1-0,5	dünnschiefrig (Abb. BL-09)	5-50
Kalkglimmerschiefer und Glimmermarmor	grau, graublau	CAL + HGL (PHE, PAR, MAR) + QZ, +/- PHLO +/- CHL +/- FS (PLAG)	0,1-1,0	schiefrig/bankig (Abb. FTS 12)	50-150
Metaevaporite	weiß	Gips	0,5-2,0 zucker-körnig	dick gebankt – massig (Abb. VBWG-07)	0,25-1
Quarzite	weiß	QZ, + HGL (PHE), +/- CHL	0,5-2,0	dick gebankt (Abb. GD-02)	100-250
Kalk / Dolomitmarmor	weiß	CAL, DOL	0,1-1,0	massig (Abb. HBWG-03)	>200
Serpentinit	dunkelgrün	CST-Fasern	0,1-30,0	schiefrig - massig (Abb. OA-01)	>250
Talkschiefer / Serpentinit	weiß/grün	TLK, CST-Fasern	0,1-30,0	schiefrig (Abb. FTS-06)	1-5
Prasinit	grün	ALB oder OLIG, AKT, HBL, EPI und CHL	0,1-0,5	schiefrig	100-250

Tabelle 7.1: Petrographische Zusammensetzung und einaxiale Druckfestigkeiten (UCS) der Gesteine im Arbeitsgebiet

#### Abkürzungen:

AKT...Aktinolith; ALB...Albit; CAL...Calcit; CHL...Chlorit; CST...Chrysotil; DOL...Dolomit; EPI...Epidot; FS...Feldspat; GPH...Graphit; HBL...Hornblende; HGL...Hellglimmer; MAR...Margarit; OLIG...Oligoklas; PAR...Paragonit; PHE...Phengit; PHLO...Phlogobit, QZ...Quarz; TLK...Talk

<sup>1</sup> Die Angabe der gesteinsbildenden Mineralien erfolgte aufgrund eigener makroskopischer Ansprachen ergänzt durch die Bestimmungen von CORNELIUS & CLAR (1939), FRANK ET AL. (1987) und PESTAL ET AL. (2009).

<sup>2</sup> Die in der Klammer angegebenen Abbildungen finden sich in Anlage A.2.

### 7.3 Zusammenfassung Geotechnik

Die Gesteinsabfolge, die den Südhang des Bunzkögeles aufbaut, ist durch sehr niedrige bis niedrige Festigkeiten der Gesteine und Schieferungsflächen, d.h., durch eine niedrige Gebirgsfestigkeit charakterisiert. Die Gebirgsfestigkeit nimmt ausgehend vom Bretterwandbach im Süden bis zum Bunzkögele im Norden zu. Der Bereich nördlich vom Bunzkögele und der Bretterwandspitze zeichnet sich durch hohe Festigkeiten sowohl der Gesteine als auch der Trennflächen aus und ist daher von tiefgreifenden, langsamen Hangbewegungen unbeeinflusst. Ausdruck der großen Festigkeit sind die hohen und steilen Felswände der Bretterwand oder des Tschadinhörndls.

Die Masse der in die Hangbewegung involvierten Gesteine bilden div. Phyllite mit einer einaxialen Druckfestigkeit von 5 bis 50 MPa. Höhere Festigkeiten erreichen zwischengeschaltete Kalkglimmerschiefer, Dolomit- und Kalkmarmore und Quarzite, niedrigere Graphitphyllite (Abbildung 7.1 und Tabelle 7.2). Die genannten festen Gesteinskörper sind entweder lokal begrenzt und/oder in ihrer Mächtigkeit gering, sodass sie das regionale, gebirgsmechanische Verhalten der Massenbewegung kaum beeinflussen. Die Kinematik der Bewegungen wird wesentlich von den mit  $60^\circ$  nach Süden einfallenden Schieferungsflächen gesteuert (s. Kap. 8 und Kap 9). Es sind glatte und raue Typen von Flächen (JRC 4-12) zu etwa gleichen Teilen anzutreffen. Der Gesamteindruck (Makrorauigkeit) ist ein welliger. Sehr glatte Flächen weisen Graphitphyllite (JRC 2-4) auf (Tabelle 7.3). Sie kommen immer wieder als Zentimeter bis mehrere Meter mächtige Einschaltungen vor, speziell auch am Oberhang der Massenbewegung, wo sie an den Hauptabschiebungen kartiert werden konnten. Diese glatten, geringfesten Flächen spielen für das Hangversagen eine entscheidende Rolle.

Durch die Hangbewegungen wurden die Gesteine unterschiedlich stark beansprucht. Der höchste Beanspruchungsgrad ergibt sich aufgrund großer Verschiebungen in der Knickbandzone, gefolgt von der Stirn der Massenbewegung und dem Mittelteil. Der Kopf der Massenbewegung ist hingegen relativ wenig verformt (Abbildung 7.1). Das Abschieben von Gesteinslamellen entlang der steilen Schieferungsflächen hat dem Gebirge oberflächennah wenig Schaden zugefügt, d.h., es liegt hier noch relativ wenig beansprucht und zerlegt vor.

Bereich	Gestein			Gebirge		
	UCS [MPa]: Matreier Zone	GSI – Geological Strength Index	Kluftkörpergrößen / Zerlegungsgrad	Verwitterung	Kluftkörpergrößen [cm]: Matreier Zone	Verwitterung: Matreier Zone
<b>MZ</b>						
<b>GDZ</b>						
<b>GDZI</b>						

Tabelle 7.2: Kennwerte für Gestein und Gebirge für Bereiche außerhalb der Massenbewegung. Die in der phyllitischen Serie der MZ räumlich begrenzten, allochthon vorkommenden Gesteinskörper sind nicht berücksichtigt.

Bereich	Trennflächen JRC (Profile) nach BARTON & CHOUBY 1977	JRC (Nomogramm) nach BARTON & BANDIS 1982	Mikro- und Mikrorauigkeit (visuell) nach ISRM 1981a
<b>MZ</b>	<p>JRC (Mikrorauigkeit) sf: Matreier Zone</p> <p>JRC Klassen (Profile n. Barton &amp; Chouby, 1977)</p>	<p>JRC (Makrorauigkeit) sf: Matreier Zone</p> <p>JRC (Nomogramm n. Barton &amp; Bandis, 1982)</p>	<p>Deskriptive Rauigkeitsklassen sf: Matreier Zone</p>
<b>GDZ2</b>	<p>JRC (Mikrorauigkeit) sf: Glockner Decke Zone 2</p> <p>JRC Klassen (Profile n. Barton &amp; Chouby, 1977)</p>	<p>JRC (Makrorauigkeit) sf: Glockner Decke Zone 2</p> <p>JRC Klassen (Nomogramm n. Barton &amp; Bandis, 1982)</p>	<p>Deskriptive Rauigkeitsklassen sf: Glockner Decke Zone 2</p>
<b>GDZ1</b>	<p>JRC (Mikrorauigkeit) sf: Glockner Decke Zone 1</p> <p>JRC Klassen (Profile n. Barton &amp; Chouby, 1977)</p>	<p>JRC (Makrorauigkeit) sf: Glockner Decke Zone 1</p> <p>JRC Klassen (Nomogramm n. Barton &amp; Bandis, 1982)</p>	<p>Deskriptive Rauigkeitsklassen sf: Glockner Decke Zone 1</p>

Tabelle 7.3: Kennwerte der Schieferungsflächen von Bereichen außerhalb der Massenbewegung

Bereich	Gebirge			
	Gestein	GSI – Geological Strength Index	Kluftkörpergrößen / Zerlegungsgrad	Verwitterung
Kopf	<p>UCS [MPa]: Kopf Massenbewegung</p>	<p>GSI: Kopf Massenbewegung</p>	<p>Kluftkörpergrößen [cm]: Kopf Massenbewegung</p>	<p>Verwitterung: Kopf Massenbewegung</p>
	<p>UCS [MPa]: Mittelteil Massenbewegung</p>	<p>GSI: Mittelteil Massenbewegung</p>	<p>Kluftkörpergrößen [cm]: Mittelteil Massenbewegung</p>	<p>Verwitterung: Mittelteil Massenbewegung</p>
Stirn	<p>UCS [MPa]: Stirn Massenbewegung</p>	<p>GSI: Stirn Massenbewegung</p>	<p>Kluftkörpergrößen [cm]: Stirn Massenbewegung</p>	<p>Verwitterung: Stirn Massenbewegung</p>
	<p>UCS [MPa]: Scherzone</p>	<p>GSI: Scherzone</p>	<p>Kluftkörpergrößen [cm]: Scherzone</p>	<p>Verwitterung: Scherzone</p>

Tabelle 7.4: Kennwerte für Gestein und Gebirge, die von der Massenbewegung erfasst wurden





## 8 Numerische Modellierung des Hangversagens

### 8.1 Allgemeines zu den numerischen Verfahren

Für die Modellierung des Spannungs-Verformungsverhaltens von geklüftetem Fels steht heute eine Reihe numerischer Computerprogramme zur Verfügung. Diese haben ihre Stärken, wenn es gilt, die Berechnung eines durch progressiven Bruch und komplexe Deformation gekennzeichneten Versagensmechanismus durchzuführen und darzustellen.

#### 8.1.1 Mechanische Formulierung

Die mechanische Formulierung eines felsmechanischen Problems kann grundsätzlich als Kontinuum oder Diskontinuum erfolgen. Nachdem der geklüftete Fels sowohl Eigenschaften eines Kontinuums als auch eines Diskontinuums zeigt (POISEL 1991), hängt die Wahl der Formulierung wesentlich vom zu erwartenden Verformungsverhalten ab: Bildet das Gebirge makroskopisch betrachtet einen homogenen Körper und bleibt der Zusammenhalt der Struktur während der Formänderung annähernd erhalten, bilden Kontinuumsmodelle die bevorzugte Wahl. Wird das Verformungsverhalten hingegen durch vorgegebene Trennflächen (Schichtung, Schieferung, Klüfte, Scher- oder Störungszonen u.a.) bestimmt und sollen Bewegungsabläufe unabhängiger Körper beschrieben werden, so können nur Diskontinuumsprogramme entsprechende Lösungen bieten (WILL & KONIETZKY 1998).

Programme, die den Problembereich als Kontinuum oder aus mehreren Kontinua zusammengesetzt betrachten, verwenden numerische Methoden wie beispielsweise Finite Differenzen (FDM) oder Finite Elemente (FEM). In diese lassen sich einzelne Störungen, Klüfte etc. implementieren. Demgegenüber wird bei Diskontinuumsprogrammen das Aufgabengebiet als eine Ansammlung diskreter Körper bzw. Blöcke mit unterschiedlichen Trennflächen definiert. Das bekannteste numerische Verfahren dazu ist die Methode der Distinkten Elemente (DEM). Seit einiger Zeit sind auch hybride bzw. kombinierte Modellwerkzeuge erhältlich. Gekoppelte Finite und Distinkte Element-Methoden erlauben im Zuge der Modellierung die numerische Bildung neuer Bruchstrukturen im intakten Fels (STEAD ET AL. 2001, EBERHARDT ET AL. 2004).

#### 8.1.2 Numerische Lösung

Die numerische Verarbeitung betrifft die Lösung nichtlinearer Differentialgleichungen (Abbildung 8.3). Unterschiede bestehen nach WILL & KONIETZKY (1998) in der Art

- a) der Zeitdiskretisierung und
- b) der Ortsdiskretisierung.

Zu a) Die Zeitintegration kann implizit oder explizit erfolgen. Bei impliziten dynamischen Lösungsverfahren wird die Bewegungsgleichung für den zuerst noch unbekanntem Zeitpunkt ( $t+\Delta t$ ) ausgewertet.

$$M^{t+\Delta t} \cdot \ddot{u} + C^{t+\Delta t} \cdot \dot{u} + K^{t+\Delta t} \cdot u = F_{ext}^{t+\Delta t} \quad (7.1)$$

Es bedeuten:

M	Massenmatrix	$\ddot{u}$	Beschleunigungsvektor
C	Dämpfungsmatrix	$\dot{u}$	Geschwindigkeitsvektor
K	Steifigkeitsmatrix	$u$	Verschiebungsvektor

$F_{ext}$  äußere Kräfte

Dazu ist ein lineares Gleichungssystem zu lösen. Durch dieses sind die Werte des neuen Zeitschritts mit den alten gekoppelt (Abbildung 8.1). Der Vorteil impliziter Lösungsverfahren liegt bei linearen bis annähernd linearen Aufgabenstellungen, bei denen die Lösung mit großen Inkrementen und durch wenige Iterationen erreicht werden kann. Nichtlineare Gleichungssysteme werden durch inkrementelle Iterationsverfahren gelöst. Die Erzielung der Lösung kann dann zeitkonsumierend sein und der Vorteil, den implizite Lösungsverfahren haben geht verloren.

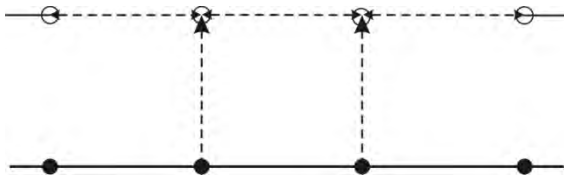


Abbildung 8.1: Implizite Zeitdiskretisierung (PROJEKTGRUPPE PRAKTISCHE MATHEMATIK 2003)

Bei den expliziten Verfahren wird die Bewegungsgleichung zum bekannten Zeitpunkt  $t$  ausgewertet.

$$M^t \cdot \ddot{u} + C^t \cdot \dot{u} + K^t \cdot u = F_{ext}^t \quad (7.2)$$

Zur Berechnung der neuen Werte werden die Werte des alten Zeitschritts verwendet. Daraus resultiert ein Nachteil der Methode: zwischen den einzelnen Funktionswerten einer Zeitebene gibt es keinen funktionalen Zusammenhang mehr. Das Problem ist entkoppelt (Abbildung 8.2).

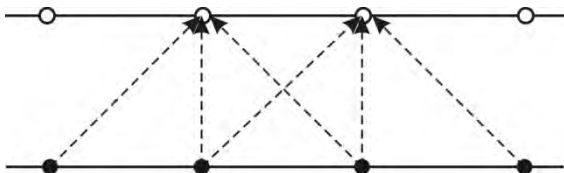


Abbildung 8.2: Explizite Zeitdiskretisierung (PROJEKTGRUPPE PRAKTISCHE MATHEMATIK 2003)

Um das daraus resultierende numerische Stabilitätsproblem zu vermeiden, ist es notwendig, einen sehr kleinen Berechnungsschritt zu wählen. Dadurch wird die Informationsausbreitungsgeschwindigkeit im System kleiner gehalten als die physikalische Ausbreitungsgeschwindigkeit der Belastung. Die Entkoppelung schafft unabhängige Bewegungsgleichungen in allen Netzpunkten. Die dynamischen Gleichgewichtsbetrachtungen können damit für jeden Zeitschritt am Knoten erfolgen und berechnet werden (WILL & KONIETZKY 1998, PREH 2004b). Der große Vorteil, der sich

daraus ergibt ist, dass keine Gleichungssysteme gelöst werden müssen. Aufgrund der physikalisch getrennten Betrachtung eines jeden Elements während eines Berechnungszeitschritts eignet sich dieses Verfahren besonders gut zur Modellierung physikalisch instabiler Prozesse, die durch große Verschiebungen gekennzeichnet sind. Da im Gegensatz zu den impliziten Verfahren keine Iterationen notwendig sind und damit keine Matrizen gebildet werden müssen, lassen sich nichtlineare Materialgesetze leicht implementieren (KONIETZKY ET AL. 1994, HART 2003). Neben dem numerischen Stabilitätsproblem muss auch die Schwingung des Systems beachtet werden. Für den Erhalt der statischen Lösung wird daher das System gedämpft, d.h., es wird ihm kinetische Energie entzogen (KONIETZKY ET AL. 1994).

Zu b): Bei der Ortsdiskretisierung werden Differential- und Integralverfahren unterschieden. Bei den Differentialmethoden wird das Modell vollständig mit einem Netz bestehend aus Knotenpunkten unterteilt (diskretisiert). Zu diesen zählen die Finite Differenzen Methode (engl. *Finite Difference Method*, FDM) und die Finite Element Methode (engl. *Finite Element Method*, FEM). Bei den Integralmethoden (engl. *Boundary Element Code*, BEM) hingegen werden nur die Ränder, um entsprechende Randbedingungen aufzubringen, diskretisiert.

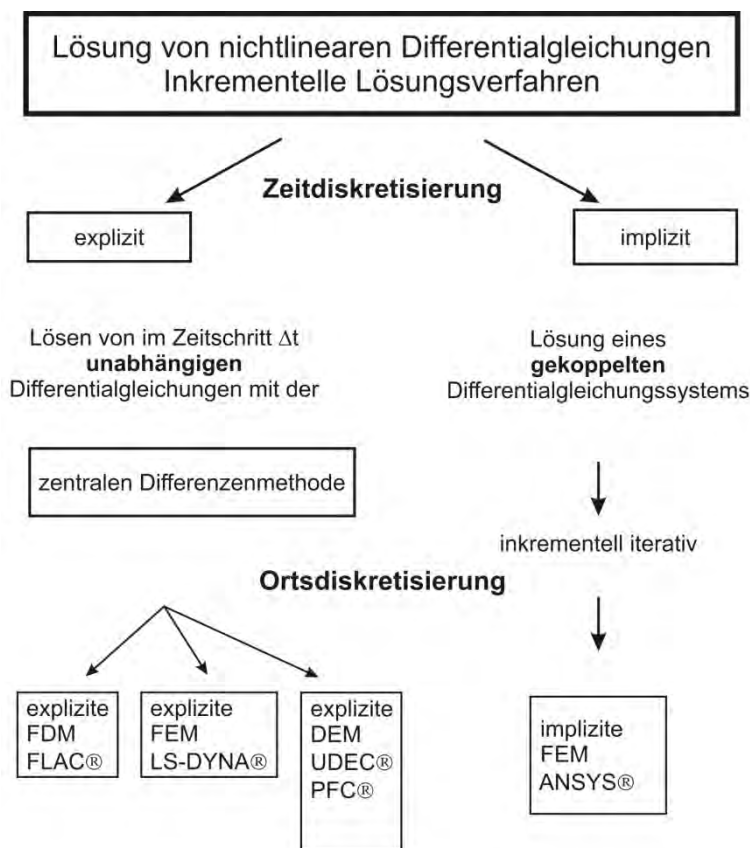


Abbildung 8.3: Klassifizierung numerischer Lösungsverfahren nach Art der numerischen Verarbeitung, nach WILL & KONIETZKY (1998)

## 8.2 Kriterien zur Modellierung des Versagensmechanismus am Bunzkögele

Bei der Auswahl des Computerprogramms zur numerischen Modellierung des Versagensmechanismus am Bunzkögele waren folgende Kriterien zu berücksichtigen:

1. Die Hangdeformation ist sowohl durch ein Versagen entlang der Schieferungsflächen als auch durch spröden Bruch des Gesteins (div. Phyllite und Kalkglimmerschiefer) gekennzeichnet.
2. Die Schieferung des Gesteins hat einen maßgeblichen Einfluss auf das Spannungsbild und bestimmt den Versagensmechanismus.
3. Die Simulation großer Verschiebungen mit ausgeprägten Verformungen, wie sie in der Natur zu beobachten sind, musste programmtechnisch möglich sein.

Aufgrund der genannten Rahmenbedingungen waren die mechanische Formulierung als Diskontinuum und ein explizites Rechenverfahren vorgegeben. Für die Simulation des Versagensmechanismus wurde das Programm UDEC, Version 4.01, von ITASCA Consulting Group gewählt. UDEC erfüllt die o.a. Kriterien und sollte zudem auch noch Erkenntnisse über

- die Kinematik, respektive den zeitlichen Ablauf der Bewegungen,
- das Verhalten von Gestein und Trennflächen sowie
- das Deformationsbild unter dem Einfluss der Schwerkraft liefern.

## 8.3 Theoretische Grundlagen zum Programm UDEC

UDEC bildet ein Programm innerhalb der Diskreten Element Verfahren, welches als Methode der Distinkten Elemente (engl. *Distinct Element Method* – DEM) bezeichnet wird. Das Programm führt zweidimensionale, ebene Berechnungen durch. Die Entwicklung geht auf CUNDALL (1971) zurück und ist speziell auf die Lösung felsmechanischer Problemstellungen mit Diskontinuumscharakter ausgerichtet. D.h., das Programm besitzt die Fähigkeit, das Verhalten sowohl der Trennflächen als auch des Gesteins zu modellieren.

### 8.3.1 Charakterisierung der 2D DEM mit speziellem Bezug zu UDEC

UDEC zeichnet sich durch die Verarbeitung einer Ansammlung interaktiver, diskreter Blöcke, die starr oder verformbar sein können, aus. Die Blöcke werden von Klüften getrennt. Die Klüfte bilden Kontakte, die über die Normal- und Schersteifigkeit definiert sind. Das Kontaktmodell in UDEC ist ein weiches, was bedeutet, dass sich die Kluffkörper in einem bestimmten Ausmaß durchdringen können. Diese Eigenschaft wird besonders bei Systemen mit höherer Reibung und großen Spannungen bedeutend. Ein leistungsfähiger, expliziter zeitgesteuerter Algorithmus stellt bei Bewegungen der Blöcke fest, wo sich Kontakte auflösen bzw. wo Kontakte neu gebildet werden.

UDEC bildet in gewisser Art und Weise ein hybrides Verfahren (Abbildung 8.4). Es verwendet das DEM Schema zur Modellierung des Gleitens oder Öffnens von Klüften und

die Explizite Finite Differenzen Formulierung (EDF) für die Modellierung der verformbaren Blöcke (HART 2003).

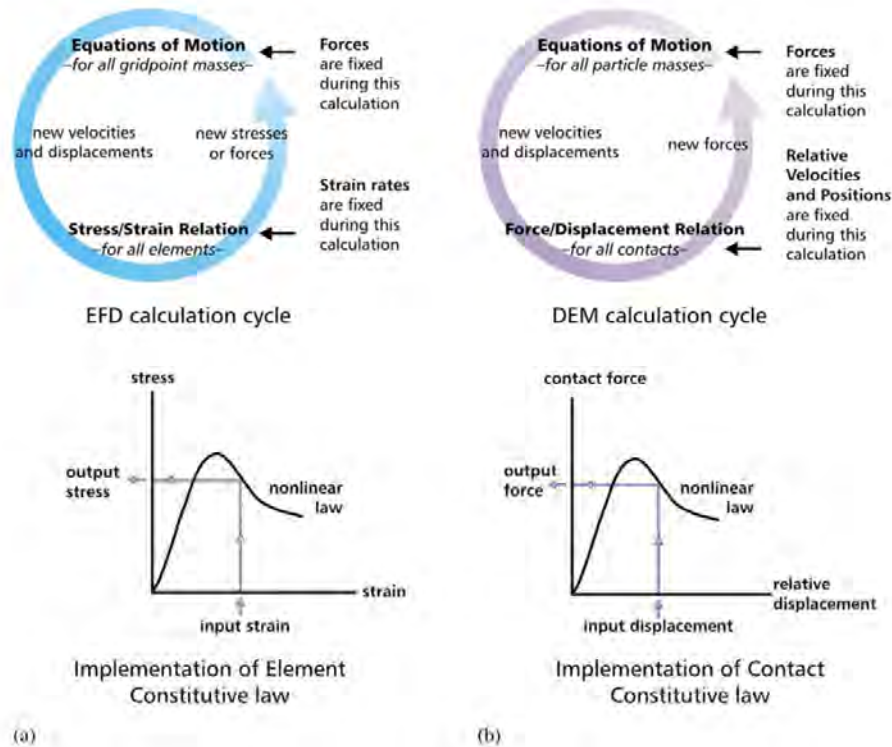


Abbildung 8.4: Komponenten des expliziten dynamischen Lösungsverfahrens aus HART (2003):  
 a) Explizite Finite Differenzen Methode  
 b) Distinkte Element Methode

### 8.3.2 Finite Differenzen

Naturwissenschaftlich-technische Problemstellungen werden mathematisch häufig durch partielle Differentialgleichungen (DGL) beschrieben. Nachdem Computer nur algebraische Gleichungen verarbeiten können, sind die Ableitungen der DGLs durch algebraische Ausdrücke zu ersetzen. Die Berechnungsergebnisse sind, da sie Näherungen darstellen, fehlerbehaftet und daher auf ihre physikalische Plausibilität zu überprüfen (PROJEKTGRUPPE PRAKTISCHE MATHEMATIK 2003).

#### Prinzip

- **Diskretisierung des Modellbereichs**  
 Der Problembereich, für den die Gleichung angewandt wird, wird mit einem Netz bestehend aus Knotenpunkten zониert/diskretisiert.
- **Diskretisierung der Gleichungen**  
 Die Ableitungen des Differentialoperators in den Knoten werden durch Differenzen angenähert (Abbildung 8.5). Die Differentialgleichung wird so in eine Gleichung von Differenzen überführt und explizit gelöst. Die Überführung kann mit verschiedenen numerischen Verfahren erfolgen (z.B. FEM – Methode der Finiten Elemente, Methode der Finiten Differenzen – FDM).

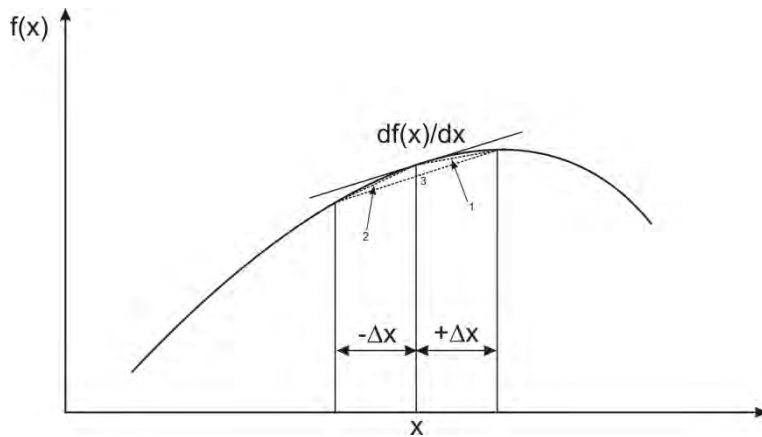


Abbildung 8.5: Annäherung an die 1. Ableitung durch finite Differenzen

### Herleitung der Differenzgleichungen mit Hilfe der Taylorreihe

Mit Hilfe von Taylorreihen lassen sich die Funktionswerte einer Funktion  $f(x)$  näherungsweise berechnen. Sie dienen auch der Herleitung von Näherungsformeln für die angewandte Mathematik. Voraussetzung dafür ist, dass die Funktion im betrachteten Intervall stetig ist und dass im Inneren des Intervalls noch die  $n$ te Ableitung existiert. Für die Funktionswerte  $x + \Delta x$  bzw.  $x - \Delta x$  lauten die Taylorreihen:

$$f(x + \Delta x) = f(x) + \frac{\Delta x}{1!} f'(x) + \frac{\Delta x^2}{2!} f''(x) + \dots \quad (7.3)$$

$$f(x - \Delta x) = f(x) - \frac{\Delta x}{1!} f'(x) + \frac{\Delta x^2}{2!} f''(x) - \dots \quad (7.4)$$

Durch Umformen der Gleichung (7.3) nach  $f'(x)$  erhält man

$$f'(x) = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} + \left( -\frac{\Delta x}{2!} f''(x) - \frac{\Delta x^2}{3!} f'''(x) - \dots \right) \quad (7.5)$$

was dem Differentialoperator plus einem Rest (Terme in der Klammer) entspricht. Innerhalb des Rests legt der erste Summand die Größenordnung des Rests fest, die restlichen Terme werden sukzessive kleiner. Der Rest wird auch als „lokale Fehlerordnung“  $O_{\text{lok}}$  (i.e. Diskretisierungsfehler) des Verfahrens bezeichnet (PROJEKTGRUPPE PRAKTISCHE MATHEMATIK 2003). Die Größe der lokalen Fehlerordnung ist von der Schrittweite  $\Delta x$  und der Potenz im ersten Term der Klammer abhängig. Bei höhergradigen Ableitungen wird daher die Lösung zunehmend genauer.



Gemäß der Abbildung 8.5 können die verschiedenen Differentialquotienten geschrieben werden als:

- a) vorwärtiger Differenzenquotient der 1. Ableitung, erster Ordnung

$$f'(x) = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (7.6)$$

- b) rückwärtiger Differenzenquotient der 1. Ableitung, erster Ordnung

$$f'(x) = \frac{f(x) - f(x - \Delta x)}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (7.7)$$

- c) zentraler Differenzenquotient der 1. Ableitung, zweiter Ordnung

$$f'(x) = \frac{f(x + \Delta x) - f(x - \Delta x)}{2\Delta x} + O(\Delta x^2), \quad (7.8)$$

Durch Anwendung der zentralen Differenzen lassen sich genauere Lösungen finden, da die unrichtigen Terme der 1. Ordnung aus der Rechnung fallen.

### 8.3.3 Die Bewegungsgleichungen

Die Bewegung jedes einzelnen Blockes wird bestimmt durch die Größe und die Richtung der angreifenden Kräfte und der wirkenden Momente. Als Bewegung des Körpers ist eine Translation und/oder Rotation möglich. Die Bewegungsgleichung für einen Massenpunkt  $m$  lautet nach dem zweiten NEWTONschen Axiom:

$$F = m \cdot \ddot{u} \quad (7.9)$$

Oder ausgedrückt als Differentialgleichung, d.h. als Momentanbeschleunigung im Zeitintervall  $dt$ :

$$\frac{d\dot{u}}{dt} = \frac{F}{m} \quad (7.10)$$

$\ddot{u}$ ...Beschleunigung;  $\dot{u}$ ...Geschwindigkeit;  $t$ ...Zeit;  $m$ ...Masse;  $F$ ...Kraft

Die Differentialgleichung wird nun in eine Gleichung der finiten Differenzen überführt. Angeschrieben als zentrale Differenz lautet der linke Teil der Formel:

$$\frac{d\dot{u}}{dt} = \frac{\dot{u}^{(t+\frac{\Delta t}{2})} - \dot{u}^{(t-\frac{\Delta t}{2})}}{\Delta t} \quad (7.11)$$

Durch Einsetzen der Gleichung (7.11) in die Gleichung (7.10) und Umformen erhält man die Geschwindigkeit  $\dot{u}$  zum Zeitpunkt  $(t + \frac{\Delta t}{2})$ :

$$\dot{u}^{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{u}^{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \frac{F^{(t)}}{m} \Delta t \quad (7.12)$$

$F^t$ ...äußere Kräfte

Aus den bekannten Geschwindigkeiten für jeden halben Zeitschritt ergeben sich die Verschiebungen  $u$  als:

$$u^{(t+\Delta t)} = u^{(t)} + \dot{u}^{(t-\frac{\Delta t}{2})} \Delta t \quad (7.13)$$

### 8.3.3.1 Starrkörperbewegung

Unter Verwendung der Gleichung (7.12) lauten die Geschwindigkeitsgleichungen für zweidimensionale Blöcke, auf die verschiedene Kräfte und die Scherkraft wirken:

a) Translation:

$$\dot{u}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{u}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \left( \frac{\sum F_i^{(t)}}{m} + g_i \right) \Delta t \quad (7.14)$$

b) Rotation:

$$\dot{\theta}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{\theta}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \left( \frac{\sum M^t}{I} \right) \Delta t \quad (7.15)$$

$\dot{u}_i$  ...Komponenten der Geschwindigkeit

$g_i$  ...Komponenten der Gravitation

$\dot{\theta}$  ...Winkelgeschwindigkeit

$\sum M^t$  ...Gesamtmoment, das außen am Block angreift

$I$  ...Widerstandsmoment

Der Indices  $i$  bezieht sich auf die Komponenten in x- und y-Richtung in einem kartesischen Koordinatensystem.

Aus den Geschwindigkeiten lässt sich in bekannter Weise die neue Position des Blockes berechnen:

$$x_i^{(t+\Delta t)} = x_i^{(t)} + \dot{u}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} \Delta t \quad (7.16)$$

$$\theta^{(t+\Delta t)} = \theta^{(t)} + \dot{\theta}^{(t+\frac{\Delta t}{2})} \Delta t \quad (7.17)$$

$x_i$  ...Koordinaten des Blockschwerpunktes ( $\equiv x$  und  $y$ )

$\theta$  ...Winkel der Rotation

### 8.3.4 Die Behandlung deformierbarer Blöcke bei rein elastischen Verformungen

Die deformierbaren Blöcke werden intern mit einem Netz diskretisiert. Das Netz besteht aus dreieckigen Elementen ( $\equiv$  Zonen) und Knoten. Die Bewegungsgleichung wird auf jeden Knoten des Netzes angewandt:

$$\ddot{u}_i = \frac{\int_S \sigma_{ij} n_j d_s + F_i}{m} + g_i \quad (7.18)$$

$\sigma_{ij}$  ...Spannungstensor, ausgedrückt in Matrizenschreibweise:

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix} \quad (7.19)$$

$s$  ...Oberfläche der Masse, die einem Knoten zugeordnet ist

$n_j$  ...Einheitsvektor zu  $s$

$F_i$  ...Resultierende aller externen Kräfte, die auf den Knotenpunkt wirken

$g_i$  ...Erdbeschleunigung

Die Kraft  $F_i$  an jedem Knoten erhält man aus der Summe der drei Terme:

$$F_i = F_i^Z + F_i^c + F_i^l \quad (7.20)$$

$F_i^l$  ...externe Lasten

$F_i^c$  ...Kontaktkräfte für Knotenpunkte entlang einer Blockgrenze

$F_i^Z$  ...Knotenkraft, berechnet aus den Spannungen in einer Zone

Der Beitrag der inneren Spannungen zu den Knotenkräften aus Gleichung (7.18) lautet in expliziter Form:

$$F_i^Z = \int_C \sigma_{ij} n_j d_s \quad (7.21)$$

$n_j$  ...in Gleichung (7.21) ist  $n_j$  der nach außen zeigende Einheitsvektor der Kontur  $C$  einer Zone

Die Gravitationskräfte  $F_i^{(g)}$  ergeben sich aus:

$$F_i^{(g)} = g_i \cdot m_g \quad (7.22)$$

$m_g$  entspricht der Masse, die jedem Knotenpunkt zugeordnet ist.

Für jeden Knoten wird die resultierende Gesamtkraft ermittelt. Ist die  $\sum F_i$  gleich Null, befindet sich die dem Knoten zugewiesene Körpermasse im Gleichgewicht. Ist hingegen die resultierende Kraft am Knoten größer als Null, beschleunigt er.

Während eines jeden Zeitschritts werden die Verzerrungen und Rotationen zu den Knotenverschiebungen wie folgt in Beziehung gesetzt:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7.23)$$

in Matrizenschreibweise:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2} \gamma_{xy} & \frac{1}{2} \gamma_{xz} \\ \frac{1}{2} \gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2} \gamma_{yz} \\ \frac{1}{2} \gamma_{zx} & \frac{1}{2} \gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{pmatrix} \quad (7.23a)$$

Die klassische Verzerrungsmatrix ist wie der Spannungstensor ein symmetrischer Tensor. Daher gilt:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^T$$

Der Drehtensor lautet:

$$\dot{\theta}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7.24)$$

Der Zusammenhang zwischen Spannungen und Verformungen erfolgt über div. Materialgesetze. Die elastischen Verformungen der Blöcke werden durch das HOOKEsche Gesetz für isotrope Festkörper berechnet. Es lautet in der Tensornotation inkrementell angeschrieben:

$$\Delta \sigma_{ij} = \lambda \Delta \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \Delta \varepsilon_{ij} \quad (7.25)$$

$\lambda, \mu$  ...LAMÉsche Konstanten

$\Delta \sigma_{ij}$  ...Inkrement des Spannungstensors

$\Delta \varepsilon_{ij}$  ...Inkrement der Verzerrung

$\Delta \varepsilon_{kk}$  ...Inkrement der Dehnung

$\delta_{ij}$  ...Kronecker Deltafunktion

Bei Verwendung des Kronecker Deltas gilt: Falls  $i=j$  ist der Multiplikator gleich 1, falls  $i \neq j$  ist der Multiplikator Null. Für  $i=j$  lauten die Hauptspannungen aus den Dehnungen:

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \lambda(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}) + 2\mu\varepsilon_{11} \\ \sigma_{22} &= \lambda(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}) + 2\mu\varepsilon_{22} \\ \sigma_{33} &= \lambda(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}) + 2\mu\varepsilon_{33}\end{aligned}\tag{7.25a}$$

Bzw. in der konventionellen Schreibweise:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= (\lambda + 2\mu)\varepsilon_x + \lambda\varepsilon_y + \lambda\varepsilon_z \\ \sigma_y &= \lambda\varepsilon_x + (\lambda + 2\mu)\varepsilon_y + \lambda\varepsilon_z \\ \sigma_z &= \lambda\varepsilon_x + \lambda\varepsilon_y + (\lambda + 2\mu)\varepsilon_z\end{aligned}\tag{7.25b}$$

Ist hingegen das Kronecker Delta  $i \neq j$ , entfällt der erste Term der Gleichung (7.25). Die Scherspannungen ergeben sich unter Verwendung von  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}\gamma_{ij}$  für  $i \neq j$ .

$$\begin{aligned}\sigma_{12} &= 2\mu\varepsilon_{12} = \mu\gamma_{12} \\ \sigma_{13} &= 2\mu\varepsilon_{13} = \mu\gamma_{13} \\ \sigma_{23} &= 2\mu\varepsilon_{23} = \mu\gamma_{23}\end{aligned}\tag{7.25c}$$

Und in der herkömmlichen Schreibweise:

$$\begin{aligned}\tau_{xy} &= \mu\gamma_{xy} \\ \tau_{xz} &= \mu\gamma_{xz} \\ \tau_{yz} &= \mu\gamma_{yz}\end{aligned}\tag{7.25d}$$

Die Lamé'schen Konstanten können über den Elastizitätsmodul  $E$  (engl. *Young's modulus*), die Querkontraktionszahl  $\nu$  (POISSON'sche Zahl; engl. *Poisson's ratio*) bzw. über den Schubmodul  $G$  (engl. *shear modulus*) ausgedrückt werden.

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}\tag{7.26}$$

$$\mu = G = \frac{E}{2(1 + \nu)}\tag{7.27}$$

### 8.3.5 Die Modellierung des Materialverhaltens bei Einsetzen des Bruchs

#### 8.3.5.1 Materialgesetze

Die Materialgesetze beschreiben das Verhalten des Gesteins und der Trennflächen bis zum und nach dem Eintritt des Bruchs. Im Programm UDEC kann aus einer Reihe von Materialmodellen ausgewählt werden. Für Berechnungen instabiler Böschungen wird das „MOHR-COULOMB-Plastizitätsmodell“ empfohlen (ITASCA 2004).

##### 8.3.5.1.1 Scherversagen

Als Bruchkriterium für das Gestein wurde das MOHR-COULOMB-Kriterium gewählt, welches einem linearen Scherversagen (Bereich A-B, Abbildung 8.7) in der Form:

$$f_s = \sigma_1 - \sigma_3 N_\phi + 2cN_\phi^{\frac{1}{2}} \quad (7.28)$$

entspricht, wobei  $N_\phi$  durch:

$$N_\phi = \frac{(1 + \sin \phi)}{(1 - \sin \phi)} = \tan^2\left(\frac{\phi}{2} + 45\right) \quad (7.29)$$

definiert ist.

Es bedeuten:

$\sigma_1$  ...größte Hauptspannung

$\sigma_3$  ...kleinste Hauptspannung

$\phi$  ...Reibungswinkel

$c$  ...Kohäsion

Das in Gleichung (7.28) dargestellte Scherversagen hat im  $\tau, \sigma$ -Diagramm (Abbildung 8.6) die bekannte Form:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (7.30)$$

Die mathematische Herleitung, wie man vom  $\tau, \sigma$ -Spannungsdiagramm zum  $\sigma_1, \sigma_3$ -Spannungsdiagramm kommt, wird zum Beispiel bei JÄGER ET AL. 2007 (Seite 91 ff) oder bei GOODMAN 1989 (Seite 430 ff) beschrieben.

Es gilt zu beachten, dass in UDEC Druckspannungen negativ und Zugspannungen positiv (Abbildung 8.6) angegeben werden. Daher gilt:

$$\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$$

Ein Scherversagen tritt ein, wenn  $f_s < 0$  ist (Abbildung 8.7).



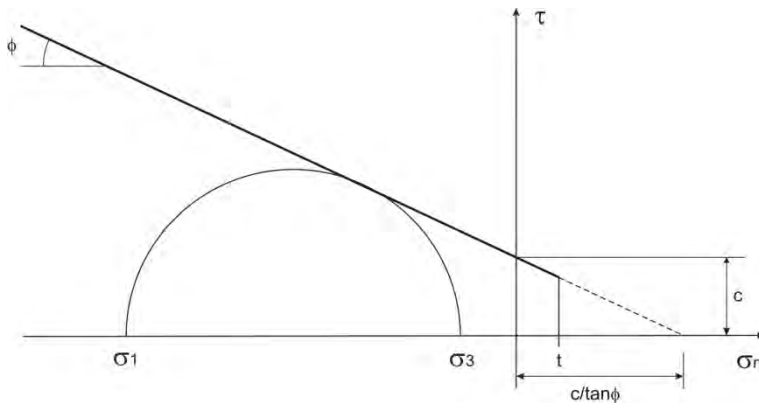


Abbildung 8.6: MOHR-COULOMB-Bruchkriterium. Darstellung als MOHRsches Spannungsdiagramm ( $\tau, \sigma$ -Diagramm) mit der von UDEC verwendeten Konvention  $\tau$ ...Scherspannung,  $\sigma_n$ ...Normalspannung;  $\sigma_1$ ...größte Normalspannung;  $\sigma_3$ ...kleinste Normalspannung;  $t$ ...Zugfestigkeit,  $c$ ...Kohäsion;  $\phi$ ...Reibungswinkel

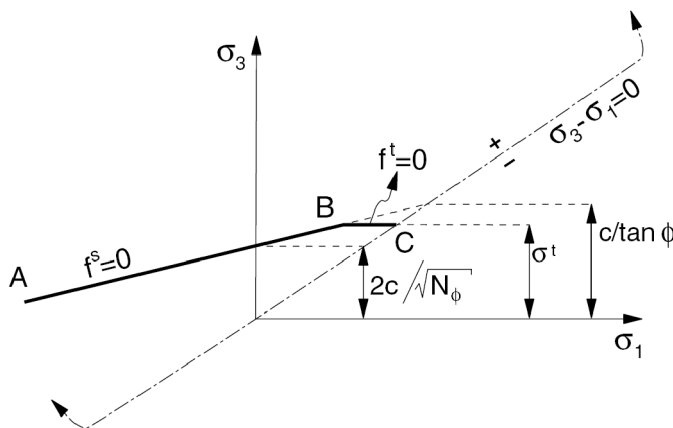


Abbildung 8.7: MOHR-COULOMB-Bruchkriterium ausgedrückt in Form der beiden Hauptspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  aus ITASCA (2004)

8.3.5.1.2 Zugversagen

Das MOHR-COULOMB-Kriterium verliert seine Gültigkeit, wenn die Normalspannungen Zugspannungen werden. Der Einfachheit halber wird die Bruchlinie in den Zugbereich (positiven Bereich) verlängert, und zwar bis an den Punkt, an dem  $\sigma_3$  gleich groß wie die einaxiale Zugfestigkeit  $\sigma^t$  des Gesteins ist.

Die Bruchbedingung für Zugversagen lautet daher:

$$f_t = \sigma_3 - \sigma^t \tag{7.31}$$

Es folgt, dass die kleinste Hauptspannung  $\sigma_3$  niemals einen größeren Wert als die Zugfestigkeit  $\sigma^t$  annehmen kann, da ansonsten die Bruchbedingung

$f_t > 0$  erfüllt ist.

Die maximal mögliche, theoretische Zugspannung eines Gesteins wird durch

$$\sigma_{max}^t = \frac{c}{\tan \phi} \quad (7.32)$$

begrenzt, was dem Schnittpunkt der Bruchgerade mit der x-Achse (Abbildung 8.6 und Abbildung 8.7) entspricht.

### 8.3.5.1.3 Scherdilatanz des Gesteins

Die Zerstörung des Gesteins durch neu entstandene Scherbrüche verursacht eine Zunahme des Volumens, die als „Scherdilatanz“ oder einfach nur als „Dilatanz“ bezeichnet wird. Die Dilatanz wird durch den Dilatanzwinkel  $\psi$  beschrieben, der als Winkel zwischen der Volumenverformung  $\varepsilon_v$  und der axialen Verformung  $\varepsilon_1$  definiert ist (Abbildung 8.8, unten).

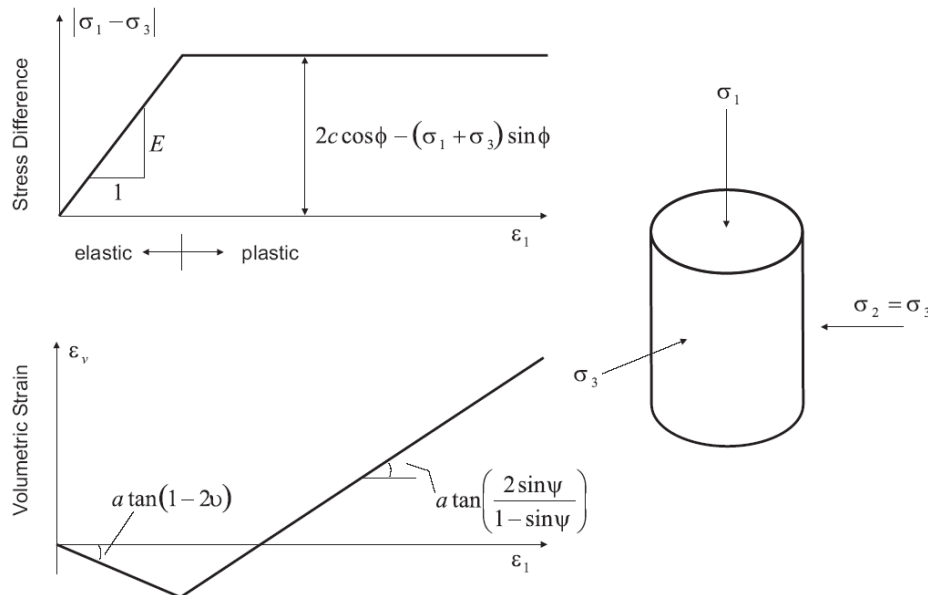


Abbildung 8.8: Dilatanzwinkel  $\psi$ , abgeleitet aus Triaxialtests gem. VERMEER & DE BORST (1984), aus ITASCA (2004)

Die Abbildung 8.8-oben zeigt ein elasto-plastisches Materialverhalten. Der negative Ast in der Abbildung 8.8-unten bezieht sich auf den elastischen Bereich, der auf die Abnahme des Volumens durch die anfängliche Kompaktion der Probe zurückzuführen ist. Erst wenn die Bruchfestigkeit des Gesteins überschritten wird und plastische Verformungen eintreten, nimmt das Volumen zu. Der Dilatanzwinkel  $\psi$  weist dann eine positive Steigung auf.

Für Gesteine und Böden ist der Dilatanzwinkel generell kleiner als der Reibungswinkel des Gesteins und liegt nach VERMEER & DE BORST (1984) zwischen  $0^\circ$  und  $20^\circ$ . Die Voreinstellung für den Dilatanzwinkel in UDEC ist  $0^\circ$ .

### 8.3.6 Bruchkriterium für die Trennflächen

#### 8.3.6.1 Das „COULOMB-Slip-Modell“

Das Versagen entlang der Schieferungsflächen wurde mit dem sog. „COULOMB-Slip-Modell“ modelliert. Es findet auf die gesamte Kontaktfläche Anwendung.

Das mechanische Verhalten der Klüfte im elastischen Bereich wird durch zwei Federn, die die Normal- und Schersteifigkeit darstellen, beschrieben (Abbildung 8.9).

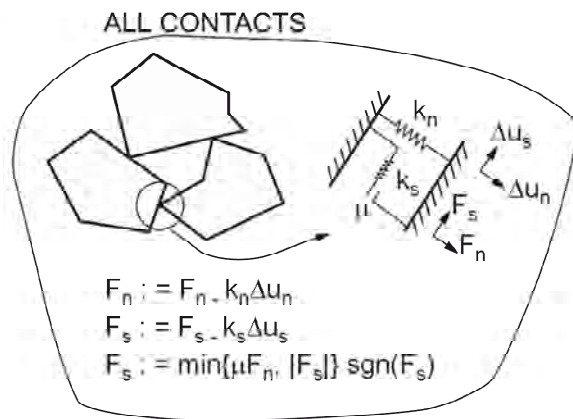


Abbildung 8.9: Kluftverhalten im elastischen Bereich, aus ITASCA (2004)

$F_n$ ...Normalkraft;  $F_s$ ...Scherkraft

$k_n$ ...Normalsteifigkeit;  $k_s$ ...Schersteifigkeit

$\Delta u_n$ ...Normaldehnungen;  $\Delta u_s$ ...Dehnung aus Scherung;  $\mu$ ...Reibungskoeffizient

Ein Zugversagen entlang der Kluft tritt ein, wenn die Zugfestigkeit  $T$  überschritten wird.  $T$  ist wie beim Gestein eine Funktion von  $\sigma^t$  respektive  $\sigma_n$  bzw.  $\sigma_3$  (s. Gleichung 7.31).

Ist  $\sigma_n < -T$ , dann folgt, dass  $\sigma_n = 0$  ist.

Die Größe des Normalspannungsinkrements ergibt sich aus:

$$\Delta \sigma_n = -k_n \Delta u_n \quad (7.33)$$

$k_n$  ...Normalsteifigkeit der Trennfläche

$\Delta \sigma_n$  ...Inkrement der effektiven Normalspannung

$\Delta u_n$  ...Inkrement der Normalverschiebungen

Um Normalverschiebungen an der Kluft zu ermöglichen, werden in UDEC die Kontakte zumeist als „weich“ angenommen, d.h., die Blöcke können sich gegenseitig in einem bestimmten Ausmaß durchdringen. Auf der einen Seite sind zu große Verschiebungen normal auf die Kluft zu vermeiden, da sie programmtechnisch Schwierigkeiten herbeiführen, auf der anderen Seite sollte die Steifigkeit an den Klüften nicht zu groß angenommen werden, da hiedurch die Rechenzeit stark ansteigt. Die Verwendung der Gleichung (7.34) in den Berechnungen kontrolliert mit Hilfe einer „Fish-Routine“ (ITASCA 2004) das Verhältnis der Steifigkeit zwischen dem Gestein und den Klüften.

Damit wird erreicht, dass einerseits die Rechenzeiten nicht allzu lang werden und andererseits die Durchdringung der Blöcke nicht allzu groß wird.

$$k_n, k_s \leq \left[ \max \left[ \frac{K + \frac{4}{3}G}{\Delta z_{min}} \right] \right] \quad (7.34)$$

$\Delta z_{min}$ ...kleinste Breite einer Zone, die an eine Kluft grenzt

K...Kompressionsmodul

G...Schubmodul

Wie beim Gestein lautet das Scherversagen für die Trennflächen:

$$|\tau_s \leq c_j + \sigma_n \tan \phi_j| = \tau_{max} \quad (7.35)$$

$|\tau_s|$  ...Betrag der Scherspannung entlang der Trennfläche

$\tau_{max}$ ...maximale Scherspannung/Bruchscherspannung an der Trennfläche

$\sigma_n$  ...auf die Trennfläche wirkende Normalspannung

$\phi_j$  ...Reibungswinkel der Trennfläche

$c_j$  ...Kohäsion der Trennfläche

Die Scherspannungen an der Kluft sind in der gleichen Art und Weise wie die Normalspannungen der Gleichung (7.33) definiert. An die Stelle der Normalsteifigkeit tritt dann die Schersteifigkeit.

$$\Delta \tau_s = -k_s \Delta u_s^e \quad (7.36)$$

$k_s$  ...Schersteifigkeit der Trennfläche

$\Delta \tau_s$  ...Inkrement der Scherspannung

$\Delta u_s^e$  ...elastischer Anteil der inkrementellen Scherverschiebung

Das Verhalten der Klüfte unter Scherbeanspruchung bei Anwendung des COULOMB-Slip-Modells gibt die Abbildung 8.10 wieder. Die obere Grafik zeigt, dass die elastischen Dehnungen proportional zu den Scherspannungen verlaufen. Das elastische Potential der Kluft wird von der Größe der Normalspannungen bestimmt (Abbildung 8.10-oben). Wird die Scherfestigkeit  $\tau_{max}$  erreicht, d.h., wird die elastische Grenze an der Kluft überschritten, beginnt das Gleiten entlang der Kluft. Für gewöhnlich ist dieser Vorgang mit einer Zunahme des Volumens, i.e. Dilatanz verbunden. In UDEC lässt sich die Dilatanz bei Scherung entlang der Trennflächen durch die Eingabe eines Dilatanzwinkels  $\psi$  berücksichtigen. Die akkumulierte Dilatanz  $u_n^d$  wird einerseits durch hohe

Normalspannungen und andererseits durch einen kritischen Verschiebungsbetrag  $u_{cs}$  entlang der Kluft begrenzt (Abbildung 8.10-unten). Die Begrenzung beruht auf der Beobachtung, dass bei hohen Normalspannungen und zunehmenden Scherverschiebungen die Rauigkeiten der Kluft zerstört werden und ein Aufgleiten an den Kluftauigkeiten nicht mehr stattfindet. Wird daher ein kritischer Verschiebungsbetrag entlang der Kluft erreicht, so setzt UDEC den Dilatanzwinkel  $\psi$  gleich Null.

Es gelten die zwei Kriterien:

- a) wenn  $|\tau_s| \leq \tau_{max}$ , dann ist  $\psi = 0$
- b) wenn  $|\tau_s| = \tau_{max} \wedge |u_s| \geq u_{cs}$ , dann ist  $\psi = 0$

(7.37)

Aus Abbildung 8.10-unten geht weiters hervor, dass die Normalspannung indirekt proportional zur Dilatanz der Klüfte ist, d.h., mit zunehmender Normalspannung nimmt die Dilatanz ab.

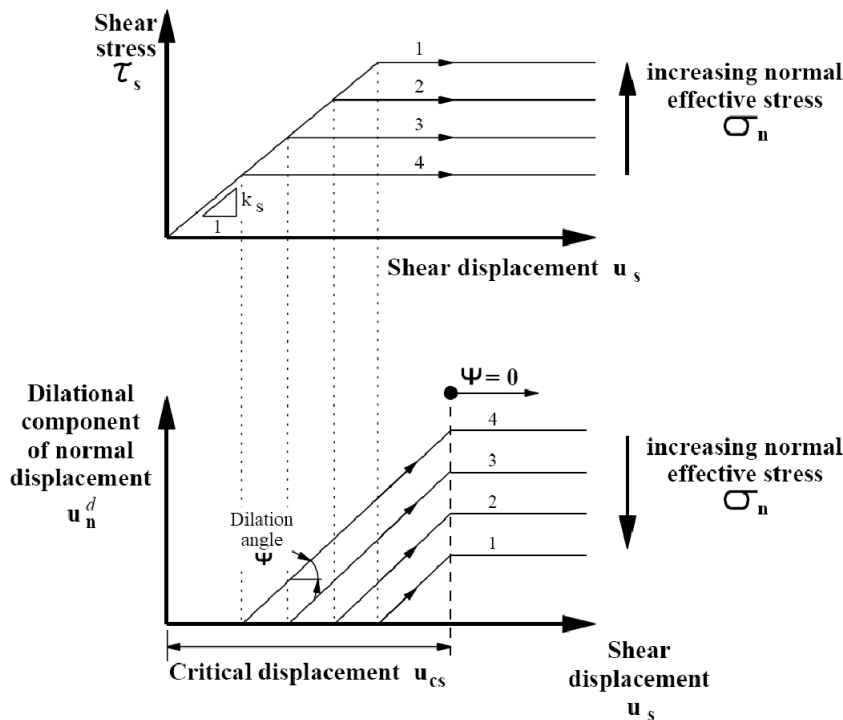


Abbildung 8.10: Berücksichtigung der Scherdilatanz in UDEC, nach ITASCA (2004)

### 8.3.7 Elastoplastisches Verhalten

#### 8.3.7.1 Allgemeines

Die Berechnungen wurden mit einem elastoplastischen Stoffmodell sowohl für das Gestein als auch für die Trennflächen durchgeführt. Unter Elastoplastizität wird ein linear-elastisches, ideal-plastisches Verhalten bezeichnet (Abbildung 8.11b).

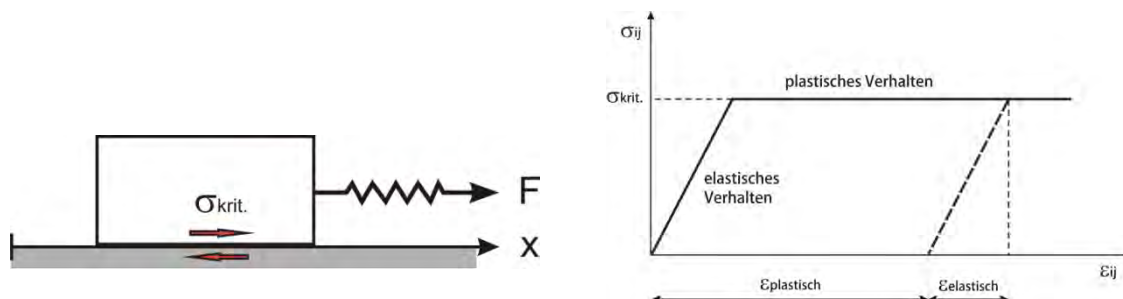


Abbildung 8.11: a) Rheologisches Ersatzmodell für ein elastoplastisches Material respektive Gestein (PRANDTL-Körper)

b) Elastoplastisches Materialverhalten

Das rheologische Ersatzmodell für ein elasto-plastisches Material (Gestein), auch als PRANDTL Material bezeichnet, bildet die Feder in Reihe geschaltet mit dem Reibungskörper (Abbildung 8.11a). Die plastischen Verformungen setzen erst bei Erreichen einer kritischen Grenzspannung  $\sigma_{krit}$  (engl. *yield stress*) ein. Bei dieser wird die Haftung zwischen Block und Unterlage überwunden, und der Block setzt sich in Bewegung. Die Verformungsraten sind dabei unabhängig von den Spannungen, d.h., auch die Rate der plastischen Verformungen ist nicht bestimmt.

#### 8.3.7.2 Elastoplastizität in UDEC

Wie bei den meisten numerischen Programmen erfolgt auch in UDEC die Formulierung der Elastoplastizität im zweidimensionalen Spannungsraum differentiell. In einem streng mathematischen Sinn wären darunter unendlich kleine Zustandsänderungen zu verstehen. In der Berechnung werden dafür aber endlich kleine Zustandsänderungen  $\Delta$  (...) gewählt. Dies führt, wie eingangs schon erwähnt, zu numerischen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten. Grundsätzlich ruft ein Lastinkrement  $\Delta\sigma$  einen Verzerrungsvektor  $\Delta\epsilon$  hervor, wobei  $\Delta\epsilon$  aus einem elastischen und einem plastischen Anteil bestehen kann.

Durch das Stoffmodell werden die Spannungs- und Verformungsbeziehungen definiert. Die allgemeine Form dafür lautet:

$$\Delta\sigma_{ij} = C_{ij}^{ep} \Delta\epsilon_{ij} \quad (7.38)$$

$\Delta\sigma_{ij}$ ...Inkrement des Spannungsvektors

$C_{ij}^{ep}$  ...Gesamtstoffmatrix elastoplastisch,  $f(\sigma, \epsilon, \dots)$

$\Delta\epsilon_{ij}$ ...Inkrement des Verzerrungsvektors



Das Entscheidungskriterium zwischen dem elastischen und plastischen Bereich stellt die Fließbedingung dar. In UDEC wird bei Anwendung des MC-Bruchkriteriums der elastische Spannungsraum von einer vielflächig zusammengesetzten, prismaförmigen Fließfigur begrenzt (Abbildung 8.12). Spannungszustände im Inneren der Figur weisen elastische, die auf der Fließfigur plastische Verformungen auf. Spannungszustände außerhalb der Figur existieren real nicht und werden daher auf die Fließfigur zurückgeführt.

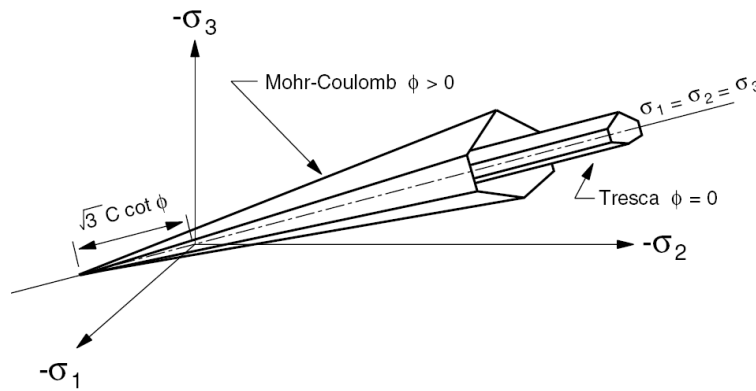


Abbildung 8.12: Vielflächig zusammengesetzte MOHR-COULOMBSche und TRESCASche Fließfigur, aus ITASCA (2004)

### 8.3.7.3 Inkrementelle Verformungen

Für jeden Zeitschritt  $\Delta t$  werden die Verformungen berechnet. Die Größe der Hauptspannungen und deren Richtungen werden aus dem Spannungstensor ermittelt. Die dazugehörigen Verformungssinkremente können sich aus elastischen  $\Delta\varepsilon_{ij}^e$  und plastischen Teilen  $\Delta\varepsilon_{ij}^p$  zusammensetzen:

$$\Delta\varepsilon_{ij} = \Delta\varepsilon_{ij}^e + \Delta\varepsilon_{ij}^p \quad (7.39)$$

#### 8.3.7.3.1 Elastischer Anteil

Für den elastischen Anteil werden die Dehnungssinkremente aus den Spannungen in bekannter Weise aus dem HOOKschen Gesetz, Gleichung (7.25), berechnet.

#### 8.3.7.3.2 Plastischer Anteil

Plastische Anteile ergeben sich, wenn die Bruchbedingungen erreicht oder verletzt werden. Die Fließbedingung definiert die Spannungszustände, bei denen plastisches Fließen einsetzt. Plastische Verformung von Gestein und/oder Trennflächen kann entweder durch Scherversagen (Bereich 1 bzw. domain 1, Abbildung 8.13) oder durch Zugversagen (Bereich 2 domain 2, Abbildung 8.13) eintreten. Die Gerade  $h$  in der Abbildung 8.13 trennt Druck- von Zugspannungen, bei denen plastische Verformungen auftreten, ab.

Die Überprüfung erfolgt für jeden Berechnungsschritt mit Hilfe der Fließbedingung.

$$f(\sigma) = f_{br}(\sigma) = f^s = f^t = 0 \quad (7.40)$$

D.h., die Fließbedingung ist nur vom Spannungszustand abhängig. Bei idealer Plastizität entspricht die Fließfläche der Bruchfläche (Abbildung 8.13).

Folgende Fälle können eintreten:

- 1)  $f^s, f^t < 0$  – elastischer Bereich;  $\Delta\varepsilon_{ij}^e \neq 0$ ;  $\Delta\varepsilon_{ij}^p = 0$
- 2)  $f^s, f^t = 0$  – klassisches Fließen;  $\Delta\varepsilon_{ij}^e \neq 0$ ;  $\Delta\varepsilon_{ij}^p \neq 0$
- 3)  $f^s, f^t > 0$  – grundsätzlich nicht möglich. Da aber die Inkremente der Spannungen klein sind, befinden sich die Spannungszustände nur unweit außerhalb der Fließfläche; sie werden dann auf diese zurückgeführt.

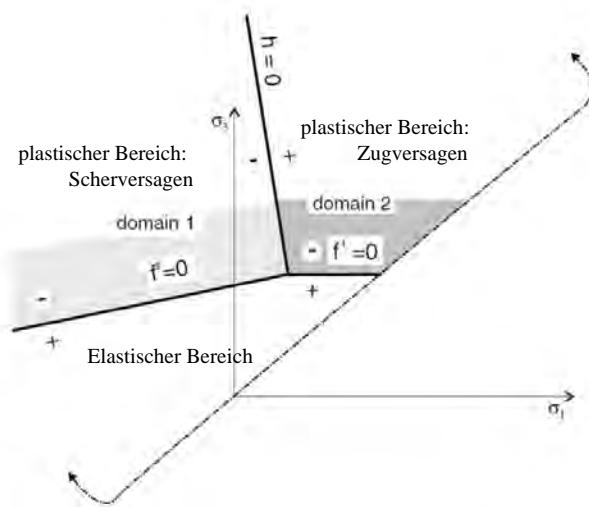


Abbildung 8.13: Bereiche elastischer und plastischer Verformungen im  $\sigma_1$ -,  $\sigma_3$ -Raum für das MC-Plastizitätsmodell, nach ITASCA (2004), ergänzt

Aus den Spannungs-Verformungsbeziehungen werden zuerst Versuchsspannungszustände ermittelt, die in den Fließbedingungen überprüft werden (ITASCA 2004, WILL & KONIETZKY 1998). Sind die oben genannten Bedingungen für plastisches Fließen (Fall 2 oder 3) erfüllt, werden die plastischen Inkremente der Dehnung aus der Plastizitätstheorie ermittelt.

### Fließregel

Die allgemeine Definition für die Fließregel lautet:

$$\Delta\varepsilon_{ij}^p = \Delta\lambda \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}} \quad (7.41)$$

$\Delta\varepsilon_{ij}^p$  ...Vektor der plastischen Verzerrungsincremente

$\Delta\lambda$  ...positiver plastischer Proportionalitätsfaktor oder plastischer Multiplikator

$\frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}}$  ...Ableitung des plastischen Potentials

Die Funktion  $g$  bildet die Hyperfläche im Hauptspannungsraum und wird als plastisches Potential bezeichnet. Sie gibt vorerst nur die Richtung des plastischen Fließens an und nicht die Größe der Dehnungen. Sie ist abhängig vom Vektor der Spannungen und jenem der plastischen Verformungen (Abbildung 8.14):

$$g(\sigma_{ij}; \Delta \varepsilon_{ij}^p) = 0 \quad (7.42)$$

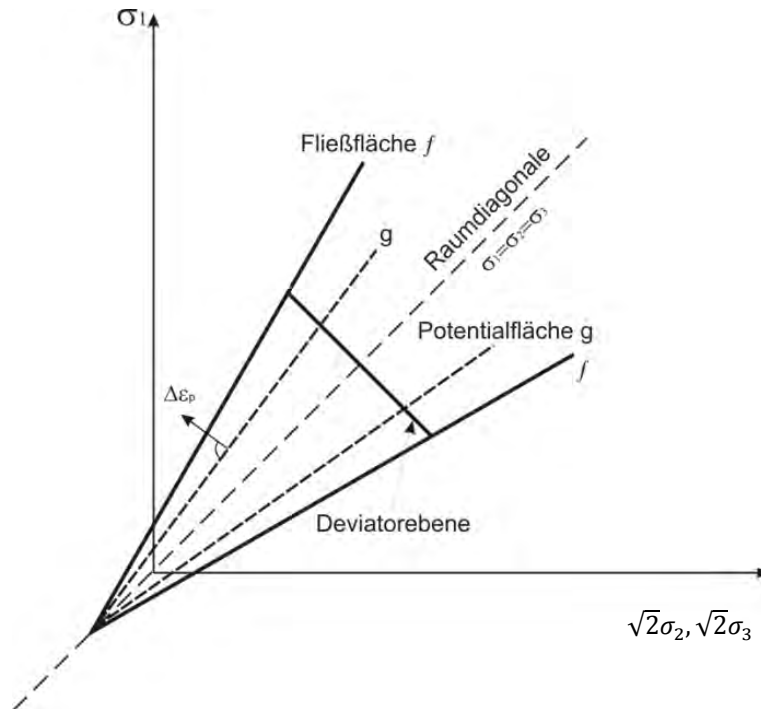


Abbildung 8.14: Darstellung des Stoffmodells für MC in der Triaxialebene (RÜTZ 2005)

#### Assoziierte und nicht assoziierte Fließregel

Beim Scherversagen des Gesteins oder entlang der Trennflächen kann zur Berechnung der plastischen Dehnungen zwischen assoziierter und nicht assoziierter Fließregel gewählt werden. Beim Zugbruch des Gesteins oder der Trennflächen wird eine assoziierte Fließregel verwendet (ITASCA 2004, WILL & KONIETZKY 1998).

Für eine assoziierte Fließregel gilt (Abbildung 8.14):

- Dilatanzwinkel  $\psi =$  Reibungswinkel  $\phi$
- Potentialfläche  $g \equiv$  Fließfläche  $f$  bzw. die Fließfläche entspricht der MC-Bruchfläche

Eine nicht assoziierte Fließregel bedeutet (Abbildung 8.14):

- Dilatanzwinkel  $\psi \neq$  Reibungswinkel  $\phi$  und  $0 \leq \psi < \phi$
- Potentialfläche  $g \neq$  Fließfläche  $f$

Die Voreinstellung in UDEC bei Scherversagen ist nicht assoziiert. Der Winkel  $\psi = 0$ . Die Potentialfunktion dazu lautet

$$g^s = \sigma_1 - \sigma_3 N_\psi, \quad (7.43)$$

wobei

$$N_\psi = \frac{1 + \sin \psi}{1 - \sin \psi}, \text{ ist.} \quad (7.44)$$

Der Proportionalitätsfaktor  $N_\psi$  der Dilatanz ist gleich definiert wie der des Reibungswinkels  $N_\phi$  (s. Gleichung 7.29).

Die Potentialfunktion für Zugversagen ist assoziiert und lautet:

$$g^t = -\sigma_3 \quad (7.45)$$

Der Vektor der plastischen Dehnungsincremente  $\Delta \varepsilon_{ij}^p$  ist ein Normalvektor und steht senkrecht auf die Hyperfläche des plastischen Potentials (Abbildung 8.14).

Der plastische Multiplikator  $\Delta \lambda$  gibt die Größe des plastischen Dehnungsincrementes an. Er ist zuerst unbekannt und wird aus den Konsistenzbedingungen ermittelt (s. Gleichung (7.46)).

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial \sigma^T} \Delta \sigma_{ij} + \frac{\partial f}{(\partial \varepsilon_{ij}^p)^T} \Delta \varepsilon_{ij}^p \quad (7.46)$$

$$\Delta \lambda = \frac{\left( \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}^T} \right) C_{ij}^e \Delta \varepsilon_{ij}}{\left( \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}^T} \right) C_{ij}^e \left( \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}} \right)} \quad (7.47)$$

$C_{ij}^e$  ...Elastizitätsmatrix

$\left( \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}^T} \right)$  ...Fließflächenüberschreitung

$\left( \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}^T} \right)$  ...Ableitung der Fließfunktion

Die Herleitung einer Fließfläche bei Elastoplastizität ist beispielsweise bei RÜTZ (2005) beschrieben.

### 8.3.8 Berechnungszyklus in UDEC

Die Abbildung 8.15 zeigt den Berechnungszyklus in UDEC, bei dem die Berechnungen zwischen einem Kraft-Verschiebungsgesetz und dem zweiten NEWTONschen Axiom alternieren. Jeder Berechnungszeitschritt führt zu neuen Positionen der Blöcke. Die Kraft-Verschiebungsbeziehung liefert die Kontaktkräfte aus den bekannten Verschiebungen. Mit dem zweiten Bewegungsgesetz von NEWTON wird aus den resultierenden Kräften und Momenten die Bewegung eines jeden einzelnen Blocks (Translation und/oder Rotation), wie unter Pkt. 8.3.3 beschrieben, berechnet. Zur Simulation des Gesteinsversagens werden deformierbare Blöcke eingeführt. Dazu wird jeder Block durch ein Netz in Elemente, die durch Knotenpunkte miteinander in Verbindung stehen, unterteilt. Die Berechnung der Deformationen erfolgt über die Materialgesetze (s. Pkt. 8.3.4 und 8.3.5), die auf jedes einzelne Element angewandt werden (Abbildung 8.15, rechts). Das Verfahren wird solange wiederholt bis sich quasi ein Gleichgewicht einstellt oder Versagen resultiert.

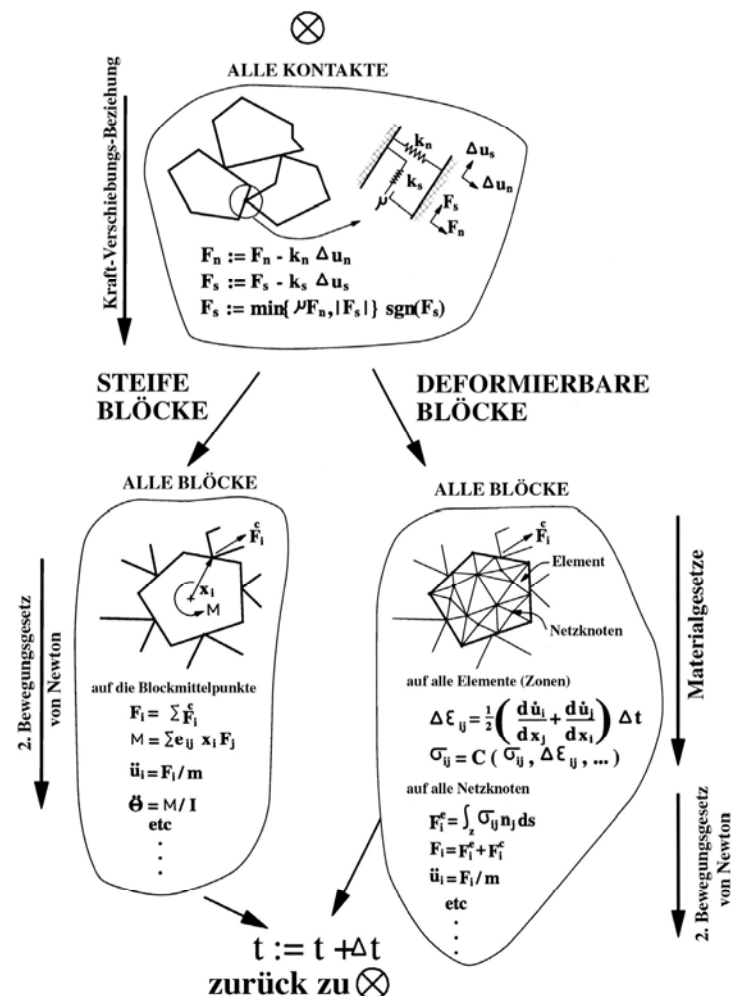


Abbildung 8.15: Berechnungszyklus für die Methode der distinkten Elemente nach ITASCA (2004)

## 8.4 Die Modellierung der Großhangbewegung Bunzkögele

### 8.4.1 Modellerstellung und Berechnungsablauf

Die Abbildung 8.16 gibt die Modellerstellung und den allgemeinen Berechnungsablauf in UDEC wieder.

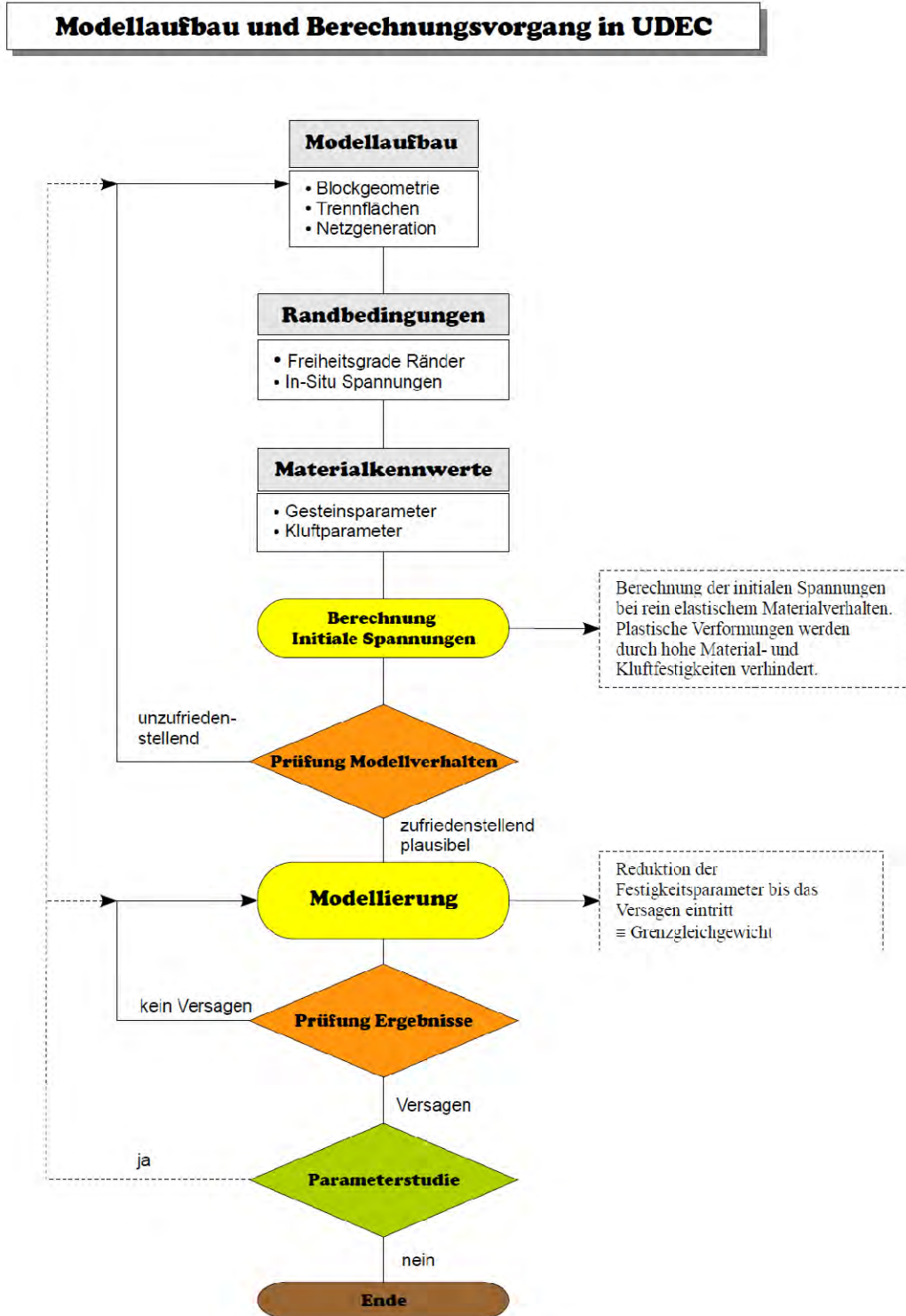


Abbildung 8.16: Flussdiagramm für die Modellerstellung und den allgemeinen Berechnungsvorgang in UDEC.



### 8.4.2 Ermittlung der Modellgeometrie

Für die Simulation des Hangversagens wurde die Modellgeometrie an Hand eines Profilschnitts erstellt. Der Schnitt ist normal auf die Schieferungsflächen, d.h. in Bewegungsrichtung des Hanges orientiert und entspricht dem zentralen Bereich der Großhangbewegung, wo die größten Verschiebungen erfolgten. Er verläuft in Nord-Süd-Richtung vom Bunzkögele, über den Falkenstein bis zum Bretterwandbach (Profil 3-3', Anlage E.5).

Bei der Konstruktion der Hanggeometrie für das Modell war zu berücksichtigen, dass der Massenverlagerungsprozess die ursprüngliche Geometrie veränderte. Der Oberhang senkte sich konkav ein, und der Stirnbereich wölbte sich konvex vor. Über die Rückabwicklung der Deformation des Hanges konnte die alte Hanggeometrie annähernd rekonstruiert werden. Dazu waren folgende Schritte notwendig:

- a) Rückführung der Abschiebungen im Oberhang
- b) Rückrotation der Schieferungsflächen respektive der Gesteinslamellen; die Rotationsachsen bilden die Scharniere der Topplingzone an der Stirn bzw. der Knickfalte im oberen Teil
- c) Berücksichtigung der Verkürzung infolge hangtektonischer Knickfalten im Bereich des überkippten Schenkels (s. Kap.9, Pkt. 9.2.2.6)

Nach der Durchführung der genannten Schritte ergab sich für den oberen Hang eine Neigung von  $23^\circ$ . Unklar blieb aber die Geometrie im Fußbereich, da durch den Massenabtrag, verursacht durch die fluviatile Eintiefung des Bretterwandbaches und sekundäre Massenbewegungen, eine Rekonstruktion nicht mehr möglich war. Für den Unterhang wurde die Neigung des Hanges pauschal mit  $30^\circ$  angenommen.

Profillänge vom höchsten zum tiefsten Punkt [m]	Hangneigung Oberhang [°]	Hangneigung Unterhang [°]	Höhenunterschied [m]
2.430	22	30	1.160

Tabelle 8.1: Modellgeometrie für die Berechnungen mit UDEC

### 8.4.3 Modellaufbau in UDEC

Das Modell in UDEC wurde auf Basis der rekonstruierten Hanggeometrie erstellt (Tabelle 8.1). Dies erforderte die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise:

#### a) Generation des einfachen Blocks

Die Definition des Basisblocks erfolgte durch die Eingabe der Eckpunkte mit Hilfe von kartesischen Koordinaten im Uhrzeigersinn. Um eine Beeinflussung des Modellrandes auszuschließen, ist zu beachten, dass der Rahmen des Modells vom eigentlichen Problem weit genug nach außen geschoben wird (Abbildung 8.17).

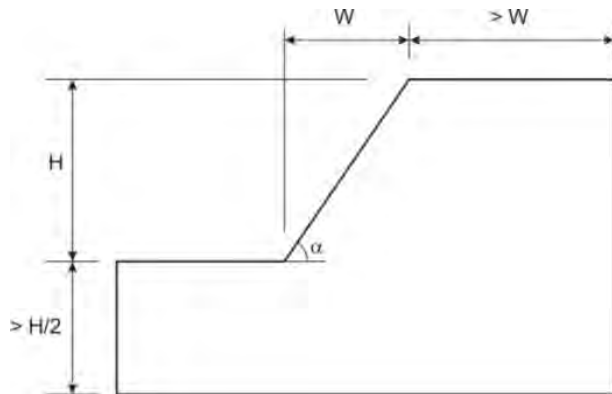


Abbildung 8.17: Empfohlene Modellgrenzen nach LORIG & VARONA (2004)

#### b) Teilung des einfachen Blocks

Im nächsten Schritt wird der einfache Block mit durchgehenden Klüften in einzelne, diskrete Blöcke (Lamellen) untergliedert. Die Klüfte des Modells „Bunzkögele“ entsprechen den mit  $60^\circ$  nach Süden einfallenden Schieferungsflächen. Die Berechnungen erfolgten großteils mit einer Lamellendicke von 100 m (Abbildung 8.18). Im Vergleich dazu wurde auch eine Berechnung mit einer Lamellendicke von 50 Meter durchgeführt (Pkt. 8.5.7.2). Der kleinere Abstand entspricht in etwa dem in der Natur vorkommenden Gesteinslamellendicke, die durch die Hauptabschiebungen vorgegeben ist. Die meisten Rechnungen wurden, um die Rechenzeiten und den notwendigen Speicher deutlich zu reduzieren mit dem größeren Abstand durchgeführt.

#### c) Netzgeneration

Zur Modellierung von verformbaren Blöcken ist es notwendig, die diskreten Blöcke mit einem Netz zu untergliedern. Die Untergliederung respektive die Zonierung wird von UDEC automatisch durchgeführt. Es stehen unregelmäßig angeordnete Dreieckszonen und regelmäßig angeordnete, diagonal gegenüberstehende Dreieckszonen zur Verfügung. Zur Verbesserung der Modellergebnisse bei ausgeprägt plastischem Materialverhalten wird die Diskretisierung der Blöcke mit Zweiteren von ITASCA (2004) empfohlen. Folglich wurde der zentrale Bereich des Modells mit diagonal gegenüberliegenden Dreieckszonen und die Randbereiche, aus geometrischen Gründen, mit unregelmäßigen dreieckigen Zonen diskretisiert (Abbildung 8.18).

#### 8.4.4 Aufbringen der Randbedingungen

##### a) Modellränder

Das Modell ist im Bereich des linken und rechten Randes für Verschiebungen in x-Richtung fixiert und in y-Richtung frei beweglich. Der untere Rand ist, um eine Rotation des Modells zu verhindern, in beiden Richtungen fixiert (Abbildung 8.18).

##### b) In-Situ-Spannungen

Es wurden keine In-Situ-Spannungen angesetzt (s Kap. 9, Punkt 9.2.2.2).

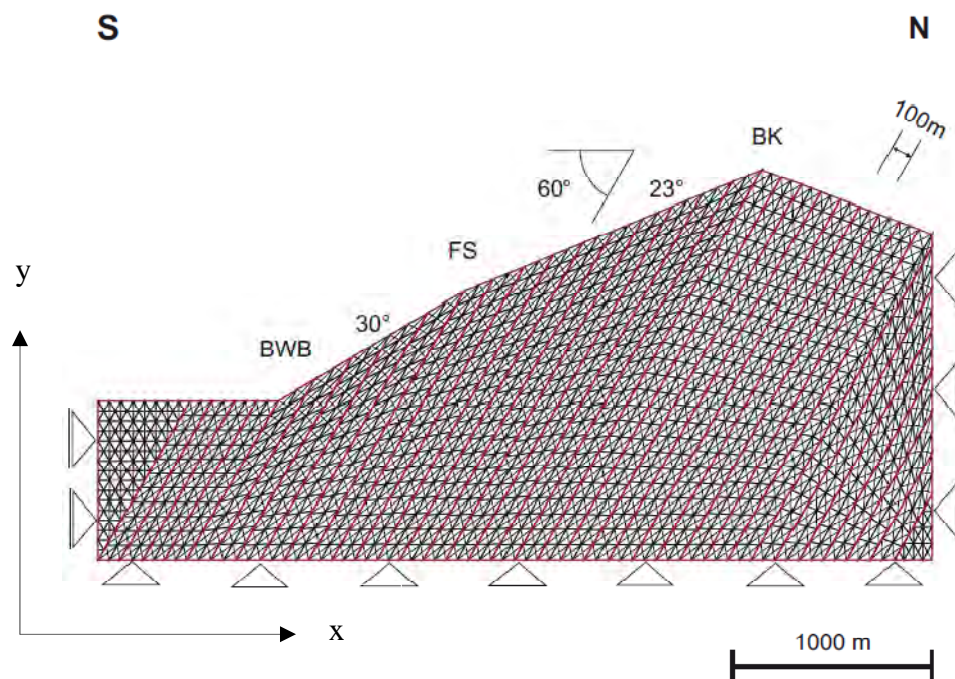


Abbildung 8.18: Modellgeometrie. Die diskreten Blöcke bilden Gesteinslamellen (rote Linien), die durch ein Netz untergliedert sind. Das Netz besteht im zentralen Teil aus regelmäßig angeordneten, diagonal gegenüberliegenden, dreieckigen Zonen und in den Randbereichen aus unregelmäßig angeordneten, dreieckigen Zonen mit 90 Meter Länge.

BWB...Bretterwandbach, FS...Falkenstein, BK...Bunzkögele

### 8.4.5 Eingabe der Materialkennwerte

Die Berechnungen wurden mit dem MOHR-COULOMB-Plastizitätsmodell für das Gestein und mit dem COULOMB-Slip-Modell für die Trennflächen durchgeführt. Dazu werden folgende Kennwerte benötigt:

#### 8.4.5.1.1.1 Gestein

- Dichte  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]
- Reibungswinkel  $\phi_m$  [°]
- Kohäsion  $c_m$  [Pa]
- Zugfestigkeit  $\sigma_{tm}$  [Pa]
- Dilatanzwinkel  $\psi_m$  [°]
- Kompressionsmodul  $K$  [Pa]
- Schermodul  $G$  [Pa]

#### 8.4.5.1.1.2 Trennflächen

- Normalsteifigkeit  $k_n$  [Pa/m]
- Schersteifigkeit  $k_s$  [Pa/m]
- Kluffreibung  $\phi_j$  [°]
- Kohäsion  $c_j$  [Pa]
- Zugfestigkeit  $\sigma_{tj}$  [Pa]
- Dilatanzwinkel  $\psi_m$  [°]

Wird einer der genannten Parameter nicht zugewiesen, so ist die Voreinstellung in UDEC Null. Die elastischen Konstanten  $K$  und  $G$  wurden aus dem E-Modul  $E$  und der POISSONSchen Zahl  $\nu$  berechnet.  $K$  und  $G$  lassen sich durch  $E$  und  $\nu$  ausdrücken.

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (7.48)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (7.49)$$

### 8.4.6 Simulation des Hangversagens

#### a) Modellprüfung

Die Überprüfung des Modellverhaltens erfolgte über die Berechnung der initialen Spannungen bei rein elastischem Materialverhalten. Um plastische Deformationen zu vermeiden, wurden die Gesteins- und Kluffestigkeiten hoch angesetzt. Eine wichtige Kontrolle für das Modell stellen neben der Spannungsverteilung, den x-/y-Verschiebungen etc. die „*unbalanced force*“ und die Geschwindigkeiten dar. Sie

konvergieren bei mechanisch richtigem Modellverhalten und bei stabilem Gleichgewicht mit zunehmenden Berechnungszyklen gegen Null.

b) Ermittlung des Grenzgleichgewichts

Die Ermittlung des Versagens, i.e. des Grenzgleichgewichts, wurde über die Methode der Reduktion der Festigkeitsparameter durchgeführt (BROWN & KING 1966, ZIENKIEWICZ ET. AL. 1975, ZETTLER ET AL. 1999). Dabei werden die Festigkeiten von Gestein und Trennflächen soweit abgemindert, bis das Versagen des Hanges eintritt. Diese Methode geht auf FELENIUS (1948) zurück.

c) Parameterstudie

Die Sensitivität des Modells wurde durch die Veränderung der Festigkeitsparameter, ausgehend vom Grenzgleichgewicht, getestet.

### 8.4.7 Vereinfachungen im Modell

a) Gesteinsfestigkeiten

Das Bunzkögele wird aus Gesteinen unterschiedlicher Festigkeit aufgebaut (s. Kap. 7). Während im Süden, in der MZ geringfeste phyllitische Gesteine dominieren, nimmt Richtung Norden in der Glockner Decke (GDZ2) der Anteil der Kalkglimmerschiefer, die eine höhere Festigkeit aufweisen, zu. Nördlich vom Bunzkögele (GDZ1) liegen fast ausschließlich feste Kalkglimmerschiefer und Glimmermarmore vor. In der Abfolge der MZ sind auch harte Gesteine als linsig begrenzte Vorkommen von Dolomitmarmor und Quarzit anzutreffen. Da allgemein eine geringe Festigkeit der Gesteine und Trennflächen an der Südflanke des Bunzkögeles vorherrscht und sich das geomechanische Verhalten von den genannten harten, räumlich begrenzten bzw. dünnmächtigen Gesteinsvorkommen, im kleinen Maßstab betrachtet, nicht wesentlich ändert (s. Kap. 7), wurde für die gesamte Böschung eine einheitlich geringe Festigkeit angenommen. Zur Begrenzung der Bewegungen nördlich des Bunzkögeles wurde eine Berechnungsvariante mit zwei unterschiedlich festen Gesteinsabschnitten, einem wenig festen für die Südflanke und einem festen für die Nordseite durchgeführt (Pkt. 8.5.7.4).

b) Schieferungsflächen

Die mit  $60^\circ$  nach Süden einfallenden Schieferungsflächen unterteilen den Hang in tafelförmige Klufkörper respektive Gesteinslamellen. Dieser Wert entspricht dem statistischen räumlichen Mittelwert im Gipfelbereich des Bunzkögeles. Bereichsweise sind davon erhebliche Abweichungen festzustellen (s. Anlage B.2 und E 3).

c) Hanggeometrie

Zwar stellen die Berechnungen in UDEC Ergebnisse einer unendlich langen Böschung dar, jedoch bleiben Änderungen der Hangform (konvex oder konkav) in der dritten Dimension weiterhin unberücksichtigt. Wie bekannt ist, kann diese aber eine deutliche Auswirkung auf die Verformung des Hanges haben (POISEL & PREH 2004). Neben diverser morphologischer Hohlformen, die am Südhang vorkommen, ist anzunehmen, dass die Deformation am Westsporn durch die konvexe Hangform bei der Zusammenkunft des Bretterwandgrabens und des Tauerntals wesentlich beeinflusst wurde. Dies hat zur Folge, dass die Berechnungsergebnisse des Modells nur für den

zentralen Bereich Gültigkeit besitzen. Eine Übertragung auf den dreidimensionalen Hang ist nur eingeschränkt möglich.

d) Veränderungen im Systemzustand

Die Großhangbewegung wird im Osten und Süden durch den Bretterwandgraben begrenzt. Beim Einsetzen der Hangbewegungen dürfte das Erosionsniveau des Baches, wie aus verschiedenen Beobachtungen ableitbar ist (s. Kap. 4), zumindest im hinteren Bretterwandgraben noch deutlich höher gelegen haben als heute. Zum Beispiel wurde die Grabenbildung stark durch die Störung, die das östliche Ende der Hangbewegung begrenzt und die dem oberen, Nord-Süd verlaufenden Bretterwandgraben folgt, begünstigt. Die Änderung des Erosionsniveaus blieb in der Modellierung unberücksichtigt.

#### 8.4.8 Allgemeine Überprüfung der UDEC Ergebnisse

Um die Plausibilität der numerischen Modellierung mit UDEC zu prüfen, wurden die maximale Durchbiegung, die Scher- und Zugspannungen eines mehrschichtigen, horizontalen Balken, der an beiden Seiten eingespannt ist, analytisch und numerisch berechnet. Die Berechnungen haben ergeben, dass:

- der Wert der max. Durchbiegung des Balkens in der Mitte analytisch und numerisch ident ist.
- der Ort der max. Zugspannungen und der Scherspannungen aus der analytischen Theorie mit dem der numerischen Berechnungen korrespondiert, wenn auch die Größen etwas unterschiedlich sind. Letzteres könnte damit zusammenhängen, dass die in der Numerik verwendeten Kluftsteifigkeiten, welche in der analytischen Formel nicht berücksichtigt werden, das Ergebnis beeinflussen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse der numerischen Berechnungen die analytische Lösung plausibel wiedergeben. Eine ausführliche Darstellung findet sich in der Anlage D.3.

### 8.5 Ergebnisse der Berechnungen mit UDEC

Der im Bretterwandgraben aufgeschlossene Versagensmechanismus stellt sich bei folgenden Parametern ein bzw. wird am besten abgebildet bei:

$\rho$	$E_m$	$\nu_m$	$c_m$	$\phi_m$	$\sigma_{t, m}$
[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[-]	[kPa]	[°]	[kPa]
2700	6,25	0,25	200	20	10

Tabelle 8.2: Gesteinsparameter



$c_j$	$\phi_j$	$\sigma_{t,j}$
[kPa]	[°]	[kPa]
0	8	0

Tabelle 8.3: Trennflächenparameter respektive Parameter der Schieferungsflächen

Für die Trennflächen des Modells, welche den Schieferungsflächen entsprechen, wurden die Kohäsion  $c_{j,t}$  und die Zugfestigkeit  $\sigma_{j,t}$  gleich Null gesetzt. Diese Annahme entspricht dem Geländebefund durchgehender, tektonisch bewegter Trennflächen. Der sehr niedrige gewählte Wert für den Reibungswinkel rechtfertigt sich aus dem Vorkommen von Graphitphylliten, welche gerade bei den Hauptabschiebungen des Bunzkögeles immer wieder kartiert werden konnten (Anlage A.2: BL-01, BL-04 und BL-13).

### 8.5.1 Das Deformationsbild

Die Blockbilder in Abbildung 8.19 zeigen die unterschiedlichen Stadien des Hangversagens. Wie erkennbar ist, bilden die Berechnungen das in der Natur beobachtbare Deformationsbild der Massenbewegung (Profil 1-1' und Profil 2-2', Anlage E.5) gut ab: Durch die Abschiebungen im Oberhang deformieren sich die Gesteinslamellen im Tieferen des Hanges S-förmig. Die S-förmige Struktur der Gesteinslamellen wird etwa ab der Mitte des Hanges zunehmend mehr durch ein Biegekippen abgelöst. Das in Abbildung 8.19 gezeigte Deformationsbild entspricht dem typischen Bild einer „Sackung“ nach ZISCHINSKY (1966b) beziehungsweise einer „Knickbandsackung“ nach KIEFFER (1998). Nähere Erläuterungen dazu werden im Kap. 10 gegeben.

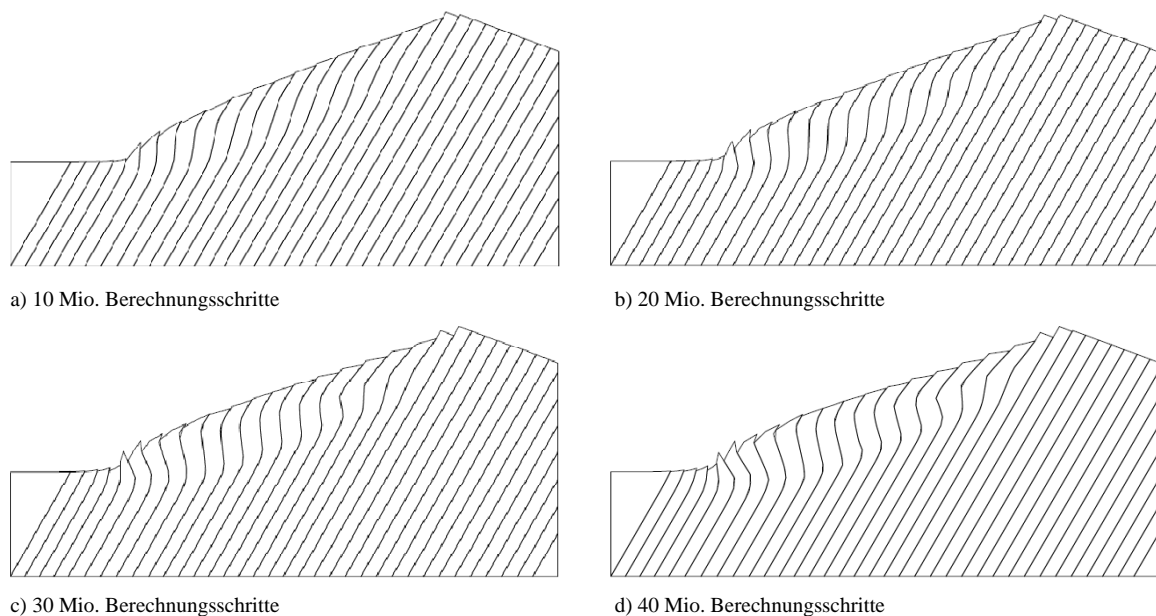


Abbildung 8.19: Blockbilder zum Hangversagen Bunzkögele (Modellrechnung hp 4)

### 8.5.2 Versagen von Trennflächen und Gestein

Die Deformation der tafelförmigen Kluftkörper (Abbildung 8.20) stellt sich durch ein Scherversagen entlang der Trennflächen respektive der Schieferungsflächen (blaue Linien) und durch ein Versagen des Gesteins (rote Kreuze) ein. Die Abbildung 8.20 stellt in Bezug auf das Versagen des Gesteins lediglich einen momentanen Stand von Versagensorten während eines bestimmten Berechnungszyklus ( $\sim 33$  Mio. Berechnungsschritte) dar. Die Zonen stärkster plastischer Deformation bilden die S-Struktur und die Topplingzone. Etwa ab der Mitte des Hanges, wo die Lamellen an der Oberfläche vom Südfallen in ein Nordfallen rotieren, tritt bevorzugt ein Zugversagen (durch violette Kreise und mit roten Pfeilen gekennzeichnet) auf. Dieses kann auch in der Natur beobachtet werden und wird dort durch das Vorkommen von Nackentälern belegt (s. Kap. 6, Pkt. 6.3.3.1). Das Scherversagen des Gesteins und entlang der obersten Trennfläche zeichnet eine polygonale Gleitfläche nach. Vereinfacht kann das Versagen des Bunkkögeles daher auch als ein Versagen entlang einer polygonalen Gleitfläche betrachtet werden.

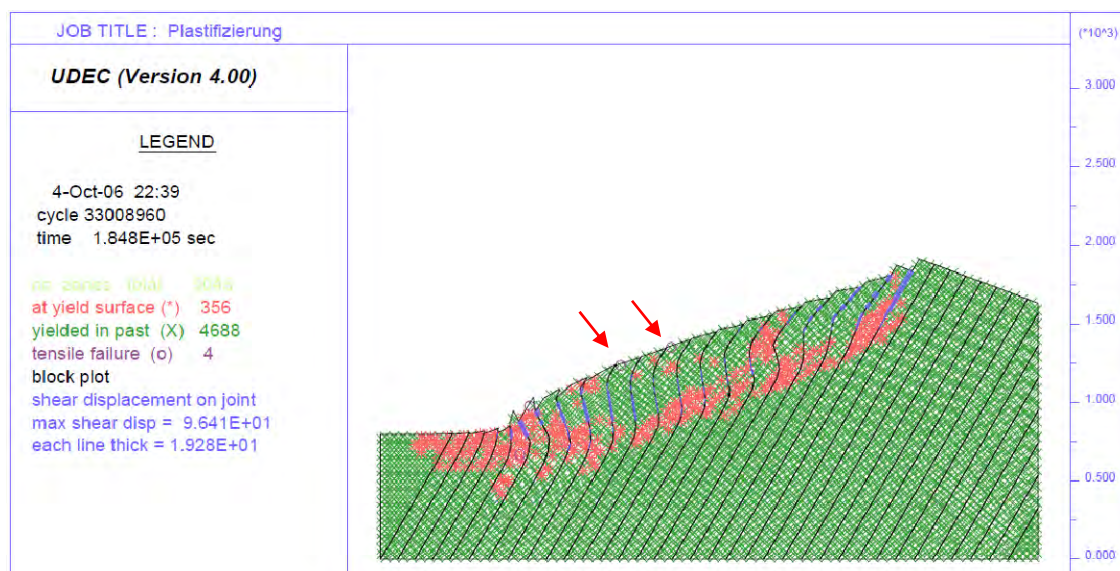


Abbildung 8.20: Scher- und Zugversagen (rote Pfeile) von Gestein und Trennflächen (Modellrechnung hp 4, 33 Mio. Berechnungsschritte)

### 8.5.3 Die Verschiebungen

Die Überschreitung der Trennflächenfestigkeit in der Schieferung schafft die Voraussetzung dafür, dass sich die Lamellen gegeneinander bewegen können. Die differentiellen Verschiebungen der einzelnen Gesteinslamellen lassen sich beispielsweise an den Vertikalverschiebungen (Abbildung 8.22) erkennen. Die größten Vertikalversätze treten im Oberhang, an den Abschiebungen ( $\equiv$  Schieferungsflächen) auf. Im Stirnbereich, wo die Bewegungen unter Talniveau reichen, führen die Relativbewegungen zwischen den Lamellen hingegen zu einer Hebung der Bachsohle (vgl. dazu die Vektoren am Fuß des Hanges, Abbildung 8.23, links-unten). Am keilförmigen Verlauf der Isolinien für die Vertikalverschiebungen lässt sich auch die Rotation der Lamellen nachvollziehen: Sie rotieren am Kopf der Massenbewegung bergwärts (Isolinie bergwärts gerichtet), in der

Mitte und an der Stirn talwärts (Isolinie talwärts gerichtet). Im Bereich der S-Struktur (Knickfalte) ist die Rotation der Lamellen gegensinnig zu der an der Oberfläche, d.h. talwärts. Die Winkel der Rotation, gemessen am ursprünglich vorhandenen 60° Südfallen, zeigt die Abbildung 8.26.

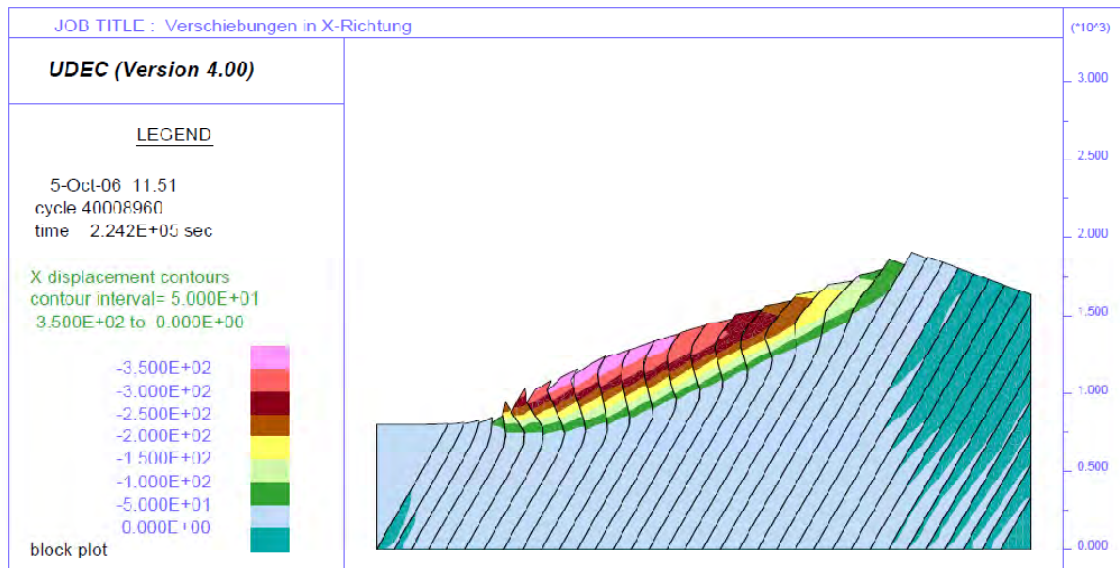


Abbildung 8.21: Horizontalverschiebungen in Meter (Verschiebung in X-Richtung, Modellrechnung hp 4, 40 Mio. Berechnungsschritte)

Sowohl die Horizontalverschiebungen als auch die Vertikalverschiebungen (Abbildung 8.21; Abbildung 8.22) nehmen von der Geländeoberfläche bis zur Basis der Massenbewegung auf Null ab. Eine diskrete, basale Gleitzone ist in Übereinstimmung mit dem Gelände nicht vorhanden.

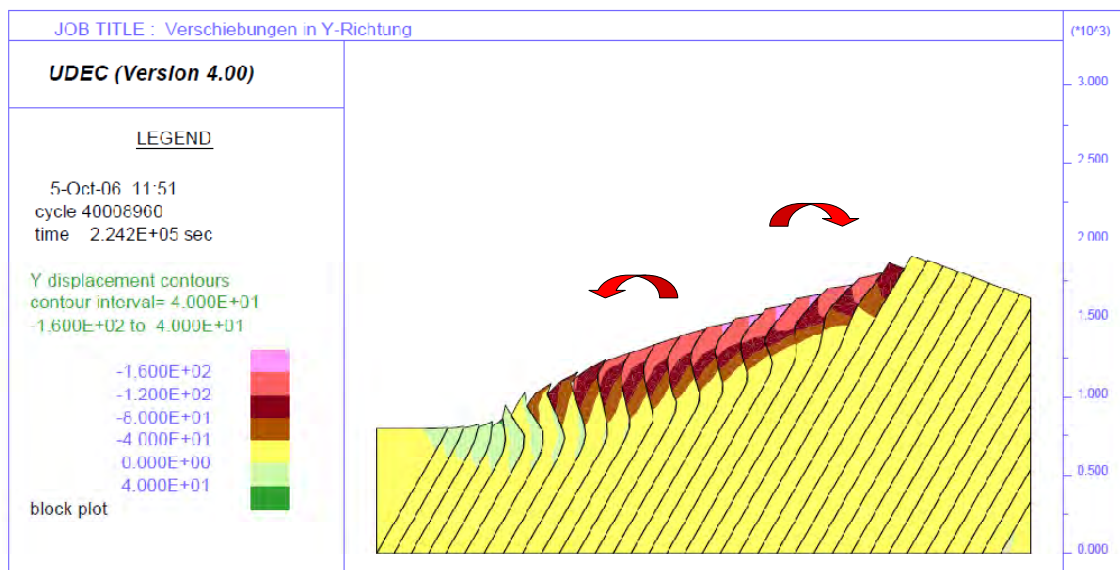


Abbildung 8.22: Vertikalverschiebungen in Meter (Verschiebung in Y-Richtung; Modellrechnung hp 4, 40 Mio. Berechnungsschritte)

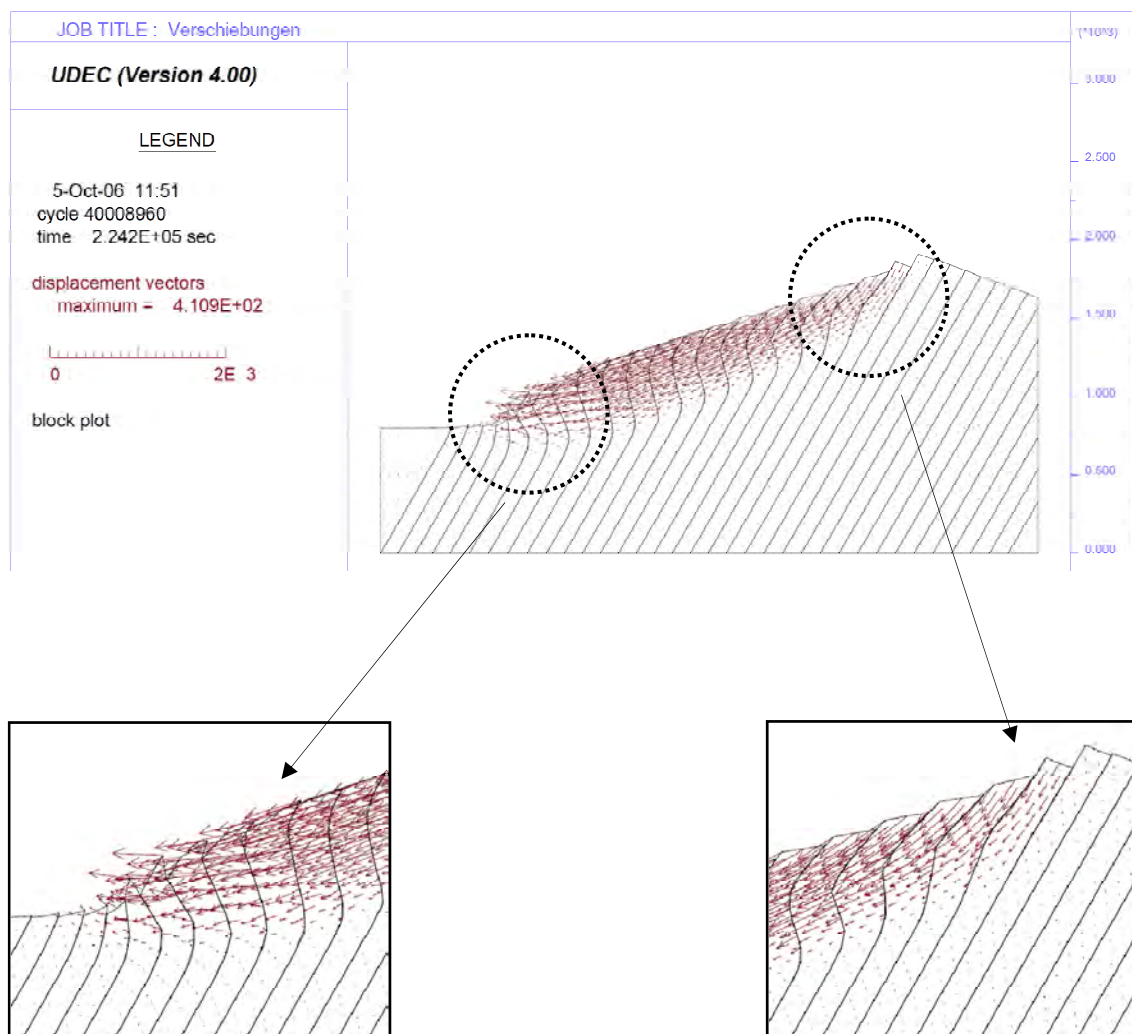


Abbildung 8.23: Verschiebungsvektoren in Meter (Modellrechnung hp 4, 40. Mio. Berechnungsschritte)

Die Abbildung 8.24 zeigt die Lage von vier Profilen, für die die Verschiebungen ausgegeben wurden. In Abbildung 8.25 sind die Beträge der Verschiebungen für die vier Profile dargestellt.

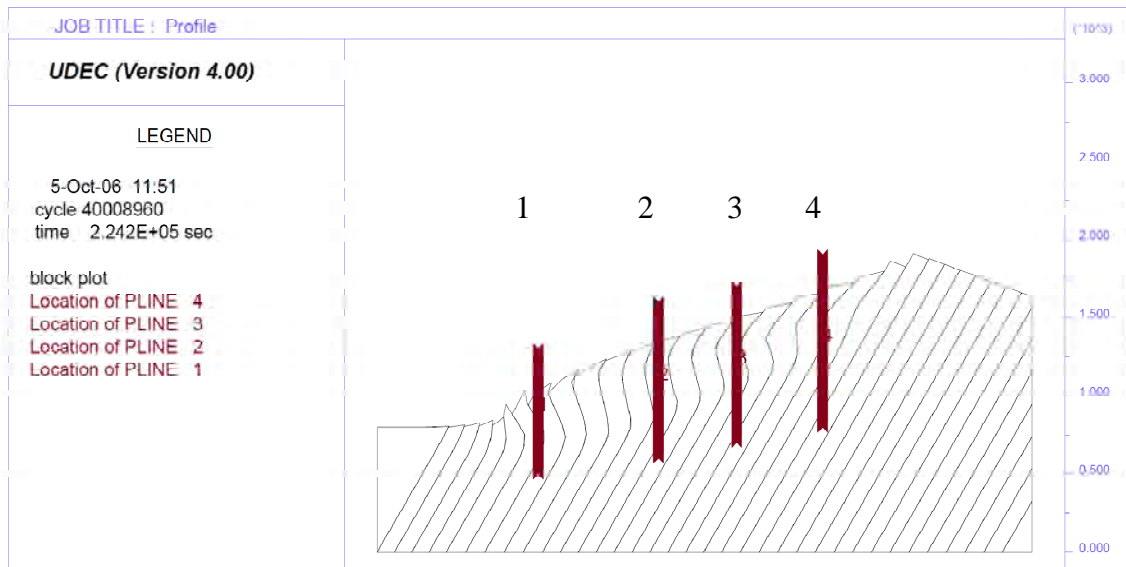


Abbildung 8.24: Lage der Profile der Verschiebungen Nr. 1 bis 4 (Modellrechnung hp 4)

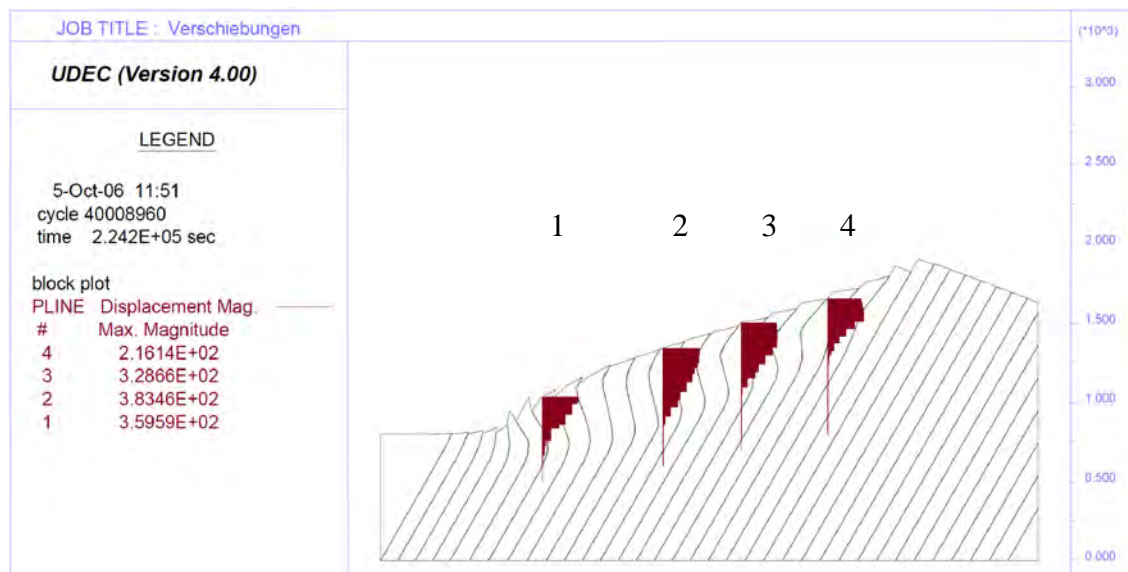


Abbildung 8.25: Verlauf und Betrag der Verschiebungen in Meter bei den Profilen Nr. 1 bis 4 (Modellrechnung hp 4, 40 Mio. Berechnungsschritte)

Die Verschiebungen der Profile Nr. 2 bis 4 weisen von der Geländeoberfläche bis zum oberen Scharnier der Knickfalte etwa gleich große Beträge auf. Von dort nehmen sie dann bis zum unteren Scharnier, i.e. die Basis der Massenbewegung, kontinuierlich auf Null ab. Dieser Verlauf spiegelt die S-förmige Deformation der Lamellen wider. Im Profil 1 hingegen ist gleich zu Beginn eine kontinuierliche Abnahme der Verschiebungen von der Oberfläche bis zur Basis zu erkennen. Diese entspricht dem normalen Biegekippen.



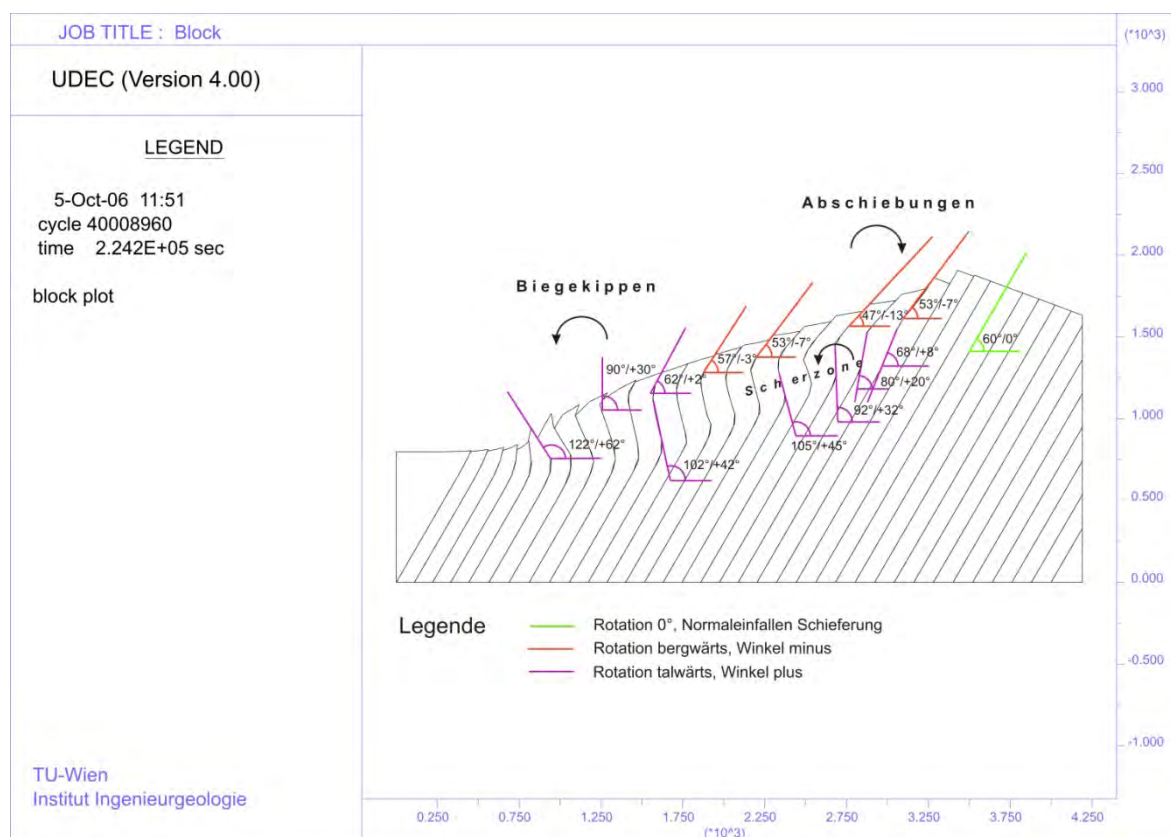


Abbildung 8.26: Rotation der tafelförmigen Kluffkörper; angegeben als Einfallswinkel und Rotationswinkel (Modellrechnung hp 4, 40 Mio. Berechnungsschritte)

#### 8.5.4 Die S-förmige Struktur der tafelförmigen Kluffkörper

Die Bewegungsvektoren sind am oberen Hang gleich wie das Einfallen der Schieferung mit  $60^\circ$  nach Süden gerichtet. Sie rotieren durch die S-förmige Deformation der tafelförmigen Kluffkörper in eine  $22^\circ$  flache, ebenfalls südwärts gerichtete Position (Abbildung 8.23, rechts-unten). Die Horizontalverschiebungen weisen am oberen Scharnier der Knickfalte die größten Beträge (300 bis 350 Meter) auf. Vom oberen Scharnier zum unteren Scharnier ( $\equiv$  Basis der Massenbewegung) nehmen diese, wie bereits erwähnt, kontinuierlich auf Null ab. Durch die Verschiebungen (Abschiebungen) entlang der einzelnen Lamellen nehmen die Horizontalverschiebungen zum Unterhang zu (Abbildung 8.21). Dies führt zu großen Schubverzerrungen innerhalb der Knickfalte (Abbildung 8.27). Die S-förmige Struktur der tafelförmigen Kluffkörper stellt damit nichts anderes als eine breite Scherzone bei einfacher Scherung dar. Aufgrund der von Norden nach Süden zunehmenden Horizontalverschiebungen hat die Scherzone eine dreieckige Form. Sie entwickelt sich ausgehend vom Ursprung an der ersten Abschiebung im Norden, zunehmend breiter werdend nach Süden, bis an den Punkt, wo die S-Struktur aufgrund der geringen Höhe der Lamellen verschwindet und der Versagensmechanismus in ein Biegekippen übergeht (s. Kap. 9, Abbildung 9.3). Die diskreten Abschiebungen aus dem Oberhang werden im Inneren des Hanges durch spröde Verformung an Trennflächen und Gestein innerhalb einer breiten Zone kompensiert.



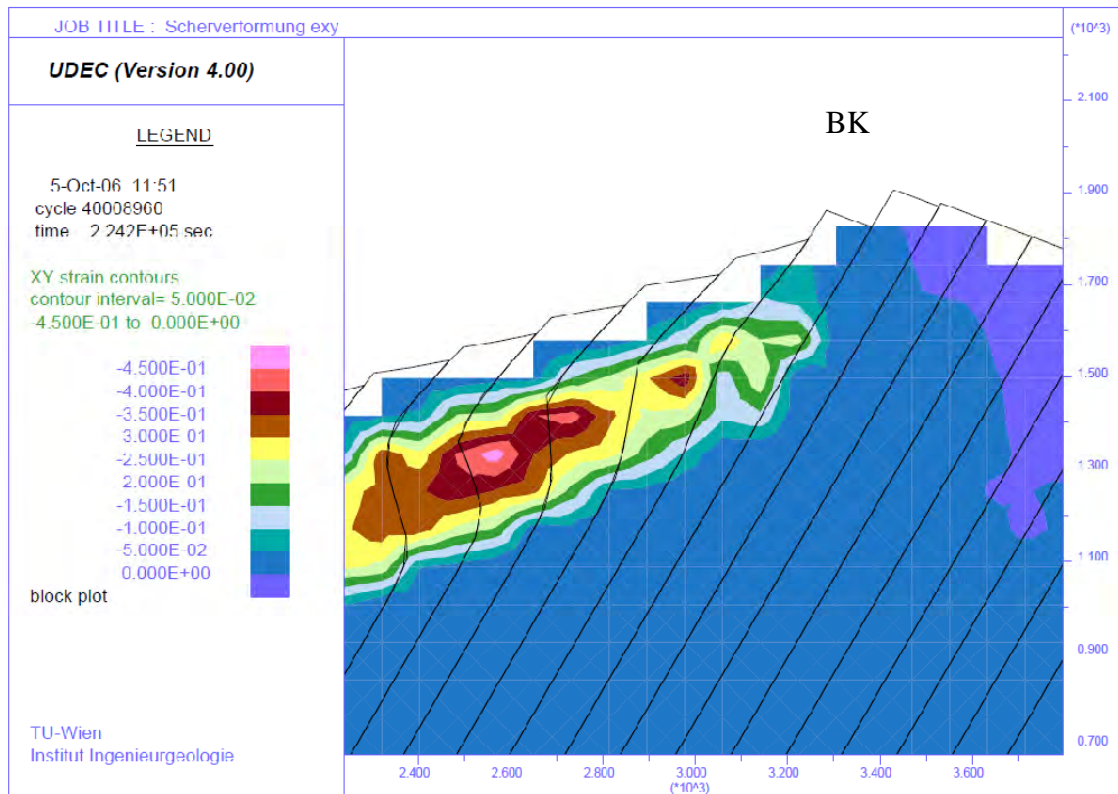


Abbildung 8.27: Schubverzerrung  $\varepsilon_{xy}$  im Bereich der Knickfaltung (Modellrechnung hp 4, 40 Mio. Berechnungsschritte); BK...Bunzkögele

### 8.5.5 Ein selbststabilisierender Prozess?

Mit zunehmenden Berechnungsschritten konvergieren die „unbalanced force“, die Verschiebungen und die Geschwindigkeiten im Modell gegen Null (Abbildung 8.28 und Abbildung 8.29). Dies gibt Anlass zur Annahme, dass der Prozess selbststabilisierend ist. Eine ähnliche Feststellung in Zusammenhang mit dem Biegekippen machten auch NICHOLE ET AL. (2002). Durch den zunehmenden Verkippungsgrad der Lamellen nimmt jedenfalls das Interlamellengleiten aufgrund der signifikant kleiner werden Scherspannungen an den Trennflächen ab. Ob sich jedoch ein Hanggleichgewicht einstellt ist fraglich. Aufgrund der starken Plastifizierung des Gesteins könnten die Bewegungen weiter gehen. D.h., die Knickbandsackung könnte im Endstadium in ein Hangkriechen oder sogar in eine Gleitung übergehen. Ein Beispiel dafür stellt die Massenbewegung Clapière in Frankreich dar. Hier entwickelte sich aus dem anfänglichen Biegekippen eine Felsgleitung (BLANC ET AL. 1987). Auch SJÖBERG (2000) hat das Biegekippen bei steil hangeinwärtsfallenden Trennflächen in großen Tagbauminen beschrieben, aus dem sich im letzten Stadium eine Gleitung entwickelt.

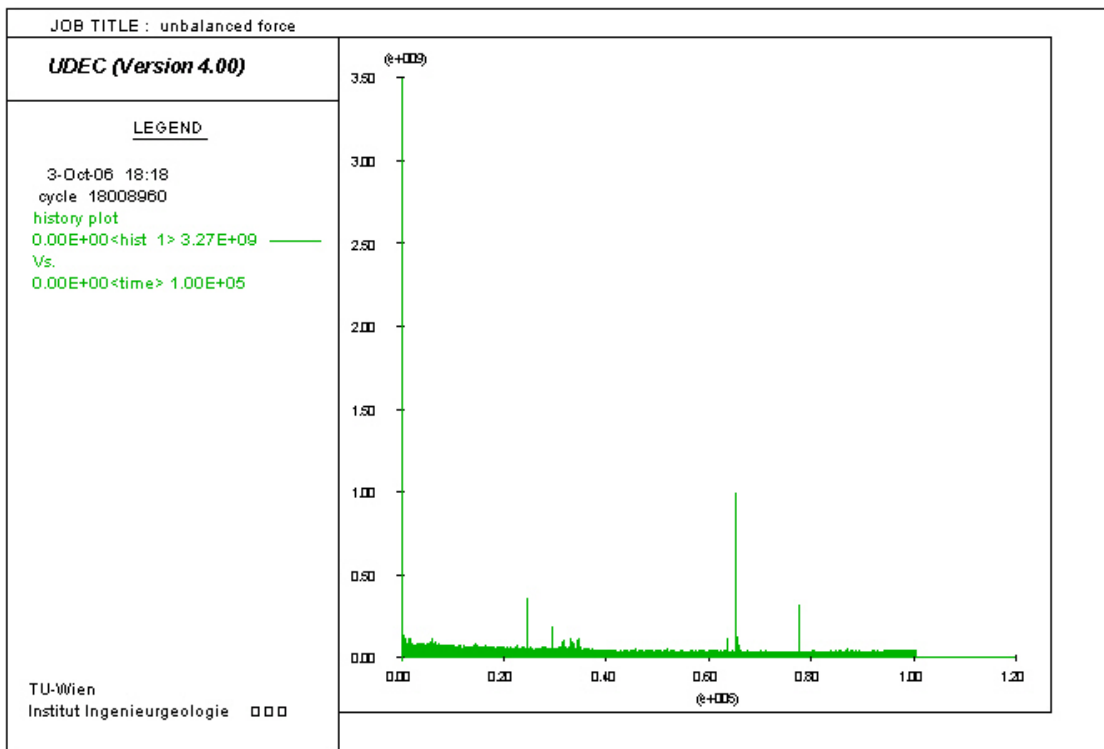


Abbildung 8.28: unbalanced force, Modellrechnung hp 4

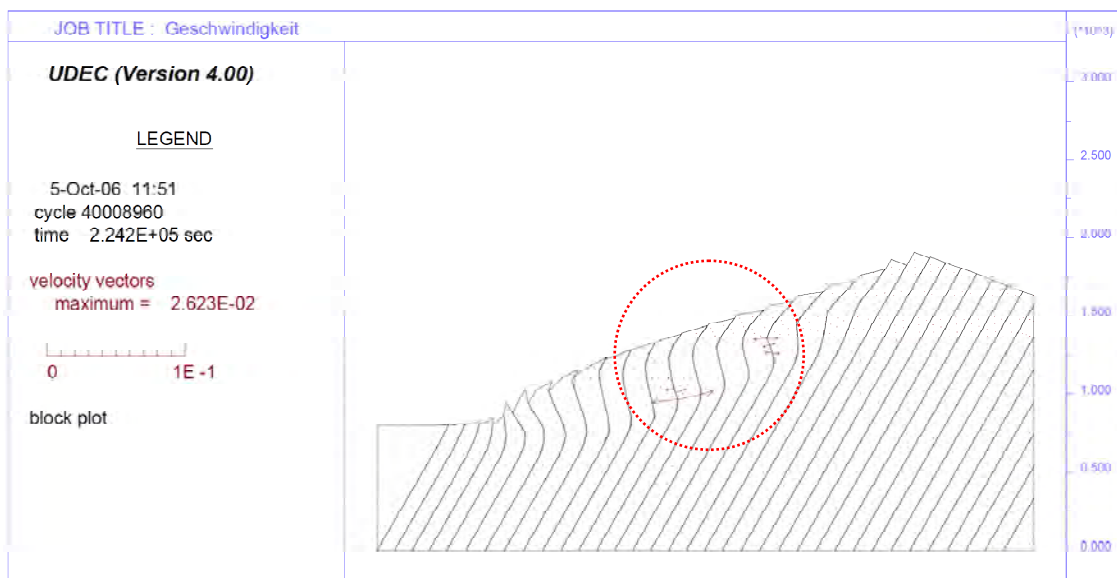


Abbildung 8.29: Divergierende Geschwindigkeitsvektoren Modellrechnung hp 4 (40 Mio. Berechnungsschritte)

Die divergierenden Geschwindigkeitsvektoren (Abbildung 8.29), weisen auf numerische Instabilitäten des Modells in ein paar wenigen Knotenpunkten hin. Sie sind auf die großen plastischen Verformungen zurückzuführen und markieren damit auch die Anwendungsgrenzen des Programms.

### 8.5.6 Parameterstudie

Um die Sensitivität des Modells zu untersuchen, wurden die Parameter der Tabelle 8.2 und Tabelle 8.3 variiert. Die Anlage D.1 enthält eine tabellarische Zusammenstellung sämtlich durchgeführter Rechnungen.

#### 8.5.6.1 Gestein

##### 8.5.6.1.1 Einfluss des Reibungswinkels

Der Grenzreibungswinkel in der numerischen Modellierung für den in der Natur ausgebildeten Versagensmechanismus beträgt  $21^\circ$ . Bei höheren Werten versagt nur noch der steilere Stirnbereich des Bunkkögeles, d.h., die Massenbewegung reicht nicht mehr so weit den Hang hinauf. Abbildung 8.30 zeigt beispielsweise die Vertikalverschiebungen bei einem Reibungswinkel von  $22^\circ$ ; der Prozess stabilisiert sich bereits nach 14 Mio. Berechnungsschritten. Werden hingegen die Werte der Reibung reduziert, greift das Versagen sowohl was die Ausdehnung nach Norden in den Oberhang als auch die Mächtigkeit der bewegten Masse betrifft tiefer (Abbildung 8.31).

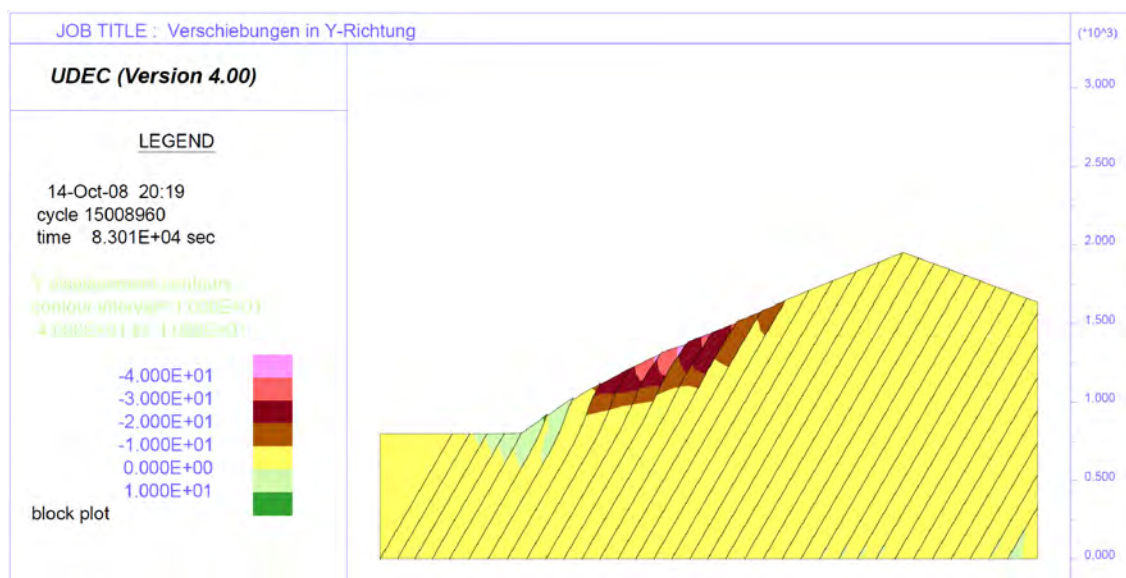


Abbildung 8.30: Vertikalverschiebungen in Meter bei einem Reibungswinkel des Gesteins von  $22^\circ$  (Modellrechnung hp 11, 15 Mio. Berechnungsschritte)

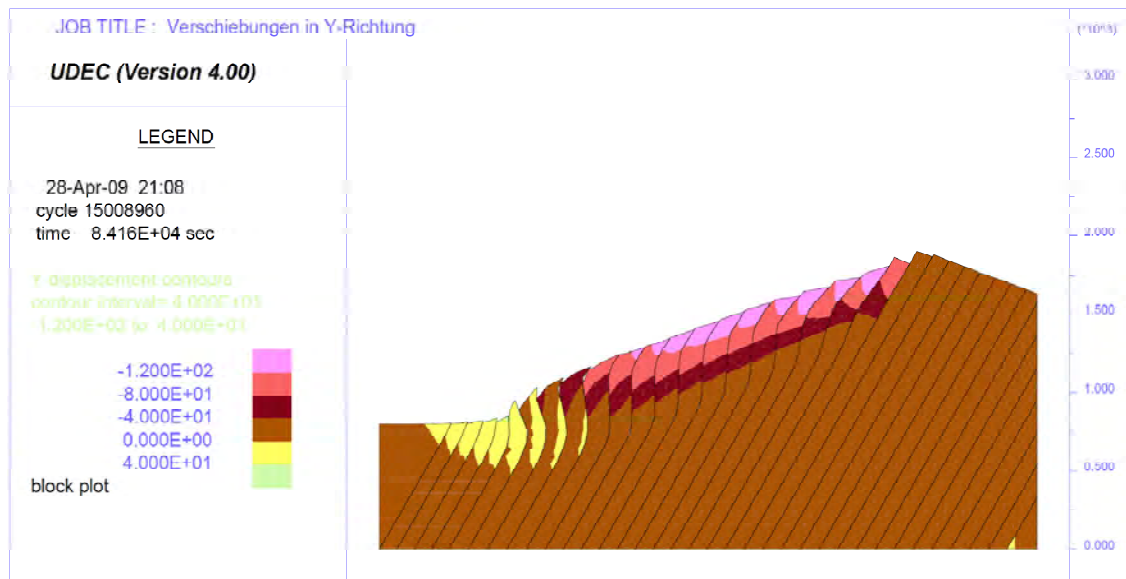


Abbildung 8.31: Vertikalverschiebungen in Meter bei einem Reibungswinkel des Gesteins von  $18^\circ$  (Modellrechnung hp 14, 15 Mio. Berechnungsschritte)

#### 8.5.6.1.2 Einfluss der Kohäsion

Die wesentlichen Ergebnisse der numerischen Berechnungen sind (s. a. Tabelle 8.4):

- 1) Am besten wird die S-förmige Struktur der tafelförmigen Kluffkörper bei einer Kohäsion des Gesteins zwischen 150 und 200 kPa wiedergegeben.
- 2) Bei einem geringen Anteil der Kohäsion an der Gesteinsfestigkeit ( $\leq 50$  kPa) tritt nur noch ein Biegekippen als Versagensmechanismus auf. Die Bewegung geht beim Biegekippen nicht so tief wie beim Mechanismus der Knickbandsackung. Diese Situation könnte auch auf den Westsporn der Großhangbewegung, wo das Biegekippen den maßgeblichen Mechanismus darstellt, zutreffen. Da sich die Kohäsion des Gesteins im Streichen nicht ändert, wird angenommen, dass die geringe seitliche Einspannung aufgrund des angrenzenden Tauerntals zu einem Biegekippen führte (Profil 3-3', Anlage E.5).

	<i>Rechnung Nr.:</i>	<i>Kohäsion [kPa]</i>	<i>Versagensbild</i>
A)	hp 1, hp 2	$\geq 500$	Das Versagen des Hanges bleibt aus.
B)	hp 3	300	Abschiebungen entlang der Schieferungsflächen am Kopf führen zu einer leicht S-förmigen Struktur der Gesteinslamellen. Die Lamellen an der Stirn beginnen zu rotieren, sie werden aber noch nicht überkippt.
C)	hp 4, hp 5	150 bis 250	Deutlich ausgebildete S-förmige Struktur der Lamellen; Biegekippen an der Stirn des Hanges (Abbildung 8.19); die Lamellen der Stirn sind vollständig überkippt.
D)	hp 6	100	Übergang zum Biegekippen; nur die obersten Lamellen des Hanges sind leicht S-förmig deformiert.
E)	hp 7	50	Biegekippen (Abbildung 8.32); keine Knickfaltung.
F)	hp 8	20	Biegekippen; nur noch die untersten Lamellen der Massenbewegungsstirn sind überkippt; UDEC stoppt die Berechnungen, nachdem die Überlappungen an den Blockgrenzen zu groß werden.

Tabelle 8.4: Einfluss der Kohäsion

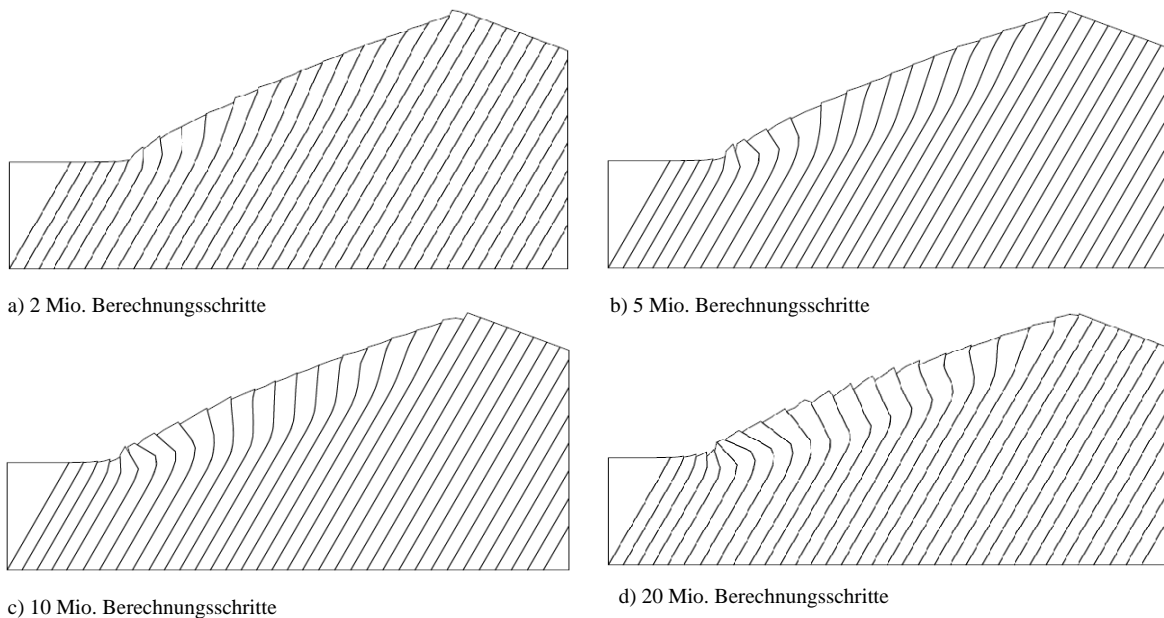


Abbildung 8.32: Biegekippen bei einem geringen Anteil der Kohäsion an der Gesteinsfestigkeit (Modellrechnung hp 7)

In Abbildung 8.32 sind die unterschiedlichen Versagensstadien für eine Modellrechnung bei einer geringen Kohäsion des Gesteins ( $c_m=50$  kPa) dargestellt. Durch die

Verschiebungen (anfangs Abschiebungen) an den Lamellengrenzen beginnen sich die tafelförmigen Klufkörper an der Stirn zu verformen und talwärts zu rotieren. Mit zunehmenden Bewegungen greift der Prozess des Biegekippens weiter hangaufwärts; die Lamellen an der Stirn werden sukzessive stärker überkippt. Am oberen Hang, am Übergang von den aufrecht südfallenden zu den überkippt nordfallenden Lamellen, treten Zugspannungen auf (Abbildung 8.33). In der numerischen Simulation plastifiziert das Modell hier stark. In der Natur ist hingegen wegen des hohen deviatorischen Spannungsanteils eher die Bildung antithetischer Brüche anzunehmen. Die Konsequenz daraus ist, dass Gesteinsschollen grabenbruchartig einsinken. UDEC kann Zug- oder Scherversagen feststellen, jedoch bietet es nicht die Möglichkeit, neue Brüche ( $\equiv$  Kontakte) zu bilden und mit diesen weiterzurechnen. Programme, die dies ermöglichen, werden als hybride Programme bezeichnet. Sie sind noch nicht so lange erhältlich (s. STEAD ET AL. 2001 und EBERHARDT ET AL. 2004) bzw. noch in Entwicklung begriffen. Bei genauer Betrachtung sind aber auch in der numerischen Modellierung mit UDEC Hinweise auf antithetische und synthetische Scherbrüche auszumachen. Die roten Kreuze für Scherversagen verlaufen dann entlang gedachter Linien (Abbildung 8.33).

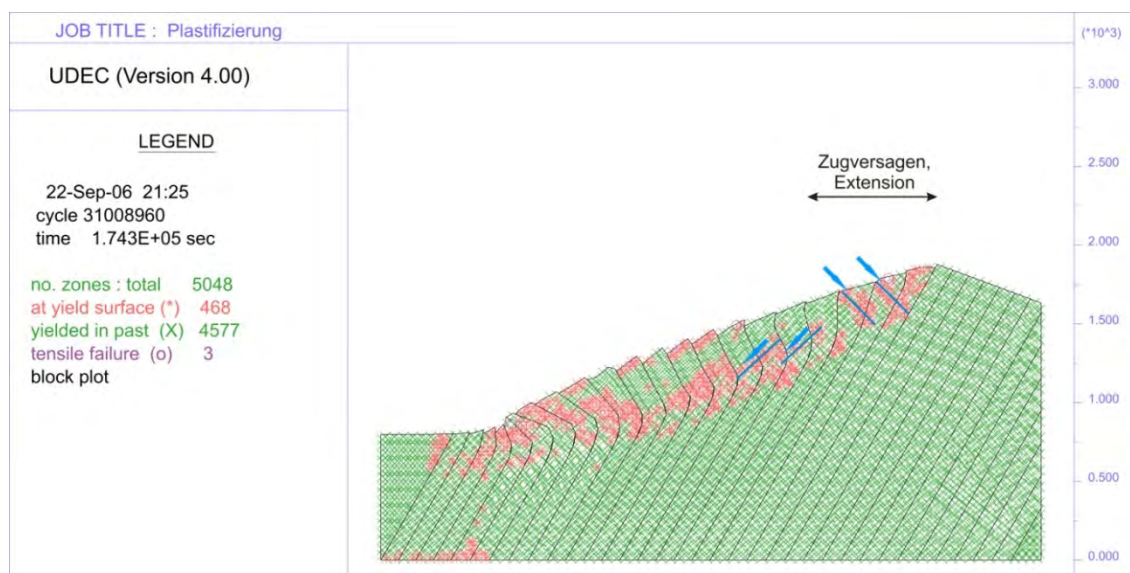


Abbildung 8.33: Scher- und Zugversagen Modellrechnung hp 7 (31 Mio. Berechnungsschritte); blau eingetragen die Entwicklung von antithetischen und synthetischen Scherbrüchen



### 8.5.6.1.3 Einfluss der Zugfestigkeit

Die max. mögliche Zugfestigkeit unter Anwendung der MOHR-COULOMBSchen Bruchgeraden ergibt sich aus der Gleichung (7.32):

$$\sigma_{tmax} = \frac{c}{\tan\phi} = \frac{200 \text{ KPa}}{\tan 20^\circ} = 550 \text{ kPa}$$

Die Berechnungen mit der angegebenen Zugfestigkeit haben ergeben, dass diese keinen merklichen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Das ist verständlich, zumal das Versagen großteils durch Scherversagen und kaum durch Zugversagen geprägt ist.

### 8.5.6.1.4 Einfluss des Dilatanzwinkels

Die Voreinstellung in UDEC für den Dilatanzwinkel  $\psi$  ist Null. Welchen Einfluss ein von Null abweichender Dilatanzwinkel auf den Versagensmechanismus hat, ist in der Tabelle 8.5 beschrieben.

	Rechnung	Reibungswinkel $\phi_m$ [°]	Dilatanzwinkel $\psi$ [°]	Beschreibung des Versagensbildes
A)	hp 40	20	5	Das Versagensbild gleicht +/- der Modellrechnung hp4. Um dieses zu erhalten, sind jedoch wesentlich mehr Berechnungsschritte notwendig (Abbildung 8.34a).
B)	hp 41	20	10	Die S-förmige Struktur der Lamellen ist schwach ausgebildet. Die Bewegungen greifen geringfügig tiefer (Abbildung 8.34b).
C)	hp 42	20	15	Die S-förmige Struktur der Lamellen ist schwach ausgebildet. Die Bewegungen greifen „unnatürlich“ tief (Abbildung 8.34c).
D)	hp 43	20	$20 = \phi_m$	Nur noch schwach ausgebildete S-förmige Struktur im Stirnbereich; die Bewegungen greifen „unnatürlich“ tief (Abbildung 8.34d).

Tabelle 8.5: Einfluss des Dilatanzwinkels  $\psi$ ;  $\phi_m$ ...Reibungswinkel des Gesteins

Bei einem Dilatanzwinkel von  $\psi \geq 1/3\phi_m$  greifen die Bewegungen tiefer und die S-förmige Struktur der Lamellen erscheint abgeschwächt. Das Deformationsbild mit dem „lang gezogenen S“ und der tief greifenden Plastifizierung des Gesteins wirkt dabei unwirklich (Abbildung 8.34b, c und d, 40 Mio. Berechnungsschritte). Das Versagensbild wird selbst

bei einer Fortführung der Berechnungen (Abbildung 8.34d, 80 Mio. Berechnungsschritte) kaum noch beeinflusst.

Die Bildsequenz der Abbildung 8.34 zeigt schön den Einfluss des zunehmenden Dilatanzwinkels beim Gestein. Die Erhöhung des Winkels ruft eine größere seitliche Einspannung im Modell hervor. Dadurch werden die Verformungen geringer.

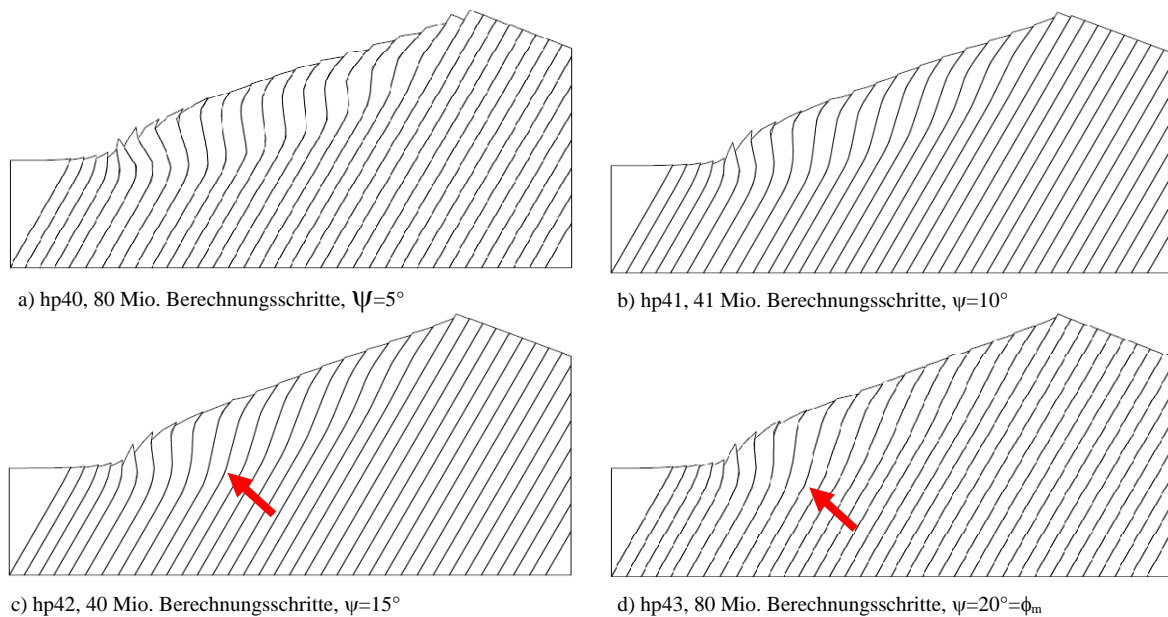


Abbildung 8.34: a), b) und c) nicht assoziierte Modellrechnungen; d) assoziierte Modellrechnung; auffällig ist der „unnatürliche“ Tiefgang (Bild c) und d), roter Pfeil) und die schwache Ausbildung der S-förmigen Deformation der tafelförmigen Klufkörper

## 8.5.6.2 Trennflächen

### 8.5.6.2.1 Einfluss des Reibungswinkels

Der Großteil der Berechnungen wurde mit einem Reibungswinkel von  $8^\circ$  durchgeführt (Anlage D.1). Wird die Kluftraugigkeit erhöht, nimmt der Gesamtbetrag der Scherverschiebungen an den Trennflächen ab. Die S-förmige Struktur der Gesteinslamellen ist dann weniger stark ausgeprägt und die Rotation im Stirnbereich vermindert (Abbildung 8.35b). Bei der schrittweisen Erhöhung des Reibungswinkels verlieren die Schieferungsflächen mechanisch betrachtet mehr und mehr an Bedeutung. Das Versagen wird dann weitestgehend von der Gesteinsfestigkeit bestimmt und im oberen Hang treten Zugspannungen auf (Abbildung 8.36).

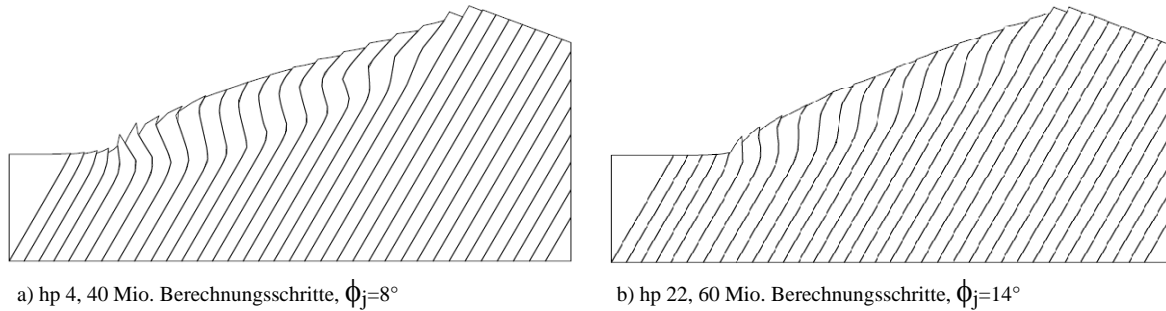


Abbildung 8.35: Einfluss des Kluftrichtungswinkels  $\phi_j^\circ$   
 a) Rechnung hp 4, 40 Mio. Berechnungsschritte  
 b) Rechnung hp 22, 60 Mio. Berechnungsschritte

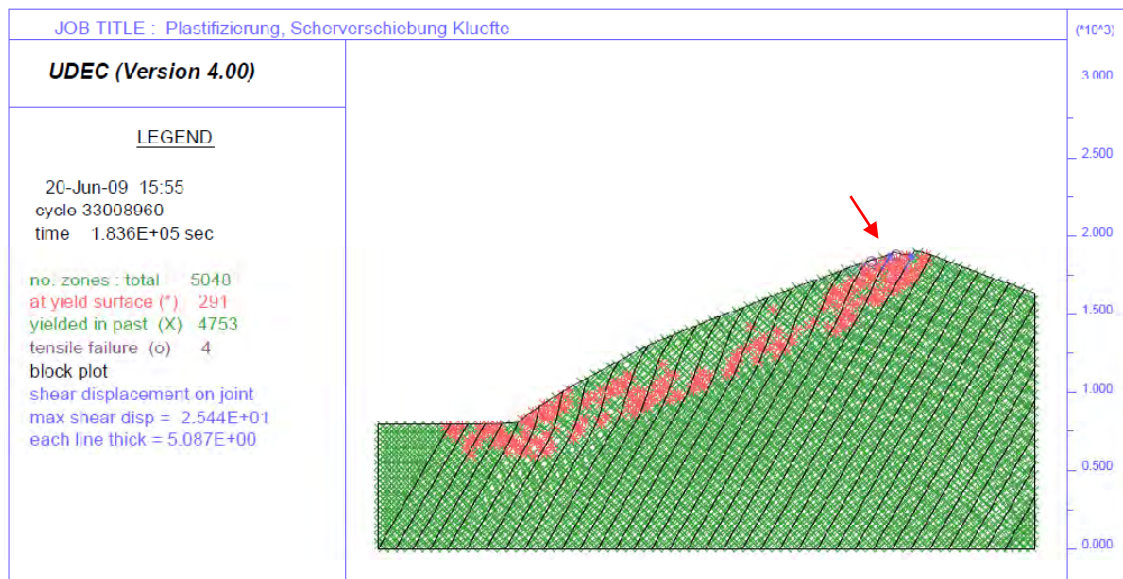


Abbildung 8.36: Modellrechnung hp 24b mit einem Reibungswinkel  $\phi_j=30^\circ$   
 (33 Mio. Berechnungsschritte); Scher- und Zugversagen (mit rotem Pfeil  
 gekennzeichnet)

### 8.5.6.2.2 Einfluss der Kohäsion

Wird die Kohäsion der Kluft signifikant erhöht ( $c_j=1\text{MPa}$ , Abbildung 8.37 bis Abbildung 8.40), so tritt das Phänomen der Knickfaltung nicht mehr auf. Die tafelförmigen Kluftkörper verformen sich zwar noch leicht, jedoch hat die hohe Kohäsion zur Folge, dass die Schieferungsflächen kaum noch einen Einfluss haben. Das Versagen wird wie bei einem hohen Reibungswinkel von der geringen Gesteinsfestigkeit bestimmt und entspricht mehr und mehr einem Hangkriechen (POISEL & PREH 2004), d.h. einem Versagen, welches durch eine kontinuierliche Abnahme der Verschiebungen von der Oberfläche zur Tiefe gekennzeichnet ist (Abbildung 8.37). Charakteristisch für dieses Versagen ist ein Zugversagen am Kopf des Hanges (Abbildung 8.38). Durch den Massenverlagerungsprozess senkt sich der Kopf, während sich die Stirn leicht konkav nach vorn wölbt. Dabei hebt sich das Vorfeld (Abbildung 8.40). Die Verschiebungen (Abbildung 8.39 und Abbildung 8.40) fallen deutlich kleiner aus als bei der Knickbandsackung: sie betragen in X-Richtung lediglich etwa 35% und in Y-Richtung nur etwa 40% der Beträge der Knickbandsackung (vgl. Abbildung 8.21 und Abbildung 8.22).

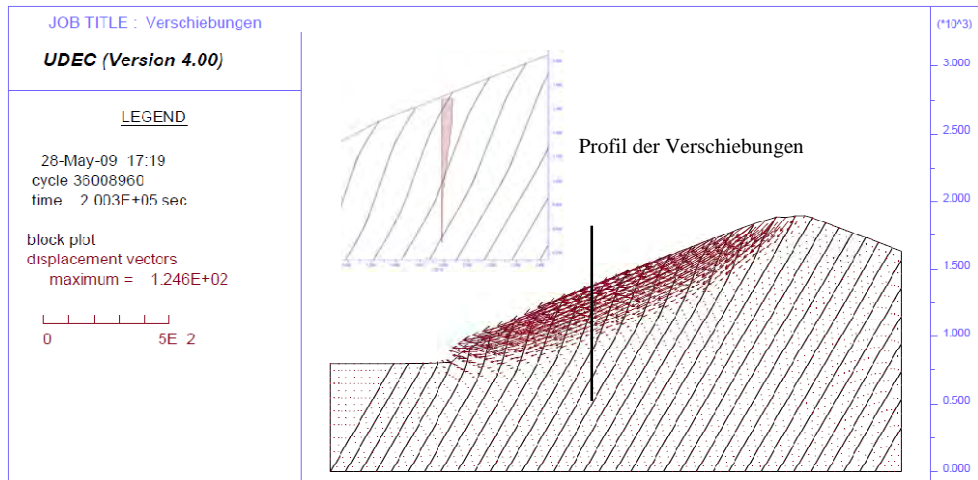


Abbildung 8.37: Hangkriechen bei einer Kohäsion der Trennflächen  $c_j=1$  MPa  
 Verschiebungsvek. in Meter, Modellrechnung hp 27, 36 Mio. Berechnungsschritte

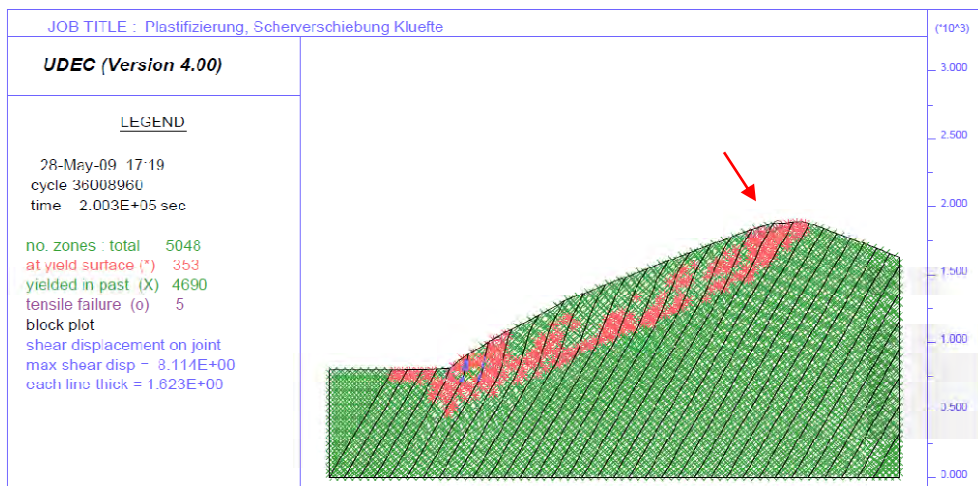


Abbildung 8.38: Hangkriechen bei einer Kohäsion der Trennflächen  $c_j=1$  MPa; Scher- und Zugversagen (roter Pfeil), Modellrechnung hp 27, 36 Mio. Berechnungsschritte

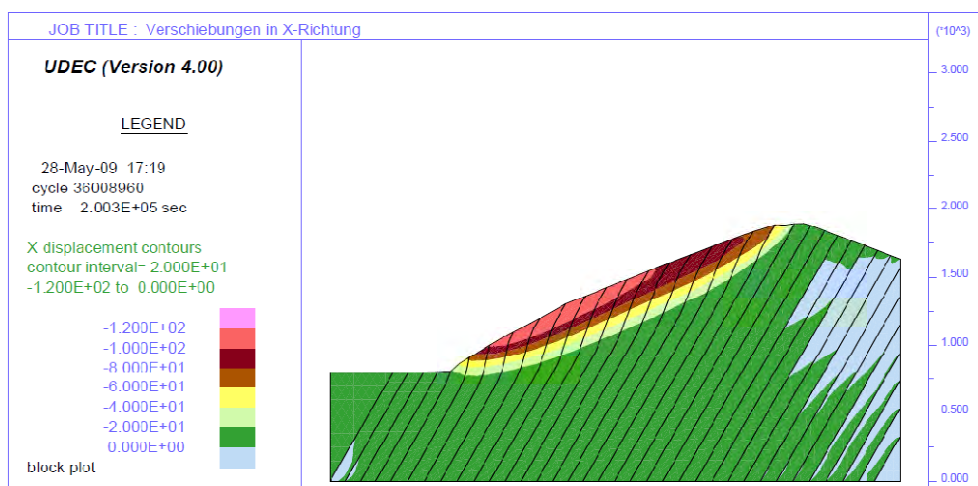


Abbildung 8.39: Hangkriechen bei einer Kohäsion der Trennflächen  $c_j=1$  MPa,  
 Horizontalverschiebungen in Meter  
 Modellrechnung hp 27, 36 Mio. Berechnungsschritte

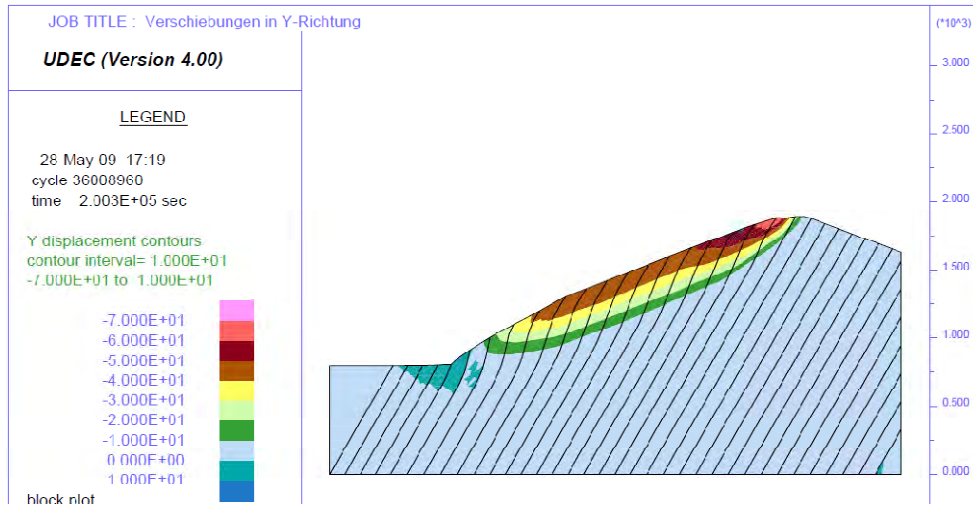


Abbildung 8.40: Hangkriechen bei einer Kohäsion der Trennflächen  $c_j=1$  MPa, Vertikalverschiebungen in Meter, Modellrechnung hp 27, 36 Mio. Berechnungsschritte

8.5.6.2.3 Einfluss der Zugfestigkeit

Das Scherversagen an den vorgegebenen Schieferungsflächen führt zur Abschabung der Gesteinslamellen im Oberhang. Auch im mittleren Abschnitt und an der Stirn bildet das Scherversagen die wesentliche Voraussetzung für den Versagensmechanismus. Insofern beeinflusst die Zugfestigkeit den Versagensmechanismus nicht. Das Deformationsbild des Hanges mit einer Zugfestigkeit der Klüfte von 2 MPa sieht gleich aus, wie jenes der Modellrechnung hp 4 (Abbildung 8.41).

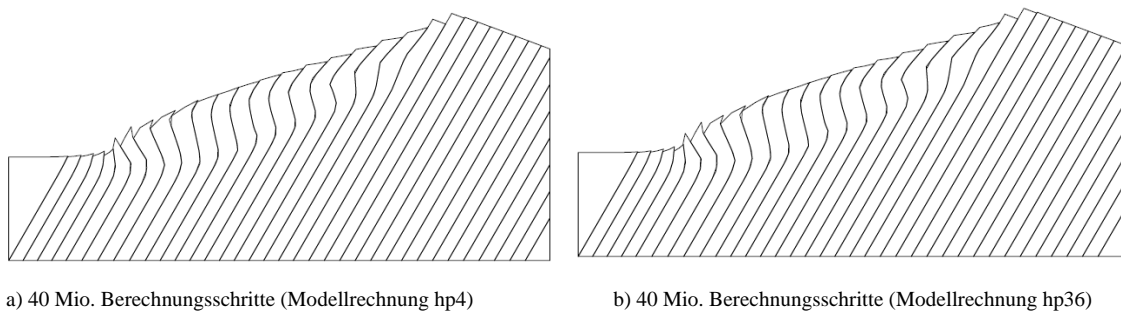


Abbildung 8.41: Vergleich von Modellierungen mit einer unterschiedlichen Zugfestigkeit der Trennflächen von:  
 a) 10 kPa (Modellrechnung hp 4) und  
 b) 2 MPa (Modellrechnung hp 36)



## 8.5.7 Berechnungsvarianten

### 8.5.7.1 Berechnung mit verfeinertem Netz

Um den Einfluss der Größe der Elemente respektive der Zonen des Netzes auf die Ergebnisse zu prüfen, wurde die Modellierung des Versagens mit kleineren Elementen durchgeführt.

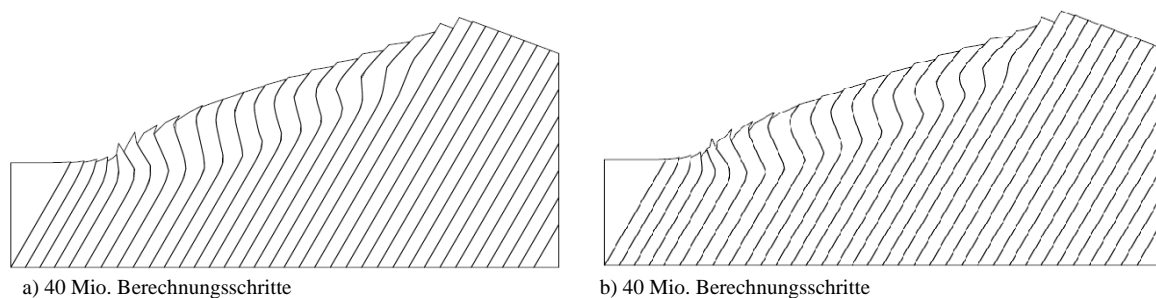


Abbildung 8.42: Vergleich unterschiedlicher Elementgrößen des Netzes auf die Berechnungsergebnisse  
 a) Modellrechnung hp 4, Elementgröße 90 m  
 b) Modellrechnung hp 4-2, Elementgröße 60 m

Aus der Abbildung 8.42 geht hervor, dass die Ergebnisse der Berechnungen der kleinen Elemente mit 60 Metern denen der großen mit 90 Metern entsprechen. Die Parameterstudie konnte daher mit den größeren Elementen durchgeführt werden.

### 8.5.7.2 Berechnung mit dünnen Lamellen

In einer weiteren Studie wurde die Lamellenbreite in Bezug auf die vorangegangenen Untersuchungen auf die Hälfte reduziert. Die gewählten 50 Meter repräsentieren in etwa den Abstand, der sich in der Natur aus den großen Abschiebungen ergibt. Die maximalen Horizontal- (350-400 Meter) und Vertikalverschiebungen (120-160 Meter) sind bei beiden Berechnungen mehr oder weniger gleich groß (vgl. Abbildung 8.21 und Abbildung 8.22 mit Abbildung 8.45 und Abbildung 8.46). Wie in der Abbildung 8.44 ersichtlich ist, tritt ein Zugversagen (gelbe Punkte) bevorzugt in den Scharnieren der Knickfalte auf. Dies entspricht den Beobachtungen im Gelände und ist mit ausgeprägter Dilatanz verbunden (Kap. 6, Abbildung 6.12b). Ein nennenswerter Unterschied besteht aber im Tiefgang der Hangbewegung: Er ist bei den dünnen Lamellen um ca. 90 Meter geringer als bei den breiten (Abbildung 8.43). Die maximale Tiefe der Bewegung mit den dünnen Lamellen beträgt ca. 340 Meter und stimmt sehr gut mit der in der Natur kartierten überein. Die Modellierung mit den dünnen Lamellen spiegelt daher das in der Natur kartierbare Deformationsbild bei gleicher Mechanik besser wider als die Modellierung mit den breiten Lamellen. Aufgrund der außergewöhnlich langen Rechenzeiten mit den dünnen Lamellen wurde die Studie daher vorwiegend mit den breiten Lamellen durchgeführt.



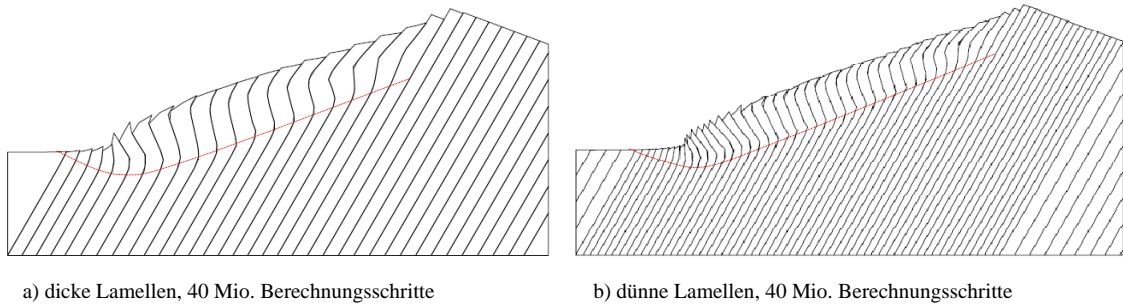


Abbildung 8.43: Vergleich der Modellierung mit unterschiedlichen Dicken der Lamellen; Tiefgang der Massenbewegung rot punktiert eingezeichnet  
 a) Lamellendicke 100 m (Modellrechnung hp 4)  
 b) Lamellendicke 50 m (Modellrechnung hp 60)

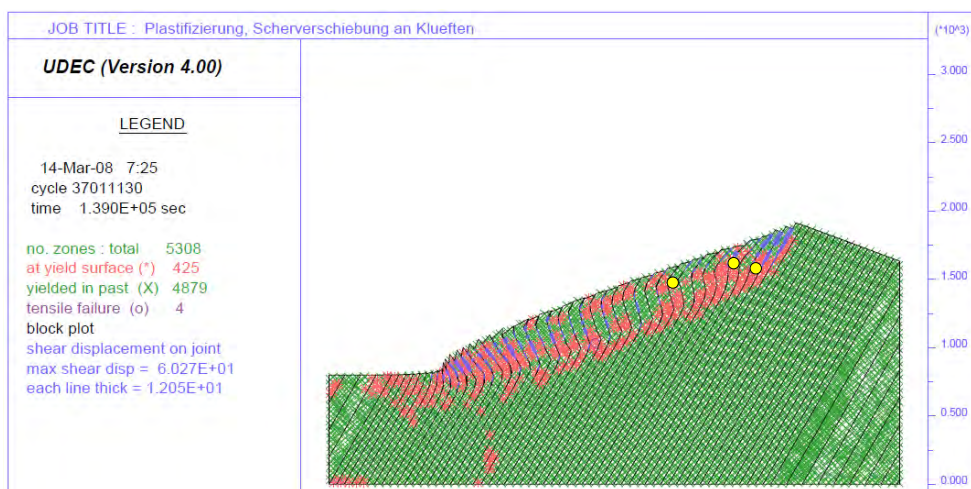


Abbildung 8.44: Scher- und Zugversagen von Gestein und Trennflächen bei dünnen Lamellen (Modellrechnung hp 60, 37 Mio. Berechnungsschritte), Zugversagen Gestein mit gelben Punkten gekennzeichnet

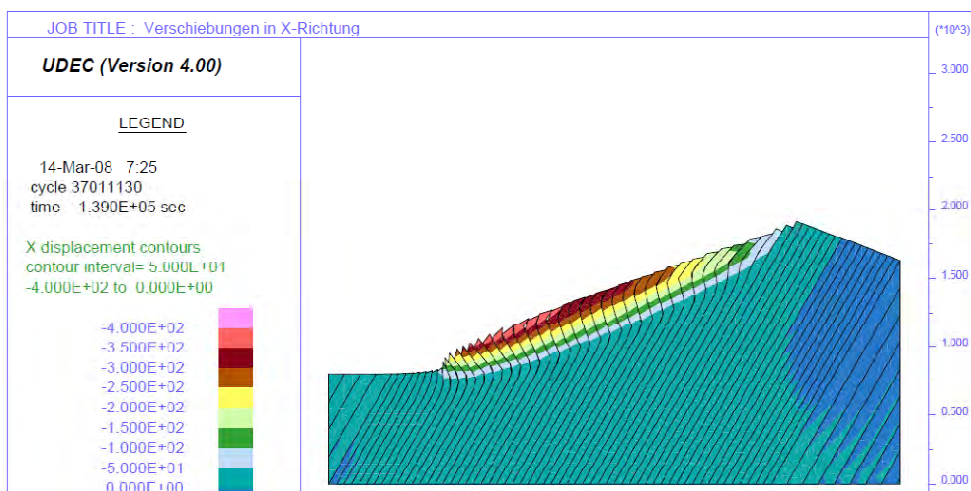


Abbildung 8.45: Dünne Lamellen, Horizontalverschiebungen in Meter (Modellrechnung hp 60, 37 Mio. Berechnungsschritte)

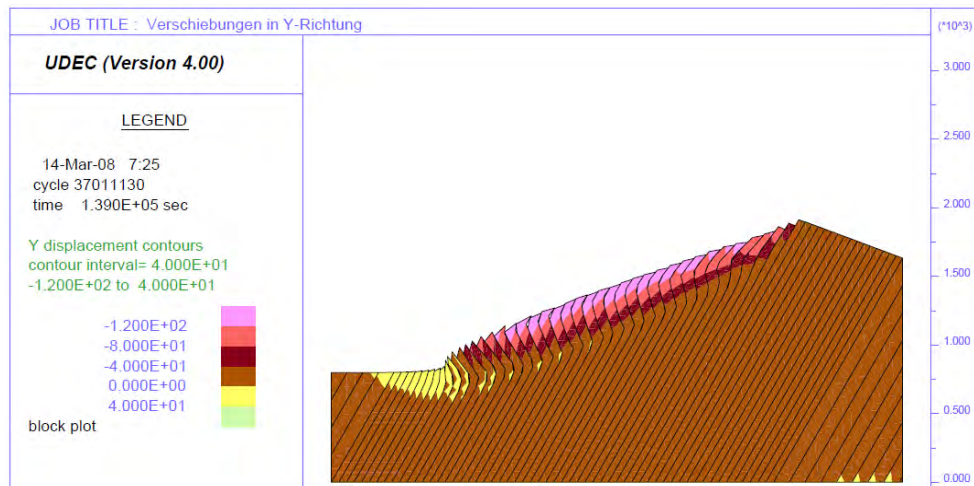


Abbildung 8.46: Dünne Lamellen, Vertikalverschiebungen in Meter (Modellrechnung hp60, 37 Mio. Berechnungsschritte)

### 8.5.7.3 Berechnung mit unregelmäßiger Dreieckszonierung

ITASCA (2004) empfiehlt für Modellrechnungen, bei denen große plastische Verformungen auftreten, die Diskretisierung der Blöcke mit diagonal gegenüberliegenden, regelmäßig angeordneten Dreieckszonen anstatt mit unregelmäßig angeordneten Dreieckszonen vorzunehmen. Unter Verwendung der gleichen Festigkeitsparameter ist bei der Zonierung mit den unregelmäßigen Dreieckszonen die S-förmige Struktur der Lamellen weniger gut ausgeprägt, die Rotation der Schieferung vermindert und das tiefere Scharnier der Knickfalte nicht so scharf (Abbildung 8.47b) wie bei der Zonierung mit regelmäßig angeordneten Dreieckszonen (Abbildung 8.47a). Zudem greift das Hangversagen im mittleren und oberen Teil der Massenbewegung tiefer (rot strichlierte Linie Abbildung 8.47a und b).

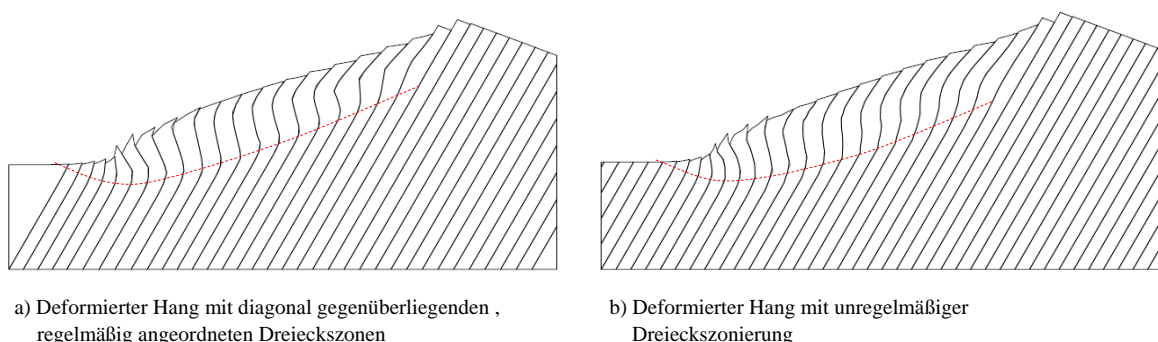


Abbildung 8.47: Vergleich der Ergebnisse (40 Mio. Berechnungsschritte) bei unterschiedlicher Zonierung der diskreten Blöcke (Lamellen):

- Modellrechnung hp 4 – diagonal gegenüberliegende, regelmäßige Dreieckszonen
- Modellrechnung hp 91 – unregelmäßige Dreieckszonierung  
Tiefgang der Bewegung rot strichliert eingezeichnet

#### 8.5.7.4 Berechnung mit unterschiedlichen Gesteinsfestigkeiten

Das Bunzkögele wird aus diversen Gesteinseinheiten, die unterschiedliche geotechnische Eigenschaften aufweisen, aufgebaut (s. Kap. 7). Das Auftreten der festen Kalkglimmerschiefer und Glimmermarmore der GDZ1 begrenzt die Massenbewegung nach Norden. Nördlich des Bunzkögeles versagt der Hang nicht mehr. Um den Versagensmechanismus in der Rechnung wie in der Natur nach Norden hin zu begrenzen, wurden zwei Bereiche mit unterschiedlichen Gebirgsfestigkeiten ins Modell eingegeben (Abbildung 8.48): ein gering fester Bereich (MZ und GDZ2) für die Südflanke und ein fester Bereich für die Nordseite des Bunzkögeles (GDZ1). Für den zweit genannten Abschnitt wurden die Festigkeiten für das Gestein und die Trennflächen ausreichend hoch gewählt, sodass dort kein Versagen mehr eintreten konnte (Tabelle 8.6 und Tabelle 8.7).

In Abbildung 8.49 enden die Abschiebungen, wie in der Natur auch, am Gipfel des Bunzkögeles und treten nördlich davon nicht mehr auf. In Modellrechnung kommt jedoch ein vertikaler Versatz der Gipfelabschiebung heraus, der fast doppelt so groß wie jener der Hauptabschiebung im Gelände. Er beträgt am Bunzkögele ca. 70 m, in der Modellrechnung sind es hingegen 120 m. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass die Zunahme der Gesteinsfestigkeit, wie sie in der Natur von der MZ im Süden zur GDZ2 im Norden festzustellen ist, im Modell nicht berücksichtigt wurde. Um zu einem realistischeren Ergebnis zu kommen, wären daher weitere Berechnungen mit abgestuften Gesteinsfestigkeiten innerhalb der Massenbewegung erforderlich. Andererseits kann der große Versatz im Gipfelbereich auch durch die Wahl einer schmäleren Lamellenbreite reduziert werden (s. Pkt. 8.5.7.2).

	$\rho_m$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_m$ [GPa]	$\nu_m$ [-]	$C_m$ [kPa]	$\phi_m$ [°]	$\sigma_{tm}$ [kPa]
MZ/GDZ2	2.700	6,25	0,25	200	20	10
GDZ1	2.700	6,25	0,25	1.000	40	50

Tabelle 8.6: Gesteinskennwerte

	$C_j$ [kPa]	$\phi_j$ [°]	$\sigma_{tj}$ [kPa]
MZ/GDZ2	0	8	0
GDZ1	0	35	0

Tabelle 8.7: Kennwerte für die Trennflächen (Schieferungsflächen)

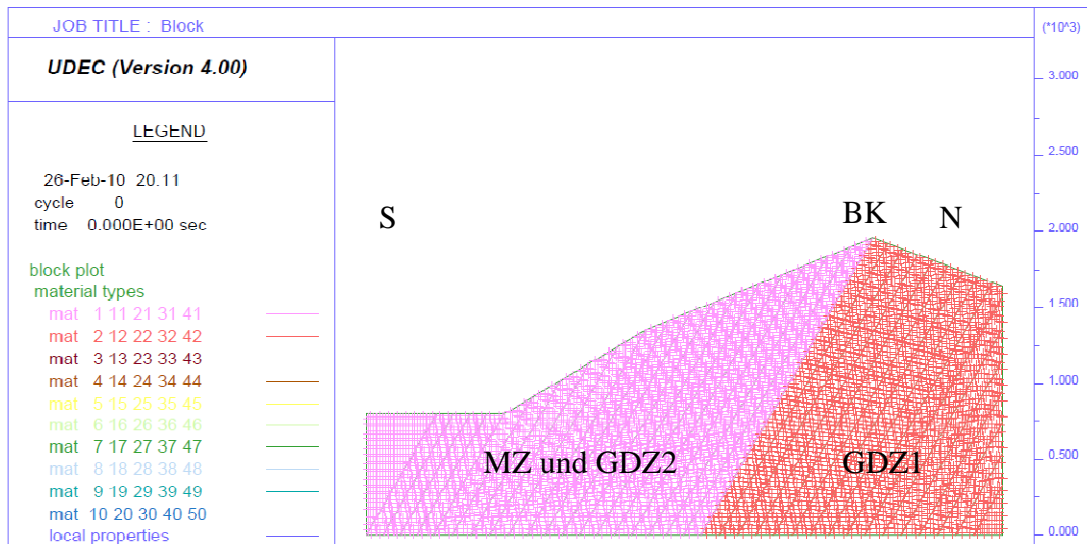


Abbildung 8.48: Modell mit zwei unterschiedlichen Gebirgsfestigkeiten; Modellrechnung hp 70  
 BK...Bunzkögele, MZ...Matreier Zone, GDZ 2...Glockner Decke Zone 2,  
 GDZ 1...Glockner Decke Zone 1

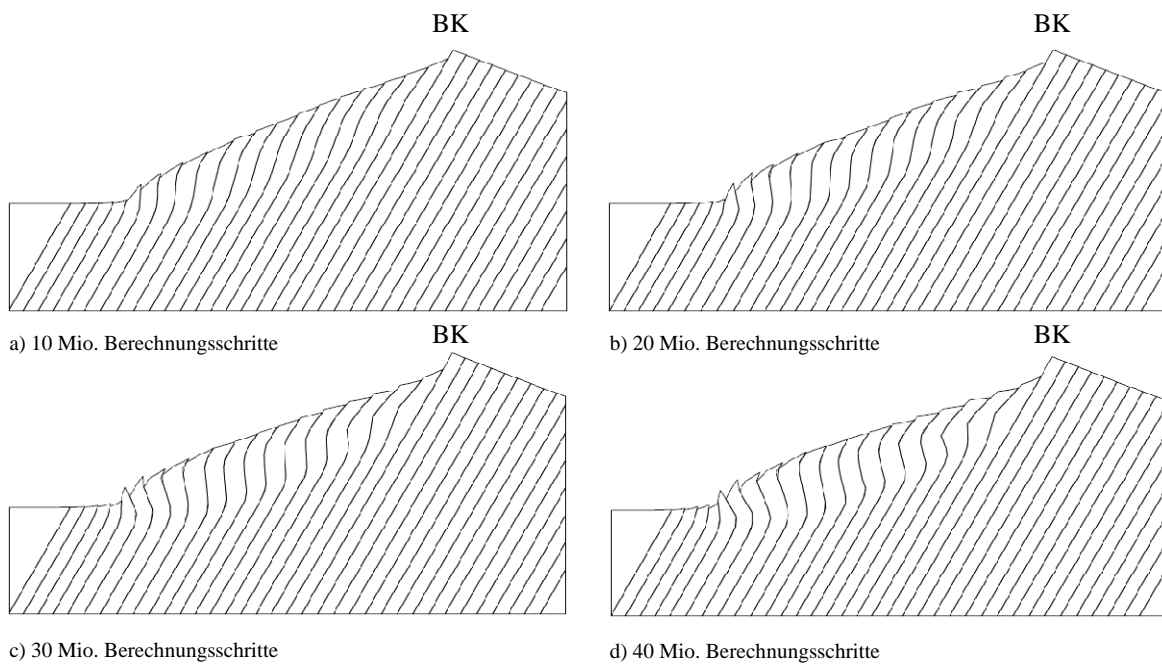


Abbildung 8.49: Versagensstadien für das in Abbildung 8.48 dargestellte UDEC-Modell  
 (Modellrechnung hp 70); BK...Bunzkögele

### 8.5.7.5 Berechnung mit dem Hoek-Brown Bruchkriterium

UDEC beinhaltet die Möglichkeit, das nicht lineare, auf Versuchsdaten basierende, Bruchkriterium von HOEK-BROWN (1980a) zu verwenden. Dabei wird die Bruchkurve von HOEK-BROWN (HB) durch eine Bruchgerade von MOHR-COULOMB (MC) angenähert (Abbildung 8.50). Die Anwendungen des HB-Kriteriums sind normalerweise auf ein Gebirge mit isotropen Eigenschaften und ein Versagen, das nicht maßgeblich durch Trennflächen gesteuert wird limitiert (WYLLIE & MAH 2004, MARINOS ET AL. 2005). D.h., das Kriterium wäre für die Modellierung des Versagensmechanismus Bunkögele eigentlich nicht zu verwenden. Jedoch ist es zulässig das Versagen des Gesteins mit dem HB-Kriterium und das Versagen der Trennflächen mit dem Coulomb-Slip-Kriterium zu modellieren. Damit sollte der Versuch unternommen werden, die in UDEC ermittelten Festigkeitsparameter für das Gestein (Reibungswinkel und Kohäsion) mit denen im Gelände erhobenen Festigkeitsparameter (GSI und UCS) indirekt zu vergleichen und eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen. Die aus den Geländeparametern GSI und UCS rückgerechneten MC-Parameter mit Hilfe des Programms RocLab sollten dann kleinere Werte ergeben, als jene, die in den numerischen Berechnungen für das Grenzgleichgewicht ermittelt wurden.

#### 8.5.7.5.1 Allgemeines

Das HB-Bruchkriterium lautet in Bezug auf die größte und kleinste Hauptspannung:<sup>1</sup>

$$\sigma_1 = \sigma_3 - \sqrt{-\sigma_3 \sigma_c m + \sigma_c^2 s} \quad (7.50)$$

$\sigma_c$  ist die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins (UCS); m und s sind gesteinspezifische Konstanten. Sie sind etwa dem Reibungswinkel und der Kohäsion gleichzusetzen.

---

<sup>1</sup> Es ist zu beachten, dass aufgrund der Konvention im UDEC Druckspannungen negativ sind, d.h.,  $\sigma_3$  bildet die größte Druckspannung,  $\sigma_1$  die kleinste.

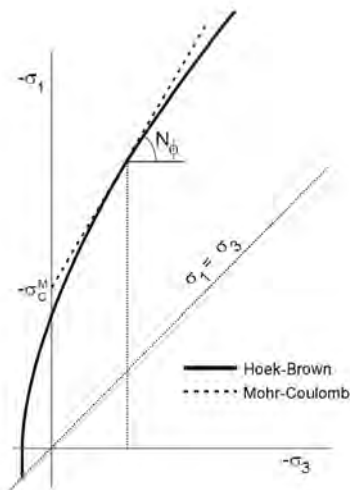


Abbildung 8.50: Lineare Annäherung des HB-Bruchkriteriums mit Hilfe einer MC-Bruchgerade nach ITASCA (2004)

Der Funktionswert  $\sigma_1$  des HB-Bruchkriteriums, der einem äquivalenten Wert des MC-Bruchkriteriums entspricht, lautet:

$$\sigma_1 = N_\phi \sigma_3 - \sigma_c^M \quad (7.51)$$

$\sigma_c^M$  bezeichnet die rekonstruierte einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins für einen Wert von  $\sigma_3$ , die sich aus der approximierten MC-Bruchgerade an die HB-Kurve ergibt. Sie entspricht dem Schnittpunkt der MC-Gerade mit der  $\sigma_1$ -Achse (Abbildung 8.50).

Zur Definition von  $N_\phi$  siehe Gleichung (7.29).

Die Tangente an die Funktion (Gleichung 7.50) lautet:

$$N_\phi(\sigma_3) = 1 + \frac{\sigma_c m}{2\sqrt{-\sigma_3 \sigma_c m + s \sigma_c^2}} \quad (7.52)$$

Die Kohäsion  $c$  und den Reibungswinkel  $\phi$  erhält man aus  $N_\phi$  und  $\sigma_c^M$ :

$$\phi = 2 \tan^{-1} \sqrt{N_\phi} - 90^\circ \quad (7.53)$$

$$c = \frac{\sigma_c^M}{2\sqrt{N_\phi}} \quad (7.54)$$



Die UDEC-Funktion *HOEK.FIS* berechnet den Wert von  $c$  und  $\phi$  für jede Zone und in wählbaren Berechnungsschritten ständig neu, d.h., die Kohäsion und der Reibungswinkel werden aufgrund des Spannungspotentials  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  ständig aktualisiert.

Die Ermittlung der gebirgsabhängigen Konstanten  $m$  und  $s$  für die Modellierung erfolgt mit den Formeln:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (7.55)$$

$m_b$ ...Konstante für das Gebirge

$m_i$  Konstante für das intakte Gestein

GSI...Geological Strength Index

D...Störungsfaktor (engl. *disturbance factor*)

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (7.56)$$

#### 8.5.7.5.2 Ermittlung der Festigkeitsparameter

Die Gebirgskonstanten  $m_b$  und  $s$  für das HB-Kriterium lassen sich mit dem Programm RocLab der Firma ROCSCIENCE (2010) berechnen. Dazu wurden die im Gelände erhobenen Kennwerte (s. Kap. 7) des GSI und der einaxialen Druckfestigkeit für die MZ in das Programm eingegeben. Die Konstante  $m_i$  für das intakte Gestein ergab sich aus einer Tabelle im RocLab. Der Wert  $m_i$  liegt für Phyllite bei 7. Das Programm berechnet gleichzeitig auch die äquivalenten Werte der Kohäsion und des Reibungswinkels für das MC-Kriterium (Abbildung 8.51). Der Vergleich der rückgerechneten MC-Parameter des Gesteins aus den Geländedaten mit denen der UDEC Modellrechnung hp 4, bei der der Hang versagt, zeigte eine gute Übereinstimmung des Reibungswinkels ( $\phi_m=20^\circ$ ), die Kohäsion hingegen mehr als doppelt so hoch (Tabelle 8.2). Setzt man den Wert von  $c_m=550$  kPa in die UDEC Rechnung ein bleibt das Hangversagen aus (s. Pkt. 7.5.6.1.2 und Tabelle 7.4).

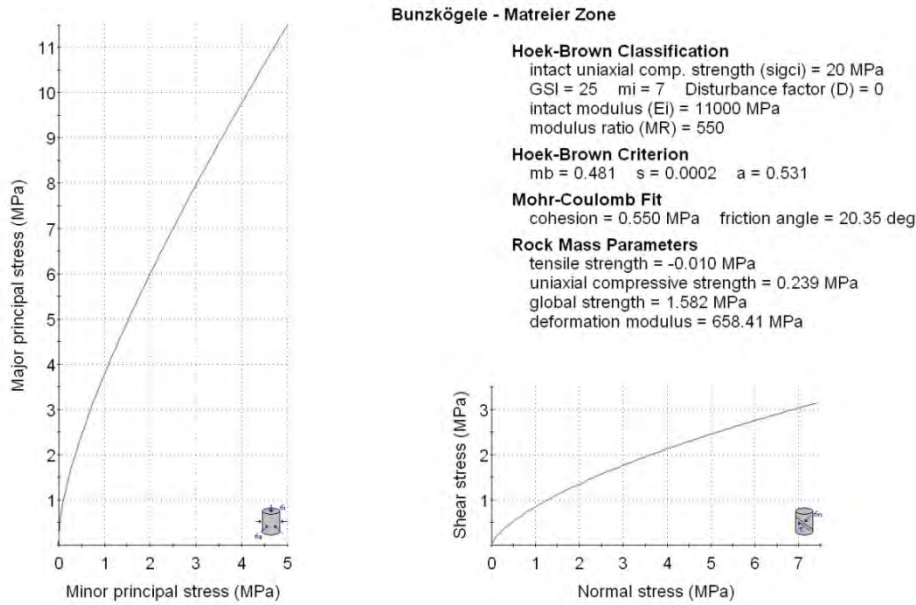


Abbildung 8.51: Kennwerte für das HB- und MC-Bruchkriterium, ermittelt aus der HB-Klassifikation für die MZ

8.5.7.5.3 Ergebnisse mit HB

Verwendet man die Werte der Abbildung 8.51 zur Modellierung des Hangversagens mit der HB-Applikation in UDEC, dann rotieren die Lamellen bergwärts; die S-förmige Struktur der Lamellen bildet sich nicht aus. Das Modell plastifiziert unnatürlich stark und das Hangversagen greift sehr tief (Abbildung 8.52).



Abbildung 8.52: Scher- und Zugversagen von Trennflächen und Gestein sowie Scherverschiebungen entlang der Trennflächen bei der Modellierung mit der Routine HOEK.FIS. (Modellrechnung hp06, 1 Mio. Berechnungsschritte)

### Mögliche Ursachen

Die Fish-Funktion HOEK.FIS in UDEC enthält das ältere HB-Bruchkriterium. Die neuere aktualisierte Formel von Hoek, das generalisierte HB-Kriterium (HOEK & MARINOS 2007), ist nicht im Programm implementiert. Unterschiede bestehen in der Hochzahl  $a$  (Wurzelfunktion), aber auch in der Approximation der „MC-Tangente“ an die HB-Kurve, die in der neueren Version mit einer Sekanten- anstatt einer Tangentenfunktion durchgeführt wird. Das HB-Kriterium wurde ursprünglich auf tiefliegende Tunneln ausgelegt. Bei Hängen ergeben sich aber aufgrund der vorherrschenden großen deviatorischen Spannungen Probleme. Die Werte der Kohäsion und des Reibungswinkels, die sich aus der konventionellen Annäherung der MC-Gerade an das HB-Kriterium ergeben, können für die Stabilitätsanalysen von Böschungen nicht herangezogen werden. Um bei Böschungsanalysen aus dem HB-Kriterium repräsentative MC-Werte zu erhalten, wird die Sekantennäherung durch einen Funktionswert von  $\sigma'_3$  festgelegt.  $\sigma'_3$  ergibt sich aus der Gebirgsfestigkeit und dem Spannungszustand an der Gleitfläche. Letzterer ist dann von der Hanghöhe (= Höhe der Überlagerung an der Gleitfläche) und dem spezifischen Gewicht abhängig (Details s. WYLLIE & MAH 2004).

Die beschriebene Vorgehensweise für Böschungen ist im Programm RocLab inkludiert. Für das Bunzkögele ergeben sich unter Verwendung der Programmapplikation „Böschung“ im RocLab ähnliche Werte, wie bei der Programmeinstellung „generell“ (Abbildung 8.53). Die Kohäsion ist aber wie zuvor deutlich zu hoch.

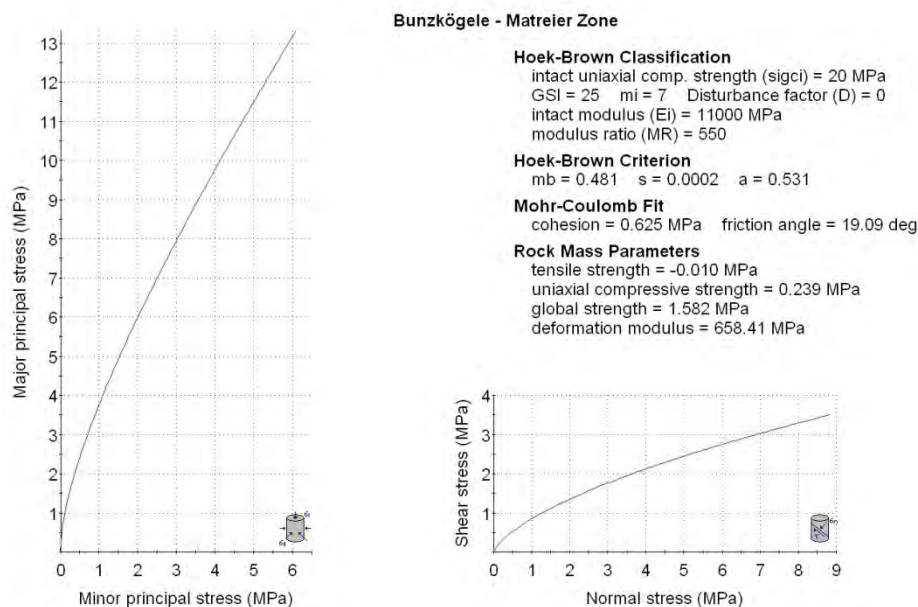


Abbildung 8.53: Ermittlung der MC-Festigkeitsparameter mit der Programmapplikation „Böschung“ (engl. *slope*) im RocLab

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

Die äquivalenten MC-Festigkeitsparameter, die aus dem GSI und der einaxialen Druckfestigkeit bei Anwendung der HB-Sekantenfunktion ermittelt wurden, ergeben nahezu den identen Reibungswinkel wie beim Grenzgleichgewicht des Hangversagens nach MC. Der Wert für die Kohäsion ist aber doppelt so hoch, als jener nach MC. Die Programmapplikation „Böschung“ im RocLab liefert ähnliche Werte. Eine Berechnung mit den aus dem GSI und der einaxialen Druckfestigkeit ermittelten Werten würde daher eine zu hohe Sicherheit vortäuschen (s. Pkt. 8.6).

Unter Verwendung der HB-Parameter aus dem RocLab versagt der Hang. Die in der Natur zu beobachtende Deformation bildet sich mit der in UDEC implementierten Applikation HOEK.FIS nicht aus. Der Hang plastifiziert unnatürlich tief und stark.

### 8.5.7.6 Berechnung mit basaler Gleitfläche

Zur Abgrenzung des beschriebenen Hangversagens gegenüber anderen Versagensmechanismen wurde das Modell um eine zusätzliche Trennfläche an der Basis ergänzt. Diese fällt  $8^\circ$  nach Süden ein, beißt am Hangfuß aus und reicht in ihrer Erstreckung bis unters Bunzkögele hinein (Abbildung 8.54a). Für die Trennfläche an der Basis wurden die gleichen Festigkeitsparameter angesetzt wie für die Schieferungsflächen der Modellrechnung hp 4 (Tabelle 8.3). Der Reibungswinkel  $\phi=8^\circ$  entspricht damit genau der Neigung der Basisfläche. Für das Gestein und die mit  $60^\circ$  nach Süden einfallenden Schieferungsflächen wurden die Werte der Tabelle 7.2 und Tabelle 7.3 verwendet. Es wurden verformbare Blöcke gewählt. Die Diskretisierung der Blöcke musste aus geometrischen Gründen mit Hilfe von dreieckigen Zonen durchgeführt werden.

Der sich einstellende Versagensmechanismus (Abbildung 8.54 bis Abbildung 8.58) wird in der Literatur als Blockrotationsrutschung (engl. *rock slumping*) bezeichnet und wurde von KIEFFER (1998, 2003) bzw. GOODMAN & KIEFFER (2000) eingehend beschrieben. Das Versagen beginnt am Oberhang mit dem Abschieben von Gesteinslamellen am hangparallel verlaufenden Trennflächenset. Gleichzeitig gleiten alle Körper an der Basisfläche ins freie Vorfeld. Zwischen den einzelnen Lamellen erfolgen Scherbewegungen. Der beschriebene Mechanismus setzt daher ein Überschreiten der Trennflächenfestigkeit zwischen den einzelnen Klufkörpern und an der Basiskluft voraus. Infolge des Gleitens an zwei Flächen rotieren die Klufkörper bergwärts. Bei einer geringen Gesteinsfestigkeit ist an der hintersten bewegten Lamelle (Knick der Gleitflächen) eine ausgeprägte Plastifizierung des Gesteins einhergehend mit starker Dilatanz zu beobachten (Abbildung 8.56). Der Versagensmechanismus wird bergseits durch die Länge der Basisgleitfläche begrenzt. Die daran anschließende Lamelle wird aber noch von plastischer Deformation erfasst und beult aus (Abbildung 8.54d, roter Pfeil). Durch das „weiche“ Gestein kommt es zu einer Schleppung der tiefst gelegenen Lamellen (Abbildung 8.54c, roter Pfeil). Im Gegensatz dazu weisen die nachfolgenden, talseitigen Lamellen kaum noch eine Plastifizierung auf. Der Bewegungsmechanismus ist hier vornehmlich durch ein Gleiten an der Basisfläche und durch ein Gleiten zwischen den Gesteinslamellen gekennzeichnet. Die Lamellen an der Stirn rotieren wie Dominosteine leicht bergwärts.

In der Natur bilden sich ähnlich wie bei den „Zusammengesetzten Rutschungen“ (engl. *compound slides*) häufig antithetische Brüche (CRUDEN & VARNES 1996, HUNGR & EVANS 2004, HUTCHINSON 1988 und 2004). Diese treten auch in der numerischen Modellierung zutage (Abbildung 8.56).

Für die Massenbewegung an der Westseite des Brunnerkogels könnte als Mechanismus ein Rock slumping zutreffen (s. Kapitel 11, Pkt. 10.3).

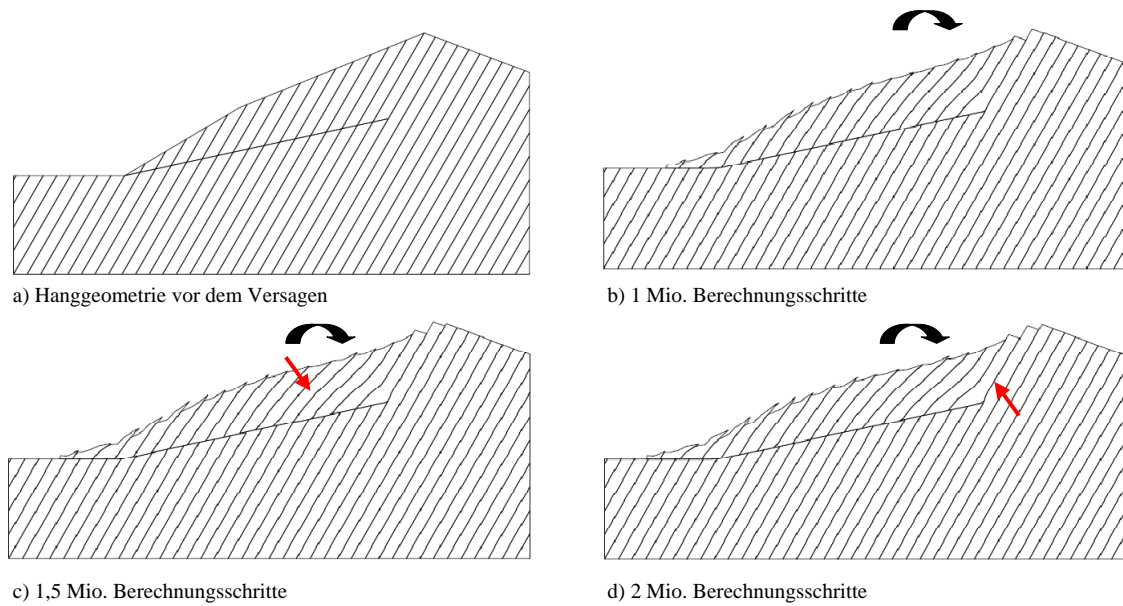


Abbildung 8.54: Rock slumping mit  $60^\circ$  nach Süden einfallenden Schieferungsflächen und  $8^\circ$  geneigter Trennfläche an der Basis (Modellrechnung hp 80)

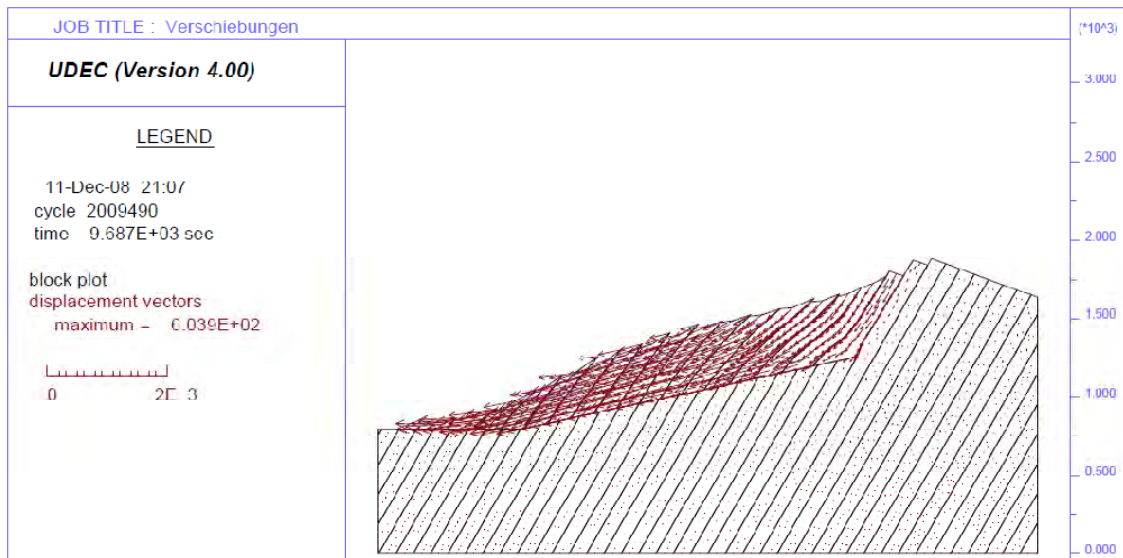


Abbildung 8.55: Rock slumping, Verschiebungsvektoren in Meter (Modellrechnung hp 80, 2 Mio Berechnungsschritte)



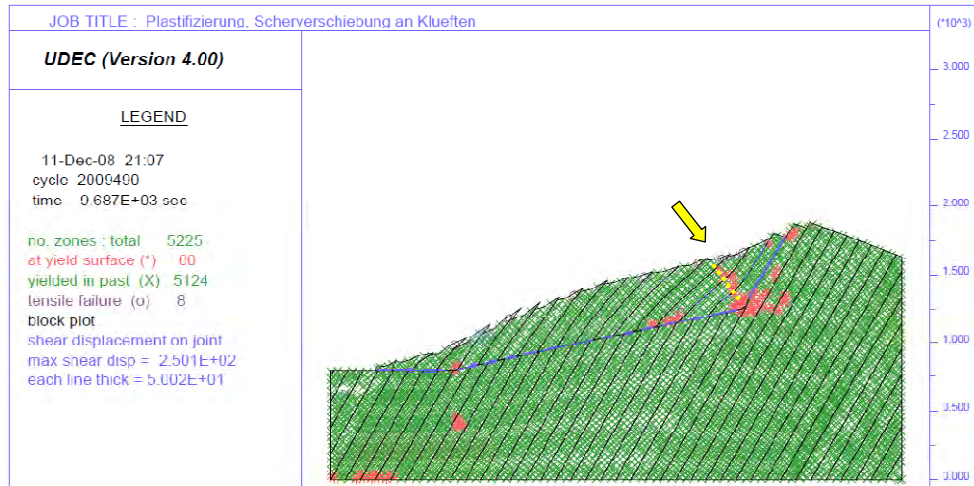


Abbildung 8.56: Rock slumping, Scher- und Zugversagen von Gestein und Trennflächen; Antitheter durch gelb punktierte Linie und Pfeil gekennzeichnet (Modellrechnung hp 80, 2 Mio Berechnungsschritte)

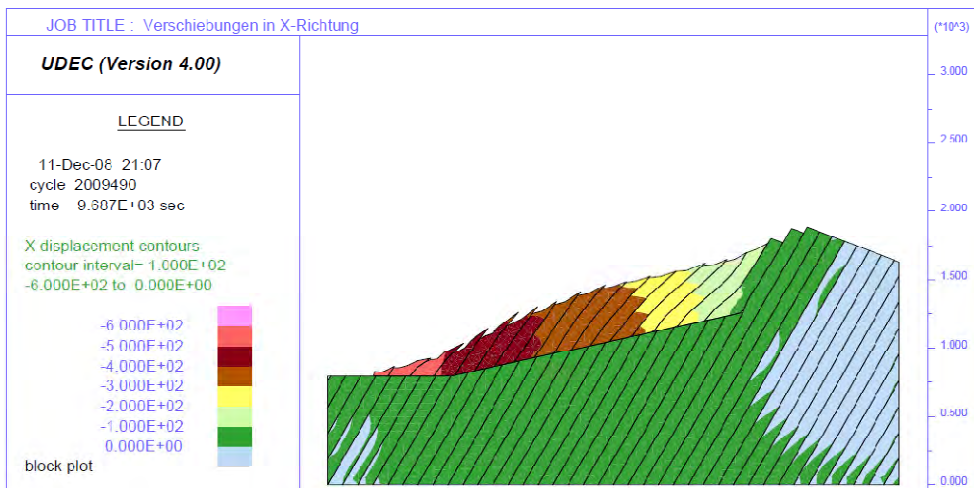


Abbildung 8.57: Rock slumping, Horizontalverschiebungen in Meter (Modellrechnung hp 80, 2 Mio Berechnungsschritte)

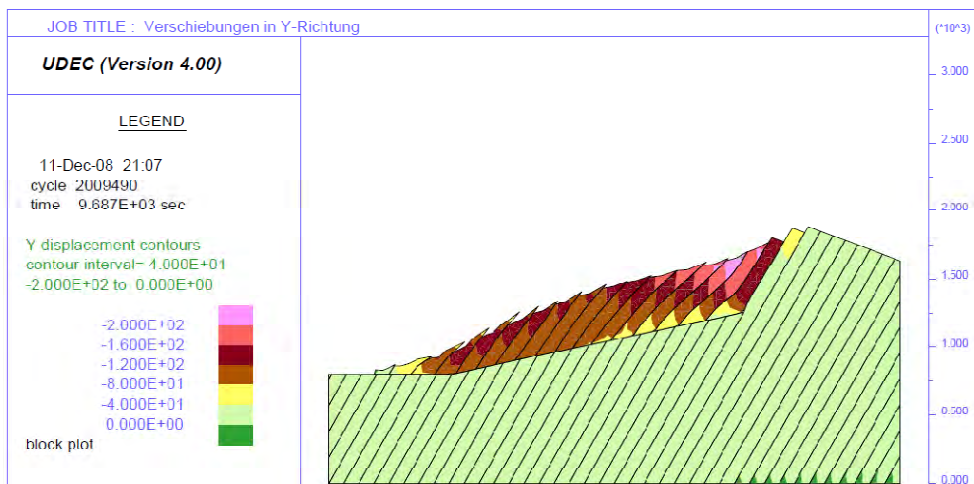


Abbildung 8.58: Rock slumping, Vertikalverschiebungen in Meter (Modellrechnung hp 80, 2 Mio Berechnungsschritte)

## **8.6 Vergleich der Festigkeitsparameter aus der UDEC Modellrechnung für das Grenzgleichgewicht mit den im Gelände erhobenen, geotechnischen Parametern (GSI und UCS)**

### **8.6.1 Allgemeines**

Um die im Gelände erhobenen, geotechnischen Parameter des Gesteins (GSI und UCS) mit denen aus den Berechnungen zu vergleichen, wurde die Böschungstabilität vereinfacht als ein Versagen entlang eines Gleitkreises mit dem Lamellenverfahren nach BISHOP 1955 untersucht. Dies ist insofern zulässig, als sich bei den Berechnungen mittels UDEC, welche die Knickbandsackung zeigen, durch das Scherversagen des Gesteins und an der obersten Trennfläche im Hang eine „gleitkreisförmige“ Scherzone ausbildet (Abbildung 8.20).

Die Vergleichsrechnungen wurden mit dem Gleitkreisprogramm CLARA-W (HUNGR 2001) durchgeführt. Dieses Programm beinhaltet die Möglichkeit sowohl mit dem Bruchkriterium MOHR-COULOMB als auch mit dem Bruchkriterium HOEK-BROWN zu rechnen. Die Stabilität der Böschung kann unter Anwendung des HB-Kriteriums mit den erhobenen Geländeparametern (GSI und UCS) untersucht werden. Mittels des Programms RocLab von ROCSCIENCE (2010) lassen sich mit Hilfe einer Sekantenfunktion auch die äquivalenten MC-Parameter aus der HB-Kurve berechnen. Ein Vergleich der Parameter aus den Rückrechnungen mit den im Gelände erhobenen Daten ist so möglich. Die Berechnungen wurden mit und ohne Berücksichtigung des Bergwassers (Berechnungen „wet“ und „dry“ Tabelle 8.8 und Tabelle 8.9) durchgeführt. Der Bergwasserspiegel wurde auf Basis eines heute kartierbaren Quellhorizonts am Bunzkögele rekonstruiert. Für die Gleitkreisberechnungen wurde die gleiche Geometrie verwendet wie für die Modellierung mit UDEC.

**8.6.2 Ergebnisse der unterschiedlichen Rechnungen**

Die Ergebnisse der Gleitkreisberechnung nach CLARA-W (MC und HB) und die der Berechnung mit UDEC (MC) für das Grenzgleichgewicht sind in der Tabelle 7.8 und Tabelle 8.9 zusammengestellt.

Programm	Nr.	Bruchkriterium	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]				c [kPa]	$\varphi$ [°]	SF	
CLARA-W Gleitkreisprogramm		<b>Mohr-Coulomb</b>								
	1	BK-MC-dry-01	2700				200	20	1,01	
	2	BK-MC-wet-01	2700				200	20	0,71	
	3	BK-MC-wet-02	2700				280	28	1,02	
			<b>Hoek-Brown</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	GSI	mi	UCS [kPa]	c [kPa]	$\varphi$ [°]	
	4	BK-HB-dry-07	2700	15	7	13000	260/210* (365)*	17/19* (15)*	1,01	
5	BK-HB-wet-05	2700	20	7	13000	310/310* (435)*	19/19* (16)*	1,01		
6	BK-HB-dry-01	2700	25	7	20000	550 (605)*	20 (19)*	1,78		
7	BK-HB-wet	2700	25	7	20000	550 (605)*	20 (19)*	1,50		

Tabelle 8.8: Ergebnisse der Berechnungen mit CLARA-W zum Hangversagen Bunkzögele  
 GSI...Geological Strength Index; UCS...Uniaxial Compressive Strength (einaxiale Druckfestigkeit);  $\rho$ ...Dichte; c...Kohäsion;  $\varphi$ ...Reibungswinkel; SF...Sicherheitsfaktor  
 \* Werte, die sich aus Verschiebung der Sekante entlang der HB-Kurve ergeben  
 \* Werte in Klammer ermittelt mit der Funktion „Slope“ im RocLab

Programm	Nr.	Bruchkriterium	Gestein			Trennflächen		
UDEC (FD-Programm)		<b>Mohr-Coulomb</b>	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	$\varphi$ [°]	c [kPa]	$\varphi$ [°]	SF
	8	hp4-dry	2700	200 (200) <sup>+</sup>	20	0	8	~ 1
	9	hp4-wet	2700	500 (300) <sup>+</sup>	20	0	8	~ 1

Tabelle 8.9: Ergebnisse der Modellierung des Hangversagens Bunkzögele mit UDEC  
 $\rho$ ...Dichte; c...Kohäsion;  $\varphi$ ...Reibungswinkel; SF...Sicherheitsfaktor  
 +...Werte für dünne Lamellen

### 8.6.3 Interpretation der Ergebnisse

#### 8.6.3.1 Vergleich CLARA-W mit UDEC

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Rückrechnungen mittels CLARA-W Gebirgsfestigkeiten ergeben, während die Modellierung mittels UDEC Festigkeiten für das intakte Gestein und für die Trennflächen liefert. Die Berechnungen mittels UDEC haben aber gezeigt, dass das Grenzgleichgewicht am Bunzkögele primär von der Gesteinsfestigkeit bestimmt wird. Die Trennflächenfestigkeit hingegen bestimmt vorwiegend den Mechanismus, d.h., ob eine „Knickbandsackung“ (geringe Trennflächenfestigkeit) oder ein „Hangkriechen“ (hohe Trennflächenfestigkeit) auftritt. Bei Einsatz der für das Grenzgleichgewicht mittels UDEC ermittelten niedrigen Gesteinsfestigkeit ( $c=200$  kPa und  $\varphi=20^\circ$ , Tabelle 8.9) und einer hohen Trennflächenfestigkeit (Modellrechnung hp 24b,  $\phi_j=30^\circ$  und  $c_j=Null$ , Abbildung 8.36 bzw. Modellrechnung hp 27,  $\phi_j=8^\circ$  und  $c_j=1$  Mpa, Abbildung 8.38) versagt der Hang durch „Hangkriechen“. Daher ist es zulässig, die ermittelte Gesteinsfestigkeit mittels UDEC einer Gebirgsfestigkeit gleich zu setzen. Tatsächlich lieferten die Gleitkreisberechnung ohne Bergwasserspiegel sowohl unter Verwendung des MC-Bruchkriteriums als auch des HB-Bruchkriteriums die gleichen bzw. annähernd gleiche Festigkeitsparameter für das Gestein ( $c=200$  kPa und  $\varphi=20^\circ$  Rechnung Nr. 1 mit MC, bzw. äquivalent  $c=210$  kPa und  $\varphi=19^\circ$  Rechnung Nr. 4 mit HB, Tabelle 8.8) wie die Berechnungen mittels UDEC ( $c=200$  kPa,  $\varphi=20^\circ$ , Rechnung Nr. 8, Tabelle 8.9). Die Berechnungen mittels CLARA-W lieferten allerdings nur dann gleiche MC-Werte, wenn die Sekante der HB-Kurve entsprechend verschoben wurde. Auch die Anwendung der im RocLab vorgesehenen Funktion „Slope“ erbrachte keine Übereinstimmung der Werte.

Während die Berechnungen mit den im Gelände ermittelten HB-Parametern für den Fall „kein Bergwasser“ das Grenzgleichgewicht lieferten, gab es mit Bergwasser nur eine Übereinstimmung, wenn die Berechnungen in UDEC mit den dünnen Lamellen durchgeführt wurden (CLARA-W Rechnung Nr.5, Tabelle 8.8 und UDEC Rechnung Nr.9, Tabelle 8.9). Mit den dicken Lamellen in UDEC unterscheidet sich bei annähernd gleichem Reibungswinkel ( $\varphi=20^\circ$ , UDEC-Rechnung Nr. 9, Tabelle 8.9 und äquivalent  $\varphi=19^\circ$  HB-Rechnung Nr. 5, Tabelle 8.8) die Kohäsion für das Grenzgleichgewicht von HB 310 kPa (Rechnung Nr. 5, Tabelle 8.8) und UDEC 500 kPa (Rechnung Nr. 9, Tabelle 8.9) deutlich. Die nach FELLENIUS (1948) rückgerechneten Werte für das Grenzgleichgewicht mit MC ( $c=280$  kPa und  $\varphi=28^\circ$ , Rechnung Nr. 3, Tabelle 8.8) sind unrealistisch hoch und fallen komplett aus dem Rahmen.

#### 8.6.3.2 Vergleich der Geländeparameter (GSI und UCS) mit den Berechnungsergebnissen

Der GSI-Wert 20 und die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins (UCS) mit 13 MPa (Rechnung Nr. 5 mit HB, Tabelle 8.8), die mit Bergwasser das Grenzgleichgewicht ergeben, stellen für das anstehende Gebirge sehr niedrige Werte dar. Diese gelten bestenfalls für die Matreier Zone (s. Kap. 7, Abbildung 7.1 und Tabelle 7.1), die den unteren Hang der Massenbewegung aufbaut, nicht jedoch für den mittleren und oberen Hang. Für die letzten beiden Abschnitte ergaben sich im Zuge der Geländeerhebungen deutlich höhere Festigkeiten. Der GSI beträgt hier im Mittel 25 und die einaxiale

Druckfestigkeit im Mittel 20 MPa (s. Kap. 7, Abbildung, 7.1 und Tabelle 7.2). Setzt man die genannten Werte in die Gleitkreisberechnung ein, dann ergibt sich eine Sicherheit mit Bergwasser von 1,5 (HB-Rechnung Nr. 7, Tabelle 8.8), d.h., das Hangversagen bleibt aus. Dies trifft auch für die UDEC Modellierung mit den dünnen Lamellen in einer gewissen Art und Weise zu. Es versagt nur der Unterhang, jedoch ohne dass sich eine Knickbandsackung ausbildet (s.a. Anlage D.1). Bei den UDEC Berechnungen mit Bergwasser und den dicken Lamellen hingegen führen die höheren Werte aus der HB-Rechnung (äquivalent  $c=550$  kPa und  $\varphi=20^\circ$  HB-Rechnung Nr. 7, Tabelle 8.8) zum Versagen der Böschung unter Ausbildung einer Knickbandsackung (UDEC-Rechnung Nr. 9, Tabelle 8.9). Die UDEC Modellierung mit Bergwasser für die dicken und dünnen Lamellen (Abbildung 8.60) ergeben jedoch ein Deformationsbild, welches mit der Natur nicht übereinstimmt. Daraus wird geschlossen, dass das Bergwasser keinen Einfluss auf das Hangversagen hatte bzw. dass die Phyllite vor den Verformungen durch die Hangbewegung dicht waren.

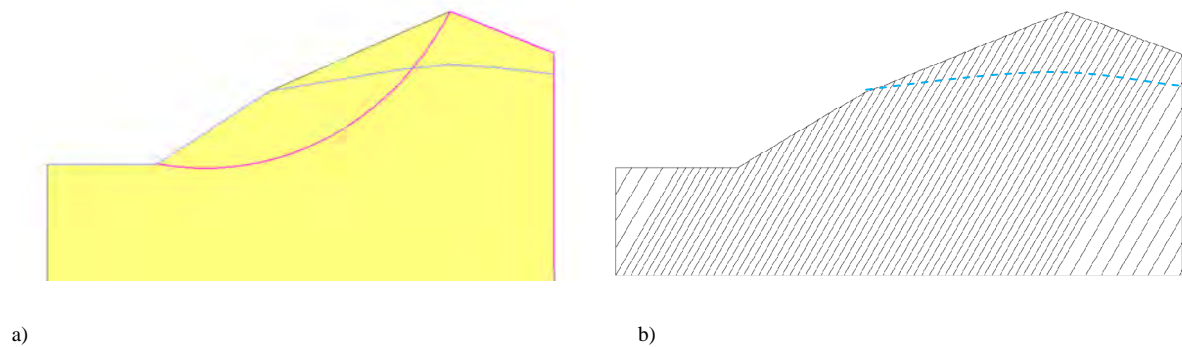


Abbildung 8.59: Modellgeometrie

- a) CLARA-W mit Gleitkreis und Bergwasserspiegel
- b) UDEC mit Bergwasserspiegel (Modellrechnung hp4g, bzw. Rechnung Nr. 9, Tabelle 8.9)

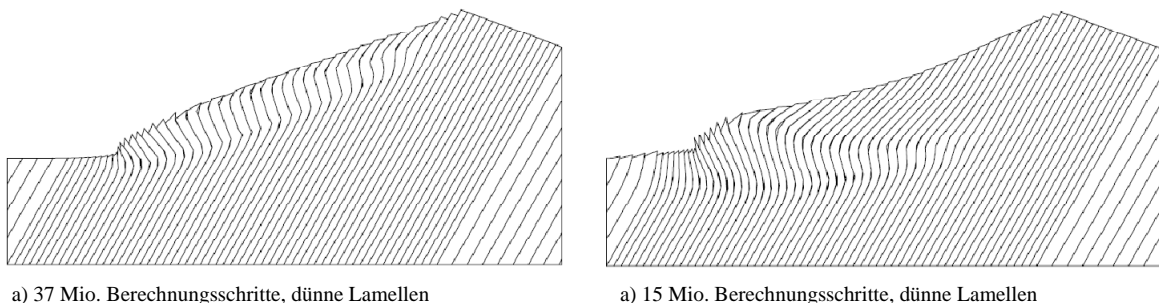


Abbildung 8.60: Vergleich der UDEC Modellierung mit einer Lamellendicke von 50 m

- a) ohne Bergwasser (Modellrechnung hp60)
- b) mit Bergwasser (Modellrechnung hp4g, bzw. Rechnung Nr. 9, Tabelle 8.9)

## 8.7 Zusammenfassende Interpretation der numerischen Ergebnisse

Die Hangdeformation des Bunzkögeles basiert auf einem komplexen Versagensmechanismus, welcher durch ein Scherversagen der Trennflächen und des Gesteins gekennzeichnet ist. Wichtige Voraussetzungen dafür sind neben der Orientierung und Steilheit der Trennflächen, welche beim Bunzkögele durch die geologisch vorgegebene Schieferung gebildet werden, geringe Gesteins- und Trennflächenfestigkeiten.

Das Scherversagen entlang der Schieferungsflächen im Oberhang führt zur Bildung von Geländestufen und im Inneren des Berges zur S-förmigen Deformation der Gesteinslamellen. Im Mittelabschnitt und an der Stirn der Massenbewegung rotieren die Lamellen vom aufrechten Südfallen in ein überkipptes Nordfallen. Dabei sind die Bewegungsvektoren am Gipfelhang des Bunzkögeles gemäß der Einfallsrichtung der Schieferungsflächen mit  $60^\circ$  nach Süden orientiert. Sie schwenken dann in der Tiefe, im Mittelteil und im Unterhang in eine flache, mehr oder weniger parallele Richtung zur Hangoberfläche ein.

Die Deformation erfolgt einerseits durch ein Gleiten entlang der Schieferungsflächen und andererseits durch das Brechen des intakten Gesteins innerhalb einer breiten Zone. Eine diskrete Gleitfläche an der Basis wird nicht ausgebildet. Die starke Dehnung der Gesteinslamellendicke in den numerischen Berechnungen weist auf die ausgeprägte Dilatanz hin. Mechanisch gesehen bildet die S-förmige, durch scharfe Knicke gekennzeichnete Struktur der Gesteinslamellen nichts anderes als eine großdimensionale Scherzone. Ausgehend von der nördlichsten Abschiebung nimmt sie nach Süden an Breite zu und weist hiedurch die Form eines Dreiecks auf. Die Scherzone bzw. Knickfalte ist also das Resultat steil abgeschobener, „abgesackter“ Gesteinslamellen am Kopf der Massenbewegung. Die Stirn des Hanges hingegen wird von einem Biegekippen erfasst.

Einen wesentlichen Einfluss auf den beschriebenen Versagensmechanismus hat die Kohäsion von Gestein und Trennflächen: Wird die Kohäsion des Gesteins ausgehend vom Grenzgleichgewicht stark herabgesetzt ( $\leq 50$  kPa) tritt als Versagen nur noch ein Biegekippen auf. Die Bildung einer Knickfalte / breiten Scherzone bleibt aus. Anders verhält es sich mit der Kohäsion bei den Trennflächen. Wird diese erhöht, nehmen die Scherverschiebungen an den Flächen ab. Bei einem großen Wert der Kohäsion nehmen die Verschiebungen entlang der Schieferungsflächen sehr kleine Werte an und das Hangversagen wird fast ausschließlich von der geringen Gesteinsfestigkeit bestimmt. Der Versagensmechanismus ist dann ein Hangkriechen. Gleiche Resultate stellen sich auch bei großen Kluftraugigkeiten ein.

Die Berechnungen haben gezeigt, dass die Bestimmung von Gesteins- und Gebirgsparametern im Gelände bei dem in dieser Arbeit untersuchten Versagensmechanismus weitgehend Parameter erbringt, die zu einer Überschätzung der Standsicherheit führen. Nur eine entsprechende Wahl der Parameter in einer Rückrechnung führt zum Grenzgleichgewicht, d.h. zum Versagen des Hanges wie in der Natur und zu einem Verformungsbild, das mit der Natur übereinstimmt.



## 9 Mechanische Interpretation der Großhangbewegung Bunzkögele

### 9.1 Forschungsstand

Eine erste geologische Aufnahme des Bretterwandgrabens, ausgerichtet auf wildbachtechnische Fragestellungen, geht auf STINI (1950) zurück. Es ist anzunehmen, dass bereits STINI, spätestens jedoch CLAR, der durch seine kartierende Tätigkeit in den hohen Tauern auch im Gebiet von Matriei unterwegs war (CORNELIUS & CLAR 1939), die Absetzungen im Gipfelbereich des Bunzkögeles als Formen einer Hangbewegung erkannte. 1960 wurde ZISCHINSKY von Professor CLAR mit der Untersuchung mehrerer großer Massenbewegungen in kristallinen Schiefen im Ostalpenraum betraut. Er sollte aus dem Deformationsbild die Mechanik von Großhangbewegungen ableiten, und wenn möglich, eine allgemein gültige Typisierung durchführen. Die Methodik, der sich ZISCHINSKY bediente, ist die Anwendung der von SANDER und CLAR gelehrt Gefügekunde. Sie bestand einerseits in der Kartierung der Verformung an der Geländeoberfläche, d.h. in der Geomorphologie, und andererseits in der Analyse der durch die Hangtektonik verstellten primären, regionalen Gefüge, wie beispielsweise der Schieferung. Eine besondere Lokalität stellte dabei das Bunzkögele, nordöstlich der Gemeinde Matriei in Osttirol, dar. Neben den durch die Hangtektonik geschaffenen Strukturen an der Oberfläche ist hier im tief erodierten Bretterwandgraben auch die Interdeformation der Massenbewegung aufgeschlossen.

ZISCHINSKY (1966a) erkannte bei seiner Geländearbeit zwei wesentliche Dinge:

1. die Hangleisten im Gipfelbereich des Bunzkögeles stellen Ausstriche von Bewegungsbahnen dar und
2. es existiert keine diskrete Gleitfläche an der Basis der Hangbewegung.

Abbildung 9.1 zeigt ZISCHINSKYs (1966b) mechanische Interpretation der Massenbewegung, dargestellt in einem Nord-Süd verlaufenden Profil vom Gipfel Bunzkögele über den Falkenstein zum Bretterwandbach.

Aus der Aufnahme und anschließenden Projektion der Schieferungsflächen in die Profilebene rekonstruierte er für den Hang Linien der Deformation, die im oberen Teil durch einen S-förmigen Verlauf gekennzeichnet sind. Das Fehlen einer diskreten Gleitfläche an der Basis veranlasste ihn, für die den Hang aufbauende, geringfeste Gesteinsserie eine quasi bruchlose Verformung, ähnlich einer „zähen realen Flüssigkeit“ (ZISCHINSKY 1969a), anzunehmen.

Unter der Annahme einer zeitlich konstanten, den ganzen Hang einheitlich erfassenden Verformung stellen die Verschiebungen Geschwindigkeiten dar. Der Verlauf der Geschwindigkeit ist in einem Profil in der Abbildung 9.1-rechts dargestellt. Darin ist die Geschwindigkeit, ausgehend von der Geländeoberfläche bis etwa zur Mitte der bewegten Masse, gleich groß und nimmt dann bis zur Basis auf Null ab. ZISCHINSKY (1966a) bezeichnete Massenbewegungen mit diesem Verschiebungsprofil/Geschwindigkeitsprofil als „Sackungen“. Nachdem viele instabile Talflanken eine konkav-konvexe Profilform

aufweisen, kam er zur Überzeugung, dass die meisten davon durch eine fließende Verformung des Gebirges gekennzeichnet sind, d.h. Sackungen darstellen.

Im Gegensatz dazu sah er den Mechanismus der „Gleitungen“, die eine diskrete Scherzone an der Basis aufweisen und bei denen die Geschwindigkeiten von der Oberfläche bis zur Basis in Richtung und Größe annähernd gleich sind.

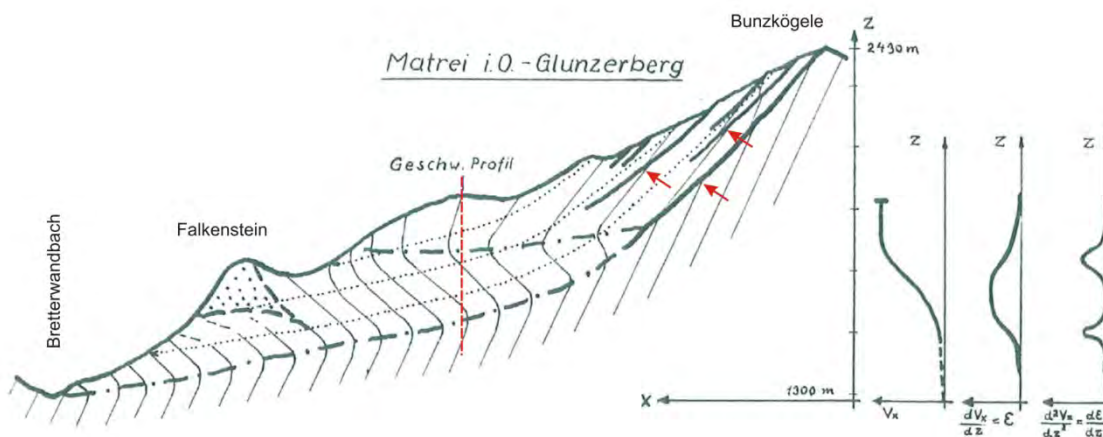


Abbildung 9.1: Mechanische Interpretation der Großhangbewegung Bunzkögele, nach ZISCHINSKY (1966b), ergänzt (Erklärung im Text)  
 $v_x$ ...Geschwindigkeit in x-Richtung;  $\epsilon$ ...Geschwindigkeit der Verzerrung;  
 $\frac{d\epsilon}{dz}$ ...Änderung der Geschwindigkeit der Verzerrung

ZISCHINSKYs große Errungenschaft bestand darin, dass er für tiefgreifende, langsame Hangbewegungen über die Beobachtung des durch die Massenbewegung verstellten regionaltektonischen Gefüges (Schieferungsflächen) ein mechanisches Modell ableitete.

## 9.2 Interpretation der Mechanik

Der folgende Abschnitt enthält die mechanische Neuinterpretation der Großhangbewegung Bunzkögele aufbauend auf ZISCHINSKYs Arbeit unter Einbeziehung der eigenen Geländeaufnahmen (Kap. 6 und Kap. 7, Anlage A, B, C und E) und der numerischen Modellierung des Hangversagens (Kap. 8). Auf die Unterschiede zu ZISCHINSKYs Arbeit wird am Schluss des Kapitels eingegangen.

### 9.2.1 Kinematik

#### 9.2.1.1 Zur Kinematik der Hauptbewegung

Um die Kinematik des Hangversagens zu erklären, ist es vorteilhaft, sich den nicht deformierten Paläohang, wie er in Abbildung 9.2 dargestellt ist und wie er möglicherweise nach der letzten Eiszeit ausgesehen haben mag, anzusehen. Dabei fallen die Schieferungsflächen, dem regionalen tektonischen Bau entsprechend, nach Süden ein. Sie

unterteilen den Hang in ein Set von Gesteinslamellen. Die einstige Geländeoberfläche ergibt sich annäherungsweise durch die Rückführung der Deformation<sup>1</sup>.

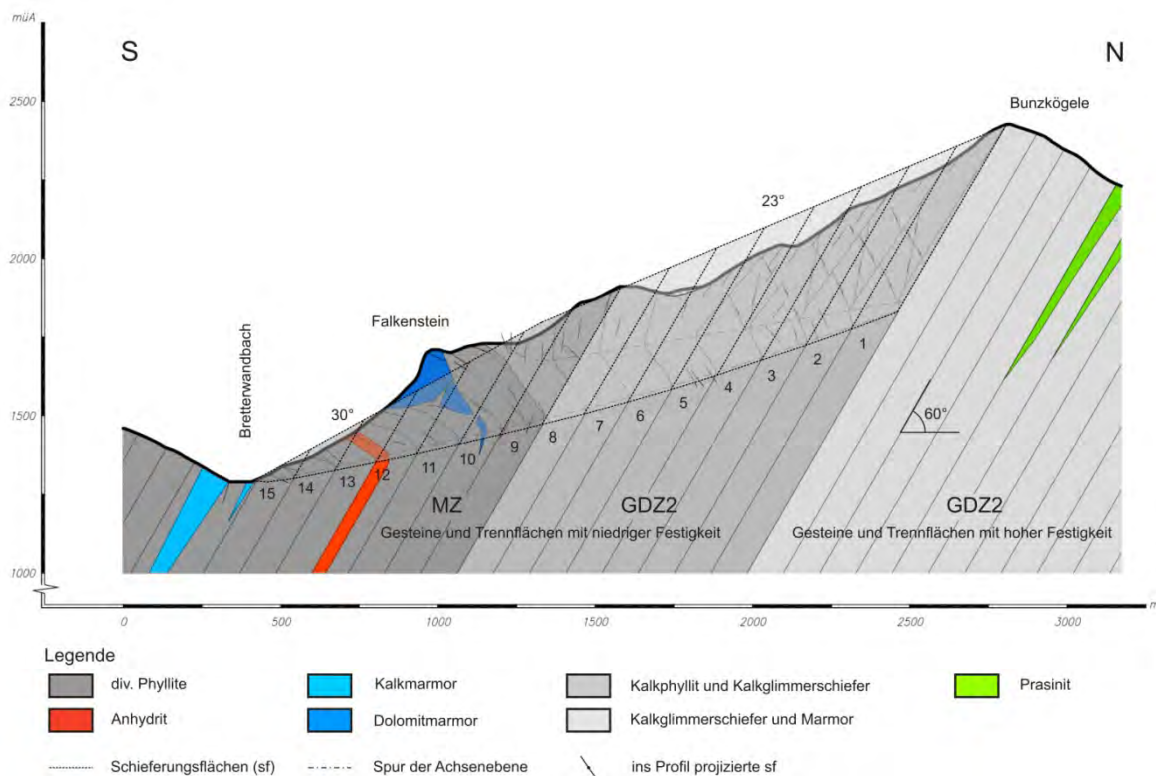


Abbildung 9.2: Deformierter und undeformierter Hang (transparent darüber gelegt); Gesteinslamellenraster idealisiert angenommen, Lamellendicke 100 m; Nr. 1-15 Lamellen der Massenbewegung; MZ...Matreier Zone, GDZ2...Glockner Decke Zone 2, GDZ1...Glockner Decke Zone 1

Nach dem Abschmelzen der großen Eismassen der letzten Eiszeit beginnt der Versagensmechanismus an der vorgegebenen Schieferung. Durch die Überschreitung der Festigkeit in den Flächen werden Gesteinspakete im Oberhang abgeschoben, und es bilden sich die deutlich sichtbaren, bis zu 70 m hohen Geländestufen. Die Richtung des Bewegungsvektors entspricht zu Beginn der Einfallrichtung der Schieferungsflächen, i.e. mehr oder weniger  $180^\circ/60^\circ$ .

Die Abschiebungen am Gipfelhang des Bunzkögeles haben im Inneren des Berges eine S-förmige Deformation der Gesteinslamellen zur Folge. Durch die Bildung des „S“, i.e. der Knickfalte, rotieren die ursprünglich steilen, mit  $60^\circ$  nach Süden zeigenden Bewegungsvektoren in eine flache, ebenfalls südwärts einfallende Richtung mit ca.  $14^\circ$  (s. dazu a. Kap. 8, Abbildung 8.23). Genau betrachtet, dreht der Bewegungsvektor parallel zur Neigung der Achsenflächen der Knickfalte (entspricht den Spuren der Achsenfläche in

<sup>1</sup> Die Rückabwicklung des Profils kann nur annäherungsweise erfolgen, weil erstens die deformierten Gesteinslamellen durch die Hangtektonik intern gefaltet und damit entsprechend verkürzt wurden, und zweitens an der Stirn der Hangbewegung durch sekundäre Massenbewegungen Masse entfernt wurde (s. Kap. 6, Pkt. 6.3.8.5). In beiden Fällen lässt sich das Maß der Verkürzung heute nur noch annäherungsweise feststellen.

Abbildung 9.3). Dies hat große Horizontalverschiebungen im Bereich der S-förmigen Verbiegung der Gesteinslamellen zur Folge.

Ausgehend von der tiefst gelegenen Abschiebung am Bunzkögele (Gipfelabschiebung, Nr. 1, Kap. 6, Abbildung 6.6), nimmt mit jeder weiteren Abschiebung nach Süden der Absolutbetrag der Horizontalverschiebungen zu (s. Kap. 8, Abbildung 8.21). Die hinterste deformierte Gesteinslamelle weist daher die kleinste Rotation Richtung Tal auf (Lamelle Nr. 1, Abbildung 9.3). Nach Süden nimmt der Winkel der Rotation für jede weitere Lamelle sukzessive zu (Lamellen Nr. 2 bis 5, Abbildung 9.3). Der maximale, im Gelände feststellbare Rotationswinkel kann aus dem Einfallen der Schieferung (sf  $5^\circ/55^\circ$ ) im Bereich der Knickfalte abgeleitet werden und beträgt  $65^\circ$ . Gleichzeitig mit der Rotation der Lamellen innerhalb des Knicks drehen die südeinfallenden Gesteinslamellen des aufrechten Schenkels bergwärts. Die Rotation ist jedoch schwächer als jene innerhalb des Knicks. Sie beträgt bis zu  $15^\circ$  (sf  $198^\circ/45^\circ$ ; Abbildung 9.3, s.a. Kap. 8, Abbildung 8.26).

Die Zunahme der Horizontalverschiebung Richtung Süden hat zur Folge, dass die Knickfalte keine konstante Breite aufweist, sondern von Norden nach Süden in Form eines Dreiecks breiter wird. Das führt dazu, dass im Mittelteil des Hanges die Gesteinslamellen an der Oberfläche vom aufrechten Südfallen bei der Trogalm in ein überkipptes Nordfallen beim Falkenstein rotieren (Lamellen 5 bis 8, Abbildung 9.3). Die Schieferungsflächen fächern quasi auf. Dieser oberflächennahe Abschnitt ist daher durch eine ausgeprägte Extension, wie die häufigen Nackentäler zeigen, gekennzeichnet.

Beim Falkenstein verschwindet die S-förmige Struktur der Lamellen. Alle Schieferungsflächen sind ab hier überkippt und fallen im Mittel  $22^\circ$  nach Nordnordost ein (Anlage B.2, Gefügediagramm Nr. 7). Unter Zugrundelegung des ursprünglichen,  $60^\circ$  Südeinfallens ergibt sich für die Stirn ein südwärts gerichteter Rotationswinkel von etwa  $100^\circ$  (Lamellen 9 bis 15, Abbildung 9.3). Wie im Oberhang sind auch im Unterhang zu Beginn der Bewegungen die Vektoren steil, gemäß dem Einfallen der Schieferung, nach Süden gerichtet. Durch die Kippbewegung drehen sie in eine flache hangparallele Position. Am Schluss weisen nur noch die oberflächennahen Vektoren an den hintersten Abschiebungen ein steiles Einfallen auf (Kap. 8, Abbildung 8.23).

In der Abbildung 9.4 sind die absoluten Beträge der Verschiebung, die sich aus den numerischen Berechnungen ergaben, an vier Profilen für den oberen Teil und die Stirn der Massenbewegung dargestellt. Unter der Annahme, dass die Deformation des Hanges stationär abgelaufen ist können die Verschiebungen den Geschwindigkeiten gleichgesetzt werden. Im Bereich der Knickfaltung weisen die Verschiebungen von der Geländeoberfläche bis zum Knick (Faltenachsebene) mehr oder weniger den gleichen Betrag auf und nehmen dann bis zur Basis der Hangbewegung auf Null ab. Dieses Bild entspricht der Interpretation von ZISCHINSKY (1966b). An der Stirn nehmen die Verschiebungen von der Geländeoberfläche bis zur Basis der Hangbewegung etwa gleichmäßig auf Null ab. Der andere Verlauf ergibt sich, da eine S-förmige Struktur der Lamellen wie im Oberhang fehlt. Er entspricht dem Geschwindigkeitsprofil für ein klassisches Biegekippen.

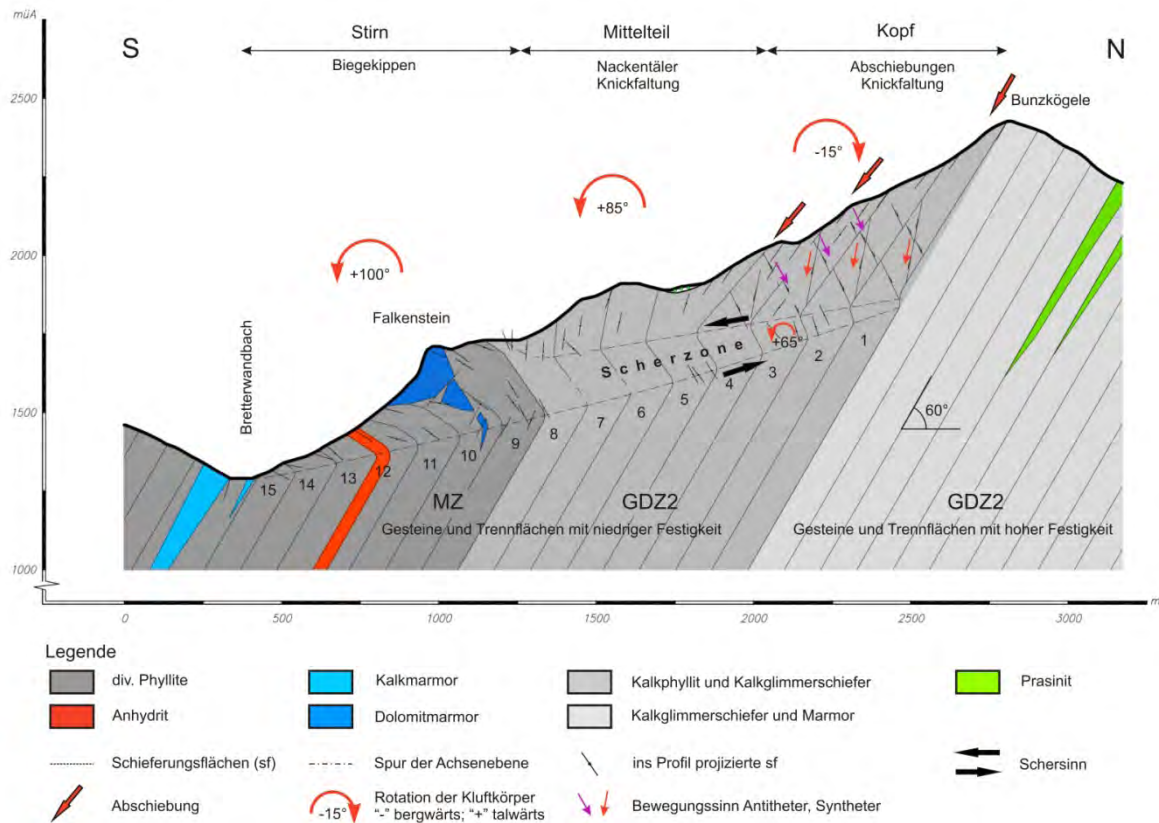


Abbildung 9.3: Längsprofil der Massenbewegung mit kinematischer Interpretation  
 MZ...Matreier Zone, GDZ2...Glockner Decke Zone 2,  
 GDZ1...Glockner Decke Zone 1

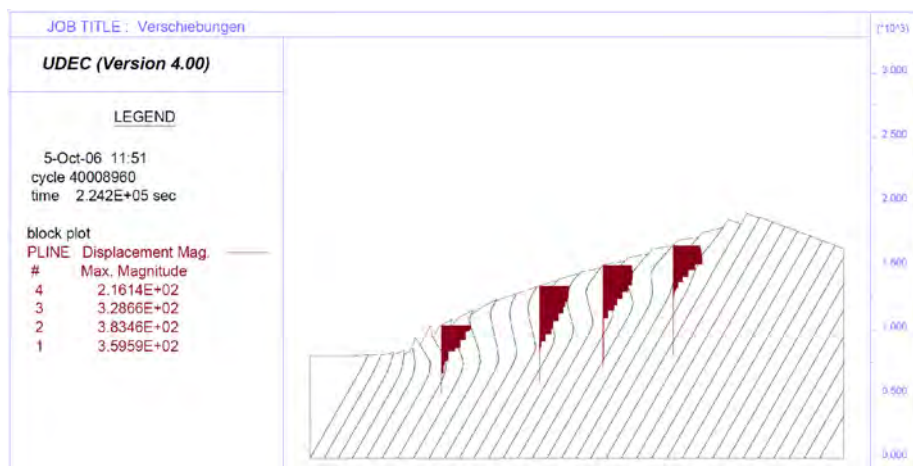


Abbildung 9.4: Verschiebungen (in Meter) respektive Geschwindigkeiten in vier verschiedenen Profilen (Modellrechnung hp 4, 40. Mio. Berechnungsschritte)

Die Bewegung des Westsporns wird analog zur Hauptbewegung durch Abschiebungen entlang der Schieferung eingeleitet. Die Verschiebungsvektoren an der Oberfläche sind etwa 60° nach Süden gerichtet. Der aus den Geländestufen ableitbare schräge Versatz beträgt max. 6 Meter. Die S-förmige Deformation der lamellenartigen Kluftkörper ist

dementsprechend schwach ausgebildet. Die Massenbewegung des Westsporns greift daher im Oberhang nicht so tief wie die Hauptbewegung: 150 Meter versus 370°Meter (Profil 3-3' und Profil 1-1', Anlage E.5). Ähnlich wie bei der Hauptbewegung ist bei den Lamellen des Oberhangs eine leichte, bergwärts gerichtete Rotation feststellbar. Daran anschließend drehen die Schieferungsflächen innerhalb eines Streifens von nur 60 Metern Breite, vom aufrechten Südfallen in ein überkipptes Nordfallen. Das Ausmaß der talwärts gerichteten Rotation der Kluftkörper beträgt 90° bis 100°. Der Bereich ist durch ausgeprägte Dehnung gekennzeichnet. Sichtbare Zeichen dafür bilden Nackentäler. Südlich davon setzt sich die überkippte Lagerung der Gesteinspakete fort. Der gesamte Abschnitt, von der Extensionszone bis zum Bretterwandbach, wird von einem Biegekippen erfasst.

### **9.2.1.2 Zur Kinematik der Ränder der Großhangbewegung**

Zum Verständnis des räumlichen Versagens der Großhangbewegung spielt die Kinematik der Ränder eine entscheidende Rolle. Die seitliche Begrenzung des Bunzkögeles durch den Bretterwandgraben im Osten und durch das Tauerntal im Westen vermittelt den Eindruck, dass die Großhangbewegung an den beiden genannten morphologischen Tiefenlinien endet. Tatsächlich trifft dies aber nur für den Bretterwandgraben im Osten zu. Im Westen, zum Tauerntal hin, verläuft das Ende der Massenbewegung mitten im Hang (Anlage E.1 und E.2).

An den seitlichen Rändern der Massenbewegung gibt es keine Hinweise dafür, dass diese vorgezeichneten, präexistenten Störungen folgen würden<sup>1</sup>. Im Gegenteil, die Begrenzungsflächen sind im Aufschluss oft ausgefranst und scheinen keinem vorgegebenen Trennflächensystem zu folgen (s. Kap. 6, Pkt. 6.3.5). Nur vereinzelt sind tektonisch vorgegebene Klufflächen anzutreffen (Anlage A.2: FTS-11, HBWG-02). Daraus folgt, dass sich zwischen bewegten und unbewegten Bereichen eine neue, steilstehende Störung durch die Hangbewegungen entwickeln musste.

Für die Kinematik der Ränder ist von Bedeutung, dass die Großhangbewegung aus zwei Teilen besteht (s. Kap. 6, Pkt. 6.3.5), aus einer Hauptbewegung, die den zentralen und größten Teil des Bunzkögeles einnimmt, sowie der Bewegung des Westsporns, die kleiner und schmaler ist.

#### **9.2.1.2.1 Westende der Hangbewegung**

Aufgrund des großen Unterschiedes in den Verschiebungsbeträgen, die bei der Hauptbewegung deutlich größere Werte annehmen als bei der Bewegung des Westsporns, entwickelte sich zwischen den beiden Teilen eine bedeutende Störung. Die Störung selbst ist nicht aufgeschlossen. Aus kinematischen Überlegungen (steil nach Süden gerichtete Bewegungsvektoren der Hauptbewegung im Oberhang) ist eine steilstehende, dextrale Blattverschiebung mit schrägabschiebender Komponente anzunehmen. Wie in Kap. 6, Pkt. 6.3.6 beschrieben, lassen sich die Zerrstrukturen des oberen Randbereichs auf diese Blattverschiebung zurückführen. An der Stirn des Hanges hingegen, wo beide Teilbewegungen ein Biegekippen mit annähernd gleichem Tiefgang aufweisen, nimmt die Bedeutung der Störung ab. Der Unterschied der Verschiebungen zueinander wird kleiner.

<sup>1</sup> Diese Beobachtung deckt sich mit der tektonischen Karte der Geologische Bundesanstalt (PESTAL ET AL. 2009), in welcher die Störung des Iseltals bei Matrei endet und nicht weiter nach Norden ins Tauerntal gezeichnet wurde (s. Kap. 4, Abbildung 4.2).



Aus den gleichen Überlegungen wie am Westende der Hauptbewegung ist auch am äußersten Westrand der Großhangbewegung (Bewegung Westsporn), zwischen bewegten und nicht bewegten Arealen eine Störung anzunehmen. Diese stellt ebenso eine dextrale Blattverschiebung mit schrägabschiebender Komponente dar (s. Strukturgeologische Karte, Anlage E.2).

Da die Beträge der Abschiebung im Oberhang des Westsporns (Gebiet Lackner Alm – Rånz'n) nicht besonders groß sind, ist dort die Blattverschiebung vorerst noch unbedeutend. Erst im Süden, wo die Beträge der Verschiebungen zunehmen, nimmt auch die Bedeutung der Randstörung zu (s. Anlage A.2, HB-04).

Beiderseits der genannten Blattverschiebungen sind die Schieferungsflächen deutlich geschleppt. Aufgrund der geringen Breite der Bewegung Westsporn kam es hiedurch zur hangtektonischen Bildung einer offenen Mulde (s. Strukturgeologische Karte, Anlage E.2).

Die Komponenten der Horizontal- und Vertikalverschiebung entlang der Blattverschiebung sind keine konstanten Größen, sondern ändern sich in gleicher Art und Weise wie die Verschiebungsvektoren der Massenbewegung bzw. Teilbewegungen (Kap. 8, Abbildung 8.23). Im Oberhang, im Bereich der großen Abschiebungen, sind die Vektoren steil, mit  $50^\circ$  bis  $60^\circ$  nach Süden gerichtet. Dementsprechend tritt hier an der Randstörung eine große vertikale Verschiebungskomponente auf. Das erklärt auch das starke Absinken des Geländes am Westende der Hauptbewegung (Geländemulde Schmutzerälbe) gegenüber der Bewegung des Westsporns (Gebiet Rånz'n; s.a. Kap. 6, Pkt. 6.3.6). Im Hanginneren, im Mittelteil und an der Stirn der Massenbewegung weisen die Bewegungsvektoren eine flache Orientierung nach Süden auf (Kap 8, Abbildung 8.23); die Blattverschiebung besitzt in den genannten Bereichen eine deutlich größere Horizontal- als Vertikalkomponente. Da die Bewegungsvektoren zur Basis der Massenbewegung auf Null auslaufen, endet dort auch die Randstörung.

#### *9.2.1.2.2 Ostende der Hangbewegung*

Geht man davon aus, dass der Bretterwandgraben vor dem Einsetzen der Bewegungen deutlich weniger tief war als heute (s. Kap. 6, Pkt. 6.3.5.1), so ist aus kinematischen Überlegungen, analog zum Westende, eine schrägabschiebende Blattverschiebung zwischen bewegter und unbewegter Masse anzunehmen. Der Bewegungssinn allerdings ist dem Bewegungssinn der Störungen am Westende entgegengesetzt, d.h. sinistral.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sowohl die Ränder der großen Hauptbewegung als auch die der Bewegungen des Westsporns durch schrägabschiebende Blattverschiebungen begrenzt werden. Sie bildeten sich als Konsequenz zwischen den nach südgerichteten Bewegungen und der nicht bewegten bis wenig bewegten Randbereiche. Es wird angenommen, dass die Tiefenerosion des oberen Bretterwandgrabens forciert an der durch die Massenbewegung geschaffenen Randstörung stattgefunden hat. D.h., die Bildung des Nord-Süd verlaufenden Bretterwandgrabens ist vornehmlich auf die östliche Randstörung der Massenbewegung zurückzuführen.

## 9.2.2 Bruchmechanik und Deformationsverhalten

### 9.2.2.1 Geotechnische Eigenschaften von Gestein, Trennflächen und Gebirge

Zum Verständnis des bruchmechanischen Verhaltens der Massenbewegung sind die Ergebnisse des Kapitels 7 in der Tabelle 1 in Kürze nochmals wiedergegeben.

Bereich	Gestein	UCS [MPa]	sf Rauigkeit mikro/makro	GSI GSI-Klassen
MZ	div. Phyllite; Graphitphyllite	1-25	glatt / wellig sehr glatt/wellig	18-28 (G, F, E)
GDZ2	haupts. Kalkphyllite, +/- KGLS, Graphitphyllite	5-25 (25-50) <sup>*)</sup>	glatt / wellig rau / wellig sehr glatt/ wellig	20-30 (30-40) <sup>*)</sup> G, F, E (D, C) <sup>*)</sup>
GDZ1	KGLS und Glimmermarmor	50-150	rau / wellig rau / eben	33-48 (D, C, B)

Tabelle 1: Geotechnische Eigenschaften der unterschiedlichen Abfolgen. Linsig begrenzte Körper in der MZ sind nicht berücksichtigt;

<sup>\*)</sup> bessere Werte sind auf Einschaltungen von KGLS in der phyllitischen Serie zurückzuführen

Der Unterhang wird, abgesehen von den allochthonen linsigen Vorkommen harter Gesteinskörper, allgemein von geringfesten Phylliten der MZ eingenommen. Aufgrund des hohen Anteils an Phyllosilikaten bzw. durch das Vorkommen von Graphit weisen die Schieferungsflächen ebenfalls niedrige bis sehr niedrige Festigkeiten auf. Die MZ ist tektonisch stark vorbelastet (s. Kap. 4).

Der Mittelabschnitt und der obere Teil des Südhanges am Bunzkögele bestehen aus einer Wechselfolge von Kalkphylliten und Kalkglimmerschiefer (GDZ2). Der Anteil an Kalkglimmerschiefer nimmt nach Norden hin zu. Die geotechnischen Eigenschaften sind entsprechend der beschriebenen Wechselfolge der Gesteinseinheiten sehr unterschiedlich. Von Bedeutung sind in der Abfolge geringfeste, sehr glatte Schieferungsflächen aufweisende Graphitphyllite. Diese wurden mehrfach entlang der Hauptabschiebungen angetroffen (Abbildung 9.5b; Anlage A.2: BL-01, BL-04 und BL-13). Das Vorkommen der gering festen Graphitphyllite ist für das Versagen im Oberhang (Abschiebungen) entscheidend.

Nördlich vom Bunzkögele überwiegen, sowohl das Gestein als auch die Trennflächen betreffend, feste Kalkglimmerschiefer und Glimmermarmore (GDZ1). Sie bilden mehr oder weniger stabile, von der Hangtektonik unbeeinflusste Hänge und Steilflanken, wie beispielsweise die Bretterwandspitze.

### 9.2.2.2 *Wirkende Kräfte*

Zur Erklärung des Versagensmechanismus wird als wirkende Kraft allein die Schwerkraft berücksichtigt.

Tektonische Restspannungen erscheinen aufgrund der exponierten Position des Bunzkögeles wenig plausibel. Durch die glaziofluviatile Erosion wird das Bunzkögele im Süden, Osten und Westen von tiefen Gräben bzw. Tälern begrenzt. Auch ist davon auszugehen, dass tektonische Spannungen im wenig festen Gebirge der oberen Schieferhülle nicht konserviert bleiben würden. Ein weiterer Grund für die untergeordnete Bedeutung von Restspannungen tektonischer Natur ist die gering bis mäßige Erdbebenaktivität im Gebiet von Matrei

([www.zamg.ac.at/produkte/thema/geophysik/erdbebengutachten/](http://www.zamg.ac.at/produkte/thema/geophysik/erdbebengutachten/)).

Für das Bergwasser ist anzunehmen, dass dieses einen Einfluss auf die Größe der Spannungen in den tieferen Teilen des Berges hat. Wie so oft fehlen nachvollziehbare Daten (wie zum Beispiel Grundwasserpegel) als Grundlage, um ein realistisches Szenario anzunehmen. Zudem stellen die Bergwasserverhältnisse keine konstante Größe über die Zeit dar. Neben kurzzeitigen saisonalen und längerfristigen klimatischen Schwankungen ist davon auszugehen, dass sich im Laufe der Zeit auch maßgebliche Änderungen im hydrogeologischen System ergaben. Letztere betreffen zum Beispiel die Tieferlegung des Vorfluters Bretterwandbach durch die fluviatile Erosion oder die Veränderung der Permeabilität des Gebirgskörpers durch die Auflockerung im Zuge der Hangbewegung. Zumal die genannten Einflussfaktoren unbekannte Größen darstellen, sind Annahmen zu den Bergwasserverhältnissen rein spekulativ.

Um dennoch den Einfluss des Bergwassers in der numerischen Modellierung zu berücksichtigen wurde von einem auffälligen, gut zu kartierenden Quellhorizont, der in etwa 1800 m.ü.A. auf der Süd- und Ostseite des Bunzkögeles auftritt, ausgegangen. Die UDEC-Modellierung mit Bergwasser hat gezeigt, dass das Deformationsbild von jenem, welches in der Natur kartiert wurde stark abweicht. Dagegen bildet die UDEC Modellierung mit trockenen Verhältnissen das Hangversagen realitätsnah nach (Kap 8, Pkt. 8.6.2.2). Der Einfluss des Bergwassers konnte daher für die nachfolgenden Überlegungen außer Acht gelassen werden.

### 9.2.2.3 *Versagen der Trennflächen*

Es wurde bereits erwähnt, dass das Hangversagen an der mit 60° nach Süden einfallenden Schieferung beginnt. Dabei wird die Festigkeit entlang der Flächen aufgrund des Eigengewichts überschritten. Sichtlicher Ausdruck für das Scherversagen entlang der Schieferung sind die großen Geländestufen (Abschiebungen) am Gipfelhang des Bunzkögeles (s. Kap. 6, Abbildung 6.6).

Für die Versagensflächen, d.h. die Schieferungsflächen, können unverwitterte, nicht verfüllte Trennflächen mit vollkommener Durchtrennung angenommen werden. Definitionsgemäß ist die Kohäsion der Fläche dann Null, und ihre Scherfestigkeit wird nur noch über den Reibungswinkel definiert (HUDSON & HARRISON 1997, WILLY & MAH 2004). Wie PATTON (1966) zeigen konnte, setzt sich dieser aus dem Basisreibungswinkel  $\phi_b$  plus einen Winkel  $i$  zusammen. Letzterer bezeichnet den Winkel zwischen der Kluffläche und der Fläche, die durch die Sägezähne der Mikro- oder

Makrorauigkeiten gebildet werden (Abbildung 9.5a). Die max. Scherspannung  $\tau_p$  in Abhängigkeit der auf die Fläche wirkenden effektiven Normalspannung  $\sigma_n'$  konnte PATTON (1966) durch die einfache Beziehung

$$\tau_p = \sigma_n' \tan(\phi + i) \quad (8.1)$$

darstellen, d.h. die Bruchbedingung der Trennfläche lässt sich wie beim Gestein in Form der allgemeinen MC-Bruchgerade ausdrücken.

Nachdem der Winkel  $i$  von der Rauigkeit der Fläche abhängig ist, korrelierte ihn BARTON (1973) mit seinem empirischen JRC in der Form:

$$i = JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma'} \right) \quad (8.2)$$

JCS (engl. *joint compressive strength*) ist die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins an der Kluftwandung. Sie entspricht normalerweise der einaxialen Gesteinsfestigkeit, kann aber durch Verwitterungserscheinungen deutlich unter der Festigkeit des frischen Gesteins liegen.

Das empirische Bruchkriterium von BARTON (1973) lautet:

$$\tau_p = \sigma_n' \tan \left( \phi + JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma'} \right) \right) \quad (8.3)$$

Es ergibt sich aus dem Einsetzen des Winkels  $i$  (Gleichung (8.2)) in PATTONS Formel (8.1).



Abbildung 9.5: a) Zusammenhang zwischen Normalspannung und Reibung von Trennflächen nach WYLLIE & MAH (2004)  
 b) Phyllite und sehr glatte Graphitphyllite mit typisch welligem Habitus der sf; Fläche entspricht der Gipfelabschiebung; Lokalität Bretterwandgraben, Basis Blitzgraben; 1.830 m.ü.A.

Die Abbildung 9.5a zeigt das Verhalten einer Trennfläche in Abhängigkeit von der auf die Fläche wirkenden Normalspannung. Demnach gleitet bei kleinen Normalspannungen der

<sup>1</sup> Das vorgestellte Bruchkriterium gilt, wie bei der Hangbewegung Bunkkögele der Fall, für kleine Normalspannungen. Die Scherfestigkeit wird bei großen Normalspannungen zunehmend weniger vom Winkel  $i$  beeinflusst (JÄGER ET AL. 2007). Dabei spielt auch die Größe und Form der Kluftauigkeiten eine entscheidende Rolle (WILLY & MAH 2004).

obere Teil auf den Unebenheiten des unteren Teils auf (Abbildung 9.5a, oberer Kreis), und es ergeben sich Verschiebungen  $\delta_s$  in Richtung der Scherspannung und Verschiebungen  $\delta_n$  parallel zur Normalspannung.  $\delta_n$  ist zur Richtung der Normalspannung entgegengesetzt.  $\delta_s$  wird als Maß der Scherverschiebung,  $\delta_n$  als Maß der Dilatanz bezeichnet. Erst bei einer größeren Normalspannung werden die Unebenheiten durchgeschert (Abbildung 9.5a, unterer Kreis). Das Maß der Dilatanz verringert sich hiedurch.

Angewandt auf die Abschiebungen am Bunzkögele, aber auch für alle Teilbewegungen zwischen den Gesteinslamellen, bedeutet das, dass die Deformation, nachdem die Scherverschiebungen einmal begonnen haben, durch ausgeprägte Dilatanz gekennzeichnet ist. Für dieses Verhalten sind der großwellige Charakter (i.e. Makrorauigkeit) der Schieferungsflächen und relativ kleine Normalspannungen verantwortlich. Die Wellenberge werden daher meist nicht durchgeschert, sondern es reitet die Hangendscholle auf der Liegenden am Wellenberg auf (Abbildung 9.5b). Dem Anteil der Dilatanz, der aus dem Durchscheren von Mikrorauigkeiten resultiert, wird hingegen aufgrund der meist glatten Beschaffenheit der Flächen und der großen Verschiebungen an den Flächen wenig Relevanz beigemessen (s. Kap. 7).

#### 9.2.2.4 Versagen des Gesteins

Wie in der Natur zu beobachten ist, wird der Versagensmechanismus in entscheidender Art und Weise auch vom Versagen des Gesteins geprägt. Das Gestein ist in breiten Zonen plastischer Deformation unterworfen. Der Grad der Beanspruchung ist aber nicht allorts gleich. So findet die intensivste Zerstörung von Gestein im Bereich der Scherzone, i.e. der überkippte Schenkel der Knickfalte, und im Bereich der Topplingzone statt. Der aufrechte Südschenkel der Knickfalte ist hingegen nur wenig beansprucht (s. Kap.7, Abbildung 7.1).

##### 9.2.2.4.1 Synthetische und antithetische Brüche

Am Kopf der Massenbewegung, am aufrechten südfallenden Schenkel treten zwei unterschiedlich orientierte Bruchstrukturen auf (s. Kap. 6, Abbildung 6.13):

- a) 75° bis 85° nach Süden einfallende
- b) 75° nach Norden einfallende

Mit Hilfe der Verformungsellipse nach HANCOCK (1985) lassen sich die Brüche als Strukturen, die im Zuge einfacher Scherung entstanden sind, interpretieren. Dabei liegen die größte und kleinste Hauptnormalspannung zusammen mit dem Bewegungsvektor in einer Ebene (s. Kap. 6, Abbildung 6.28b). Die Ränder der Scherzone stellen die mit 60° nach Süden einfallende Schieferung, die eine Gesteinslamelle begrenzt, dar. In Bezug auf die Hauptbewegung (Y) entlang der Lamellengrenze sind die Brüche a) als synthetische Brüche oder R-Flächen zu erklären. Die Flächen b) bilden dazu antithetische Brüche oder R'-Flächen. Für die Bildung der Antitheter spielt außerdem noch die Verflachung der Verschiebungsvektoren innerhalb der Knickfalte eine entscheidende Rolle. Damit eine Bewegung grundsätzlich möglich ist, muss sich, ähnlich wie bei einer polygonalen Gleitfläche, die Masse intern verformen (HUNGR & EVANS 2004, HUTCHINSON 2004, MANDL 1988 und 2000). Dies kann, wie am Bunzkögele der Fall, durch antithetische Brüche erfolgen. Die Brüche setzen am Knick, wo die Bewegungsvektoren vom steilen

Einfallen in ein flaches drehen, an. Mit dem Fortschreiten der abschiebenden Bewegungen im Oberhang werden laufend neue Antitheter gebildet.

#### 9.2.2.4.2 Knickfalte

Die Knickfalte stellt nichts anderes als eine breite Scherzone, die durch einfache Scherung entstanden ist, dar. Nach MANDL (2000) sind zwei Arten einfacher Scherung zu unterscheiden:

- a) Kartenmodell (engl. *card-deck mode*)
- b) Dominosteinmodell (engl. *bookshelf mode*)

Zu a): Beim Kartenmodell erfolgt die Verformung durch kleine (infinitesimale) Verschiebungen zwischen den einzelnen Karten (Abbildung 9.6a, A+B). Die Scherrichtung ist parallel zu den Flächen der einzelnen Karten.

Zu b): Das Dominosteinmodell bildet eine Kombination von infinitesimalen Verschiebungen und infinitesimalen Rotationen an den Grenzen der parallelen Karten (Abbildung 9.6b, C+D). Die Scherrichtung ist normal auf die Flächen der Karten orientiert.

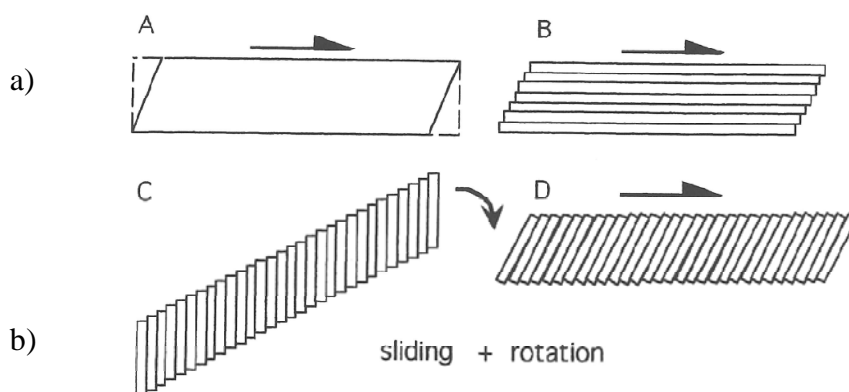


Abbildung 9.6: Einfache Scherung paralleler Tafeln. a) Kartenmodell, b) Dominosteinmodell aus MANDL (2000)

Für die Knickfalte trifft das Dominosteinmodell zu. Die Teilverschiebungen finden an den Schieferungsflächen statt. Die Scherrichtung entspricht dem Bewegungsvektor, welcher innerhalb der Scherzone zwischen  $10^\circ$  und  $17^\circ$  zur Horizontale geneigt ist. Dieser steht  $\pm$  normal auf die Richtung der Gesteinslamellen. Am unteren Scharnier der Knickfalte ist die Scherverschiebung Null. Ausgehend von hier nimmt sie bis zum oberen Scharnier linear zu, wo sie ihr Maximum erreicht. Der Scherwinkel entspricht dem Winkel der rotierten Schieferung. Er wird mit jeder weiteren Abschiebung von Norden nach Süden größer und erreicht maximal  $65^\circ$ . Weil die Horizontalverschiebungen nach Süden zunehmen, nimmt auch der Betrag der Scherverschiebung zu. Dies hat zur Folge, dass die Scherzone keine konstante Breite aufweist, sondern dass die Breite von Norden nach Süden dreiecksförmig zunimmt. Bezieht man die Deformation auf eine Linie, die parallel zur Einfallrichtung der Schieferung orientiert ist, dann verkürzt sich diese im ersten Stadium der Deformation. Im zweiten Stadium erfährt sie eine Längung.





Abbildung 9.7: Charakter der Scherzone (überkippter Schenkel der Knickfalte)

- a) intensiv, an engständig angeordneten Bruchflächen zerschertes Gestein  $\Rightarrow$  „Kakirit“; zerbröseln beim Schlag mit dem Hammer in 0,5 bis 2 cm große Bruchstücke
- b) eng verfaltete Gesteinslamellen; Scharniere häufig zerbrochen

Innerhalb der Scherzone werden die Abschiebungen aus dem Gipfelbereich des Bunzkögeles durch plastische, betont spröde Deformation des Gesteins kompensiert. Es lassen sich zwei Verformungsmuster, die miteinander vergesellschaftet sind, beobachten:

1. *Penetrative Scherung*: Das Gestein ist besonders im oberen Abschnitt des Bretterwandbaches, wo die Scherzone noch eine geringe Breite aufweist, von einer penetrativen Scherung erfasst. Dies äußert sich in engständigen, neugebildeten und spröden Bruchflächen (Abbildung 9.7a und Kap.6, Abbildung 6.12).
2. *Ziehharmonikafaltung*  
Neben der Bildung von Scherbrüchen kommt eine Kleinfaltung mit engen, spitzwinkligen Scharnieren vor. Die Scharniere der Falte sind häufig zerbrochen und weisen ein hohes Maß an Dilatanz auf (Abbildung 9.7b).

Ergänzend treten zu den Schieferungsflächen mehr oder weniger parallel verlaufende Scherzonen mit zerriebenem Gestein (engl. *fault gouge*) auf (Kap. 6, Abbildung 6.21). Sie sind als Kakirite im eigentlichen Sinn zu bezeichnen. Die genannten Scherzonen bilden vielfach Riedels zur Hauptbewegung entlang der Schieferungsflächen.

Alle beschriebenen spröden Deformationen sind durch eine ausgeprägte Volumenzunahme gekennzeichnet. Die Dilatanz lässt sich gut im Profil 1-1 an der Dehnung der ursprünglichen Lamellendicke erkennen (Abbildung 9.3), aber auch bei den Blockbildern der numerischen Modellierung (Kap. 8, Abbildung 8.19).

#### 9.2.2.4.3 Topplingzone

Der Versagensmechanismus am Unterhang (Stirn i.w.S.) der Massenbewegung stellt ein Biegekippen dar. Die mechanischen Voraussetzungen dafür sind eine niedrige Festigkeit der Trennflächen und des Gesteins. Damit werden einerseits die Teilverschiebungen zwischen den einzelnen Gesteinslamellen ermöglicht, andererseits kann sich das Gestein, welches einer Biegebeanspruchung ausgesetzt ist, plastisch verformen. Die plastische

Deformation beinhaltet, wie zuvor beschrieben, Scherbrüche und –zonen sowie kleindimensionale Knickfalten (s. Kap. 6, Abbildung 6.19 bis 6.21; Anlage A.2: Abbildung VBWG-02, Abbildung VBWG-04 und Abbildung GB-01).

### 9.2.2.5 Kontinuumsmechanische Betrachtungen

Die Bereiche der S-förmigen Struktur der tafelförmigen Kluffkörper im oberen Teil der Massenbewegung und das Biegekippen an der Stirn sind durch eine ausgeprägt plastische Deformation gekennzeichnet. Diese spielt sich innerhalb einer breiten Zone ab und ist im Kleinbereich durch eine Vielzahl spröder Brüche, häufig mit geringer lateraler Erstreckung, und/oder auch durch spröde Faltung mit Bruch (Knickfalten) gekennzeichnet. Betrachtet man dieses Verformungsverhalten im kleinen Maßstab, dann kann das Gesteinsverhalten, so wie es bereits ZISCHINSKY (1966b, 1969a, 1969b) getan hat, ähnlich wie das einer Flüssigkeit angenommen werden. Weil das Gestein realistischere eine Anfangsfestigkeit hat, kann das zeitabhängige Materialverhalten im einfachsten Fall mit einer Bingham-Substanz (viskoplastisch)<sup>1</sup> approximiert werden.

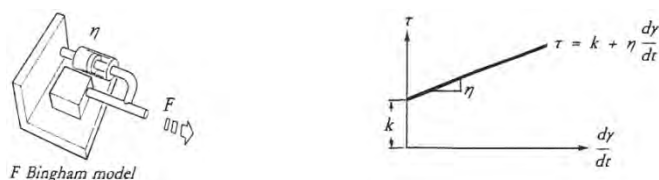


Abbildung 9.8: a) Ersatzmodell für das zeitabhängige Materialverhalten in der Scherzone bzw. der Topplingzone durch eine Bingham-Substanz.

b) Diagramm Scherrate-Scherspannung; beide Bilder aus MANDL (1988).

Das rheologische Ersatzmodell stellt einen Block<sup>2</sup> auf einer ebenen Unterlage in Kombination mit einem flüssigkeitsgefüllten Zylinder und Kolben<sup>3</sup> dar. Der Block wird durch sein Eigengewicht auf die Unterlage gedrückt. Um ihn zu bewegen, bedarf es einer kritischen Kraft  $F$ . Wird diese erreicht, bewegt sich der Block, und die Flüssigkeit beginnt im Zylinder zu fließen. Dabei fließt die Flüssigkeit am Spalt des nicht ganz eng anliegenden Kolbens seitlich vorbei. Die Bewegung des Zylinders stellt die zeitabhängige Verformung dar und verläuft zur Scherspannung direkt proportional. Die Scherspannung lässt sich mathematisch ausdrücken als

$$\tau = k + \eta \cdot \frac{dy}{dt} \quad (8.5)$$

bzw. als

$$\tau = k + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (8.6)$$

<sup>1</sup> Der elastische Anteil kann aufgrund der großen plastischen Verschiebungen vernachlässigt werden.

<sup>2</sup> Wird oft auch als ST. VENANT Körper bezeichnet.

<sup>3</sup> Stellt die ideale viskose NEWTONsche Flüssigkeit dar.

$\frac{dy}{dt}$  bzw.  $\dot{\gamma}$  ist die Geschwindigkeit

$k$  stellt die kritische Scherspannung, bei der die plastische Verformung des Körpers einsetzt, dar.

$\eta$  wird als dynamische Viskosität bezeichnet und stellt grundsätzlich eine Materialeigenschaft dar. Sie ist aber auch stark von der Temperatur abhängig. Je steiler der Gradient ist, desto zähflüssiger ist das Materialverhalten. Für die in der Natur abgelaufene Hangdeformation ist anzunehmen, dass sich durch die fortschreitende Zerstörung des Gesteins auch die rheologischen Eigenschaften, d.h. die dynamische Viskosität  $\eta$ , verändern.

Um das beschriebene Hangversagen am Bunzkögele zu erklären, bedarf es jedoch einer getrennten Betrachtung von Trennflächen und Gestein, d.h. die Betrachtung als Diskontinuum. D.h., auch das Versagen der Trennflächen ist speziell zu berücksichtigen. Das Stoffmodell für die Trennflächen könnte in Analogie zum Gestein ebenfalls als viskoplastisch angenommen werden.

#### 9.2.2.6 2-D Quantifizierung des Verformungsverhaltens

Bei Betrachtung des Bunzkögeles fällt der typisch konkave Oberhang auf, der auf den Massenverlagerungsprozess vom Kopf zum Fuß zurückzuführen ist. Der Stirnbereich ist jedoch nicht konvex, wie man es üblicherweise erwarten würde, sondern ebenfalls leicht konkav gewölbt. Wie im Kap. 6, Pkt. 6.3.8.5 bereits dargelegt wurde, fehlt an der Stirn des Talzuschubs Masse durch sekundäre Hangbewegungen. Dies ist nicht weiter erstaunlich, da die Hangneigung an der Stirn vielerorts steiler als  $34^\circ$  ist und das Gebirge in besonderem Maße durch die Hangtektonik entfestigt ist.

Für die Quantifizierung des Verformungsverhaltens der Massenbewegung sind zwei Größen von Interesse:

1. Massendurchfluss
2. Volumenzunahme (Dilatanz)

zu 1): Der Massendurchfluss errechnet sich aus der Differenz, die sich vom ursprünglichen, vor dem Einsetzen der Bewegungen vorhandenen Gelände zum heutigen ergibt. Dies setzt voraus, dass die Form des nicht deformierten Hanges bekannt ist. Aus der Massenbilanz sollte sich ein Gleichgewicht zwischen der fehlenden Masse am konkaven Oberhang und dem Massenüberschuss am konvexen Unterhang ergeben. Weil am Bunzkögele an der Stirn des Hanges Masse fehlt, kann der Paläohang nicht über eine Massenbilanzierung, sondern nur über die Rückführung der Deformation annähernd rekonstruiert werden (s. Kap.8, Pkt. 8.4.2). Dabei ist zu beachten, dass im Bereich des überkippten Schenkels infolge der hangtektonischen Faltung auch eine Verkürzung stattgefunden hat. Diese wurde in zwei Aufschlüssen an Messlinien bestimmt.

a) überkippter Schenkel im Bereich der Knickfalte

Die Elongation  $\varepsilon$  errechnet sich nach MESCHEDE (1994) aus:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (8.5)$$

$l_0$ ...Ausgangslänge

$l$ ...deformierte Länge

mit  $-1 < \varepsilon < \infty$

Für den Aufschluss HBWG-17 (Anlage A.2) ergibt sich aufgrund der Faltung eine Verkürzung von:

$$\varepsilon_1 = \frac{168,2m - 194,6m}{168,2m} \cdot 100$$

$$\varepsilon_1 = -13,7\%$$

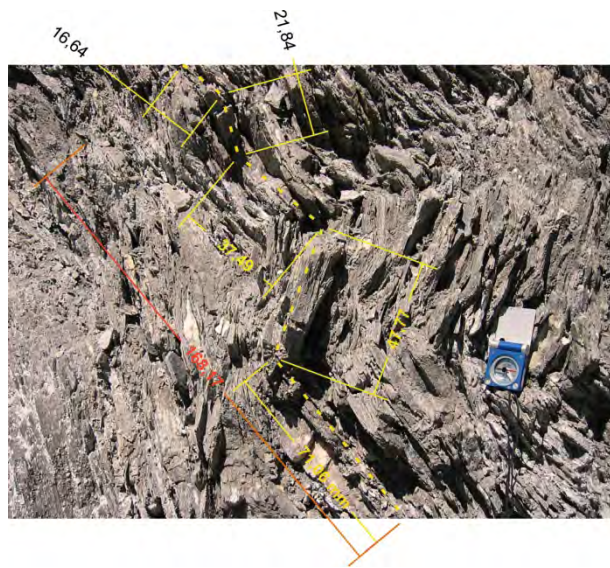


Abbildung 9.9: Berechnung der Verkürzung im Bereich des überkippten Schenkels der Scherzone; Bretterwandgraben 1.630 m.ü.A. (Anlage A.2: HBWG-17)

b) überkippter Schenkel im Bereich der Topplingzone

Die Messlinien des Aufschlusses HBWG-05 (Anlage A.2) ergeben:

$$\varepsilon_2 = \frac{4,4m - 6,65m}{4,65m} \cdot 100$$

$$\varepsilon_2 = -5,5\%$$

$$\varepsilon_2 = \frac{2,15m - 2,35m}{2,35m} \cdot 100$$

$$\varepsilon_2 = -8,5\%$$

Beim Vergleich der beiden Lokalitäten fällt auf, dass die Schwankungsbreite der Verkürzung relativ groß ist. Auf welche Ursache dies zurückzuführen ist, lässt sich nicht genau feststellen, da die Datengrundlage zu gering ist. Es hat aber den Anschein, dass der Beanspruchungsgrad der Topplingzone geringer ist als der der Knickfaltenzone.

Nach der Rekonstruktion des Paläohanges (Abbildung 8.2 und Abbildung 8.10), bei der die obige Verkürzung der Schenkel durch die Knickfalten berücksichtigt wurde, ergibt sich für den konkaven Oberhang, i.e. den Massendurchfluss, je nach Berechnungsvariante ein Massendefizit von 60.000 bis 70.000 m<sup>3</sup>/lfm bzw. 9% bis 11%.

zu 2): Die Dilatanz des Böschungskörpers, hervorgerufen durch die Hangbewegungen, wurde mit Hilfe eines Gesteinslamellenrasters bestimmt. Es wird vorweggenommen, dass diese in Richtung der 3. Achse (z-Achse) eine unbekannte Größe darstellt und daher die Betrachtungen auf ebene Schnitte beschränkt bleiben müssen. Geht man aber davon aus, dass die Scherbeanspruchung vorwiegend in der xy-Ebene stattfindet, dann ist es zulässig, von der Fläche auf einen Streifen, der ein bestimmtes Volumen präsentiert, überzugehen, d.h. auch von der Dilatanz des Böschungskörpers zu sprechen. Dazu wurde die rekonstruierte Hanggeometrie in parallele Schieferungslamellen von 100 m Breite unterteilt. Über den Vergleich des undeformierten Rasters (Abbildung 9.2) mit dem deformierten (Abbildung 9.3) ergab sich die Dilatanz. Die Volumenänderung wurde für verschiedene Abschnitte des Hanges unter der Annahme einer ebenen Verformung (Abbildung 9.10, Abbildung 9.11) berechnet. Die Volumina für einen Streifen mit einem Meter dicke sind in der Tabelle 2, unverformt und verformt, als absolute Werte bzw. als Prozent angegeben.

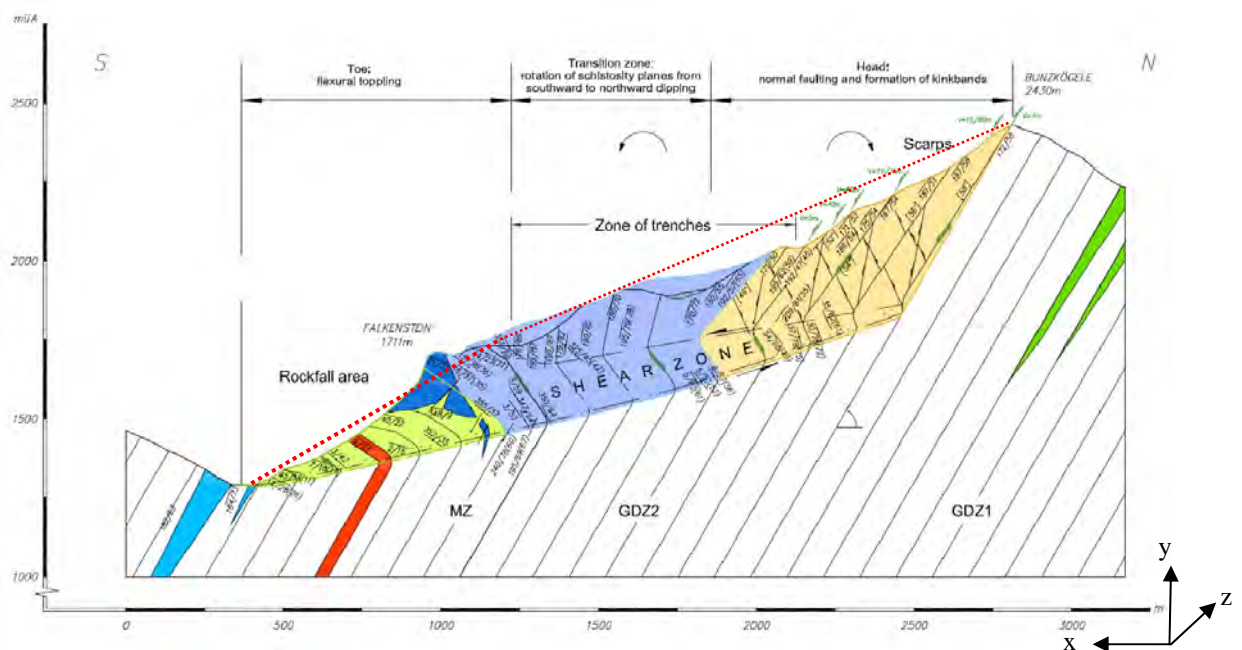


Abbildung 9.10: Verschiedene Hangabschnitte für die Volumenänderungen (Dilatanz) berechnet wurde. Paläohang (rot punktierte Linie).



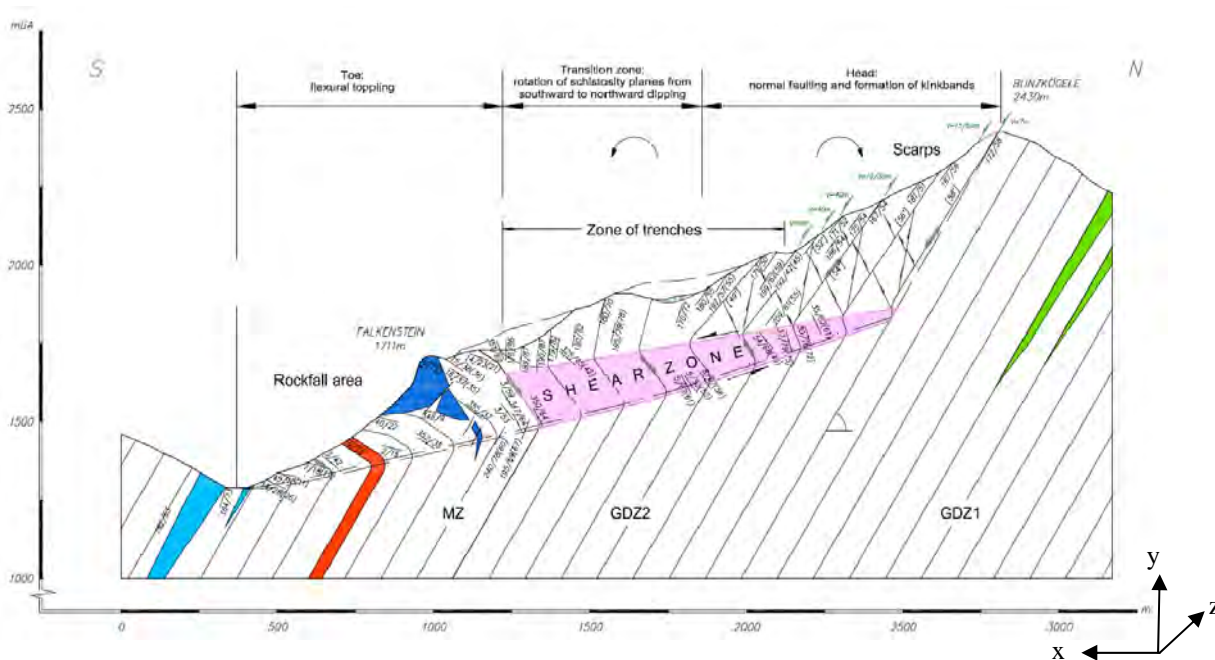


Abbildung 9.11: Dilatanz der dreiecksförmigen Scherzone (Knickfalte)

Location	deformed	undeformed	difference
Kink-bands	280.925	272.460	3%
Extension zone	271.676	251.040	8%
Toe	93.145	143.400	-35%
Shear zone	124.505	113.135	10%

Tabelle 2: Zusammenstellung der berechneten Volumenveränderungen (Dilatanz) als Folge der Hangbewegungen mit Bezug auf Abbildung 9.10 und Abbildung 9.11.

Die Zunahme des Volumens in der orangen, blauen und rosaroten Zone stellt eine Gebirgsdilatanz, die sich aus einem Anteil des Zerbrechens von Gestein und einem Anteil des Versagens an den Trennflächen zusammensetzt, dar. Der relativ kleine Wert der Dilatanz für den Oberhang (orange Zone) erklärt sich aus der geringen hangtektonischen Beanspruchung der aufrechten Gesteinslamellen. Eine deutliche Volumenzunahme ergibt sich durch die extreme Scherverformung des Gesteins innerhalb des Knickbandes. Auch der Mittelteil (blaue Zone) ist durch das Zugversagen in den Trennflächen (Extension durch Auffächern der Schieferung) einem ausgeprägt dilatanten Verhalten unterworfen. Das Defizit im Stirnbereich (grüne Zone) kommt durch den Massenabtrag sekundärer Hangbewegungen und die fluviatile Erosion zustande.

MÜLLER & PACHER (1965) haben bei ihren felsmechanischen Untersuchungen am geklüfteten Ersatzmaterial ein ausgeprägtes Maß an Dilatanz, speziell dann, wenn der Seitendruck niedrig und die Klüfte vollkommen durchtrennt waren, festgestellt.

Vereinfacht kann die Dilatanz aus der Formel

$$\frac{\Delta V}{V} = \epsilon_{axial} + 2\epsilon_{lateral} \tag{8.6}$$



berechnet werden (GOODMAN 1989). Unter der Annahme einer ebenen Verformung, d.h., dass die Verformung respektive die Dilatanz in Richtung  $z$  gleich Null sind, lautet die Gleichung (8.6)

$$\frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_{axial} + \varepsilon_{lateral} \quad (8.7)$$

Für geringe Seitendrucke betrug bei den Versuchen von MÜLLER & PACHER (1965) am einschichtig geklüfteten Ersatzmaterial die axiale Verkürzung 6% und die Querdehnung 14%. Durch Einsetzen in die Gleichung (8.7) ergibt sich eine Dilatanz von 8%. Dieser Wert passt gut mit der errechneten Dilatanz des Bunzkögeles im Mittelteil (8%) zusammen. Die Dilatanz der Trennflächen, i.e. die Dehnungen normal auf die Klüfte geben MÜLLER ET. AL. 1973 mit 2% an. Die Versuche wurden für ein Diskontinuum mit zwei Klüftsets, die einen Durchtrennungsgrad von zwei Drittel aufwiesen, durchgeführt. Trägt man der Kluftdilatanz von MÜLLER ET. AL. 1973 bei der ermittelten Gebirgsdilatanz der Hangbewegung Bunzkögele Rechnung, so ergibt sich die Dilatanz, die aus dem Zerbrechen des Gesteins resultiert: Das sind 8% für die Scherzone und 6% für den Mittelteil. Diese Werte für die Dilatanz sind durchaus als plausible Werte anzusehen.

BRÜCKL ET. AL. (2006) leitete aus der Korrelation von seismischen Wellen eine mittlere Porosität  $n$  für die Massenbewegung Gradenbach, die in gleichen, geologisch tektonischen Einheiten wie das Bunzkögele gelegen ist, von 28% ab. Selbst wenn man die ursprüngliche Porosität der Phyllite hier noch berücksichtigt, erscheint der Wert relativ hoch. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass die Massenbewegung Gradenbach, die eine Gleitung darstellt, aufgrund ihrer großen, heute noch anhaltenden Verschiebungen deutlich stärker zerlegt und aufgelockert ist.

### 9.3 Bezugnahme auf ZISCHINSKYS Arbeit

Auf den ersten Blick scheint die von ZISCHINSKY (1966b, 1969a und 1969b) gegebene mechanische Interpretation das Hangversagen genau zu beschreiben. Die ingenieurgeologische Neuaufnahme und die numerische Modellierung der Großhangbewegung ergaben jedoch ein paar wesentliche Unterschiede, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

#### 1. Die Bewegungsbahnen:

Für die Abschiebungen im Oberhang nimmt ZISCHINSKY an, dass diese das S-förmige Deformationsbild quer durchschneiden und in der Tiefe enden. Seiner Auffassung nach sind die Abschiebungen des Gipfelhanges nur im Ansatz die Schieferungsflächen und gehen dann in neu gebildete, leicht schaufelförmige Bruchflächen über. Die hinterste Abschiebung reicht am tiefsten; aber auch sie folgt nicht der Schieferungsfläche, sondern durchtrennt diese (Abbildung 9.1, rote Pfeile).

Dazu ist festzuhalten, dass es in der gut aufgeschlossenen Ostflanke zum Bretterwandgraben keine sichtbaren Hinweise für ZISCHINSKYS postulierte Scherflächen gibt. Die Entstehung neuer Bruchstrukturen aus den Abschiebungen ist physikalisch gesehen wenig plausibel, weil bereits natürlich vorgegebene Flächen (Schieferungsflächen) in einer günstigen Orientierung zur Hauptbeanspruchung vorhanden sind. Es liegt auf der Hand, dass das Hangversagen ein System mit einem Energieminimum anstrebt und die vorhandene Schieferung als Gleitflächen aktiviert wird.

#### 2. Die Verformung:

ZISCHINSKY nimmt an, dass die Abschiebungen Ausdruck der Verformung des sich starr verhaltenden oberen Teils sind, während sich die Zone darunter und die Stirn weitgehend bruchlos verformen. Er idealisiert die Deformation des Hanges mit einer „real zähen“ Flüssigkeit. Die Trennflächen des Gebirges in Form der Schieferung haben seiner Ansicht nach für das allgemeine Bewegungsbild nur quantitative Auswirkungen. Damit ist gemeint, dass die Schieferungsflächen die Teilbeweglichkeit des Gebirges erhöhen, d.h. die Gebirgsfestigkeit erniedrigen, aber keinen Einfluss auf die Mechanik des Versagens nehmen.

Dazu wird festgehalten:

- a) Der kontinuumsmechanische Ansatz ZISCHINSKYS vereinfacht die Natur zu sehr, da er die Bedeutung der Schieferung für den Versagensmechanismus unberücksichtigt lässt. Wie im Gelände aus der Aufnahme kinematischer Scherindikatoren und aus der numerischen Simulation hervorgeht, ergibt sich das bekannte Verformungsmuster erst durch die Teilverschiebungen zwischen den einzelnen Gesteinslamellen. Gleichzeitig zerbricht das Gestein. Es bilden sich plastische Zonen aus. Der Vergleich des Profils von ZISCHINSKY (Abbildung 9.1) und des neu gezeichneten (Abbildung 9.3) bringt diese Unterschiede klar zum Ausdruck.
- b) Die Annahme eines homogen fließenden Gebirgskörpers führt, wie bei klassischem Hangkriechen bekannt (ZIENKIEWCIZ ET. AL. 1975; POISEL 1998, Poisel & Preh 2004a), zu Zugspannungen und -versagen im Oberhang. Unter Berücksichtigung der Trennflächen am Bunzkögele treten hingegen im

Gipfelbereich keine nennenswerten Zugspannungen auf; das Versagen ist mehr oder weniger ausschließlich ein Scherversagen entlang der Schieferung.

#### **9.4 Zusammenfassung Mechanik**

Der Versagensmechanismus des Bunzkögele Südhanges wird maßgeblich von den Trennflächen und den geringen Gesteinsfestigkeiten bestimmt. Durch die Schieferungsflächen wird der Hang, idealisiert betrachtet, in eine Reihe relativ schmaler, tafelförmiger Kluftkörper respektive Gesteinslamellen, unterteilt. Die Lamellen fallen in die gleiche Richtung wie der Hang ein. Das Einfallen ist jedoch wesentlich steiler. Das Versagen beginnt mit einem Scherversagen entlang der Trennflächen. Dabei werden die Gesteinspakete im Oberhang translatorisch an den Schieferungsflächen abgeschoben. Dies führt zur S-förmigen Deformation der tafelförmigen Kluftkörper (Knickfalte) im Inneren des Berges. Ausgelöst durch die Abschiebungen im Oberhang rotieren die Lamellen im mittleren Teil und am Unterhang talwärts. An der Stirn wird die S-förmige Deformation des Hanges durch ein Biegekippen abgelöst.

Die Verformung des Böschungskörpers ist durch spröden Bruch und Knickfaltung gekennzeichnet. Die Schieferungsflächen spielen für das Versagen eine entscheidende Rolle: Durch Überschreiten der Scherfestigkeit an den Flächen werden die Relativverschiebungen entlang der Kluftkörper erst ermöglicht. Dies trifft gleichermaßen für den gesamten Hang zu. Durch die geringe Gesteinsfestigkeit können sich so plastische Zonen ausbilden, i.e. Knickbandzone im oberen und mittleren Teil und der gesamte Stirnbereich. Die Verformung wird von ausgeprägter Dilatanz begleitet. Letztere setzt sich aus einem Anteil durch Versagen an den Trennflächen und einem Anteil durch Versagen des Gesteins zusammen. Die Bewegungen haben dazu geführt, dass sich der Oberhang konkav gesenkt hat. Dieser Masseverlust führte, wenn auch heute durch das Erosionsgeschehen nicht mehr nachvollziehbar, zu einem Auswölben der Stirn.

Unter Bezugnahme auf ZISCHINSKY'S Arbeit ist festzuhalten, dass sein kontinuumsmechanischer Ansatz nicht imstande ist, das Hangversagen am Bunzkögele nachzubilden. Erst die Betrachtung der Böschung als Diskontinuum, die das Versagen des Gesteins und der Trennflächen berücksichtigt, wird der Mechanik der Großhangbewegung gerecht und vermag, das bekannte Deformationsbild zu erklären.



Charakterisierung der Massenbewegung Bunzkögele					
Hangabschnitt	Geotechn. Param. Gestein und sf	Lagerungsverhältnisse	Makro- und Mikrostrukturen	Mechanik	
				Kinematik	Verformung
<b>Oberhang (Kopf)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>KPHY und KGLS ab und zu GPHY</li> <li>UCS: 5-25 MPa, ab und zu 50 MPa</li> <li>Meist GSI 25-35 vereinzelt bis 40</li> <li>Trennflächen meist wellig rau, dann wellig glatt, ab und zu sehr glatt (GPHY)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sf hangparallel; 60° südfallend - bilden schlanke Klufkörper, die steiler als der Hang einfallen</li> <li>Im Innern des Berges sf überkippt, nordfallend</li> <li>sf drehen im Bachbett des Bretterwandbaches in ein Südfallen zurück</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abschiebungen (<i>scarps</i>) im Oberhang ⇒ gestuftes Geländeprofil</li> <li>Vereinzelt Nackentäler</li> <li>Antithetische und synthetische Abschiebungen</li> <li>Große Knickfalte im Inneren des Berges</li> <li>Scherzonen und -bänder</li> <li>Knickfalten von cm- bis m-Größe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Translatorische Abschiebungen entlang und in Fallrichtung der vorgegebenen sf, Bewegungsvektoren steil nach Süden gerichtet</li> <li>Rotation der sf in der Knickfalte talwärts, oberflächennah bergwärts; Bewegungsvektoren rotieren in flache Lagerung im Bereich der Knickfalte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überschreiten der Trennflächenfestigkeit entlang der sf, große Scherbewegungen zwischen den Gesteinslamellen</li> <li>Ausbildung von plastischen Zonen (Knickband bzw. breite Scherzone) durch Gesteinsversagen verbunden mit großer Dilatanz (10%)</li> </ul>
<b>Mittelteil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>KPHY, GPHY und KGLS</li> <li>UCS: 5-25 MPa ab und zu 50 MPa</li> <li>GSI 18-23</li> <li>Trennflächen wellig rau und wellig glatt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>An Hangoberfläche Änderung der Einfallens der sf vom Südfallen in ein Nordfallen</li> <li>sf fällt im Inneren des Berges nach Norden ein</li> <li>sf drehen im Bachbett des Bretterwandbaches in ein Südfallen zurück</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nackentäler</li> <li>Knickfalten von mehreren m-Größe</li> <li>Scherzonen und -bänder (u.a. Kakirite)</li> <li>Knickfalten von cm- bis dm-Größe</li> <li>Querstörungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oberflächennah: Rotation der sf vom Südfallen in ein Nordfallen</li> <li>Berginneres: konstante nordwärts gerichtete Rotation der sf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überschreiten der Trennflächen- und Gesteinsfestigkeit</li> <li>Große Scherverschiebungen an den Lamellen, Ausbildung von plastischen Zonen</li> <li>Oberflächennah Extension mit Zugversagen</li> </ul>
<b>Unterhang (Stirn)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PHY, oft GPHY</li> <li>UCS: 1-25 MPa</li> <li>GSI 18-28</li> <li>Trennflächen häufig glatt, untergeordnet rau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sf einheitlich nordfallend</li> <li>sf drehen im Bachbett des Bretterwandbaches in ein Südfallen zurück</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestuftes Geländeprofil („Sägezahnprofil“)</li> <li>Nackentäler</li> <li>Knickfalten von cm- und dm-Größe</li> <li>Scherzonen und -bänder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talwärts gerichtete Rotation der sf</li> <li>Biegekippen der Gesteinslamellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überschreiten der Trennflächen- und Gesteinsfestigkeit</li> <li>Große Scherverschiebungen an den Lamellen, Ausbildung von plastischen Zonen</li> </ul>

Die Farben der Tabelle entsprechen den ausgewiesenen Bereichen in der Strukturgeologischen Karte, Anlage E.2 und E.3 bzw. in der Abbildung 6.5., Kap. 6.





# 10 Klassifizierung der Hangbewegung Bunkögele

## 10.1 Allgemeines

Wer sich mit der Literatur der Hangbewegungen auseinandersetzt, stößt auf eine Vielzahl unterschiedlicher Klassifikationen wie beispielsweise die von SHARPE (1938), NEMCOK ET AL. (1972), VARNES (1978), CRUDEN & VARNES (1996), HUTCHINSON (1988) oder HUNGR & EVANS (2004). Die Unterscheidung der Massenbewegungen erfolgt dabei nach unterschiedlichen Kriterien oder einer Kombination daraus. Das können die Geomorphologie, die Art des Materials, die Prozessart, die Geschwindigkeit usw. sein. Eine ausführliche Zusammenstellung zur historischen Entwicklung der Einteilung von Hangbewegungen findet sich bei RIEDMÜLLER (2003).

Ein heute etabliertes Klassifikationsschema bildet das von VARNES (1978), welches in seiner ursprünglichen Fassung weiterentwickelt auch von der WP/WLI<sup>1</sup> (1990) aufgenommen wurde. Dabei werden die Massenbewegungen nach der Art des Materials (Boden, Fels) und des Prozesses (Fallen, Gleiten, Kippen, Fließen, laterales Zergleiten) untergliedert. Für tiefreichende Massenbewegungen wie beim Bunkögele ergibt sich bei Anwendung des Schemas die Bezeichnung „Felsfließen“ (engl. *rock flow*). Dieser Begriff gibt zwar Hinweise auf das rheologische Verhalten des Materials, nimmt aber keinen Bezug auf die Kinematik. D.h., es ist nicht klar, ob der Prozess beispielsweise ein langsames Kippen oder Gleiten darstellt. Das Schema von VARNES (1978) lässt für tiefgreifende langsame Massenbewegungen Fragen zur Mechanik offen und ist für diese nur bedingt geeignet.

ZISCHINSKY (1966a) hat basierend auf seinen Untersuchungen eine allgemein gültige Typisierung der tiefreichenden Massenbewegungen vorgeschlagen. Er folgt dabei mechanischen Gesichtspunkten und nennt Bewegungen im Fels, die sich innerhalb einer breiten plastischen Zone verformen, „Sackungen“. Charakteristisch für diese Bewegungen ist, dass die Geschwindigkeiten von der Hangoberfläche bis zur Basis der bewegten Masse kontinuierlich auf Null abnehmen. Im Unterschied dazu stehen seiner Ansicht nach die „Gleitungen“, bei denen die Verformung entlang einer oder mehrerer diskreter Flächen an der Basis der bewegten Masse konzentriert ist. Die Größe der Geschwindigkeiten ist im Profil betrachtet von der Oberfläche bis zur Gleitfläche etwa gleich groß.

Unglücklicherweise ist der Begriff „Sackung“ zur Erklärung der Mechanik ungünstig gewählt. Wie aus der Literatur zu den Massenbewegungen hervorgeht, werden damit unterschiedlichste Dinge angesprochen HEIM (1932) verwendete den Begriff für steil nach unten gerichtete Bewegungen, bei denen die Struktur der Masse noch einigermaßen erhalten geblieben ist. Häufig wird Sackung daher für geomorphologische Phänomene verwendet, aus denen ein Absitzen des Geländes hervorgeht (WP/WLI 1993). HERMANN ET AL. (2001) zum Beispiel beschreiben drei Entwicklungsstadien für tiefgreifende Massenbewegungen. Das Endstadium (drittes Stadium), welches er als Sackung im klassischen Sinne bezeichnet, ist durch einen ausgeprägten konkaven Oberhang und einen konvexen Fuß gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu lässt sich beim Stadium eins kein konvexer Fuß erkennen. Beim Stadium zwei ist der Fuß leicht nach außen gewölbt.

---

<sup>1</sup> Working Party on World Landslides Inventory

In vielen Publikationen wird in Anlehnung an ZISCHINSKY (1966b) zur Erklärung der Mechanik von tiefgreifenden Massenbewegungen im Fels der Begriff „Sackung“ (engl. *sagging*) verwendet. Dazu einige Beispiele:

NEMCOK ET AL. (1972) beziehungsweise ZARUBA & MENCL (1982) bezeichnen tiefgreifendes Kriechen im Fels als Sackung. RADBRUCH-HALL ET AL. (1976) und SAVAGE & VARNES (1987) rechnen das „Gravitative Auseinandergleiten von steilen Gebirgskämmen“ zu den Sackungen. HUTCHINSON (1988) unterteilt das tiefgründige Kriechen nochmals in ein Sacken von Gebirgshängen. Er kombiniert dabei geomorphologische Merkmale tiefgreifender Massenbewegungen mit unterschiedlicher Mechanik, wie beispielsweise „Rotatives Sacken auf einer Gebirgsseite“ oder „Sacken im Zusammenhang mit Toppling“, sodass ein verwirrendes System entsteht. DRAMIS & SORRISO-VALO (1994) führen eine Untergliederung der „Tiefreichenden Gravitativen Hangdeformationen“ (engl. *DGSD – deep-seated gravitational slope deformations*) durch. Die genannten Autoren setzen das Felsfließen nach VARNES (1978) dem Sacken von ZISCHINSKY (1966b) gleich, nicht jedoch das „Laterale Auseinandergleiten von Kämmen“ (vgl. RADBRUCH ET AL. 1976, SAVAGE & VARNES 1987).

Die Ausführungen zeigen, dass der Begriff „Sackung“ einmal zur Beschreibung von geomorphologischen Phänomenen und ein anderes Mal zur Erklärung von unterschiedlichen Mechanismen tiefgründiger Hangbewegungen verwendet wird. Dies führt zwangsläufig zu einer Verwirrung. Eine klare Trennung der unterschiedlich assoziierten Begrifflichkeiten ist hiedurch nicht mehr möglich. Grundsätzlich sollte daher der Begriff „Sackung“, zumindest zur Erklärung der Mechanik von Hangbewegungen, nicht weiter verwendet werden (ZANGERL ET AL. 2007, POISEL & KIEFFER 2009).

Auch wenn ZISCHINSKYs Begriff der „Sackung“ aus den genannten Gründen unglücklich gewählt ist, so hat er doch die Mechanik als Grundlage zur Erklärung der geomorphologischen Strukturen und der Bewegungsmuster herangezogen. Gleiches finden wir auch in der Strukturgeologie, wo derselbe Weg beschritten wird (RAMSAY & HUBER 1983, 1987; TWISS & MOORES 1992).

In der Praxis haben sich Klassifikationen, die speziell auf die Mechanik des Prozesses eingehen, wie beispielsweise von POISEL (1998), GOODMAN & KIEFFER (2000) und HUNGR & EVANS (2004) bewährt. Sie beruhen auf grundlegenden, auf die Kinematik ausgerichteten Versagensmechanismen unter Berücksichtigung der Festigkeit und des Verformungsverhaltens von Gestein und Trennflächen. Der Vorteil, der sich daraus für den Praktiker ergibt, ist, dass rasch eine Einschätzung erfolgen kann, wie und unter welchen Voraussetzungen ein Hang versagen wird. Dies hat sich besonders bei der numerischen Modellierung von Hanginstabilitäten bewährt, da die zu erwartende Mechanik der Bewegung in entscheidender Art und Weise den Modellaufbau bestimmt. Zum Beispiel geht es um Fragen, ob der Fels als Kontinuum oder als Diskontinuum betrachtet werden soll, oder um die Gewichtung der geotechnischen Eigenschaften von Gestein und Trennflächen. Nur richtig getroffene Annahmen sind dann imstande, einen in der Natur vorgegebenen Versagensmechanismus abzubilden bzw. eine Prognose über die weiteren Entwicklungen zu stellen. In Anbetracht dessen erscheint die Kartierung nach geomechanischen Gesichtspunkten als Voraussetzung für die numerische Modellierung unumgänglich. Zudem ist auch das Erkennen von grundsätzlichen, sich aus dem

Trennflächengefüge und der Geometrie des Hanges ergebenden Versagensmustern in jedem Fall notwendig.

## 10.2 Die Hangbewegung Bunzkögele im Vergleich mit anderen Massenbewegungen

Das Versagen am Bunzkögele ist ein Versagen von Gesteinslamellen, die in die gleiche Richtung wie der Hang, jedoch wesentlich steiler als dieser einfallen. Ausgelöst durch Abschiebungen im Oberhang deformieren sich die Lamellen im Inneren des Berges S-förmig. Am Unterhang (Stirn i.w.S.) wird die S-förmige Deformation der Lamellen durch ein Biegekippen abgelöst. Das Versagen ist komplexer Natur und lässt sich nicht durch einen einzigen Mechanismus darstellen. Damit sich der beschriebene Mechanismus nachvollziehen lässt, werden zuerst einige grundsätzliche, ausgewählte Arten des Hangversagens erörtert (Abbildung 10.1).

### a) *Hangkriechen (engl. rock creep)*

Kriechen im Allgemeinen bedeutet eine langsame zeitabhängige Verformung bei gleichbleibenden Spannungen. Unter Annahme eines Materialverhaltens nach Bingham tritt in der Böschung bei Überschreiten der Gebirgsfestigkeit ein Hangkriechen auf. Dieses ist durch die Abnahme des deviatorischen Spannungsanteils mit der Tiefe gekennzeichnet. Die Verschiebungen nehmen hiedurch kontinuierlich auf Null ab. Eine basale diskrete Gleitbahn ist daher nicht ausgebildet (POISEL & PREH 2004a). Charakteristische geomorphologische Phänomene des Hangkriechens sind Zugrisse, die am Kopf des Hanges auftreten und ein konvex gewölbter Fuß.

### b) *Biegekippen (engl. flexural toppling)*

Beim Biegekippen rotieren meist steil in den Hang einfallende, schlanke Klufkörper talwärts. Der Prozess inkludiert Verschiebungen an den Trennflächen der Klufkörper und ein plastisches Versagen des Materials. Das setzt eine geringe Festigkeit von Material und Trennflächen voraus. Der Mechanismus stabilisiert sich häufig von selbst, da mit zunehmender Rotation der Klufkörper die Scherspannung an den Trennflächen maßgeblich reduziert wird (NICOLE ET AL. 2002, HUNGR & EVANS 2004).

### c) *Blockrotationsrutschung (engl. rock slumping)*

- bezeichnet nach KIEFFER (1998, 2003) das Gleiten und die bergwärts gerichtete Rotation von steil hangauswärtsfallenden Klufkörpern. Das Gleiten findet sowohl an der Basisfläche als auch an den begrenzenden Flächen der Klufkörper statt. Dieser Mechanismus wurde bereits im Kap. 8, Pkt. 8.5.7.6 eingehend beschrieben.

d) *Knicken* (engl. *buckling*)

- bezeichnet ein Druckversagen von schlanken, säulen- bis tafelförmigen Kluftkörpern, die durch ein hangparalleles Set von Klüften gebildet werden (GOODMAN & KIEFFER 2000). Eine Grundvoraussetzung für den Mechanismus ist, dass der Reibungswinkel der Klüfte kleiner als der Böschungswinkel ist (PREH 2004b). Materialschwächen oder eine geringfügige Verbiegung einer Lamelle in Bereichen von Spannungskonzentrationen können zum Versagen führen (CAVERS 1981).

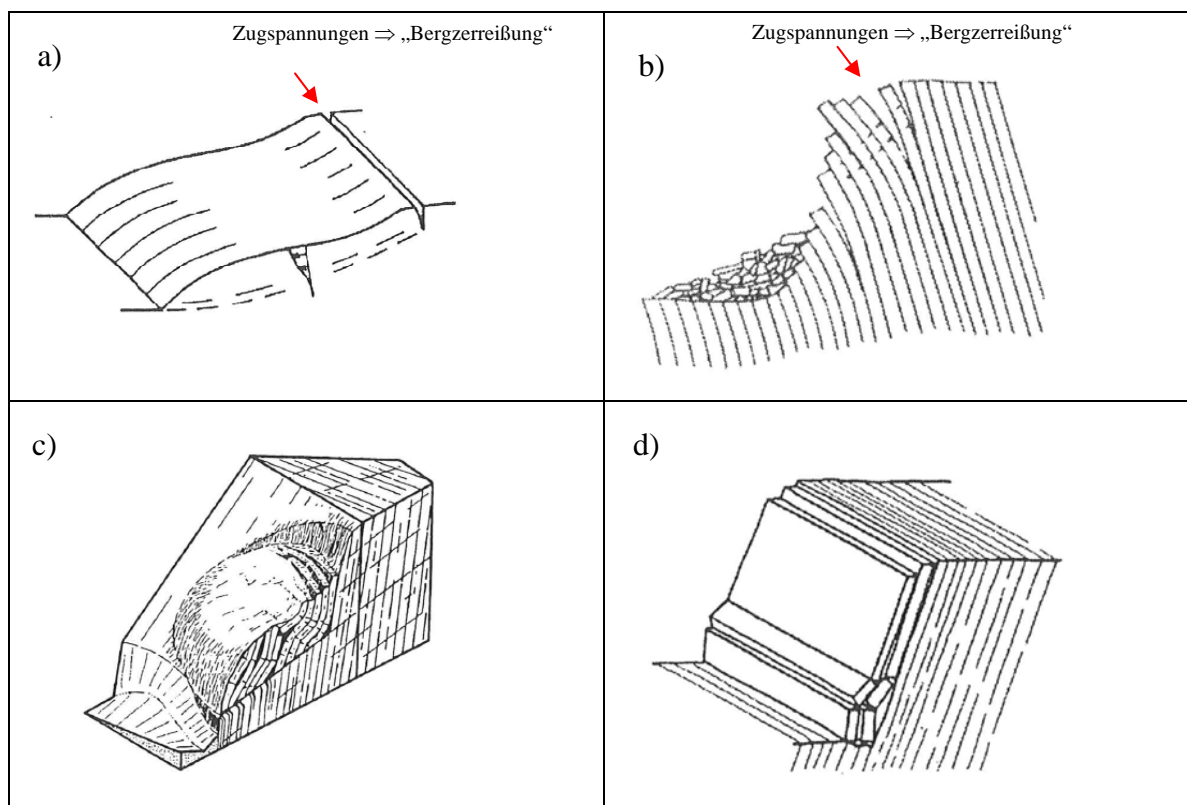


Abbildung 10.1: Auswahl unterschiedlicher Versagensmechanismen

- a) Hangkriechen
- b) Biegekippen nach GOODMAN & BRAY (1976)
- c) Blockrotationsgleitung nach KIEFFER (1998, 2003)
- d) Knicken

alle Abbildungen aus POISEL & PREH (2004a); Abbildung a) und b) ergänzt

Die von ZISCHINSKY (1966b, 1969b) beschriebene Sackung entspricht aus mechanischer Sicht dem Hangkriechen (POISEL & PREH 2004a), Abbildung 10.1a). Synonyme Bezeichnungen sind „Felskriechen“ (SHARPE 1932), „Massenkriechen“ (TERZAGHI 1960) oder „Felsfließen“ (VARNES 1978). Wie erwähnt, wird der Prozess allgemein durch eine geringe Gebirgsfestigkeit und +/- isotropes Materialverhalten bestimmt. Beim Hangkriechen treten am Oberhang zuerst Zugspannungen und in der Folge Zugversagen auf (ZIENKIEWICZ ET AL. 1975, POISEL 1998). Typische geomorphologische Phänomene dafür sind Spalten, Nackentäler, eine Auflösung in Türme und Grate, Absetzungen im Gelände etc., die oft mit dem Begriff „Bergzerreißung“ (AMPFERER 1939, 1940) subsummiert werden. Beim Bunkkögele, das in gewisser Art und Weise den Locus Typicus

der Sackung darstellt, tritt ein Zugversagen am Oberhang nicht auf. Der Mechanismus dort stellt lediglich ein Scherversagen von abgeschobenen, tafelförmigen Kluftkörpern entlang der Schieferung dar (s. Kap. 8., Pkt. 8.5.2). Unrichtigerweise wurden die Abschiebungen im Oberhang von ZISCHINSKY (1966a) als Formen von Bergzerreißung, i.e. als Zugversagen interpretiert.

Nach POISEL & PREH (2004a) stellen das Hangkriechen und das Kippen in Bezug auf die Geschwindigkeitsverteilung ähnliche Bewegungen dar. Dies trifft speziell dann zu, wenn die Abstände der Trennflächen, wie beispielsweise in geschieferten Gesteinen, eng sind. Im Gegensatz zum Hangkriechen, welches nur von der Festigkeit des Gebirges abhängig ist, wird das Kippen maßgeblich durch die räumliche Stellung der Diskontinuitäten und ihrer Festigkeit bestimmt. Das Problem bei ZISCHINSKYS mechanischem Modell (ZISCHINSKY 1966b, 1969a, 1969b) stellt die Idealisierung der Böschung als Kontinuum dar. Die Diskontinuitäten des Bunzkögeles bleiben darin unberücksichtigt. D.h., auch wenn das Geschwindigkeitsprofil des Hangversagens am Bunzkögele dem des Hangkriechens entspricht, so sind die beiden Prozesse doch unterschiedlich zu betrachten.

RADBRUCH-HALL ET AL. (1976) und SAVAGE ET AL. (1987) haben das gravitative Auseinanderdriften von Gebirgskmmen mit typischen Spalten, Nackentälern, bergwärts zeigenden Abbrüchen etc. als Sackung im Sinne von ZISCHINSKY (1966b) bezeichnet. Der von den genannten Autoren gewählte mechanische Modellansatz geht von einem plastischen Fließen des Gebirgskörpers zur Erklärung der Strukturen aus. Sie betrachten den Hang wie ZISCHINSKY als Kontinuum. Ein laterales Auseinanderdriften trifft für das Bunzkögele jedenfalls nicht zu.

Bei NEMCOK ET AL. (1972) ist ein Hangversagen abgebildet, welches eine ähnliche S-förmige Struktur der deformierten Kluftkörper wie am Bunzkögele zeigt (Abbildung 10.2). Die Abschiebungen folgen, was mechanisch richtig ist, dem vorgegebenen Trennflächenset und schneiden nicht wie bei ZISCHINSKY (1966b) das Trennflächenset quer durch (Kap. 9, Abbildung 9.1, rote Pfeile). Die obigen Autoren ordnen den Mechanismus dem tiefliegenden Kriechen, das oberflächennah, am Kopf des Hanges in spröde Gleitflächen (dick gezeichnete Trennflächen in der Abbildung 10.2) bergeht, zu. Sie sprechen in diesem Zusammenhang von „Talzuschub“ und „Bergzerreißung“. Die mechanische Relevanz der Trennflächen wird nicht gesondert beschrieben. Ähnlich wie bei ZISCHINSKY (1966a, 1969a, 1969b) wird das Hangversagen, welches durch die vorgegebenen Schieferungsflächen geprägt ist, als ein Kontinuum simplifiziert.

CHIGIRA (1991) beschreibt Massenbewegungen in geschieferten Gesteinen Japans unter gleichen strukturellen Voraussetzungen und mit den gleichen Deformationstrukturen wie beim Bunzkögele. Er bezeichnet diese durch die Schwerkraft bedingte Langzeitverformung des Gebirges als „gravitatives Gesteinsmassenkriechen“ (engl. „*gravitational mass rock creep*“ bzw. einfach als „*mass rock creep*“ - MRC) und erklärt den Versagensmechanismus im Sinne von RADBRUCH-HALL ET AL. 1978 als ein Knicken von geschieferten Gesteinslagen.

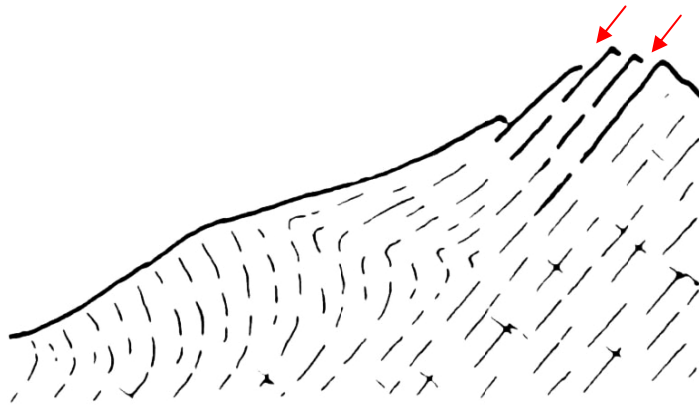


Abbildung 10.2: S-förmiges Deformationsbild bei steil hangauswärtsfallenden, tafelförmigen Kluftkörpern nach NEMCOK ET AL. (1972), ergänzt (Abschiebungen mit roten Pfeilen gekennzeichnet)

Nach KIEFFER (1998) wäre der Versagensmechanismus am Bunzkögele als eine „Knickbandsackung“ (engl. *kink-band slumping*), die sich aus der Kombination des Rock-slumping und des Knickens (engl. *buckling*) zusammensetzt, zu bezeichnen. In dem von KIEFFER gezeichneten Bild (Abbildung 10.3), das die Trennflächen des Gebirges berücksichtigt, wird deutlich, dass das Versagen primär ein Scherversagen entlang dieser Flächen ist. Ein Zugversagen am Oberhang tritt nicht auf. Tatsächlich rotieren bei der Massenbewegung Bunzkögele wie beim Rock-slumping die oberen Lamellen bergwärts (s. Kap. 8, Abbildung 8.26). In Bezug auf das Knicken der Gesteinslamellen ist festzuhalten, dass beim Knicken im Sinne von EULER 1744 (nachzusehen beispielsweise bei MESTEMACHER 2008) ein plötzlicher Stabilitätsverlust durch die Lageveränderung des beanspruchten Elements eintritt. Auf eine Böschung angewandt erfordert dies ein freies Vorfeld (Abbildung 10.1d). Beim Bunzkögele hingegen verformen sich die Lamellen auch im Inneren des Berges. Dieser Vorgang lässt sich eher mit der Bildung einer breiten Scherzone als mit einem oberflächennahen Knicken im klassischen Sinn erklären. Jedenfalls beschreibt der Begriff der „Knickbandsackung“ das Phänomen der Massenbewegung Bunzkögele am besten.



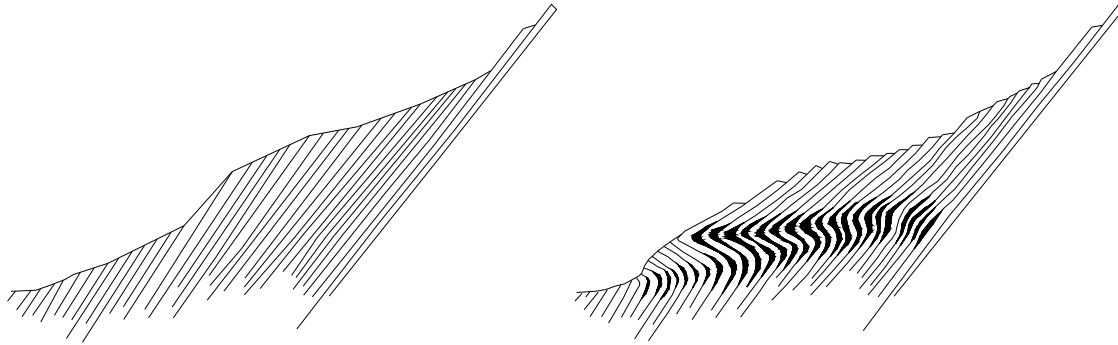


Abbildung 10.3: Entstehung einer Knickbandsackung (*kink-band slumping*)

nach KIEFFER (1998)

a) undeformierter Hang

b) deformierter Hang (schwarze Bereiche sollen auf die ausgeprägte Dilatanz der Bewegung hinweisen)

Die Modellierung des Hangversagens mit UDEC hat gezeigt, dass die Knickbandsackung und das Biegekipp mechanisch ähnlich funktionieren. Aus der durchgeführten Parameterstudie geht hervor, dass es zur Bildung der S-förmigen Struktur der Klufkörper nur kommt, wenn der Anteil der Kohäsion an der Gesteinsfestigkeit angemessen hoch ist. Ist hingegen die Kohäsion sehr niedrig, dann tritt ein Biegekipp auf (Kap. 8, Pkt. 8.5.6.1.2). In Bezug auf die Geschwindigkeitsprofile ist festzustellen, dass beim Biegekipp eine kontinuierliche Abnahme von der Oberfläche bis zur Basis der Bewegung erfolgt. Bei der Knickbandsackung hingegen ist die Geschwindigkeit von der Oberfläche bis zur Mitte (obere Achsenebene der Knickfalte) etwa gleich groß und nimmt dann erst kontinuierlich bis zur Basis der Bewegung auf Null ab (s. Kap. 8, Abbildung 8.25).

Der Versagensmechanismus des Bunzkögeles ist eine vom Maßstab unabhängige Erscheinungsform. Neben der Großstruktur tritt der beschriebene Mechanismus auch in deutlich kleineren Dimensionen auf. Zum Beispiel kann die S-förmige Verbiegung der Gesteinslamellen auch bei der Hangbewegung Epling, zwischen Bretter- und Sunzgraben, beobachtet werden (s. Kap. 11, Pkt. 11.2). Die Tiefe der Massenbewegung beträgt dort lediglich etwa 200 m gegenüber 350 m beim Bunzkögele. Die nur wenige Dezimeter große Scherzone des Aufschlusses HBWG-05 (s. Anlage A.2 und Kap. 6, Abbildung 6.22) bildet ebenso den beschriebenen Versagensmechanismus der Großhangbewegung ab. Das letzte Beispiel zeigt, dass die S-förmige Struktur der Hangbewegung Bunzkögele als eine großdimensionale, breite Scherzone zu betrachten ist. Das Versagen in unterschiedlichen Größenordnungen wird neben den niedrigen Kennwerten für das Gebirge zudem von der Schlankheit der Lamellen bestimmt: Das Verhältnis der Höhe zur Breite der Lamelle kann aus dem Auftreten der Abschiebungen im Oberhang annähernd ermittelt werden und beträgt mindestens 5:1. Die Lamellenhöhe ergibt sich aus dem ursprünglichen Geländeverlauf zur Basis der Massenbewegung.

Aus den bisher angeführten Erläuterungen lassen sich die speziellen Voraussetzungen, unter denen sich das Versagen der Knickbandsackung ausbilden kann, definieren. Diese lauten:

- a) Es bedarf eines diskreten Trennflächensets, welches mehr oder weniger parallel zum Hang streicht, das aber bedeutend steiler als dieser einfällt. Der Hang wird so in eine Reihe von Lamellen unterteilt.
- b) Es dürfen keine flachen, hangauswärtsfallenden Trennflächen mit großer Erstreckung vorhanden sein, da sich ansonsten andere Versagensmechanismen, wie etwa Gleitungen, einstellen.
- c) Die Festigkeiten des Gesteins und der Trennflächen müssen klein sein, sodass sowohl die Trennflächen als auch das Gestein versagen. Durch die geringe Trennflächenfestigkeit können die Teilverschiebungen zwischen den Gesteinslamellen stattfinden. Die geringe Gesteinsfestigkeit führt zur Ausbildung von breiten plastischen Zonen.
- d) Der Anteil der Kohäsion an der Gesteinsfestigkeit muss entsprechend hoch sein, da bei niedrigen Werten lediglich ein Biegekippen zu beobachten ist.
- e) Die typische S-förmigen Verbiegung der Lamellen, i.e. Knickfaltung hängt wesentlich mit der Schlankheit der Lamellen zusammen, die mindestens bei 5:1 liegt.

### 10.3 Abschließende Bemerkungen

Die Hangbewegung Bunzkögele ist mechanisch gesehen zwischen dem Hangkriechen und dem Biegekippen einzuordnen. Zu beiden bestehen Ähnlichkeiten, aber auch Unterschiede.

Bezugnehmend auf das Hangkriechen fehlt am Gipfelhang des Bunzkögeles ein Zugversagen; es tritt nur ein Scherversagen an der vorgegebenen Schieferung auf. Das Geschwindigkeitsprofil im oberen und mittleren Abschnitt entspricht aber dem des Hangkriechens (Kap. 9, Abbildung 9.4).

Die Ausbildung der S-förmigen Struktur der tafelförmigen Kluftkörper wird neben der geringen Festigkeit der Trennflächen von der Kohäsion des Gesteins und der Schlankheit der Kluftkörper bestimmt. Ist der Anteil der Kohäsion an der Gesteinsfestigkeit niedrig, so erfolgt ein Biegekippen. Beim Biegekippen tritt wie beim Hangkriechen ein Zugversagen am Oberhang auf. Die Geschwindigkeitsverteilung nimmt von der Oberfläche bis zur Basis kontinuierlich ab. Beim Versagensmechanismus am Bunzkögele (Knickbandsackung) hingegen weist die Geschwindigkeit bis zum oberen Scharnier der Knickfalte etwa eine konstante Größe auf und nimmt dann erst bis zur Basis auf Null ab. Ein Zugversagen in den Gipfelbereichen fehlt.

Aufgrund der beschriebenen Unterschiede wird das Versagen am Bunzkögele, wie PREH & POISEL (2004) bereits postulierten, als ein eigenständiger Mechanismus betrachtet, da eine Zuordnung zum Hangkriechen einerseits, aber auch zum „reinen“ Biegekippen andererseits zu Missverständnissen und Verwirrung führt. Zudem ist der Versagensmechanismus als komplex zu bezeichnen. Er setzt sich aus der S-Deformation der tafelförmigen Kluftkörper im oberen und mittleren Hang und einem Biegekippen an der Stirn zusammen. Der Begriff „Knickbandsackung“ von KIEFFER (1998) würde sich für diesen Typ von Hangbewegung jedenfalls anbieten.

## 11 Weitere Hangbewegungen im Einzugsgebiet des Bretterwandgrabens

Im Einzugsgebiet des Bretterwandgrabens treten neben der Hauptbewegung Bunkögele noch weitere eigenständige Massenbewegungen auf. Nachfolgend werden ihre speziellen Strukturen beschrieben und, soweit es die Aufschlussverhältnisse zulassen, die Kinematik erklärt.

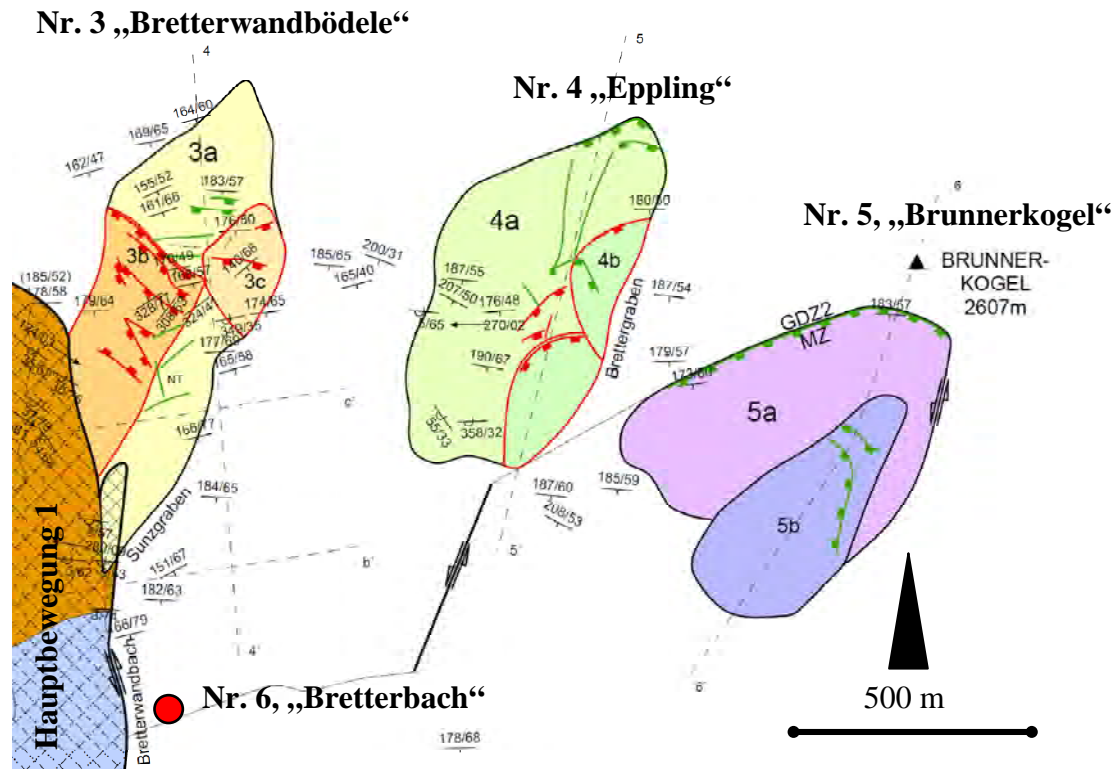


Abbildung 11.1: Strukturgeologische Karte der Massenbewegungen, östlich der Hauptbewegung Bunkögele (Legende s. Anlage E.2)

### 11.1 Hangbewegung Bretterwandbödele, Nr. 3

Am oberen Ende des Bretterwandbaches, am östlichen Rand zur Hauptbewegung des Bunkögeles, trifft man zwischen dem Haupt- und Sungzgraben auf eine tieferreichende Massenbewegung (Abbildung 11.1, Nr. 3). Auf Basis der Kartierung lassen sich drei Bewegungen differenzieren:

- die alte, ursprüngliche, nach südgerichtete Bewegung (Nr. 3a)
- eine jüngere Folgebewegung Richtung Südwesten zum Bretterwandgraben (Nr. 3b)
- eine jüngere Folgebewegung Richtung Südosten zum Sungzgraben (Nr. 3c)

Zu a) Aufgrund unzureichender Aufschlussverhältnisse, die aus der Überprägung sekundärer Massenbewegungen (Bewegung Nr. 3b und 3c) resultieren, lässt sich die ursprüngliche Bewegung (3a) kaum noch erkennen. Die Mechanik dürfte aber wie die der

Hauptbewegung am Bunzkögele von der vorgegebenen Schieferung bestimmt worden sein. Über die eingemessenen Schieferungsflächen konnte ebenso eine Knickbandsackung rekonstruiert werden (Abbildung 11.4; Anlage B1, Nr. 15). Geomorphologischen Kriterien folgend wird die Hauptabschiebung am Fuß der Bretterwand angenommen (Abbildung 11.2). Der Mittelabschnitt, welcher durch Extension geprägt ist, entspricht einem flachen Geländebereich, der als „Bretterwandbödele“ bezeichnet wird. Am Bödele sind typische Dehnungsstrukturen wie Spalten und Nackentäler aufgeschlossen. Die Schieferungsflächen rotieren hier vom aufrechten Südfallen in ein überkipptes Nordfallen (Abbildung 10.3 und Abbildung 11.4).

Eine zweite mögliche kinematische Deutung ist, dass der Hang nur von einem Biegekippen erfasst wurde. Das Bretterwandbödele repräsentiert dann die Zugzone am Kopf der Hangbewegung.

Zu b) Die beschriebene, älter einzustufende Massenbewegung (Nr. 3a) wurde in der Folge durch weitere Bewegungen überprägt. In Richtung Bretterwandgraben ist der Gesteinsverband vollkommen aufgelöst und besitzt heute nur noch Eigenschaften eines Lockermaterials. Der Hang ist mehrfach in Schollen abgesessen (Abbildung 11.3). Die Verflachungen am Kopf der Schollen weisen auf Rotationsrutschungen hin. Etwa in der Mitte des Hanges treten ergiebige Quellen aus. Die Böschung ist von hier bis zum Graben stark vernässt. Am Kopf der Bewegungen, welcher den Westrand des Bretterwandbödeles darstellt, finden sich offene Risse und gespannte Wurzeln. Diese Kennzeichen und die sich öffnenden Risse bei den obersten Wildbachsperrern weisen auf aktive, relativ langsame Bewegungen hin. Aktive Bewegungen wurden in den 90er Jahren von KREUZER (1993) im Zuge seiner Diplomarbeit durch Relativmessungen (Abstandsmessungen an Rissen) an den Wildbachsperrern festgestellt. Die Fortsetzung der Messungen zeigt bis heute an der obersten Wildbachsperre bei HM 52,06 einen eindeutigen Trend. Die Verschiebungen betragen sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung 1 bis 2 Millimeter/Jahr. Die vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung beauftragten refraktionsseismischen Messungen ergaben für den Hang ein Untergrundmodell bestehend aus drei Schichten (FORSTTECHNISCHER DIENST für WILDBACH UND LAWINENVERBAUUNG 1989). Die P-Wellengeschwindigkeiten für die einzelnen Schichten lauten:

Schicht 1: 500 bis 870 m/s

Schicht 2: 1140 bis 1600 m/s

Schicht 3: 3660 bis 5000 m/s

Die seismische Schicht 1 entspricht dem vorhandenen phyllitischen Lockermaterial. Sie weist eine Mächtigkeit von 5 bis 20 Meter auf und ist jedenfalls von den aktiven Kriechbewegungen erfasst. Die Schicht 2 ist bis zu 30 Meter mächtig und wird als ein stark aufgelockerter Fels, mitunter auch als wassergesättigtes Lockermaterial, interpretiert. Diese Zone keilt abschnittsweise aus und ist nicht flächendeckend vorhanden; sie dürfte in die aktiven Kriechbewegungen noch mit eingebunden sein. Erst die P-Wellengeschwindigkeiten der Schicht 3 weisen auf den festen Felsuntergrund hin.

Der starke Zerlegungsgrad und die Aktivität der Bewegung Nr. 3b stehen mit der Hauptbewegung des Bunzkögeles in einem Zusammenhang: Wie in Kap.6, Pkt. 6.3.5.1 beschrieben wurde, greift die Hauptbewegung auf den linken Einhang des

Bretterwandgrabens über. Das Gestein lag daher vollkommen zerschert und entfestigt (Anlage A.2: HBWG-19) vor, was für die Ausbildung der sekundären Bewegung Nr. 3b Richtung Bretterwandgraben entscheidend war.

Trotz des Übergreifens der Hauptbewegung auf den orografisch linken Einhang ist die ursprünglich angelegte Massenbewegung Nr. 3a zwischen Sunz- und Bretterwandgraben als eigenständige Bewegung zu sehen. Dies geht aus den unterschiedlich starken Beanspruchungsgraden der beiden Bewegungen hervor: die Bewegungsmasse der Hauptbewegung Bunzkögele ist deutlich stärker zerlegt als die Masse der Bewegung Nr. 3a. Zudem kann der Ostrand der Hauptbewegung aus kinematischen Überlegungen nicht allzu weit im Osten gelegen haben.

Zu c): Richtung Sunzgraben sind durch Folgebewegungen mehrere Teilschollen tiefer gesetzt (Abbildung 11.1, 3c). Der Gesteinsverband dieser Massenbewegung ist gegenüber der Massenbewegung Richtung Bretterwandgraben (Nr. 3b) noch einigermaßen erhalten.

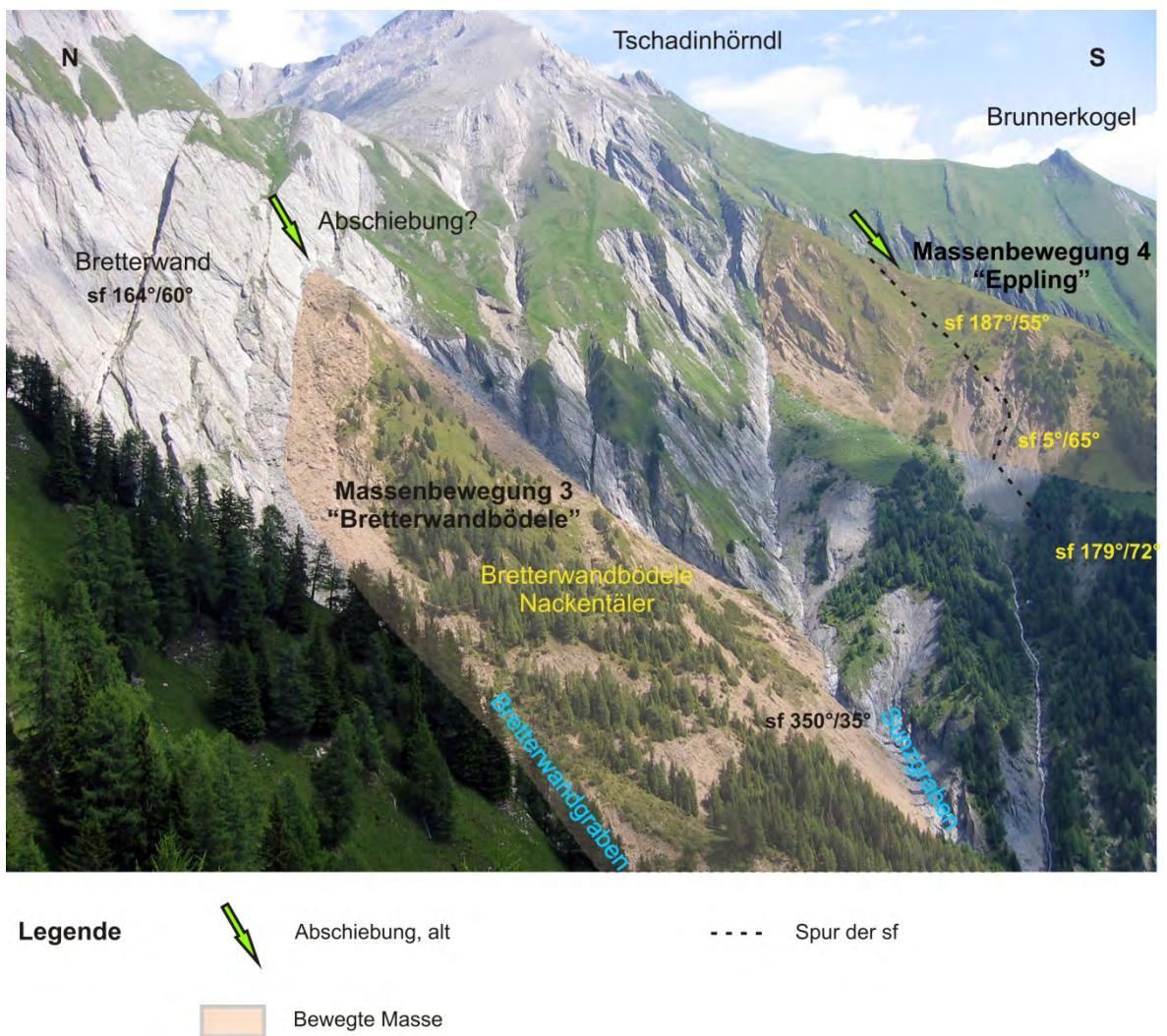
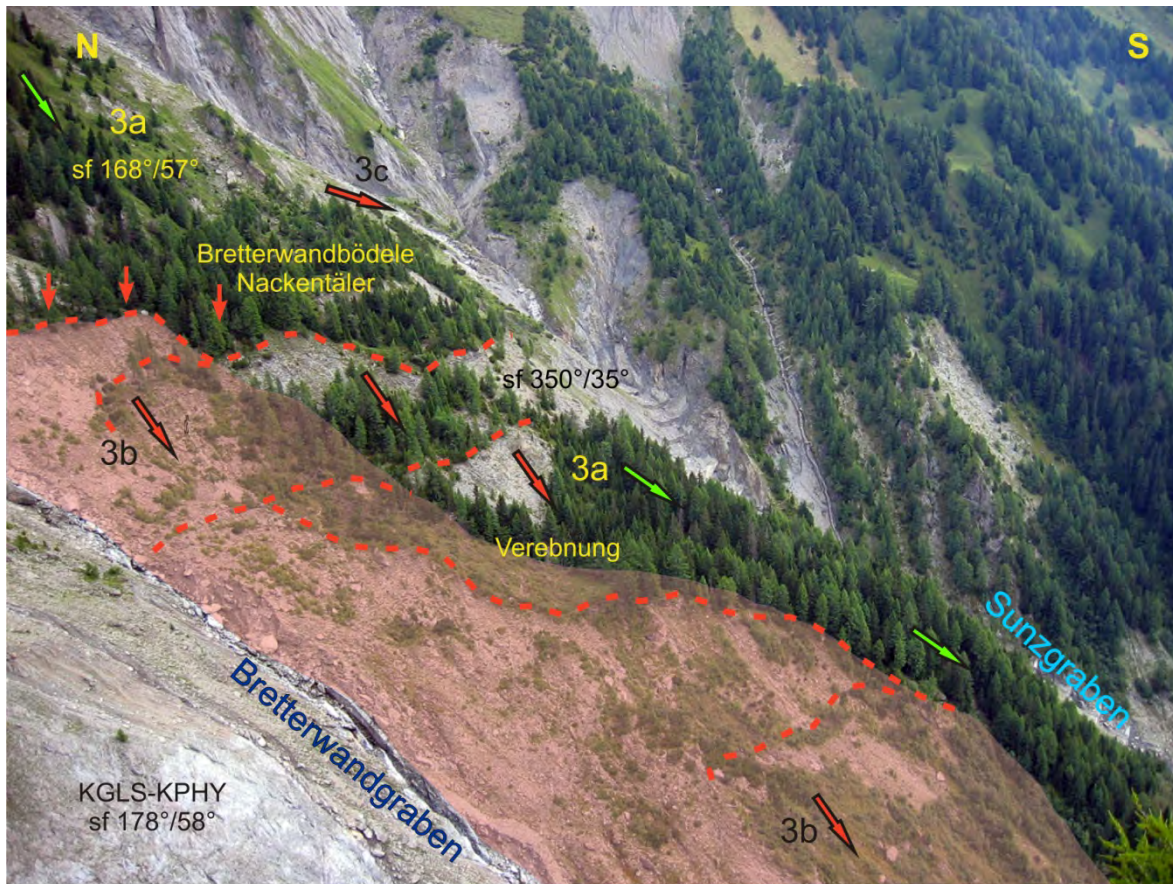


Abbildung 11.2: Überblick der Massenbewegung Bretterwandbödele (Nr. 3, oberer Teil) und der Massenbewegung Eppling (Nr. 4)





Legende






- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | Ursprüngliche Bewegung (3a)                              |  | Abrisskanten  |
|  | Sekundäre Folgebewegung (3b, 3c)                         |  | aktive Zerspalten                                   |
|  | Aktive Massenbewegung<br>im phyllitischen Lockermaterial |   | KGLS-KPHY... Kalkglimmerschiefer<br>und Kalkphyllit |

Abbildung 11.3: Überblick der Massenbewegung Bretterwandbödele (Nr. 3, unterer Teil)



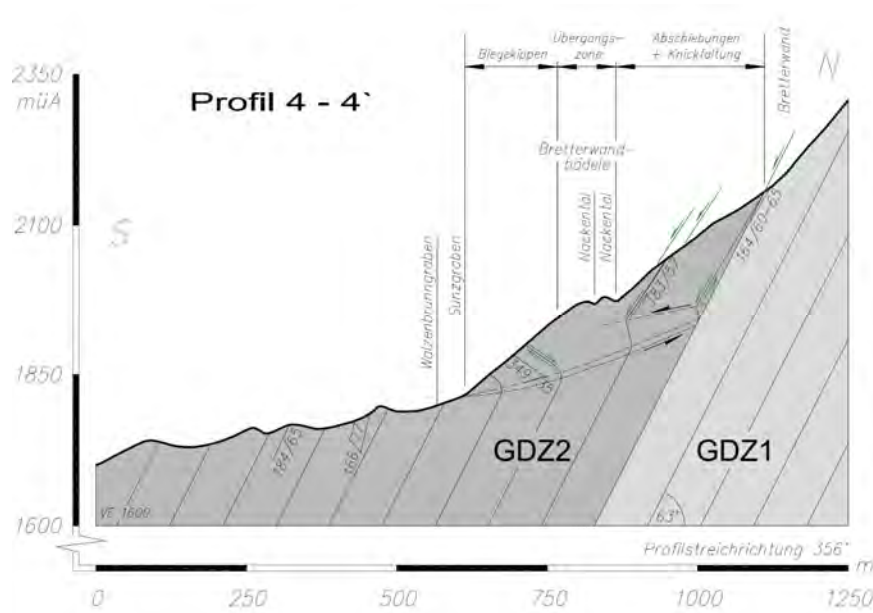


Abbildung 11.4: Längsprofil der Massenbewegung Bretterwandbödele; Interpretation der ursprünglich südgerichteten Bewegung (Nr. 3a); Legende s. Anlage E.4

### 11.2 Hangbewegung Eppling, Nr. 4

Am Felsrücken Eppling zwischen Bretter- und Sunzgraben tritt eine weitere Massenbewegung auf. Am breiten Rücken sind in den Wiesenhängen deutliche Absetzungen und Nackentäler (Abbildung 11.5) erkennbar.



Abbildung 11.5: Massenbewegung am Felsrücken Eppling (Nr. 4, Abbildung 11.1 und Abbildung 11.2)  
 a) Ost-West bis Nordost-Südwest gerichtete Nackentäler resp. Zerrspalten im Mittelteil des Rückens  
 b) Nord-Süd streichende Zerrspalten (gelbe Pfeile) und Absetzung (roter Pfeil) am Westrand des Rückens

In der Felswand, die den Rücken im Westen begrenzt, ist die Interndeformation der Bewegung aufgeschlossen. Die Schieferung biegt vom regional vorherrschenden Südfallen

in ein Nordfallen um (Abbildung 11.2). Obwohl das Zurückkehren in das Südfallen durch Schutt verdeckt ist, kann in Analogie zur Hauptbewegung Bunzkögele auf eine S-förmige Struktur der tafelförmigen Kluftkörper (Lamellen) geschlossen werden. Übereinstimmend dazu fallen die Schieferungsflächen an der Stirn des Hanges, am Steilabfall in den Brettergraben, nach Norden ein: Sie repräsentieren die Zone des Biegekippens.

Da das obere Scharnier der Knickfalte ca. 200 Höhenmeter höher gelegen ist als jenes der Hauptbewegung, wird ein Zusammenhang mit der Hauptbewegung ausgeschlossen. Zudem greift die Massenbewegung Eppling deutlich weniger tief als die Hauptbewegung Bunzkögele. Der Gratrücken Eppling wird deshalb als eine eigenständige Bewegung interpretiert.

Die Nord-Süd bis Nordost-Südwest streichenden Absetzungen und Zerrstrukturen am Rücken weisen auf sekundäre Folgebewegungen hin. Sie sind in Richtung der nach Osten und Westen steil abfallenden Grabeneinhänge orientiert und wurden durch die Zerlegung und Auflockerung des Gebirges, die aus der vorher abgelaufenen südgerichteten Hauptbewegung resultieren, begünstigt (s. Kap. 6, Pkt. 6.3.7.1).

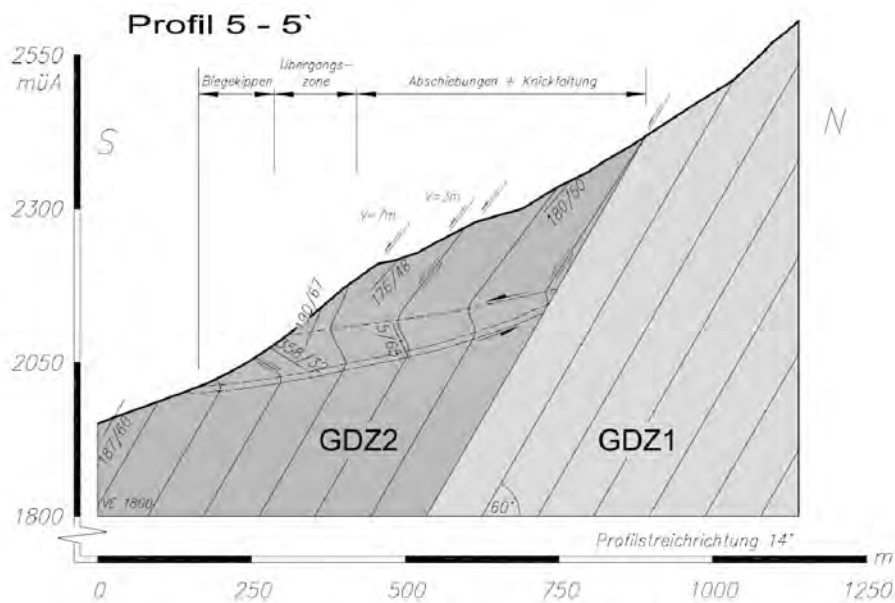


Abbildung 11.6: Profilschnitt 5-5' durch die Massenbewegung Eppling (Hauptbewegung Nr. 4a, s.a. Abbildung 11.1 und Abbildung 11.2); sekundäre Folgebewegungen nicht dargestellt; Legende s. Anlage E.4

### 11.3 Hangbewegung Brunnerkogel, Nr. 5

Die Grashänge der Südwestflanke des Brunnerkogels werden in ihrem oberen Bereich, etwas unterhalb des Gipfels, von einer auffälligen Wandstufe unterbrochen. Diese Felsstufe bildet den Ausstrich einer großen Bewegungsfläche und den Ansatz einer tiefgreifenden Massenbewegung. Der Hang ist an der bezeichneten Fläche etwa 50 Meter tief abgeschoben. Im Stirnbereich der Massenbewegung kann deutlich das konvexe Auswölben vernommen werden (Abbildung 11.7 und Abbildung 11.8). Der Abbruch im Oberhang folgt der Schieferung. Die Bewegung setzt genau am Übergang der geringfesten Phyllite der MZ zu den festeren Kalkglimmerschiefern der GDZ2 an (Kap. 4, Abbildung 4.5). Der Ansatz der Massenbewegung hängt mit sehr glatten, graphitischen Phylliten, die an der Abschiebungsfläche aufgeschlossen sind (Anlage A.2: RA-01), zusammen.

Die Schieferung streicht etwa hangparallel und fällt steil nach Süden ein. Dadurch wird die Böschung in eine Reihe tafelförmiger Klufkörper unterteilt. Wie bei den anderen beschriebenen Massenbewegungen wird die Kinematik von den Schieferungsflächen bestimmt. Durch die Hauptabschiebung erfolgen auch Bewegungen zwischen den einzelnen Lamellen. Aufgrund fehlender Aufschlüsse sind keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Interndeformation möglich. Grundsätzlich sind aber zwei Mechanismen in Betracht zu ziehen:

- a) Knickbandsackung (Abbildung 11.8a)
- b) Blockrotationsrutschung respektive *rock slumping* (Abbildung 11.8b)

Die Hauptabschiebung geht im Süden in eine sinistrale Schrägabschiebung bzw. in eine sinistrale Blattverschiebung mit schrägabschiebender Komponente über. Dies bedingt, dass der Abbruch des Brunnerkogels im Süden auffällig gestuft ist. Die Stufen bilden eine Kombination von Scher- und Zugbrüchen, welche durch einfache Scherung entstanden sind. Sie lassen sich gut mit dem synoptischen Diagramm von HANCOCK (1985) erklären (s. Kap. 6, Abbildung 6.28b).

Die Massenbewegung wurde im Süden nochmals von einer Folgebewegung erfasst. Diese setzt an mehreren steilen Flächen (sekundäre Abschiebungen, Abbildung 11.7) im Mittelteil an.



Abbildung 11.7: Massenbewegung Brunnerkogel (Massenbewegung Nr. 5 in Abbildung 11.1).

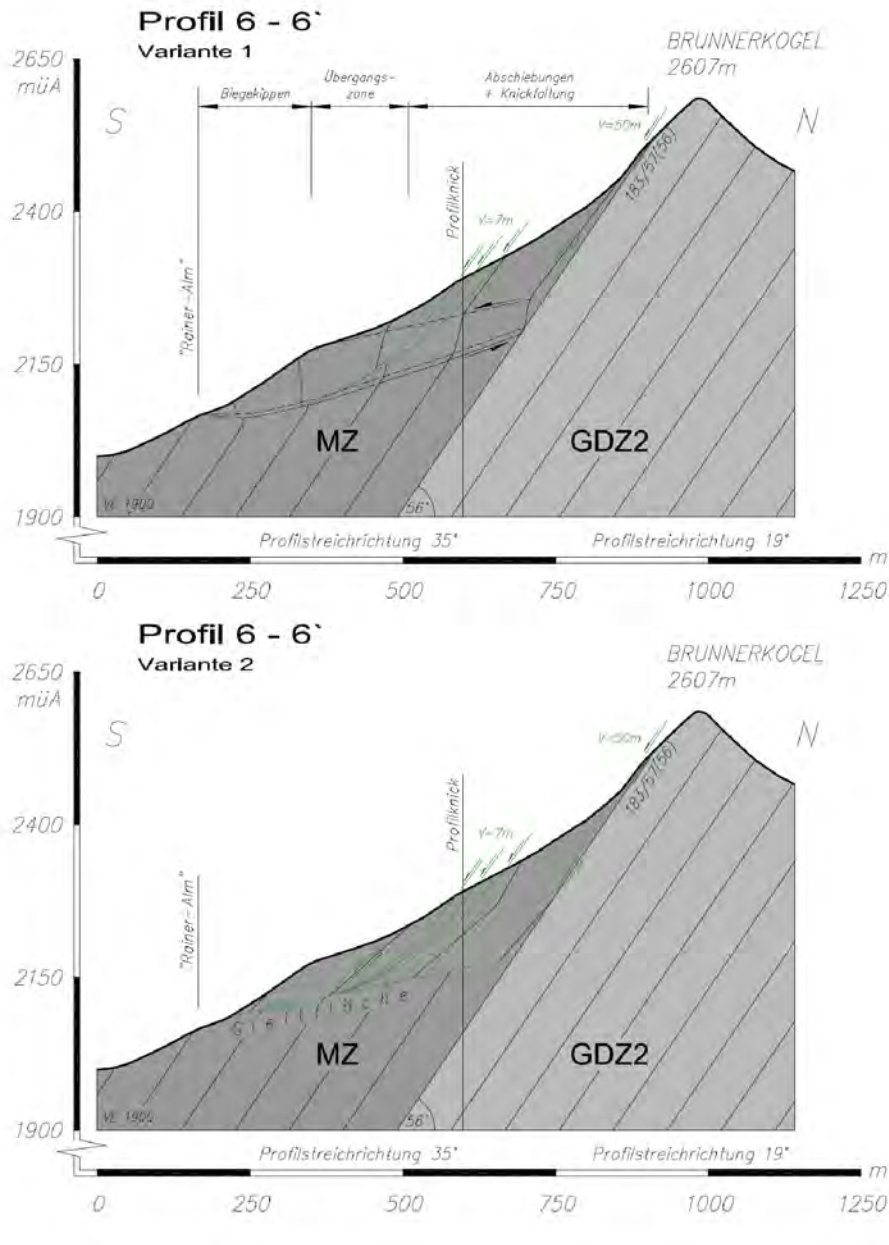


Abbildung 11.8: Profilschnitt Massenbewegung Brunnerkogel;  
 a) Interpretation als Knickbandsackung (Variante 1)  
 b) Interpretation als Blockrotationsgleitung respektive *rock slumping* (Variante 2)

## 11.4 Hangbewegung Brettergraben, Nr. 6

Kurz vor dem Einmünden des Brettergrabens in den Bretterwandgraben schiebt der orografisch rechte Einhang aktiv den Bach zu. Die Massenbewegung ist, verglichen mit den zuvor beschriebenen, klein und relativ unbedeutend. Da sie jedoch einen interessanten Mechanismus zeigt, wird sie hier eingehender beschrieben. Zudem sind ähnliche Massenbewegungen auch am orografisch rechten Einhang des Bretterwandgrabens vorzufinden (s. Kap. 6, Pkt. 6.3.7.2).

Der Brettergraben folgt einer tektonischen Störung, sodass die Phyllite im Bereich der Massenbewegung zerschert und entfestigt sind (Kap. 6, Abbildung 6.2a). In der Ausgangssituation lagert ein massiger, harter Dolomitmarmor (Fortsetzung des Falkensteinzuges) auf geringfesten Phylliten. Die Schieferung der Phyllite fällt vor dem Einsetzen der Hangbewegung, gemäß dem regionaltektonischen Bau, steil nach Süden ein. Durch die Auflast des Dolomitkörpers beginnen sich die geringfesten Phyllite im Liegenden zu deformieren. In den Phylliten setzt ein Biegekippen ein. Der Dolomitkörper im Hangenden hingegen gleitet (Abbildung 11.9). Am Kopf der Bewegung bilden sich eine Zugspalte und ein Abbruch aus.

Die Ursache der Bewegungen stellt ein „Hart auf Weich“ dar (POISEL & EPPENSTEINER 1988). Der Mechanismus ist jedoch komplex und setzt sich aus einem Biegekippen im Fußbereich und einer Gleitung am Kopf zusammen. GOODMAN & KIEFFER (2000) bezeichnen diesen Mechanismus als „*contrasting slide toe topple*“ (Abbildung 11.10). Die Bewegung wurde durch die Auflast des harten Dolomitkörpers, der auf „weichen“, nachgiebigen phyllitischen Gesteinen lagert, ausgelöst. Die Gleitfläche des Oberhangs hat keine Fortsetzung im unteren Hang. Sie wird dort durch ein Biegekippen abgelöst.





Abbildung 11.9: Zusammengesetzte Massenbewegung Brettergraben: Gleiten eines Dolomitmarmorkörpers am Oberhang kombiniert mit einem Biegekippen der Phyllite im Fußbereich des Hanges, Brettergraben, 1.500 m.ü.A.

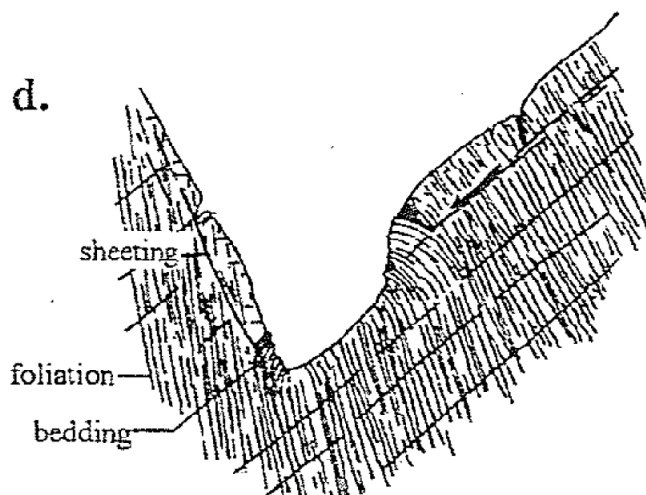


Abbildung 11.10: Schemaskizze aus GOODMAN & KIEFFER (2000) zum Mechanismus eines „contrasting slide toe to top“



## 12 Zusammenfassung

Der Südhang des Bunzkögeles bei Matrei in Osttirol, Österreich, zeigt eine große, tiefgreifende Hangbewegung mit einem Volumen von ca. einem Kubikkilometer. Die an der Massenbewegung beteiligten Gesteine bilden hauptsächlich diverse Phyllite und Kalkglimmerschiefer der Matreier Zone und der Glockner Decke. Sie stellen die metamorphen Äquivalente von sandigen Tonen, Mergeln und Kalken, die zur Kreidezeit im südpenninischen Ozean abgelagert wurden, dar. Die Sedimente wurden zuerst polyphas verfault und zerschert und in der Folge regionalmetamorph überprägt. Die Matreier Zone, welche den Unterhang des Bunzkögeles aufbaut, ist tektonisch intensiv beansprucht. Die Heraushebung des Tauernfensters im mittleren Tertiär führte dazu, dass die Gesteinseinheiten im Raum Matrei heute relativ konstant Ost-West streichen und steil nach Süden einfallen. Durch die glaziofluviatile Erosion wird das Bunzkögele im Westen, Süden und Osten durch tief eingeschnittene Täler und Gräben begrenzt. Der Höhenunterschied vom Gipfel des Bunzkögeles zum Bretterwandbach im Süden beträgt 1.160 m. Während die Hänge nach Osten zum Bretterwandgraben und nach Westen zum Tauerntal steil, mit  $\pm 40^\circ$ , abfallen, beträgt die mittlere Hangneigung in Nord-Süd-Richtung (i.e. Bewegungsrichtung) nur  $24^\circ$ . Östlich vom Weiler Hinterburg, auf dem alten Weg zum Gehöft Zupenig, wird die würmeiszeitliche Moräne von der Massenbewegung überfahren. Damit kann ein postglaziales Alter für die Hangbewegung Bunzkögele angenommen werden.

Der Versagensmechanismus der Großhangbewegung wird maßgeblich von den vorgegebenen Trennflächen des Gebirges bestimmt. Diese stellen die mit  $60^\circ$  nach Süden einfallenden Schieferungsflächen, die den Lagenbau der Metasedimente nachzeichnen, dar. Die Schieferungsflächen streichen gleich wie der Hang und fallen hangauswärts, jedoch steiler als der Hang, ein. Die Böschung wird so, idealisiert betrachtet, aus einem Set von lamellenförmigen Kluffkörpern aufgebaut. Das Versagen beginnt mit Abschiebungen im Oberhang, was zu einer S-förmigen Deformation (Knickfalte) der Gesteinslamellen im Inneren des Berges führt. An der Stirn des Hanges wird die S-förmige Deformationsstruktur der Kluffkörper durch ein Biegekippen abgelöst.

ZISCHINSKY (1966a, 1966b), der die Lokalität Bunzkögele in den 60er Jahren eingehend untersuchte, kam aufgrund des Fehlens einer diskreten, basalen Gleitfläche zum Schluss, dass sich der Hang, makroskopisch betrachtet, quasi bruchlos, d.h. fließend verformt. Aus theoretischen Überlegungen leitete er, in Analogie zur Mechanik von Gletschereis, ein viskoplastisches Gebirgsverhalten ab und bezeichnete diesen Typ von Massenbewegung als „Sackung“. Im Gegensatz dazu sah er die Gleitungen, bei denen die Verschiebungen entlang einer basalen Fläche konzentriert sind.

Die an der Massenbewegung beteiligten Gesteine stellen großteils geringfeste Phyllite und Kalkglimmerschiefer dar. Generell lässt sich eine allmähliche Zunahme der Festigkeiten vom Bretterwandbach im Süden nach Norden hin feststellen. Nördlich vom Bunzkögele und an der Bretterwand dominieren feste Kalkglimmerschiefer und Glimmermarmore. Letztere wurden daher nicht mehr in die Bewegungen miteinbezogen.

Die Druckfestigkeiten der Gesteine der Massenbewegung, welche nach der ISRM-Geländemethode (ISRM 1981b) bestimmten wurden, liegen zwischen 5 und 100 MPa. Die große Schwankungsbreite ergibt sich durch unterschiedliche tektonische Beanspruchungsgrade und den flyschoiden Sedimentcharakter der Gesteinsserien. Ursprünglich tonige Sedimente, die heute als Phyllite vorliegen, weisen geringe Festigkeiten zwischen 5 und 25 MPa auf. Diese bilden die Hauptmasse der Gesteine. Höhere Festigkeiten bis 100 MPa erreichen turbiditische Metasedimente von quarzitischem Kalkglimmerschiefern und Quarziten. Bei den Schieferungsflächen dominieren glatte und wellige Typen. Sie sind durchgängig und weisen wie das Gestein eine geringe Festigkeit auf. Die in der Abfolge, v.a. in der Matreier Zone, vorkommenden Marmore und Quarzite sind in ihrer räumlichen Ausdehnung begrenzt und beeinflussen das generelle geomechanische Verhalten kaum. Der Geological Strength Index (GSI) weist am Unterhang der Massenbewegung, der von der tektonisch stark beanspruchten Matreier Zone aufgebaut wird, lediglich Werte zwischen 18 und 28 auf. Für den mittleren und oberen Teil der Hangbewegung (Hangenteil der Glockner Decke, GDZ2) ergibt sich ein GSI zwischen 20 und 30, vereinzelt auch bis 40. Bedeutend für das Hangversagen sind Zentimeter bis Meter mächtige Vorkommen von Graphitphylliten. Sie wurden zum Beispiel entlang der großen Geländestufen am Gipfelhang des Bunzkögeles angetroffen und bilden bevorzugte Schwächezonen für die Hauptversagensflächen (Abschiebungen).

Das zuvor beschriebene Hangversagen wurde mit dem Programm UDEC 4.0 unter Verwendung des MOHR-COULOMBSchen Bruchkriteriums und elastoplastischem Verhalten von Gestein und Trennflächen modelliert. Der Fels wird dabei als ein Diskontinuum betrachtet, d.h., es sind sowohl Festigkeiten für das Gestein als auch für die Trennflächen zu definieren. Die Berechnungen bestätigen die Geländebeobachtungen, dass das Versagen vornehmlich ein Scherversagen entlang der Schieferungsflächen und des Gesteins ist. Charakteristisch in den Berechnungen sind große Verschiebungen entlang der Schieferungsflächen (Lamellengrenzen) und die Ausbildung einer breiten plastischen Zone (Knickfalte), in der das Gestein spröde zerbricht. Am Oberhang der Massenbewegung tritt kein Zugversagen auf. Eine diskrete Gleitfläche an der Basis ist nicht ausgebildet. Mechanisch betrachtet bildet die S-förmige, durch scharfe Knicke gekennzeichnete Struktur der Gesteinslamellen (Knickfalte) nichts anderes als eine großdimensionale breite Scherzone, deren Mächtigkeit von der tiefsten Abschiebung im Norden nach Süden hin zunimmt. Die Knickfalte bzw. breite Scherzone ist das Resultat steil abgeschobener, „abgesackter“ Gesteinslamellen am Oberhang der Massenbewegung. Der Unterhang hingegen wird von einem Biegekippen erfasst. Durch die Verformung rotieren die Lamellen innerhalb der Knickfalte und am Unterhang hangauswärts. Am Oberhang stellt sich hierdurch bei den oberen Abschnitten der Lamellen eine leichte Rotation hangeinwärts ein.

Die starke Dehnung der Gesteinslamellendicke in den numerischen Berechnungen weist auf ein ausgeprägtes Maß an Dilatanz hin. Aus dem Vergleich des undeformierten Gesteinslamellenrasters mit dem deformierten, der an einem Längsprofil durchgeführt wurde, ergab sich für die S-förmige Deformationsstruktur (breite Scherzone) eine Volumenzunahme von 10%. Dieser Wert setzt sich aus dem Versagen entlang der Schieferungsflächen und des Gesteins zusammen. Er stellt somit eine Gebirgsdilatanz dar.

Berechnungsvarianten mittels UDEC unter Verwendung der rückgerechneten Festigkeitsparameter für das Grenzgleichgewicht, jedoch bei Einsatz einer sehr kleinen Kohäsion vom Gestein ( $\leq 50$  kPa) haben ergeben, dass die S-förmige Struktur (Knickfalte) verschwindet und der Hang nur noch von einem Biegekippen erfasst wird. Im Oberhang treten dann Zugspannungen und -versagen in den Klüften auf. Wird hingegen die Kohäsion oder der Reibungswinkel der Klüfte signifikant erhöht, nimmt erwartungsgemäß die Bedeutung der Trennflächen ab. Die Verformung des Hanges wird dann zunehmend von der Festigkeit des Gesteins bestimmt. Das Versagen entspricht dann einem Hangkriechen, und am Oberhang treten wie beim Biegekippen Zugspannungen und -versagen, jedoch im Gestein, auf.

Die Berücksichtigung eines Bergwasserspiegels im oberen Drittel des UDEC Modells ergibt ein Versagensbild, bei dem die S-förmige Deformation der Gesteinslamellen tiefer greift als in der Natur zu beobachten ist. Hingegen ergibt die Modellierung ohne Bergwasser ein mit der Natur nahezu übereinstimmendes Bild sowohl was die Deformation der Lamellen als auch den Tiefgang der Hangbewegung betrifft. Daraus ist zu schließen, dass das Bergwasser keinen Einfluss auf das Hangversagen hatte, d.h., dass die Phyllite vor dem Einsetzen der Hangbewegungen mehr oder weniger dicht waren.

In der Modellierung mittels UDEC bildet sich durch das Scherversagen entlang der Trennflächen im Gipfelbereich und durch das Scherversagen des Gesteins im Inneren des Berges eine polygonale Verschiebungszone, die vereinfacht als ein Gleitkreis betrachtet werden kann. Unter dieser Annahme ergeben die Rückrechnungen mit dem Gleitkreisprogramm CLARA-W für trockene Hangverhältnisse und unter Verwendung des MOHR-COULOMBSchen Bruchkriteriums Festigkeitsparameter, die auch Rückrechnungen mittels UDEC ergaben. Verwendet man hingegen die im Gelände ermittelten Gesteins- und Gebirgsparameter und setzt diese in die Berechnungen mit HOEK-BROWN ein, so führt dies zu einer Überschätzung der Standsicherheit der Böschung. Nur eine entsprechende Wahl der Parameter in einer Rückrechnung führt dann zum Grenzgleichgewicht, d.h. zum Versagen des Hanges wie in der Natur und zu einem Verformungsbild, das mit der Natur übereinstimmt.

In UDEC kommt bei sehr langen Berechnungszeiten ( $> 40$  Mio. Berechnungsschritte) die Internrotation der Gesteinslamellen zum „Stillstand“, d.h. der Prozess stabilisiert. Dies wird auf den hohen Scherwiderstand in den Trennflächen, der stark überkippten Lamellen zurückgeführt. Für das Versagen in der Natur muss das nicht unbedingt zutreffen: Infolge der starken Festigkeitsabminderung des Gebirges durch das spröde Zerbrechen des Gesteins kann sich im Endstadium der Knickbandsackung ein Hangkriechen oder mitunter sogar ein Gleiten entwickeln.

Damit sich ein Hangversagen in der beschriebenen Art und Weise ausbilden kann, müssen bestimmte strukturelle und geometrische Rahmenbedingungen sowie geotechnische Eigenschaften des Gebirges gegeben sein. Diese sind:

- ein durchgängiges Trennflächenset, welches hangparallel streicht und hangauswärts, aber steiler als die Böschung einfällt. Die Lamellen brauchen eine bestimmte Schlankheit. Das Verhältnis der Höhe zur Breite sollte mindestens fünf zu eins betragen.
- eine niedrige Festigkeit der mechanisch wirksamen Trennflächen und des Gesteins. Entscheidend für die Ausbildung der S-förmigen Struktur (breite Scherzone) ist zudem, dass der Anteil der Kohäsion an der Gesteinsfestigkeit angemessen hoch ist. Bei einem sehr niedrigen Anteil erfolgt ein Biegekippen.

Bei Vorhandensein der oben angeführten Voraussetzungen kann sich der Mechanismus der Knickbandsackung in unterschiedlichen Dimensionen ausbilden: Die Knickfalte kann einige Dezimeter oder wie beim Bunzkögele auch hunderte Meter groß sein. Vorzugsweise bildet sich der Mechanismus in dünnschiefrigen bis dünnbankigen Gesteinen wie Phylliten und Tonschiefern aus.

Obwohl der Versagensmechanismus am Bunzkögele, mechanisch betrachtet, Ähnlichkeiten zwischen dem Biegekippen und dem Hangkriechen (ähnlich verlaufende Geschwindigkeitsprofile) aufweist, unterscheidet er sich dennoch von den beiden genannten. Bedeutsamer Unterschied ist das Fehlen eines Zugversagens am Oberhang der Massenbewegung. Grund dafür ist die spezielle Orientierung der Trennflächen, die ein Scherversagen vorgibt.

Unter Bezugnahme auf ZISCHINSKY'S Arbeiten (1966a, 1966b, 1969a, 1969b), der die Massenbewegung als Kontinuum betrachtete, lässt sich festhalten, dass sein Ansatz nicht imstande ist, das in der Natur angetroffene Deformationsbild nachzubilden. Ein kontinuumsmechanischer Ansatz, bei dem die Trennflächen außer Acht bleiben, führt zu klassischem Hangkriechen und zu einem Zugversagen am Oberhang der Massenbewegung. Es wird daher vorgeschlagen, den Mechanismus als einen eigenständigen zu betrachten und ihn im Sinne von KIEFFER (1998) als eine „Knickbandsackung“ zu bezeichnen.



---

# Literatur

- [1] Ampferer, O.: Zum weiteren Ausbau der Lehre von den Bergzerreibungen. *Sitz. Ber. Akad. d. Wiss., math.-naturwiss. Kl.* 149 (1940), 51-70
- [2] Ampferer, O.: Über einige Formen der Bergzerreissung. *Sitz. Ber. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl.* 148 (1939), 1-14
- [3] Barton, N.R.; Bandis, S.C.: Effects of the block size on the shear behaviour of jointed rock. *Issues in rock mechanics-23rd US symp. on rock mechanics* (1982), Berkley, 739-60
- [4] Barton, N.R.; Chouby, V.: The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mech.* 10 (1977), 1-54
- [5] Barton, N.R.: Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engng. Geol.* 7 (1973), 287-322
- [6] Bishop, A.W.: The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes. *Geotechnic* 5 (1955), 7-17
- [7] Blanc, A.; Durville, J-L.; Follacci, J-P., Gaudin, B.; Pincent, B.: Méthodes de surveillance d'un glissement de terrain de très grande ampleur: La Clapière, Alpes Martimes, France. *Eng. Geol.* 35 (1987), 37-46
- [8] Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen - BEV: Austrian Map Fly 4.0 digital, 2009
- [9] Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen - BEV: Alpenvereinskarte Granatspitzgruppe, Blatt 39. Wien: Freytag und Berndt, 2002
- [10] Brown, C.B.; King, I.P.: Automatic embankment analysis: equilibrium and stability conditions. *Geotechnique* 32/3 (1966), 261-70
- [11] Brückl, E.; Brunner, F.K.; Kraus, K.: Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric GPS and geophysical data. *Eng. Geol.* 88 (2006), 149-59
- [12] Brückl, E.; Scheidegger, A.E.: The Rheology of Spatially Continuous Mass Creep in Rock. *Rock Mechanics* 4 (1972), 237-50
- [13] Cavers, D.S.: "Simple methods to analyze buckling of rock slopes". *Rock Mech.* 14 (1981), 87-104
- [14] Chigira, M.: Long-term gravitational deformation of rocks by mass rock creep. *Eng. Geol.* 32 (1992), 157-84
- [15] Christensen, J.N.; Selverstone, J.; Rosenfeld, J.L.; De Paolo, D.J.: Correlation by Rb-Sr geochronology of garnet growth from different structural levels within the Tauern Window, Eastern Alps. *Contrib. Mineral. Petrol.* 118 (1994), 1-12
- [16] Clar, E.; Weiss, P.: Erfahrungen im Talzuschub des Magnesit-Bergbaues auf der Millstätter Alpe. *Berg und Hüttenmänn. Monatshfte.* 110 (1965), 447-60
- [17] Clar, E.: Gefüge und Verhalten von Felskörpern in geologischer Sicht. *Felsmechanik und Ingenieurgeologie* II/1 (1963), 4-15
- [18] Clar, E. Gebirgsbau und Geomechanik. *Geologie und Bauwesen* 25/2-3 (1960), 186-90
- [19] Cornelius, H.P.; Clar, E.: Geologie des Großglocknergebietes (I. Teil). *Abh. Reichsst. Bodenforsch. Zweigst.* Wien 25 (1939), 305

- 
- [20] Cundall, P.A.: A computer model for simulating progressive large scale movements in blocky rock systems. In: *Proceedings of the symposium of the International Society for Rock Mechanics* (1971), Vol. 1, No. II-8
- [21] Cundall, P.A.: Correlation of discontinuum models with physical observations – an approach to the estimation of rock mass behaviour. *Felsbau* 4 (1986), 197-202
- [22] Cundall, P.A.; Hardt, R.: Numerical modelling of discontinua. In: *Engineering Computations* 9 (1992), 101-13
- [23] Cruden, D.M.; Varnes D. J.: Landslide Types and Processes. In: Turner A.K. and Schuster R.L. (eds.): *Landslides: Investigation and mitigation. Special report 247*. Washington D.C.: National Academic Press, 1996, 36-45
- [24] Czech J.; Huber H.: Gesteinskennwerte aus Laborversuchen. *Felsbau* 8/3 (1990), 129-33
- [25] Dramis, F; Sorriso-Valo, M.: Deep-seated gravitational slope, related landslides and tectonics. *Eng. Geol.* 38 (1994), 231-43
- [26] Eberhardt, E; Stead, D; Coggan, J.S.: Numerical analysis of initiation and progressive failure in natural rock slopes – the 1991 Rand rockslide. *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci.* 41 (2004), 69-87
- [27] Eisbacher G.H.: *Einführung in die Tektonik*. Stuttgart: Enke, 1991
- [28] Fellenius, W.: *Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen*. Berlin, 1948
- [29] Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (FTD für WLW): Bericht zu den refraktionsseismischen Messungen, Bretterwandbach, Gde. Matri i.O. Sektion Tirol – Geologische Stelle: Eigenverlag 1989 - Bericht
- [30] Frank, W.; Höck, V; Miller, Ch.: Metamorphic and Tectonic History of the Central Tauern Window. In: Flügel, H.W.; Faupl, W. (eds.): *Geodynamic of the Eastern Alps*. Wien: Deuticke, 1987a, 34-54
- [31] Frank, W.; Miller, Ch.; Pestal, G.: *Geologische Karte der Republik Österreich, 152 Matri in Osttirol*. Wien: Geologische Bundesanstalt, 1987b
- [32] Frank, W.: Geologie der Glocknergruppe. – Neue Forschungen im Umkreis der Glocknergruppe. *Wiss. Alpenver.* 21 (1969)
- [33] Frasl, G.; Frank, W.: Einführung in die Geologie und Petrographie des Penninikums im Tauernfenster unter besonderer Berücksichtigung des Mittelabschnitts im Oberpinzgau, Land Salzburg. *Der Aufschluss* 15 (1966), 30-58
- [34] Frasl, G.: Zur Seriengliederung der Schieferhülle in den mittleren Hohen Tauern. *Jb. Geol. B.-A.* 101 (1958), 323-472
- [35] Frisch, W.; Gommeringer, K.; Kelm; U.; Popp, F.: The Upper Bündner Schiefer of the Tauern Window – A Key to Understanding Eoalpin Orogenic Processes in the Eastern Alps. In: Flügel, H.W.; Faupl, W. (eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*. Wien: Deuticke, 1987, 55-69
- [36] Frisch, W.: Der alpidische Internbau der Venedigerdecke im westlichen Tauernfenster. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 11 (1977), 675-96

- [37] Frisch, W.: Ein Modell zur alpidischen Evolution und Orogenese des Tauernfensters. *Geol. Rdsch.* 65/2 (1976), 375-93
- [38] Frisch, W.: Die stratigrafisch-tektonische Gliederung der Schieferhülle und die Entwicklung des penninischen Raumes im westlichen Tauernfenster (Gebiet Brenner- Gerolospass). *Mitt. Geol. Ges.* 66-67 (1974), 9-20
- [39] Fügenschuh, B; Seward, D.; Mancktelow, N.: Exhumation in a convergent orogen: the western Tauern Window. *Terra Nova* 9 (1997), 213-213
- [40] Furlinger, W.L.: Mechanismus einer Hangbewegung in Quarzphylliten und dessen Kontrolle im gefügeäquivalenten Modellversuch. *Geol. Rdsch.* 61 (1972), 871-82
- [41] Genser, J.; Neubauer, F.: Architektur und Kinematik der östlichen Zentralalpen – eine Übersicht. *Mitt. Naturwiss. Verh. Steiermark* 120 (1989), 203-19
- [42] Goodman, R.E.; Kieffer, D.S.: Behavior of rock in slopes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 126/8 (2000), 675-84
- [43] Goodman, R.E.: *Introduction to rock mechanics*. New York: Wiley, 1989
- [44] Goodman, R.E.; Bray J.W.: Toppling of Rock Slopes. *Proceeding, Speciality Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes, American Society of Civil Engineers, Boulder, CO* Vol.2 (1976), 201-34
- [45] Goricki, A; Goodman, R.E.: Failure modes of rock slopes demonstrated with base friction and simple numerical models. *Felsbau* 21/2 (2003), 25-30
- [46] Hancock, P.L.: Brittle microtectonics: principles and practice. *J. Struct. Geol.* 7 (1985), 437-57
- [47] Hart, R.: Enhancing rock stress understanding through numerical analysis. *Int. J. Rock Mechanics and Mining Sciences* 40 (2003), 1089-97
- [48] Hausmaniger, J.: Standsicherheitsuntersuchungen der Einhänge des Bretterwandbaches mittels FLAC<sup>3D</sup>. TU-Wien: Eigenverlag, 2004 - Diplomarbeit
- [49] Heim, A.: *Bergsturz und Menschenleben*. Zürich: Frentz und Wasmuth, 1932
- [50] Heitzmann, P.: Kakirite Kataklastite, Mylonite – Zur Nomenklatur der Metamorphite mit Verformungsgefügen. *Eclog. Geol. Helv.* 78 (1985), 273-86
- [51] Hermann, S.W.; Becker, L.P.: Structural control of gravitational spreading of mountain ridges- Models from the crystalline basement of the Eastern Alps (Austria). In: Kühne, M.; Einstein, H.H.; Krauter, E.; Klapperich, H.; Pöttler, R. (eds.): *International Conference on Landslides-Causes, Impacts and Countermeasures – Davos*. Essen: Glückauf 2001, 55-64
- [52] Hermann, S.W.; Madritsch, G.; Rauth, H.; Becker, L.P.: Modes and structural conditions of large scale mass-movements (Sackungen) on crystalline basement units of the Eastern Alps (Niedere Tauern, Austria). *Mitt. Nat. Ver. Steiermark* 130 (2000), 31-42
- [53] Hesse, K-H.; Tiedemann, J.: Zur ingenieurgeologischen Beschreibung von Festgesteinstrennflächen. *Felsbau* 7 (1989), Nr.3, 148-55
- [54] Höck, V.; Pestal, G.: *Geologische Karte der Republik Österreich, 1:50 000 Großglockner*. Wien: Geologische Bundesanstalt, 1994

- [55] Höck, V.; Miller, Ch.: Mesozoic ophiolitic sequences and non-ophiolitic metabasites in the Hohe Tauern. In: Flügel, H.W.; Faupl, W. (eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*. Wien: Deuticke, 1987, 16-33
- [56] Höck, V.: Mesozoic ophiolites and non-ophiolitic metabasites in the central part of the Tauern window. *Ofioliti* 8/1 (1983), 103-26
- [57] Hoek, E.; Marinos, P.: A brief history of the development of the Hoek-Brown failure criterion. *Soil and Rocks* 2 (2007), 1-13
- [58] Hoek, E.: Rock mass properties. *Practical Rock Engineering*. (2007)  
<http://www.roscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>
- [59] Hoek, E.; Brown, E.T.: Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Engng Div. ASCE* 106/GT9 (1980a), 1013-35
- [60] Hoffmann, H.: Zum Verformungs- und Bruchverhalten regelmäßig geklüfteter Felsmassen. *Rock Mechanics*, Suppl. 3 (1974), 31-43
- [61] Hudson, J.A.; Harrison J.P.: *Engineering rock mechanics*. Amsterdam: Pergamon, 1997
- [62] Hungr, O.; Evans, S.G.: The occurrence and classification of massive rock slope failure. *Felsbau* 22 (2004), 16-23
- [63] Hungr, O.: *CLARA-W - Slope stability analysis in two and three dimensions for microcomputers*. Geotechnical Research Inc. Vancouver: Eigenverlag, 2001 - Manual
- [64] Husen Van, D.: *Die Ostalpen in den Eiszeiten*. Wien: Geol. B.-A., 1987
- [65] Hutchinson, J.N.: Massive rock slope failure: perspectives and retrospectives on state-of-the-art. In: Evans, S.G.; Mugnozza, G.S.; Stom, A.; Hermanns, R.L (eds.): *Landslides from massive rock slope failure* 49. Nato Science Series IV, Earth and Environmental Sciences Vol. 49 (2004), 619-62
- [66] Hutchinsinon, J.N.: General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in the relation to geology and hydrogeology. In: Bonnard (ed.): *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Vol 1*. Rotterdam: Balkema, 1988, 3-35
- [67] International Association of Engineering Geology (IAEG): Rock and soil description and classification for engineering geological mapping.-Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 24 (1981), 235-27
- [68] International Society of Rock Mechanics (ISRM): *Suggested Methods for Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses* (Brown, E.T. ed.) Oxford: Pergamon Press, 1981a
- [69] International Society of Rock Mechanics (ISRM): *Rock Characterization, Testing and Monitoring; ISRM Suggested Method*. Oxford: Pergamon Press, 1981b
- [70] Itasca Consulting Group: *UDEC (Universal Distinct Element Code) Version 4.0*. Minneapolis: MN, 2004
- [71] Jaeger J.C.; Cook N.G. W.; Zimmermann R. W.: *Fundamentals of Rock Mechanics. 4th ed.* Oxford: Blackwell, 2007
- [72] Jung, G.; Fellner, D.: Putting numbers to geology am Beispiel Brenner Basis Tunnel. In: Rockenschaub, M. (Hrsg.): *Arbeitsstagung '03 GBA*. Wien: GBA-Eigenverlag 2003, 221-38
- [73] Kieffer, S.D.: Rotational instability of hard rock slopes. *Felsbau* 21/2 (2003), 31-8

- [74] Kieffer, S.D.: *Rock slumping-A compound failure mode of jointed hard rock slopes*. Dept. of Civ. and Envir. Engrg. University of California, Berkeley, Calif.: Eigenverlag, 1998 - PhD dissertation
- [75] Koller, F.; Pestal, G.: Die ligurischen Ophiolite der Tarntaler Berge und der Matreier Zone. In: Rockenschaub, M. (Hrsg.). *Arbeitstagung 2003 der Geologischen Bundesanstalt. Geologische Kartenblätter Nr. 148 Brenner und Nr. 175 Sterzing*. Wien: Riegeltechnik, 2003, 65-76
- [76] Konietzky, H.; Hart, R.; Billiaux, M.: Mathematische Modellierung von geklüftetem Fels. *Felsbau* 12 (1994), 395-400
- [77] Kreuzer, M.: Geologisch-Geotechnische Untersuchungen im oberen Einzugsgebiet des Bretterwandbaches/Matrei i.O. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen: Eigenverlag, 1993 - Diplomarbeit
- [78] Lorig, L.; Varona, P.: Numerical analysis. In: Wyllie, D. C.; Mah C. W. (eds.): *Rock slope engineering*. London: Spoon Press 2004, 218-44.
- [79] Lammerer, B.; Weger, M.: Footwall uplift in an orogenic wedge; the Tauern Window in the Eastern Alps of Europe. *Tectonophysics* 285 (1998), 213-230
- [80] Landes Rechen- und Flugzentrum - LRFZ: Farbige Ortholufbilder mit Geländehöhen aus dem weiteren Einzugsgebiet des Bretterwandbaches, 2003
- [81] Mahr, T.: Deep reaching gravitational deformations of high mountain slopes. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 16 (1977), 121-27
- [82] Mandl, G.: *Faulting in brittle rocks: an introduction to the mechanics of tectonic faults*. Heidelberg-Berlin: Springer, 2000
- [83] Mandl, G.: *Mechanics of tectonic faulting, models and basic concepts*. Amsterdam: Elsevier, 1988
- [84] Marinos, P.; Hoek, E.: Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. *Int. Assoc. of Engng. Geologists* (2001)
- [85] Marinos, P.; Hoek, E.: GSI-a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng 2000 Conference, Melbourne (2000)
- [86] Mencl, V.: Plastizitätslehre und das wirkliche Verhalten von Gebirgsmassen. *Felsmech. und Ing. Geologie, Suppl.* S.4 (1968) 1-8
- [87] Mencl, V.: Mechanics of landslides with non-circular slip surfaces with special reference to the Vajoint slide. *Géotechnique* 16/4 (1966), 327-29
- [88] Meschede, M.: *Methoden der Strukturgeologie*. Stuttgart: Ferdinand Enke, 1994
- [89] Mestemacher, F.: *Grundkurs Technische Mechanik*. Heidelberg: Spektrum, 2008
- [90] Miller, Ch.; Satir, M.; Frank, M.: High-pressure metamorphism in the Tauern window. *Mitt. Österr. Geol. Ges.* 71/72 (1980), 89-97
- [91] Mölk, M.; Neuner, G.: *Generelle Legende für geomorphologische Kartierungen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich*. Geologische Stelle des FTD für WLV Innsbruck: Eigenverlag, 2004
- [92] Müller, L.: *Der Felsbau – Teil 2*. Stuttgart: Enke, 1992

- [93] Müller, L.; Tess, C.; Fecker, E.; Müller, K.: Kriterien zur Erkennung der Bruchgefahr geklüfteter Medien – Ein Versuch. *Rock Mechanics* 2 (1973), 71-92
- [94] Müller, L.; Pacher, F.: Modellversuche zur Klärung der Bruchgefahr geklüfteter Medien. *Felsmech. u. Ingenieurgeol. Suppl. II* (1965) 7-24
- [95] Müller, L.: New considerations on the Vajont Slide. *Felsmechanik. u. Ingenieurgeol.* 6 (1968), 1-95
- [96] Müller, L.: *Der Felsbau - Teil 1*. Stuttgart: Enke, 1963
- [97] Nemcok, A; Pasek, J; Raybar, J: Classification of landslides and other mass movements. *Rock Mechanics* 4/2 (1972), 71-8
- [98] Nicole, S.; Hungr, O.; Evans, S.G.: Brittle and ductile toppling of large rock slopes. *Canadian Geotechnical Journal* 39 (2002), 1-16
- [99] Pacher, F.: Kennziffern des Flächengefüges. *Geol. U. Bauw.* 24/3-4 (1959), 1-223
- [100] Patton, F.D.: Multiple modes of shear failure in rock. *Proc. 1st. Int. Congress on Rock Mechanics* 1 (1966), 509-13
- [101] Penk, A.; Brückner, E.: *Die Alpen im Eiszeitalter*. Leipzig: Tauchnitz, 1909
- [102] Pestal, G.; Hejl, E.; Braunstingl, R.; Schuster, R.: *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Salzburg*. Wien: Geol. B.-A., 2009
- [103] Pestal, G.: Der Südrand des Tauernfensters, die Matreier Zone im Bereich Kals – Matrei in Osttirol. In: Hauser, Ch.; Daurer, A. (Hrsg.): *Arbeitstagung 1995 der Geologischen Bundesanstalt - Geologie von Osttirol*. Wien: Riegelnik 1995, 127-50
- [104] Petit, J.P.: Criteria for sense movement on fault surfaces in brittle rocks. *J. Struct. Geol.* 9 (1987), 597-608
- [105] Poisel, R; Kieffer, S: "Sackung - was ist das?". *Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse Schiene Verkehr, Festschrift anlässlich des 80. Geburtstages von Univ.Doz.Dr.phil. Walter Eppensteiner* (2009), 33 - 8
- [106] Poisel, R.; Preh, A.: Rock slope initial failure mechanisms and their mechanical models. *Felsbau* 22/2 (2004a), 40-5
- [107] Poisel, R.: *Felsmechanik Obertage*. TU-Wien: Eigenverlag 2004b – Skriptum zur Vorlesung
- [108] Poisel, R.: Kippen, Sacken, Gleiten – Geomechanik von Großhangbewegungen und Felsböschungen. *Felsbau* 16 (1998), 135-40
- [109] Poisel, R.: Geklüfteter Fels Kontinuum und/oder Diskontinuum. *Geotechnik* 14/1 (1991), 43-5
- [110] Poisel, R.; Eppensteiner, W.: Gang und Gehwerk einer Massenbewegung. Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems „Hart auf Weich“. *Felsbau* 7 (1989), 16-20
- [111] Poisel, R.; Eppensteiner, W.: Gang und Gehwerk einer Massenbewegung. Teil 1: Geomechanik des Systems „Hart auf Weich“. *Felsbau* 6/4 (1988), 189-84
- [112] Preh, A; Poisel, R.: A UDEC model for „Kink Band Slumping“ type failures of rock slopes. In: H. Konietzky (ed.): *Numerical Modeling of Discrete Materials in Geotechnical Engineering, Civil Engineering and Earth Sciences. Proceedings of the 1st UDEC/3DEC Symposium, Bochum, Germany*. Leiden: Balkema, 2004, 243-7



- 
- [113] Preh, A.: *Finite-Difference-Models in Geoengineering*. TU-Wien: Eigenverlag, 2004a - Skriptum zur Vorlesung
- [114] Preh, A.: *Modellierung des Verhaltens von Massenbewegungen bei großen Verschiebungen mit Hilfe des Partikel Flow Codes (PFC)*. TU-Wien: Eigenverlag, 2004b - Dissertation
- [115] Projektgruppe Praktische Mathematik: *Finte Differenzen Methode*. TU-Berlin: Eigenverlag, 2003 - Blockkursunterlagen
- [116] Radbruch-Hall, D.: Gravitational creep of rock masses on slopes. In: B. Voight (ed.): *Rockslides and Avalanches. Vol. 1, Natural Phenomena. (Developments in Geotechnical Engineering, Vol. 14A)*. Amsterdam: Elsevier 1978, 607-57
- [117] Radbruch-Hall, D.; Varnes D.J.; Savage, W.Z.: Gravitational spreading of steep-sided ridges ("Sackung") in Western United States. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 14 (1976), 23-35
- [118] Ramsay, J.G.; Huber, M.I.: *The techniques of modern structural geology Vol.II*. London: Academic Press, 1987
- [119] Ramsay, J.G.; Huber, M.I.: *The techniques of modern structural geology Vol.I*. London: Academic Press, 1983
- [120] Ratschbacher, L.; Frisch, W.; Linzer, H.G.; Merle, O.: Lateral extrusion on the Eastern Alps, Part 2: Structural analysis. *Tectonics* 10 (1991), 257-71
- [121] Riedmüller, G.: Classifications of unstable slopes - an overview. *Felsbau* 21/2 (2003), 13-8
- [122] Rockenschaub, M.; Kolenprat, B.; Nowotny, A.: Das westliche Tauernfenster. In: Rockenschaub, M. (Hrsg.): *Arbeitstagung 2003 der Geologischen Bundesanstalt. Geologische Kartenblätter Nr. 148 Brenner und Nr. 175 Sterzing*. Wien: Riegelnik, 2003, 7-38
- [123] Rocscience: Programm RocLab (2010). [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)
- [124] Rocscience: Gefügeprogramm Dips 5.0n (2009). [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)
- [125] Rütz, D.: *Numerische Geotechnik*. Bauhaus-Universität Weimar: Eigenverlag, 2005 - Vorlesungsunterlagen
- [126] Savage, W.Z.; Varnes, D.J.: Mechanics of gravitational spreading of steep sided ridges ('sacking'). *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 35 (1987), 31-6
- [127] Selverstone, J.: Evidence of east-west crustal extension in the Eastern Alps: Implications for the unroofing history of the Tauern window, Eastern Alps. *Journal of metamorphic Petrology* 7 (1988), 87-105
- [128] Sharpe, C.F.S.: *Landslides and related phenomena*. New York: Columbia University Press, 1938
- [129] Sjöberg, J.: Failure mechanism for high slopes in hard rock. *Slope Stability in Surface Mining, Society of Mining, Metallurgy and Exploration*, 71-80
- [130] Skempton, A.W.; Hutchinson, J. N.: Stability of natural slopes and embankment foundations. In: *State of the art report: Proc. 7th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Mexico, 1969, 291-340
- [131] Staub, R.: Der Bau der Alpen. *Beitr. Geol. Kt. Schweiz* 52 (1924), 272

- [132] Stead, D.; Eberhard, E.; Coggan, J.S.: Developments in the characterization of complex rock slope deformation and failure using numerical modelling techniques. *Engineering Geology* 83 (2006), 217-35
- [133] Stead, D.; Eberhardt, E.; Coggan, J.; Benko B.: Advanced numerical techniques in rock slope stability analysis – applications and limitations. In: Kühne, M.; Einstein, H.H.; Krauter, E.; Klapperich, H.; Pöttler, R. (eds.): *International Conference on Landslides-Causes, Impacts and Countermeasures - Davos*. Essen: Glückauf 2001, 615-24
- [134] Stini, J.: *Gutachten betreffend die Verbauung des Bretterwandbaches bei Matrei in Osttirol*. Universität Wien: Eigenverlag, 1950 - Gutachten
- [135] Stini, J.: *Talzus Schub und Bauwesen*. Die Bautechnik, 1942
- [136] Stini, J.: Unsere Täler wachsen zu. *Geol. Bauwes.* 13/1 ( 1941a), 72-7
- [137] Stini, J.: Kalkglimmerschiefer und Bauwesen. *Geol. Bauwes.*, 13/1 (1941b), 80-7
- [138] Terzaghi, K.: Mechanism of landslides. *Geological Society of America*. Berkeley Volume (1950), 83-124
- [139] Tiedemann, J.: Verfahren zur ingenieurgeologischen Gebirgsbeschreibung mit Beispielen für die Anwendung in räumlichen Standsicherheitsuntersuchungen. *Mitt. Ing.-u. Hydrogeol.* 47 (1992), 1-220
- [140] Thiele, O.: Das Tauernfenster. In: Oberhauser, R. (Hrsg.): *Der Geologische Aufbau Österreichs*. Wien: Springer, 1980, 300-14
- [141] Tiroler Raumordnungs-Informationssystem (TIRIS): Luftbildarchiv, [www.tirol.gv.at](http://www.tirol.gv.at)
- [142] Thuro, K.: Bohrbarkeit beim konventionellen Sprengvortrieb. *Münchn. Geol. Hfte.* B1 (1996), 1-149
- [143] Twiss, R.J.; Moores, E. M.: *Structural Geology*. NY: Freeman and Company, 1992
- [144] Vermeer, P.A.; de Borst, R.: „Non-associated plasticity for soils, concrete and rock”. *Heron* 29/3 (1984), 3-64
- [145] Varnes, D.J.: Slope movement types and processes. In: *Landslides, Analysis and Control*. *Nat. Acad. of Science, Spec. Rep.* 176 (1978), 11-35
- [146] Vinx, R.: *Gesteinsbestimmung im Gelände*. Berlin: Springer, 2008
- [147] Wallbrecher, E.A.: *Tektonische und gefügekundliche Arbeitsweisen – graphische, rechnerische und statistische Verfahren*. Stuttgart: Enke, 1986
- [148] Will, J.; Konietzky, H.: Neue Techniken der Numerik zur Berechnung von Felsböschungen. *Felsbau* 16 (1998), 155-67
- [149] WP/WLI - Working Party on Landslide Inventory (International Geotechnical Societies of UNESCO): *Multilingual landslide glossary*. Richmond: Bi-Tech Publishers Ltd., 1993
- [150] Wittke, W; Semprich, S.; Plischke, B.: *Rock Mechanics. Theory and Applications with Case Histories*. Heidelberg and New York, 1990
- [151] WP/WLI - Working Party on Landslide Inventory (International Geotechnical Societies of UNESCO): Suggested nomenclature for Landslides. *Bull. of the IAEG* 43 (1990), 101-10
- [152] Wyllie, D.C.; Mah, C.W.: *Rock Slope Engineering*. London: Spon Press, 2004

- 
- [153] Zangerl, Ch.; Prager, Ch.; Brandner, R.; Brückel, E.; Eder, S.; Fellin, W.; Tentschert, E.; Poscher, G.; Schönlaub, H.: Methodischer Leitfaden zur prozessorientierten Bearbeitung von Massenbewegungen. *Geo.Alp* 5 (2008), 1-51
- [154] Zaruba, Q.; Mencl, V.: *Landslides and their Control*. New York: Elsevier, 1982
- [155] Zettler, A.H.; Poisel, R.; Preh, A.; Roth, W.: Stability analysis using finite difference method. In: *Proceedings of the 9th ISRM Congress on Rock Mechanics. Paris*. Rotterdam: Balkema, Vol.1, 1999, 149-52
- [156] Zienkiewicz, O.C.; Humpheson, C.; Lewis, R. W.: Associated and non-associated viscoplasticity and plasticity in soil mechanics. *Geotechnique* 25/4 (1975), 671-89
- [157] Zischinsky, U.: Über Bergzerrißung und Talzuschub. *Geol. Rsch.* 55 (1969a), 974-83
- [158] Zischinsky, U.: Über Sackungen. *Rock Mechanics* 1 (1969b), 30-52
- [159] Zischinsky, U.: Bewegungsbilder instabiler Talflanken. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustd.* 17 (1966a), 127-68
- [160] Zischinsky, U.: On the deformation of high slopes. *Proceedings of the 1st intern. Congress, Ges. Felsmechanik* 2 (1966b), 179-85
- [161] Zischinsky, U.: *Instabile Talflanken (Über Bergzerrißung und Talzuschub)*. Universität Wien: Eigenverlag, 1965 - Dissertation



# Anlagenteil





## **A) Aufschlussdokumentation**

### **A.1 Lageplan mit Punktnummern**

### **A.2 Aufschlussdokumentation**

## **B) Gefügemessungen**

### **B.1 Gefügediagramme**

### **B.2 Gefügemessungen (Tabellen)**

## **C) Geotechnik**

### **C.1 Matreier Zone (MZ)**

#### **C.1.1 Gesteins- und Gebirgskennwerte MZ (Tabelle)**

#### **C.1.2 Gesteins- und Gebirgskennwerte MZ (Diagramme)**

#### **C.1.3 Kennwerte Schieferung MZ (Tabelle)**

#### **C.1.4 Kennwerte Schieferung MZ (Diagramme)**

### **C.2 Glockner Decke Zone 2 (GDZ2)**

#### **C.2.1 Gesteins- und Gebirgskennwerte GDZ2 (Tabelle)**

#### **C.2.2 Gesteins- und Gebirgskennwerte GDZ2 (Diagramme)**

#### **C.2.3 Kennwerte Schieferung GDZ2 (Tabelle)**

#### **C.2.4 Kennwerte Schieferung GDZ2 (Diagramme)**

### **C.3 Glockner Decke Zone 1 (GDZ1)**

#### **C.3.1 Gesteins- und Gebirgskennwerte GDZ1 (Tabelle)**

#### **C.3.2 Gesteins- und Gebirgskennwerte GDZ1 (Diagramme)**

#### **C.3.3 Kennwerte Schieferung GDZ1 (Tabelle)**

#### **C.3.4 Kennwerte Schieferung GDZ1 (Diagramme)**

**C.4 *Stirn Massenbewegung (MB)***

**C.4.1 Gesteins- und Gebirgskennwerte Stirn MB (Tabelle)**

**C.4.2 Gesteins- und Gebirgskennwerte Stirn MB (Diagramme)**

**C.5 *Mittelteil Massenbewegung***

**C.5.1 Gesteins- und Gebirgskennwerte Mittelteil MB (Tabelle)**

**C.5.2 Gesteins- und Gebirgskennwerte Mittelteil MB (Diagramme)**

**C.6 *Kopf der Massenbewegung***

**C.6.1 Gesteins- und Gebirgskennwerte Kopf MB (Tabelle)**

**C.6.2 Gesteins- und Gebirgskennwerte Kopf MB (Diagramme)**

**C.7 *Knickband, respektive Scherzone***

**C.7.1 Gesteins- und Gebirgskennwerte Scherzone MB (Tabelle)**

**C.7.2 Gesteins- und Gebirgskennwerte Scherzone MB (Diagramme)**

**D) Numerik**

**D.1 *Tabellarische Zusammenstellung der Berechnungen mit UDEC***

**D.2 *Tabellarische Zusammenstellung der Berechnungen mit CLARA W (Gleitkreisberechnungen)***

**D.3 *Multilayer beam***



## **E) Planbeilagen**

**E.1 Geomorphologische Karte  $M = 1:10.000$**

**E.2 Strukturgeologische Karte der Hangtektonik  
 $M = 1: 10.000$  – mit Gefügemessungen**

**E.3 Strukturgeologische Karte der Hangtektonik  
 $M = 1: 10.000$  – mit Gefügemessungen und -diagrammen**

**E.4 Legende zu den Profilen**

**E.5 Längsprofile Massenbewegung Bunzkögele Nr. 1 bis 3  
 $M = 1:10.000$**

**E.6 Längsprofil Massenbewegung Bunzkögele Nr. 1  
 $M = 1:10.000$ , engl. Version**

**E.7 Querprofile Massenbewegung Bunzkögele Nr. a bis c  
 $M = 1:10.000$**

**E.8 Längsprofile diverser anderer Massenbewegung im EZG des  
Bretterwandgrabens Nr. 4, 5, 6a und 6b,  $M = 1:10.000$**

# Abkürzungen

## *Himmelsrichtungen*

E	...Osten
N	...Norden
S	...Süden
W	...Westen
N'	...nördlich

## *Zwischenrichtungen (Beispiele)*

SE	...Südost
NNE	...Nordnordost
NE'	...nordöstlich
SW'	...südwestlich

## *Regionale Geologie*

GDZ1	...Glockner Decke Zone 1
GDZ2	...Glockner Decke Zone 2
MZ	...Matreier Zone

## *Geologie*

ANHY	...Anhydrit
CPHY	...Chloritphyllit
DOLM	...Dolomitmarmor
GPHY	...Graphitphyllit
KGLS	...Kalkglimmerschiefer
KM	...Kalkmarmor
KPHY	...Kalkphyllit
PHY	...Phyllit
QZT	...Quarzit
SEP	...Serpentinit

## *Strukturgeologie*

Fa	...Faltenachse
Ha	...Harnisch
K	...Kluft
Li	...Linear
sf	...Schieferungsfläche(n) oder Schieferung

### *Geotechnik*

Ampl	...Amplitude
Abst	...Abstand
GSI	...Geological Strength Index (Kennwert für das Gebirge)
$\chi$	...Erstreckung der Trennfläche
KK	...Kluftkörper
JRC	...Joint Roughness Coefficient (Rauigkeitsbeiwert n. BARTON 1973)
JCS	...Joint Compressive Strength (Druckfestigkeit der Kluftwandung)
UCS	...Uniaxial Compressive Strength (Einaxsiale Druckfestigkeit)
V	...Verwitterung
WL	...Wellenlänge
ZG	...Zerlegungsgrad

### *Mechanik*

HB	...Hoek-Brown
MC	...Mohr-Coulomb



# Anlage A

Aufschlussdokumentation

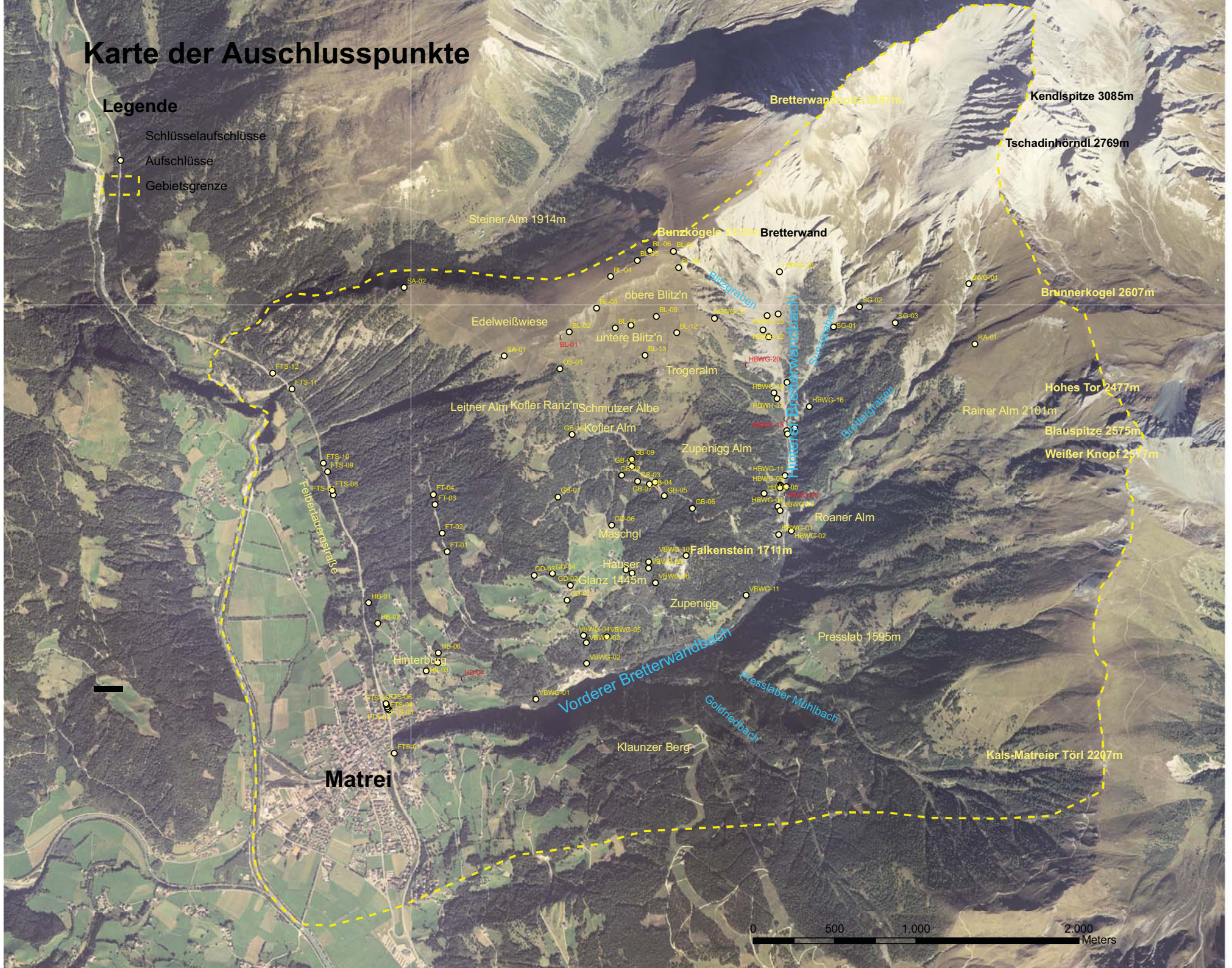




# Karte der Ausschlusspunkte

## Legende

- ↙ Schlüsselaufschlüsse
- Aufschlüsse
- - - Gebietsgrenze



Steiner Alm 1914m

Bretterwandspitze 2987m

Kendls Spitze 3085m

Tschadinhörndl 2769m

Bunzkögle 2450m Bretterwand

Brunnerkogel 2607m

Edelweißwiese

Leitner Alm Kofler Ranz'n Schmutzer Älbe

Hohes Tor 2477m

Rainer Alm 2101m

Kofler Alm

Blauspitze 2575m

Weißer Knopf 2517m

Zupenigg Alm

Roaner Alm

Falkenstein 1711m

Presslab 1595m

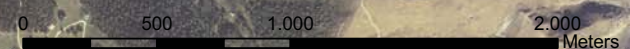
Häuser

Zupenigg

Klaunzer Berg


Kals-Matreier Törl 2207m

Mauterhorn

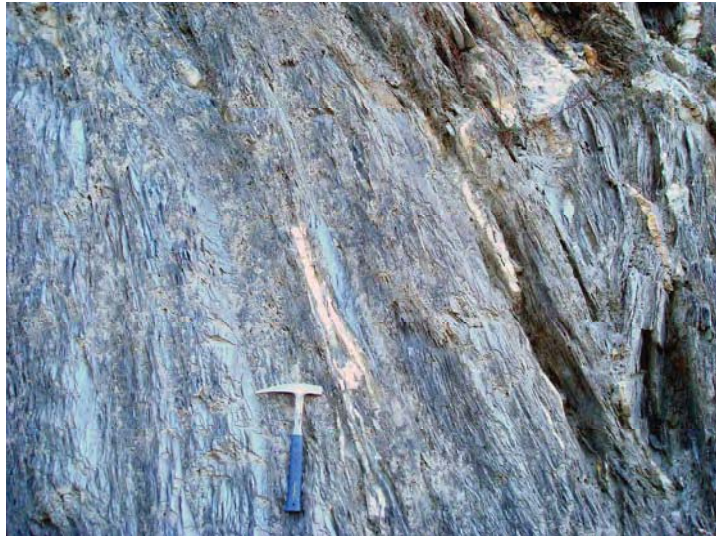




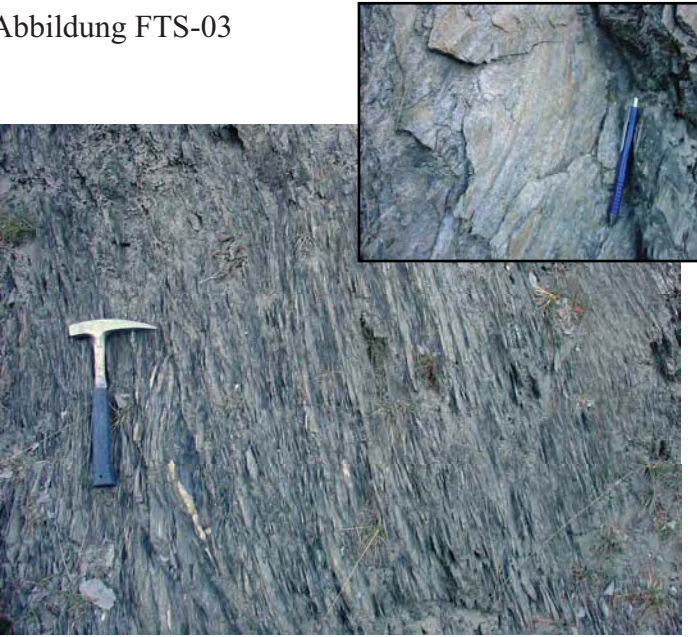


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – S' der Straßenbrücke überm Bretterwandbach						60.102		207.245		1.005			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FTS-01 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	kalkfreier dunkler Phyllit (tw. Graphitphyllit)													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	dunkelgrau - schwarz		dünnchiefrig		<0,1-0,5/4-3									
metapelitisch, vereinzelt metapsammitischen Lagen; HGL +/-QZ +/-FS +/-GPH; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: tektonisch isoklinal verfaltet; sigmoidale Scherkörper; außerhalb Massenbewegung;								
PHY, GPHY	1-5	17-22 F	< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-GPHY	165	67	3	1	4-6	g	e	100	2	< 20	0,1-2,5	S2	3	aufrecht
sf-PHY	171	57	3	1	4-8	r	w	50	1,2	< 20	0,1-2,5	S2	3	aufrecht

Anmerkung: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

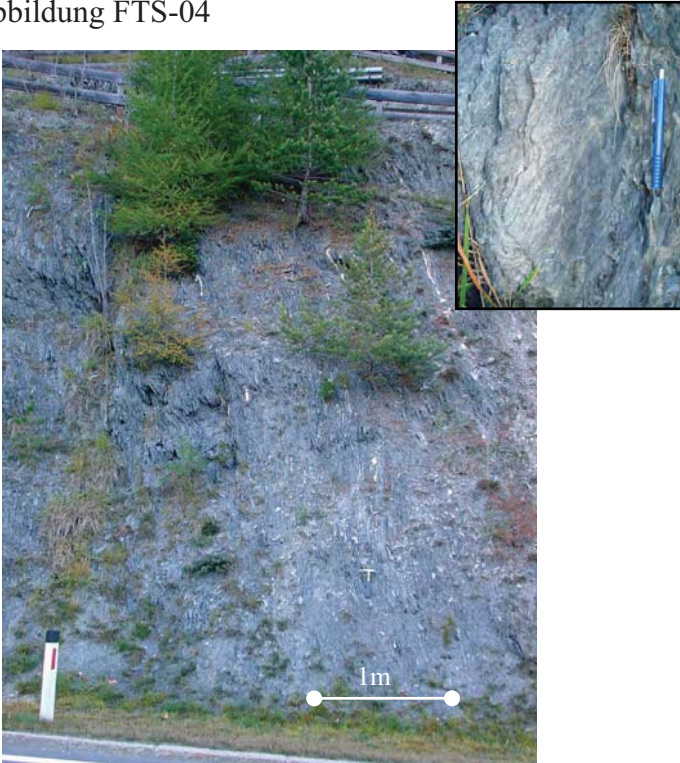
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-02</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	17.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – Steig nach Hinterburg					-60.135		207.511		1.015				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FTS-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	kalkfreier, quarzitischer Chloritphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	hellgrün schimmernd, grau		dünnchiefrig		0,1-0,5 (1,0)/3									
	ockerbraun angewittert; metapelitisch – metapsammitisch; HGL +/-CHL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: tektonisch isoklinal verfaltet (rechts); außerhalb Massenbewegung;								
PHY	5-25	20-25 F	<6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-PHY	170	73	4	1	4-6	g	w	100	1,4	< 20	0,1-0,25		3	aufrecht, glimmerreich
sf-PHY	165	66	3	1	8-10	r	w	100	2	< 20	0,1-0,25		2	sandig, aufrecht
sf-PHY	174	66	3	1	10-12	r	w	100	2,5	< 20	0,1-0,25		2	sandig, aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-03</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	17.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – vis a’ vis Ausfahrt Matrei					-60.144		207.519		1.010				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FTS-03 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	kalkfreier quarzitischer Phyllit, Phyllit und Graphitphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig		< 0,1-0,5 (1,0)/4-3									
ockerbraun angewittert; metapelitisch – metapsammitisch; HGL +QZ +/-FS +/-GPH; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: tektonisch verfaltet und zerschert; kleines Bild: Streckungslinear quer zum Einfallen der sf-Fläche; sf-Fläche sandig rau; außerhalb Massenbewegung;								
quarzit. PHY	5-25	20-25 F	< 6-20	plattig	3									
GPHY	1-5		< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-PHY	170	67	6	1	6-8	r	w	50	1	< 20	0,1-0,5	S2	2	„sandiger“ Phyllit, aufrecht
sf-GPHY					4-6	g	w							dunkler Phyllit, aufrecht

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad



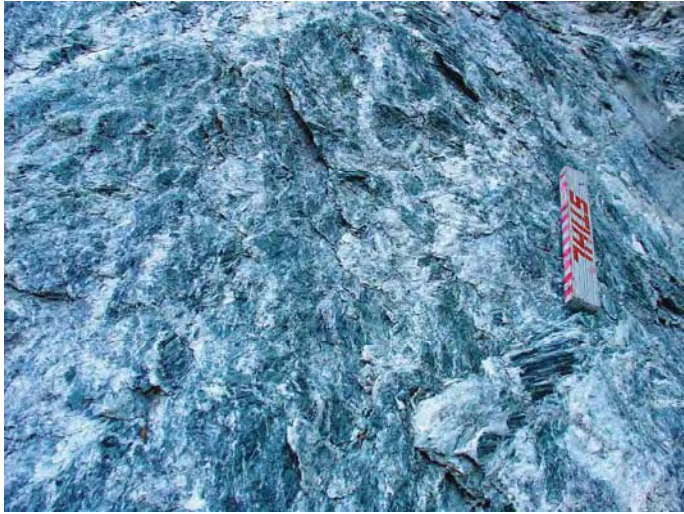
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-04</b>																																		
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>																																					
<i>Datum</i>	17.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>																																	
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – vis a' vis Ausfahrt Matrei					-60.147		207.530		1.010																																	
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FTS-04																																				
<b>Gestein</b>																																											
<i>Bezeichnung</i>	kalkfreier, quarzitischer Phyllit, Phyllit und Graphitphyllit																																										
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>																																						
	dkl. grau - schwarz		dünnchiefrig		<0,1-0,5/4-3																																						
	Metapelite mit dünnen metapsammitischen Lagen; HGL +/-QZ +/-FS +/-GPH; QZ-Linsen																																										
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>																																											
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: tektonisch isoklinal verfaltet und zerschert; kleines Bild: sehr glatte, glimmerreiche sf-Fläche; außerhalb Massenbewegung;																																					
GPHY, PHY	1-5	17-22 F	< 6	plattig	3																																						
PHY	5-25		< 6	plattig	3																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"><i>Trennflächen</i></th> <th rowspan="2"><i>Einf.-Richt.</i></th> <th rowspan="2"><i>Fallw.</i></th> <th rowspan="2"><math>\chi</math> [m]</th> <th rowspan="2"><i>Ende</i></th> <th rowspan="2"><i>JRC</i></th> <th colspan="2"><i>Rauigkeit</i></th> <th rowspan="2"><i>WL [cm]</i></th> <th rowspan="2"><i>Ampl. [cm]</i></th> <th rowspan="2"><i>Abst. [mm]</i></th> <th rowspan="2"><i>Öffng. [mm]</i></th> <th rowspan="2"><i>Füllung</i></th> <th rowspan="2"><i>Wasser</i></th> <th rowspan="2"><i>Anmerkung</i></th> </tr> <tr> <th><i>mikro</i></th> <th><i>makro</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>sf-GPHY</td> <td>163</td> <td>75</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>4-6</td> <td>g</td> <td>w</td> <td>100</td> <td>2</td> <td>&lt; 20</td> <td>0,1-2,5</td> <td>S2</td> <td>2</td> <td>aufrecht</td> </tr> </tbody> </table>												<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>	<i>mikro</i>	<i>makro</i>	sf-GPHY	163	75	4	1	4-6	g	w	100	2	< 20	0,1-2,5	S2	2	aufrecht
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>							<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>								<i>Anmerkung</i>																
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>																																				
sf-GPHY	163	75	4	1	4-6	g	w	100	2	< 20	0,1-2,5	S2	2	aufrecht																													

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-05</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – vis a' vis Ausfahrt Matri						-60.151		207.543		1.010			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung FTS-05							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	phyllitischer Quarzit bis Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grün		schiefrig		0,1-0,5/3									
	QZ +/-CHL; QZ-Linsen, kalkfrei Metaradiolarit													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	<i>Anmerkungen:</i> tektonisch isoklinal verfaltet (roter Pfeil); bereichsweise Scherkörper; außerhalb Massenbewegung;								
phyll. QZT - QZT	50-100	35-40 C	6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-phyll. QZT	166	66	8	1	12-14	r	w	100	3	< 20 / 20-60	< 0,1-0,25		3	aufrecht
sf-phyll. QZT	161	73	8	1	10-12	r	w	100	2,5	< 20 / 20-60	< 0,1-0,25		2	aufrecht




Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-06</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – vis a' vis Ausfahrt Matrei						-60.153		207.550		1.010			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		Erdmantel		Abbildung FTS-06							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Talkschiefer/Serpentinit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grün, weiß		schiefrig		0,1-30/3-2									
	Serpentin (Chrysotilfasern); tw. in Talkschiefer umgewandelt													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: tektonisch zerschert; außerhalb Massenbewegung;								
Talk	1-5	15-20 F	<6-20	plattig	4									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-SEP	173	67	7	1	14-16	mikro	makro	100	3	< 20	< 0,1–2,5	Talk	3	Rinnsal, aufrecht

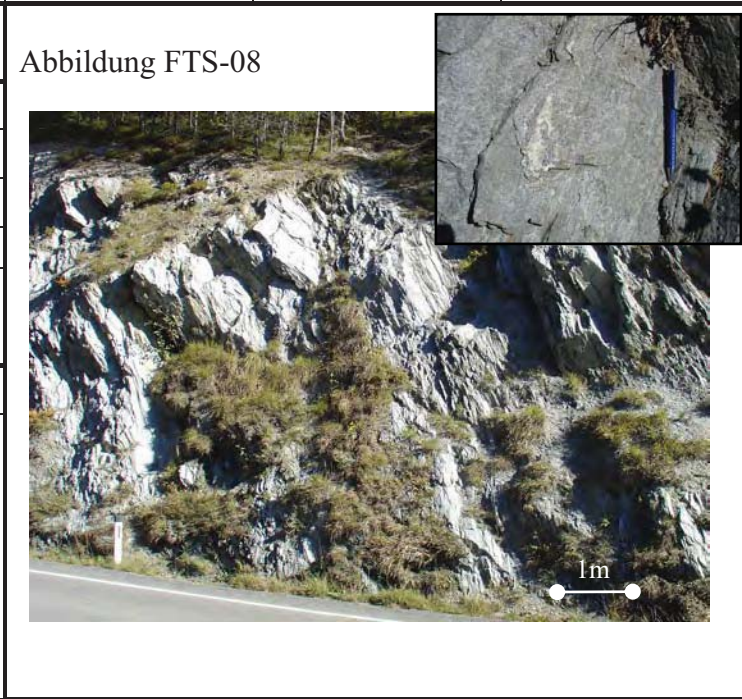
Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad



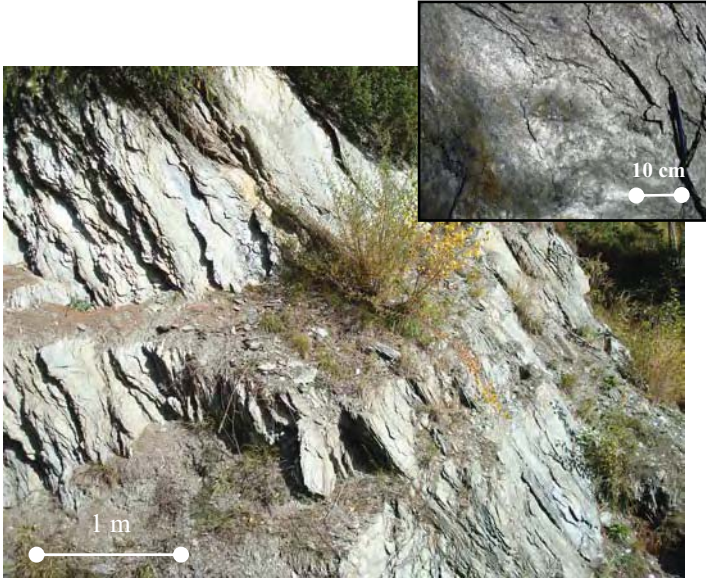
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-07</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – 300 m S' der Galerie						-60.477		208.831		1.060			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FTS-07							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer; Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig		0,1-1,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammite (Turbidite) und Metapelite; CC +HGL +-QZ +/-FS, QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Kleines Bild: Streckungslinear quer zum Einfallen der sf; sf-Fläche sandig rau (⇒ CC und QZ); Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
KGLS	50-100	35-40 C	< 6-60	plattig polye.	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KGLS	168	58	5	1	8-10 6-8	r r	e e	100 32	1 0,8	< 20 (20-60)*	< 0,1- 0,5		3	* vereinzelt; Streckungslinear quer zum Einfallen; aufrecht
k	70	85	3	1		sr	s						3	setzt an sf ab

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-08</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	17.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – 300 m S' der Galerie					-60.485		208.858		1.060				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid									
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig		0,1-1,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammite und Metapelite; CC +HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Kleines Bild: Streckungslinear quer zum Einfallen der sf; sf-Fläche sandig rau (⇒ CC und QZ);  Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
KGLS	25-100	30-35	< 6-20	plattig	2									
KPHY	5-25	D	< 6	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KGLS	175	58	6	1	6-8	r	e	200	3,5	< 20 (20-60)*	< 0,1-0,25		3	* vereinzelt Streckungslinear quer zum Einfallen; aufrecht
sf-KGLS	171	73	7	1	6-8	r	e	100	1,2	< 20 (20-60)*	< 0,1-0,25		3	aufrecht

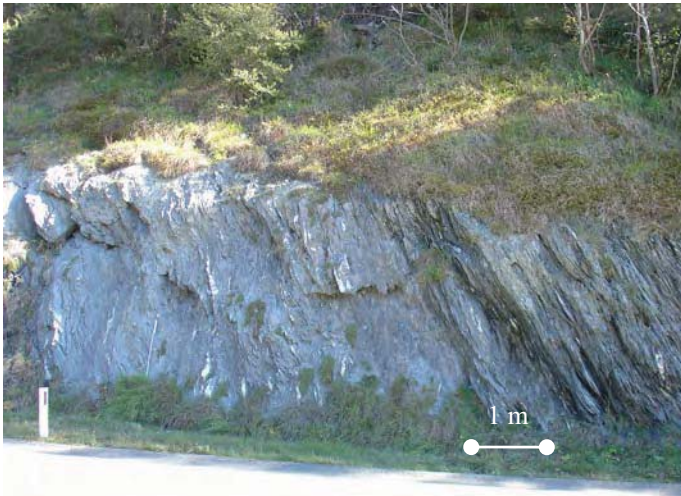


Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>				<b>FTS-09</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	17.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – 160 m S' der Galerie; direkt N' der Brücke					-60.512		208.973		1.060				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung FTS-09 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit; graphitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau; dkl. grau		dünnchiefrig		<0,1-0,5/4-3									
ockerbraun angewittert; vorherrschend Metapelite; sf-Flächen glänzend (= Serizit, feinschuppiger Muskovit => kleines Bild re.; HGL +/-CC +/-QZ +/-FS +/-GPH; QZ-Linsen; kalkarm														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Kleines Bild: sehr glatte glimmerreiche sf-Fläche;  Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
KPHY	5-25	18-23 G	<6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-KPHY	170	57	4	1	4-6	g	w	45	1	< 20	<0,10-0,5	S2	2	aufrecht
sf-KPHY	163	50	4	1	4-6	g	w	80	2	< 20	<0,1-0,25			aufrecht

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FTS-10</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – 130 m S' der Galerie						-60.538		209.025		1.060			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FTS-10 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, graphitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau, dkl. grau		dünnchiefrig		<0,1-0,5 (1,0)/4-3									
metapelitisch - metapsammitisch; HGL +/-QZ CC +/-FS +/-GPH; QZ-Linsen, kalkarm														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: tektonisch isoklinal verfaltet; bereichsweise linsige Scherkörper; außerhalb Massenbewegung;								
GPHY	1-5	18-23 F	< 6	plattig	3									
KPHY	5-25		< 6- 20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-KPHY	186	63	2,5	1	4-6	g	w	80	2	< 20	<0,10- 2,5	S2	3	aufrecht
					4-6	g	w	33	1,3	< 20	<0,10- 2,5	S2	3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>		<b>FTS-11</b>		
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>				
<i>Datum</i>	17.10.07					X [m]	Y [m]	Z [m]		
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – N' der Galerie; Felbertauernstüberl					-60.731	209.479	1.065		
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 1		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FTS-11 			
<b>Gestein</b>										
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer									
<i>Beschreibung</i>	Farbe	Ausbildung		Korngr [mm]/Klasse						
	grau	schiefrig		0,1-1,0/3						
ockerbraun angewittert; Metapsammite mit dünnen Metapeliten; CC +HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen										
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>										
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: Serie von Kalkglimmerschiefer mit dünnen Lagen von Kalkphylliten; kleines Bild: sandiger Charakter der sf-Fläche; Streckungslinear quer zum Einfallen der sf;  Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;				
KGLS	50-100	40-45 B	6-60	plattig polye.	2					

<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
sf-KGLS, ha	168	63	10	1	8-10	sr-r	e	52	0,8	60-200	0,1-2,5		3	Streckungslinear quer zum Einfallen, aufrecht
lin	249	11												sin/+cc-Fasern/1
ha	191	70												
lin	276	4												sin/+cc-Fasern/1
sf-KGLS	157	65	10	1	6-8	r	e	100	1,2	60-200	0,1-0,25		3	Streckungslinear quer zum Einfallen, aufrecht
k1	245	80	10	1		r	s			600-2000		tw. cc	3	setzt an sf ab
k	68	55	6	1		r	e			600-2000		tw. cc	3	setzt an sf ab
k	292	53	2	1		r	e			600-2000		tw. cc	3	setzt an sf ab
k	294	61	2	1		r	e			600-2000		cc	3	setzt an K1 ab
k	284	55	1	1		r	e			600-2000		cc	3	setzt an K1 ab

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

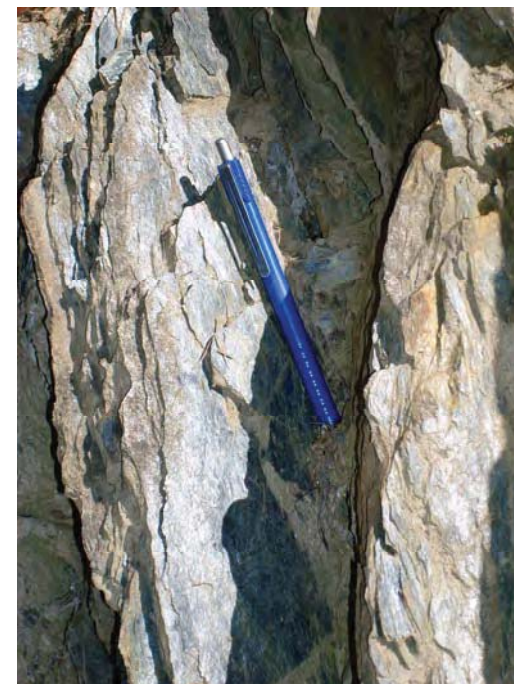
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>	<b>FTS-12</b>						
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	06.10.08					X [m]	Y [m]	Z [m]					
<i>Lokalität</i>	Felbertauernstraße – N' der Galerie; vis a' vis Felbertauernstüberl					-60.850	209.577	1.065					
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 1	<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung FTS-12 							
<b>Gestein</b>													
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmermarmor												
<i>Beschreibung</i>	Farbe	Ausbildung		Korngr. [mm]/Klasse									
	grau	schiefrig, bankig		0,1-1,0/3									
	ockerbraun angewittert; CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen												
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>													
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V					Abbildung: Serie von Kalkglimmerschiefer; kleines Bild: sandig rauher Charakter der sf-Fläche;  Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;			
KGLS	100-250	45-50 B	6-60	plattig	2								

Trennflächen	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
sf-KGLS	177	67	18	1	6-8	r	e	80	2	20-200	<0,1-0,25		3	sandig, aufrecht
sf-KGLS	183	67	18	1	10-12	sr	e	80	4	20-200	<0,1-0,25		3	sandig, aufrecht
sf-KGLS	182	62	18	1	6-8	r	e	100	1,3	20-200	<0,1-0,25		3	sandig, aufrecht
sf-KGLS			18	1				60	2,5	20-200	<0,1-0,255		3	sandig, aufrecht
sf-KGLS			18	1				40	4,5	20-200	<0,1-0,25		3	sandig, aufrecht
k	260	89	8	1		sr	s <sup>*)</sup>			200-600		tw. cc	3	setzt tw. an sf ab; *)gestuft durch sf
k	288	58	1	1		r	w			200-600			3	setzt tw. an sf ab
k	55	80	3	1		r	s			200-600			3	setzt tw. an sf ab
k	65	87	15	1		r	e			2000-6000		tw. cc	3	geht durch
k	45	82	10	1		r	e			2000-6000		tw.cc	3	geht durch
k	54	73	6	1		e	e, s <sup>*)</sup>			2000-6000		tw. cc	3	geht durch

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad



<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HB-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	10.10.08						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Hinterburg, Straßenaufschluss						-60.261		208.168		1.065			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HB-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Phyllit; quarzitischer Phyllit, graphitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau bis dkl. grau/schwarz		dünnchiefrig		<0,1-1,0/4-3									
	ockerbraun angewittert; pelitisch-psammitisch (distale Turbidite); tw. graphithältig + silbern schimmernde Schieferungsflächen (Serizit); HGL +QZ +/-FS +/-GPH; QZ-Linsen; kalkarm bis -frei													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
quarzit. PHY	5-25	20-25 G	< 6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
sf-PHY	181	71	2,5	1	4-6	mikro	makro	60	1,5	< 20	<0,1-0,25		3	aufrecht




Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad



<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HB-02</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	10.10.08						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Hinterburg, Straßenaufschluss						-60.204		208.041		1.080			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HB-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig		0,1-1,0/3									
	metapelitisch-metapsammitisch; HGL +QZ +/-FS; kalkarm bis -frei													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	<i>Anmerkung:</i> außerhalb Massenbewegung;								
quarzit. PHY	5-25	25-30 E	<6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-PHY	178	72	2	1	6-8	r	e	44	0,7	< 20	< 0,1-0,25		3	aufrecht; Streckungslinear quer zum Einfallen der sf, sandig
sf-PHY					6-8	r	e	50	0,5	< 20	< 0,1-0,25		3	



Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

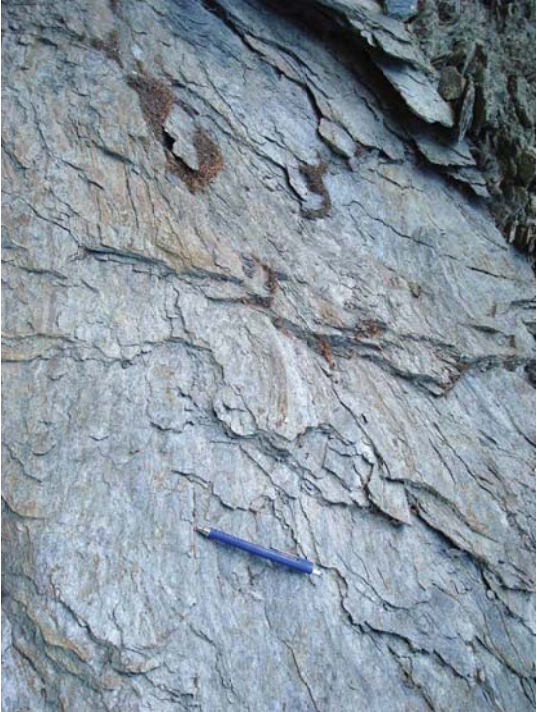
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HB-03</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	10.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Hinterburg, Straßenaufschluss					-59.906		207.751		1.125				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung HB-03 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Phyllit, dünne Talkschieferlagen													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünn-schiefrig		< 0,1-0,5/4-3									
ockerbraun angewittert; metapeltisch; silbern schimmernde Schieferungsflächen (Serizit), HGL +/-QZ +/-CHL +/-FS; QZ-Linsen; kalkfrei														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
PHY	5-25	20-25 G	< 6	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
sf-PHY	149	67	4	1	4-6	mikro	makro	54	1	< 20	< 0,1-0,25		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

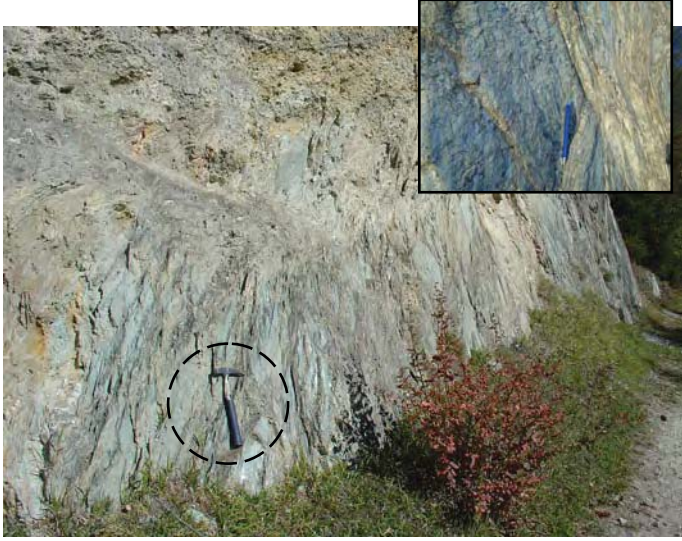
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HB-04</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Alter Weg Zupenig						-59.684		207.705		1.140			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HB-04							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Phyllit, quarzitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnschiefrig		<0,1-1/4-3									
	ockerbraun angewittert; pelitisch - psammitisch (distale Turbidite); HGL +QZ +/-FS; QZ-Linsen; kalkarm bis frei													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: in der phyllitischen Abfolge treten immer wieder kakiritische annähernd sf-parallele Störungszonen (cm bis dm) auf => Hangtektonik;  Abbildung: Kontakt (weiß strichliert): Massenbewegung (Stirn) überschiebt Moräne;								
PHY, quarzit. PHY	1-25	18-23 F	< 6- 20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-PHY	55	55	7	1		mikro	makro			< 0,2	0,1-2,5	S2	2	überkippt

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HB-05</b>						
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>									
<i>Datum</i>	10.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>					
<i>Lokalität</i>	Hinterburg, Straßenaufschluss					-59.835		207.800		1.150					
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung HB-05 								
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Phyllit														
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>										
	grau		dünnchiefrig		< 0,1-0,5/4-3										
	ockerbraun angewittert; metapelitisch - metapsammitisch; HGL +/-QZ +/-FS; kalkfrei;														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: außerhalb Massenbewegung;									
quarzit. PHY	5-25	20-25 G	< 6	plattig	2										
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>	
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>								
sf-PHY	177	67	1	0	4-6	g	w	40	0,4	< 20	< 0,1 – 0,25		3	aufrecht	

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HB-06</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	10.10.08						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Hinterburg, Straßenaufschluss						-59.832		207.861		1.180			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HB-06 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Phyllit, Chloritphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grünlich schimmernd		dünnchiefrig		<0,1-1,0/4-3									
peltisch - psammitisch; HGL +/-QZ +/-CHL +/-FS; QZ-Linsen; kalkarm bis -frei														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
quarzit. CPHY	5-25	20-25 G	< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
quarzit. CPHY	167	75	4	1	4-6	mikro	makro	50	0,7	< 20	< 0,1 – 0,25		3	aufrecht
quarzit. CPHY					8-10	sr	w	50	1	< 20	< 0,1 – 0,25			aufrecht; Streckungslinear quer zum Einfallen der sf

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>				<b>FT-01</b>						
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>										
<i>Datum</i>	06.10.08						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>						
<i>Lokalität</i>	Forststraße parallel zur Felbertauernstraße						-59.778		208.481		1.380						
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FT-01 										
<b>Gestein</b>																	
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkphyllit																
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>												
	grau		dünnchiefrig		<0,1-0,5 (1,0)/4-3												
	Metapelite mit dünnen Lagen (5-10 mm) von Metapsammiten CC +HGL +QZ +/- FS; QZ-Linsen																
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>																	
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: tektonisch isoklinal verfaltet; bereichsweise Scherzonen; außerhalb Massenbewegung;											
quarzit. KPHY	5-25	20-25 F	<6-20	plattig	3												
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>			
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>										
sf-PHY	167	72	5	0	4-6	g	w	80	1,5	< 20	< 0,10-0,5	S2	2	Abbildung links, aufrecht			
sf-PHY	168	67	5	0	8-10	r	w	100	2	< 20	< 0,1-0,5	S2	2	Abbildung rechts, aufrecht			
sf-PHY	156	77	5	0	8-10	r	w	50	1,5	< 20	< 0,1-0,5	S2	2	1395m.ü.A., aufrecht			

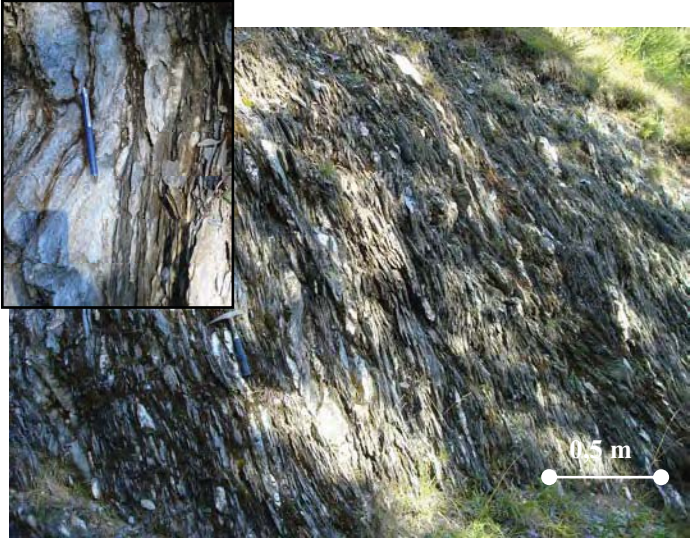
Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FT-02</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	06.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Forststraße parallel zur Felbertauernstraße					-59.809		208.596		1.425				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FT-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnschiefrig		<0,1-0,5 (1,0)/4-3									
Metapelite mit dünnen Lagen (1 bis 5mm) von Metapsammiten; silbern schimmernde sf-Flächen (Serizit); CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	<i>Anmerkungen:</i> tektonisch isoklinal verfaltet; bereichsweise Scherzonen; außerhalb Massenbewegung;								
quarzit. KPHY	5-25	25-30 E	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>														
sf-KPHY	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	<i>Rauigkeit</i>		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
	189	69	5	0	6-8	r	w	50	1	< 20	0,1-0,5	S2	2	aufrecht



Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FT-03</b>						
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>									
<i>Datum</i>	06.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>					
<i>Lokalität</i>	Forststraße parallel zur Felbertauernstraße					-59.851		208.772		1.430					
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FT-03 								
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkphyllit, dünne Lagen (0,5 bis 10 cm) Graphitphyllit														
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>										
	grau		dünnchiefrig		0,1-0,5 (1,0)/3										
	ockerbraun angewittert; Metapelite und Metapsammite (viele dünne sandige Lagen mit 3 bis 10 mm) CC +HGL +QZ +/-FS +/-GPH; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: tektonisch isoklinal verfaltet; Scherzonen und sigmoidale Scherkörper; außerhalb Massenbewegung;									
KPHY	1-5	20-25 F	< 6- 20	plattig	3										
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>	
sf-KPHY	186	78	5	0	6-8	<i>mikro</i>	<i>makro</i>	80	1,9	< 20	0,1-2,5	S2	2	aufrecht	
								110	2,0						

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>FT-04</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	06.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Forststraße parallel zur Felbertauernstraße					-59.863		208.831		1.435				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung FT-04							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkglimmerschiefer, kalkiger Quarzit, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		bankig/schiefrig – dünn-schiefrig		0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammite (5 bis 15cm); Metapelite CC HGL +QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: großes Bild links und kleines Bild rechts oben Metapsammite (= Turbidite); im großen Bild rechts Metapelite (isoklinal verfaltet und linsige Scherkörper); Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
quarzit. KGLS	100-250	43-48 B	6-60	plattig	3									
KPHY	5-25	20-25 G	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KGLS	176	68	4	1	6-8	r	e	100	0,9	60-200	0,1-0,5		3	Streckungslinear quer zur Fall- richtung der sf, aufrecht
sf-KPHY	177	62	4	1	4-6	g	w	100	2,5	< 20	0,1-2,5	S2	2	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	vorderer Bretterwandgraben; Straße zur Kalkofensperre						-59.232		207.575		1.100			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung VBWG-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	div. Phyllite, u.a. Chloritphyllit, quarzitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau, grünlich		dünnschiefrig		< 0,1-1,0/4-3									
	ockerbraun angewittert; haupts. Metapelite, gelegentl. Metapsammite (distale Turbidite) HLG CHL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: hangtektonisch stark beanspruchte Stirn Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
PHY	1-5	18-23 F	< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-PHY	30	31	10	0		r	w			< 20	0,1-2,5	t	2	überkippt
sf-PHY	334	18	10	0		g	w			< 20	0,1-2,5	t	2	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-02</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	20.07.05					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Burgergraben					-58.921		207.795		1.160				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung VBWG-02 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Phyllit, quarzitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig		< 0,1-1,0/4-3									
	haupts. Metapelite; untergeordnet Metapsammite; HGL +/- QZ +/- FS													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: hangtektonisch verfalteter Phyllit nahe Störungszone (≡ Grenze Hauptbewegung/Westsporn); Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
PHY	1-5	18-23 F	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
PHY	120	57	3	0		r	w			< 20	0,1-2,5	S2	2	überkippt
PHY	323	29	3	0		r	w			< 20	0,1-2,5	S2	2	Fa 36/14

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-03</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Alter Weg Zupenig; Burgergraben						-58.924		207.924		1.235			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		Schelf		Abbildung VBWG-03							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Gips													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	weiß		bankig		0,5-2,0/3 (zuckerkörnig)									
	ausgelaugt, kavernös allochthoner Gesteinskörper innerhalb der phyllitischen Serie													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: Gipskarst; Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
Gips	0,25-1		6-60	polye.	4									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
sf-PHY	358	35	6	1		mikro	makro							überkippt; Messung im Aufschluss nebenbei

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-04</b>						
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>									
<i>Datum</i>	10.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>					
<i>Lokalität</i>	Alter Weg Zupenig; Burgergraben					-58.940		207.967		1.270					
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung VBWG-04 								
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>	Phyllit, quarzitischer Phyllit, Quarzit														
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>										
	grau		dünnchiefrig		< 0,1-1,0/4-3										
	tw. ockergelb angewittert; haupts. Metapelite, untergeordnet Metapsammite (distale Tutbidite); HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: hangtektonisch eng verfälteter Phyllit nahe Störungszone (≡ Grenze Hauptbewegung/Westsporn); Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);									
PHY	1-5	18-23 F	<6-20	plattig	3										
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>	
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>								
PHY	51	37	10	1		r	w			< 20	0,1-2,5	S2	2	überkippt	
PHY	255	47	10	1		r	w			< 20	0,1-2,5	S2	2	Fa 335/10	


Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-05</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	10.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Alter Weg Zupenig; Abzweiger zur Wiese					-58.795		207.961		1.265				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung VBWG-05 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Chloritphyllit, Quarzit, dünne Gipslagen													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grün, grau		dünnchiefrig		< 0,1-2,0/4-3									
ockerbraun angewittert; Metapelite und Metapsammite; CHL HGL QZ +/-FS; QZ; Gips;														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
CPHY	1-5	20-25 F	<6-20	plattig	4									
QZT	50-100		6-20	plattig polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
PHY	60	15	5	0		mikro	makro			< 20	0,1-2,5	S2	2	überkippt
						r	w							

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-06</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	S' vom Kleinen Falkenstein						-58.497		208.291		1.455			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung VBWG-06 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Quarzit, quarzit. Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig		0,5-1,0/3									
ockerbraun angewittert; Metapsammite (≡ Turbidite) mit phyllitischen Zwischenlagen QZ +/-HGL +/-FS														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: isoklinal verfalteter Quarzit mit dünnen phyllitischen Zwischenlagen; Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
QZT	25-50	35-40	6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-QZT	72	17	4	0		r	e			20-60	0,1-0,5		3	überkippt
sf-QZT	92	27	4	0		r	w			20-60	0,1-0,5		3	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-07</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	16.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	S' vom Kleinen Falkenstein					-58.540		208.379		1.490				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung VBWG-07 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Chloritphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grün		dünnchiefrig		<0,1-0,5/4-3									
ockerbraun angewittert Metapelit mit dünnen metapsammitischen Lagen; CHL HGL QZ +/-FS; QZ-Linsen Einschaltungen von dünnen Gipslagen?														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
CPHY	5-25	20-25 F	6-20	plattig	4									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-CPHY	107	13	8	2		mikro	makro			<20	0,1-,2,5		3	überkippt

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad



<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-08</b>						
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>									
<i>Datum</i>	01.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>					
<i>Lokalität</i>	SW' Kleiner Falkenstein					-58.642		208.350		1.460					
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung VBWG-08 								
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Phyllit, Quarzit, Phyllit,														
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>										
	grau		schiefrig		0,5-2,0/3										
	ockerbraun angewittert; Metapsammite, Metapelite; HGL +QZ +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);									
quarzit. PHY	25-50	30-35 D	<6-20	plattig	3										
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>	
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>								
	63	15	10	1		r	w			<20	0,1-2,5		3	überkippt	


Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-09</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	SW' unterhalb des Kleinen Falkenstein						-58.539		208.419		1.520			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung VBWG-09							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Chloritphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grün		dünnchiefrig		< 0,1-1,0/4-3									
	ockerbraun angewittert; QZ CHL HGL; QZ-Linsen Metaradiolarit?													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: isoklinal verfaltet; ausgeprägte Achsenflächenschieferung; hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
quarzt. CPHY	50-100	30-35 D	<6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
quarzt. CPHY	102	32	5	0		mikro	makro			< 20	0,1-0,25		3	überkippt

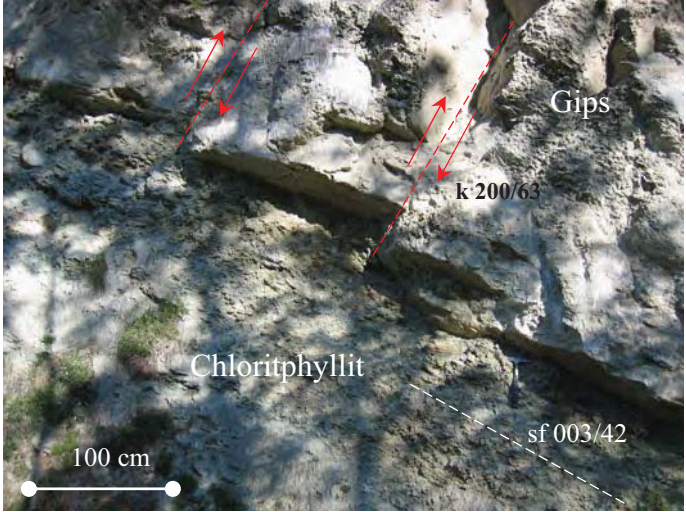


Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad



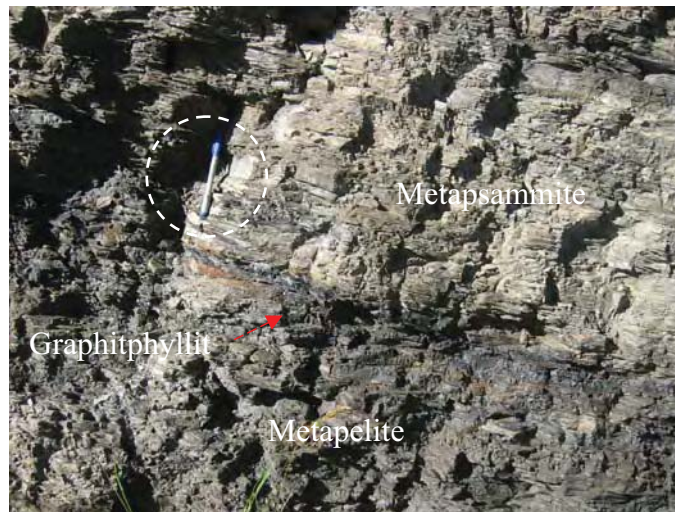
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-10</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	18.07.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Glanzer Berg						-58.310		208.458		1.610			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		Schelf		Abbildung VBWG-10							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Dolomitmarmor <sup>*)</sup>													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	weiß		massig		0,1-1,0/3									
	gelblich-ockerbraun angewittert; DOL; <sup>*)</sup> allochthoner Gesteinskörper innerhalb der phyllitischen Serie: tektonisch eingeschuppt oder vom Kontinentalrand eingegliederte Karbonatscholle (Olistolith);													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Dolomitmarmor des großen (rechts) und kleinen Falkensteins (links); Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
DOL	100-250	50-55 A	20-200	polye.	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
ha	345	82	50	1		g	e			600-6000			3	
ha	147	88	40	1		r	s			200-2000			3	
ha	145	75	40	1		g	s			600-2000			3	
ha	128	82	15	1		r	e			600-2000			3	
k/ha	244	88	10	1		r	e			200-2000			3	
k/ha	72	86	15	1		r	e			600-2000			3	

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>VBWG-11</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	29.07.04					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg vorderer Bretterwandgraben					-57.940		208.214		1.380				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch/Schelf		Abbildung VBWG-11							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Gips, Chloritphyllit, Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	weiß, grün		bankig/dünnschiefrig		<0,1-2,0/3-4 (Gips zuckerkörnig)									
	ockerbraun angewittert; quarzitische Lagen in den Chloritphylliten; CHL HGL +/-QZ +/-FS Gips: allochthoner Gesteinskörper innerhalb der phyllitischen Abfolge													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Gips unterlagert von Chloritphylliten, die mit dünnen Gips- und Quarzitlagen wechsellagern; Versatzstrukturen; hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
Gips	0,25-1		<6-200	polye.	3									
CPHY	1-5	18-23 F	< 6	plattig	4									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-CPHY	3	42	6	0		r	w			60-600	0,1-0,25		3	überkippt
st-Gips	200	63	3	0		r	e			600-2000	0,1-0,25		3	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>				<b>GD-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	17.10.05					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Glanzödörfel, Straßenaufschluss					-59.040		208.183		1.425				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GD-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	kalkiger Phyllit (tw. graphitisch); quarzitischer Phyllit bis Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau und dkl. grau/schwarz		dünnstiefriig - stiefriig		< 0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammite (dünnlagig) und Metapelite; HGL +QZ +/- FS +/- GPH													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: Wechselfolge von Turbiditen und autochthonen Sedimenten; hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
QZT	25-50	25-30 E	<6-20	plattig	2									
kalkiger PHY, GPHY	1-5		< 6	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	χ [m]	Ende	JRC	<i>Rauigkeit</i>		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
sf-PHY	95	18	8	1		mikro	makro			< 20	0,1-0,5	S2	2	überkippt
						r	w							




Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GD-02</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Glanzdörfel, Straßenaufschluss						-59.020		208.274		1.455			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		Schelf		Abbildung GD-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	weiß		gebant		< 0,1-2,0/3									
	hellbraun angewittert; QZ +/-HGL; allochtoner Gesteinskörper innerhalb der phyllitischen Serie													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Anmerkung: Stirn der Massenbewegung (Topplingzone);								
QZT	100-250	45-50 B	20-60	polye.	2									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
sf-QZT	325	10	20	1		mikro	makro			60-600				überkippt

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunkkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GD-03</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Glanzdörfel, Straßenaufschluss						-59.242		208.336		1.485			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GD-03 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnschiefrig		< 0,1-1,0/3									
ockerbraun angewittert; metapelitisch, gering metapsammitisch HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Anmerkungen: hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (= Topplingzone);								
PHY	1-5	10-15 H	< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
sf-PHY	3	37	15	0		r	w			< 20	0,1-0,25		2	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GD-04</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Glanzdörfel, Straßenaufschluss						-59.131		208.348		1.495			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GD-04							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Phyllit, Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite, Metapsammite; CC +HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
PHY	5-25	20-25 F	< 6	plattig	3									
QZT	25-50		6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
PHY			5	1		mikro	makro			<20-60	0,1-0,5	t	2	überkippt
						r	w							

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GD-05</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	E' Hauser						-58.679		208.369		1.480			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GD-05							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Phyllit, Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammite mit dünnen Metapeliten; HGL +QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: isoklinal verfaltete Phyllite und Quarzite; die isoklinale Faltung ist an den Segregationsquarzen deutlich (roter Pfeil); hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (= Topplingzone);								
QZT	25-50	30-35 D	6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	<i>Rauigkeit</i>		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
	sf-QZT-PHY	30	24	7	0	r	w			<20-60	0,1-0,25		3	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GD-06</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	17.10.05					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg					-58.766		208.644		1.560				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GD-06							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	kalkiger Phyllit mit quarzitischen Lagen													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig		0,1-1,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite, Metapsammite; HGL +CC +QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: intensiv verfalteter Phyllit;  Anmerkungen: hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (= Topplingzone);								
PHY-QZT	5-25	20-25 F	< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-PHY	332	57	6	0		mikro	makro			< 20	< 0,1 – 0,25			überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg						-59.097		208.818		1.650			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		gebankt, schiefrig		0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; v.a. Metapsammite (Turbidite) $\frac{3}{4}$ , gering metapelitisch $\frac{1}{4}$ ; CC HGL +/-QZ +/-FS													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkung: Stimbereich der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
KGLS dicke Bänke	50-100	35-40 C	6-60	plattig polye.	3									
KGLS dünne Bänke	25-50			plattig polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KGLS	343	30	4	1		mikro	makro			< 20-60	<0,1-2,5		3	überkippt
sf-KGLS	354	20	4	1		r	w			< 20-60	<0,1-2,5		3	überkippt

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-02</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg						-58.705		208.951		1.690			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		gebankt, schiefrig, dünnstiefzig		0,1-2,0/3									
	ockergelb angewittert; v.a. Metapsammite (≡ Turbidite) 2/3, Metapelite 1/3; CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: hangtektonisch wellig verfalteter und zerscherter Kalkglimmer- schiefer; Mittelteil der Massenbewegung;								
KGLS dickere Bänke	50-100	30-35	6-20	plattig	2									
KPHY	5-25	D	< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KGLS	190	87	6	1		r	w			< 20-60	0,1-0,25		3	+/- saiger
sf-KGLS	174	85	6	1		r	w			< 20-60	0,1-0,25		3	+/- saiger
sf-KGLS	338	87	4	1		r	w			< 20-60	0,1-0,25		3	+/- saiger
sf-KGLS	340	25	4	1		r	w			< 20-60	0,1-0,25		3	hangtektonisch verfaltet

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-03</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg						-58.607		208.914		1.800			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-03							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit, graphitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		bankig, schiefrig		<0,1-2,0/4-3									
	ockerbraun angewittert; metapelitisch mit metapsammitischen Lagen (≡ Turbidite); CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Mittelteil der Massenbewegung - Distensionszone;								
KGLS-KPHY	5-25	20-25 F	6-20	plattig	3									
KPHY	1-5		<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-KGLS	290	35	5	0		r	w			<20-60	0,1-0,25		3	überkippt
sf-KPHY	312	16	5	0		g	w			<20-60	0,1-0,25		3	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

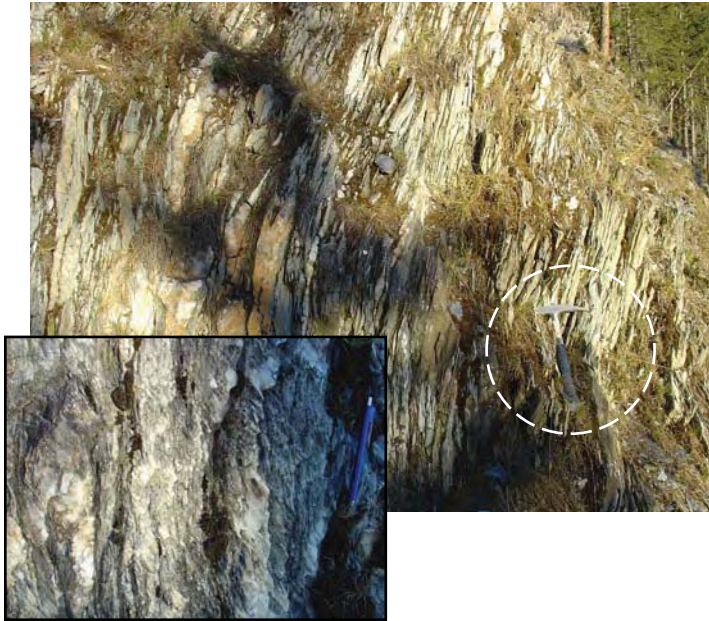
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-04</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg						-58.535		208.896		1.700			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-04							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		bankig, schiefrig		0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; v.a. Metapsammite (≡ Turbidite) mit metapelitischen Zwischenlagen; CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkung: Mittelteil/Stirnbereich der Massenbewegung								
KGLS dicke Bänke	50-100	35-40 C	6-20	plattig	2									
KGLS dünne Bänke	25-50		6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-KGLS	323	65	6	1		r	w			<20-60	0,1-0,25		3	überkippt
k	243	87	2	0		r	e			60-600				
k	64	55	1	0		r	e			200-600				

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-05</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	18.07.05					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg					-58.443		208.825		1.720				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-05							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, kalkig quarzitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig		<0,1-0,5 (1,0)/4-3									
	ockerbraun angewittert; metapelitisch - metapsammitisch (≡ Turbidite); CC HGL QZ +/-FS													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: sf-Flächen bilden Bewegungsflächen (Harnischfläche mit CC-Fasern); eingezeichnet die Bewegung des fehlenden Blockes; Mittelabschnitt der Massenbewegung;								
PHY	5-25	20-25 F	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-PHY ≡ ha	189	87	1	0		sr	w			< 20-60	<0,1-0,25		3	+/- saiger
lin	100	60												aufschiebend

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-06</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	17.10.05						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg; Abzweiger Richtung Falkenstein						-58.270		208.748		1.720			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-06							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>			<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>								
	grau		„gebant“, schiefrig-dünnschiefrig			0,1-1,0/3								
	ockerbraun angewittert; v.a. Metapsammite (≡ Turbidite) mit metapeltischen Zwischenlagen; CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Mittelabschnitt/Stirnzone der Massenbewegung; kleines Bild: Cross fault - Harnisch mit CC-Fasern;								
KGLS dicke Bänke	50-100	30-35 D	6-20	plattig	2									
KGLS dünne Bänke	25-50			plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KGLS	352	75	3	1		r	w			< 20-60	< 0,1-2,5		3	überkippt
sf-KGLS	358	77	3	1		r	w			< 20-60	< 0,1-2,5		3	überkippt
ha	287	73	2	0		r	s							sinistral schrägabschiebend
lin	220	53												

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-07</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	16.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg					-58.500		208.908,493		1.720				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-07							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig, gebankt		< 0,1-0,5 (1,0)/4-3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite; Metapsammite (≡ Turbidite); CC HGL +/-QZ +/-FS													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkung: Mittelteil der Massenbewegung – Distensionszone;								
KPHY	1-5	20-25 F	< 6	plattig	3									
KGLS	25-50		6-20	plattig polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
	mikro	makro												
sf-PHY	313	31	7	1		g	w			< 20	0,1-0,25		3	überkippt
sf-KGLS	325	45	7	10		r	w			20-60	0,1-0,25		3	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitz</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-08</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	27.06.06					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg					-58.643		209.004		1.745				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-08							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		< 0,1-0,5 (1,0)/4-3									
	ockerbraun angewittert; vorwiegend metapelitisch; metapsammitische Lagen (≡ Turbidite); CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkung: Mittelteil der Massenbewegung – Distensionszone;								
KPHY	5-25	18-23 F	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-PHY	362	67				g	w			< 20-60	0,1-2,5		3	überkippt
sf-PHY	250	06				r	w			< 20-60	0,1-2,5		3	+/- söhlig
sf-PHY	167	73				g	w			< 20-60	0,1-2,5		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-09</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	16.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg					-58.643		209.049		1.750				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-09							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		bankig, schiefrig - dünn-schiefrig		0,1-1,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite, Metapsammite(≡ Turbidite); CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Mittelabschnitt Massenbewegung, Einsetzen der Rotation;								
KPHY	5-25	20-25 F	< 6	plattig	3									
KGLS	25-50		6-20	plattig polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-KGLS	192	69	2	1		r	w			20-60	0,1-0,25		3	aufrecht
sf-KPHY	190	82	2	1		g	w			< 20	0,1-0,25		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>GB-10</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Forststraße Glanzer Berg, bei Köfleralm						-59.011		209.201		1.810			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung GB-10							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig		<0,1-1,0/4-3									
	ockerbraun angewittert; pelitisch - psammitisch (≡ Turbidite); CC HGL QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: hangtektonisch stark beanspruchte Phyllite des Westsporns; sf nahe der Hauptbewegung geschleppt;								
KPHY	1-5	20-25 F	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KPHY	210	35	6	0		mikro	makro			<20-60	0,25-2,5	S2	2	aufrecht

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>OS-01</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	15.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Ochsenstaon					-59.085		209.605		2.010				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		Erdmantel		Abbildung OS-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Serpentinit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grün		massig		0,1-60/3-2									
	Faserserpentin (Chrysotil)													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Anmerkung: isolierte lang gezogene Linse in der Masse der Kalkphyllite und Kalkglimmerschiefer;								
SEP	> 250	55-60	20-60	polye.	2									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
st-SEP	293	88	3	1		mikro	makro							Abschiebung
st-SEP	107	88	4	1		sr	s							Abschiebung



Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>SA-01</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	15.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Edelweißwiese, Aufschluss am Fußweg zur Steiner Alm					-59.428		209.685		1.950				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung SA-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		0,1-0,5 (1,0)/3									
bereichsweise ockerbraun angewittert; größtenteils feinkörnig (metapelitisch) mit zwischengeschalteten groberkörnigen Lagen (Metapsammite); CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	<i>Anmerkung: Abschiebungsfläche (Scarp)?</i>								
KPHY-KGLS	25-100	30-35 D	<6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KPHY	167	60	5	1	8-10	r	w	100	2,5	< 20-60	bis 0,25		3	Streckungslinear quer Einfallrichtung
sf-KPHY	168	56	5	1	6-8	sr	w	80	2,2	< 20	bis 0,25		3	Streckungslinear quer Einfallrichtung

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>SA-02</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	15.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Fußweg zur Steiner Alm						-60.043		210.104		1.950			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 1		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung SA-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		bankig, schiefrig		0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; Gletscherschliff; CC +/-HGL +/-QZ +/-FS													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
KGLS	100-250	40-45 B	<6-60	plattig poye.	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KGLS	160	62	10	0	8-10	r	w			20-200	< 0,1-0,5		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	15.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Obere Blitz'n; Hauptabschiebungsfläche (Main Scarp), Westende						-59.076		209.798		2.085			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, Graphitphyllit (dünne, cm mä. Lagen)													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnschiefrig		< 0,1- 0,5 (1,0)/4-3									
ockerbraun angewittert; grobteils feinkörnig (metapelitisch) vereinzelt groberkörnige Lagen (Metapsammite); CC HGL +/-QZ +/-FS GPH; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Kopf der Massenbewegung; Hauptabschiebungsfläche (Scarp Nr. 2); sf mit welliger Oberfläche; kleines Bild links: Graphitphyllit; sichtbarer vertikaler Versatz 40 m;								
KPHY	5-25	25-30 E	<6-20	plattig	3									
GPHY	1-5		< 6	plattig	3									
														
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-KPHY	170	58	15	1	8-10	r	w	70	2	< 20	bis 0,25		3	aufrecht
sf-GPHY			1*	0*	4-6	g	w	200	3	< 20	bis 0,25		3	* schlecht aufgeschlossen

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad



<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-02</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	15.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Obere Blitz'n; Hauptabschiebfläche (Main Scarp), Westende					-59.028		209.831		2.115m				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnstufig		<0,1-0,5 (1,0)/4-3									
	ockerbraun angewittert; großteils feinkörnig (metapelitisch) vereinzelt groberkörnige Lagen (Metapsammite); CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Kopf der Massenbewegung; Hauptabschiebungsfläche (Scarp Nr. 2); sichtbarer vertikaler Versatz 50 m;								
KPHY	5-25	25-30 E	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-KPHY	177	63	8	1	6-8	r	w	100	2,5	< 20	bis 0,25		3	aufrecht
sf-KPHY	180	59	1							< 20	bis 0,25		3	aufrecht

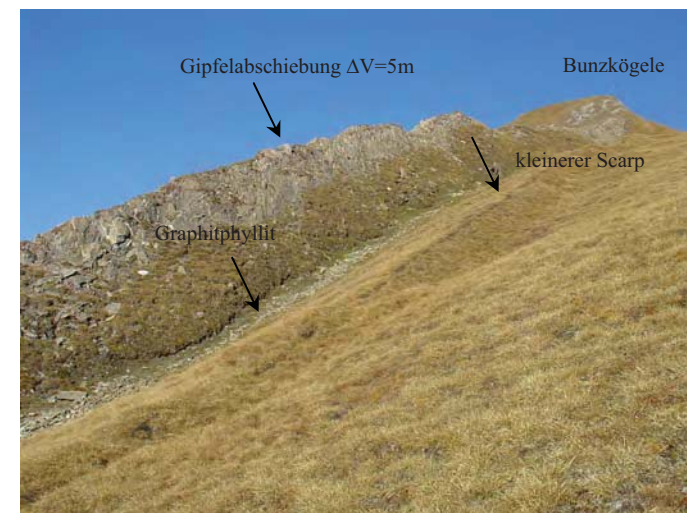
Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>				<b>BL-03</b>			
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	15.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Obere Blitz'n; Hauptabschiebfläche (Main Scarp), Westende						-58.859		209.975		2.275m			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-03							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		0,1-(0,5) 1,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite und Metapsammite (≡ Turbidite) CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Kopf der Massenbewegung; Hauptabschiebungsfläche (Scarp Nr. 2); sichtbarer vertikaler Versatz 40 m;								
KPHY-KGLS	25-50	30-35 D	6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KPHY	172	67	6	1	8-10	g	w	200	2,2	< 20-60	bis 0,25		3	aufrecht

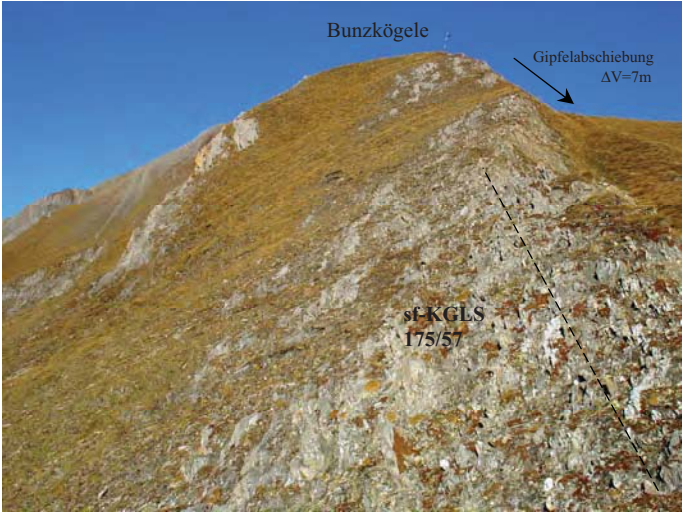
Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-04</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	15.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Obere Blitz'n; Hauptabschiebfläche (Main Scarp), Westende					-58.774		210.169		2.290				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2/Zone 1		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-04							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, Kalkglimmerschiefer, Graphitphyllit (dünne Lagen)													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig/bankig		0,1-2,0/3									
ockerbraun angewittert; Metapsammite (≡ Turbidite) nehmen zu; CC +/-HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Kopf der Massenbewegung; Gipfelabschiebung (Scarp Nr. 1) – mündet in den Blitzgraben; in der Geländemulde finden sich Lesesteine von graph. Phylliten; sichtbarer vertikaler Versatz 5-7 m;								
KPHY-KGLS	25-100	35-40 C	6-60	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KGLS	172	58	40	1	8-10	r	w	50	1,5	< 20-60	bis 0,25		3	aufrecht



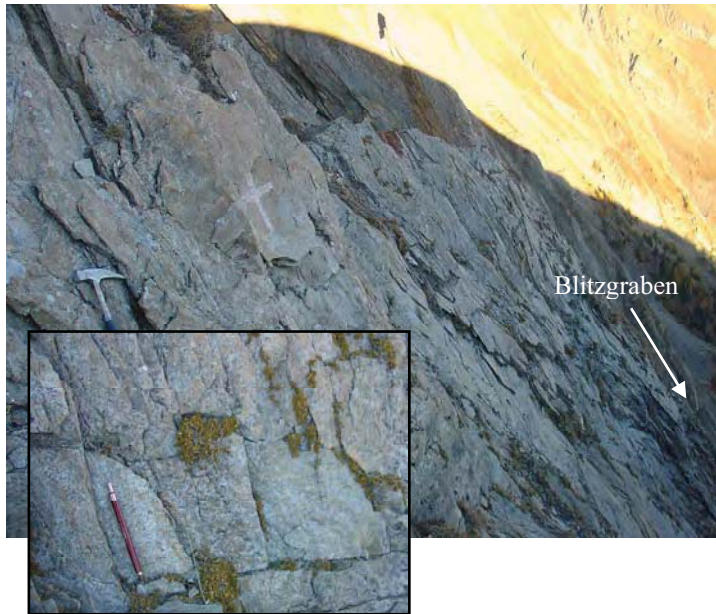
Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-05</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	15.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	SW-Grat Bunzkögele						-58.609		210.271		2.365			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 1		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-05							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		bankig, schiefrig		0,1-2,0/3									
ockerbraun angewittert; vorwiegend Metapsammite (≡ Turbidite), untergeordnet Metapelite; CC +/-HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Gipfelabschiebung (Scarp Nr. 1); vertikaler Versatz 7 m;								
KGLS	50-100	35-40 C	6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KGLS	175	57	30	0	8-10	mikro r	makro w	150	2,5	< 20-60	bis 0,25		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

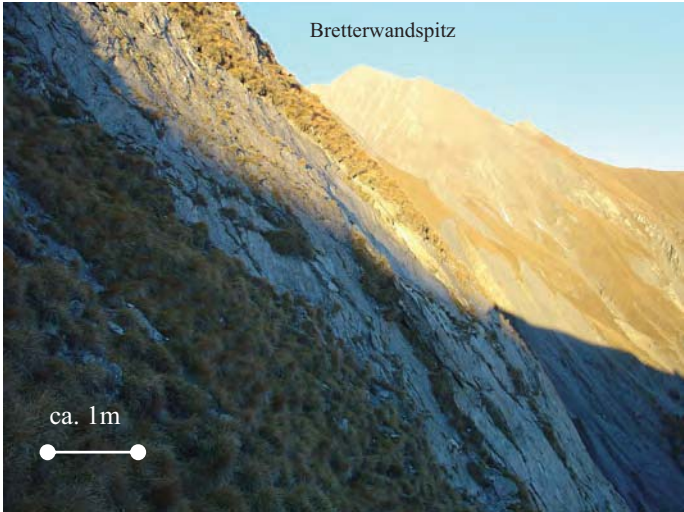
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-06</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	15.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Gipfel Bunzkögele; N-Seite						-58.532		210.331		2.395			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 1		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-06							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig, bankig		0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammite (≡ Turbidite) mit dünnen metapelitischen Lagen; CC +/-HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: N' Gipfelaufbau Bunzkögele;  Anmerkung: außerhalb Massenbewegung;								
KGLS	50-250	40-45 B	6-60	plattig polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KGLS	173	68	5	1	10-12	<i>mikro</i>	<i>makro</i>	180	3	20-200	bis 0,25		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>				<b>BL-07</b>			
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	15.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	1. Abschiebung; E' vom Bunzkögele						-58.387		210.326		2.390			
<i>Tektonische Einheit</i>	GDZ2/GDZ1		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-07							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnstiefriig		0,1-0,5 (1,0)/3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite und Metapsammite (≡ Turbidite); CC +/-HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Kopf der Massenbewegung; Gipfelabschiebung (Scarp Nr. 1) – mündet in den Blitzgraben; sichtbarer vertikaler Versatz 7 m;								
KPHY-KGLS	25-100	30-35 D	<6-60	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KPHY	172	58	50	1	8-10	<i>mikro sr<sup>*)</sup>, r</i>	<i>makro w</i>	50	1,5	< 20-60	bis 0,25		3	aufrecht; Streckungslinear quer zur Einfalls- richtung sf; <sup>*)</sup> verwittert

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>		<b>BL-08</b>							
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>									
<i>Datum</i>	15.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>					
<i>Lokalität</i>	Hauptabschiebung, SE' vom Bunzkögele					-58.355		210.226		2.335					
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-08 								
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit														
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>										
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		0,1-0,5 (1,0)/3										
	ockerbraun angewittert; metapelitisch; vereinzelt Metapsammite (≡ Turbidite); CC +/-HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Kopf der Massenbewegung; Hauptabschiebung (Scarp Nr. 2); sichtbarer vertikaler Versatz 20 m;									
KPHY	5-25	30-35 D	6-20	plattig	3										
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>	
sf-KPHY	170	62	10	1	8-10	mikro r	makro w	500	10	< 20	bis 0,25		3	aufrecht	

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-09</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	15.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	2. Hauptabschiebung, S' vom Bunzkögele						-58.492		209.925		2.185			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung BL-09							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig		<0,1-0,5/4-3									
	tw. ockerbraun angewittert; silbern glänzende Oberfläche (Serizit); metapelitisch; CC +HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Kopf der Massenbewegung; (Scarp Nr. 3); sichtbarer vertikaler Versatz 15 m;								
KPHY	5-25	20-25 G	<6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KPHY	175	56	2	0	4-6	mikro g	makro w	75	2	< 20	bis 0,25		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-10</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	15.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	2. Hauptabschiebung, S' vom Bunzkögele					-58.649		209.872		2.135				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-10							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnschiefrig		<0,1-0,5 (1,0)/4-3									
	ockerbraun angewittert; metapelitisch, vereinzelt Metapsammite (≡ Turbidite); CC QZ HGL +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Kopf der Massenbewegung (Scarp Nr. 3); sichtbarer vertikaler Versatz 25 m;								
KPHY	5-25	25-30 E	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KPHY	175	58	10	1	8-10 <sup>*)</sup>	mikro r <sup>*)</sup>	makro w	40	1	< 20	0,1-0,25		3	*) sf-Fläche oberflächlich verwittert, sandig;

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-11</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	15.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	2. Hauptabschiebung, S' vom Bunzkögele						-58.744		209.855		2.125			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-11							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig		<0,1-0,5 (1,0)/4-3									
	ockerbraun angewittert metapelitisch, vereinzelt Metapsammite (≡ Turbidite); CC QZ HGL +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Kopf der Massenbewegung (Scarp Nr. 3); sichtbarer vertikaler Versatz 40 m;								
KPHY	5-25	25-30 E	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KPHY	172	61	15	1	6-8 <sup>*)</sup>	r <sup>*)</sup>	w	120	2	< 20	0,1-0,25		3	<sup>*)</sup> sf-Fläche oberflächlich verwittert, sandig;
sf-KPHY	168	66	15	1	8-10 <sup>*)</sup>	r <sup>*)</sup>	w	40	1	< 20	0,1-0,25		3	

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-12</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	15.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	3. Hauptabschiebung, S' vom Bunzkögele (NW' Trogalm)					-58.368		209.825		2.155				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BL-12							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnstiefriig		0,1-0,5 (1,0)/Kl. 3									
	ockerbraun angewittert; metapelitisch; vereinzelt dünne Metapsammite (≡ Turbidite); CC QZ HGL +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: Kopf der Massenbewegung ( Scarp Nr. 4); sichtbarer vertikaler Versatz 40 m;								
KPHY	5-25	25-30 E	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KPHY	192	55	7	1	8-10 <sup>*)</sup>	mikro sr <sup>*)</sup> , r	makro w	65	1	< 20	bis 0,25		3	*) sf-Fläche oberflächlich verwittert, sandig

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad



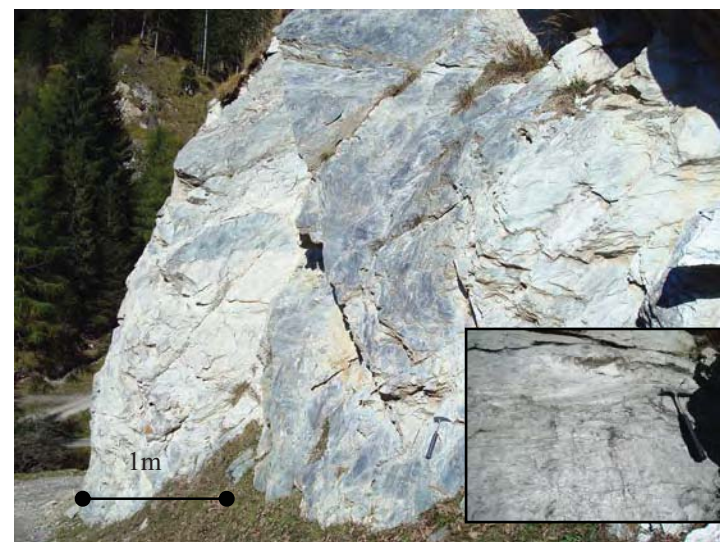
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BL-13</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	15.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	4. Hauptabschiebung, S' vom Bunzkögele (NW' Trogalm, am Steig)					-58.562		209.686		2.045				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung BL-13							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit; dünne Lagen Graphitphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnschiefrig		<0,1-0,5/4-3									
	ockerbraun angewittert; metapelitisch; HGL CC QZ +/-FS													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkung: Kopf der Massenbewegung (Scarp Nr. 5); sichtbarer vertikaler Versatz 15 m;								
KPHY	5-25	20-25 G	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KPHY	186	52	10	1	6-8 <sup>*)</sup>	mikro	makro	45	0,5	< 20	0,1-0,25		3	<sup>*)</sup> sf-Fläche oberflächlich verwittert, sandig;
					6-8 <sup>*)</sup>	r <sup>*)</sup>	e	40	0,5					

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	06.10.2008						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg Bretterwandgraben, orogr. rechts						-57.741		208.586		1.430			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Quarzit, Phyllit, Graphitphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau, schwarz		schiefrig		<0,1-2,0/4-3									
bräunlich angewittert; Metapsammite (≡ Turbidite), Phyllite kalkarm bis kalkfrei; Graphitphyllite als dünne Zwischenlagen; QZT: QZ +/- HGL HGL +/- QZ +/-FS														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkung: Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
QZT	50-100	30-35 D	<6-20	plattig	3									
PHY	5-25		<6	plattig	3									
GPHY	1-5		<6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-PHY	10	17	3	0	5	mikro r	makro w			< 20	0,1-0,25	S2	3	überkippt

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-02</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	06.10.2008						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Hinterer Bretterwandgraben, orogr. links, Forststraße Ranermoos						-57.662		208.607		1.450			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung HBWG-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	unterschiedl. quarzitische Phyllite (Serizitphyllite und Chloritphyllite); dünne Lage (einige cm) Serpentinit/Talkschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau bis grünlich		schiefrig		<0,1-0,5/3									
	ockerbraun angewittert; pelitisch, silbern schimmernde sf-Flächen (Serizit); HGL CHL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen; kalkarm bis frei;													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: aufrechte Lagerung; bereichsweise treten linsige Scherkörper, welche aus isoklinaler Faltung hervorgegangen sind auf; außerhalb Massenbewegung unbeeinflusst;								
PHY	25-50	25-30 E	< 6-20	plattig	2									
PHY	5-25		< 6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-PHY	179	58	8	1	4-6	g	w	50	1,5	< 20	0,1-0,25		3	aufrecht
sf-PHY	172	67	8	1	4-6	g	w	52 20 52	4 0,8 4	< 20	0,1-0,25		3	aufrecht






<i>Trennflächen</i>	Einf.- Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [cm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
k1	88	73	8	1		r, sr				200-600	0,1-2,5		3	durchtrennt sf
k1	77	65	8	1		r	e			200-600	0,1-2,5		3	
k1	80	75	8	1		r	e			200-600	0,1-2,5		3	
lin	5	28												sin/+/FCC/1
k1	76	83	4	1		sr	e			200-600	0,1-2,5		3	durchtrennt sf
k1	298	77	7	1		sr	e			60-200	0,1-2,5		3	durchtrennt sf
k2	280	75	10	1		r	e			60-200	0,1-2,5		3	durchtrennt sf

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>	<b>BWG-03</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>						
<i>Datum</i>	20.07.05					X [m]	Y [m]	Z [m]				
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts					-57.732	208.734	1.480				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch / Schelf		Abbildung BWG-03 					
<b>Gestein</b>												
<i>Bezeichnung</i>	graphitischer Phyllit/Dolomitmarmor („Falkensteinzug“) <sup>*)</sup>											
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>							
	dkl. grau –schwarz / weiß		dünnchiefrig/ massig		<0,1-0,5/4-3 bzw. 0,1-1/3							
	ockerbraun angewittert; *)allochthon – tektonisch eingeschuppt oder vom Kontinentalrand eingegliederte Karbonatscholle (Olistolith); PHY: HGL +/-QZ +/-FS +/-GPH											
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>												
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: Phyllit tektonisch, v.a. hangtektonisch stark zerschert (≡ Topplingzone); Kontakt Dolomitmarmor / dkl. Phyllit; Dolomitmarmor tektonisch isoklinal verfaltet;						
1) GPHY	1-5	10-15 H	< 6	plattig	4							
2) DOLM	100-250	50-55 A	20-200	polye.	2							

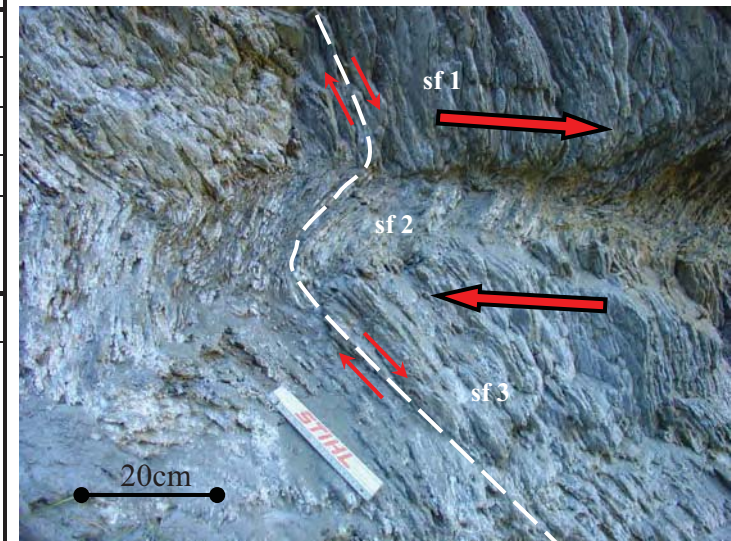
<i>Trennflächen</i>	Einf.- Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
sf-DOLM	335	43	4	0		g	w						3	überkippt
sf-DOLM	329 305	42 52	4	0		g	w						3	überkippt
sf-DOLM	186 189	74 89	2	0		g	w						3	Fa 270/22
sf-DOLM	235 273	75 50												entspricht +/- Fa
sf-PHY	328 323	33 32	4	0		g	w				0,25-0,5	S2	2	überkippt

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>				<b>HBWG-04</b>			
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts						-57.745		208.760		1.485			
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, Schelf		Abbildung HBWG-04							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	unterschiedl. Phyllite (Chloritphyllit), Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau, grün, weiß		dünnchiefrig		<0,1-0,5/4-3									
	Metapelite und -psammit; HGL CHL QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Anmerkungen: tektonisch, v.a. hangtektonisch zerschert; vorzugsweise sf-parallele Verwitterung; Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
1) PHY	1-5	10-15 H	<6-20	plattig	4									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
	sf-PHY	333	48	10	1	5	g	w	100	5-10	< 20	0,25-2,5	S2	2
	325	58	10	1		g	w							
	320	25	10	1		g	w							

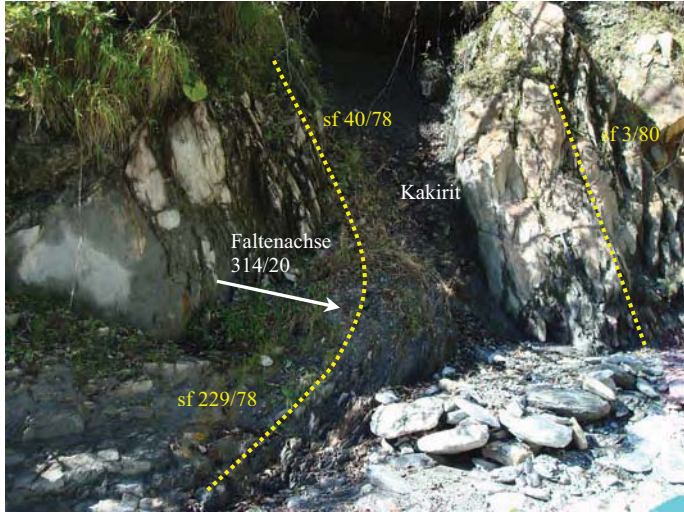
Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-05</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	14.09.07					X [m]	Y [m]		Z [m]					
<i>Lokalität</i>	70 Hm oberhalb des Aufschließungsweges hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts					-57.831	208.838		1.570					
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-05							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	Farbe	Ausbildung			Korngr. [mm]/Klasse									
	grau	dünnchiefrig			<0,1-0,5 (1,0)/4-3									
ockerbraun angewittert; Metapelite, vereinzelt Metapsammite; HGL +/-QZ +/-CC +/-FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: Knickband (= Scherzone) – hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (= Topplingzone);								
KPHY	1-25	18-23 F	< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
sf 1 – PHY	11	64	6	0		r, g	w			< 20	0,1-0,5	S2	2	überkippt
sf 2 – PHY	211	54	6	0		r, g	w			< 20	0,25-2,5	S2	2	aufrecht
sf 3 - PHY	27	59	6	0		r, g	w			< 20	0,1-0,5	S2	2	überkippt



Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>		<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-06</b>					
<i>Bearbeiter</i>		J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>		06.10.08					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>		Bachbett hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts					-57.703		208.836		1.475				
<i>Tektonische Einheit</i>		Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-06 							
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>		Kalkphyllit, quarzitischer Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>		<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
		grau		dünnschiefrig		<0,1-2/4-3									
		ockerbraun angewittert; Metapelite und -psammitte; HGL +/-QZ +/-CC +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>		UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: Faltenscharnier der Topplingzone => <b>Schlüsselaufschluss</b> ; annähernd sf-parallele spröde Störungszone (Kakirit); Stirn der Massenbewegung;								
PHY		5-25	18-23 F	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>		Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
							mikro	makro							
sf-PHY		40	78	2	0		g, r	w			< 20	0,1-2,5	S2	3	überkippt
sf-PHY		240	78	2	0		g, r	w			< 20	0,1-2,5	S2	3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-07</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	29.07.2004					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts					-57.733		208.872		1.500				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-07							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, quarzitischer Kalkphyllit, kalkiger Quarzit, dünne Lagen (0,5 cm bis 1 dm) graphitischer Phyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnstiefzig		<0,1-0,5 (1,0)/4-3									
	okerbraun angewittert; Metapelite und -psammite; HGL +/-QZ +/-CC +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: breite Scherzone mit Faltung; Randzonen bilden dünne Kakiritzonen (Felsausbrüche); hangtektonisch stark beanspruchte Stirn der Massenbewegung (= Topplingzone);								
PHY	5-25	15-20 F	< 6	plattig	3									
GPHY	1-5		< 6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-PHY	28	39	7	0		g	w			< 20	0,1-2,5	S2	2	überkippt
sf-PHY	6	67	7	0		r	w			< 20	0,1-2,5	S2	2	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-08</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts						-57.732		208.881		1.500				
<i>Tektonische Einheit</i>	Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-08 								
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, quarzitischer Kalkphyllit, kalkiger Quarzit														
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>										
	grau		dünnchiefrig-schiefrig		<0,1-2,0/4-3										
ockerbraun angewittert; Metapelite und -psammitte; HGL +/-QZ +/-CC +/-FS; QZ-Linsen															
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: isoklinal verfaltet (schwarz angedeutet); intensiv tektonisch (Achsenflächenschieferung 1, Scherfläche 2) und hangtektonisch zerschert; Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);									
1) PHY	1-5	20-25 F	< 6	plattig	3										
2) quarzit. PHY, QZT	5-50		6-20	polye.	3										
<i>Trennflächen</i>							<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>mikro</i>	<i>makro</i>								
	sf-KPHY	6	67	7	1	r, g	w			<20-60	0,1-0,5	S2	2	überkippt	

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad



<i>Projekt</i>		<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-09</b>					
<i>Bearbeiter</i>		J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>		16.10.2007					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>		Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts					-57.731		208.889		1.500				
<i>Tektonische Einheit</i>		Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-09							
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>		Kalkphyllit, quarzitischer Kalkphyllit, kalkiger Quarzit													
<i>Beschreibung</i>		<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
		grau		dünnschiefrig-schiefrig		<0,1-2,0/4-3									
		ockerbraun angewittert; Metapelite und -psammite; HGL +/-QZ +/-CC +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>		<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: tektonisch, v.a. hangtektonisch verfaltet und zerschert; spröde Störungszone - Kakirit (roter Pfeil); Stirn der Massenbewegung (≡ Topplingzone);								
PHY		1-5	18-23	< 6	plattig	3									
quarzit. PHY		5-25	F	6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>		<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KPHY		25	77	10	1		mikro	makro			< 20	0,1-2,5	S2	2, 3	überkippt




Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>		<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-10</b>				
<i>Bearbeiter</i>		J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>		06.10.08						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>		Bachbett hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts						-57.694		208.881		1.480			
<i>Tektonische Einheit</i>		Matreier Zone		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung HBWG-10							
<b>Gestein</b>															
<i>Bezeichnung</i>		Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>		<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
		grau		dünnchiefrig		< 0,1-0,5/3									
		Metapelite; HGL CC +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>															
<i>Gestein</i>		UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: tektonisch isoklinal verfaltet (weiß strichliert) und zerschert (ausgeprägte Achsenflächenschieferung; Vertreter rot strichliert); Scharnier der Topplingzone => <b>Schlüsselaufschluss!</b>								
PHY		5-25	20-25 F	6-20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>		Einf.-Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	<i>Rauigkeit</i>		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
sf-PHY		199	82	8	0		mikro	makro			< 20	<0,1-0,25			aufrecht, +/- saiger




Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

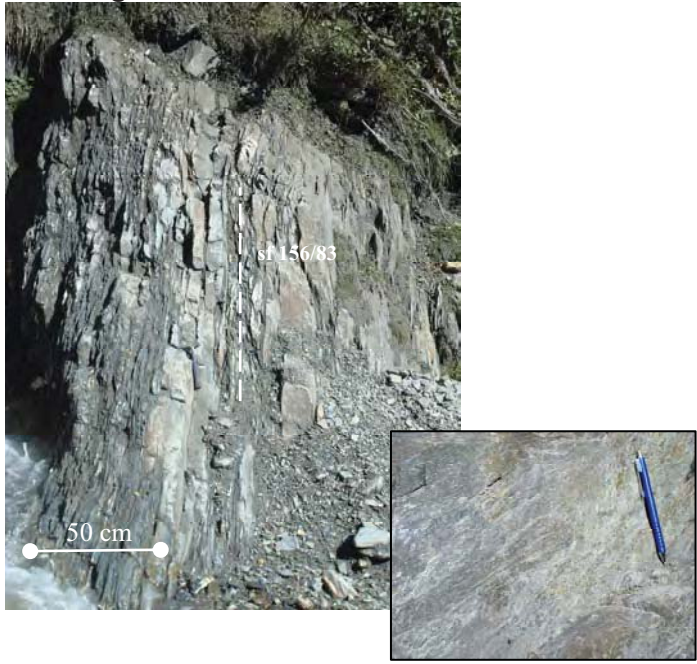


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-11</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts						-57.701		208.948		1.510			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-11 							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	kalkiger Quarzit, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dick- und dünnstrief.		0,1-2,0/3									
ockerbraun angewittert; Metapsammite (≡ Turbidite) mit geringmä. Metapeliten; QZ +/-CC +/-HGL +/-FS														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: hangtektonisch stark beanspruchter Mittelteil der Massenbewegung: Quarzitbänke kleinstückig zerbrochen;								
1) PHY	5-25	20-25 F	< 6	plattig	3									
2) QZT	50-100		6-20	polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro						3	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-12</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	hinterer Bretterwandgraben, im Bachbett unterhalb der Furt						-57.686		209.204		1.545			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung HBWG-12							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig		<0,1-0,5/3									
	tw. ockerbraun angewittert; Metapelite; HGL CC +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Scherscherband ev. in Zusammenhang mit der Ostgrenze der Massenbewegung; Bewegungssinn dextral; sehr dünnchiefrig => blättriger Bruch;								
PHY	1-25	20-25	< 6	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
						g	w							
						g	w			< 20				aufrecht
						g	w			< 20				

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-13</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben, orogr. links, bei Furt						-57.691		209.226		1.550			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-13							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		gebankt - schiefrig		<0,1-2/3-4									
	ockerbraun angewittert; Turbiditabfolge: Metapelite und -psammite; QZ +/-HGL+/-CC +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Turbiditabfolge: metamorphe Ton- und Sandsteinwechselfolge; kleines Bild: sandiger Charakter der sf Fläche;  Anmerkung: E' des Bretterwandgrabens von Massenbewegung unbeeinflusst;								
1) PHY	5-25	35-40	< 6-20	plattig	3									
2) quarzit. KGLS	50-250	C	6-60	polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-PHY	156	83	3	0	4-6	mikro	makro	65	1,8	< 20	0,1-0,25		3	aufrecht
sf-quarzt. KGLS	160	79	4		8-10	r	e	40	1	20-200	0,1-0,25		3	aufrecht; Streckungslinear quer zum Einfallen der sf

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-14</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben, orogr. links						-57.643		209.240		1.570			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-14							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkglimmerschiefer, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		gebankt - schiefrig		<0,1-2/3-4									
	ockerbraun angewittert; Turbiditabfolge: Metapelite und dm dicke Metapsammite; QZ +CC +/-HGL +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Turbiditabfolge : metamorphe Ton- und Sandsteinwechselfolge;  Anmerkungen: außerhalb der Massenbewegung;								
1) PHY	5-25	30-35 D	< 6-20	plattig	3									
2) quarzit. KGLS	50-100		6-60	polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-PHY	165	80	4	1		mikro r	makro w	90	3,5	20-60	0,1-0,25		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-15</b>			
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>						
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>		
<i>Lokalität</i>	Bretterwandgraben, orogr. rechts, oberhalb Wildbachsperre						-57.704		209.298		1.575		
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-15						
<b>Gestein</b>													
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer, quarzit. KGLS												
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>								
	grau		schiefrig, „gebant“		0,1-2,0/3								
ockerbraun angewittert; Turbiditabfolge: Metapsammite und -pelite; QZ +/-CC +/-HGL +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>													
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: hangtektonisch stark beanspruchter Mittelteil der Massenbewegung nahe beim unteren Scharnier => im Bachbett unterhalb der Sperre ist das Umbiegen ins aufrechte S-Fallen ersichtlich! <b>Schlüsselaufschluss!</b>							
1) quarz. KGLS	25-50	20-25 F	6-20	polye.	3								
2) PHY	5-25		<6	plattig	3								
<b>Trennflächen</b>													
<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
					mikro	makro							
sf-KGLS	3	74	3	0	r	w						2	überkippt; oberhalb Sperre
sf-KGLS	342	80	4	0	r	e							überkippt; unterhalb Sperre
sf-KLS	174	77	4	0	r	e							aufrecht; unterhalb Sperre

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-16</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Aufschließungsweg hinterer Bretterwandgraben; orogr. links						-57.552		209.373		1.650			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-16							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig		<0,1-1,0/3-4									
	ockerbraun angewittert; Metapelite und dünne Metapsammite (≡ Turbidite); CC QZ HGL +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Kalkphyllite mit dünnen metapsammitischen Lagen wechselagernd; außerhalb Massenbewegung;								
1) quarzit. PHY	5-25	30-35 D	<6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-PHY	178	72	5	1		<i>mikro</i>	<i>makro</i>	40	1	<20-60	0,1-0,5	S2	2	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-17</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	29.07.04						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechter Einhang						-57.751		209.422		1.630			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-17							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkphyllit; Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		<0,1-1,0/4-3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammite und -pelite; CC QZ HGL +/- FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Hangtektonik: Ziehharmonikafaltung (chevron folds) am überkippten Schenkel der Knickbandfalte (≡ Scherzone); ausgeprägte Dilatanz (v.a. in den Faltenscharnieren, kleines Bild),								
PHY	5-25	10-15 H	< 6- 20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							
sf-PHY	0	54	8	0		r	w			< 20	0,25-2,5		3	überkippt
sf-PHY	169	68	8	0		r	w			< 20	0,25-2,5		3	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad


<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-18</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	29.07.2004					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts					-57.769		209.456		1.645				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-18							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, quarzitischer Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		<0,1-1/4-3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite und -psammite; CC QZ HGL +/- FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: tektonisch, v.a. hangtektonisch stark beanspruchter überkippter Schenkel der Knickbandfalte (≡ Scherzone);								
quarzit. PHY	5-25	10-15 H	< 6- 20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-quarzit. PHY	345	68	10	1		r, sr	w			< 20	0,1-2,5	S2	2	überkippt

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad



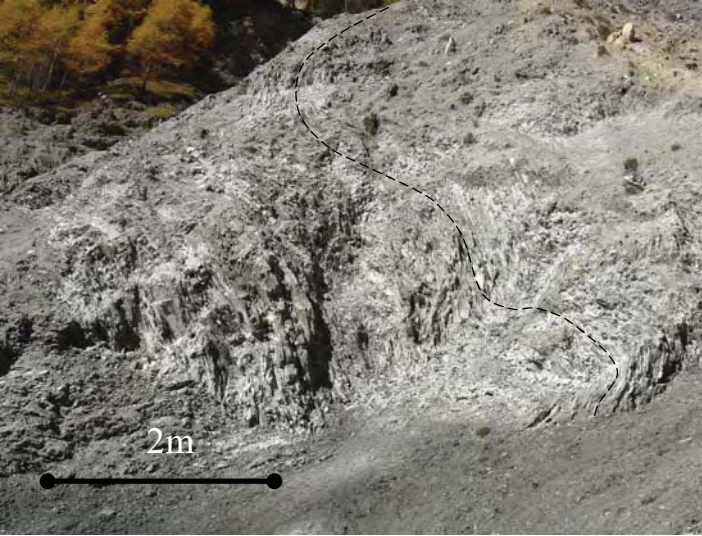
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-19</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Bretterwandgraben, orogr. links						-57.690		209.522		1.650			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-19							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, quarzitischer Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngröße [mm]</i>									
	grau		schiefrig		<0,1-1,0/3-4									
	ockergelb angewittert; Metapelite und -psammite; CC QZ HGL +/- FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Scherzone, i.e. hangtektonisch stark beanspruchte überkippte Schenkel der Knickbandfalte; kleines Bild ist eine Detailaufnahme und zeigt das intensiv zerscherzte Material (≡ leicht kohäsivem Kakirit);								
PHY	1-5	10-15 H	< 6	plattig	4									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-PHY	5	53	5-10	1		r	w			< 20	0,1-2,5	S2	2	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

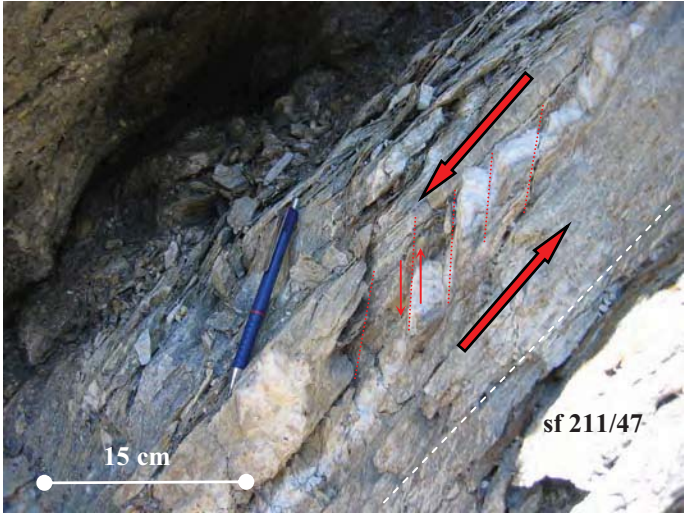
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG 20</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	29.07.2004					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts					-57.939		209.629		1.840				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-20							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, quarzitischer Kalkphyllit; Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig bis schiefrig, „bankig“		<0,1-2/4-3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite und -psammite; CC QZ HGL +/- FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	UCS [MPa]	GSI	ZG [cm]	Form KK	V	Abbildung: oberes Scharnier der Knickfalte; KPHY-1: KPH und quarzit. PHY KPHY-2: KPHY hangtektonisch stark beanspruchter überkippter Schenkel (≡ Scherzone); <b>Schlüsselaufschluss!</b>								
KPHY-1	50- 100	30-35 D	20-60	plattig	3									
KPHY-2	1-5	10-15 H	< 6- 20	plattig	4									
<i>Trennflächen</i>	Einf.- Richt.	Fallw.	$\chi$ [m]	Ende	JRC	Rauigkeit		WL [cm]	Ampl. [cm]	Abst. [mm]	Öffng. [mm]	Füllung	Wasser	Anmerkung
						mikro	makro							
sf-PHY-1	223	53	25	0		r	w			< 20-	0,1-0,5	S2	2	aufrecht
sf-PHY-2	54	68	15	0		g	w			20-60	0,1-0,5	S2	3	überkippt

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-21</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts						-57.801		209.799		1.780			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-21							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkglimmerschiefer; quarzitischer Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		<0,1-1,0/4-3									
	Metapsammite und -pelite; CC HGL QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: hangtektonisch intensiv verfaltet und zerlegt ⇒ oberes Scharnier der Knickbandfalte; <b>Schlüsselaufschluss!</b>								
quarzit. PHY; KGLS	5-25	10-15	6-20	plattig	4									
KPHY	1-5	H	< 6	plattig	4									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KGLS	359	62	7	1		mikro r	makro w			< 20	0,1-2,5	S2	2	überkippt

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

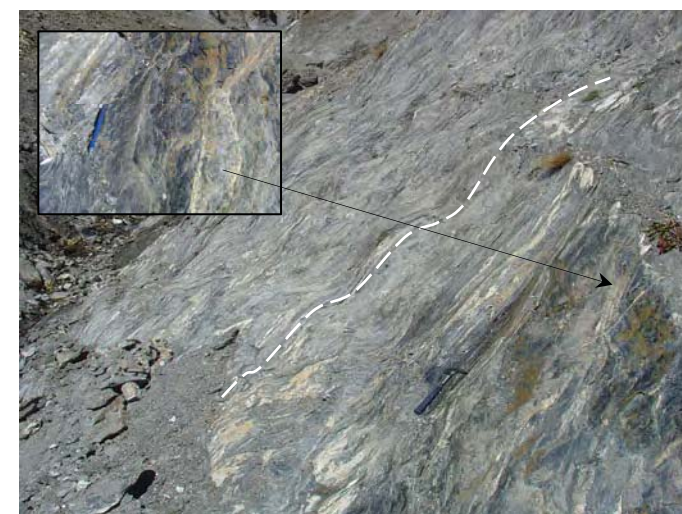
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-22</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	29.07.2004					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts					-57.836		209.842		1.820				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-22							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, quarzitischer Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		<0,1-2,0/4-3									
	ockergelb angewittert; Metapelite und -psammite; CC HGL +/-QZ +/- FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: en echelon angeordnete Scherbänder mit abschiebenden Bewegungssinn; aufrechter Schenkel kurz vorm Scharnier der Knickbandfalte;								
KPHY	5-25	10-15 H	< 6- 20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KPHY	211	47	2	0		mikro r	makro w			< 20-	0,1-2,5	S2	2	aufrecht

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-23</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	24.08.2004					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	hinterer Bretterwandgraben, orogr. rechts, am Grat					-58.136		209.914		2.130				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-23							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Quarzit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	Grau		schiefrig; „gebantk“		0,1-2,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammit: Turbiditbank; QZ CC +/-HGL +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: isoklinal verfaltete grobkörnige Turbiditbank; QZ-Komponenten tektonisch stark geplättet;								
QZT	100-250			plattig polye.	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							


Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-24</b>					
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	16.10.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	hinterer Bretterwandgraben, „5 Bäumewand“, Abzweig. Blitzgraben					-57.812		209.930		1.835				
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 1/Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-24							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	kalkig-quarzitischer Phyllit mit Übergang zu Kalkglimmerschiefer und dünnmächtigen (0,5 cm bis 1 dm) graphitischen Phylliten													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau und dkl.-grau/schwarz		schiefrig		<0,1-0,5/4-3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite mit Einschaltungen von dünnen Metapsammiten; CC HGL QZ +/-FS; QZ-Linsen;													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: sf-Fläche folgt dem Blitzgraben und begrenzt die Massenbewegung; sie entspricht dem nördlichsten Scarp (= Gipfelscarp) am Bunzkögele; sf-Fläche ausgeprägt wellig und glatt durch das Vorkommen von Graphitphylliten (kleines Bild);								
PHY-KGLS	25-100	30-35	<6-20	plattig	2									
GPHY	1-5	D	< 6	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-GPHY	185	52	25	1	2-4	mikro	makro	73	2	< 20-60	<0,1-0,25		3	aufrecht
K	310	70	7	1		r	w				5-10	CC	3	≡ Hauptkluftset Bretterwand



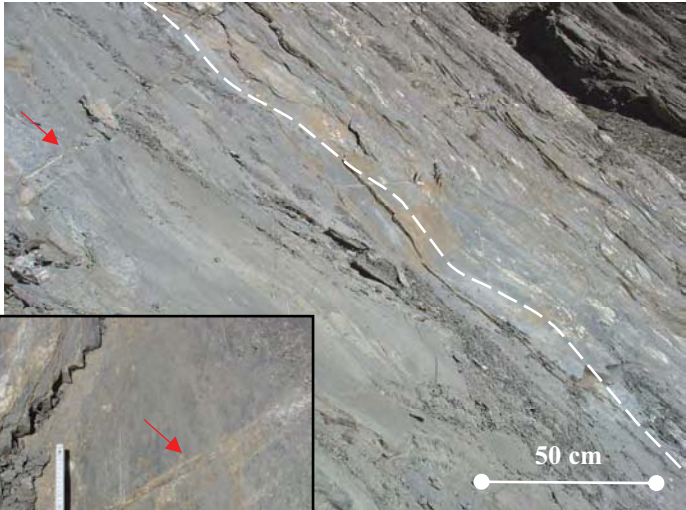
Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad




<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-25</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Hinterer Bretterwandgraben, Felskanal						-57.743		209.941		1.835			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 1/Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung HBWG-25							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit, Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau und dkl.-grau		dünnchiefrig-schiefrig		<0,1-1,0/3-4									
	Metapelite; dünne Metapsammite; CC HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: tektonisch gebildete Scherbahnen (rote Pfeile) begrenzen sigmoidale Scherkörper; N' außerhalb der Massenbewegung;								
KPHY-KGLS	25-50	25-30 E	< 6- 20	plattig	2									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						mikro	makro							aufrecht

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad



<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>HBWG-26</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	16.10.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	hinterer Bretterwandgraben, Wandfuß Bretterwand						-57.736		210.201		2.000			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 1		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BWG-26							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	quarzitischer Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		schiefrig		0,1-2,0/3									
ockergelb angewittert; v.a. Metapsammite in Wechsellagerung mit geringmächtigen Metapeliten; CC QZ +/- HGL +/- FS; QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: wellige Schieferungsflächen; Flächen sandig rau (kleines Bild); CC-Kluft (rote Pfeile) entspricht dem weithin sichtbaren Großkluftset der Bretterwand;								
KGLS dick	100-250	42-47 B	6-60	plattig	3									
KGLS dünne	50-100			plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-KGLS	162	47	50	1	6-8	mikro	makro	150	3	<20-60	<0,1-0,25		3	sandig; aufrecht
					8-10			130	4,5		0,25-0,5			
k	293 295 288	60 58 60	10-100			r	e				5-20	CC	3	Großkluftset Bretterwand
k	248 228 285	75 69 69	1-10			r	e							Großkluftset Bretterwand

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad

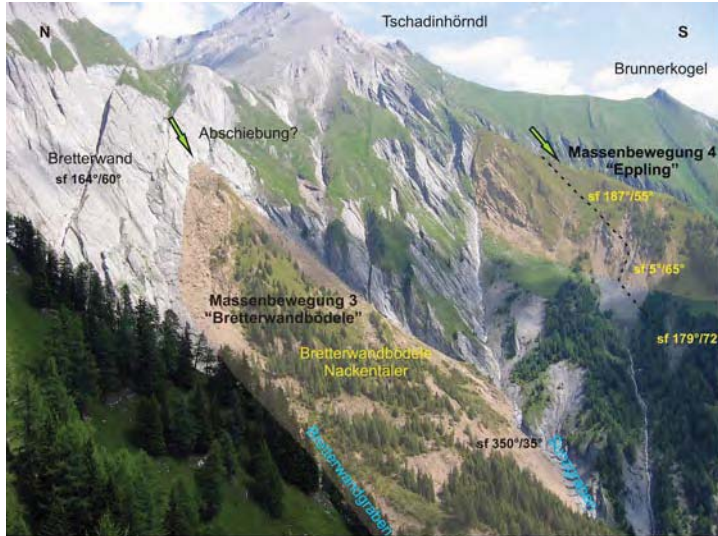
<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>SG-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	14.09.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Sunzgraben						-57.404		209.863		1.855			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung SG-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit - Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig -schiefrig		<0,1-1,0/4-3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite und Metapsammite (≡ Turbidite); CC HGL +/- QZ +/- FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Orogr. re. Einhang: hangtektonisch verstellt, Gestein stark zerlegt; Orogr. linker Einhang: aufrecht, S- fallend; Im Bildhintergrund: Gesteinstafeln der nach S einfallenden Kalkglimmerschiefer;								
KPHY-KGLS	25-50	30-35 D	6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	<i>χ [m]</i>	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
	mikro													
sf-PHY orogr. re.	349	35	10	0		r	w			<20-60	0,1-5	S2	2	überkippt
sf-PHY orogr. li.	177	69	15	1		r, g	w			<20-60	<0,1-2,5	S2	3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>SG-02</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	14.09.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Sunzgraben						-57.244		209.985		1.970			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung SG-02							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit-Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnstiefriig-schiefriig		0,1-1,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite mit metapsammitischen Lagen; CC, HGL, +/- QZ, +/- FS, QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	<i>Anmerkung:</i> links normales S-Einfallen; rechts hangtektonisch verstellt								
KPHY li. unbeeinflusst	5-25	25-30 E	6-20	plattig	2									
KPHY re. MB	1-5	20-25 F	<6	plattig	3									
KGLS	25-50		6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-KPHY				1		r	w			< 20-60	0,1-0,25		3	aufrecht




Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>SG-03</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	14.09.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Brettergraben						-57.023		209.887		2.285			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung SG-03							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit-Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnschiefrig-schiefrig		0,1-1,0/3									
ockerbraun angewittert; Metapsammite und Metapelite; CC, HGL, +/- QZ, +/- FS, QZ-Linsen														
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>									
KGLS	25-100	30-35 D	6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-GPHY	180	50	20	1	6-8	r	w	70	2	< 20-60	0,1-0,25		3	aufrecht

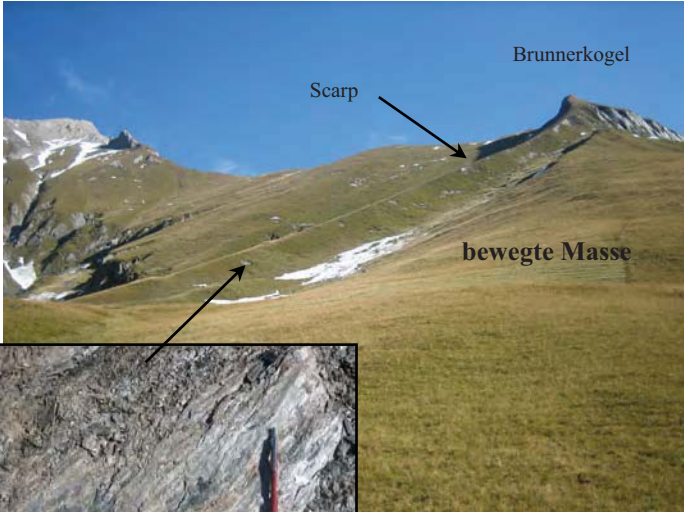
Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad



<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>						<i>Aufschlussnummer</i>			<b>BWG-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber						<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>							
<i>Datum</i>	14.09.07						<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>			
<i>Lokalität</i>	Brettergraben						-56.572		210.127		2.285			
<i>Tektonische Einheit</i>	Glockner Decke Zone 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch, flyschoid		Abbildung BWG-01							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	Kalkphyllit - Kalkglimmerschiefer													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	grau		dünnchiefrig - schiefrig		0,1-1,0/3									
	ockerbraun angewittert; Metapsammite und Metapelite; CC HGL +/- QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Leicht wellige sf-Fläche mit für die Kalkglimmerschiefer typisch sandig rauher Oberfläche;								
KGLS	25-100	30-35 D	6-20	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
						<i>mikro</i>	<i>makro</i>							
sf-GPHY	180	50	20	1	6-8	r	w	70	2	< 20-60	0,1-0,25		3	aufrecht

Anmerkungen: Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad



<i>Projekt</i>	<b>Dissertation Südflanke Bunzkögele - Bretterwandspitze</b>					<i>Aufschlussnummer</i>				<b>RA-01</b>				
<i>Bearbeiter</i>	J. Th. Sausgruber					<i>Position (Gauß-Krüger M 31)</i>								
<i>Datum</i>	14.09.07					<i>X [m]</i>		<i>Y [m]</i>		<i>Z [m]</i>				
<i>Lokalität</i>	110 m NW' Raineralm					-56.535		209.757		2.210				
<i>Tektonische Einheit</i>	MZ/GDZ 2		<i>Lithofazies</i>		hemipelagisch		Abbildung BWG-28							
<b>Gestein</b>														
<i>Bezeichnung</i>	graphitischer Phyllit, Kalkphyllit													
<i>Beschreibung</i>	<i>Farbe</i>		<i>Ausbildung</i>		<i>Korngr. [mm]/Klasse</i>									
	schwarz - grau		dünnstiefriig		<0,1-0,5/4-3									
	ockerbraun angewittert; Metapelite; HGL +/-QZ +/-FS; QZ-Linsen													
<b>Geotechnische Eigenschaften</b>														
<i>Gestein</i>	<i>UCS [MPa]</i>	<i>GSI</i>	<i>ZG [cm]</i>	<i>Form KK</i>	<i>V</i>	Abbildung: Massenbewegung Brunnerkogel; Graphitphyllite an der Hauptabschiebefläche (keines Bild); Fläche bildet auch Grenze zwischen Matreier Zone und Glockner Decke Zone 2;								
KPHY	5-25	20-25 G	<6	plattig	3									
<i>Trennflächen</i>	<i>Einf.-Richt.</i>	<i>Fallw.</i>	$\chi$ [m]	<i>Ende</i>	<i>JRC</i>	<i>Rauigkeit</i>		<i>WL [cm]</i>	<i>Ampl. [cm]</i>	<i>Abst. [mm]</i>	<i>Öffng. [mm]</i>	<i>Füllung</i>	<i>Wasser</i>	<i>Anmerkung</i>
sf-GPHY	173	60	500	0	4-6	<i>mikro</i>	<i>makro</i>	50	1,2	< 20	0,1-0,25		3	aufrecht

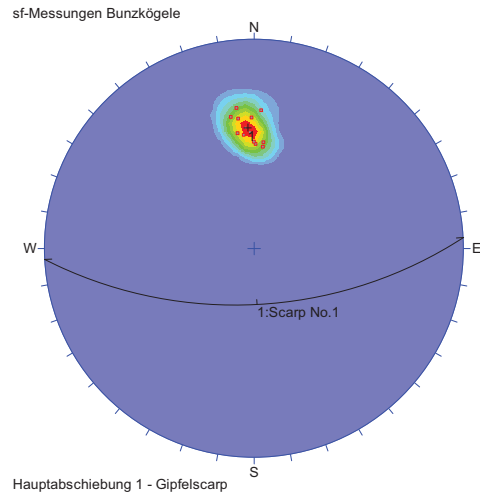
Anmerkungen: Einfallrichtung und Fallwert in Altgrad

# Anlage B

Gefügemessungen



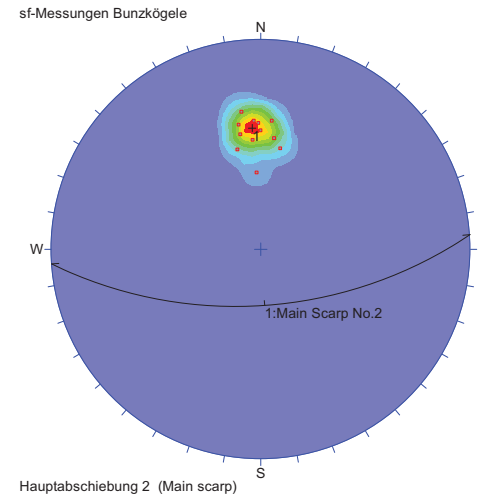
1



ART	
•	sf [13]
ID	Fallr./Fallwert
1	177/60

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
13 Poles  
13 Entries

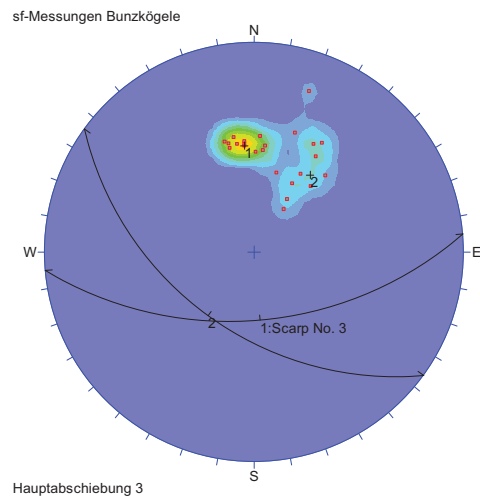
2



ART	
•	sf [12]
ID	Fallr./Fallwert
2	176/60

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
12 Poles  
12 Entries

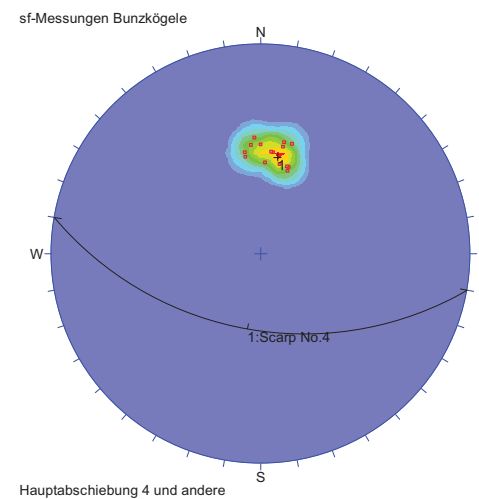
3



ART	
•	sf [24]
ID	Fallr./Fallwert
1	175/54
2	216/49

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
24 Poles  
24 Entries

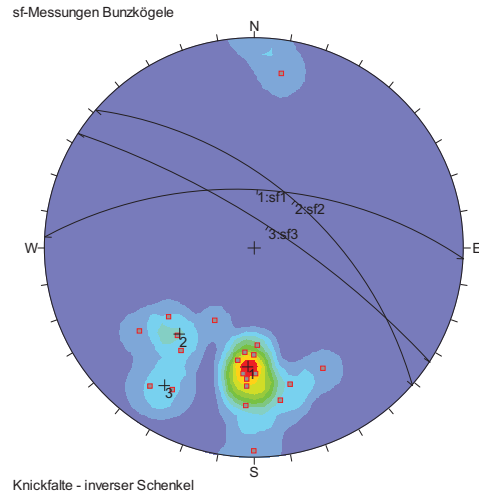
4



ART	
•	sf [15]
ID	Fallr./Fallwert
1	190/50

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

5

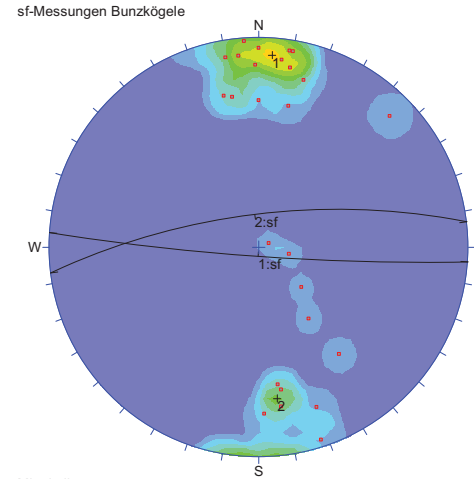


Knickfalte - inverser Schenkel

ART	
■	sf [22]
ID Fallr./Fallwert	
1	003/54
2	041/57
3	033/76

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
22 Poles  
22 Entries

6

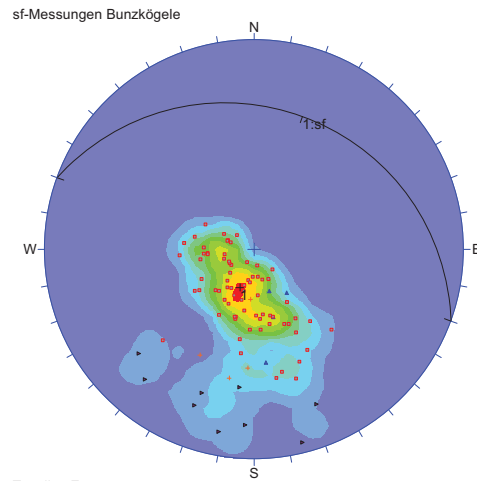


Mittelteil

ART	
■	sf [26]
ID Fallr./Fallwert	
1	184/85
2	353/72

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
26 Poles  
26 Entries

7

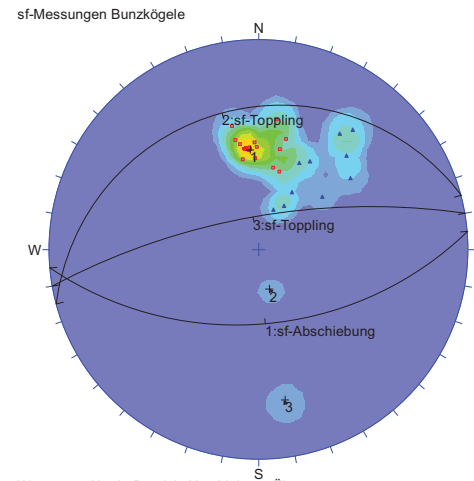


Toppling Zone

ART	
■	sf [74]
▲	sf-kt [4]
▶	sf-s [7]
◆	sf-sz [4]
ID Fallr./Fallwert	
1	020/22

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
89 Poles  
89 Entries

8



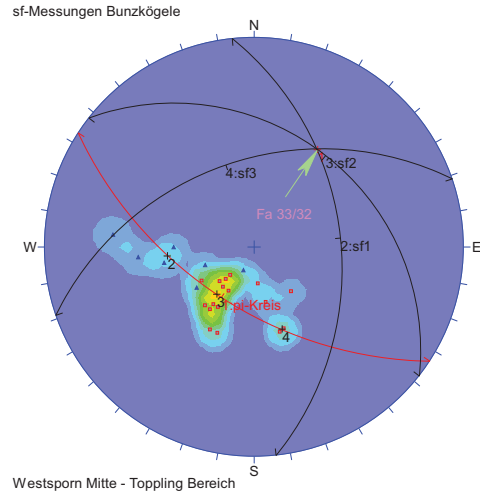
Westsporn Nord - Bereich Abschiebg. + Übergang

ART	
■	sf [14]
▲	sf-rand [10]
●	sf-toppling [2]
ID Fallr./Fallwert	
1	175/51
2	345/22
3	350/72

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
26 Poles  
26 Entries



9



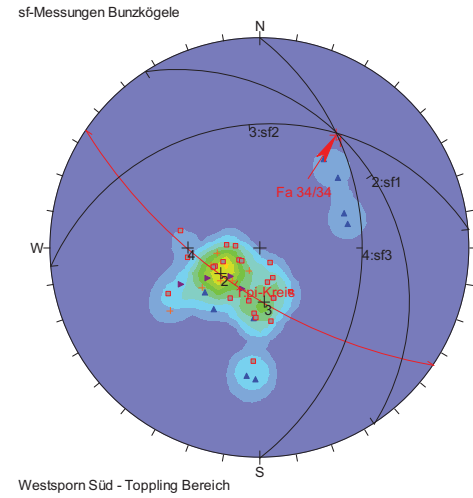
ART

- sf [17]
- ▲ sf-rand-w [7]

ID	Fallr./Fallwert
1	213/58
2	084/46
3	038/32
4	341/46

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
24 Poles  
24 Entries

10



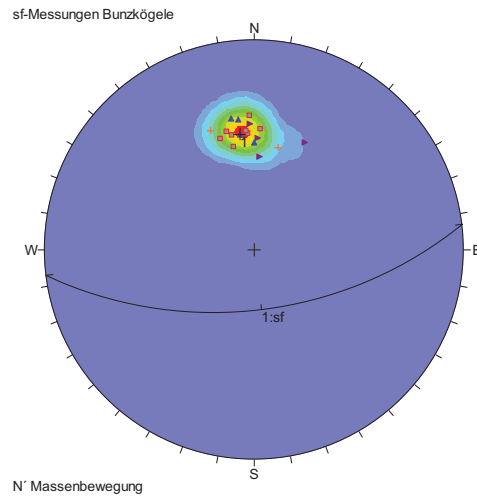
ART

- sf [22]
- ▲ sf-bg [9]
- ▼ sf-rand-e [4]
- sf-rand-w [7]

ID	Fallr./Fallwert
1	214/66
2	057/25
3	355/29
4	090/38

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
42 Poles  
42 Entries

11



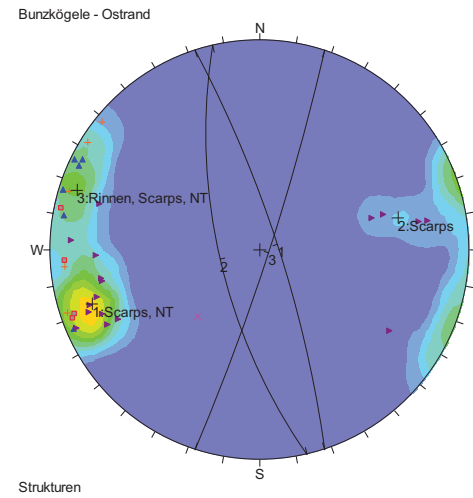
ART

- sf Edelweisswiese [
- ▲ sf E' BK [4]
- ▼ sf Mutschental [4]
- sf N' BK [2]

ID	Fallr./Fallwert1
1	173/58

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
18 Poles  
18 Entries

12



ART

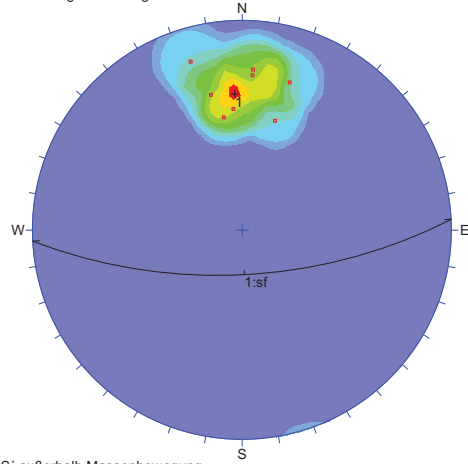
- Nackental [4]
- ▲ Rinne [6]
- ▼ Scarp [17]
- Zerrspalte [5]
- × k [1]

ID	Fallr./Fallwert1
1	172/66

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
33 Poles  
33 Entries

13

sf-Messungen Bunzkögele

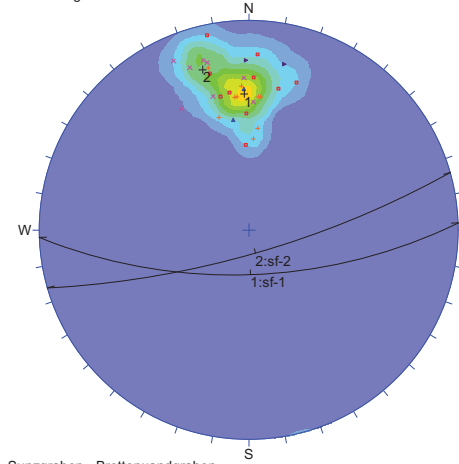


ART	
■	sf [8]
ID	Fallr./Fallwert
1	177/66

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
8 Poles  
8 Entries

14

sf-Messungen Bereich Ost

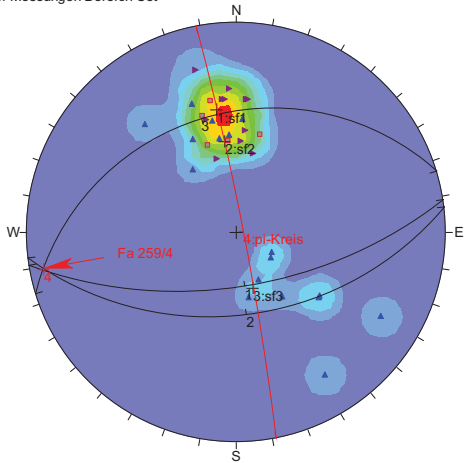


ART	
■	sf-BWG [10]
▲	sf-Rainer [2]
▼	sf-Ranemoos [2]
+	sf-SG [9]
×	sf-Straße [8]
ID	Fallr./Fallwert
1	178/66
2	164/77

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
31 Poles  
31 Entries

15

sf-Messungen Bereich Ost

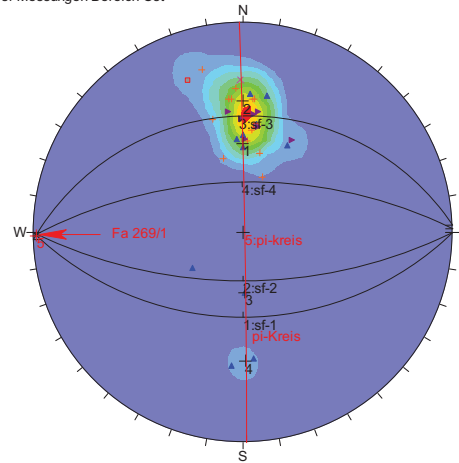


ART	
■	sf-BW [5]
▲	sf-MB [17]
▼	sf-SG-E [11]
ID	Fallr./Fallwert
1	171/61
2	173/47
3	343/31

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
33 Poles  
33 Entries

16

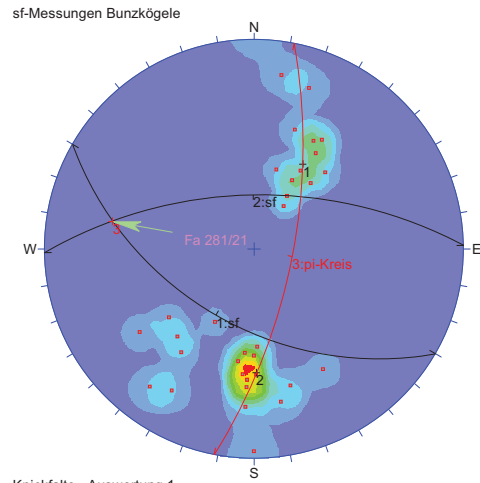
sf-Messungen Bereich Ost



ART	
■	sf-BG [2]
▲	sf-MB [11]
▼	sf-Rainer [7]
+	sf-SG [12]
×	sf-WBG [1]
ID	Fallr./Fallwert
1	180/46
2	180/64
3	358/32
4	359/63

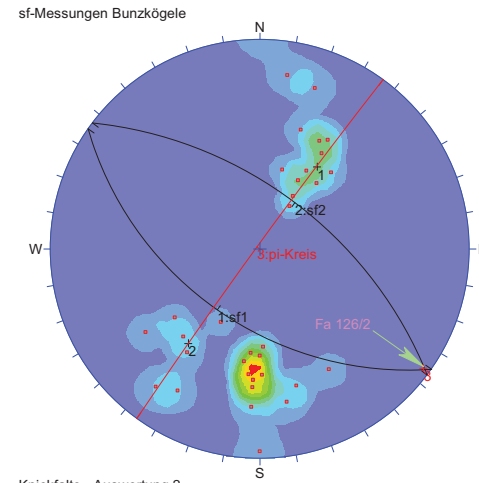
Equal Angle  
Lower Hemisphere  
33 Poles  
33 Entries

17



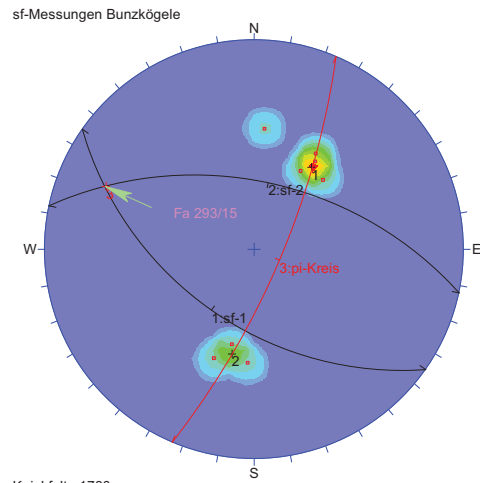
Knickfalte - Auswertung 1

18



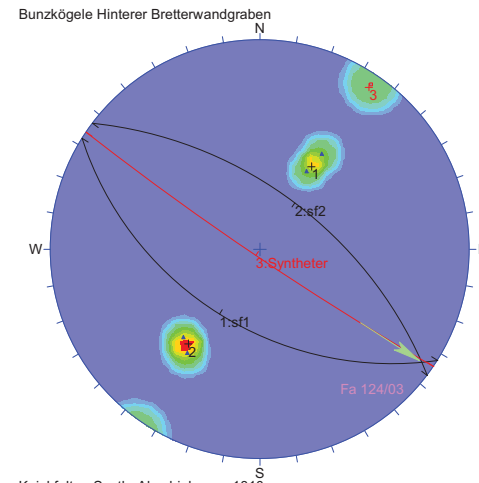
Knickfalte - Auswertung 2

19



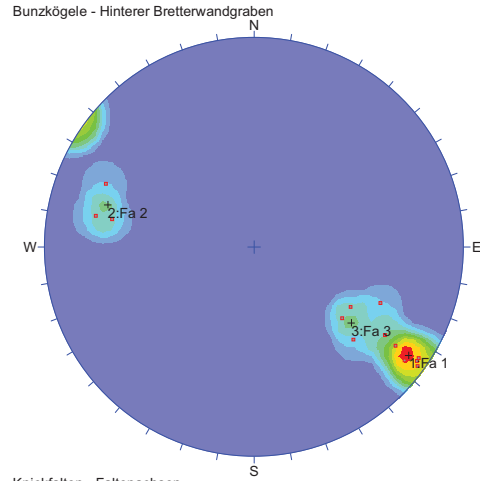
Knickfalte 1780m

20



Knickfalte - Synth. Abschiebung - 1810 m

21



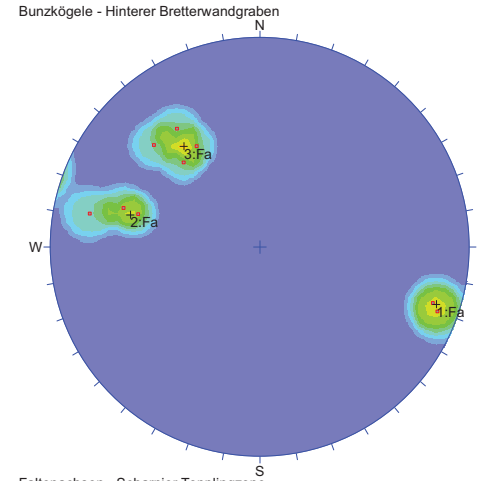
ART

• Fa [13]

ID	Streichen/Fallw.
1	125/06
2	286/18
3	128/29

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
13 Poles  
13 Entries

22



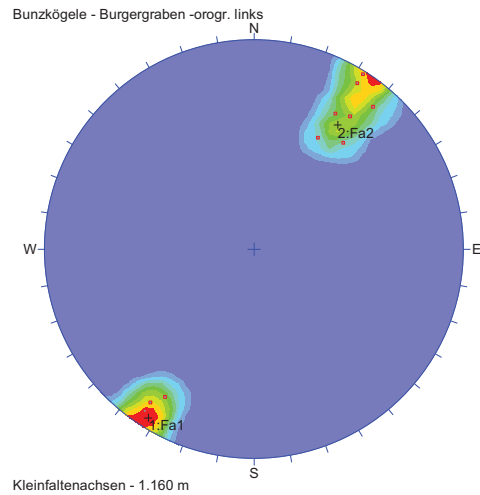
ART

• Fa [9]

ID	Streichen/Fallw.
1	108/07
2	286/18
3	129/29

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
9 Poles  
9 Entries

23



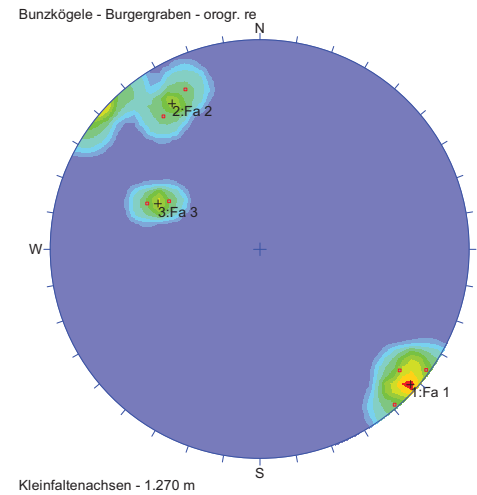
ART

• Fa [10]

ID	Streichen/Fallw.
1	212/03
2	034/19

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
10 Poles  
10 Entries

24



ART

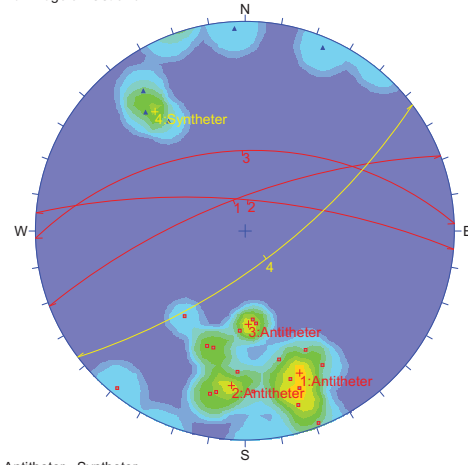
• Fa [7]

ID	Streichen/Fallw.
1	132/02
2	329/12
3	294/34

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
7 Poles  
7 Entries

25

Bunzkögele - Ostrand



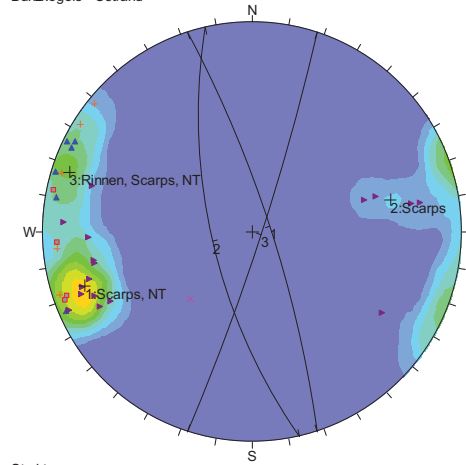
- ART
- Antitheter [18]
  - ▲ Syntheter [5]

ID	Fallr./Fallwert
1	339/72
2	005/73
3	358/48
4	143/71

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
23 Poles  
23 Entries

26

Bunzkögele - Ostrand



- ART
- Nackental [4]
  - ▲ Rinne [6]
  - ▼ Scarp [17]
  - ✦ Zerrspalte [5]
  - ✕ k [1]

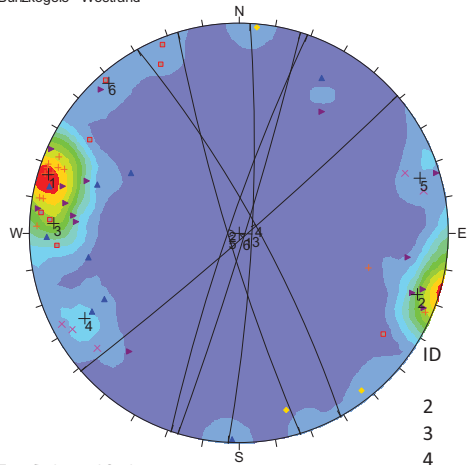
ID	Fallr./Fallwert
1	072/80
2	257/68
3	108/85

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
33 Poles  
33 Entries

27

Antitheter - Syntheter

Bunzkögele - Westrand



- TYPE
- [no data] [8]
  - ▲ k [9]
  - ▼ s [15]
  - ✦ s1 [12]
  - ✕ s2 [5]
  - ◆ sp [3]

ID	Fallr./Fallwert1
1	107/87
2	289/84
3	093/83
4	061/80
5	253/84
6	139/87

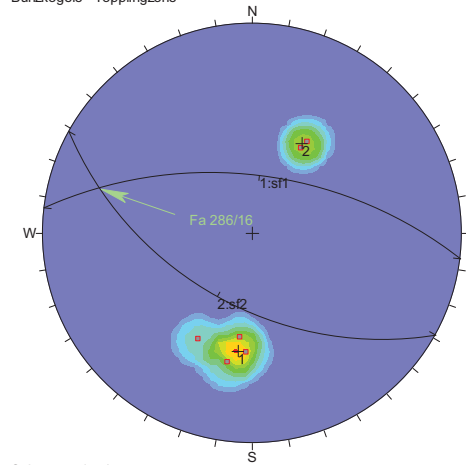
Equal Angle  
Lower Hemisphere  
52 Poles  
52 Entries

Trennflächen und Strukturen

28

Strukturen

Bunzkögele - Topplingzone



- ART
- sf [6]

ID	Fallr./Fallwert
1	007/59
2	209/52

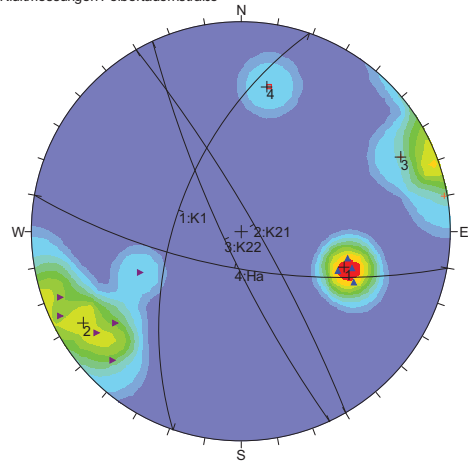
Equal Angle  
Lower Hemisphere  
6 Poles  
6 Entries

Scherzone 1570m



29

Klufmessungen Felbertauernstraße



ART	
■	ha [1]
▲	k1 [4]
▼	k21 [6]
+	k22 [2]

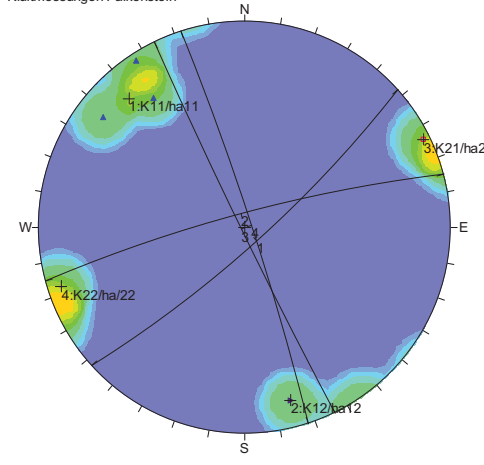
  

ID	Fallr./Fallwert
1	289/55
2	060/82
3	245/80

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
13 Poles  
13 Entries

30

Klufmessungen Falkenstein



ART	
■	K21/ha21 [1]
▲	k11/ha11 [3]
▼	k12/ha12 [1]
+	k22/ha22 [1]

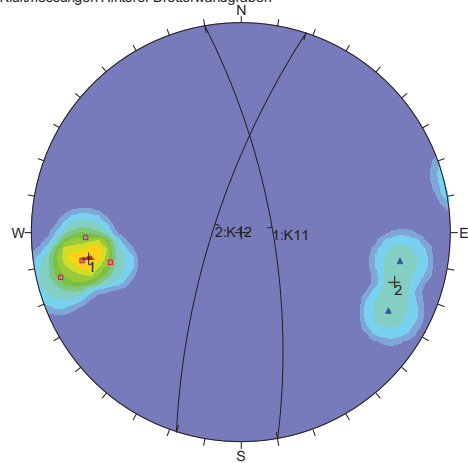
  

ID	Fallr./Fallwert
1	138/80
2	345/82
3	244/88

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
6 Poles  
6 Entries

31

Klufmessungen Hinterer Bretterwandgraben



ART	
■	k11/ha [4]
▲	k12/ha [2]

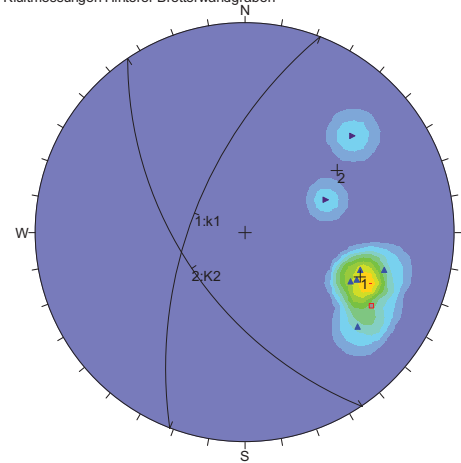
ID	Fallr./Fallwert
1	080/73
2	288/75

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
6 Poles  
6 Entries

Aufschluss HBWG-02

32

Klufmessungen Hinterer Bretterwandgraben



ART	
■	K1 [1]
▲	k1 [5]
▼	k2 [2]

ID	Fallr./Fallwert
1	291/61
2	236/56

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
8 Poles  
8 Entries

Bretterwand - Aufschluss HBWG-24 und -26, SG-02

sf-Messungen: Bunzkögele - Hauptbewegung

Abschiebung 1 (Gipfelabschiebung), Abschiebung 2 (Hauptabschiebung)

Diagramm Nr.1

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	185	54	KPHY-KGLS	sandig	2285	Scarp 1, Mitte
2	175	57	KPHY-KGLS	sandig	2365	Scarp 1, SW' Bunzkögele
3	173	68	KGLS	sandig	2395	Scarp 1, NW' Bunzkögele
4	193	53	KGLS	sandig	2395	Scarp 1, NW' Bunzkögele
5	181	53	KPHY	sandig	2400	Scarp 1, SE' Bunzkögele
6	172	58	KPHY	sandig	2385	Scarp 1, SE' Bunzkögele
7	183	67	KPHY	sandig	2385	Scarp 1, SE' Bunzkögele
8	177	60	KPHY	sandig	2405	Bunzkögele, S' vom Gipfel
9	185	52	KPHY+GPHY	glatt	1835	Scarp 1, Blitzgraben
10	184	47	KPHY+GPHY	glatt	1835	Scarp 1, Blitzgraben
11	207	53	KPHY+GPHY	glatt	1835	Scarp 1, Blitzgraben
12	178	58	KPHY+GPHY	glatt	1835	Scarp 1, Blitzgraben
13	179	64	KPHY+GPHY	glatt	1835	Scarp 1, Blitzgraben

Diagramm Nr.2

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	170	58	GPHY/KPHY	glatt	2085	Bunzkögele Scarp 2, West
2	177	63	KPHY	sandig	2115	Bunzkögele Scarp 2, West
3	180	59	KPHY	sandig	2115	Bunzkögele Scarp 2, West
4	176	55	KPHY	sandig	2115	Bunzkögele Scarp 2, West
5	177	40	KPHY	sandig	2115	Bunzkögele Scarp 2, West
6	179	62	KPHY	sandig	2175	Bunzkögele Scarp 2, Mitte
7	191	52	KPHY	sandig	2235	Bunzkögele Scarp 2, Mitte
8	172	67	KPHY	sandig	2275	Bunzkögele Scarp 2, Mitte
9	185	63	KPHY	sandig	2315	Bunzkögele Scarp 2, Mitte
10	167	52	KPHY	sandig	2365	BK Scarp 2, S'vom Gipfel
11	170	62	KPHY	sandig	2355	BK Scarp 2, S'vom Gipfel
12	187	56	KPHY	sandig	2325	S' vom 2.Scarp

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr.3

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	165	57	KPHY	sandig	2065	BK Scarp 3, West
2	167	56	KPHY	sandig	2075	BK Scarp 3, West
3	170	58	KPHY	sandig	2085	BK Scarp 3, West
4	171	55	KPHY	sandig	2168	BK Scarp 3, Mitte
5	175	55	KPHY	sandig	2168	BK Scarp 3, Mitte
6	167	54	KPHY	sandig	2205	BK Scarp 3, Mitte
7	175	56	KPHY	glatt	2185	BK Scarp 3, Mitte
8	181	51	KPHY	sandig	2268	N´ Scarp 3 (eigner Scarp)
9	183	58	KPHY	sandig	2200	BK Scarp 3, Ost - Blasischge
10	175	54	KPHY	sandig	2145	BK Scarp 3, Ost - Blasischge
11	185	52	KPHY		2130	BK Scarp 3, Ost - Blasischge
12	186	54	KPHY	sandig	2065	BK Scarp 3, Ost - Blasischge
13	199	62	KPHY	sandig	1955	BK Scarp 3, Ost - Blasischge
14	209	61	KPHY		1825	Faltzone BWG
15	199	78	QZSCH		1840	Faltzone BWG
16	209	41	QZSCH		1840	Faltzone BWG
17	212	33	QZSCH		1840	Faltzone BWG
18	212	63	QZSCH		1840	Faltzone BWG
19	223	53	QZSCH		1840	Faltzone BWG
20	215	28	QZSCH		1840	Faltzone BWG
21	196	43	QZSCH		1840	Faltzone BWG
22	221	45	QZSCH		1840	Faltzone BWG
23	211	47	KPHY		1815	Faltzone BWG
24	213	57	KPHY		1816	Faltzone BWG

Diagramm Nr.4

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	192	55	KPHY	sandig	2145	Bunzkögele Scarp 4, Mitte
2	187	52	KPHY	sandig	2145	Bunzkögele Scarp 4, Mitte
3	171	52	KPHY	sandig	2145	Bunzkögele Scarp 4, Mitte
4	198	47	KPHY		2005	Ost - Blasischge
5	186	52	GPHYKPHY	glatt/sandig	2045	BK Scarp 5, NW´ Trogalm
6	198	45	KPHY	sandig	2015	BK Scarp 5, NW´ Trogalm
7	197	47	KPHY	sandig	2035	BK Scarp 5, NW´ Trogalm
8	192	47	KPHY		2070	Bunzkögele, E´ Trogalm
9	171	50	KPHY		2045	Bunzkögele, E´ Trogalm
10	196	57	KPHY		1985	Bunzkögele, S´ Trogalm
11	192	57	KPHY		2022	Bunzkögele, E´ Trogalm
12	180	55	KPHY		1925	Bunzkögele, S´ Trogalm
13	175	55	KPHY		1925	Bunzkögele, S´ Trogalm
14	177	58	KPHY		1925	Bunzkögele, S´ Trogalm
15	183	47	KPHY		1970	Bunzkögele, S´ Trogalm

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr. 5

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	m.ü.A.	Lokalität
1	35	62	KPHY		1815m.ü.A	BWG orogr. re.
2	41	58	KPHY		1815m.ü.A	BWG orogr. re.
3	359	62	KPHY		1780m.ü.A	BWG orogr. re.
4	30	76	KPHY		1775m.ü.A	BWG orogr. re.
5	28	43	KPHY		1775m.ü.A	BWG orogr. re.
6	37	79	KPHY		1765m.ü.A	BWG orogr. re.
7	3	64	KPHY		1755m.ü.A	BWG orogr. re.
8	54	68	KPHY		1775m.ü.A	BWG orogr. re.
9	51	55	KPHY		1770m.ü.A	BWG orogr. re.
10	0	88	KPHY		1735m.ü.A	BWG orogr. re.
11	358	50	KPHY		1720m.ü.A.	BWG orogr. re.
12	345	68	KPHY		1675m.ü.A	BWG orogr. li.
13	330	67	KPHY		1675m.ü.A	BWG orogr. li.
14	8	57	KPHY		1628m.ü.A	BWG orogr. re.
15	0	54	KPHY		1635m.ü.A	BWG orogr. re.
16	350	73	KPHY		1635m.ü.A	BWG orogr. re.
17	5	62	KPHY		1625m.ü.A	BWG orogr. re.
18	189	80	KPHY		1615m.ü.A	BWG orogr. re.
19	5	53	KPHY		1615m.ü.A	BWG orogr. li.
20	3	67	KPHY		1615m.ü.A	BWG orogr. li.
21	3	74	KPHY-KGLS		1575m.ü.A	BWG orogr. re.
22	3	64	??			

Diagramm Nr. 6

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	170	72	KPHY		1845	Schmutzerälbe
2	195	79	KPHY		1785	Forststraße
3	192	69	KGLS-KPHY		1750	Forststraße
4	190	82	KGLS-KPHY		1750	Forststraße
5	342	88	KGLS-KPHY		1750	Forststraße
6	167	73	KPHY	Knickfalte	1750	Forststraße
7	352	67	KPHY	Knickfalte	1750	Forststraße
8	250	6	KPHY	Knickfalte	1750	Forststraße
9	282	17	KPHY	verfalteter Bereich	1735	Forststraße
10	325	45	KPHY	verfalteter Bereich	1725	Forststraße
11	313	31	KPHY	verfalteter Bereich	1725	Forststraße
12	189	87	KPHY		1720	Forststraße
13	340	78	KGLS-KPHY		1705	Forststraße
14	323	65	KGLS-KPHY		1705	Forststraße
15	190	87	KGLS-KPHY		1690	Forststraße
16	174	85	KGLS-KPHY		1690	Forststraße
17	225	83	KPHY	Schleppung am Rand	1695	oberh. Forststraße
18	351	69	KPHY		1720	Fstr., S' Zupenig Alm
19	352	75	KGLS-KPHY		1720	Fstr., S' Zupenig Alm
20	358	77	KGLS-KPHY		1720	Fstr., S' Zupenig Alm
21	179	82	KPHY		1720	SE' Zupenig Alm
22	180	70	KPHY		1885	Zupenig Alm
23	187	84	KPHY		1885	Zupenig Alm
24	170	85	KPHY		1885	Zupenig Alm
25	180	87	KPHY		1795	S' Zupenig Alm
26	176	89	KPHY		1735	SE' Zupenig Alm

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr.7

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	350	64	KPHY-KGLS		1515	Forststraße Bretterwandgraben
2	355	42	KPHY-KGLS		1515	Forststraße Bretterwandgraben
3	355	25	KPHY-KGLS		1515	Forststraße Bretterwandgraben
4	166	75	KPHY	Faltenscharnier	1471	Bretterwandgraben
5	199	82	KPHY	Faltenscharnier	1470	Bretterwandgraben
6	195	69	KPHY	Faltenscharnier	1470	Bretterwandgraben
7	199	82	KPHY	Faltenscharnier	1468	Bretterwandgraben
8	11	83	KPHY	Faltenscharnier	1468	Bretterwandgraben
9	3	80	KPHY	Faltenscharnier	1468	Bretterwandgraben
10	48	73	KPHY	Faltenscharnier	1468	Bretterwandgraben
11	21	77	KPHY	Faltenscharnier	1468	Bretterwandgraben
12	256	63	KPHY	Faltenscharnier	1468	Bretterwandgraben
13	242	72	KPHY	Faltenscharnier	1468	Bretterwandgraben
14	346	87	KPHY	Faltenscharnier	1468	Bretterwandgraben
15	20	72	KPHY	Faltenscharnier	1465	Bretterwandgraben
16	40	78	KPHY	Faltenscharnier	1465	Bretterwandgraben
17	240	78	KPHY	Faltenscharnier	1465	Bretterwandgraben
18	229	78	KPHY	Faltenscharnier	1465	Bretterwandgraben
19	168	87	KPHY	Faltenscharnier	1460	Bretterwandgraben
20	165	67	KPHY	Faltenscharnier	1456	Bretterwandgraben
21	178	44	KPHY	Faltenscharnier	1456	Bretterwandgraben
22	198	42	KPHY	Faltenscharnier	1456	Bretterwandgraben
23	338	60	KPHY-KGLS		1500	Forststraße Bretterwandgraben
24	338	77	KPHY-KGLS		1500	Forststraße Bretterwandgraben
25	23	27	KPHY-KGLS		1500	Forststraße Bretterwandgraben
26	28	39	KPHY-KGLS		1500	Forststraße Bretterwandgraben
27	6	67	KPHY-KGLS		1500	Forststraße Bretterwandgraben
28	347	62	KPHY-KGLS		1500	Forststraße Bretterwandgraben
29	352	15	KPHY-KGLS		1500	Forststraße Bretterwandgraben
30	25	77	KPHY-KGLS		1500	Forststraße Bretterwandgraben
31	0	77	KPHY-KGLS	Kleinfalten, Scherzone	1500	Forststraße Bretterwandgraben
32	282	65	KPHY-KGLS	Kleinfalten, Scherzone	1500	Forststraße Bretterwandgraben
33	5	88	KPHY-KGLS	Kleinfalten, Scherzone	1500	Forststraße Bretterwandgraben
34	260	65	KPHY-KGLS	Kleinfalten, Scherzone	1500	Forststraße Bretterwandgraben
35	333	48	PHY		1490	Forststraße Bretterwandgraben
36	342	66	CPHY		1490	Forststraße Bretterwandgraben
37	346	36	GPHY		1480	Forststr. Bretterwandgr. (N´ Dolomar)
38	338	42	GPHY		1480	Forststr. Bretterwandgr. (N´ Dolomar)
39	322	47	GPHY		1480	Forststr. Bretterwandgr. (N´ Dolomar)
40	328	33	GPHY		1480	Fstr. BWG (unmittelb. S´ Dolomar)
41	335	43	DOLMAR		1480	Fstr. BWG (unmittelb. S´ Dolomar)
42	329	42	DOLMAR		1480	Fstr. BWG (unmittelb. S´ Dolomar)
43	130	64	DOLMAR	???	1480	Forststraße Bretterwandgraben
44	348	40	PHY		1440	Forststraße Bretterwandgraben
45	352	35	CPHY		1435	Forststraße Bretterwandgraben
46	2	15	GPHY		1420	Forststraße Bretterwandgraben
47	10	17	GPHY		1420	Forststraße Bretterwandgraben
48	15	20	GPHY		1420	Forststraße Bretterwandgraben
49	348	9	DOLMAR		1530	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
50	355	37	PHY		1535	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
51	7	53	PHY		1535	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
52	11	64	KPHY	Knickfalte, Scherzone	1565	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
53	211	54	KPHY	Knickfalte, Scherzone	1565	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
54	27	59	KPHY	Knickfalte, Scherzone	1565	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
55	4	27	PHY	Knickfalte, Scherzone	1565	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
56	3	59	PHY	Knickfalte, Scherzone	1565	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
57	210	5	PHY	Knickfalte, Scherzone	1565	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
58	320	12	GPHY	verkippt!?	1450	oberh. Forststraße Bretterwandgraben
59	295	10	GPHY	verkippt!?	1450	oberh. Forststraße Bretterwandgraben



Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
60	14	23	PHY		1705	NE´ Falkenstein
61	318	15	PHY		1705	NE´ Falkenstein
62	40	29	PHY		1680	NE´ Falkenstein
63	85	39	PHY		1680	NE´ Falkenstein
64	15	38	PHY		1615	NE´ Falkenstein
65	25	32	PHY		1705	Falkenstein
66	40	22	PHY		1495	SE´ Falkenstein
67	9	33	CPHY		1435	SE´ Falkenstein
68	109	15	CPHY		1420	SE´ Falkenstein
69	108	15	CPHY		1415	SE´ Falkenstein
70	3	42	CPHY		1380	SE´ Falkenstein, unter Forststraße
71	7	18	PHY		1347	SE´ Falkenstein, Forststraße
72	14	28	PHY		1308	vorderer Bretterwandgraben
73	221	6	CPHY	mit quarzit. Lagen	1308	vord. Bretterwandgraben
74	28	8	CPHY	mit quarzit. Lagen	1308	vord. Bretterwandgraben
75	85	25	CPHY	mit quarzit. Lagen	1308	vord. Bretterwandgraben
76	120	67	PHY	Knickfalten	1160	vord. Bretterwandgraben, Kalkofensp.
77	340	24	PHY	Knickfalten	1160	vord. Bretterwandgraben, Kalkofensp.
78	354	57	PHY	Knickfalten	1160	vord. Bretterwandgraben, Kalkofensp.
79	344	37	PHY	Knickfalten	1160	vord. Bretterwandgraben, Kalkofensp.
80	302	87	PHY	Knickfalten	1160	vord. Bretterwandgraben, Kalkofensp.
81	127	68	PHY	Knickfalten	1160	vord. Bretterwandgraben, Kalkofensp.
82	323	29	PHY	Knickfalten	1160	vord. Bretterwandgraben, Kalkofensp.
83	300	62	PHY	Knickfalten	1160	vord. Bretterwandgraben, Kalkofensp.
84	130	12	CPHY	leichtwelliger Faltenbau	1100	vord. Bretterwandgraben
85	334	18	CPHY	leichtwelliger Faltenbau	1100	vord. Bretterwandgraben
86	30	31	CPHY	leichtwelliger Faltenbau	1100	vord. Bretterwandgraben
87	344	17	PHY		1335	Zupenig
88	45	18	PHY	mit quarzit. Lagen	1340	Zupenig
89	60	32	PHY		1340	Zupenig
90	344	37	PHY		1160	Burgergraben
91	358	35	PHY, RW		1235	alter Weg Zupenig
92	55	15	CPHY	mit quarzit. Lagen	1268	alter Weg Zupenig
93	60	15	CPHY		1268	alter Weg Zupenig
94	43	30	PHY		1275	alter Weg Zupenig
95	55	38	PHY		1335	oberh. Straße Zupenig
96	79	29	CPHY, AHY		1385	alter Weg Zupenig - Glanzdörfel
97	15	37	CPHY, AHY		1380	alter Weg Zupenig - Glanzdörfel
98	95	37	CPHY, AHY		1395	oberh. alter Weg Zupenig - Glanzdörfel
99	72	17	quarz. PHY		1455	S´ Kleiner Falkenstein
100	92	27	quarz. PHY		1455	S´ Kleiner Falkenstein
101	80	16	CPHY		1465	S´ Kleiner Falkenstein
102	107	13	CPHY		1490	SW´ Kleiner Falkenstein
103	102	32	CPHY		1520	SW´ Kleiner Falkenstein
104	117	18	PHY	mit quarzit. Lagen	1480	SW´ Kleiner Falkenstein
105	117	29	CPHY	mit quarzit. Lagen	1448	SW´ Kleiner Falkenstein
106	85	27	CPHY	mit quarzit. Lagen	1448	SW´ Kleiner Falkenstein
107	84	25	PHY		1465	SW´ Kleiner Falkenstein
108	63	15	PHY		1448	SW´ Kleiner Falkenstein
109	35	25	PHY	mit quarzit. Lagen	1490	SW´ Kleiner Falkenstein
110	30	24	PHY	mit quarzit. Lagen	1490	SW´ Kleiner Falkenstein
111	16	37	PHY		1565	N´ Kleiner Falkenstein
112	53	36	PHY		1525	E´ Maschgl
113	332	57	PHY		1560	E´ Maschgl
114	316	56	PHY		1560	E´ Maschgl
115	9	47	PHY		1560	E´ Maschgl
116	45	63	PHY		1540	E´ Maschgl
117	228	7	PHY		1540	E´ Maschgl

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr.8

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	175	52	KPHY	sandig	1945	Weg zur Steineralm
2	168	56	KPHY	sandig	1950	Weg zur Steineralm
3	170	54	KPHY		2015	Scarp, Westseite
4	223	63	SEP		2020	Ochsenstoan
5	215	68	SEP		2020	Ochsenstoan
6	218	72	SEP		1908	Lackneralm
7	179	52	PHY		1920	Lackneralm
8	194	57	PHY		2010	NE' Ochsenstoan
9	192	52	KPHY		1998	Ranz'n
10	200	23	PHY	verkippte Scholle?!	1990	Ranz'n
11	178	54	KPHY		1980	Ranz'n
12	188	64	KPHY		1980	Ranz'n
13	168	62	PHY	quarzitisch	1985	Ranz'n
14	205	49	KPHY	sandig	1925	Ranz'n
15	210	27	KPHY	sandig	1925	Ranz'n
16	195	42	KPHY		1915	Ranz'n
17	178	47	KPHY		1935	Ranz'n
18	188	64	KPHY		1935	Ranz'n
19	210	52	PHY		1885	Ranz'n, oberhalb Forststraße
20	170	47	PHY		1885	Ranz'n, oberhalb Forststraße
21	190	43	PHY		1867	Ranz'n, Forststraße
22	343	23	PHY		1885	Ranz'n, unterhalb Forststraße
23	350	73	PHY		1885	Ranz'n, unterhalb Forststraße
24	230	43	PHY		1805	Forststraße, Köfleralm
25	232	58	PHY		1805	Forststraße, Köfleralm
26	210	35	PHY		1805	Forststraße, Köfleralm

Diagramm Nr.9

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	343	46	PHY		1535	Westsporn
2	320	31	PHY		1535	Westsporn
3	340	45	PHY		1590	Westsporn
4	354	20	KPHY-KGLS	Kalksandstein	1650	Forststraße
5	348	30	KPHY-KGLS	Kalksandstein	1650	Forststraße
6	35	37	KPHY		1675	Westsporn
7	57	33	KPHY		1675	Westsporn
8	38	27	KPHY		1715	Westsporn
9	35	40	KPHY		1750	Westsporn
10	31	37	KPHY		1750	Westsporn
11	23	48	KPHY		1750	Westsporn
12	28	48	KPHY		1645	Westgrenze MB
13	45	26	KPHY		1805	Westsporn
14	30	27	KPHY		1805	Westsporn
15	40	40	KPHY		1805	Westsporn
16	40	20	KPHY		1805	Westsp. S' Köflerranz'n
17	41	23	KPHY		1825	Westsp. S' Köflerranz'n
18	90	42	KPHY		1640	Westgrenze MB
19	95	68	KPHY		1640	Westgrenze MB
20	85	58	KPHY		1640	Westgrenze MB
21	80	47	KPHY		1685	Westgrenze MB
22	70	28	KPHY		1505	Westgrenze MB, die Grad'n
23	25	14	KPHY		1505	Westgrenze MB, die Grad'n
24	55	37	KPHY		1505	Westgrenze MB, die Grad'n

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr.10

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	55	55	PHY	überschiebt Moräne	1140	Westgr. MB, alter Weg Zupenig
2	63	52	PHY		1165	alter Weg Zupenig
3	68	21	PHY		1335	Straße Glanzdörfli
4	50	27	CPHY		1345	Westgrenze MB, NE´ Wachtler
5	40	23	CPHY		1345	Westgrenze MB, NE´ Wachtler
6	70	28	KPHY		1505	Westgrenze MB, die Grad´n
7	25	14	KPHY		1505	Westgrenze MB, die Grad´n
8	55	37	KPHY		1505	Westgrenze MB, die Grad´n
9	46	22	PHY		1410	Straße Glanzdörfli
10	58	13	CPHY		1470	Straße Glanzdörfli
11	30	31	CPHY+PHY		1095	Str. vorderer Bretterwandgraben
12	337	18	PHY		1150	Kalkofensperre
13	351	39	PHY		1155	Kalkofensperre
14	65	45	CPHY		1155	Kalkofensperre
15	82	38	PHY		1170	alter Weg Zupenig
16	344	28	PHY		1195	unterh. altem Weg Zupenig
17	325	29	PHY		1195	alter Weg Zupenig
18	344	28	PHY		1195	alter Weg Zupenig
19	5	35	PHY		1230	alter Weg Zupenig
20	347	19	PHY		1235	alter Weg Zupenig
21	5	37	PHY		1270	Burgergraben
22	51	37	PHY		1270	Burgergraben
23	2	64	PHY		1270	Burgergraben
24	6	63	PHY		1270	Burgergraben
25	37	40	PHY		1270	Burgergraben
26	255	47	PHY		1270	Burgergraben
27	228	53	PHY		1270	Burgergraben
28	248	47	PHY		1270	Burgergraben
29	216	55	PHY		1270	Burgergraben
30	102	42	PHY		1220	Straße Glanzdörfli
31	83	23	PHY		1220	Straße Glanzdörfli
32	95	18	PHY		1425	Straße Glanzdörfli
33	67	26	PHY		1455	Straße Glanzdörfli
34	67	27	PHY		1455	Straße Glanzdörfli
35	60	32	PHY		1455	Straße Glanzdörfli
36	95	13	PHY		1495	Straße Glanzdörfli
37	3	57	PHY		1495	Straße Glanzdörfli
38	3	37	PHY		1495	Straße Glanzdörfli
39	52	12	PHY		1495	Straße Glanzdörfli
40	11	29	PHY		1495	Straße Glanzdörfli
41	23	24	QZ		1435	Glanzdörfli
42	325	10	QZ		1435	Glanzdörfli

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr.11

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	167	60	KPHY		1950	Weg zur Steineralm
2	178	65	KPHY		1950	Weg zur Steineralm
3	169	53	KPHY		1950	Weg zur Steineralm
4	183	60	KPHY	K-Sandstein	1950	Weg zur Steineralm
5	177	58	KPHY		1940	Weg zur Steineralm
6	163	58	KPHY		1940	Weg zur Steineralm
7	176	59	KGLS		1945	Weg zur Steineralm
8	169	58	KGLS		1945	Weg zur Steineralm
9	160	62	KGLS		1950	Weg zur Steineralm
10	193	53	KGLS		2395	N´ vom Bunzkögele
11	173	58	KGLS		2395	N´ vom Bunzkögele
12	180	54	KPHY		2385	E´ vom Bunzkögele
13	173	64	KPHY-KGLS		2385	E´ vom Bunzkögele
14	170	65	KPHY		2385	E´ vom Bunzkögele
15	205	59	KPHY-KGLS		1895	Mutschental
16	183	48	KPHY-KGLS		1895	Mutschental
17	178	62	KPHY		1890	Mutschental
18	182	56	KPHY		1890	Mutschental

Diagramm Nr.12

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	171	57	GPHY		1015	FTS S´ Bretterwandb.
2	167	67	GPHY		1015	FTS S´ Bretterwandb.
3	171	67	CPHY		1020	FTS, Auffahrt Schnellstr.
4	180	68	CPHY		1020	FTS, Auffahrt Schnellstr.
5	170	67	GPHY		1020	FTS, Auffahrt Schnellstr.
6	174	66	CPHY		1025	Steig nach Hinterburg
7	165	66	PHY		1025	Steig nach Hinterburg
8	170	73	PHY		1025	Steig nach Hinterburg
9	163	75	GPHY		1025	FTS, vis a vis Ausf. Matrei
10	161	73	Chl. Schiefer	quarzit., grün	1025	FTS, vis a vis Ausf. Matrei
11	166	66	Chl. Schiefer	quarzit., grün	1025	FTS, vis a vis Ausf. Matrei
12	173	67	SEP, Talk		1025	FTS, vis a vis Ausf. Matrei
13	171	57	CPHY		1030	FTS, vis a vis Ausf. Matrei
14	172	81	CPHY		1030	FTS, vis a vis Ausf. Matrei
15	175	63	KPHY-KGLS	quarzit.	1045	Felbertauernstraße
16	198	63	KPHY-KGLS	quarzit.	1045	Felbertauernstraße
17	179	58	KPHY		1055	Felbertauernstraße
18	175	58	KGLS-KPHY		1100	FTS, S´ der Galerie
19	179	60	KGLS-KPHY		1100	FTS, S´ der Galerie
20	171	73	KGLS-KPHY		1100	FTS, S´ der Galerie
21	168	58	KGLS-KPHY		1100	FTS, S´ der Galerie
22	186	63	graph. PHY		1100	FTS, S´ der Galerie
23	170	57	KPHY		1100	FTS, S´ der Galerie
24	168	63	KGLS		1140	S´ Felbertauernstüberl
25	157	65	KGLS		1140	S´ Felbertauernstüberl
26	183	67	KGLS		1140	vis a vis FT-Stüberl
27	182	62	KGLS		1140	vis a vis FT-Stüberl
28	177	67	KGLS		1140	vis a vis FT-Stüberl
29	183	70	PHY		1075	Straße nach Hinterburg
30	181	71	PHY		1075	Straße nach Hinterburg
31	178	72	CPHY		1090	Straße nach Hinterburg
32	165	70	PHY		1090	Straße nach Hinterburg
33	195	72	PHY		1075	Straße nach Hinterburg
34	174	73	CPHY		1125	Hinterburg
35	149	67	CPHY		1125	Hinterburg
36	153	78	PHY		1150	Straße Glanzdörfel
37	178	67	PHY		1150	Straße Glanzdörfel

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
38	177	67	PHY		1150	Straße Glanzdörfel
39	322	66	PHY		1175	Straße Glanzdörfel
40	342	78	PHY		1175	Straße Glanzdörfel
41	190	60	PHY		1175	Straße Glanzdörfel
42	356	88	PHY		1175	Straße Glanzdörfel
43	175	81	CPHY		1180	Straße Glanzdörfel
44	167	75	CPHY		1180	Straße Glanzdörfel
45	179	73	KPHY		1380	Forststraße // Felbertal
46	167	74	KPHY		1380	Forststraße // Felbertal
47	151	68	KPHY		1380	Forststraße // Felbertal
48	167	72	KPHY		1380	Forststraße // Felbertal
49	168	67	KPHY		1380	Forststraße // Felbertal
50	148	73	KPHY		1395	Forststraße // Felbertal
51	156	77	KPHY		1395	Forststraße // Felbertal
52	189	69	KPHY		1425	Forststraße // Felbertal
53	186	78	KPHY		1430	Forststraße // Felbertal
54	170	77	KGLS		1435	Forststraße // Felbertal
55	176	68	KGLS		1435	Forststraße // Felbertal
56	177	62	KGLS		1435	Forststraße // Felbertal
57	165	69	PHY		1495	Westsporn, "die Grad´n"
58	152	62	PHY		1495	Westsporn, "die Grad´n"
59	159	64	PHY		1495	Westsporn, "die Grad´n"
60	170	65	PHY		1635	Westsporn
61	179	73	PHY		1635	Westsporn
62	174	62	KGLS		1515	Westhang Tauerntal
63	165	53	KGLS		1570	Westhang Tauerntal
64	166	63	KPHY		1570	Westhang Tauerntal
65	170	62	KPHY		1605	Westhang Tauerntal
66	205	43	KPHY		1620	Westhang Tauerntal
67	156	63	KPHY		1620	Westhang Tauerntal
68	182	67	KPHY		1620	Westhang Tauerntal
69	181	72	KPHY		1650	Westhang Tauerntal
70	173	70	KPHY		1650	Westhang Tauerntal
71	185	67	KPHY		1660	Westhang Tauerntal
72	168	68	KPHY		1690	Westhang Tauerntal
73	163	68	KPHY		1750	Westsporn Lackneralm
74	193	58	KPHY		1885	Westsporn Lackneralm
75	187	51	KPHY		1885	Westsporn Lackneralm
76	178	47	KPHY		1845	Westsporn Lackneralm
77	175	52	KPHY		1810	Westsporn Lackneralm
78	181	58	KPHY		1790	Westsporn Lackneralm
79	159	45	KPHY		1790	Westsporn Lackneralm
80	206	83	KPHY		1785	Westsporn Lackneralm
81	182	74	KPHY		1805	Westsporn Lackneralm
82	182	73	KPHY		1805	Westsporn Lackneralm

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik



Diagramm Nr.13

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	163	80	PHY		1385	Bretterwandgraben
2	198	73	PHY		1330	Bretterwandgraben
3	184	73	PHY		1175	Bretterwandgraben
4	143	73	PHY		1180	Bretterwandgraben, bei Geophon
5	176	60	Phy		1120	Bretterwandgraben, Kalkofensperre
6	197	57	PHY		1040	Bretterwandgraben
7	171	57	GPHY		1015	Felbertauernstraße S´ BWB
8	167	67	GPHY		1015	Felbertauernstraße S´ BWB
9	184	75	KPHY		1630	Forstst. Presslab
10	235	42	PHY		1610	Forstst. Presslab, Goldriedbach
11	245	42	PHY		1540	Klaunzer Berg, Abzw. Presslab

Diagramm Nr.14

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	185	65	KPHY		1985	Sunzgraben, orogr. li.
2	174	65	KPHY-KGLS		1885	Sunzgraben, orogr. li.
3	175	65	PHY		1900	Sunzgraben, orogr. li., Rutschg.
4	183	47	PHY		1890	Sunzgraben, orogr. li., Rutschg.
5	185	52	KPHY-KGLS		1885	Sunzgraben, orogr. li.
6	177	69	KPHY		1835	Sunzgraben, orogr. li.
7	165	58	KPHY		1835	Sunzgraben, orogr. li.
8	166	77	KPHY		1745	Sunzgraben, orogr. li.
9	184	65	KPHY		1745	Sunzgraben, orogr. li.
10	178	72	KPHY		1650	Bretterwandgr. Aufschl.-Weg. orogr. li.
11	151	67	KPHY		1648	Bretterwandgr. Aufschl.-Weg. orogr. li.
12	182	63	KPHY		1620	Bretterwandgr. Aufschl.-Weg. orogr. li.
13	166	79	KPHY-KGLS		1570	Bretterwandgr. Aufschl.-Weg. orogr. li.
14	165	80	KPHY		1570	Bretterwandgr. Aufschl.-Weg. orogr. li.
15	160	79	KGLS		1550	Bretterwandgr. Aufschl.-Weg., Furt, orogr. li.
16	156	83	KGLS		1550	Bretterwandgr. Aufschl.-Weg., Furt, orogr. li.
17	165	67	KPHY		1455	Bretterwandgraben, orogr. li.
18	168	87	KPHY		1455	Bretterwandgraben, orogr. li.
19	178	44	PHY		1450	Bretterwandgraben, orogr. li.
20	166	75	KPHY		1472	Bretterwandgraben, orogr. li.
21	168	66	chl. PHY		1445	Bretterwandgr., orogr. li., Weg Ranermoosalm
22	179	58	PHY		1445	Bretterwandgr., orogr. li., Weg Ranermoosalm
23	172	67	PHY		1445	Bretterwandgr., orogr. li., Weg Ranermoosalm
24	192	78	GPHY		1545	Ranermoosalm
25	182	72	CPHY		1390	Bretterwandgr., orogr. re.
26	192	69	PHY		1385	Bretterwandgraben
27	183	80	PHY		1385	Bretterwandgraben
28	198	73	PHY		1330	Bretterwandgraben
29	172	56	PHY		1770	SW´ Rainer Alm
30	178	68	PHY		1770	SW´ Rainer Alm
31	179	78	GPHY		1550	Ranermoosalm

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr.15

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	162	47	KGLS		2005	Fuß Bretterwand
2	194	51	KGLS		2010	Fuß Bretterwand
3	175	47	KGLS		2010	Fuß Bretterwand
4	169	65	KGLS		2085	Fuß Bretterwand
5	164	60	KGLS		2145	Fuß Bretterwand
6	183	57	KGLS		2050	MB SG/N' Bretterwandbödele
7	176	50	KGLS		2005	MB SG/N' Bretterwandbödele
8	161	66	KGLS		1985	MB SG/N' Bretterwandbödele
9	155	52	KGLS		1995	MB SG/N' Bretterwandbödele
10	170	49	KPHY-KGLS		1958	MB Bretterwandbödele
11	145	40	KPHY		1945	MB Bretterwandbödele
12	299	22	KPHY-KGLS		1925	MB Bretterwandbödele
13	324	41	KPHY-KGLS		1925	MB Bretterwandbödele
14	300	77	KPHY		1895	MB Bretterwandbödele
15	328	77	KPHY		1895	MB Bretterwandbödele
16	307	53	KPHY		1895	MB Bretterwandbödele
17	308	53	KPHY		1895	MB Bretterwandbödele
18	140	68	KGLS		1953	MB SG/BWG, orogr. re.
19	168	57	KGLS		1945	MB SG/BWG, orogr. re.
20	349	35	KPHY-KGLS		1880	MB SG/BWG, orogr. re.
21	305	23	KPHY-KGLS		1865	MB SG/BWG, orogr. re.
22	335	28	KPHY-KGLS		1845	MB SG/BWG, orogr. re.
23	185	65	KPHY		1985	Sunzgraben, orogr. li.
24	165	40	KGLS		2115	Sunzgraben, orogr. li.
25	192	42	KGLS		2005	Sunzgraben, orogr. li.
26	174	65	KPHY-KGLS		1885	Sunzgraben, orogr. li.
27	175	65	PHY		1900	Sunzgraben, orogr. li., Rutschg.
28	183	47	PHY		1890	Sunzgraben, orogr. li., Rutschg.
29	185	52	KPHY-KGLS		1885	Sunzgraben, orogr. li.
30	177	69	KPHY		1835	Sunzgraben, orogr. li.
31	165	58	KPHY		1835	Sunzgraben, orogr. li.
32	166	77	KPHY		1745	Sunzgraben, orogr. li.
33	184	65	KPHY		1745	Sunzgraben, orogr. li.

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr.16

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	185	65	KPHY		1985	Sunzgraben, orogr. li.
2	165	40	KGLS		2115	Sunzgraben, orogr. li.
3	200	31	KPHY-KGLS		2035	Sunzgraben, orogr. li.
4	192	42	KGLS		2005	Sunzgraben, orogr. li.
5	174	65	KPHY-KGLS		1885	Sunzgraben, orogr. li.
6	175	65	PHY		1900	SG, orogr. li., Rutschg.
7	183	47	PHY		1890	SG, orogr. li., Rutschg.
8	185	52	KPHY-KGLS		1885	Sunzgraben, orogr. li.
9	177	69	KPHY		1835	Sunzgraben, orogr. li.
10	165	58	KPHY		1835	Sunzgraben, orogr. li.
11	166	77	KPHY		1745	Sunzgraben, orogr. li.
12	184	65	KPHY		1745	Sunzgraben, orogr. li.
13	179	72	KPHY		1990	Walzenbrunngraben
14	187	55	PHY	quarzit.	2115	MB, E' Brettergraben
15	207	50	KPHY		2105	MB, E' Brettergraben
16	5	65	KPHY		2070	MB, E' Brettergraben
17	176	48	KPHY-KGLS		2195	MB, E' Brettergraben
18	190	67	KPHY		2165	MB, E' Brettergraben
19	55	33	KPHY	quarzit.	2075	MB, E' Brettergraben
20	358	32	KPHY	quarzit.	2065	MB, E' Brettergraben
21	180	44	KPHY	sandig	2285	MB, E' Brettergraben
22	180	50	KPHY	sandig	2285	MB, E' Brettergraben
23	355	62	KPHY		2100	MB, E' Brettergraben
24	183	67	KPHY		2120	MB, E' Brettergraben
25	187	54	PHY	tw. graph.	2250	W' Brettergraben
26	160	75	PHY	tw. graph.	2238	W' Brettergraben
27	173	60	GPHY		2190	N' Rainer Alm
28	179	57	PHY		2190	N' Rainer Alm
29	208	53	PHY		2015	N' Rainer Alm
30	187	60	PHY		2055	N' Rainer Alm
31	188	54	PHY		2095	N' Rainer Alm
32	181	48	PHY		2095	N' Rainer Alm
33	185	59	PHY		2095	N' Rainer Alm

grau gekennzeichnete Werte finden sich in der Karte der Hangtektonik

Diagramm Nr.17 und Nr.18

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	199	62	KPHY	sf	1955	Bunzkögele Scarp 3
2	209	61	KPHY	sf	1825	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
3	199	78	QZSCH	sf	1840	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
4	209	41	QZSCH	sf	1840	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
5	212	33	QZSCH	sf	1840	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
6	212	63	QZSCH	sf	1840	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
7	223	53	QZSCH	sf	1840	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
8	215	28	QZSCH	sf	1840	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
9	196	43	QZSCH	sf	1840	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
10	221	45	QZSCH	sf	1840	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
11	211	47	KPHY	sf	1815	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
12	213	57	KPHY	sf	1816	Faltenzone hint. Bretterwandgr.
13	35	62	KPHY	sf	1815	Hinterer Bretterwandgraben
14	41	58	KPHY	sf	1815	Hinterer Bretterwandgraben
15	359	62	KPHY	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben
16	30	76	KPHY	sf	1775	Hinterer Bretterwandgraben
17	28	43	KPHY	sf	1775	Hinterer Bretterwandgraben
18	37	79	KPHY	sf	1765	Hinterer Bretterwandgraben
19	3	64	KPHY	sf	1755	Hinterer Bretterwandgraben
20	54	68	KPHY	sf	1775	Hinterer Bretterwandgraben
21	51	55	KPHY	sf	1770	Hinterer Bretterwandgraben
22	0	88	KPHY	sf	1735	Hinterer Bretterwandgraben
23	358	50	KPHY	sf	1720	Hinterer Bretterwandgraben
24	345	68	KPHY	sf	1675	Hinterer Bretterwandgraben
25	330	67	KPHY	sf	1675	Hinterer Bretterwandgraben
26	8	57	KPHY	sf	1628	Hinterer Bretterwandgraben
27	0	54	KPHY	sf	1635	Hinterer Bretterwandgraben
28	350	73	KPHY	sf	1635	Hinterer Bretterwandgraben
29	5	62	KPHY	sf	1625	Hinterer Bretterwandgraben
30	189	80	KPHY	sf	1615	Hinterer Bretterwandgraben
31	5	53	KPHY	sf	1615	Hinterer Bretterwandgraben
32	3	67	KPHY	sf	1615	Hinterer Bretterwandgraben
33	3	74	KPHY-KGLS	sf	1575	Hinterer Bretterwandgraben
34	3	64	KPHY-KGLS	sf		Faltenzone hint. Bretterwandgr.

Diagramm Nr.19

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	3	57	KPHY-KGLS	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben
2	13	50	KPHY-KGLS	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben
3	20	58	KPHY-KGLS	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben
4	215	54	KPHY-KGLS	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben
5	185	60	KPHY-KGLS	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben
6	225	50	KPHY-KGLS	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben
7	213	57	KPHY-KGLS	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben
8	211	47	KPHY-KGLS	sf	1780	Hinterer Bretterwandgraben

Diagramm Nr.20

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	211	47	KPHY-KGLS	Faltenachse	1810	Hinterer Brettewandgraben
2	213	57	KPHY-KGLS	Faltenachse	1810	Hinterer Brettewandgraben
3	214	87	KPHY-KGLS	Syntheter	1810	Hinterer Brettewandgraben
4	41	58	KPHY-KGLS	Faltenachse	1810	Hinterer Brettewandgraben
5	35	62	KPHY-KGLS	Faltenachse	1810	Hinterer Brettewandgraben

Diagramm Nr.21

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	124	16	KPHY	Faltenachse	1840	große Knickfalte
2	114	23	KPHY	Faltenachse	1840	große Knickfalte
3	281	15	KPHY	Faltenachse	1840	große Knickfalte
4	133	24	KPHY	Faltenachse	1840	große Knickfalte
5	125	11	KPHY	Faltenachse	1840	große Knickfalte
6	122	33	KPHY	Faltenachse	1840	große Knickfalte
7	129	33	KPHY	Faltenachse	1840	große Knickfalte
8	125	3	KPHY	Faltenachse	1840	große Knickfalte
9	126	2	KPHY	separate Auswertg.	1840	große Knickfalte
10	281	21	KPHY	separate Auswertg.	1840	große Knickfalte
11	127	6	KPHY	Faltenachse	1810	Knickfalte
12	124	3	KPHY	Faltenachse	1810	Knickfalte
13	293	15	KPHY	separate Auswertg.	1780	große Knickfalte

Diagramm Nr.22

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	281	11	KPHY	Faltenachse	1500	Straße Bretterwandgraben
2	108	8	KPHY	Faltenachse	1500	Straße Bretterwandgraben
3	286	22	KPHY	Faltenachse	1500	Straße Bretterwandgraben
4	110	6	KPHY	Faltenachse	1500	Straße Bretterwandgraben
5	285	28	KPHY	Faltenachse	1440	Bachbett
6	314	20	KPHY	Faltenachse	1440	Bachbett
7	325	21	KPHY	Faltenachse	1440	Bachbett
8	318	33	KPHY	Faltenachse	1440	Bachbett
9	328	31	KPHY	Faltenachse	1440	Bachbett

Diagramm Nr.23

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	36	14	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
2	40	23	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
3	32	4	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
4	30	27	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
5	40	7	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
6	31	16	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
7	214	7	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
8	211	11	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
9	214	4	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links
10	32	1	PHY	Faltenachse	1160	Burgergraben oogr. links

Diagramm Nr.24

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	126	1	PHY	Faltenachse	1270	Burgergraben oogr. rechts
2	324	14	PHY	Faltenachse	1270	Burgergraben oogr. rechts
3	292	30	PHY	Faltenachse	1270	Burgergraben oogr. rechts
4	298	38	PHY	Faltenachse	1270	Burgergraben oogr. rechts
5	335	10	PHY	Faltenachse	1270	Burgergraben oogr. rechts
6	139	1	PHY	Faltenachse	1270	Burgergraben oogr. rechts
7	131	7	PHY	Faltenachse	1270	Burgergraben oogr. rechts



Diagramm Nr.25

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	145	65	KGLS-KPHY	Syntheter	2105	Zackengrat
2	10	76	KGLS-KPHY	Antitheter	1820	BWG aufrechter Schenkel
3	12	77	KGLS-KPHY	Antitheter	1820	BWG aufrechter Schenkel
4	341	77	KGLS-KPHY	Antitheter	1820	BWG aufrechter Schenkel
5	39	88	KGLS-KPHY	Antitheter	1840	BWG aufrechter Schenkel
6	339	89	KGLS-KPHY	Antitheter	1840	BWG aufrechter Schenkel
7	144	79	KGLS-KPHY	Syntheter	1840	BWG aufrechter Schenkel
8	140	73	KGLS-KPHY	Syntheter	1840	BWG aufrechter Schenkel
9	343	82	KGLS-KPHY	Antitheter	1840	BWG aufrechter Schenkel
10	177	88	KGLS-KPHY	Syntheter	1840	BWG aufrechter Schenkel
11	203	87	KGLS-KPHY	Syntheter	1810	BWG aufrechter Schenkel
12	15	60	KGLS-KPHY	Antitheter	1930	BWG aufrechter Schenkel
13	330	73	KGLS-KPHY	Antitheter	2130	Zackengrat
14	345	65	KGLS-KPHY	Antitheter	2130	Zackengrat
15	3	68	KGLS-KPHY	Antitheter	2130	Zackengrat
16	355	46	KGLS-KPHY	Antitheter	2200	Zackengrat
17	35	53	KGLS-KPHY	Antitheter	2200	Zackengrat
18	333	65	KGLS-KPHY	Antitheter	2230	Horst-Grabenstruktur
19	343	73	KGLS-KPHY	Antitheter	2230	Horst-Grabenstruktur
20	3	51	KGLS-KPHY	Antitheter	2230	Horst-Grabenstruktur
21	18	60	KGLS-KPHY	Antitheter	2230	Horst-Grabenstruktur
22	353	48	KGLS-KPHY	Antitheter	2230	Zackengrat
23	357	75	KGLS-KPHY	Antitheter	2230	Zackengrat

Diagramm Nr.26

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	72		KPHY	Zerrspalte	1860	Zupenigalm
2	107		KPHY	Zerrspalte	1860	Zupenigalm
3	85		KPHY	Zerrspalte	1860	Zupenigalm
4	71		KPHY	Nackental	1860	Zupenigalm
5	70		KPHY	Nackental	1860	Zupenigalm
6	102		KPHY	Nackental	1970	Leitl
7	87		KPHY	Nackental	1970	Leitl
8	122		KPHY	Zerrspalte	2170	untere Blitz'n
9	129		KPHY	Zerrspalte	2170	untere Blitz'n
10	80		KPHY	Scarp	2230	obere Blitz'n
11	260		KPHY	Scarp	2230	obere Blitz'n
12	74		KPHY	Scarp	2230	obere Blitz'n
13	70		KPHY	Scarp	2230	obere Blitz'n
14	72		KPHY	Scarp	2230	obere Blitz'n, W
15	106		KPHY	Scarp	2230	obere Blitz'n, W
16	88		KPHY	Scarp	2230	ob. Blitz'n, Rand
17	68		KPHY	Scarp	2230	ob. Blitz'n, Rand
18	79		KPHY	Scarp	2230	ob. Blitz'n, Rand
19	260		KPHY	Scarp	2230	obere Blitz'n
20	64		KPHY	Scarp	2230	obere Blitz'n
21	100		KPHY	Rinne	2300	obere Blitz'n
22	107		KPHY	Rinne	2300	obere Blitz'n
23	115		KPHY	Rinne	2250	obere Blitz'n
24	116		KPHY	Rinne	2250	obere Blitz'n
25	117		KPHY	Rinne	2250	obere Blitz'n
26	67		KPHY	Rinne	2250	obere Blitz'n
27	64		KPHY	Scarp	2250	obere Blitz'n
28	43		KPHY	k	2250	obere Blitz'n
29	302		KPHY	Scarp	2250	obere Blitz'n
30	93		KPHY	Scarp	2250	obere Blitz'n
31	67		KPHY	Scarp	2250	obere Blitz'n
32	254		KPHY	Scarp	2250	obere Blitz'n
33	254		KPHY	Scarp	2250	obere Blitz'n

Diagramm Nr.27

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	250	80	PHY	k	2005	Ochsenstoan
2	285	65	PHY	k	2005	Ochsenstoan
3	293	88	SER	k	2010	Ochsenstoan
4	107	88	SER	k	2010	Ochsenstoan
5	108	86	SER	k	2010	Ochsenstoan
6	158	88	PHY/KGLS	k	1990	SE´ Ochstoan
7	257	84	PHY	k	1990	SE´ Ochstoan
8	305	80	PHY	k	1990	SE´ Ochstoan
9	60	85	PHY	Scarp	1990	Verl. Ochsenstoan
10	110	85	PHY	Scarp	1990	Verl. Ochsenstoan
11	86	82	PHY	Scarp	1990	Verl. Ochsenstoan
12	110	83	PHY	Scarp	1860-2010	Verl. Ochsenstoan
13	96	87	PHY	Scarp	1860-2011	Verl. Ochsenstoan
14	94	84	PHY	Scarp	1860-2012	Verl. Ochsenstoan
15	63	87	PHY	Scarp	1860-2013	Verl. Ochsenstoan
16	51	82	PHY	Scarp	1860-2014	Verl. Ochsenstoan
17	113	86	PHY	Scarp	1930-1990	Verl. Ochsenstoan
18	122	80	PHY	Scarp	1890-1940	am Ranz´n
19	100	87	PHY	Scarp	1860-1890	am Ranz´n
20	155	83	PHY	Scarp	1830-1860	am Ranz´n
21	92	88	PHY	NT,Zerrspalte	1920-1970	am Ranz´n
22	100	88	PHY	NT,Zerrspalte	1930-1970	am Ranz´n
23	109	88	PHY	NT,Zerrspalte	1960-1995	am Ranz´n
24	139	88	PHY	NT,Zerrspalte	1950-1985	am Ranz´n
25	110	88	PHY	NT,Zerrspalte	1930-1950	am Ranz´n
26	2	89	SEP	k	2020	Ochsenstoan
27	208	80	SEP	k	2020	Ochsenstoan
28	81	72	SEP	Scarp	2010	Ochsenstoan
29	119	61	SEP	k	2010	Ochsenstoan
30	109	71	SEP	k	2010	Ochsenstoan
31	62	77	SEP	k	2000	Ochsenstoan
32	64	71	SEP	k	2000	Ochsenstoan
33	89	85	SEP	k	2000	Ochsenstoan
34	104	86	SEP	k	2000	Ochsenstoan
35	100	80	KPHY	Scarp	2000	Ranz´n
36	345	82	KPHY	Spalte	1970	Ranz´n
37	136	87	KPHY	Scarp	1970	Ranz´n
38	109	75	KPHY	Scarp	1970	Ranz´n
39	253	89	KPHY	Scarp	1980	Ranz´n
40	289	82	KPHY	Scarp	1980	Ranz´n
41	214	70	KPHY	Scarp	1980	Ranz´n
42	322	87	KPHY	Spalte	1980	Ranz´n
43	185	89	KPHY	Spalte	1990	Ranz´n
44	287	85	KPHY	Scarp	1990	Ranz´n
45	97	88	KPHY	Scarp	1980	Ranz´n
46	43	75	KPHY	Scarp	1980	Ranz´n
47	105	82	KPHY	Scarp	1950	Ranz´n
48	96	77	KPHY	Scarp	1950	Ranz´n
49	94	76	KPHY	Scarp	1950	Ranz´n
50	278	78	KPHY	Scarp	1950	Ranz´n
51	114	89	KPHY	Scarp	1940	Ranz´n
52	292	87	KPHY	Scarp	1940	Ranz´n

Diagramm Nr.28

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	210	50	KPHY	sf	1570	oberhalb Aufschließungsweg BWG
2	211	54	KPH	sf	1570	oberhalb Aufschließungsweg BWG
3	3	59	KPHY	sf	1570	oberhalb Aufschließungsweg BWG
4	7	53	KPHY	sf	1570	oberhalb Aufschließungsweg BWG
5	27	59	KPHY	sf	1570	oberhalb Aufschließungsweg BWG
6	11	64	KPHY	sf	1570	oberhalb Aufschließungsweg BWG

Diagramm Nr.29

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	70	85	KGLS	k21	1060	FTS-07, Felbertauernstraße
2	245	80	KGLS	k22	1065	FTS-11, Felbertauernstraße
3	68	55	KGLS	k21	1065	FTS-11, Felbertauernstraße
4	292	53	KGLS	k1	1065	FTS-11, Felbertauernstraße
5	294	61	KGLS	k1	1065	FTS-11, Felbertauernstraße
6	284	55	KGLS	k1	1065	FTS-11, Felbertauernstraße
7	191	70	KGLS	ha	1065	FTS-11, Felbertauernstraße
8	260	89	KGLS	k22	1065	FTS-12, Felbertauernstraße
9	288	58	KGLS	k1	1065	FTS-12, Felbertauernstraße
10	55	80	KGLS	k21	1065	FTS-12, Felbertauernstraße
11	65	87	KGLS	k21	1065	FTS-12, Felbertauernstraße
12	45	82	KGLS	k21	1065	FTS-12, Felbertauernstraße
13	54	73	KGLS	k21	1065	FTS-12, Felbertauernstraße

Diagramm Nr.30

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	345	82	DOLM	k12/ha12	1610	großer Falkenstein
2	147	88	DOLM	k11/ha11	1610	großer Falkenstein
3	145	75	DOLM	k11/ha11	1610	großer Falkenstein
4	128	82	DOLM	k11/ha11	1610	großer Falkenstein
5	244	88	DOLM	K21/ha21	1610	großer Falkenstein
6	72	86	DOLM	k22/ha22	1610	großer Falkenstein

Diagramm Nr.31

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	88	73	CPHY	k11/ha	1450	HBWG-02, Forstweg Roaneralm
2	77	65	PHY	k11/ha	1450	HBWG-02, Forstweg Roaneralm
3	80	75	PHY	k11/ha	1450	HBWG-02, Forstweg Roaneralm
4	76	83	PHY	k11/ha	1450	HBWG-02, Forstweg Roaneralm
5	298	77	PHY	k12/ha	1450	HBWG-02, Forstweg Roaneralm
6	280	75	PHY	k12/ha	1450	HBWG-02, Forstweg Roaneralm

Diagramm Nr.32

Nr.	Einfallsri.	Fallwert	Gestein	Bemerkung	Seehöhe	Lokalität
1	310	70	KPHY	k1	1835	HBWG-24
2	293	60	KGLS	k1	2000	HBWG-26; Fuß Bretterwand
3	295	58	KGLS	k1	2000	HBWG-26; Fuß Bretterwand
4	288	60	KGLS	k1	2000	HBWG-26; Fuß Bretterwand
5	248	45	KGLS	k2	2000	HBWG-26; Fuß Bretterwand
6	228	69	KGLS	k2	2000	HBWG-26; Fuß Bretterwand
7	285	69	KGLS	k1	2000	HBWG-26; Fuß Bretterwand
8	300	70	KGLS	K1	2010	SG-02



# Anlage C

Geotechnik





### Gesteins- und Gebirgskennwerte: Matreier Zone

Nr.	Aufschluss	Gestein	UCS [Mpa]	UCS-Kl.	GSI	GSI-Kl.	ZG [cm]	ZG-Kl.	KK-Form	KK-Kl.	VG	VG-Kl.
1	FTS-01	GPHY	1-5	R1	17-22	F	< 6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
2	FTS-02	CPHY	5-25	R2	20-25	F	< 6-20	4	plattig	3	angewittert	2
3	FTS-03a	PHY	5-25	R2	20-25	F	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
4	FTS-03b	GPHY	1-5	R1			< 6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
5	FTS-04a	GPHY	1-5	R1	17-22	F	< 6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
6	FTS-04b	PHY	5-25	R2			< 6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
7	FTS-05	phyll. QZT	50-100	R4	35-40	C	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
8	FTS-06	SEP, TS	1-5	R1	15-20	F	< 6	5	plattig	3	mittelst. verw.	4
9	HB-01	quarzit. PHY	5-25	R2	20-25	G	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
10	HB-02	PHY, OZT	5-25	R2	25-30	E	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
11	HB-03	PHY	5-25	R2	20-25	G	< 6	5	plattig	3	angewittert	2
12	HB-05	PHY	5-25	R2	20-25	G	< 6	5	plattig	3	angewittert	2
13	HB-06	CPHY	5-25	R2	20-25	G	< 6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
14	HBWG-02a	quarzit. PHY	25-50	R3	25-30	E	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
15	HBWG-02b	PHY	5-25	R2			6-20	4	plattig	3	angewittert	2

UCS [Mpa]	Anzahl
R0 (0,25-1)	0
R1 (1-5)	4
R2 (5-25)	9
R3 (25-50)	1
R4 (50-100)	1
R5 (100-250)	0
R6 (> 250)	0
<b>Summe</b>	<b>15</b>

GSI	Anzahl
A	0
B	0
C	1
D	0
E	2
F	5
G	4
H	0
<b>Summe</b>	<b>12</b>

ZG [cm]	Anzahl
KG1 >200	0
KG2 60-200	0
KG3 20-60	0
KG4 6-20	7
KG5 <6	8
<b>Summe</b>	<b>15</b>

VG	Anzahl
1 unverwittert	0
2 angewittert	7
3 leicht verwittert	7
4 mittelstark verwittert	1
5 stark verwittert	0
6 sehr stark verwittert	0
7 völlig verwittert	0
<b>Summe</b>	<b>15</b>

Abkürzungen:

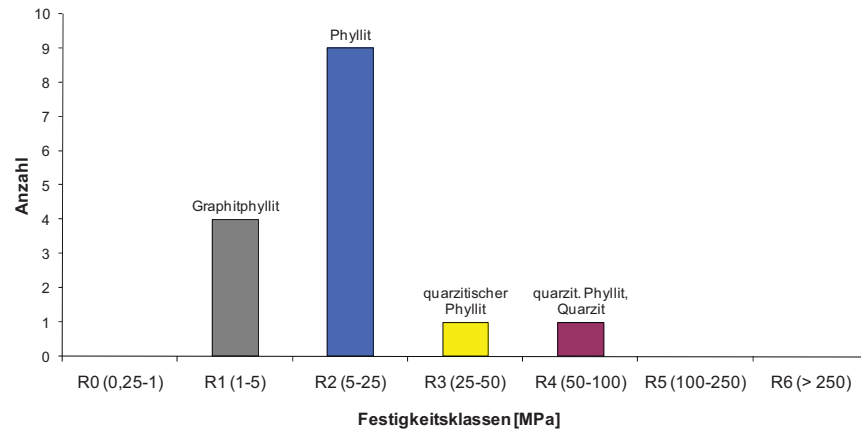
UCS      Uniaxial Compressive Strength, Einachsiale Druckfestigkeit  
 GSI      Geological Strength Index  
 ZG      Klufftkörpergrößen, Zerlegungsgrad

KK      Klufftkörper  
 VG      Verwitterungsgrad  
 KI      Klasse

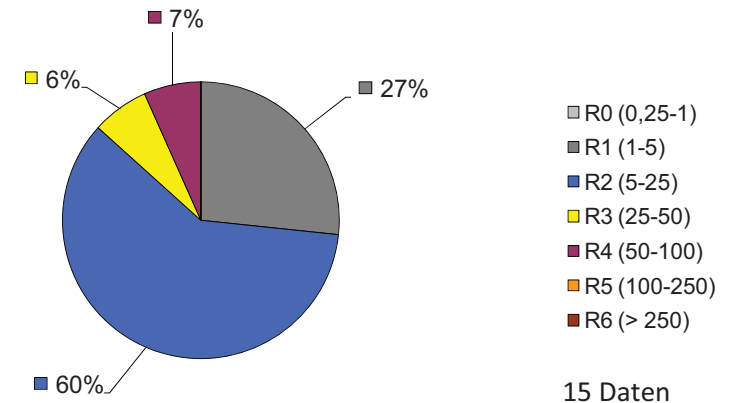
PHY      Phyllit                      GPHY      Graphitphyllit  
 KPHY      Kalkphyllit                    CPHY      Chloritphyllit

TS      Talkschiefer

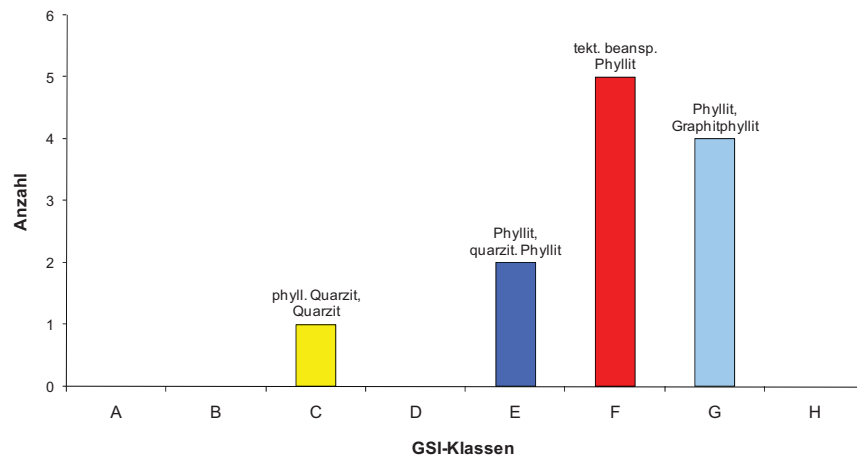
**UCS: Matreier Zone**



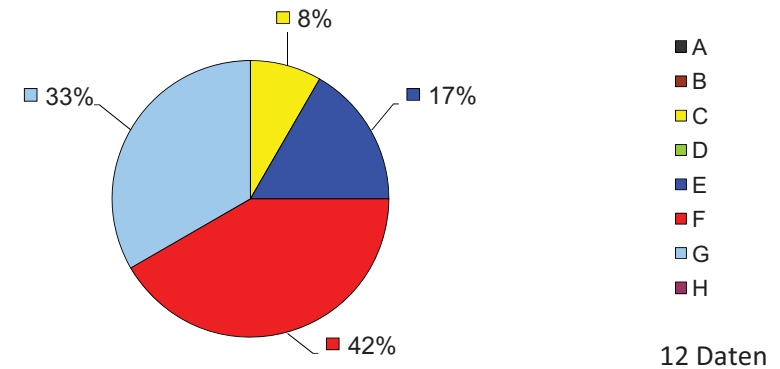
**UCS [MPa]: Matreier Zone**



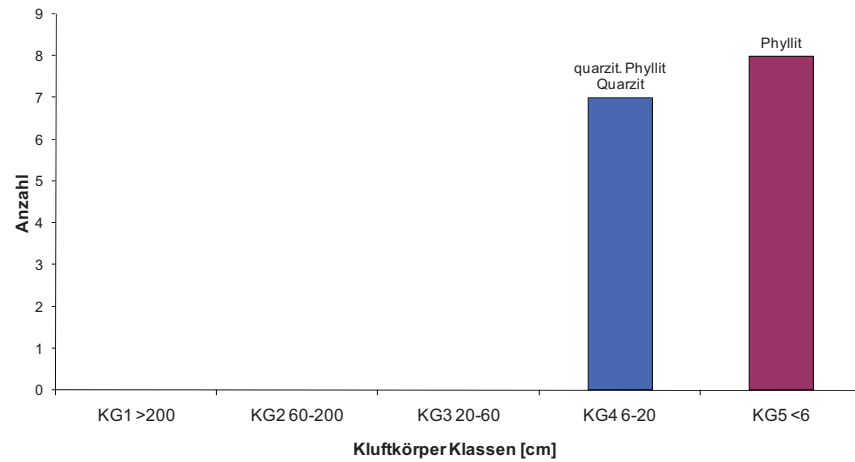
**GSI: Matreier Zone**



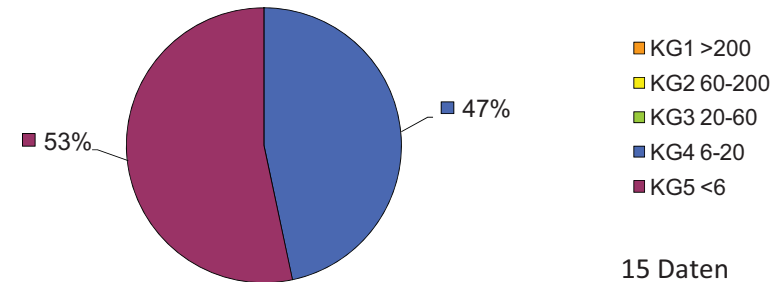
**GSI: Matreier Zone**



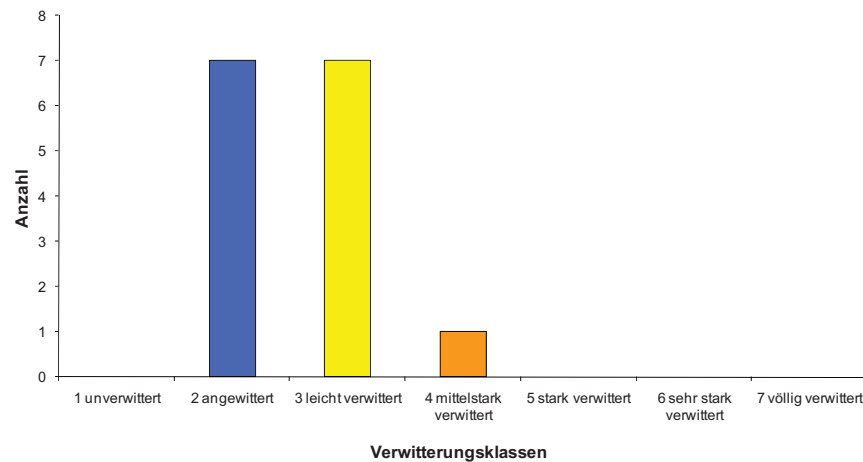
**Kluftkörpergrößen: Matreier Zone**



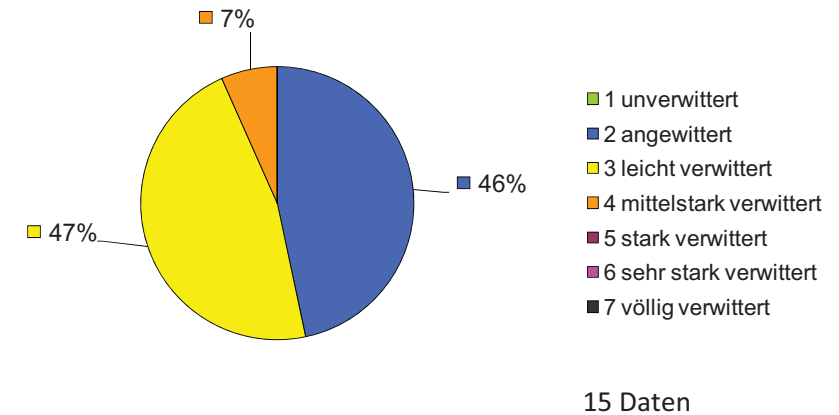
**Kluftkörpergrößen [cm]: Matreier Zone**



**Verwitterung: Matreier Zone**



**Verwitterung: Matreier Zone**



Geotechnische Parameter Schieferungsflächen Matreier Zone

Nr.	Aufschluss-nr.	Gesteins-zone	Gestein	Fallrichtung	Fallwert	Rauigkeit der Trennflächen						Wasserführung			Anmerkungen	
						JRC (Profile) Wert	JRC (Profile) Klasse	Messung Amplitude/Welle	JRC (Nomogr.)	mikro	makro	Abstand Klasse	Öffnung Klasse	Füllung Klasse		gefüllte sf Klasse
1	FTS-01	MZ	GPHY	165	67	2-4	2	100/2	9	g	w	1	4	S2	3	
2	FTS-01	MZ	PHY	171	57	6-8	4	50/1,2	10	g	w	1	4	S2	3	
3	FTS-02	MZ	CPHY	165	66	8-10	5	100/2	9	r	w	1	2			3
4	FTS-02	MZ	CPHY	170	73	4-6	3	70/1,4	8	g	w	1	2			3
5	FTS-02	MZ	CPHY	174	66	10-12	6	100/2,5	11	r	w	1	2			3
6	FTS-03	MZ	PHY	170	67	6-8	4	50/1	9	r	w	1	3	S2	2	
7	FTS-03	MZ	PHY			4-6	3	50/1	9	g	w	1	3	S2	2	
8	FTS-04	MZ	GPHY	163	75	2-4	2	100/2	9	g	w	1	4	S2	2	
9	FTS-05	MZ	CHLS	166	66	12-14	7	100/3	14	r	w	2	2			3
10	FTS-05	MZ	CHLS	161	73	10-12	6	100/2,5	11	r	w	2	2			3
11	FTS-06	MZ	SEP	173	67	14-16	8	100/3	14	g	s	1	3	S2	3	
12	HB-01	MZ	GPHY	181	71	2-4	2	60/1,5	10	g	w	1	2			3
13	HB-02	MZ	PHY	178	72	6-8	4	44/0,7	7	r	e	1	2			3
14	HB-02	MZ	PHY			6-8	4	50/0,5	4	r	e	1	2			3
15	HB-03	MZ	PHY	149	67	4-6	3	54/1	8	g	w	1	2			3
16	HB-05	MZ	PHY	177	67	4-6	3	40/0,4	5	g	w	1	2			3
17	HB-06	MZ	CPHY	167	75	8-10	4	50/1	9	r	w	1	2			3
18	HBWG-02	MZ	PHY	179	58	4-6	3	50/1,5	12	g	w	1	2			3
19	HBWG-02	MZ	PHY	172	67	4-6	3	100/2	9	g	w	1	2			3
20	RA-01	MZ	GPHY	173	60	4-6	3	50/1,2	10	g	w	1	2			3

JRC (Profile)	Anzahl
1-2	0
2-4	3
4-6	7
6-8	5
8-10	1
10-12	2
12-14	1
14-16	1
16-18	0
18-20	0
	20

JRC (Nomogr.)	Anzahl
1	0
2	0
3	0
4	1
5	1
6	0
7	1
8	2
9	7
10	3
11	2
12	1
13	0
14	2
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
	20

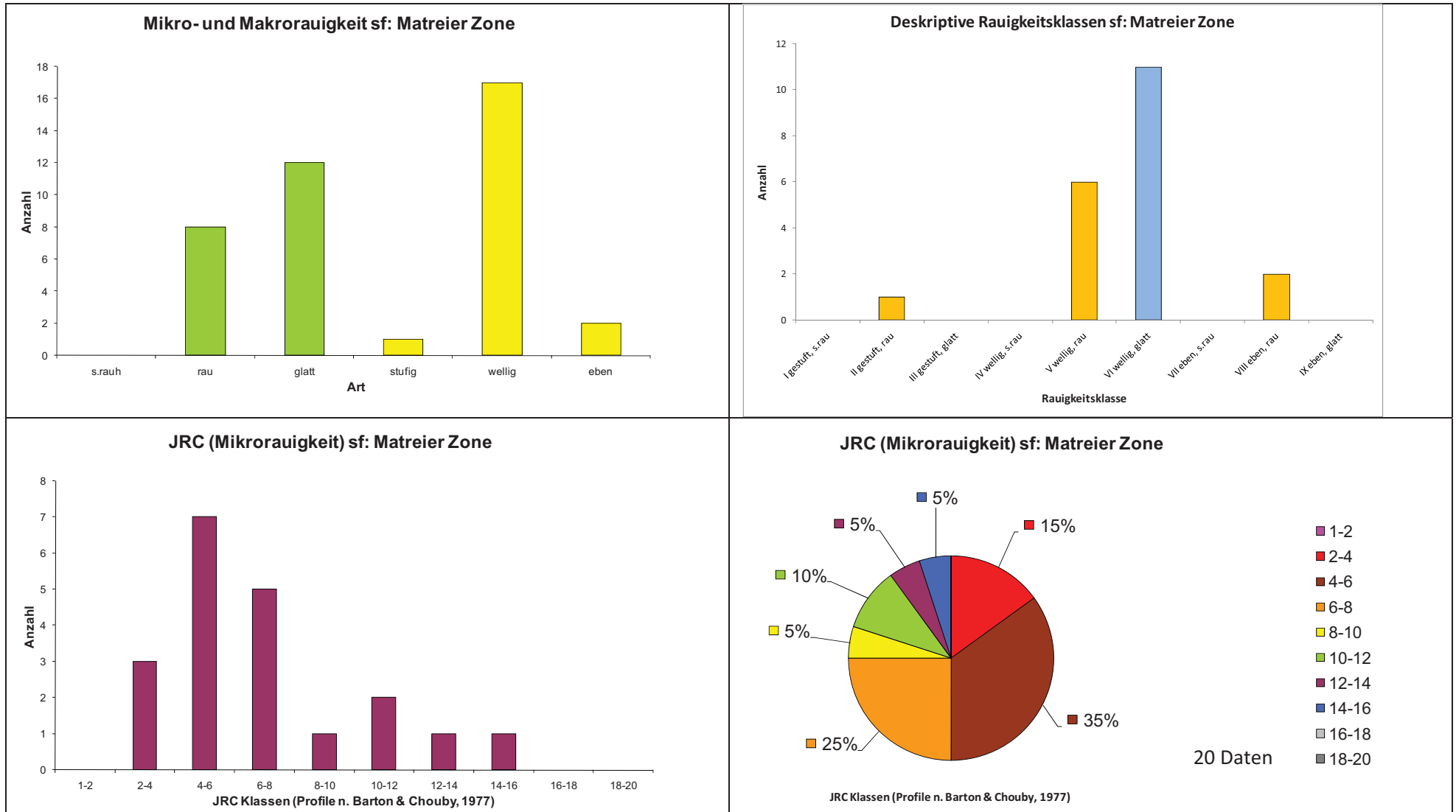
Rauigkeit (diskriptiv)	Anzahl
s.rauh	0
rau	8
glatt	12
stufig	1
wellig	17
eben	2

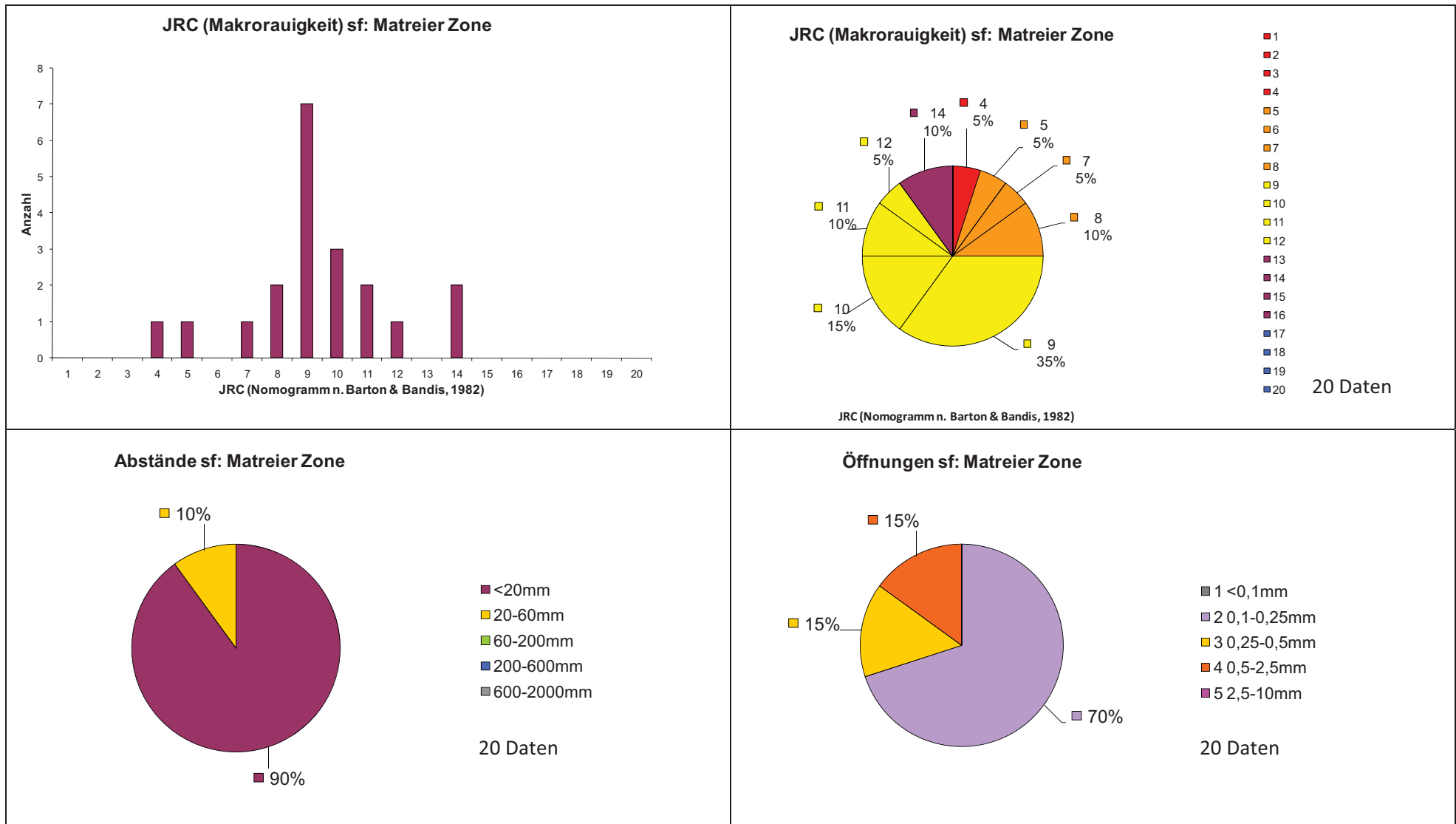
Rauigkeit (deskriptiv)	Klasse	Anzahl
I gestuft, s.rau	I	0
II gestuft, rau	II	1
III gestuft, glatt	III	0
IV wellig, s.rau	IV	0
V wellig, rau	V	6
VI wellig, glatt	VI	11
VII eben, s.rau	VII	0
VIII eben, rau	VIII	2
IX eben, glatt	IX	0
		20

Klasse	Abstand	Anzahl
1	<20mm	18
2	20-60mm	2
3	60-200mm	0
4	200-600mm	0
5	600-2000mm	0
		20

Klasse	Öffnung	Anzahl
1	<0,1mm	0
2	0,1-0,25mm	14
3	0,25-0,5mm	3
4	0,5-2,5mm	3
5	2,5-10mm	0
		20







### Gesteins- und Gebirgskennwerte: Glockner Decke Zone 2

Nr.	Aufschluss	Gestein	UCS [Mpa]	UCS-Kl.	GSI	GSI-Kl.	ZG [cm]	ZG-Kl.	KK-Form	KK-Kl.	VG	VG-Kl.
1	FTS-07	KGLS	50-100	R4	35-40	C	< 6-60	4	polyedrisch	2	angewittert	2
2	FTS-08a	KGLS	25-50	R3	30-35	D	< 6-20	4	plattig	3	angewittert	2
3	FTS-08b	KPHY	5-25	R2			< 6	5	plattig	3	angewittert	2
4	FTS-09	KPHY	5-25	R2	18-23	G	< 6-20	4	plattig	3	angewittert	2
5	FTS-10a	GPHY	1-5	R1			< 6	5	plattig	3	leicht verwittert	3
6	FTS-10b	KPHY	5-25	R2	18-23	F	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
7	FT-01	KPHY	5-25	R2	20-25	F	< 20-60	4	plattig	3	leicht verwittert	3
8	FT-02	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 20-60	4	plattig	3	leicht verwittert	3
9	FT-03	KPHY	1-5	R1	20-25	F	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
10	FT-04a	KGLS	100-250	R5	43-48	B	6-60	3	plattig	3	leicht verwittert	3
11	FT-04b	KPHY	5-25	R2	20-25	G	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
12	SA-01	KPHY	25-50	R3	30-35	D	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
13	BL-01a	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	angewittert	2
14	BL-01b	GPHY	1-5	R1			< 6	5	plattig	3	leicht verwittert	3
15	BL-02	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
16	BL-03	KPHY-KGLS	25-50	R3	30-35	D	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
17	BL-04	KPHY-KGLS	25-50	R3	35-40	C	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
18	BL-07	KPHY-KGLS	25-50	R3	30-35	D	6-60	4	plattig	3	leicht verwittert	3
19	BL-08	KPHY	5-25	R2	30-35	D	6-60	4	plattig	3	leicht verwittert	3
20	BL-09	KPHY	5-25	R2	20-25	G	< 6-20	4	plattig	3	angewittert	2
21	BL-10	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
22	BL-11	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
23	BL-12	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
24	BL-13	KPHY	5-25	R2	20-25	G	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
25	HBWG-13a	KPHY	5-25	R2			< 6-20	4	plattig	3	leicht verwittert	3
26	HBWG-13b	quarzit.KGLS	100-250	R5	35-40	C	6-60	3	polyedrisch	2	leicht verwittert	3
27	HBWG-22a	KPHY-KGLS	25-50	R3	30-35	D	< 6-60	4	plattig	3	angewittert	2
28	HBWG-22b	GPHY	1-5	R1			< 6	5	plattig	3	angewittert	2

UCS [MPa]	Anzahl	GSI	Anzahl	ZG [cm]	Anzahl	VG	Anzahl
R0 (0,25-1)	0	A	0	KG1 >200	0	1 unverwittert	0
R1 (1-5)	4	B	1	KG2 60-200	0	2 angewittert	10
R2 (5-25)	15	C	3	KG3 20-60	2	3 leicht verwittert	18
R3 (25-50)	6	D	6	KG4 6-20	22	4 mittelstark verwittert	0
R4 (50-100)	1	E	6	KG5 <6	4	5 stark verwittert	0
R5 (100-250)	2	F	3		28	6 sehr stark verwittert	0
R6 (> 250)	0	G	4			7 völlig verwittert	0
	28	H	0				28
			23				

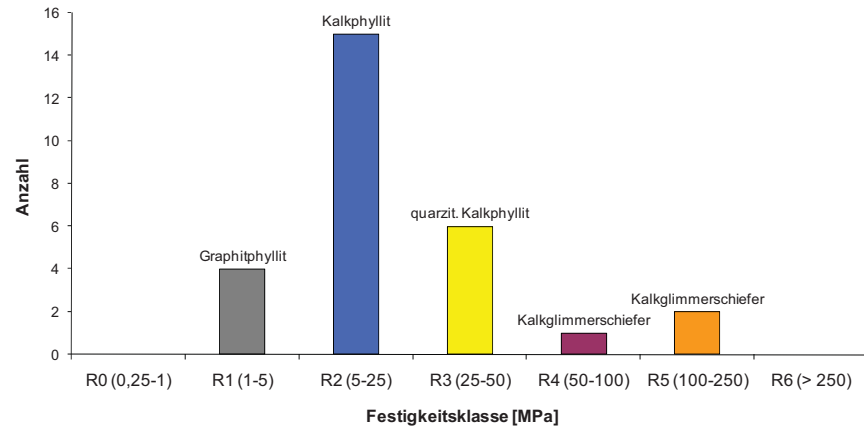
**Abkürzungen:**

UCS Uniaxial Compressive Strength, Einachsiale Druckfestigkeit  
 GSI Geological Strength Index  
 ZG Kluftkörpergrößen, Zerlegungsgrad

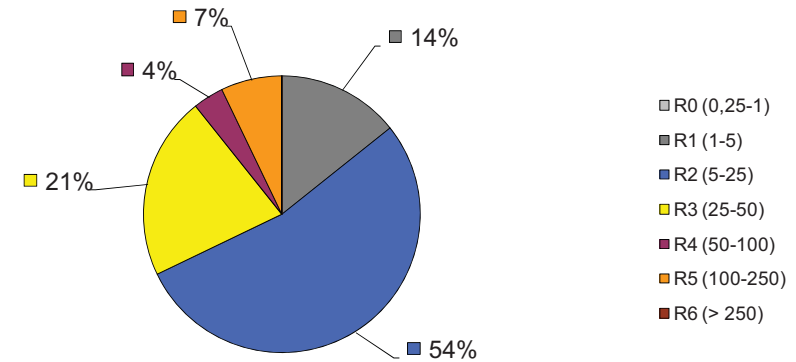
KK Kluftkörper  
 VG Verwitterungsgrad  
 KI Klasse

KPHY Kalkphyllit  
 KGLS Kalkglimmerschiefer  
 GPHY Graphitphyllit

**UCS: Glockner Decke Zone 2**



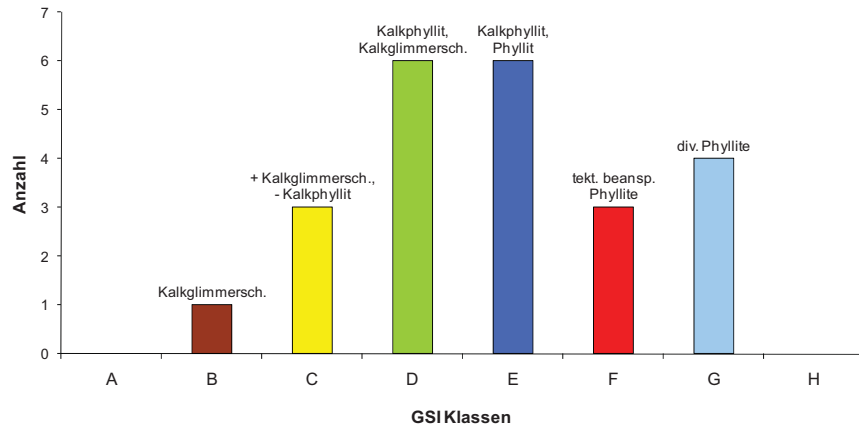
**UCS [MPa]: Glockner Decke Zone 2**



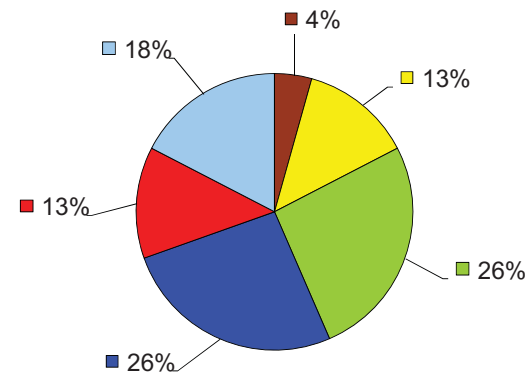
- R0 (0,25-1)
- R1 (1-5)
- R2 (5-25)
- R3 (25-50)
- R4 (50-100)
- R5 (100-250)
- R6 (> 250)

28 Daten

**GSI: Glockner Decke Zone 2**



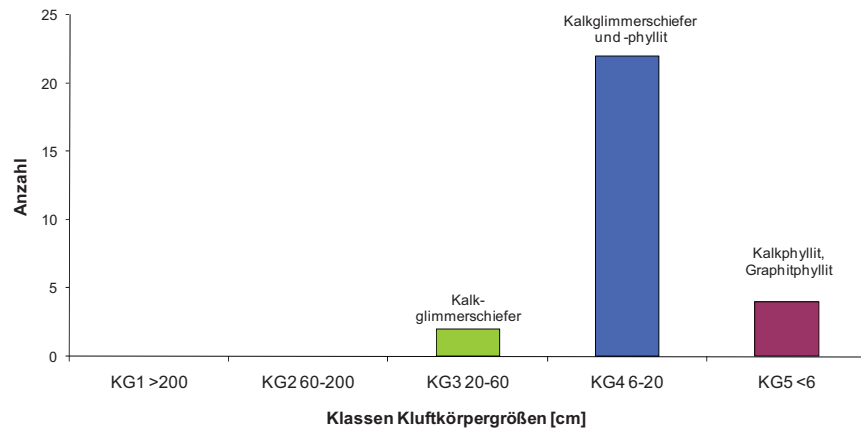
**GSI: Glockner Decke Zone 2**



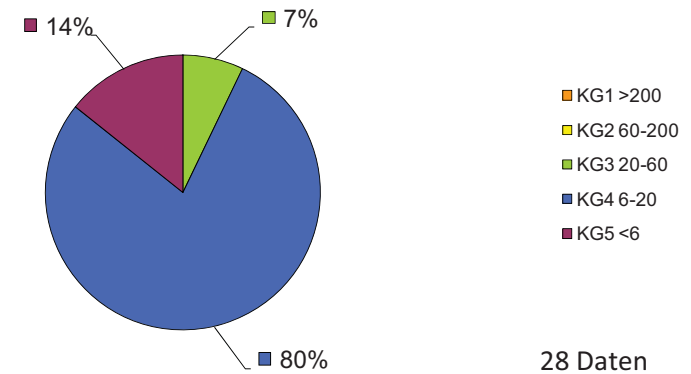
- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H

23 Daten

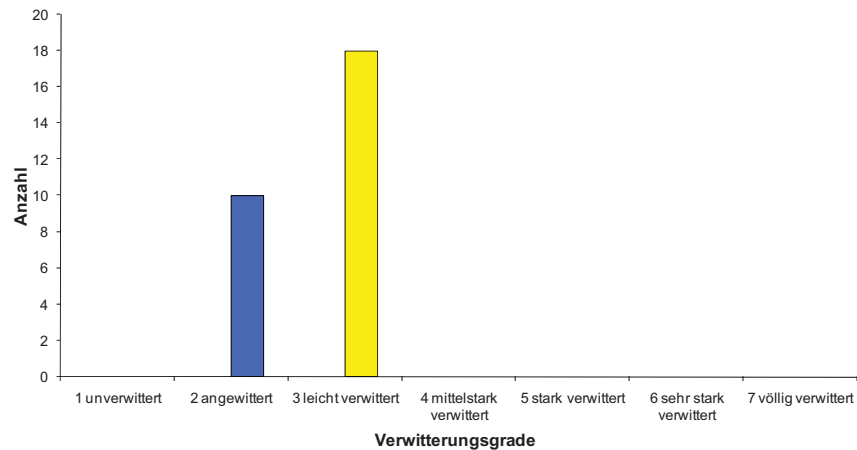
**Kluftkörpergrößen: Glockner Decke Zone 2**



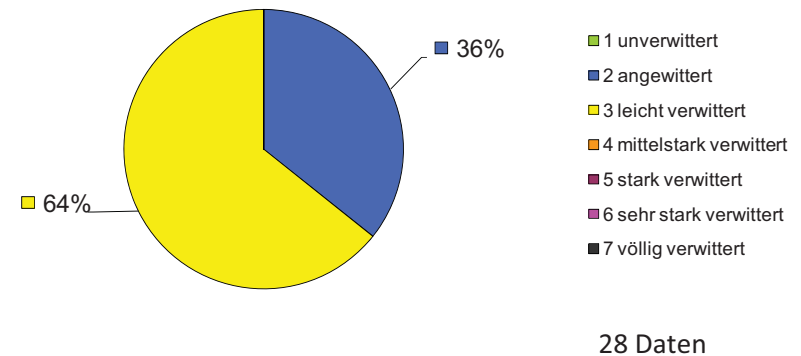
**Kluftkörpergrößen [cm]: Glockner Decke Zone 2**



**Verwitterung: Glockner Decke Zone 2**



**Verwitterung:Glockner Decke Zone 2**





Geotechnische Parameter Schieferungsflächen Glockner Decke Zone 2

Nr.	Aufschluss-nr.	Gesteins-zone	Gestein	Orientierung		Rauigkeit der Trennflächen			JRC (Nomogr.)	mikro	makro	Abstand Klasse	Öffnung Klasse	Füllung Klasse	Wasserführung		Anmerkungen
				Fallrichtung	Fallwert	JRC (Profile) Wert	JRC (Profile) Klasse	Messung Amp/Wellen							gefüllte sf Klasse	n. gefüllte sf, Klasse	
1	FTS-07	GDZ2	KPHY-KGLS	168	58	8-10	5	100/1	5	r	e	2	2			3	
2	FTS-07	GDZ2	KPHY-KGLS			6-8	4	32/0,8	10	r	e	2	2			3	
3	FTS-08	GDZ2	KPHY-KGLS	175	58	6-8	4	200/2,2	5	r	e	2	2			3	
4	FTS-08	GDZ2	KPHY-KGLS	171	73	6-8	4	100/1,2	5	r	e	2	2			3	
5	FTS-09	GDZ2	KPHY	170	57	4-6	3	45/1	10	g	w	1	3	S2	2		
6	FTS-09	GDZ2	KPHY	163	50	4-6	3	80/2	11	g	w	1	2			3	
7	FTS-10	GDZ2	KPHY	186	63	4-6	3	80/2	11	g	w	1	4	S2	3		
8	FTS-10	GDZ2	GPHY			2-4	2	33/1,3	16	g	w	1	4	S2	3		
9	FT-01	GDZ2	KPHY	167	72	2-4	2	80/1,5	8	g	w	1	3	S2	2		
10	FT-01	GDZ2	KPHY	168	67	8-10	5	100/2	9	r	w	1	3	S2	3		
11	FT-01	GDZ2	KPHY	156	77	8-10	5	50/1,5	12	r	w	1	3	S2	2		
12	FT-02	GDZ2	KPHY	189	69	6-8	4	50/1	9	r	w	1	3	S2	2		
13	FT-03	GDZ2	KPHY	186	78	6-8	4	70/1,4	8	r	w	1	4	S2	3		
14	FT-04	GDZ2	KPHY-KGLS	176	68	6-8	4	100/1	4	r	w	3	3			3	
15	FT-04	GDZ2	KPHY	177	62	4-6	3	100/2,5	11	g	w	1	4	S2	3		
16	SA-01	GDZ2	KPHY	167	60	8-10	5	100/2,5	11	r	w	2	2			3	
17	SA-01	GDZ2	KPHY	168	56	6-8	4	80/2,2	12	r	w	1	2			3	
18	BL-01	GDZ2	KPHY	170	58	8-10	5	70/2	12	r	w	1	2			3	
19	BL-01	GDZ2	GPHY			2-4	2	200/3	7	g	w	1	2			3	
20	BL-02	GDZ2	KPHY	177	63	6-8	4	100/2,5	11	r	w	1	2			3	
21	BL-03	GDZ2	KPHY-KGLS	172	67	8-10	5	200/2,2	5	r	e	2	2			3	
22	BL-04	GDZ2	KPHY-KGLS	172	58	8-10	5	50/1,5	12	r	w	2	2			3	
23	BL-05	GDZ2	KPHY-KGLS	175	57	8-10	5	150/2,5	8	r	w	2	2			3	
24	BL-07	GDZ2	KPHY-KGLS	172	58	8-10	5	50/1,5	12	r	w	1	2			3	
25	BL-08	GDZ2	KPHY	170	62	8-10	5	500/10	10	r	w	1	2			3	
26	BL-09	GDZ2	KPHY	175	56	4-6	3	75/2	12	g	w	1	1			3	
27	BL-09a	GDZ2	KPHY	175	58	8-10	5	40/1	10	r	w	1	2			3	
28	BL-09b	GDZ2	KPHY	172	61	6-8	4	120/2	8	r	w	1	2			3	
29	BL-09b	GDZ2	KPHY	168	66	8-10	5	40/1	10	r	w	1	2			3	
30	BL-10	GDZ2	KPHY	192	55	8-10	4	65/1	7	r	w	1	2			3	
31	BL-11	GDZ2	KPHY	186	52	6-8	4	45/0,5	5	r	e	1	2			3	
32	HBWG-13	GDZ2	KPHY	156	83	4-6	3	65/1,8	12	g	w	1	2			3	
33	HBWG-13	GDZ2	KGLS	160	79	6-8	4	40/1	10	r	e	3	2			3	
34	HBWG-22	GDZ2	GPHY	185	52	2-4	2	73/2	12	g	w	1	2			3	
35	HBG-01	GDZ2	KPHY	180	50	6-8	4	70/2	12	r	w	1	2			3	

JRC (Profile)	Anzahl
1-2	0
2-4	4
4-6	6
6-8	13
8-10	12
10-12	0
12-14	0
14-16	0
16-18	0
18-20	0
	35

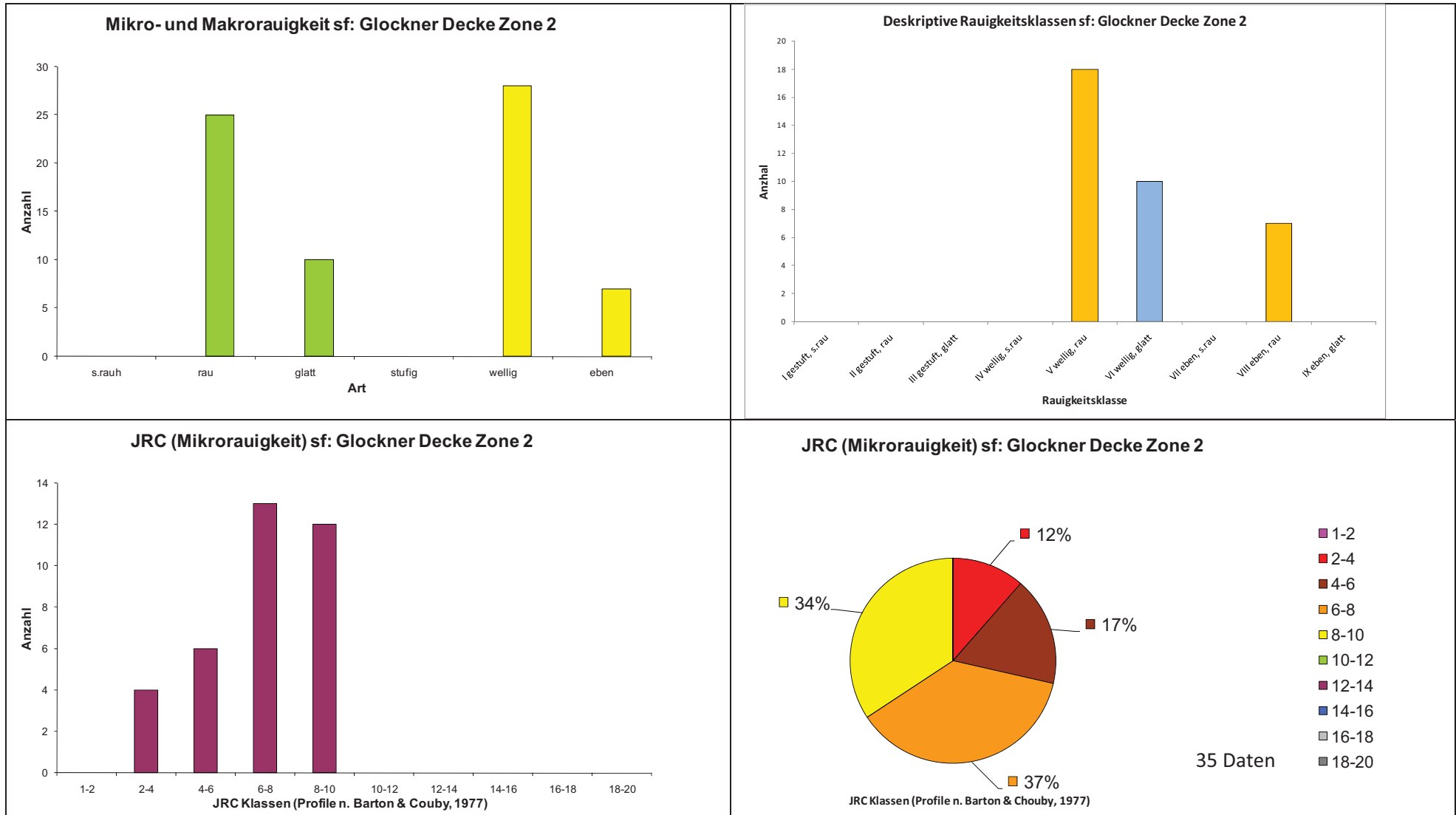
JRC (Nomog)	Anzahl
1	0
2	0
3	0
4	1
5	5
6	0
7	2
8	4
9	2
10	6
11	5
12	9
13	0
14	0
15	0
16	1
17	0
18	0
19	0
20	0
	35

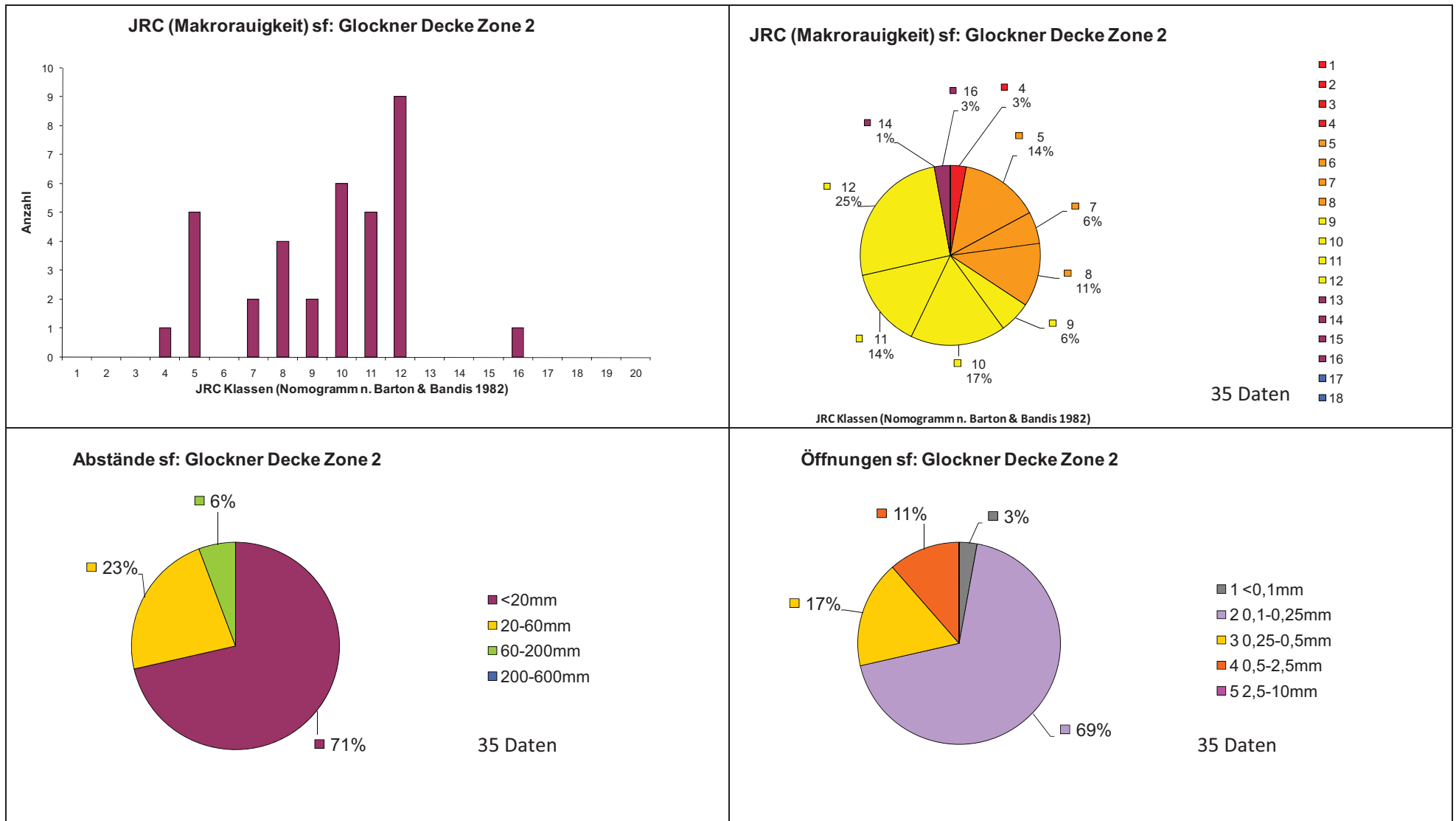
Rauigkeit (diskreptiv)	Anzahl	
s.rauh	0	mikro
rau	25	mikro
glatt	10	mikro
stufig	0	makro
wellig	28	makro
eben	7	makro

Rauigkeit (deskriptiv)	Klasse	Anzahl
I gestuft, s.rau	I	0
II gestuft, rau	II	0
III gestuft, glatt	III	0
IV wellig, s.rau	IV	0
V wellig, rau	V	18
VI wellig, glatt	VI	10
VII eben, s.rau	VII	0
VIII eben, rau	VIII	7
IX eben, glatt	IX	0
		35

Klasse	Abstand	Anzahl
1	<20mm	25
2	20-60mm	8
3	60-200mm	2
4	200-600mm	0
5	600-2000mm	0
		35

Klasse	Öffnung	Anzahl
1	<0,1mm	1
2	0,1-0,25mm	24
3	0,25-0,5mm	6
4	0,5-2,5mm	4
5	2,5-10mm	0
		35





### Auswertung von Gesteins- und Gebirgskennwerten: Glockner Decke Zone 1

Nr.	Aufschluss	Gestein	UCS [Mpa]	UCS-Kl.	GSI	GSI-Kl.	ZG [cm]	ZG-Kl.	KK-Form	KK-Kl.	VG	VG-Kl.
1	FTS-11	KGLS	50-100	R4	40-45	B	6-60	3	plattig	3	angewittert	2
2	FTS-12	KGLS	100-250	R5	45-50	B	6-60	3	polyedrisch	2	angewittert	2
3	SA-01	KPHY	50-100	R4	30-35	D	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
4	SA-02	KGLS	100-250	R5	40-45	B	6-60	3	polyedrisch	2	angewittert	2
5	BL-04	KPHY-KGLS	50-100	R4	35-40	C	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
6	BL-05	KGLS	50-100	R4	35-40	C	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
7	BL-06	KGLS	100-250	R5	40-45	B	6-60	3	polyedrisch	2	leicht verwitt.	3
8	BL-07	KPHY-KGLS	50-100	R4	30-35	D	6-60	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
9	HBWG-26a	KPHY-KGLS	50-100	R4	30-35	D	< 6-60	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
10	HBWG-26b	KGLS	100-250	R5	42-47	B	6-60	3	plattig	3	leicht verwitt.	3

UCS	Anzahl
R0 (0,25-1)	0
R1 (1-5)	0
R2 (5-25)	0
R3 (25-50)	0
R4 (50-100)	6
R5 (100-250)	4
R6 (> 250)	0
	10

GSI	Anzahl
A	0
B	5
C	2
D	3
E	0
F	0
G	0
H	0
	10

ZG [cm]	Anzahl
KG1 >200	0
KG2 60-200	0
KG3 20-60	5
KG4 6-20	5
KG5 <6	0
	10

VG	Anzahl
1 unverwittert	0
2 angewittert	4
3 leicht verwittert	6
4 mittelstark verwittert	0
5 stark verwittert	0
6 sehr stark verwittert	0
7 völlig verwittert	0
	10

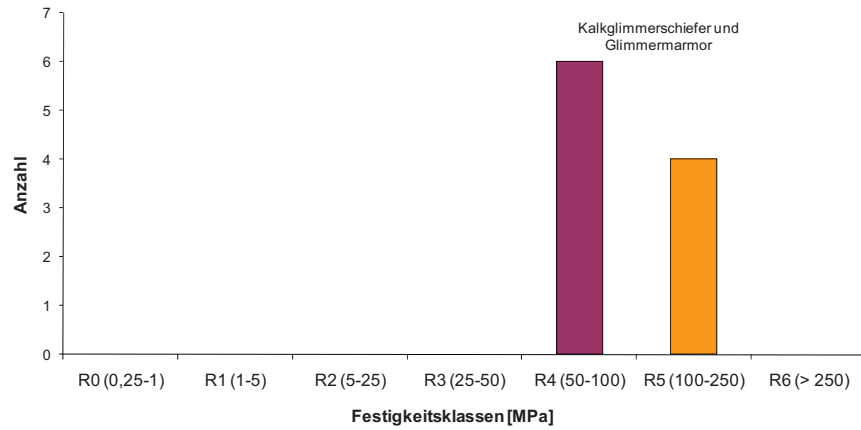
Abkürzungen:

UCS      Uniaxial Compressive Strength, Einachsiale Druckfestigkeit  
 GSI      Geological Strength Index  
 ZG      Klufftkörpergrößen, Zerlegungsgrad

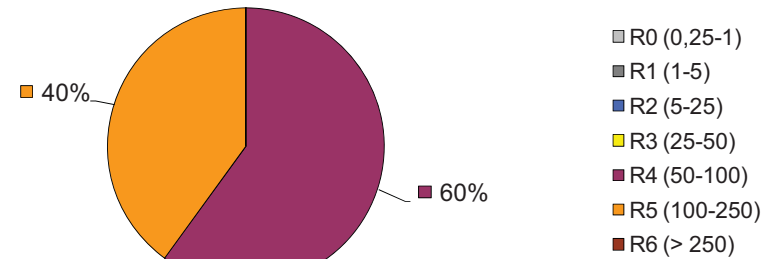
KK      Klufftkörper  
 VG      Verwitterungsgrad  
 KI      Klasse

KPHY      Kalkphyllit  
 KGLS      Kalkglimmerschiefer

**UCS: Glockner Decke Zone 1**



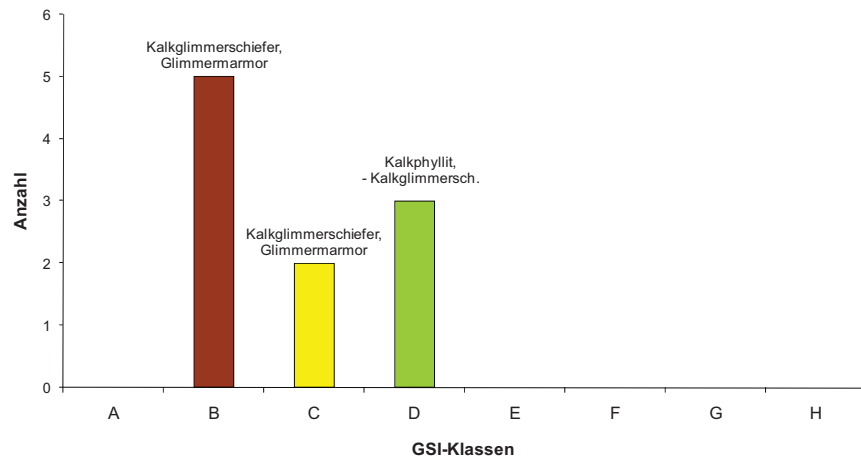
**UCS [MPa]: Glockner Decke Zone 1**



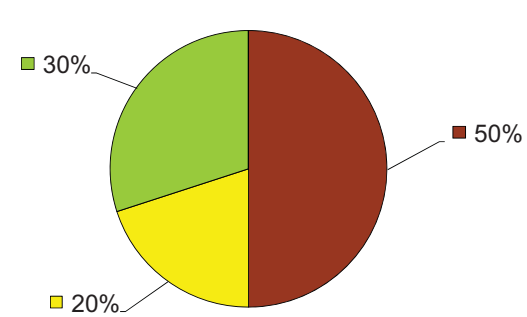
- R0 (0,25-1)
- R1 (1-5)
- R2 (5-25)
- R3 (25-50)
- R4 (50-100)
- R5 (100-250)
- R6 (> 250)

10 Daten

**GSI: Glockner Decke Zone 1**



**GSI: Glockner Decke Zone 1**

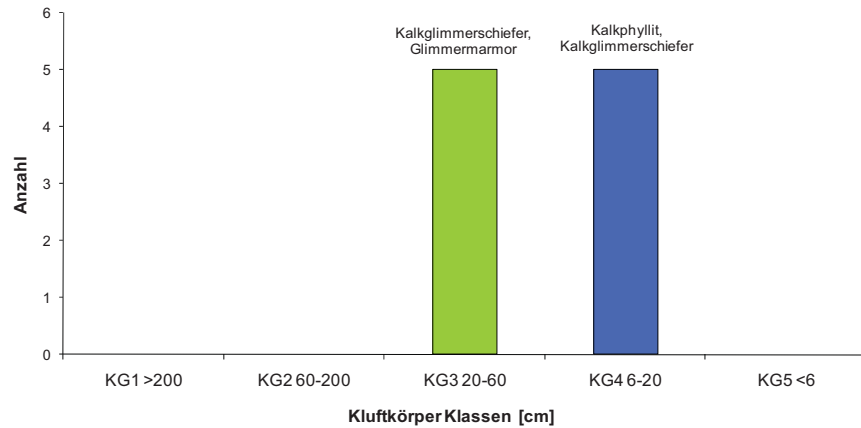


- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H

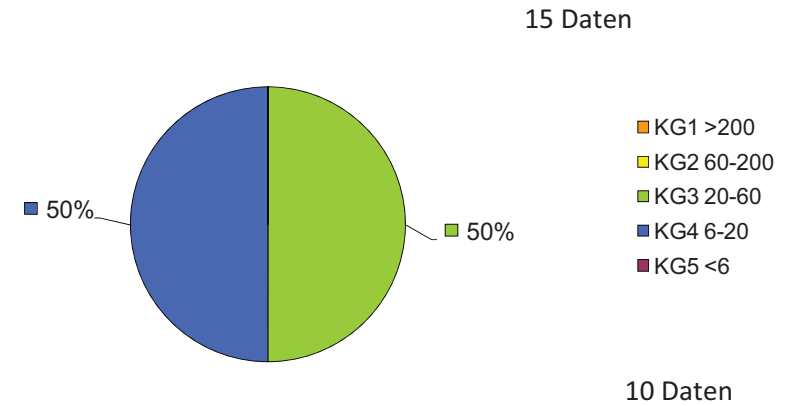
10 Daten



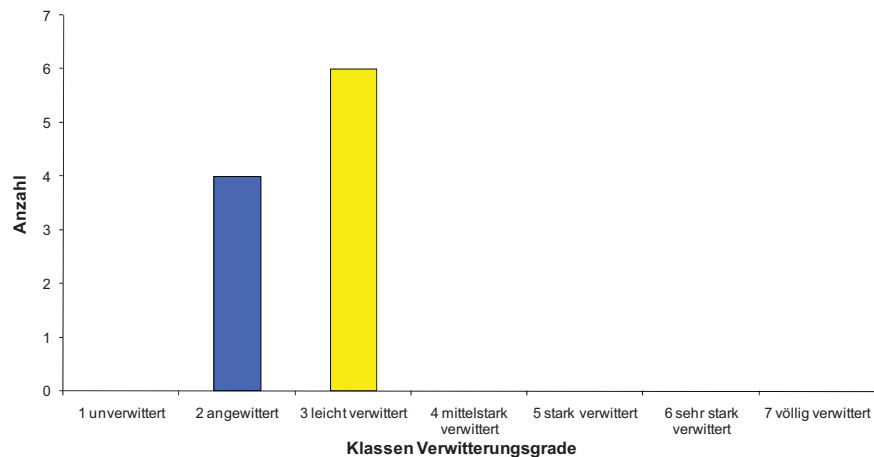
**Kluftkörpergrößen: Glockner Decke Zone 1**



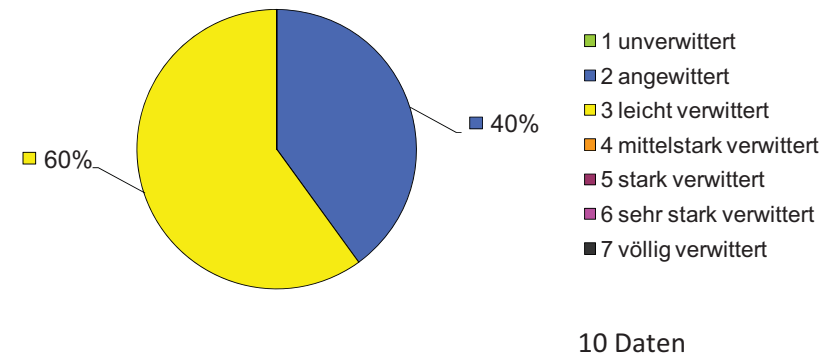
**Kluftkörpergrößen [cm]: Glockner Decke Zone 1**



**Verwitterung: Glockner Decke Zone 1**



**Verwitterung: Glockner Decke Zone 1**



### Geotechnische Parameter Schieferungsflächen Glockner Decke Zone 1

Nr.	Aufschluss-nr.	Gesteins-zone	Gestein	Fallrichtung	Fallwert	Rauigkeit der Trennflächen						Wasserführung			Anmerkungen			
						JRC (Profile) Wert	JRC (Profile) Klasse	Messung Ampl/Welle	JRC (Nomogr.)	mikro	makro	Abstand Klasse	Öffnung Klasse	Füllung Klasse		gefüllte sf Klasse	n. gefüllte sf Klasse	
1	FTS-11	GDZ1	KGLS		168	63	8-10	5	52/0,8	7	sr	e	3	2			3	Streckungsl. quer zum Einf.
2	FTS-11	GDZ1	KGLS		157	65	6-8	4	100/1,2	5	r	e	2	2			3	
3	FTS-12	GDZ1	KGLS		177	67	6-8	4	86/2	12	r	e	2	2			3	
4	FTS-12	GDZ1	KGLS		183	67	10-12	6	100/2	9	sr	e	3	2			3	
5	FTS-12	GDZ1	KGLS		182	62	6-8	4	100/1,5	6	r	e	3	2			3	
6	SA-02	GDZ1	KGLS				8-10	5	150/2,5	8	r	w	3	2			3	
7	BL-06	GDZ1	KGLS		173	68	10-12	6	180/3	8	r	w	2	3			3	
8	HBWG-24	GDZ1	KGLS		162	47	6-8	4	150/3	10	r	w	3	3			3	
9	HBWG-24	GDZ1	KGLS				8-10	5	130/4,5	16	r	w	2	2			3	

JRC (Profile)	
1-2	0
2-4	0
4-6	0
6-8	4
8-10	3
10-12	2
12-14	0
14-16	0
16-18	0
18-20	0
	9

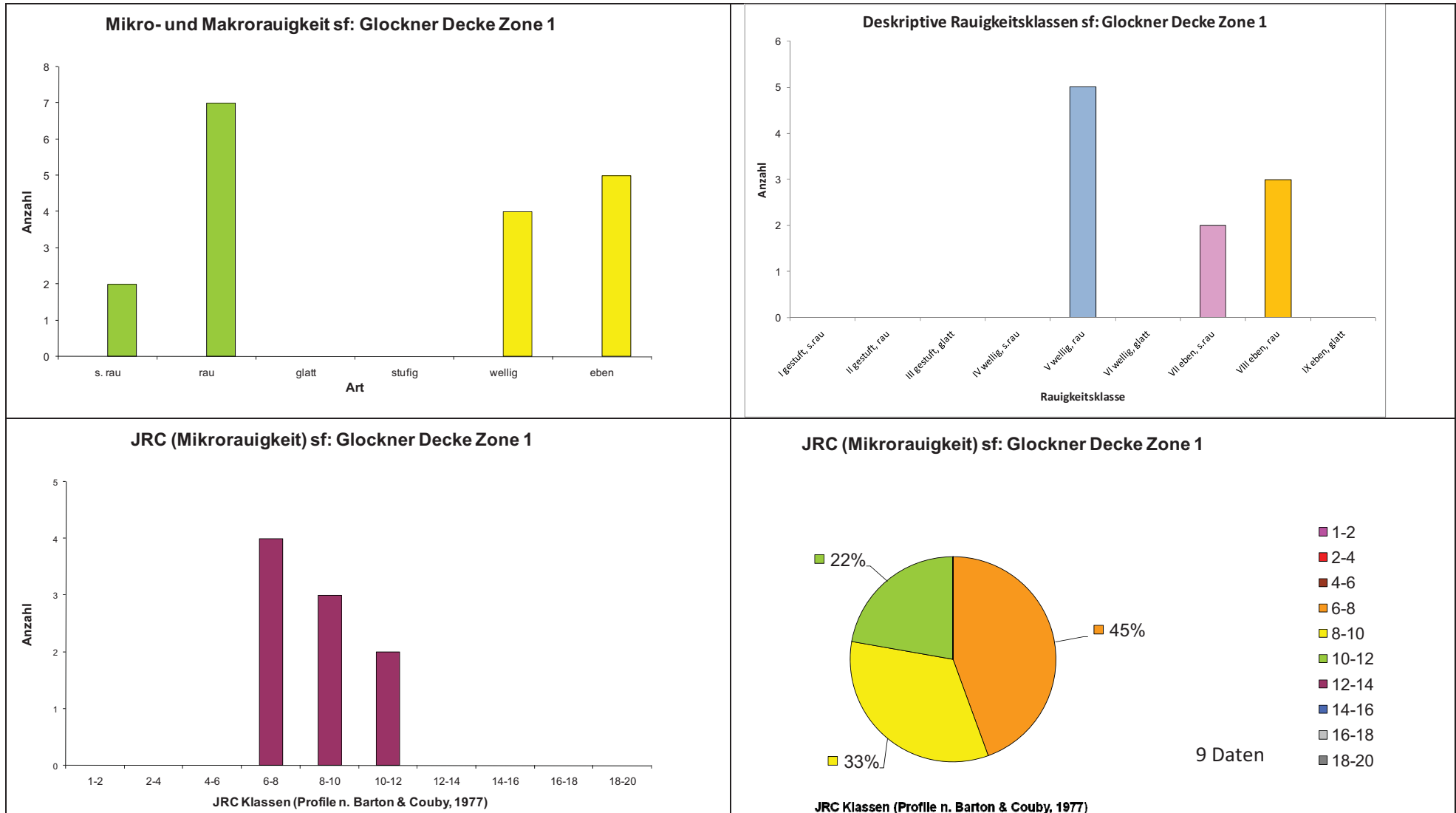
JRC (Nomogramm)	
1	0
2	0
3	0
4	0
5	1
6	1
7	1
8	2
9	1
10	1
11	0
12	1
13	0
14	0
15	0
16	1
17	0
18	0
19	0
20	0
	9

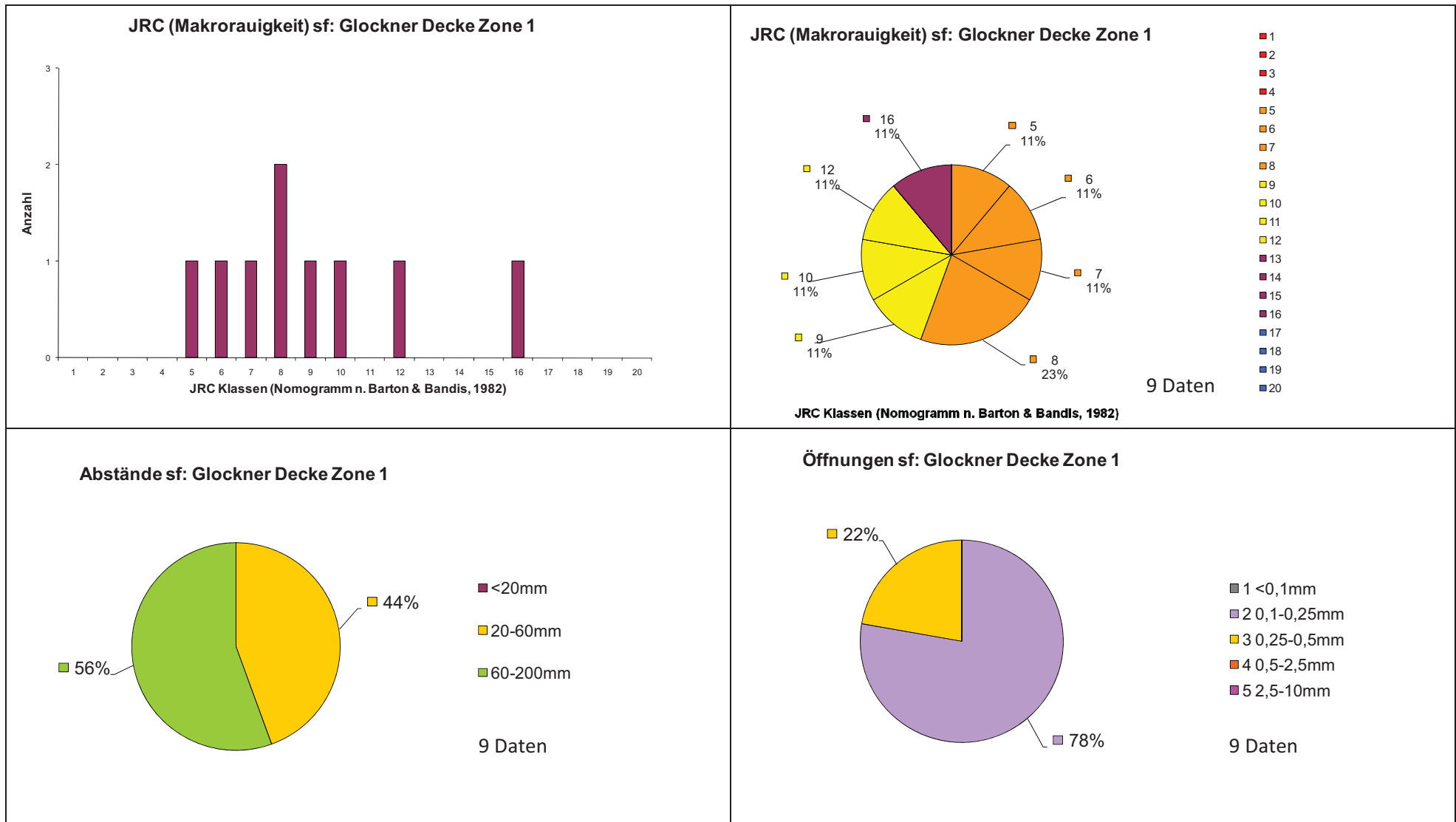
Rauigkeit (diskreptiv)	Anzahl
s. rau	2
rau	7
glatt	0
stufig	0
wellig	4
eben	5

Rauigkeit (deskriptiv)	Klasse	Anzahl
I gestuft, s.rau	I	0
II gestuft, rau	II	0
III gestuft, glatt	III	0
IV wellig, s.rau	IV	0
V wellig, rau	V	4
VI wellig, glatt	VI	0
VII eben, s.rau	VII	2
VIII eben, rau	VIII	3
IX eben, glatt	IX	0
		9

Klasse	Abstand	Anzahl
1	<20mm	0
2	20-60mm	4
3	60-200mm	5
4	200-600mm	0
5	600-2000mm	0
		9

Klasse	Öffnung	Anzahl
1	<0,1mm	0
2	0,1-0,25mm	7
3	0,25-0,5mm	2
4	0,5-2,5mm	0
5	2,5-10mm	0
		9





## Auswertung von Gesteins- und Gebirgskennwerten: Stirn Massenbewegung

Nr.	Aufschluss	Gestein	UCS [Mpa]	UCS-Kl.	GSI	GSI-Kl.	ZG [cm]	ZG-Kl.	KK-Form	KK-Kl.	VG	VG-Kl.
1	GB-01b	KGLS	50-100	R4	35-40	C	6-60	4	polyedrisch	2	leicht verwitt.	3
2	GB-01a	KGLS	25-50	R3			6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
3	VBWG-01	PHY	1-5	R1	18-23	F	<6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
4	VBWG-02	PHY	1-5	R1	18-23	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
5	VBWG-03	Gips	0,25-1	R0			6-60	3	polyedrisch	2	mittelst. verw.	4
6	VBWG-04	PHY	1-5	R1	18-23	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
7	VBWG-05a	PHY	1-5	R1	20-25	F	<6	5	plattig	3	mittelst. verw.	4
8	VBWG-05b	QZT	50-100	R4			6-20	4	polyedrisch	2	leicht verwitt.	3
9	VBWG-06	QZT	25-50	R3	34-40	C	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
10	VBWG-07	CPHY	5-25	R2	20-25	F	6-20	4	plattig	3	mittelst. verw.	4
11	VBWG-08	quarzit. PHY	25-50	R3	30-35	D	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
12	VBWG-09	quarzit. PHY	50-100	R4	30-35	D	<6-20	4	plattig	3	angewittert	2
13	VBWG-10	DOLM	100-250	R5	50-55	A	20-200	2	polyedrisch	2	angewittert	2
14	VBWG-11a	CPHY	1-5	R1	18-23	F	<6	5	plattig	3	mittelst. verw.	4
15	VBWG-11b	Gips	0,25-1	R0			6-200	2	polyedrisch		leicht verwitt.	3
16	GD-01a	PHY	1-5	R1	25-30	E	<6	5	plattig	3	angewittert	2
17	GD-01b	QZT	25-50	R2			6-20	4	plattig	3	angewittert	2
18	GD-02	QZT	100-250	R5	45-50	B	20-60	3	polyedrisch	2	angewittert	2
19	GD-03	PHY	1-5	R1	18-23	H	<6-20	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
20	GD-04a	PHY	5-25	R2	20-25	F	<6-20	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
21	GD-04b	QZT	25-50	R3			6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
22	GD-05	QZT	25-50	R3	30-35	D	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
23	GD-06	PHY	25-50	R3	20-25	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
24	HBWG-01a	QZT	50-100	R4	30-35	D	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
25	HBWG-01b	PHY	5-25	R2			<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
26	HBWG-01c	GPHY	1-5	R1			<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
27	HBWG-03a	GPHY	1-5	R1	10-15	H	<6	5	plattig	3	mittelst. verw.	4
28	HBWG-03b	DOLM	100-250	R5	50-55	A	20-200	3	polyedrisch		angewittert	2
29	HBWG-04	PHY	1-5	R1	10-15	H	6-20	4	plattig	3	mittelst. verw.	4
30	HBWG-05	PHY	5-25	R2	18-23	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
31	HBWG-06	PHY	5-25	R2	18-23	F	<6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
32	HBWG-07a	PHY	5-25	R2	15-20	F	<6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
33	HBWG-07b	GPHY	1-5	R1			<6	3	plattig	3	leicht verwitt.	3

## Auswertung von Gesteins- und Gebirgskennwerten: Stirn Massenbewegung

Nr.	Aufschluss	Gestein	UCS [Mpa]	UCS-Kl.	GSI	GSI-Kl.	ZG [cm]	ZG-Kl.	KK-Form	KK-Kl.	VG	VG-Kl.
34	HBWG-08a	PHY	1-5	R1	20-25	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
35	HBWG-08b	QZT	5-25	R2			6-20	4	polyedrisch	2	leicht verwitt.	3
36	HBWG-09b	quarzit. PHY	5-25	R2	18-23	F	<6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
37	HBWG-09a	KPHY	1-5	R1			<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
38	HBWG-11a	QZT	50-100	R4			6-20	4	polyedrisch	2	leicht verwitt.	3
39	HBWG-11b	KPHY	5-25	R3	20-25	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3

UCS	Anzahl
R0 (0,25-1)	2
R1 (1-5)	13
R2 (5-25)	9
R3 (25-50)	7
R4 (50-100)	5
R5 (100-250)	3
R6 (> 250)	0
	39

GSI	Anzahl
A	2
B	1
C	2
D	4
E	1
F	14
G	0
H	3
	27

ZG [cm]	Anzahl
KG1 >200	0
KG2 60-200	2
KG3 20-60	4
KG4 6-20	18
KG5 <6	15
	39

VG	Anzahl
1 unverwittert	0
2 angewittert	7
3 leicht verwittert	26
4 mittelstark verwittert	6
5 stark verwittert	0
6 sehr stark verwittert	0
7 völlig verwittert	0
	39

## Abkürzungen:

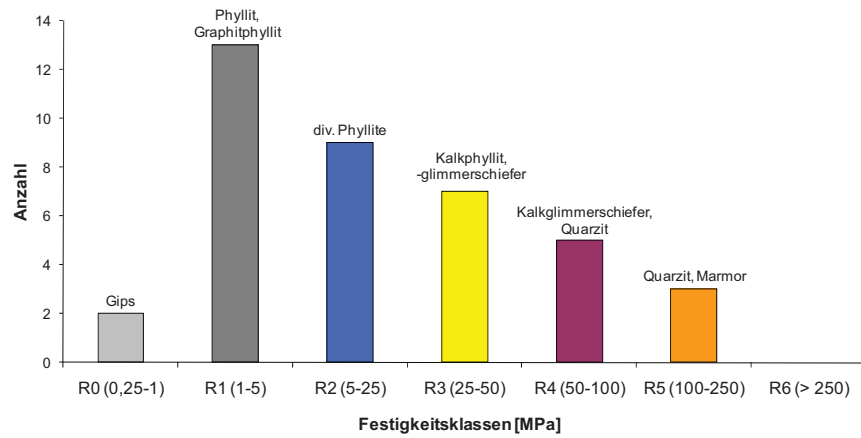
UCS Uniaxial Compressive Strength, Einachsiale Druckfestigkeit  
 GSI Geological Strength Index  
 ZG Kluftkörpergrößen, Zerlegungsgrad

KK Kluftkörper  
 VG Verwitterungsgrad  
 KI Klasse

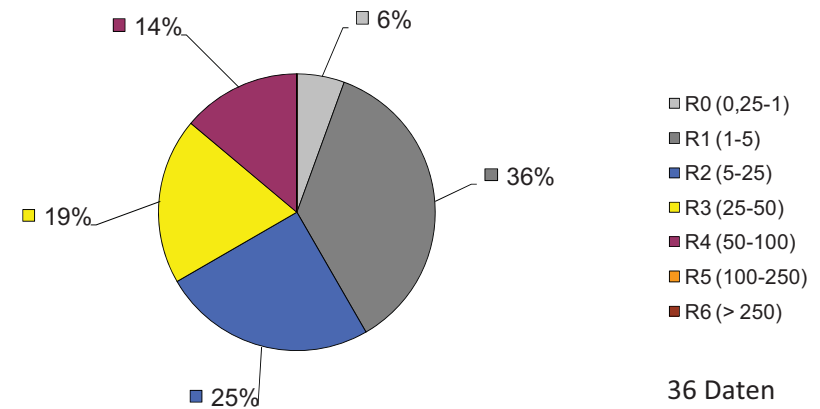
PHY Phyllit  
 CPHY Chloritphyllit  
 GPHY Graphitphyllit  
 KPHY Kalkphyllit  
 KGLS Kalkglimmerschiefer  
 QZT Quarzit  
 DOLM Dolomitmarmor



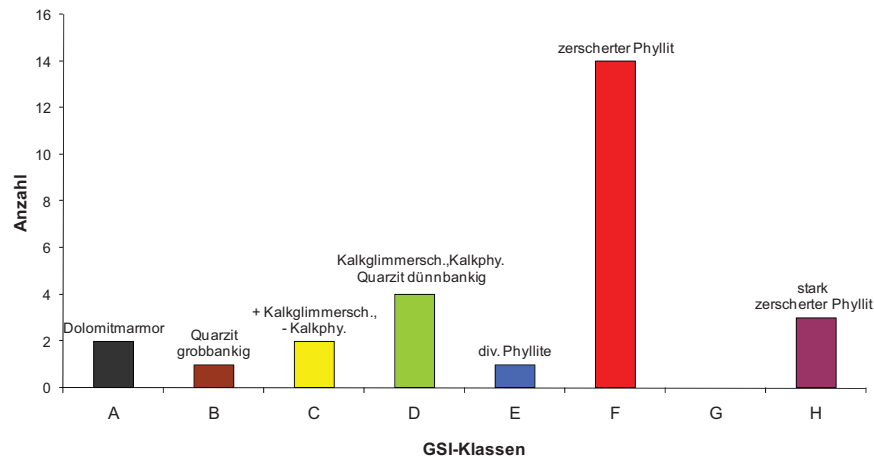
**UCS: Stirn Massenbewegung**



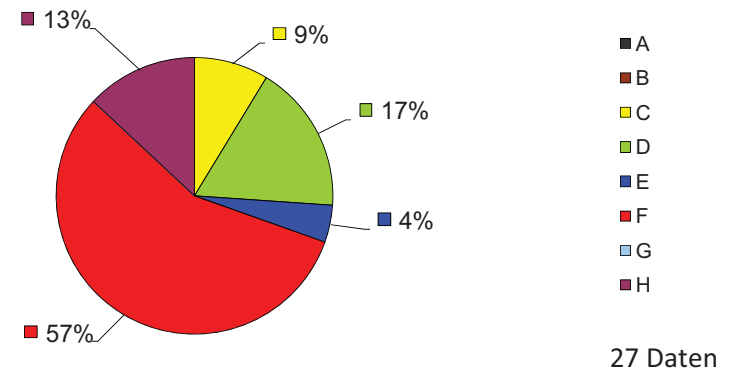
**UCS [MPa]: Stirn Massenbewegung**



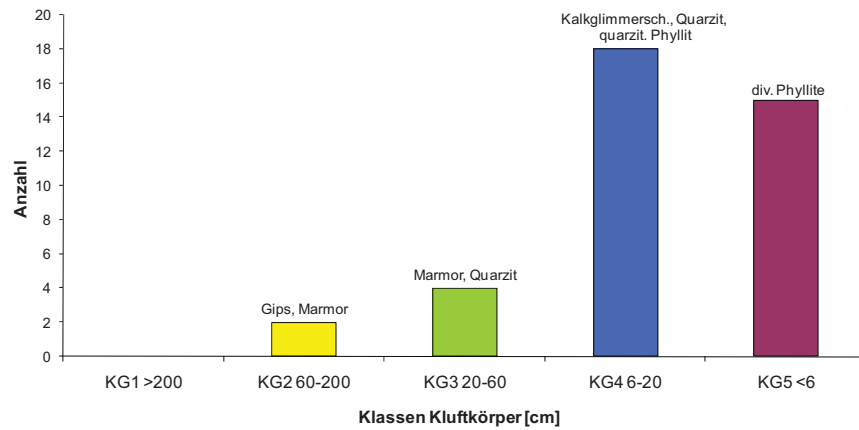
**GSI: Stirn Massenbewegung**



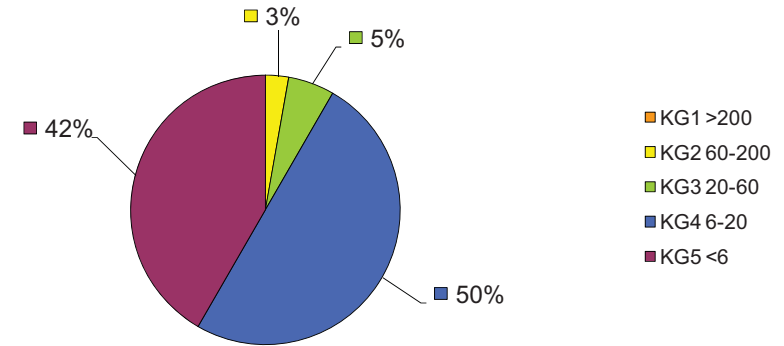
**GSI: Stirn Massenbewegung**



**Kluftkörpergrößen: Stirn Massenbewegung**

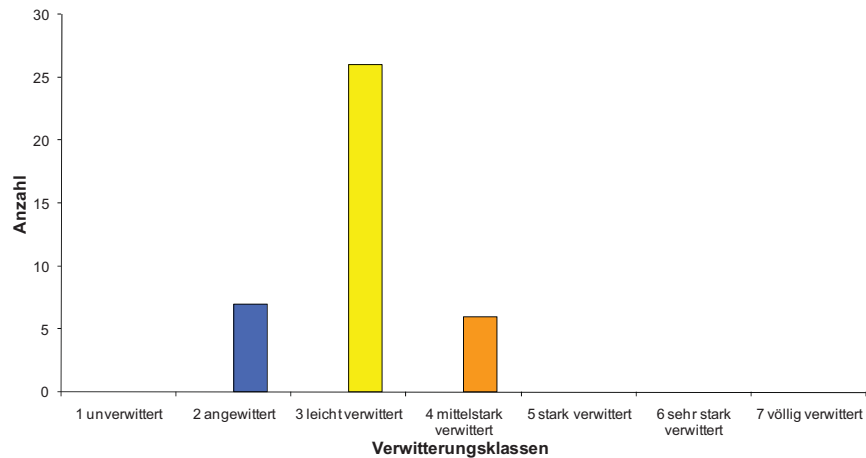


**Kluftkörpergrößen [cm]: Stirn Massenbewegung**

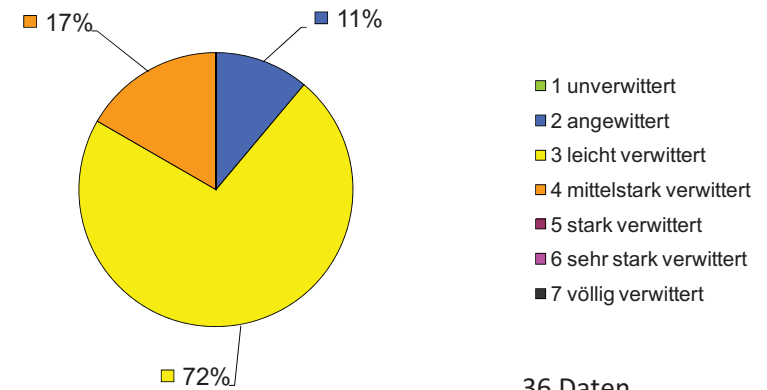


36 Daten

**Verwitterung: Stirn Massenbewegung**



**Verwitterung: Stirn Massenbewegung**



36 Daten

### Auswertung von Gesteins- und Gebirgskennwerten: Mittelteil Massenbewegung

Nr.	Aufschluss	Gestein	UCS [Mpa]	UCS-Kl.	GSI	GSI-Kl.	ZG [cm]	ZG-Kl.	KK-Form	KK-Kl.	VG	VG-Kl.
1	GB-02a	KGLS	50-100	R4	30-35	D	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
2	GB-02b	KPHY	25-50	R3			6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
3	GB-03a	KPHY-KGLS	5-25	R2	20-25	F	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
4	GB-03b	KPHY	1-5	R1			<6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
5	GB-04a	KGLS	50-100	R4	35-40	C	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
6	GB-4b	KPHY-KGLS	25-50	R3			6-20	4	plattig	3	angewittert	2
7	GB-05	KPHY	5-25	R2	20-25	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
8	GB-06a	KGLS	50-100	R4	30-35	D	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
9	GB-06b	KGLS	25-50	R3			6-20	4	plattig	3	angewittert	2
10	GB-07a	KPHY	1-5	R1	18-23	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
11	GB-07b	KGLS	25-50	R3			6-20	4	polyedrisch	2	leicht verwitt.	3
12	GB-08	KPHY	5-25	R2	18-23	F	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
13	GB-09a	KGLS	25-50	R3	20-25	F	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
14	GB-09b	KPHY	5-25	R2			<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
15	GB-10	KPHY	1-5	R1	20-25	F	<6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3

UCS	Anzahl
R0 (0,25-1)	0
R1 (1-5)	3
R2 (5-25)	4
R3 (25-50)	5
R4 (50-100)	3
R5 (100-250)	0
R6 (> 250)	0
	15

GSI	Anzahl
A	0
B	0
C	1
D	2
E	0
F	6
G	0
H	0
	9

ZG [cm]	Anzahl
KG1 >200	0
KG2 60-200	0
KG3 20-60	0
KG4 6-20	11
KG5 <6	4
	15

VG	Anzahl
1 unverwittert	0
2 angewittert	5
3 leicht verwittert	10
4 mittelstark verwittert	0
5 stark verwittert	0
6 sehr stark verwittert	0
7 völlig verwittert	0
	15

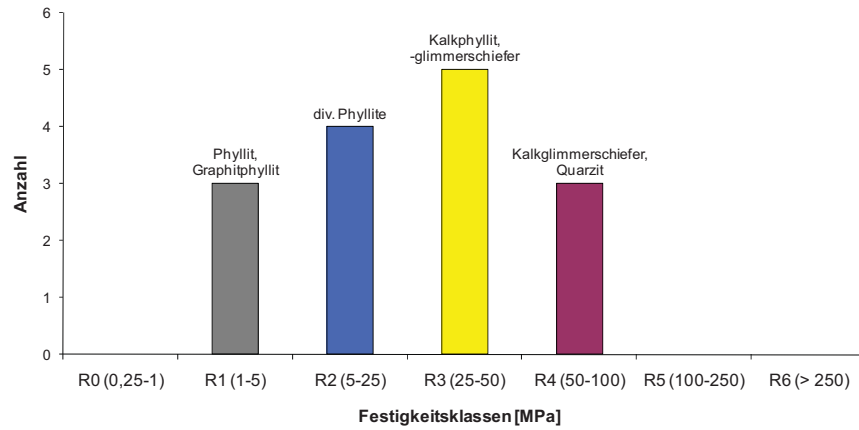
Abkürzungen:

UCS      Uniaxial Compressive Strength, Einachsiale Druckfestigkeit  
 GSI      Geological Strength Index  
 ZG      Kluftkörpergrößen, Zerlegungsgrad

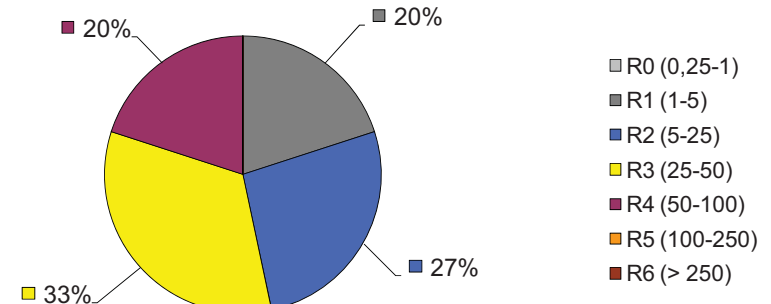
KK      Kluftkörper  
 VG      Verwitterungsgrad  
 KI      Klasse

KPHY      Kalkphyllit  
 KGLS      Kalkglimmerschiefer

**UCS: Mittelteil Massenbewegung**

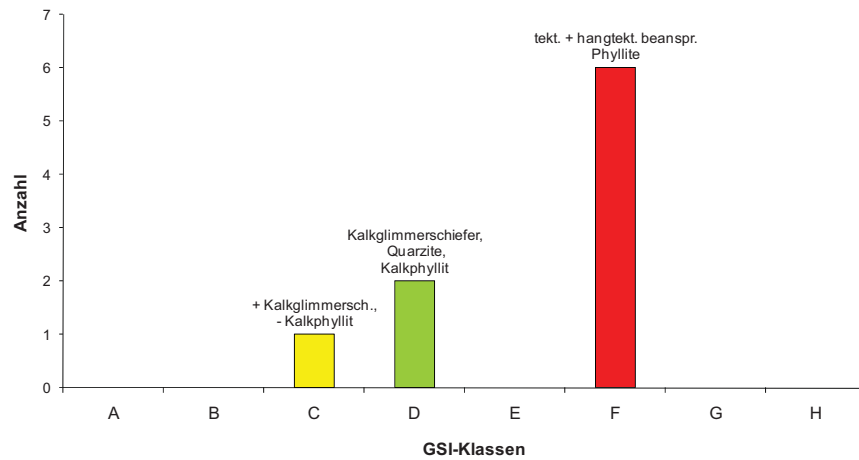


**UCS [MPa]: Mittelteil Massenbewegung**

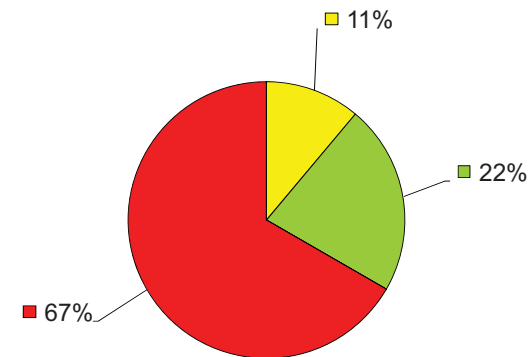


15 Daten

**GSI: Mittelteil Massenbewegung**

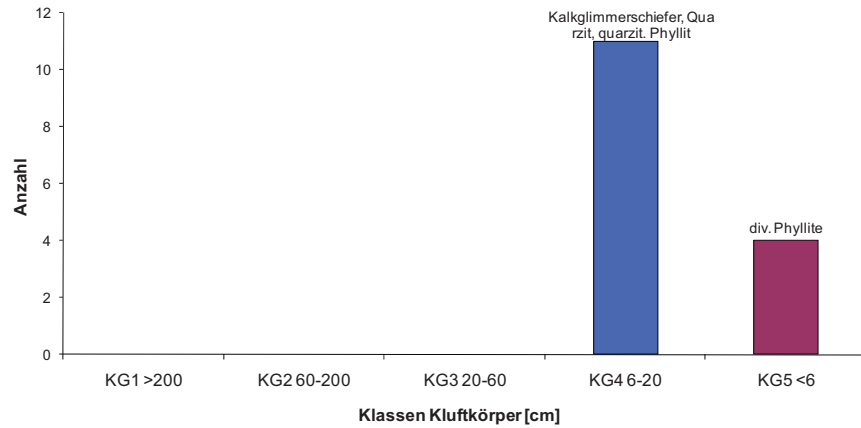


**GSI: Mittelteil Massenbewegung**

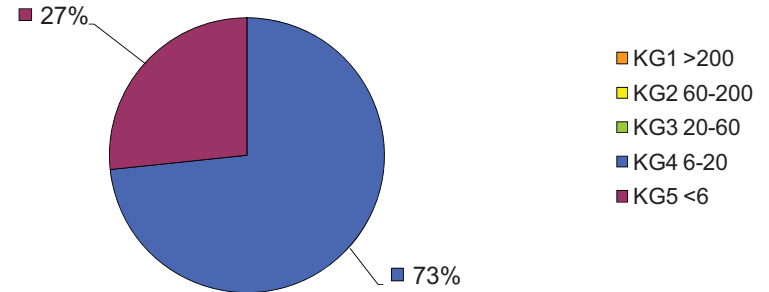


9 Daten

**Kluftkörpergrößen: Mittelteil Massenbewegung**

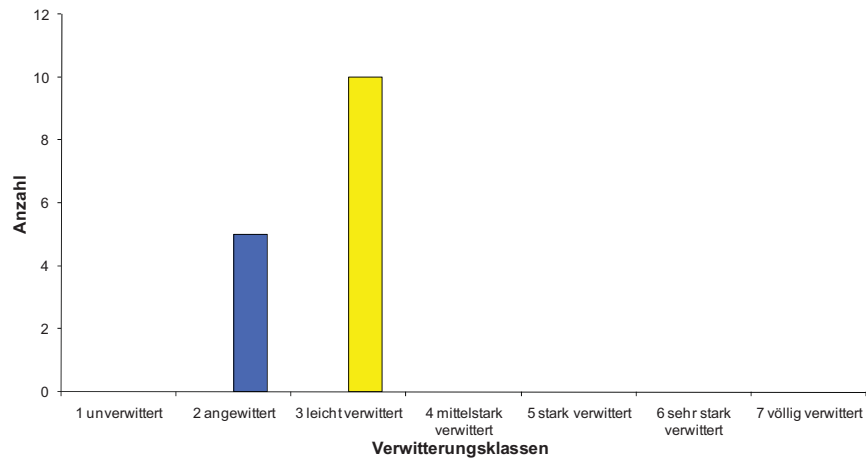


**Kluftkörpergrößen [cm]: Mittelteil Massenbewegung**

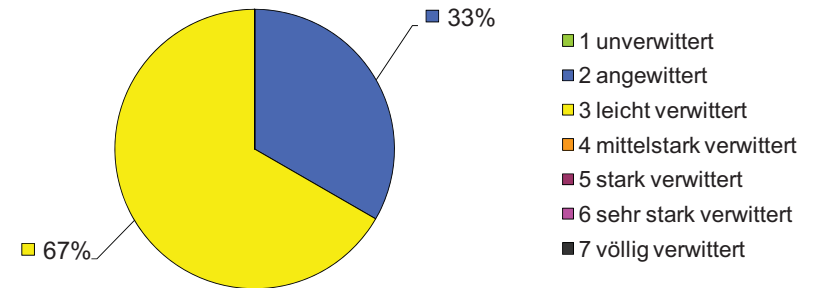


15 Daten

**Verwitterung: Mittelteil Massenbewegung**



**Verwitterung: Mittelteil Massenbewegung**



15 Daten

### Auswertung von Gesteins- und Gebirgskennwerten: Kopf Massenbewegung

Nr.	Aufschluss	Gestein	UCS [Mpa]	UCS-Kl.	GSI	GSI-Kl.	ZG [cm]	ZG-Kl.	KK-Form	KK-Kl.	VG	VG-Kl.
1	BL-01a	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
2	BL-01b	GPHY	1-5	R1			< 6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
3	BL-02	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
4	BL-03	KPHY-KGLS	25-50	R3	30-35	D	6-20	4	plattig	3	angewittert	2
5	BL-04	KPHY-KGLS	25-50	R3	35-40	C	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
6	BL-05	KGLS	50-100	R4	35-40	C	6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
7	BL-07	KPHY-KGLS	25-50	R3	30-35	D	6-60	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
8	BL-08	KPHY	5-25	R2	30-35	D	6-60	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
9	BL-09	KPHY	5-25	R2	20-25	G	< 6-20	4	plattig	3	angewittert	2
10	BL-10	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
11	BL-11	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
12	BL-12	KPHY	5-25	R2	25-30	E	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
13	BL-13	KPHY	5-25	R2	20-25	G	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
14	HBWG-24a	KPHY-KGLS	25-50	R3	30-35	D	< 6-60	4	plattig	3	angewittert	2
15	HBWG-24b	GPHY	1-5	R1			< 6	5	plattig	3	angewittert	2

UCS [Mpa]	Anzahl
R0 (0,25-1)	0
R1 (1-5)	2
R2 (5-25)	8
R3 (25-50)	4
R4 (50-100)	1
R5 (100-250)	0
R6 (> 250)	0
	15

GSI	Anzahl
A	0
B	0
C	2
D	4
E	5
F	0
G	2
H	0
	13

ZG [cm]	Anzahl
KG1 >200	0
KG2 60-200	0
KG3 20-60	0
KG4 6-20	13
KG5 <6	2
	15

VG	Anzahl
1 unverwittert	0
2 angewittert	4
3 leicht verwittert	11
4 mittelstark verwittert	0
5 stark verwittert	0
6 sehr stark verwittert	0
7 völlig verwittert	0
	15

Abkürzungen:

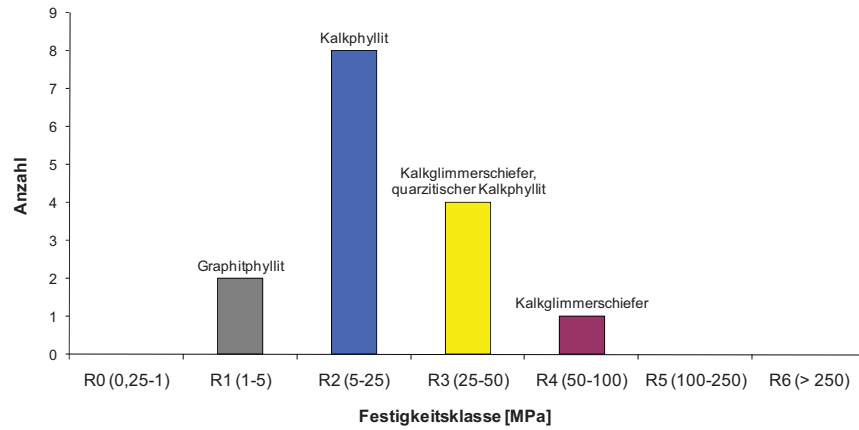
UCS Uniaxial Compressive Strength, Einachsiale Druckfestigkeit  
 GSI Geological Strength Index  
 ZG Kluftkörpergrößen, Zerlegungsgrad

KK Kluftkörper  
 VG Verwitterungsgrad  
 KI Klasse

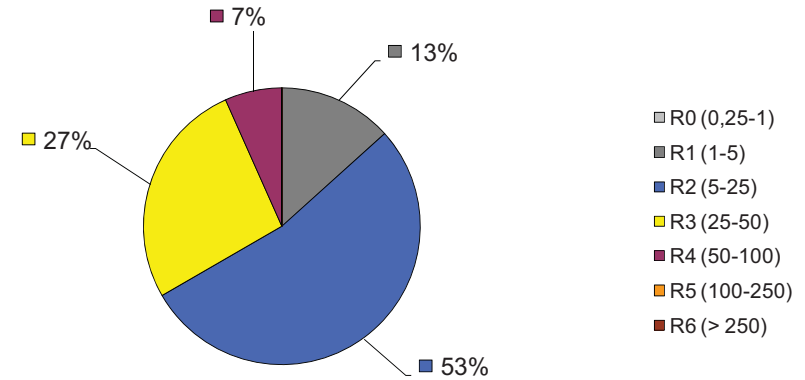
KPHY Kalkphyllit  
 GPHY Graphitphyllit  
 KGLS Kalkglimmerschiefer



**UCS: Kopf Massenbewegung**



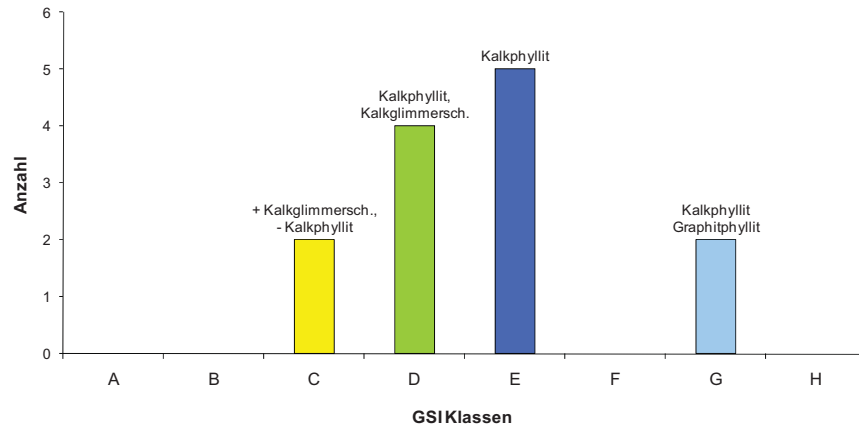
**UCS [MPa]: Kopf Massenbewegung**



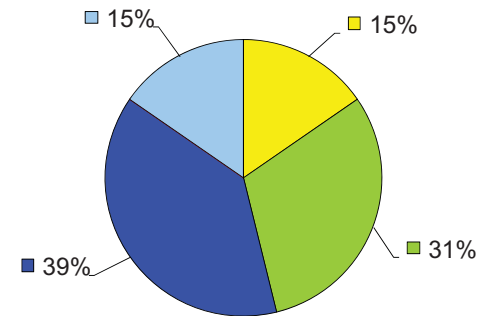
- R0 (0,25-1)
- R1 (1-5)
- R2 (5-25)
- R3 (25-50)
- R4 (50-100)
- R5 (100-250)
- R6 (> 250)

15 Daten

**GSI: Kopf Massenbewegung**



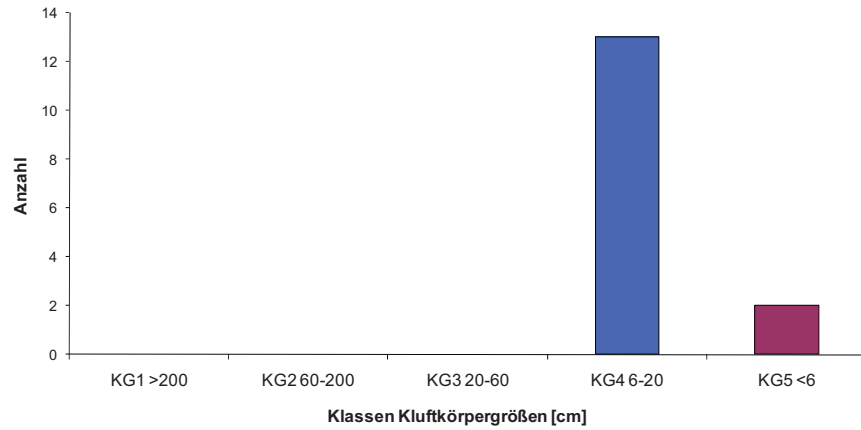
**GSI: Kopf Massenbewegung**



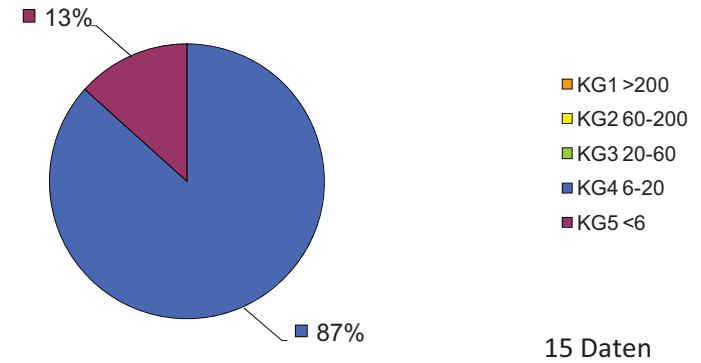
- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H

13 Daten

**Kluftkörpergrößen: Kopf Massenbewegung**

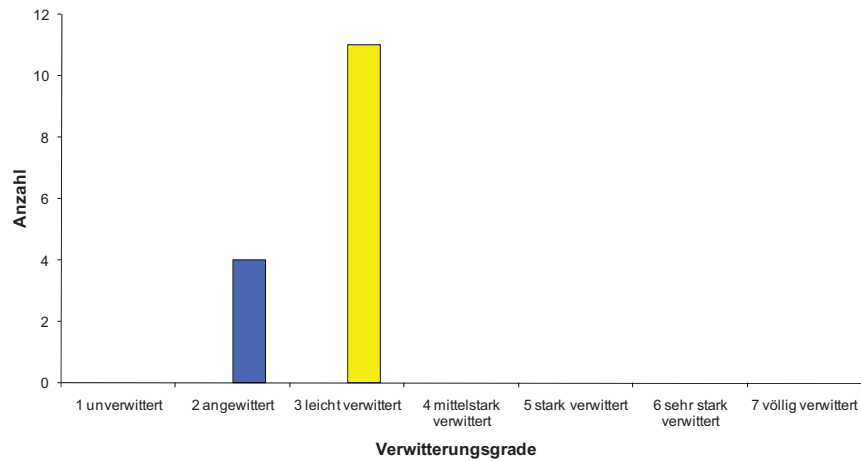


**Kluftkörpergrößen [cm]: Kopf Massenbewegung**

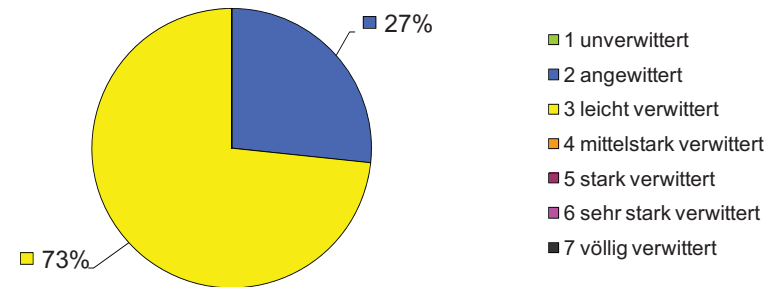


15 Daten

**Verwitterung: Kopf Massenbewegung**



**Verwitterung: Kopf Massenbewegung**



15 Daten

### Auswertung von Gesteins- und Gebirgskennwerten: Knickbänder = Scherzone

Nr.	Aufschluss	Gestein	UCS [Mpa]	UCS-Kl.	GSI	GSI-Kl.	ZG [cm]	ZG-Kl.	KK-Form	KK-Kl.	VG	VG-Kl.
1	HBWG-15a	quarzit.KGLS	25-50	R3	20-25	F	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
2	HBWG-15b	KPHY	5-25	R2			< 6	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
3	HBWG-17	KPHY	5-25	R2	10-15	H	< 6-20	4	plattig	3	leicht verwitt.	3
4	HBWG-18	KPHY	5-25	R2	10-15	H	< 6-20	5	plattig	3	leicht verwitt.	3
5	HBWG-19	KPHY	1-5	R1	10-15	H	< 6	5	plattig	3	mittelst. verw.	4
6	HBWG-20	quarzit.KPHY	1-5	R1	10-15	H	< 6	5	plattig	3	mittelst. verw.	4
7	HBWG-21a	quarzit.KPHY	1-5	R1	10-15	H	< 6	5	plattig	3	mittelst. verw.	4
8	HBWG-21b	quarzit.KPHY	5-25	R2			< 6	5	plattig	3	mittelst. verw.	4
9	HBWG-22	quarzit.KPHY	5-25	R2	10-15	H	< 6-20	5	plattig	3	leicht verwitt.	3

UCS [Mpa]	Anzahl
R0 (0,25-1)	0
R1 (1-5)	3
R2 (5-25)	5
R3 (25-50)	1
R4 (50-100)	0
R5 (100-250)	0
R6 (> 250)	0
	9

GSI	Anzahl
A	0
B	0
C	0
D	0
E	0
F	1
G	0
H	6
	7

ZG [cm]	Anzahl
KG1 >200	0
KG2 60-200	0
KG3 20-60	0
KG4 6-20	2
KG5 <6	7
	9

VG	Anzahl
1 unverwittert	0
2 angewittert	0
3 leicht verwittert	5
4 mittelstark verwittert	4
5 stark verwittert	0
6 sehr stark verwittert	0
7 völlig verwittert	0
	9

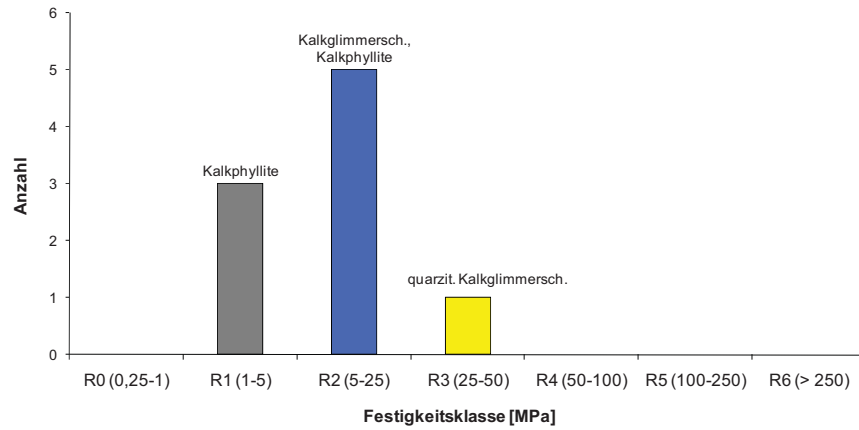
Abkürzungen:

UCS      Uniaxial Compressive Strength, Einachsiale Druckfestigkeit  
 GSI      Geological Strength Index  
 ZG      Kluffkörpergrößen, Zerlegungsgrad

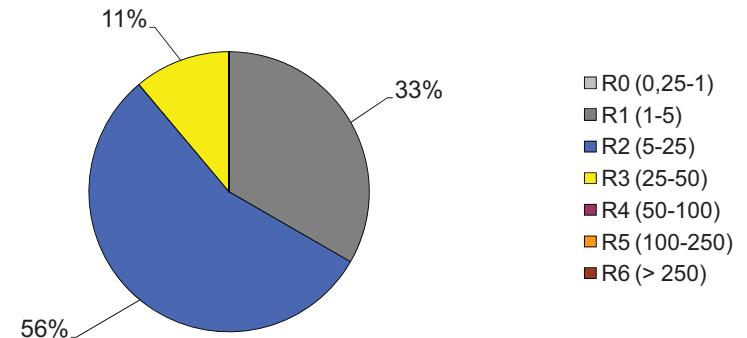
KK      Kluffkörper  
 VG      Verwitterungsgrad  
 KI      Klasse

KPHY      Kalkphyllit  
 KGLS      Kalkglimmerschiefer

**UCS: Scherzone**

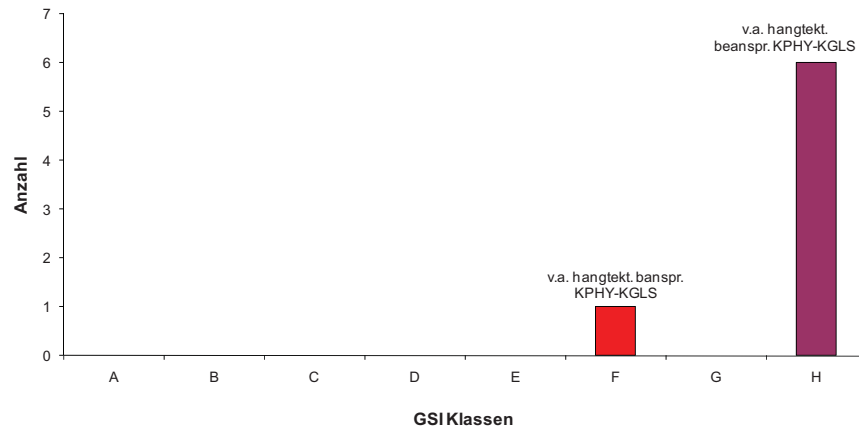


**UCS [MPa]: Scherzone**

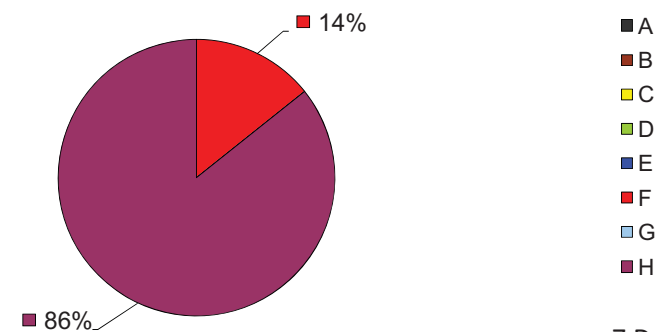


9 Daten

**GSI: Scherzone**

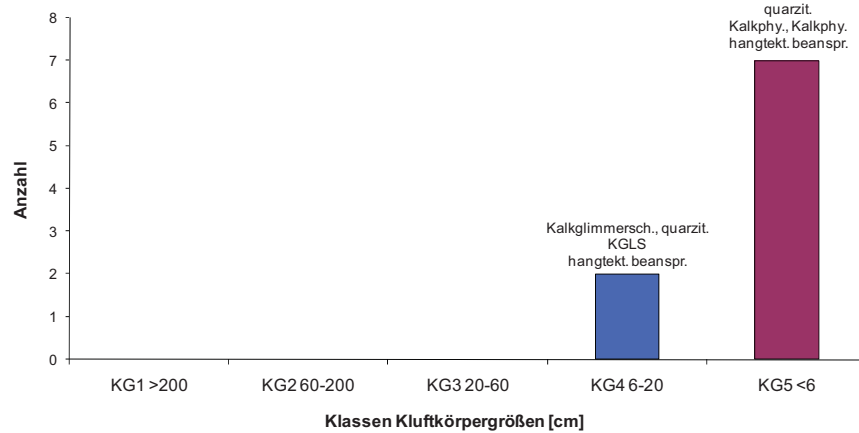


**GSI: Scherzone**

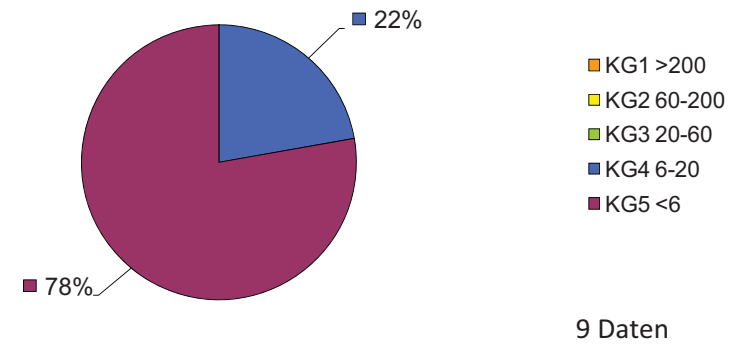


7 Daten

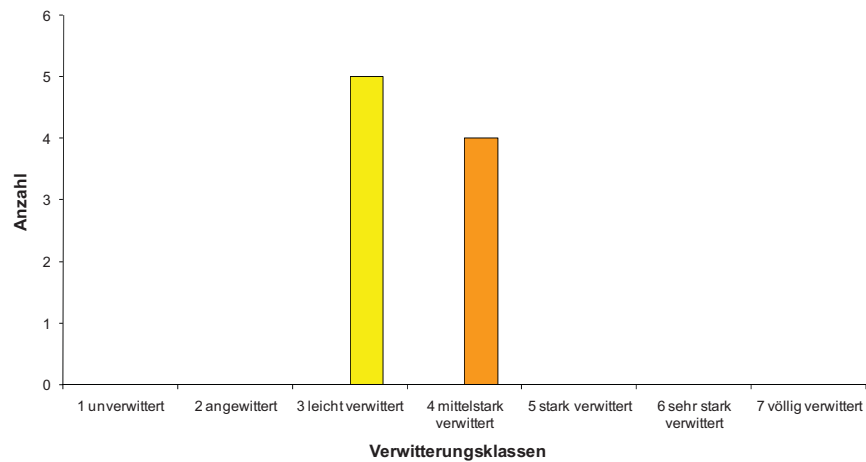
**Kluftkörpergrößen: Scherzone**



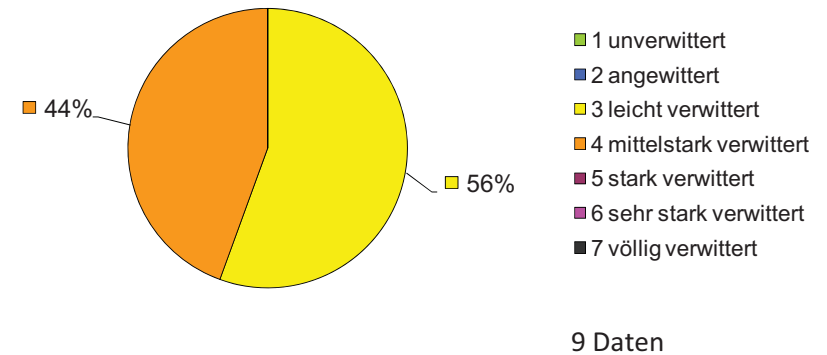
**Kluftkörpergrößen [cm]: Scherzone**



**Verwitterung: Scherzone**



**Verwitterung: Scherzone**



# Anlage D

## Berechnungen





## Zusammenstellung der UDEC Berechnungen (MOHR-COULOMB Bruchkriterium)

	Modell 1	Material					Klüfte			Anmerkungen
		Reibungs- winkel $\phi_m$ [°]	Kohäsion $c_m$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_{tm}$ [kPa]	Poissonsche Zahl $\nu$ [-]	Dilatanz- winkel $\psi$ [°]	Reibungs- winkel $\phi_i$ [°]	Kohäsion $c_i$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_{ti}$ [kPa]	
Fortl. Nr.	Berechnung		<b>Einfluss Kohäsion</b>			nicht assoziiert				<b>Breite Lamellen</b>
1	hp1	20	1.000	10	0,25	0	8	0	0	kein Versagen
2	hp2	20	500	10	0,25	0	8	0	0	kleine Verschiebungen im Unterhang
3	hp3	20	300	10	0,25	0	8	0	0	Knickbandsackung (KBS) beginnt sich auszubilden
4	hp4	20	200	10	0,25	0	8	0		KBS entspricht dem in der Natur aufgeschlossenen Versagensmechanismus, i.e. Grenzgleichgewicht“ des Hanges
5	hp5	20	150	10	0,25	0	8	0	0	KBS; Lamellen überkippt
6	hp6	20	100	10	0,25	0	8	0	0	Übergang zum Biegekippen (BK)
7	hp7	20	50	10	0,25	0	8	0	0	Biegekippen; am Oberhang Zugversagen in den Trennflächen
8	hp8	20	20	10	0,25	0	8	0	0	Biegekippen; am Oberhang Zugversagen in den Trennflächen
			<b>Einfluss Reibungs- winkel</b>							<b>Breite Lamellen</b>
9	hp10	24	200	10	0,25	0	8	0	0	nur mittlerer und unterer Hang versagen; leichte S-förmige Deformation der Lamellen
10	hp11	22	200	10	0,25	0	8	0	0	nur Unterhang versagt; leichte S-förmige Deformation der Lamellen
11	hp12	21	200	10	0,25	0	8	0	0	leicht ausgebildete KBS; Lamellen im mittleren und oberen Hang nicht überkippt
12	hp13	19	200	10	0,25	0	8	0	0	KBS mit größerem Tiefgang
13	hp14	18	150!!	10	0,25	0	8	0	0	KBS mit größerem Tiefgang

	<b>Modell 1</b>	<b>Material</b>					<b>Klüfte</b>			<b>Anmerkungen</b>
		Reibungs- winkel $\phi_m$ [°]	Kohäsion $c_m$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_m$ [kPa]	Poissonsche Zahl $\nu$ [-]	Dilatanz- winkel $\psi$ [°]	Reibungs- winkel $\phi_i$ [°]	Kohäsion $c_i$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_{ij}$ [kPa]	
Fortl. Nr.	Berechnung					nicht assoziiert	<b>Einfluss Reibungs- winkel</b>			<b>Breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
14	hp20	20	200	10	0,25	0	<b>10</b>	0	0	KBS; die Lamellen sind geringfügig weniger überkippt
15	hp21	20	200	10	0,25	0	<b>12</b>	0	0	S-förmige Deformation der Lamellen; Verschiebungen an den Trennflächen sind kleiner; Lamellen im mittleren und oberen Hang nicht mehr überkippt;
16	hp22	20	200	10	0,25	0	<b>14</b>	0	0	S-förmige Deformation der Lamellen; Verschiebungen an den Trennflächen sind nochmals kleiner; Lamellen im mittleren und oberen Hang nicht mehr überkippt;
17	hp23	20	200	10	0,25	0	<b>16</b>	0	0	S-förmige Deformation der Lamellen; Verschiebungen an den Trennflächen sind nochmals kleiner; Lamellen im mittleren und oberen Hang nicht mehr überkippt; kleinerer Tiefgang
18	hp24	20	200	10	0,25	0	<b>20</b>	0	0	Kaum noch S-förmige Deformation der Gesteinslamellen; Verschiebungen an den Trennflächen sind relativ klein
19	hp24a	20	200	10	0,25	0	<b>25</b>	0	0	Kaum noch S-förmige Deformation der Gesteinslamellen; Verschiebungen an den Trennflächen sind relativ klein
20	hp24b	20	200	10	0,25	0	<b>30</b>	0	0	Kaum noch S-förmige Deformation der Gesteinslamellen; Verschiebungen an den Trennflächen sind relativ klein; Versagen wird maßgeblich von der Gesteinsfestigkeit bestimmt; Versagen entspricht einem Hangkriechen

	<b>Modell 1</b>	<b>Material</b>					<b>Klüfte</b>			<b>Anmerkungen</b>
		Reibungs- winkel $\phi_m$ [°]	Kohäsion $c_m$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_{tm}$ [kPa]	Poissonsche Zahl $\nu$ [-]	Dilatanz- winkel $\psi$ [°]	Reibungs- winkel $\phi_i$ [°]	Kohäsion $c_i$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_{ij}$ [kPa]	
Fortl. . Nr.	Berechnung					nicht assoziiert		<b>Einfluss Kohäsion</b>		<b>Breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
21	hp25	20	200	10	0,25	0	8	10	0	Knickbandsackung
22	hp26	20	200	10	0,25	0	8	100	0	Knickbandsackung; Lamellen im oberen und mittleren Hang weniger überkippt als zuvor
23	hp27	20	200	10	0,25	0	8	1.000	0	Kaum noch S-förmige Deformation der Gesteinslamellen; geringe Relevanz der Trennflächenfestigkeit für das Versagen ; Versagen wird maßgeblich von der Gesteinsfestigkeit bestimmt; Versagen entspricht einem Hangkriechen
Fortl. . Nr.	Berechnung			<b>Einfluss Zugfestig- keit</b>		nicht assoziiert				<b>Breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
24	hp30	20	200	549	0,25	0	8	0	0	KBS; keine merkliche Veränderung zur Modellrechnung hp 4 feststellbar
25	hp31	20	200	2.000	0,25	0	8	0	0	KBS; keine merkliche Veränderung zur Modellrechnung hp 4 feststellbar
Fortl. . Nr.	Berechnung					nicht assoziiert			<b>Einfluss Zugfestig- keit</b>	<b>Breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
26	hp36	20	200	10	0,25	0	8	0	2.000	KBS; keine merkliche Veränderung zur Modellrechnung hp 4 feststellbar
Fortl. . Nr.	Berechnung			<b>Einfluss Zugfestig- keit</b>		nicht assoziiert			<b>Einfluss Zugfestig- keit</b>	<b>Breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
27	hp37	20	150	20	0,25	0	8	0	20	KBS; keine merkliche Veränderung zur Modellrechnung hp 5 feststellbar
28	hp38	20	150	200	0,25	0	8	0	200	KBS; keine merkliche Veränderung zur Modellrechnung hp 5 feststellbar

	<b>Modell 1</b>	<b>Material</b>					<b>Klüfte</b>			<b>Anmerkungen</b>
		Reibungs- winkel $\phi_m$ [°]	Kohäsion $c_m$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_m$ [kPa]	Poissonsche Zahl $\nu$ [-]	Dilatanz- winkel $\psi$ [°]	Reibungs- winkel $\phi_i$ [°]	Kohäsion $c_i$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_{ij}$ [kPa]	
Fortl . Nr.	Berechnung					<b>assoziiert</b>				<b>Breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
29	hp40	20	200	10	0,25	<b>5</b>	8	0	0	Knickbandsackung
30	hp41	20	200	10	0,25	<b>10</b>	8	0	0	leichte S-förmige Deformation der Lamellen; Lamellen im oberen und mittleren Teil des Hanges nicht überkippt
31	hp42	20	200	10	0,25	<b>15</b>	8	0	0	leichte S-förmige Deformation der Lamellen im Unterhang; KBS bleibt aus
32	hp43	20	200	10	0,25	<b>20</b>	8	0	0	leichte S-förmige Deformation der Lamellen im Unterhang; KBS bleibt aus
33	hp44	<b>18</b>	200	10	0,25	<b>20</b>	8	0	0	tiefgreifende S-förmige Deformation der Lamellen
34	hp45	<b>16</b>	200	10	0,25	<b>20</b>	8	0	0	tiefgreifende S-förmige Deformation der Lamellen
Fortl . Nr.	Berechnung					Nicht assoziiert				<b>Dünne Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
35	hp60	20	150	10	0,25	0	10	0	0	KBS, greift weniger tief als Modellrechnung hp4
36	hp60	20	200	10	0,25	0	10	0	0	KBS, greift weniger tief als Modellrechnung hp4
37	hp60	22	200	10	0,25	0	10	0	0	keine KBS; nur Unterhang versagt
Fortl . Nr.	Berechnung					nicht assoziiert				<b>Feines Netz, breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
38	hp4-2	20	200	10	0,25	0	8	0	0	KBS; kein Unterschied zu Modellrechnung hp 4
Fortl . Nr.	Berechnung					nicht assoziiert				<b>Feines Netz, breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b>
39	hp70	20 (40) <sup>1</sup>	200 (1000)	10 (50)	0,25	0	8 (35)	0	0	

<sup>1</sup> Erster Wert Festigkeit für Schicht 1 (MZ und GDZ2); Werte in Klammer Festigkeit für Schicht 2 (GDZ1)

	<b>Modell 1</b>	<b>Material</b>					<b>Klüfte</b>			<b>Anmerkungen</b>
		Reibungs- winkel $\phi_m$ [°]	Kohäsion $c_m$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_{tm}$ [kPa]	Poissonsche Zahl $\nu$ [-]	Dilatanz- winkel $\psi$ [°]	Reibungs- winkel $\phi_l$ [°]	Kohäsion $c_l$ [kPa]	Zugfestigkeit $\sigma_{tl}$ [kPa]	
Fortl . Nr.	Berechnung					nicht assoziiert				<b>Rock slumping, breite Lamellen, ohne Bergwasserspiegel</b> 60° Einfallen der Schieferungsflächen mit 8° geneigter basaler Gleitfläche
40	hp80	20	150	10	0,25	0	8	0	0	Rock slumping; gleiche Festigkeit für Schieferungsflächen und basale Gleitfläche
41	hp81	20	150	10	0,25	0	8 (16) <sup>2</sup>	0	0	Rock slumping; unterschiedliche Festigkeit für Schieferungsflächen und basale Gleitfläche;
42	hp82	20	150	10	0,25	0	8 (24)	0	0	Rock slumping; unterschiedliche Festigkeit für Schieferungsflächen und basale Gleitfläche;
Fortl . Nr.	Berechnung					nicht assoziiert				<b>Breite Lamellen, unregelmäßige Dreieckszonierung, ohne Bergwasserspiegel</b>
43	hp91	20	200	10	0,25	0	8	0	0	KBS; greift tiefer als Modellrechnung hp4; Lamellen weniger überkippt
Fortl . Nr.	Berechnung					nicht assoziiert				<b>Dicke Lamelle, mit Bergwasserspiegel</b>
44	hp4a	28	280	10	0,25	0	8	0	0	es versagt nur der Unterhang
45	hp4b	22	280	10	0,25	0	8	0	0	mittlerer und unterer Hang versagen
46	hp4c	22	500	10	0,25	0	8	0	0	es versagt nur der Unterhang
47	hp4d	20	1000	10	0,25	0	8	0	0	mittlerer und unterer Hang versagen
48	hp4e	20	500	10	0,25	0	8	0	0	tiefgreifende Knickbandsackung
Fortl . Nr.	Berechnung					nicht assoziiert				<b>Dünne Lamelle, mit Bergwasserspiegel</b>
49	hp4f	20	500	10	0,25	0	8	0	0	mittlerer und unterer Hang versagen
50	hp4g	20	300	10	0,25	0	8	0	0	tiefgreifende Knickbandsackung

<sup>2</sup> Erster Wert Festigkeit für Schieferungsflächen; Wert in Klammer Festigkeit für basale Gleitfläche





## Vergleichsrechnungen Bunzkögele mit CLARAW

Berechnung	Mohr-Coulomb			SF	Abminderung trocken/nass [%]
	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	C [kPa]	$\phi$ [°]		
BK-MC-dry-01 trocken	2700	200	20	1,01	
BK-MC-wet-01 mit Bergwasser	2700	200	20	0,71	-30%
BK-MC-wet-02 mit Bergwasser	2700	278	27,8	1,02	

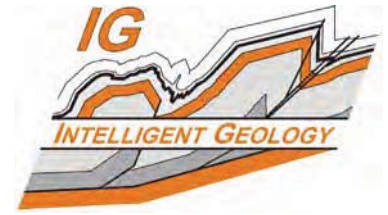
rückgerechnet auf Sicherheit 1 nach Fellenius (1948)

Berechnung	Hoek-Brown				Äquivalent MC				Äquiv. MC Slope (350m)		SF	Abminderung trocken/nass [%]	
	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	GSI	mi	UCS [kPa]	mb A	a B	s C	c [kPa]	$\phi$ [°]	c [kPa]			$\phi$ [°]
BK-HB-dry-01 trocken	2700	25	7	20000	0,481	0,531	0,0002	550	20,4	605	19,4	1,78	
BK-HB-wet-01 mit Bergwasser	2700	25	7	20000	0,481	0,531	0,0002	550	20,4	605	19,4	1,50	-16%
BK-HB-dry-02 trocken	2700	25	7	15000	0,481	0,531	0,0002	413	20,4	536	17,8	1,56	
BK-HB-wet-02 mit Bergwasser	2700	25	7	15000	0,481	0,531	0,0002	413	20,4	536	17,8	1,31	-16%
BK-HB-dry-03 trocken	2700	20	7	20000	0,402	0,544	0,0001	480	18,8	523	18,0	1,47	
BK-HB-wet-03 mit Bergwasser	2700	20	7	20000	0,402	0,544	0,0001	480	18,8	523	18,0	1,23	-16%
BK-HB-dry-04 trocken	2700	20	7	15000	0,402	0,544	0,0001	360	18,8	464	16,5	1,29	
BK-HB-wet-04 mit Bergwasser	2700	20	7	15000	0,402	0,544	0,0001	360	18,8	464	16,5	1,08	-16%
BK-HB-dry-05 trocken	2700	20	7	13000	0,402	0,544	0,0001	312	18,8	437	15,8	1,21	
BK-HB-wet-05 mit Bergwasser	2700	20	7	13000	0,402	0,544	0,0001	312	18,8	437	15,8	1,01	-17%
BK-HB-dry-06 trocken	2700	15	7	15000	0,336	0,561	0,0001	304	17,2	389	15,2	1,07	
BK-HB-wet-06 mit Bergwasser	2700	15	7	15000	0,336	0,561	0,0001	304	17,2	389	15,2	0,89	-17%
BK-HB-dry-07 trocken	2700	15	7	13000	0,336	0,561	0,0001	263	17,2	366	14,6	1,01	
BK-HB-wet-07 mit Bergwasser	2700	15	7	13000	0,336	0,561	0,0001	263	17,2	366	14,6	0,84	-17%

Hoek-Brown Störfaktor D für alle Berechnungen mit Null angesetzt.

Rot gekennzeichnete Parameter für Grenzgleichgewicht nach MC und HB (trocken und mit Bergwasser)





## Anlage D.3

# Multilayer beam

## Comparison of analytical and numerical results

Finite-Difference-Models in Geoengineering

SE 203.029



## Table of contents

1	Problem statement.....	2
2	The analytical solution.....	2
3	Numerical Calculations with UDEC.....	3
3.1	Analysis 1 – two layers of rock.....	3
3.1.1	Model set up.....	3
3.1.2	Results .....	5
3.1.3	Sensitivity analysis.....	7
3.2	Analysis 2 – multilayer beam .....	8
3.2.1	Model set up.....	8
3.2.2	Results .....	8
3.2.3	Sensitivity analysis.....	11
4	Conclusions.....	11
5	References.....	12



## 1 Problem statement

A horizontally layered rock mass was chosen to compare analytical and numerical results. The rock lamellae are lying on two abutments. They are clamped at both sides and can deflect between the abutments. UDEC 4.0 (Universal Distinct Element Code) from ITASCA Consulting Group was used for the numerical calculations. The calculations were carried out elastically using Hook's law. For simplicity the first analysis was done with only 2 layers of rock in a second one a multilayer beam was chosen.

## 2 The analytical solution

Concerning to GOODMAN [1] the maximum tensile stress  $\sigma_{\max}$  in the lowest beam occurs near the ends at its top:

$$\sigma_{\max} = \frac{\gamma L^2}{2t} \quad (1)$$

$\sigma_{\max}$ ...maximum tensile strength [kN/m<sup>2</sup>, kPa]

$\gamma$ .....unit weight [kN/m<sup>3</sup>]

L.....Length of the beam  $\equiv$  span [m]

t.....thickness of the rock layer [m]

The maximum tensile stress in the middle and at the bottom of the beam is half the value given by equation (1).

The maximum deflection  $u_{\max}$  of the clamped, elastic beam is given by:

$$u_{\max} = \frac{\gamma L^4}{32Et^2} \quad (2)$$

E...Young's modulus [kPa]



For a multilayer beam, where the thickness of the lamellae is decreasing upwards the load transfer from one layer to the next is calculated by:

$$\gamma_a = \frac{E_{thick} t_{thick}^2 (\gamma_{thick} t_{thick} + \sum_1^n \gamma_n t_n)}{E_{thick} t_{thick}^3 + \sum_1^n E_n t_n^3} \quad (3)$$

$\gamma_a$ ...transfer load [kN/m<sup>3</sup>]

$E_{thick}$ ...Young's modulus of lower and thickest beam [kPa]

$t_{thick}$ ...thickness of the lowermost beam [m]

$\gamma_{thick}$ ...unit weight of lowermost beam[kN/m<sup>3</sup>]

$E_n$ ... Young's modulus of n beam [kPa]

$t_n$ ...thickness of n beam [m]

$\gamma_{thick}$ ...unit weight of n beam [kN/m<sup>3</sup>]

The transfer load is used to calculate  $\sigma_{max}$  and  $u_{max}$  of the lowermost beam given by equation (1) and (2).

In the case where a thin beam underlies a thicker one, the beams separate, so that no unit weight from the upper beam has to be accounted for the lower thinner beam.

Following assumptions have been made:

- the width of the beam is 1.0 m
- no horizontal stress  $\sigma_h$  was accounted; the beam is strengthened by horizontal stress

## 3 Numerical Calculations with UDEC

### 3.1 Analysis 1 – two layers of rock

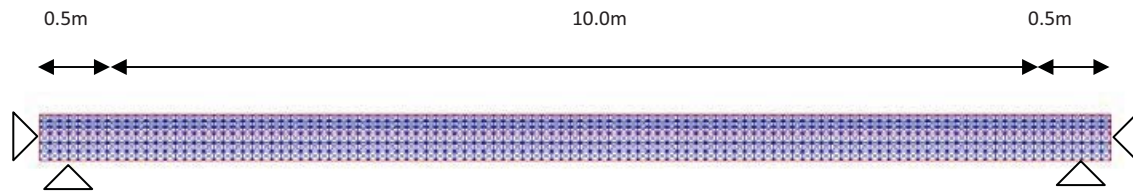
#### 3.1.1 Model set up

The beam geometry (

Fig. 1) is given by a:

- span of 10 m
- width of the abutments on each side of 0.5 m
- thickness of the lower beam of 0.3 m
- thickness of the upper beam of 0.2 m

The 2 two layers were discretized by quadrille zones of 0.1 m length.



**Fig. 1: 2-layer beam, composed of rock with same properties**

The required input parameters for an elastic beam are:

rock mass [kg/m <sup>3</sup> ]	Young's modulus <sup>*)</sup> [GPa]	Poisson ratio <sup>*)</sup> [-]
2.700	6.0	0.25

**Table 1: Input parameters for calculations**

<sup>\*)</sup> UDEC calculations require the *bulk* ( $K$ ) and *shear modulus* ( $G$ ) for input. These are related to the *Young's modulus* ( $E$ ) and the *Poisson's ratio* ( $\nu$ ) by:

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

### 3.1.2 Results

In accordance to the analytical solution the maximum tensile stress occurs near the ends of the lower beam at its top (Fig. 2). The max. tensile stress in the centre is shown in Fig. 3.

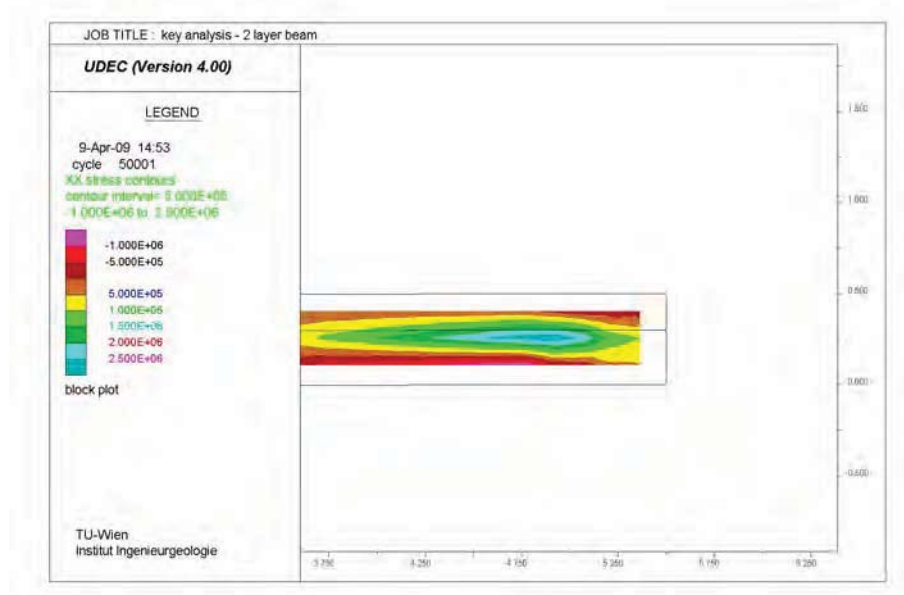


Fig. 2: Max. tensile stress<sup>1</sup> at the right margin of the lower beam (calculation no 4)

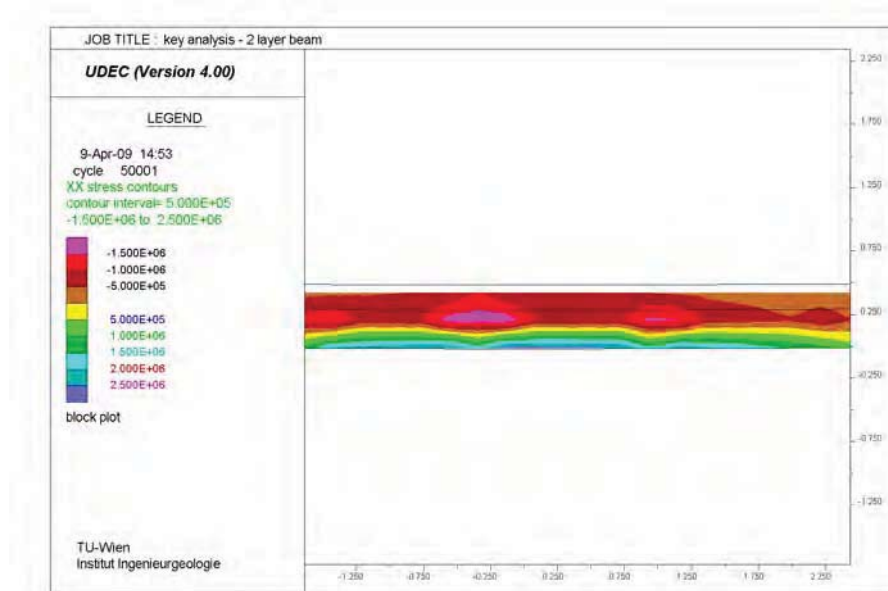


Fig. 3: Max. tensile stress in the centre of the lower beam (calculation no 4)

<sup>1</sup> by convention in UDEC compressive stress is negative and tensile stress is positive

The maximum shear stress occurs also at the ends of the underlying beam but near the lower surface (Fig. 4).

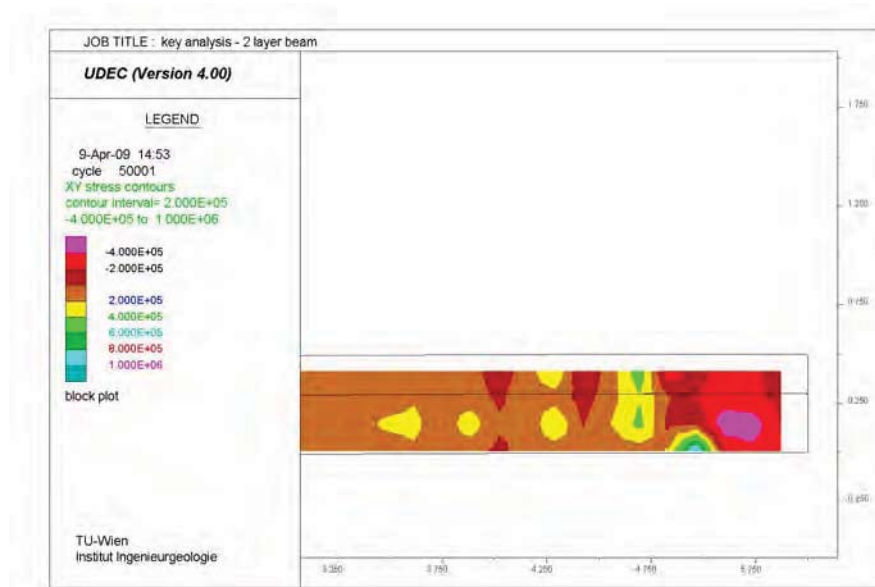


Fig. 4: Shear stress at the right margin (calculation no 4)

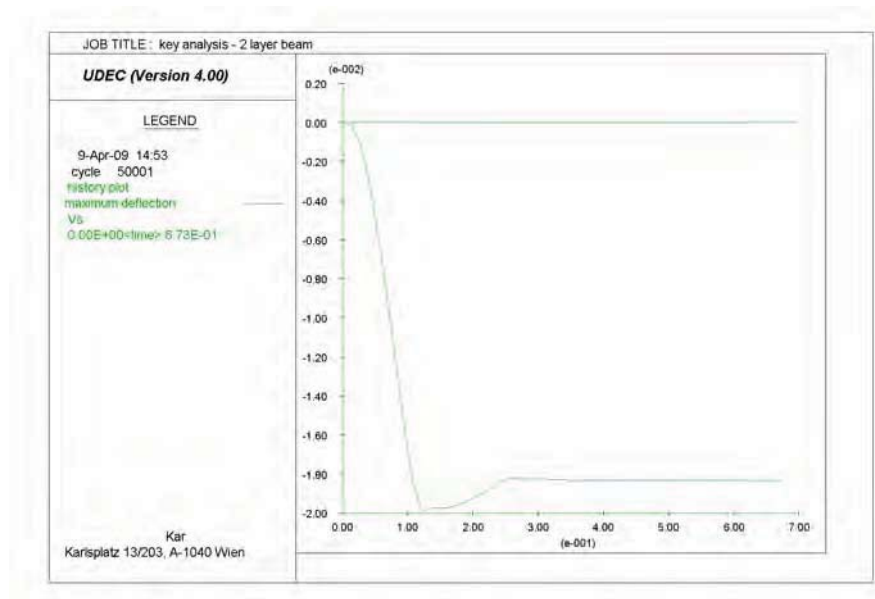


Fig. 5: History of the maximum deflection at the centre of the lower beam (calculation no 4)

The maximum deflection of the lower beam shows (Fig. 5). UDEC uses a dynamic solution process in which the forces have to be damped. The force imbalance in the model is caused by slight difference in the locations of the contact forces and gridpoint forces at block corners [2]. Therefore it needs some time, i.e. calculation steps until the solution becomes stable.

### 3.1.3 Sensitivity analysis

The influence of the joint properties, i.e. normal stiffness ( $k_n$ ), shear stiffness ( $k_s$ ), cohesion ( $j_{coh}$ ) and friction angle ( $j_{fric}$ ) on the tensile stress, the shear stress and the deflection was proved in a sensitivity analysis. The joint tension ( $j_{ten}$ ) was set zero.

2 layer rock beam										
	[Mpa]	[Mpa]	[kPa]	[°]	[kPa]	sxx-margin [kPa]	sxx-centre [kPa]	sxy-margin [kPa]	dy [cm]	
	$k_n$	$k_s$	$j_{coh}$	$j_{fric}$	$j_{ten}$					
<b>Calculations</b>										
analytical						5.679	2.840	256	-1,97	
numerical										
4		$j_{mod}$	$j_{mod}$	0	0	0	4.347	2.610	367	-1,83
4a	1,00E+07	1,00E+07	1,00E+07	0	0	0	4.325	2.610	365	-1,83
4b	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	0	0	0	4.345	2.610	367	-1,83
4c	1,00E+09	1,00E+09	1,00E+09	0	0	0	4.347	2.610	367	-1,83
4d	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	0	0	0	4.347	2.610	367	-1,83
4e	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	0	10	0	4.347	2.613	367	-1,83
4f	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	0	20	0	4.353	2.619	367	-1,84
4g	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	0	30	0	4.361	2.625	368	-1,84
4h	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	0	40	0	4.372	2.633	368	-1,85
4i	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	100	0	0	4.343	2.608	367	-1,83
4j	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	1000	0	0	4.358	2.622	367	-1,84
4k	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	10000	0	0	4.356	2.625	367	-1,84

**Table 2: Sensitivity analysis of the 2 layer beam; values concerning to the lower beam**

The first calculation no. 4 was done by the relationship:

$$k_n, k_s \leq 10.0 \left[ \max \left[ \frac{K + \frac{4}{3} G}{\Delta z \min} \right] \right]$$

$\Delta z_{min}$ ...smallest width of the zone adjoining the joint in a normal direction

This formulae provides that the contrast in stiffness between the block materials and the joint materials is not too great (i.e. less than 10 times) keeping the runtime small. Otherwise long runtimes could result. This analysis therefore represents a check for the model runtime.

Concerning to Table 2 the maximum deflection ( $dy$ ) and the shear stress ( $sxy$ ) at the ends more or less not change if the joint properties are changed. Marginally changes can be observed in the max. tensile stress at the ends and at the centre of the beam, in the way, that an increasing  $j_{fric}$  and  $j_{coh}$  leading to an increase of  $sxx$ -margin and  $sxx$ -centre.

The magnitude of analytical and the numerical solutions are differing.

### 3.2 Analysis 2 – multilayer beam

A multilayer beam, divided by 8 layers of rock was analyzed.

#### 3.2.1 Model set up

The geometry of the multilayer beam is shown in Fig. 6. The rock lamellae decrease upwards in the way that the lowermost beam has a thickness of 0.3 m followed by 7 thinner ones of 0.1 m. Quadrille zones were used to discretize the rock lamellae.

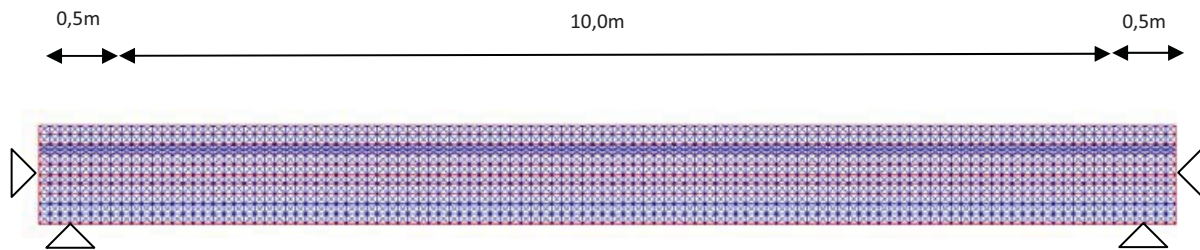


Fig. 6: Multilayer beam geometry

The intrinsic input parameters of all rock lamellae are all the same and the same as in Table 1.

#### 3.2.2 Results

The following figures show the results of calculation no. 3.

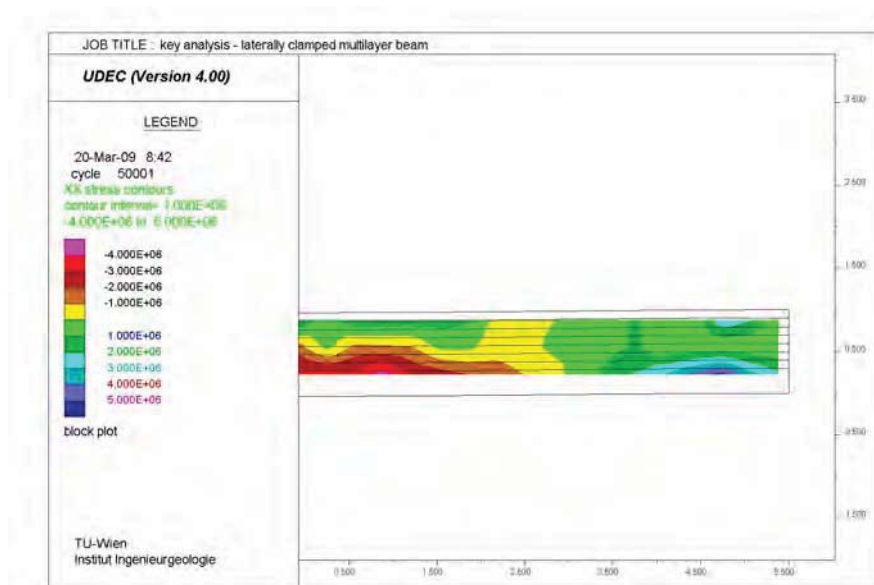


Fig. 7: Max. tensile stress at the right margin (calculation no. 3)



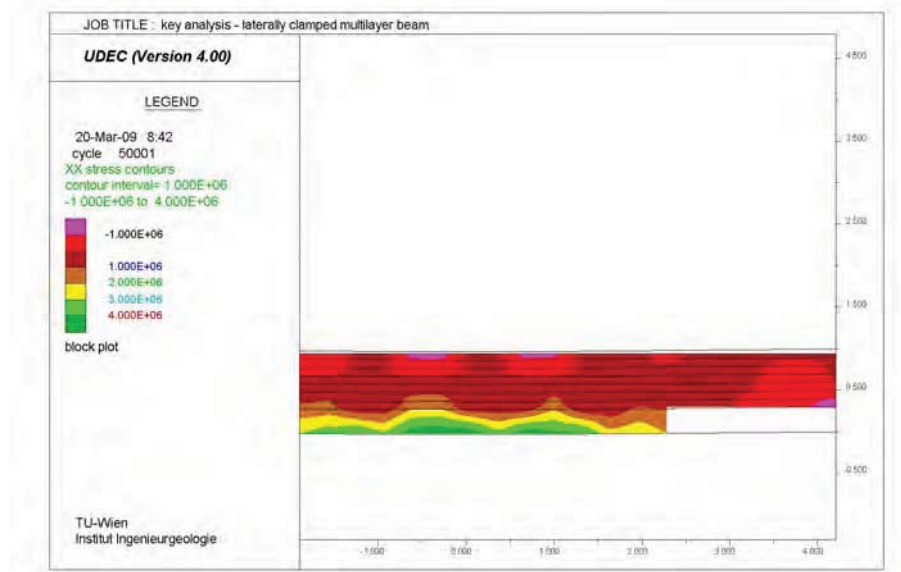


Fig. 8: Max. tensile stress at the centre (calculation no. 3)

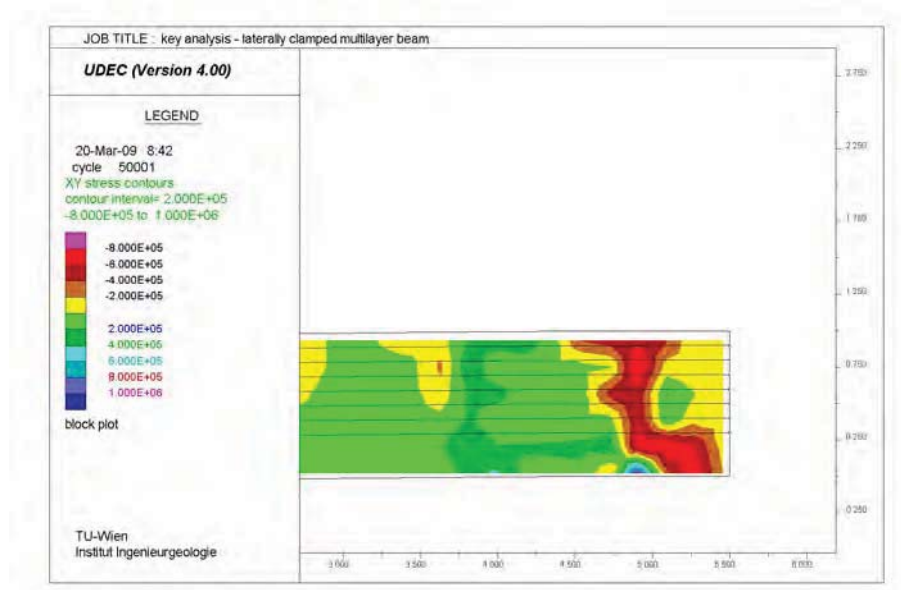


Fig. 9: Max. shear stress at the right margin (calculation no. 3)

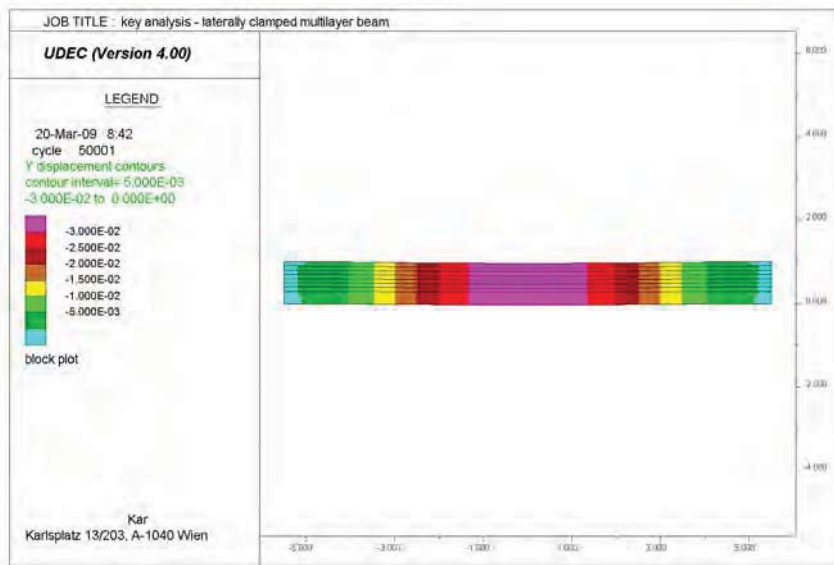


Fig. 10: Deflection of the multilayer beam (calculation no. 3)

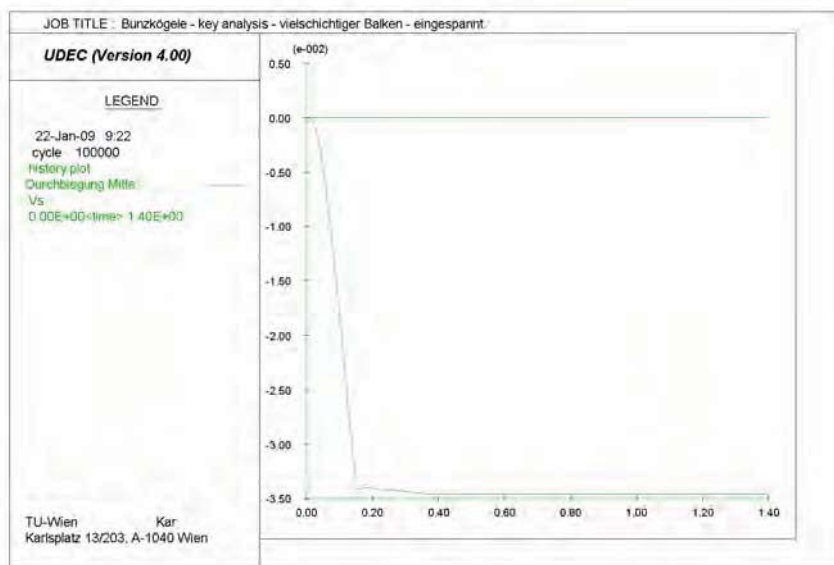


Fig. 11: History of max. deflection of the lowermost beam (calculation no. 3)

### 3.2.3 Sensitivity analysis

The variation of the joint properties shows Table 3.

multilaminated rock beam										
	[Mpa]	[Mpa]	[kPa]	[°]	[kPa]	sxx-margin [kPa]	sxx-centre [kPa]	sxy-margin [kPa]	dy [cm]	
	kn	ks	jcoh	jfric	jten					
<b>Calculations</b>										
analytical						10.897	5.449	490	-3,78	
numerical										
3	jmod	jmod	0	0	0	8.314	4.919	713	-3,46	
3a	1,00E+07	1,00E+07	0	0	0	8.628	5.053	721	-3,53	
3b	1,00E+08	1,00E+08	0	0	0	9.022	4.985	788	-3,54	
3c	1,00E+09	1,00E+09	0	0	0	8.822	4.942	795	-3,49	
3d	1,00E+10	1,00E+10	0	0	0	8.466	4.923	747	-3,47	
3e	1,00E+08	1,00E+08	0	10	0	9.007	5.007	786	-3,55	
3f	1,00E+08	1,00E+08	0	15	0	8.910	4.971	780	-3,52	
3g	1,00E+08	1,00E+08	0	20	0	8.806	4.930	773	-3,49	
3h	1,00E+08	1,00E+08	0	30	0	8.581	4.846	759	-3,42	
3i	1,00E+08	1,00E+08	100	0	0	9.025	4.988	788	-3,54	
3j	1,00E+08	1,00E+08	1000	0	0	9.083	5.021	792	-3,57	
3k	1,00E+08	1,00E+08	10000	0	0	8.475	4.591	751	-3,31	

**Table 3: Sensitivity analysis of joint parameters; values concerning to the lowest beam**

- Variation of the joint normal stiffness  $j_n$  and shear stiffness  $j_s$   
Increasing joint normal stiffness  $j_n$  and shear stiffness  $j_s$  giving an increases of the beams overall strength, which is leading to a decrease of the max. tensile stresses at the margins and at the centre of the lowermost beam. Accordingly the deflection in the centre of the beam is diminishing.
- Variation of the joint cohesion  $j_{coh}$   
Similar to a) an increase of the joint cohesion has a decreasing effect on the tensile stresses and the max. deflection in the middle of the lowest beam.
- Variation of the joint friction  $j_{fric}$   
Similar to a) and b), increasing the joint friction is decreasing the tensile stresses and the max. deflection.

The calculated shear stresses fluctuate in case of decreasing  $j_n$ ,  $j_s$  and  $j_{coh}$ . A clear diminishing trend can only be seen for increasing  $j_{fric}$ .

## 4 Conclusions

Analytical and numerical calculations have shown similar results for a 2 layer and a multilayer beam, in which the thickness of the rock lamellae is decreasing upwards. The occurrence of max. tensile stresses and max. shear stresses in numerical analysis coincide with the analytical theory. Whereas the numerical calculated magnitude of the max. deflection ( $dy$ ) is close to the analytical solution, the tensile stresses and the shear stresses differ significantly. However the analytical solution not takes into account the joint properties. So this might be the reason for differences in the results.



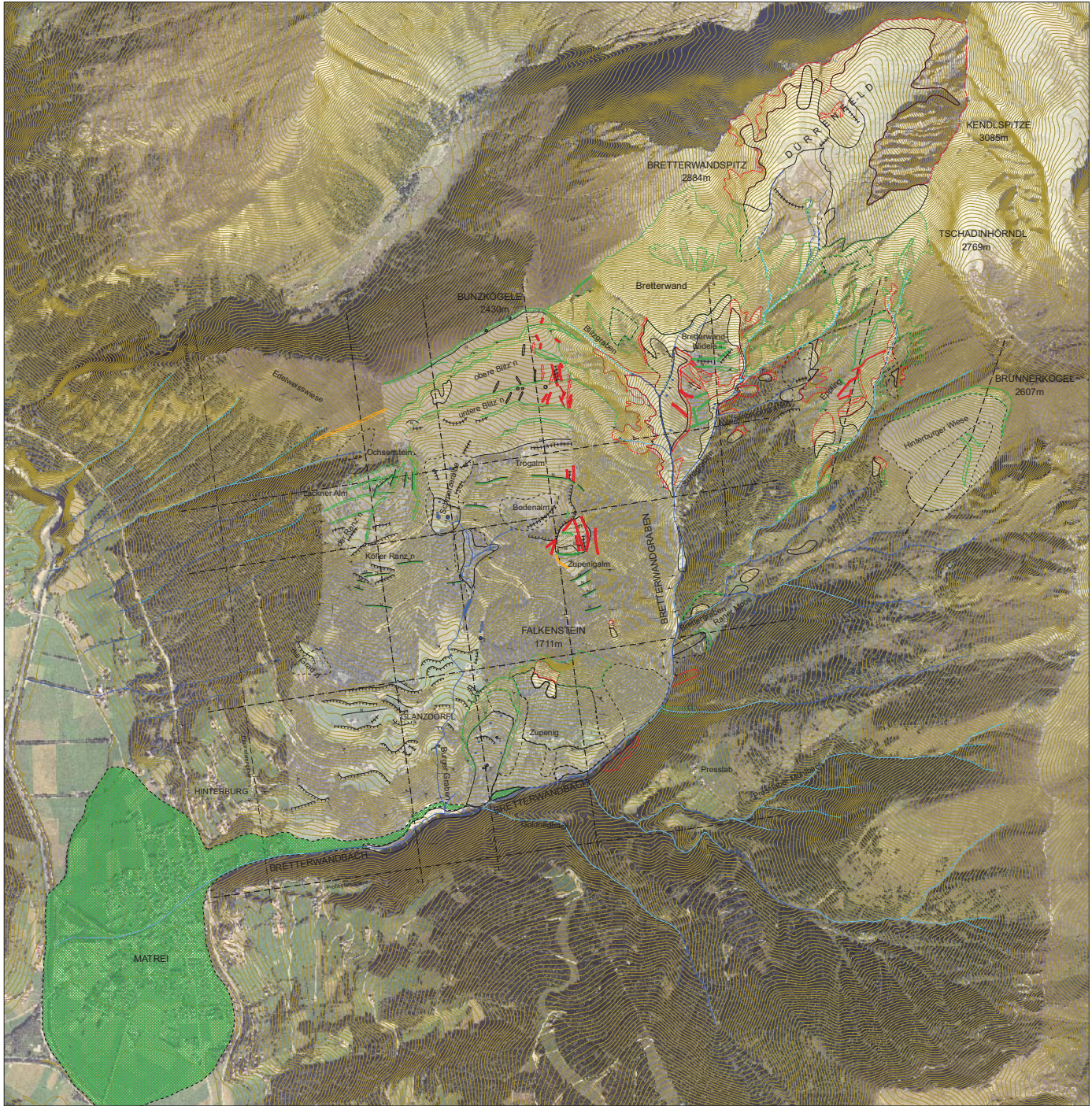
## 5 References

- [1] Goodman, R.: *Introduction to Rock Mechanics*. 2<sup>nd</sup> edition. NY: John Willey and Sons, 1989
- [2] Itasca Consulting Group: *UDEC (Universal Distinct Element Code) Version 4.0*. Minneapolis: MN, 2004





# GEOMORPHOLOGISCHE KARTE EZG BREITTERWANDBACH



## Legende

### Morphologie

#### Abtragsformen

Anbruch aus Massenbewegung  
 - relativ jung, aktiv bzw. zeitweilig aktiv  
 - relik; inaktiv  
 - relik; inaktiv  
 - vermutet

Phänomene "Bergzerreißung": Risse und Spalten  
 - relativ jung, aktiv bzw. zeitweilig aktiv  
 - relik; inaktiv  
 - vermutet

Nischenbrüche aus Stürzen  
 - relativ jung; aktiv  
 - relik; geringfügig aktiv

Ufer-, Feilen-, Rinnenbruch  
 - relativ jung, aktiv bzw. zeitweilig aktiv  
 - relik; inaktiv

#### Akkumulation

Rutschmasse / Kriechmasse  
 - relativ jung  
 - relik  
 - vermutet

Blockschutt  
 - relativ jung  
 - relik

Hangschutt  
 - relativ jung  
 - relik

Fluviatile Ablagerungen  
 - relativ jung  
 - relik

Murablagerungen  
 - relativ jung  
 - relik

#### Allgemeine Morphologie

- abflusslose Senke allgemein  
 - Versickerungsschlund  
 - Buckelfläche  
 - Geländekarte allgemein  
 - Nackental allgemein  
 - Hangneigung in Allgrad  
 - Rinne allgemein  
 - Wall / Rücken  
 - markant  
 - angedeutet

#### Lagerung

+ 0 - 5°  
 - 6 - 30°  
 - 31 - 60°  
 - 61 - 85°  
 - 86 - 90°

### Hydrologie

#### Quellausritt

- frei  
 - gefasst  
 - Sinterbildung

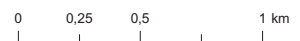
#### Stehendes Gewässer

- Teich  
 - Vermässungszone  
 - Moor allgemein

Sohlensausbildung und Wasserführung von Gerinnen  
 - Fels, ständig wasserführend  
 - Fels, periodisch wasserführend  
 - Lockermaterial, ständig wasserführend  
 - Lockermaterial, periodisch wasserführend



1 : 10.000





# STRUKTURGEOLOGISCHE KARTE DER HANGTEKTONIK EZG BRETTERWANDBACH



## Legende

### Begrenzung der Massenbewegungen

- relativ jung; aktiv bzw. zeitweilig aktiv
- relik; inaktiv

### Geomorphologische Strukturen im Zusammenhang mit Hangtektonik

#### Abschiebungen

- relativ jung; aktiv bzw. zeitweilig aktiv
- (alt) relik; inaktiv gesichert / vermutet

#### Risse und Spalten

- relativ jung; aktiv bzw. zeitweilig aktiv
- relik; inaktiv

- Rücken
- Nackental
- Geländekante

### Strukturgeologische Messungen im Zusammenhang mit Hangtektonik

- Einfallsrichtung / Fallwert Schieferung in Altgrad; Lagerung aufrecht
- Einfallsrichtung / Fallwert Schieferung in Altgrad; Lagerung überkippt
- Einfallsrichtung / Abtauchen Faltenachsen in Altgrad
- Synform

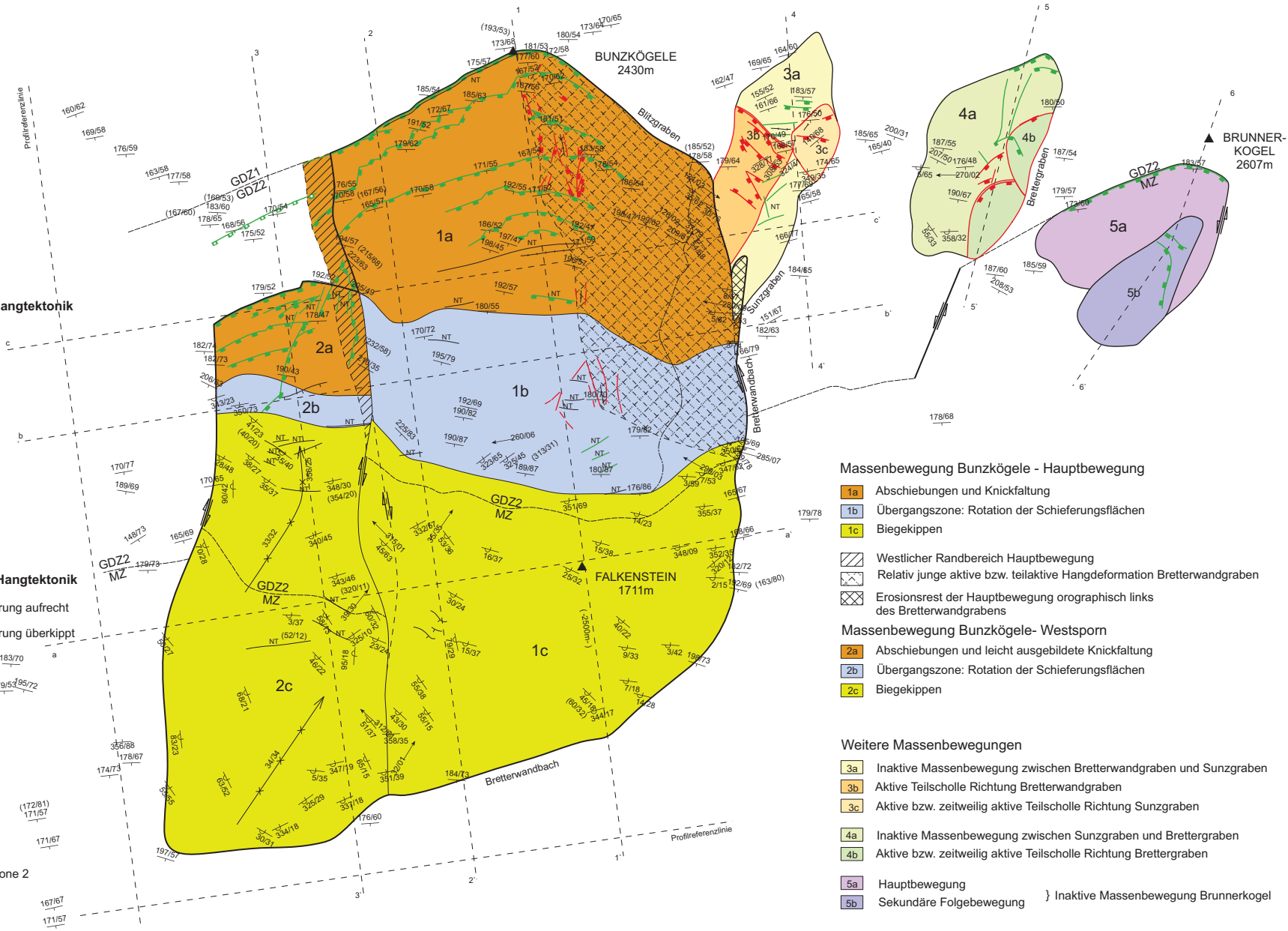
### Lateralbewegungen / Blattverschiebungen

- sinistral / dextral schrägabschiebend
- Spur Achsenfläche Knickbänder

### Allgemeines

- Grenze zwischen Matrieer Zone und Glocknerdecke Zone 2 bzw. zwischen Glocknerdecke Zone 2 und 1

1 - - - - 1' Profillinien



### Massenbewegung Bunzkögele - Hauptbewegung

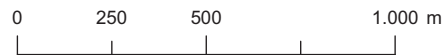
- 1a Abschiebungen und Knickfaltung
- 1b Übergangszone: Rotation der Schieferungsflächen
- 1c Biegekippen
- Westlicher Randbereich Hauptbewegung
- Relativ junge aktive bzw. teilaktive Hangdeformation Bretterwandgraben
- Erosionsrest der Hauptbewegung orographisch links des Bretterwandgrabens

### Massenbewegung Bunzkögele- Westsporn

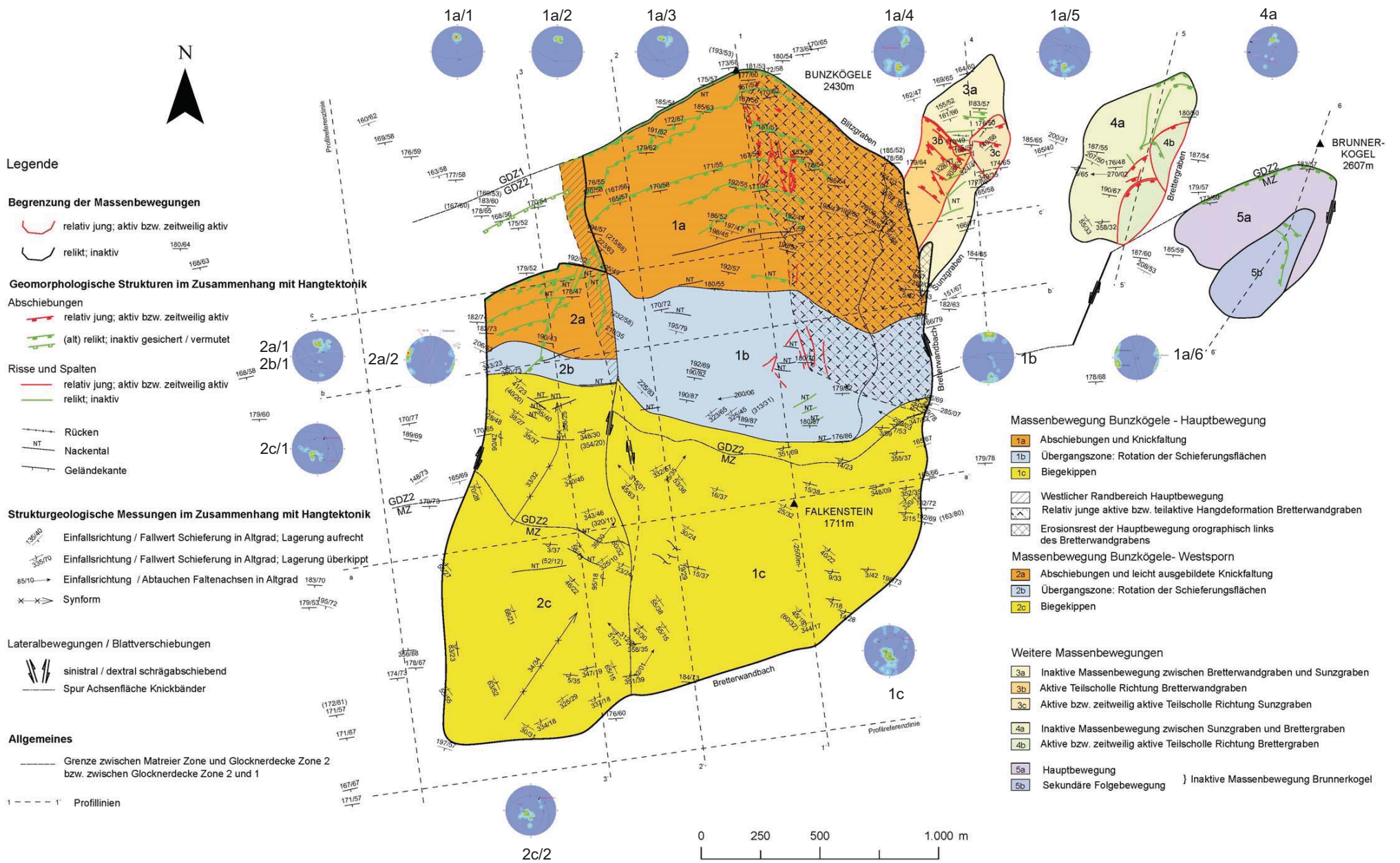
- 2a Abschiebungen und leicht ausgebildete Knickfaltung
- 2b Übergangszone: Rotation der Schieferungsflächen
- 2c Biegekippen

### Weitere Massenbewegungen

- 3a Inaktive Massenbewegung zwischen Bretterwandgraben und Sunzgraben
- 3b Aktive Teilscholle Richtung Bretterwandgraben
- 3c Aktive bzw. zeitweilig aktive Teilscholle Richtung Sunzgraben
- 4a Inaktive Massenbewegung zwischen Sunzgraben und Brettergraben
- 4b Aktive bzw. zeitweilig aktive Teilscholle Richtung Brettergraben
- 5a Hauptbewegung
- 5b Sekundäre Folgebewegung














# STRUKTURGEOLOGISCHE KARTE DER HANGTEKTONIK EZG BRETTERWANDBACH



# LEGENDE PROFILE

## Massenbewegungen EZG Bretterwandbach

### GEOLOGIE

		<b>Quartär</b>
		 Moräne
		<b>Penninikum</b>
		<u>Matreier Schuppenzone (Trias - M. Kreide)</u>
MZ	Bündner Schiefer Gr.	 Dunkler Phyllit, untergeordnet Kalkglimmerschiefer
		 Serpentin, Talkschiefer
	Permotrias	 Dolomitmarmor
		 Kalkmarmor
		 Gips
		 Quarzit
		<u>Glockner Decke (U. Kreide - M. Kreide)</u>
GDZ2	Bündner Schiefer Gruppe	 Höhere Glockner Decke Phyllit und Kalkglimmerschiefer
		 Serpentin
GDZ1	Bündner Schiefer Gruppe	 Tiefere Glockner Decke Kalkglimmerschiefer
		 Prasinit, Grünschiefer

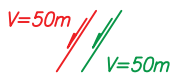
## HANGTEKTONIK GROSSHANGBEWEGUNG



Gesteinslamellenraster: unverformt / verformt



Einfallsrichtung und Fallwert in Altgrad (für die strukturelle Rekonstruktion der Massenbewegung häufig in die Zeichenebene projiziert, Werte in Klammer scheinbares Einfallen)



Abschiebungen (**relativ jung** / **relikt**) mit Angabe der vertikalen Höhe der Abbruchwand; z.B. V=50m



Syn- und Antithetische Abschiebungen (schematisch) zu den den Hauptabschiebungen (relikt)



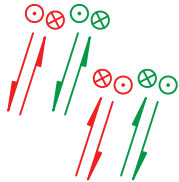
Relativer Bewegungssinn (**relativ jung** / **relikt**)



"Nulllinie": Grenze zwischen bewegt / unbewegt



Spur der Faltenachsebene



sinistral schrägabschiebend (**relativ jung** / **relikt**)

dextral schrägabschiebend (**relativ jung** / **relikt**)

## SEKUNDÄRE MASSENBEWEGUNGEN

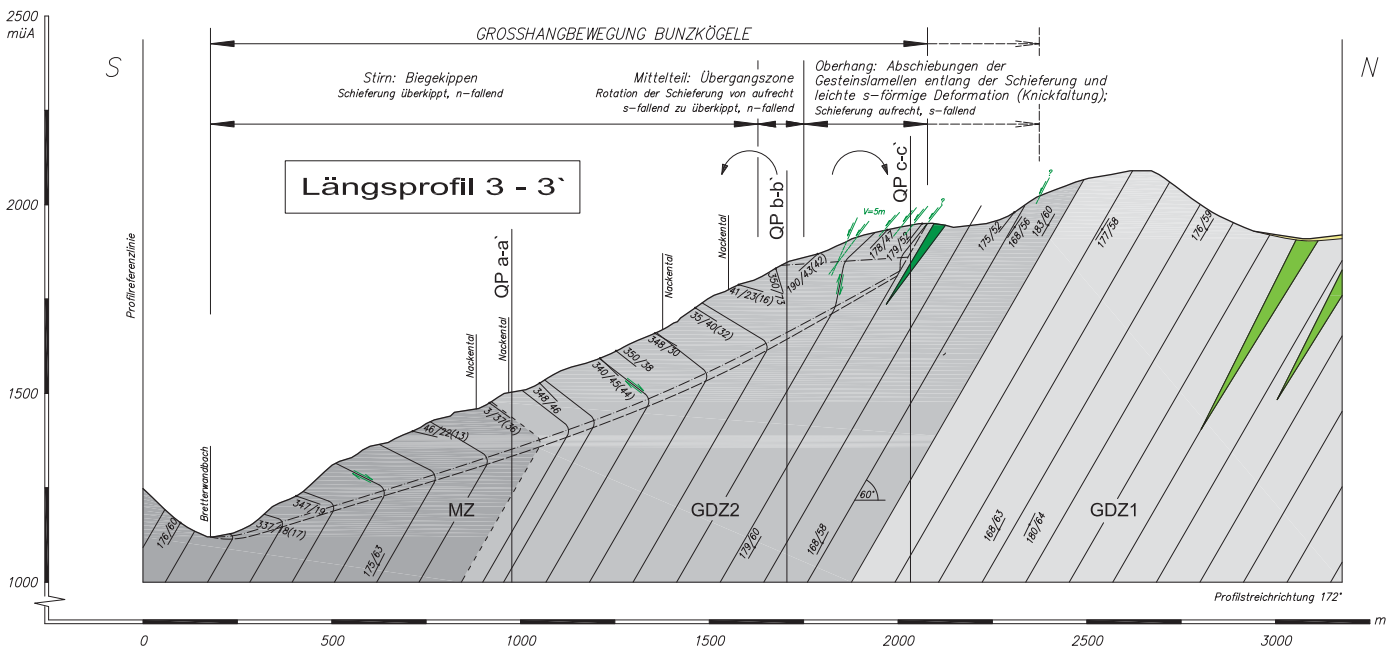
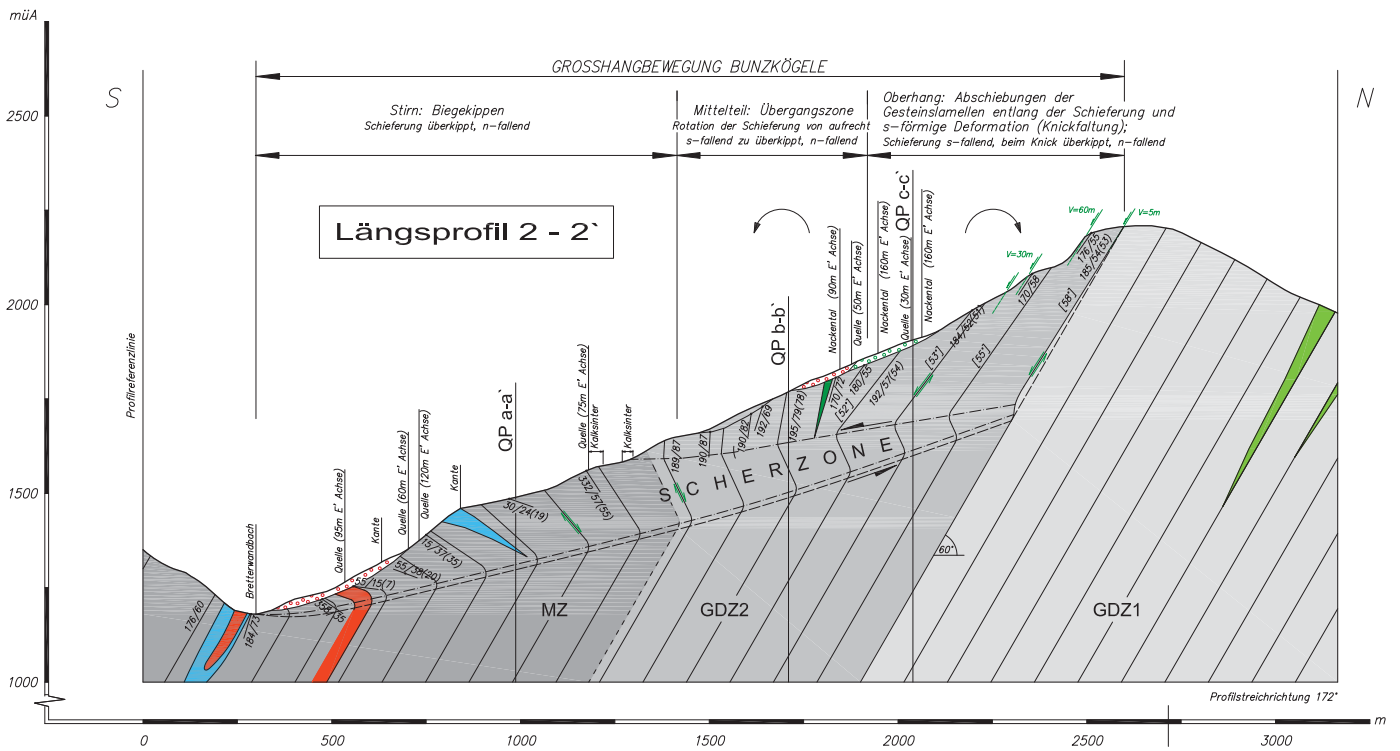
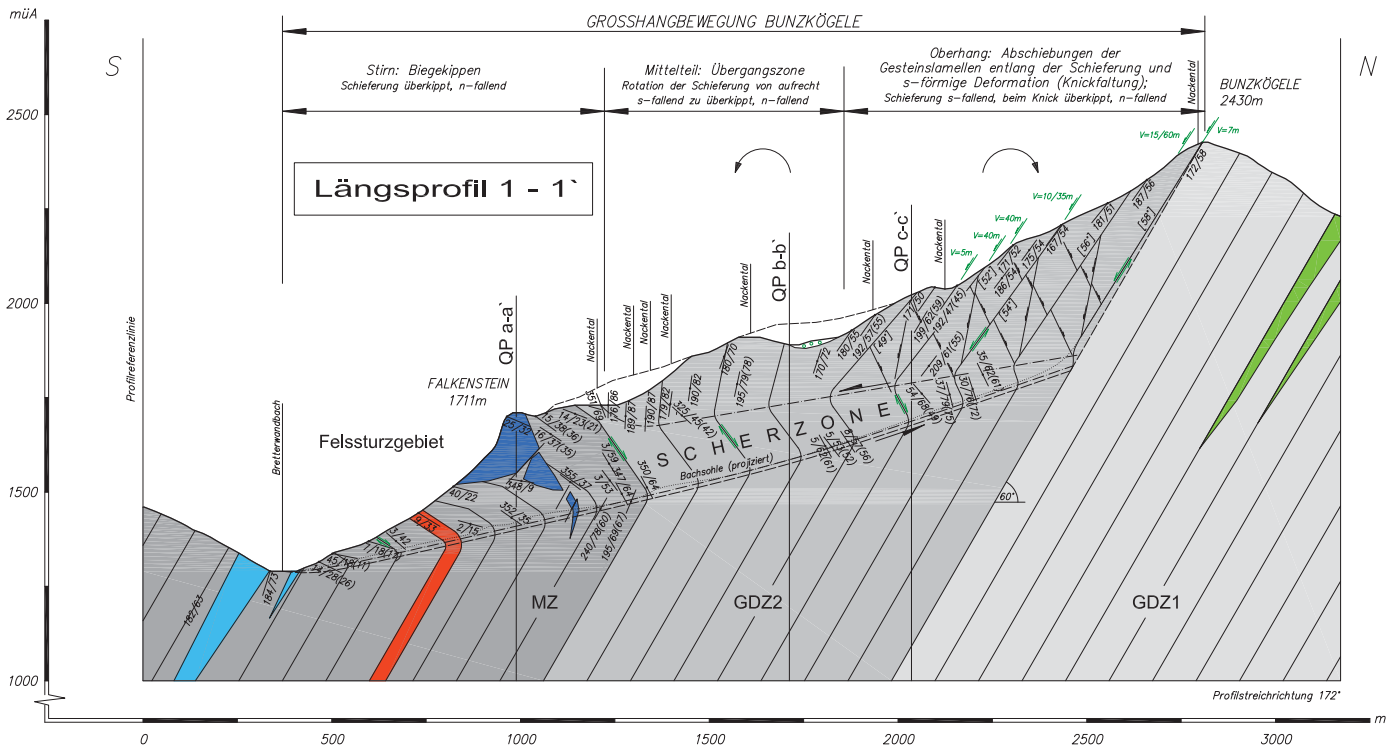


Aktiver Kriechhang / Rutschung

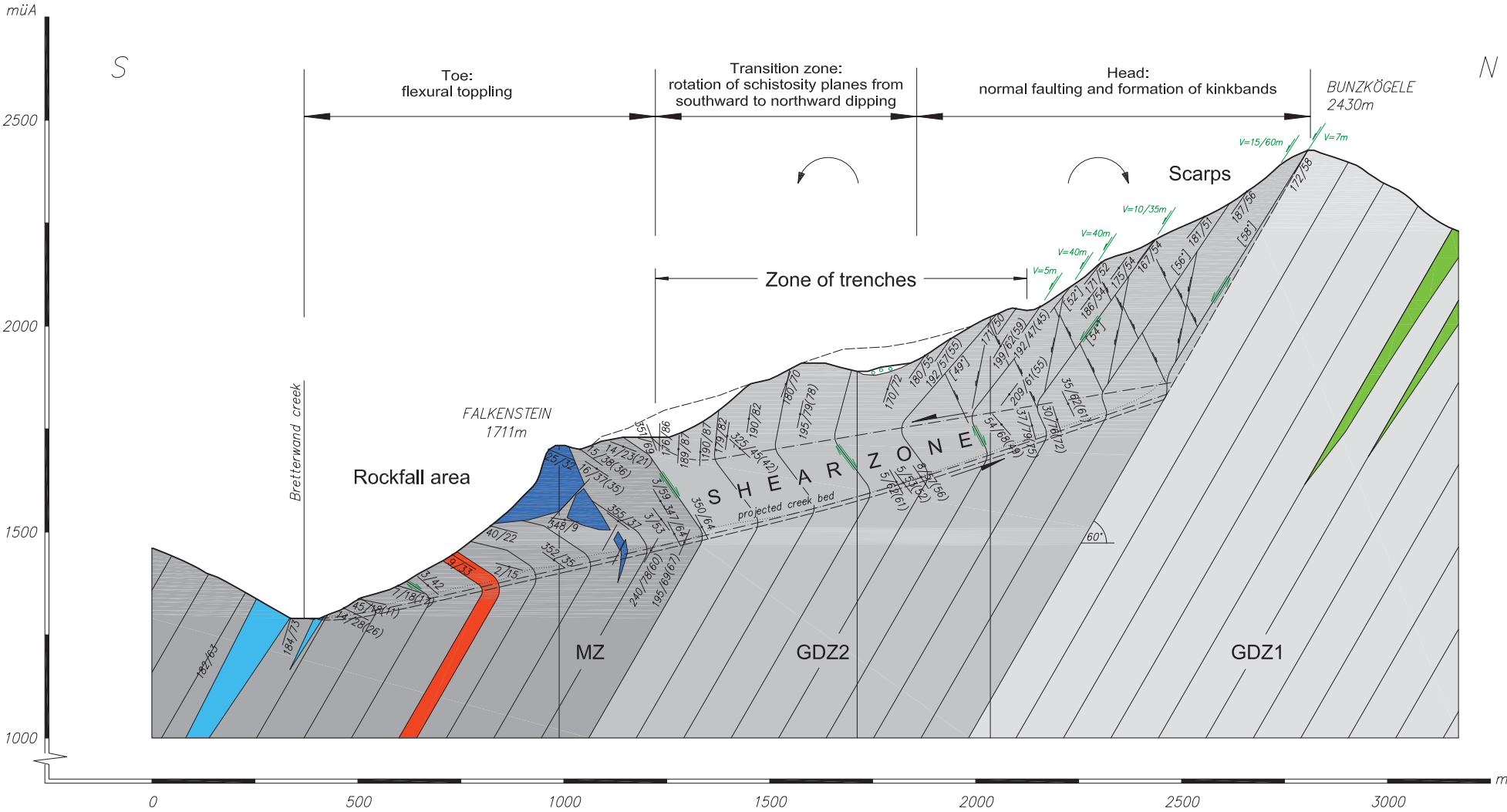


Inaktiver Kriechhang / Rutschung



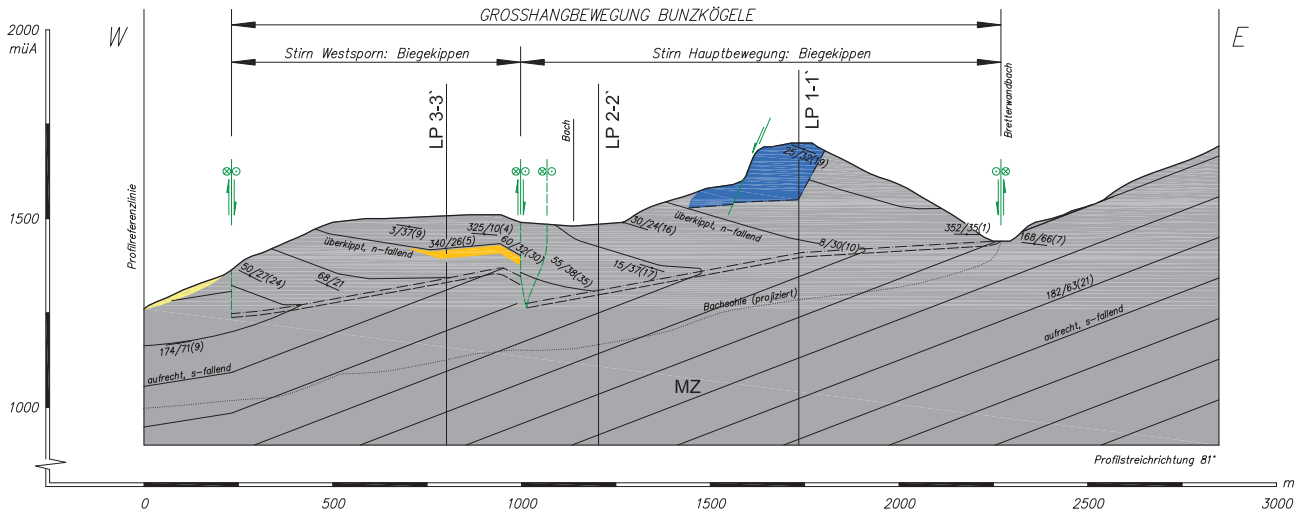


# Geological cross section 1 - 1'

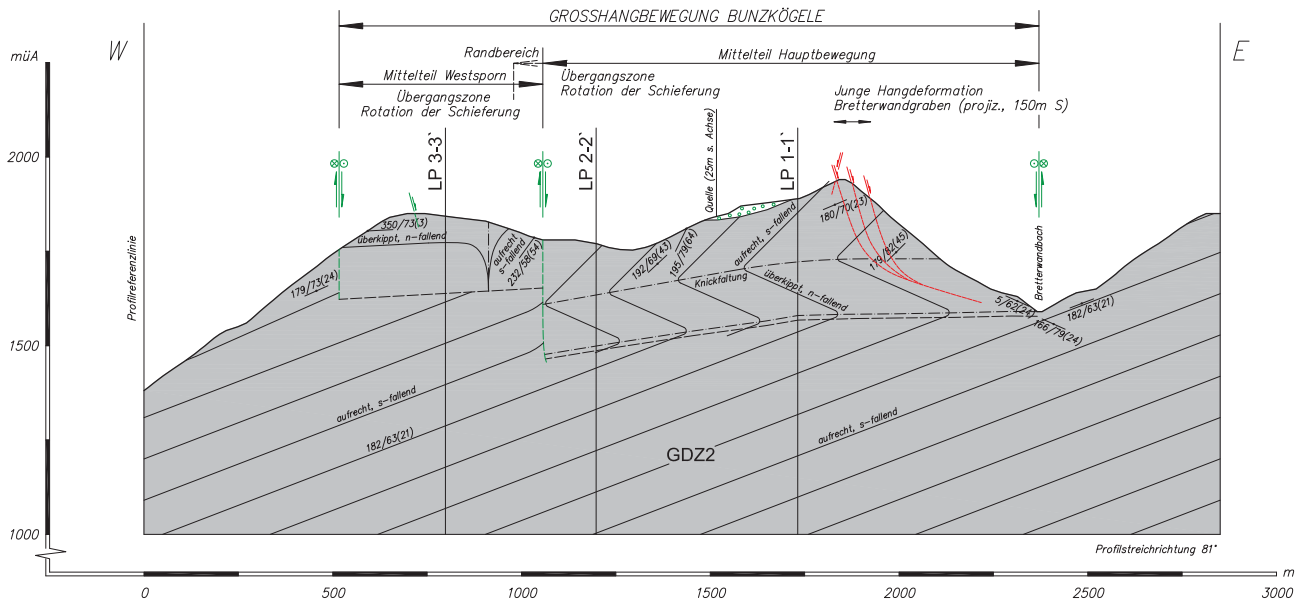




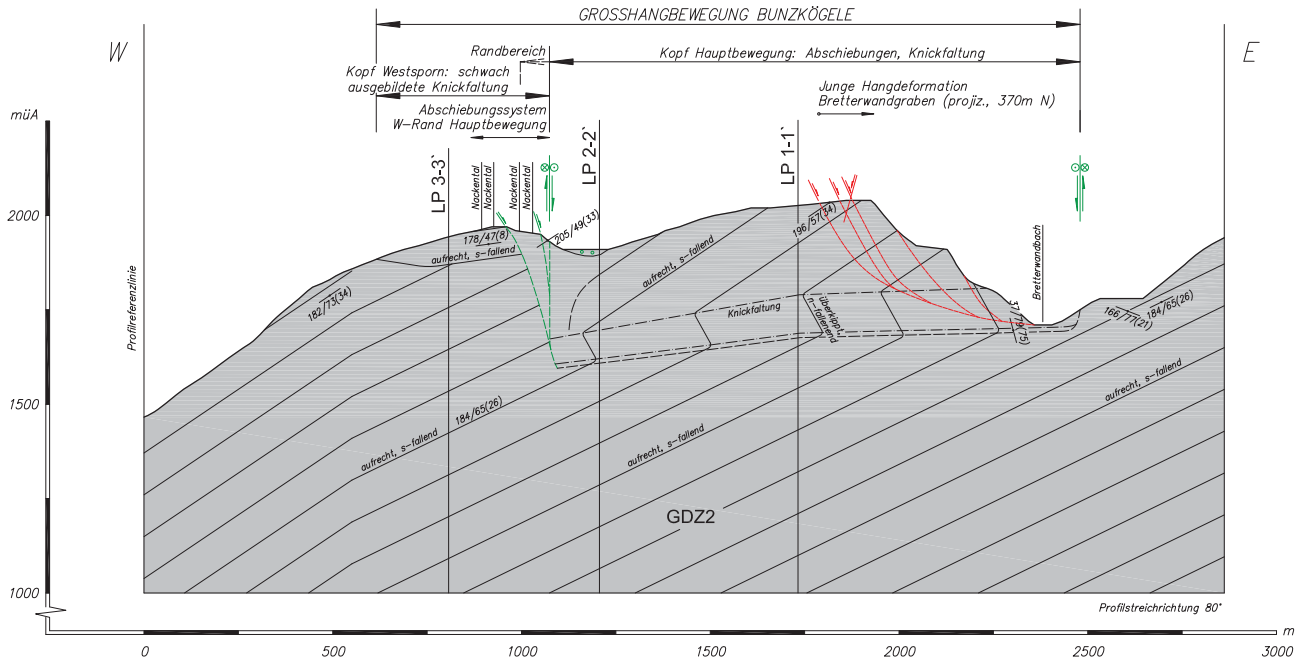
### Querprofil a - a'

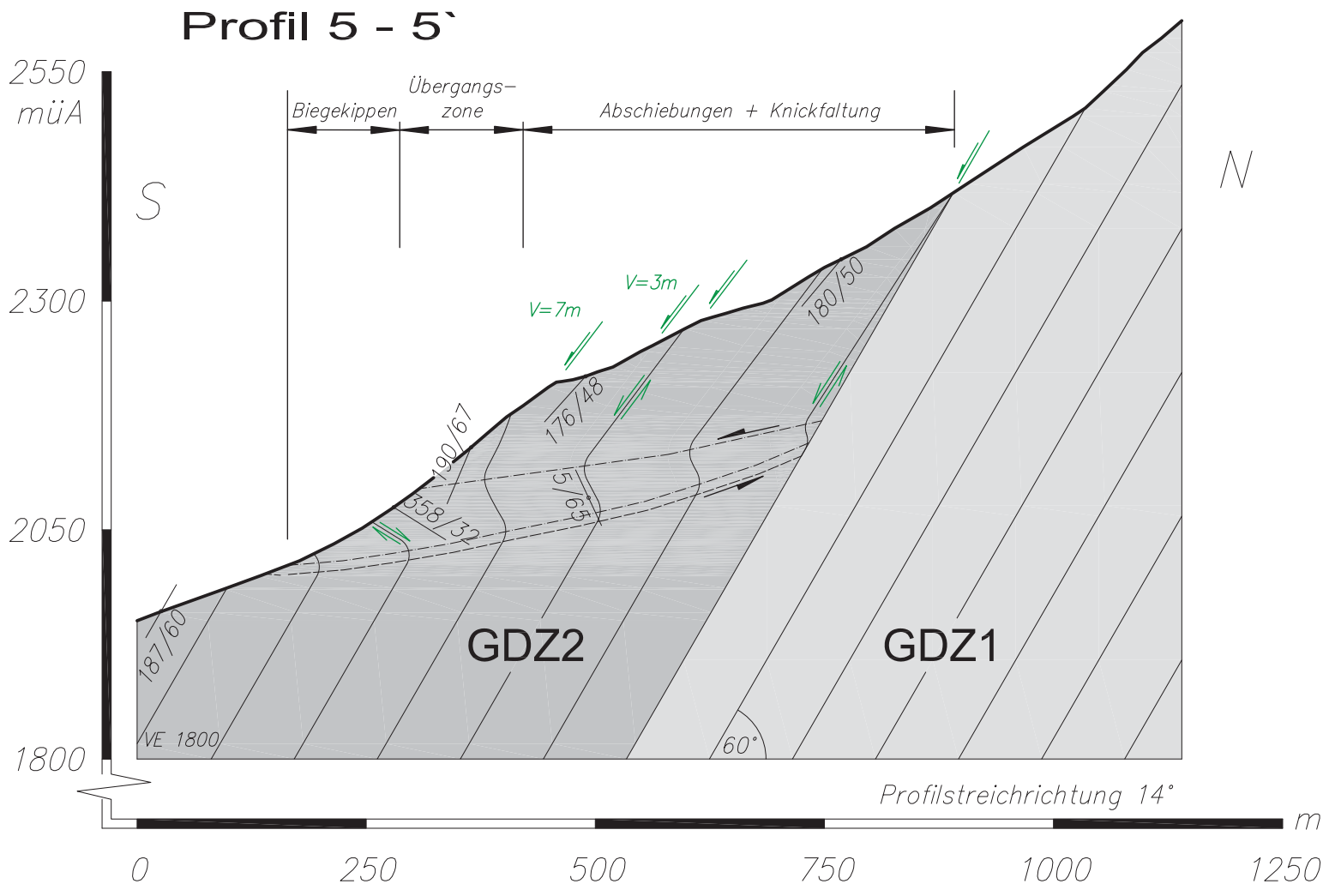
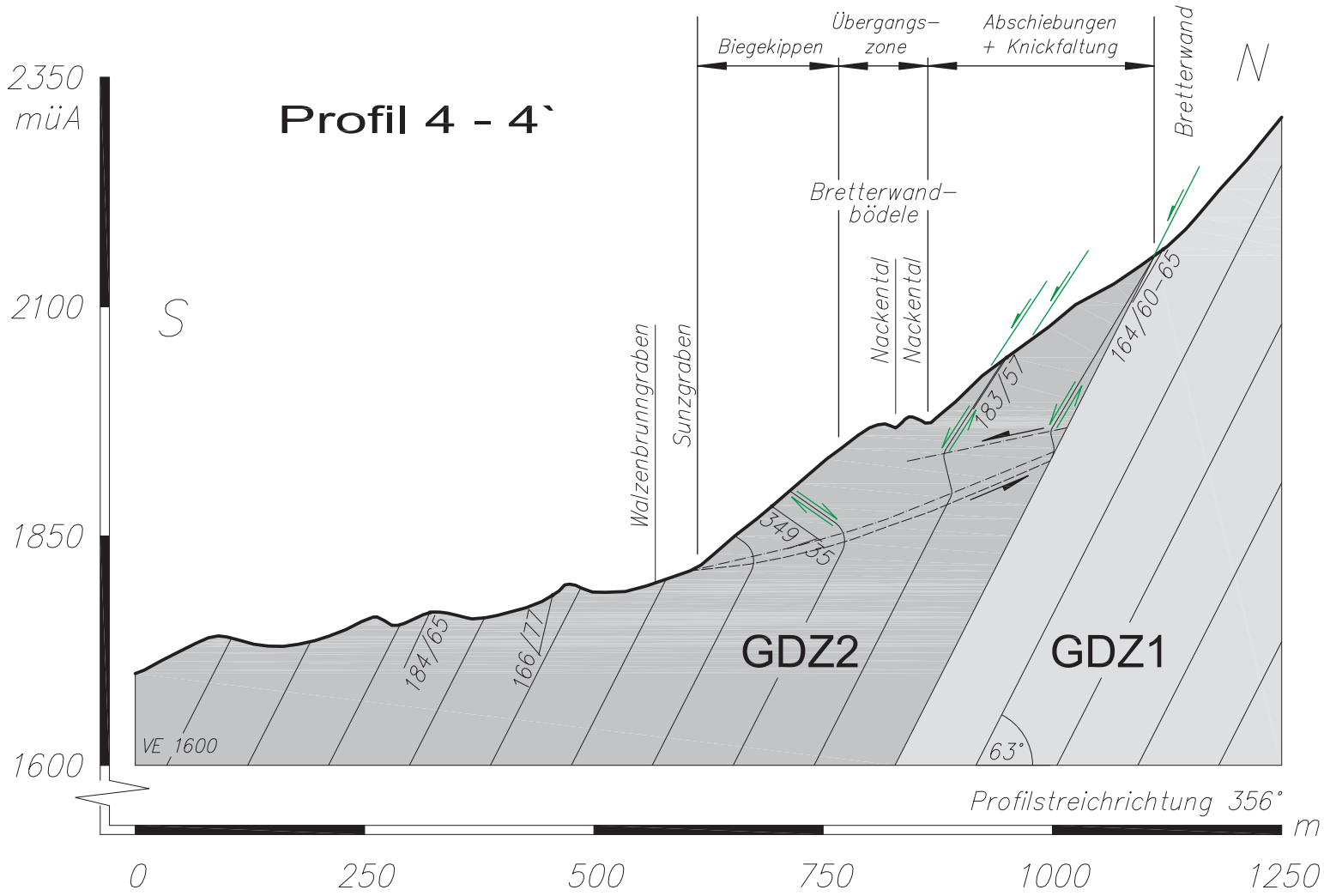


### Querprofil b - b'



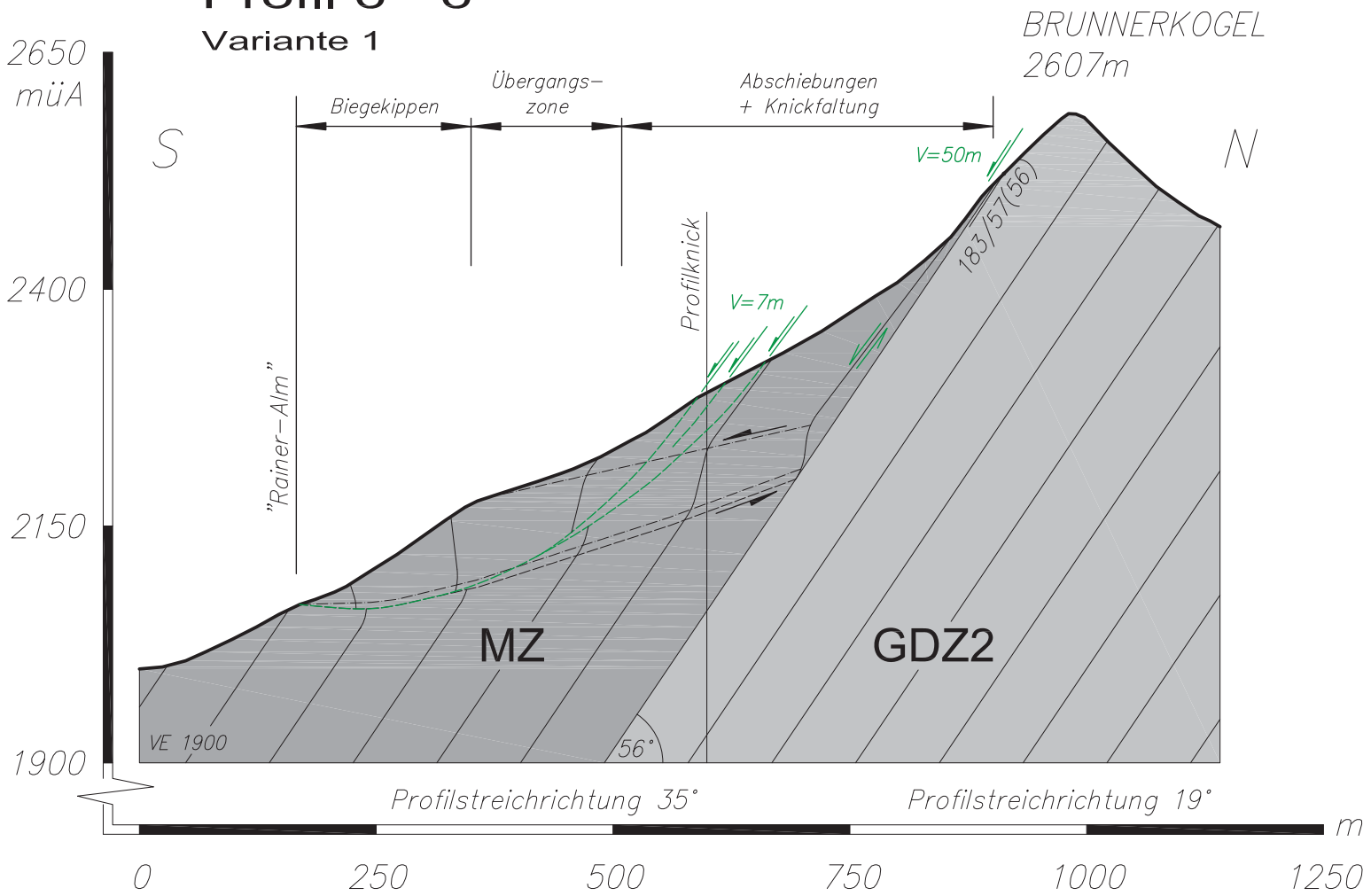
### Querprofil c - c'





# Profil 6 - 6`

## Variante 1



# Profil 6 - 6`

## Variante 2

