

Beurteilung der lokalen und globalen Standsicherheit einer Tagebauendböschung im Haselgebirge

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Thomas Frühwirt (Montanuniversität Leoben)

Dipl.-Ing. Felix Reiter

(Montanuniversität Leoben)

Dipl.-Ing. Dr.mont. Thomas Stoxreiter

(Moldan Baustoffe GmbH & Co KG)

Versetz' Berge

Stand der Technik zur Beurteilung der Standsicherheit einer Böschung

Status Quo und Blick in die nahe Zukunft

BGBl. II Nr. 330/2024

Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen bei der Durchführung von Arbeiten im Tagbau (**Tagbauarbeitenverordnung** – TAV)

Eurocode 7 (ÖN EN 1997 2014), (ÖNORM B 1997 2021)

→ Schlussentwurf der 2. Generation verfügbar (t.b.p. 2027)

ÖGG Österreichische Gesellschaft für Geomechanik. 2026. Empfehlung, **Beurteilung der Standsicherheit von Felsböschungen** (t.b.p. 2026)

Begriffsdefinitionen

- **Felsböschung**

Geneigter, natürlicher oder künstlich geschaffener Geländebereich im Fels.

- **Temporäre Böschung**

Böschung, die im Zuge der Abtrags- oder Gewinnungstätigkeit einen Zwischenzustand darstellt.

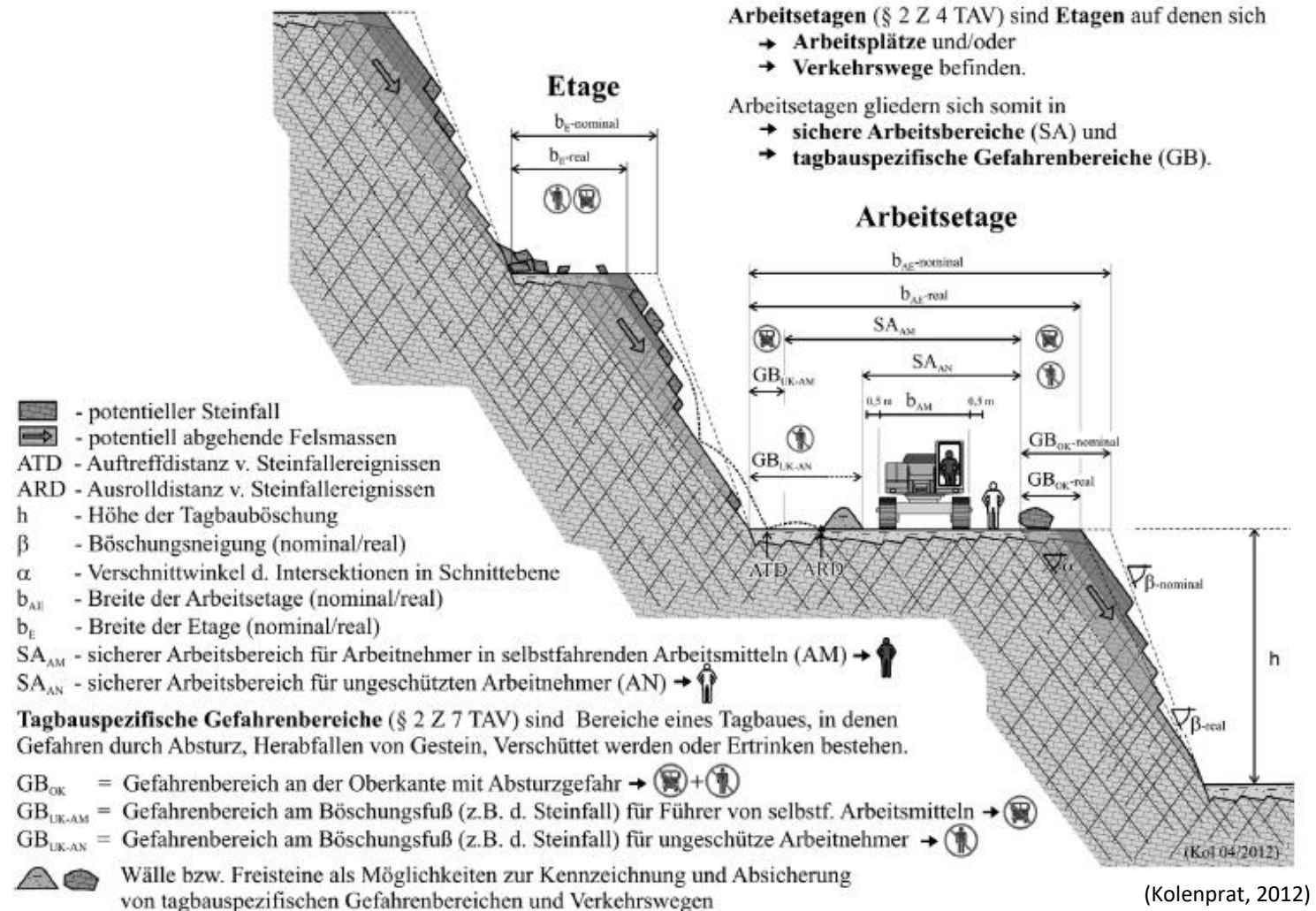
- **Standsicherheit**

Sicherheit gegen Versagen (Bruchzustand) einer Felsböschung infolge Überschreitung der Scherfestigkeit des Baugrundes und gegebenenfalls der Widerstände der konstruktiven Elemente (Definition in Anlehnung an ÖNORM B 1997-1-5 (2017)).

Tagbauarbeitenverordnung



- Arbeitnehmerschutz
- Gefahrenvermeidung
- Tagebauspezifischer Gefahrenbereich

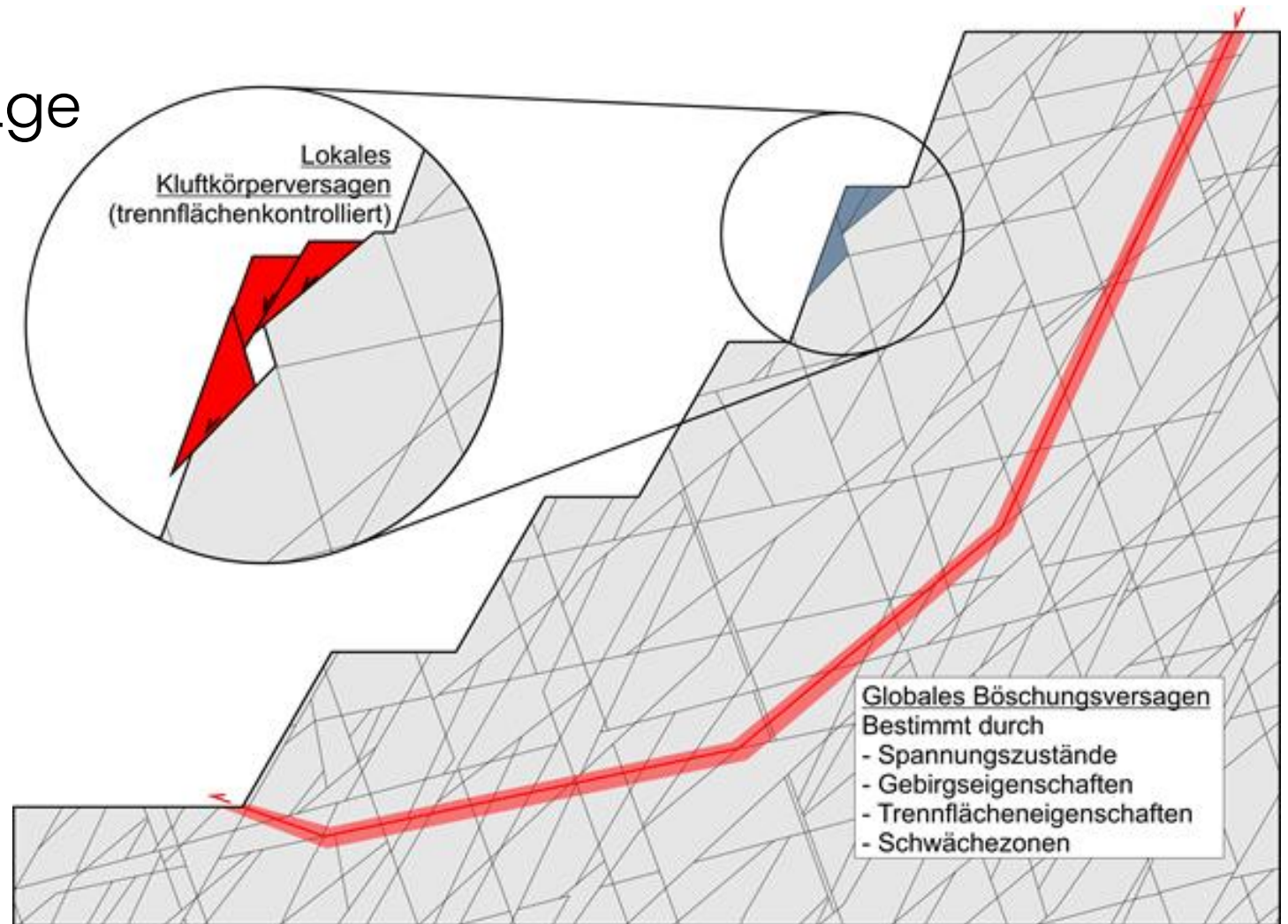


(Kölnpratt, 2012)

Einfluss des Betrachtungsmaßstabs

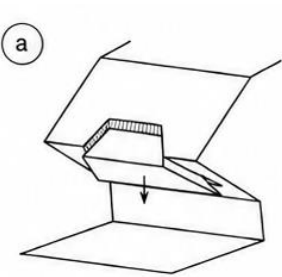


- Betrachtung einer Etage
→ Lokales Versagen
- Betrachtung des Böschungssystems
→ Globales Versagen

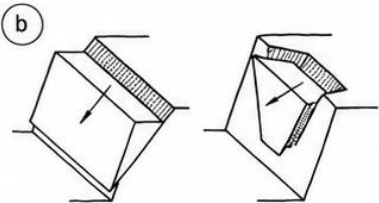


(ÖGG, 2026)

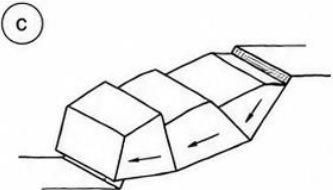
Versagensmechanismen



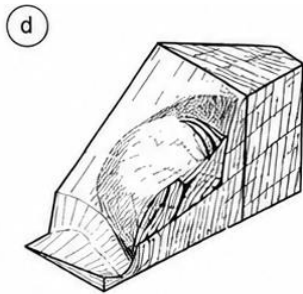
Falling of rock blocks
R.E. GOODMAN &
G.-H. SHI (1985)



**Sliding of a rock block
on a single or on two
discontinuities**
Translational sliding
R.E. GOODMAN &
G.-H. SHI (1985)



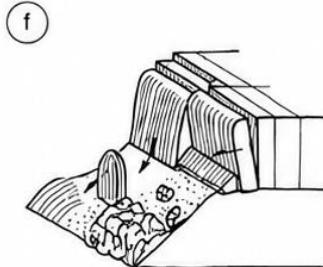
**Sliding of several rock
blocks on a polygonal
sliding plane**
P. GUSSMANN (1988)



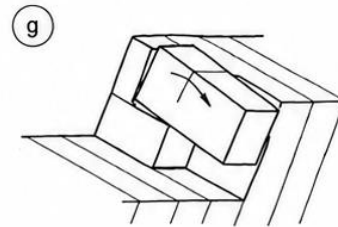
Rock slumping
Backward rotation
of rock blocks
D.S. KIEFFER (1998)



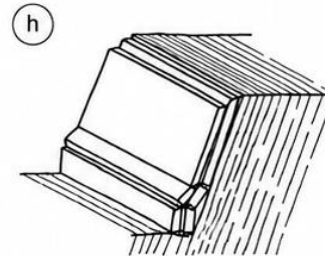
**Sliding of a fractional
body on a shelly, newly
formed sliding surface**
Rotational sliding;
mainly in rock masses
of low strength, e.g.
heavily fractured rock;
block dimensions $\ll$
slope height
A.W. BISHOP (1955)



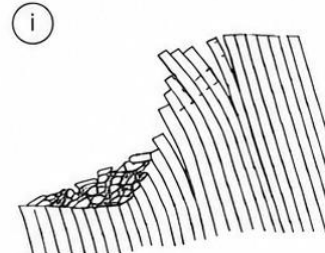
**Translational or
rotational descent of
tower- or slab-shaped
blocks of competent
rock upon an
incompetent base**
"Hard on soft"
R. POISEL &
W. EPPENSTEINER
(1988)



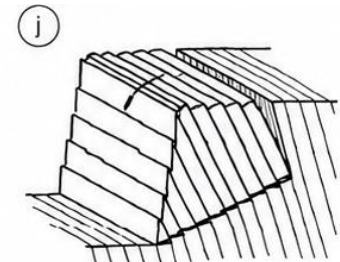
**Rotation of single
rock blocks**
e.g. Rotation of a rock
block on a discontinuity
due to eccentric bearing
partial yielding of bearing
slumping of one single
rock block
W. WITKE (1990)



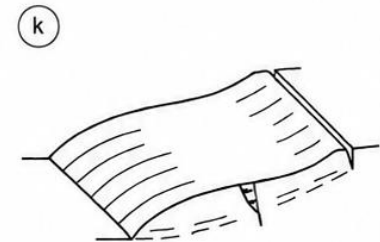
**Buckling of column-
or slab-shaped
rock blocks**
Column- or slab thickness
 $\ll$ slope height
D. S. CAVERS (1981)



Flexural toppling
Bending of column- or
slab shaped rock blocks
like cantilever beams
M. HITTINGER &
R.E. GOODMAN (1978)



**Toppling of column-
or slab-shaped
rock blocks**
Forward rotation similar
to dominos; mainly when
joint strength is low and
rock block strength is high
R.E. GOODMAN &
J.W. BRAY (1976)



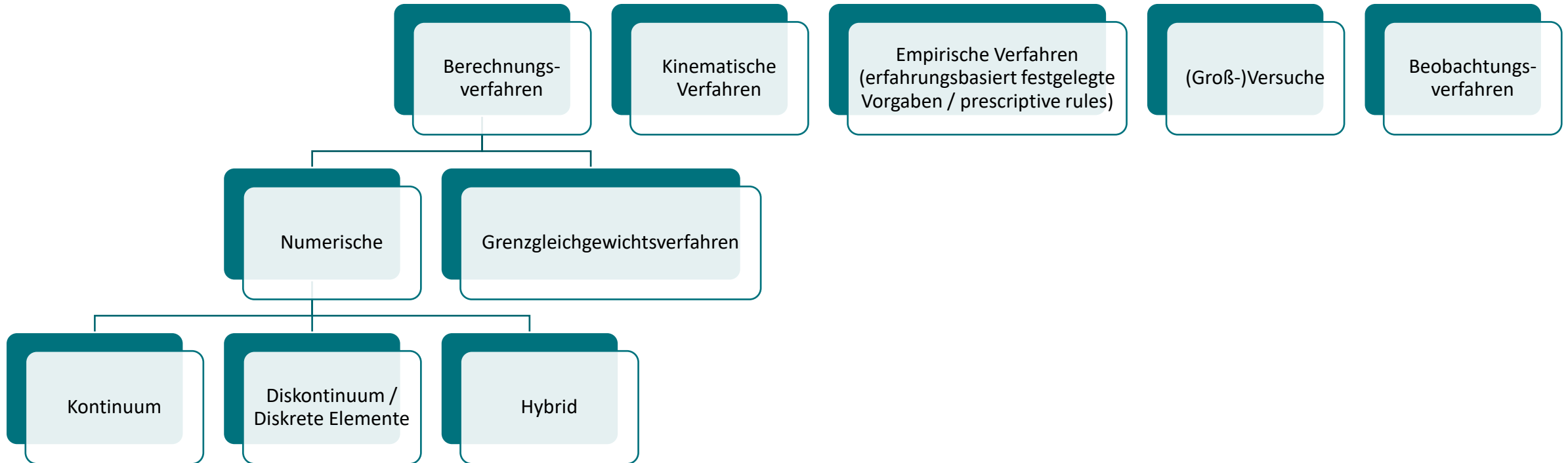
Slope creep
Continuously decreasing
creep of rock mass
downslope with
increasing depth (mainly
in rock masses of low
strength, e.g. shales,
phyllites)
O.C. ZIENKIEWICZ,
C. HUMPHESON &
R.W. LEWIS (1975)



Kink band slumping
S-shaped deformation of
rock lamellae due to slope
creep
A. PREH (2004)

(Poisel & Preh, 2004)

Beurteilungsverfahren



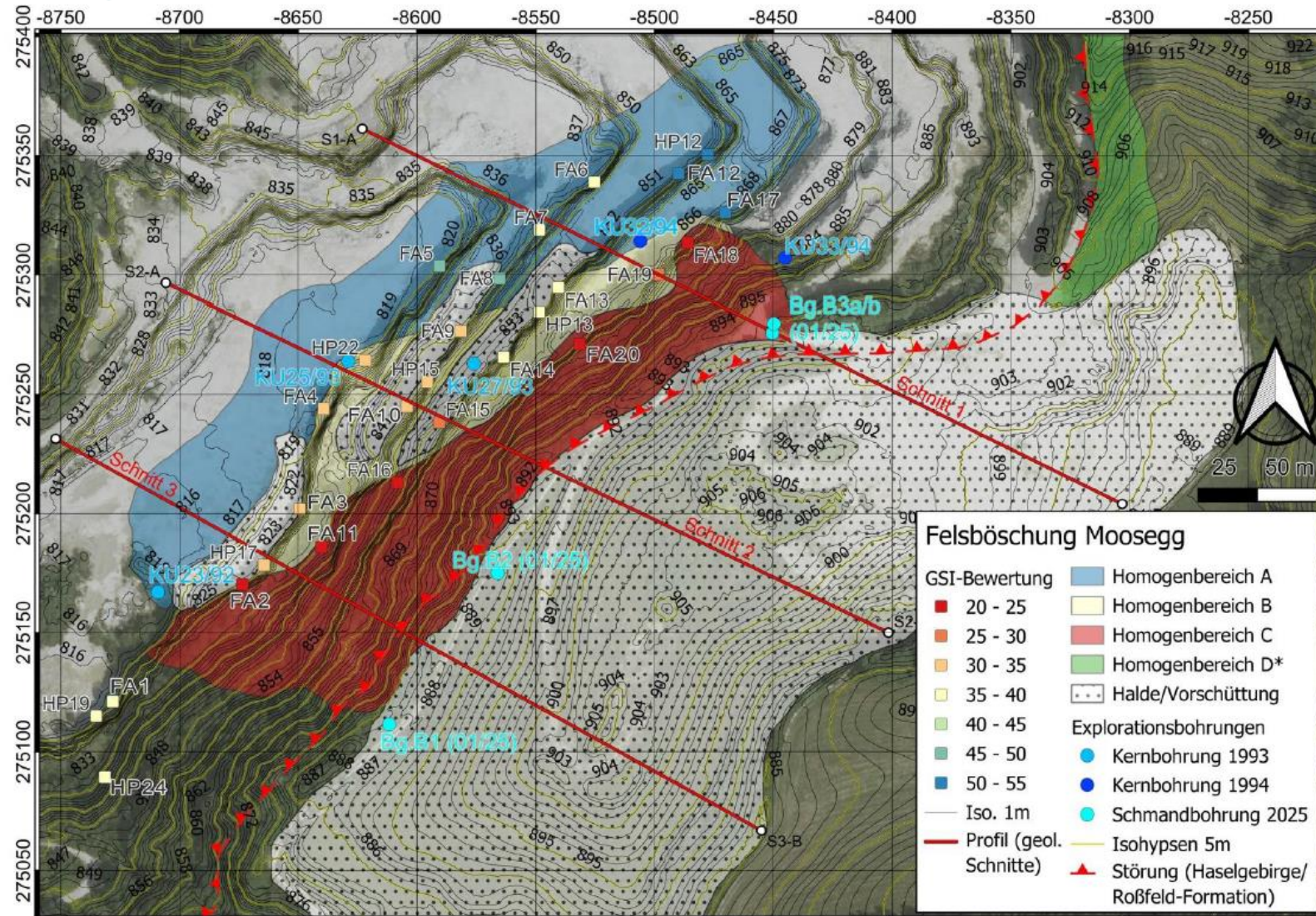
Untersuchungsobjekt

- Steinbruch Moosegg
- MOLDAN Baustoffe GmbH & Co KG
- Anhydrit- und Gipsabbau
- Abmessungen Endböschung SüdOst
 - Länge 300 m
 - Höhe 72 m
 - Generalneigung 45°
 - 4 Etagen mit 15m Höhe
 - Neigung 70°



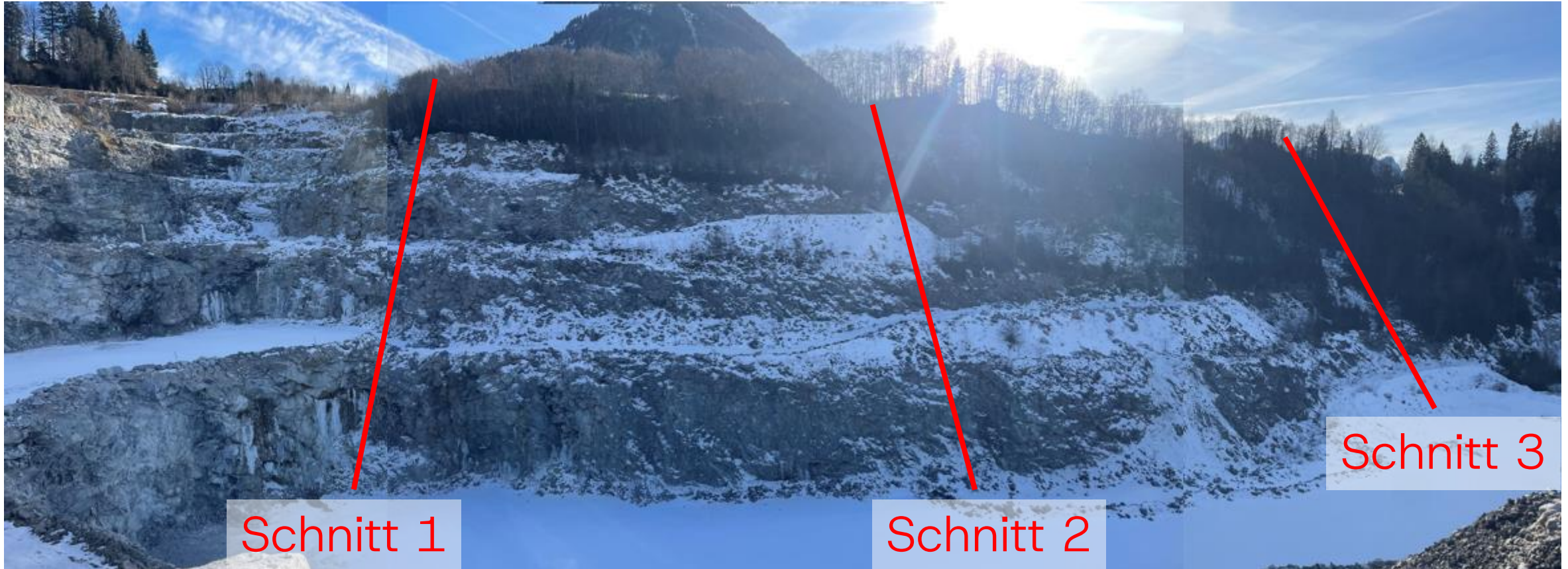
(SAGIS, 2025)

Homogenbereiche & GSI-Werte



(Feitzinger, 2025)

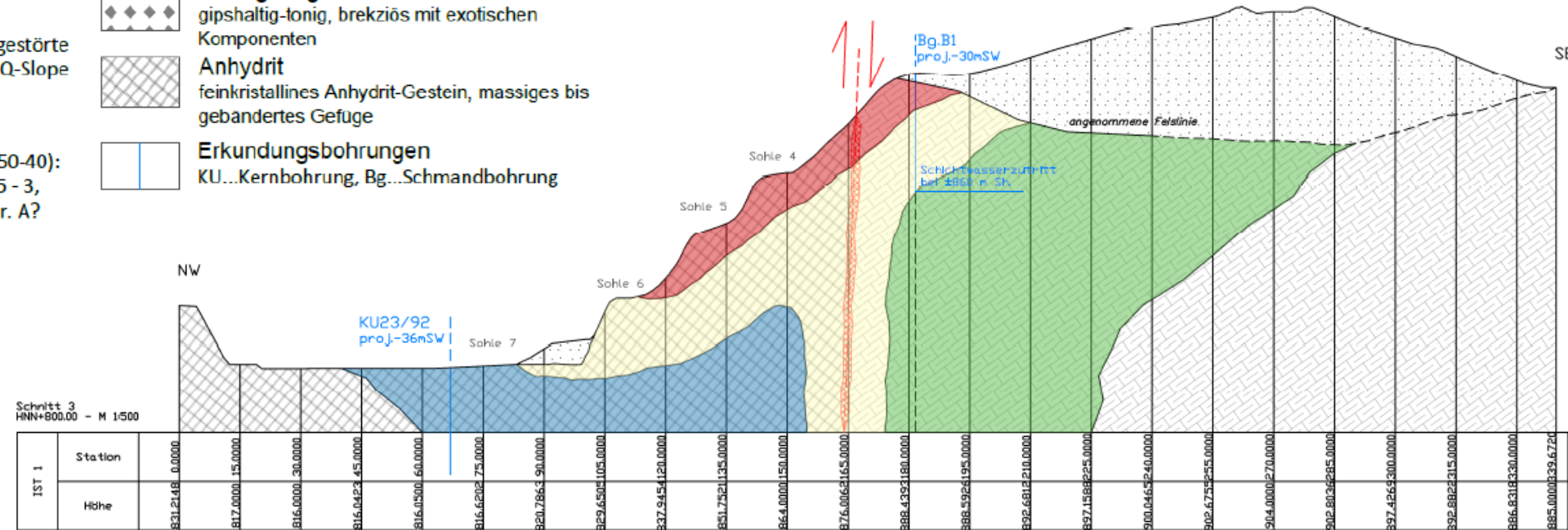
Blick auf die Endböschung Richtung Süd-Ost



Homogenbereiche & GSI-Werte

Legende

- Homogenbereich A**
blockig (GSI 60-45): verzahnte Gebirgsstruktur; drei TF-Sets mit rauer Gesteinsoberfläche (Q-Slope 6,0 - 5,3): gute (tw. schlechte) Gebirgsqualität
- Homogenbereich B**
sehr blockig (GSI 40-30): verzahnt, tw. gestörtes Gebirge, mäßig verwittert; drei/vier TF-Sets mit rauer Gesteinsoberfläche (Q-Slope 0,82 - 0,78): schlechte Gebirgsqualität
- Homogenbereich C**
blockig/gestört (GSI 30-20): gefaltet-gestörte Gebirgsstruktur; verwittertes Gestein (Q-Slope 0,12 - 0,05): sehr schlechte Gebirgsqualität
- Homogenbereich D* (angenommen)**
dünn-mittelbankige Roßfeldschichten (GSI 50-40): ±drei TF-Sets (hangparallele ss)?, (Q-Slope 5 - 3, geschätzt), ähnlich Gebirgsqualität Hom.ber. A?
- Abraumhalden/Vorschüttung**
anthropogene Ablagerungen, tw. glazigene Sedimente an Grenze Felslinie-Haldenbasis
- Störungszone (vgl. Homogenbereich C)**
Kontakt Haselgebirge/Roßfeld-Formation, stark zerlegtes Gebirge erwartet
- Roßfeld-Formation**
undifferenziert - Untere und Obere Roßfeldschichten, hpts. grauer Mergelkalk bis feiner Kalksandstein
- Haselgebirge**
gipshaltig-tonig, brekziös mit exotischen Komponenten
- Anhydrit**
feinkristallines Anhydrit-Gestein, massiges bis gebändertes Gefüge
- Erkundungsbohrungen**
KU...Kernbohrung, Bg...Schmandbohrung



(Feitzinger, 2025)

Trennflächeneigenschaften



Set	Bezeichnung	Einfallsrichtung/ Einfallswinkel [°]	Abstand [m]
h	(Harnisch-)flächen	296/58	0.5 – 1.0
k1	(Groß-)klüfte	209/12	1.5 – 4.0
sf	Bänderung	356/73	
k2.1	Klüfte	228/69	1.0 – 2.0
k2.2	Klüfte	070/67	1.0 – 2.0

Trennflächensets mit Müller-Fähnchen:

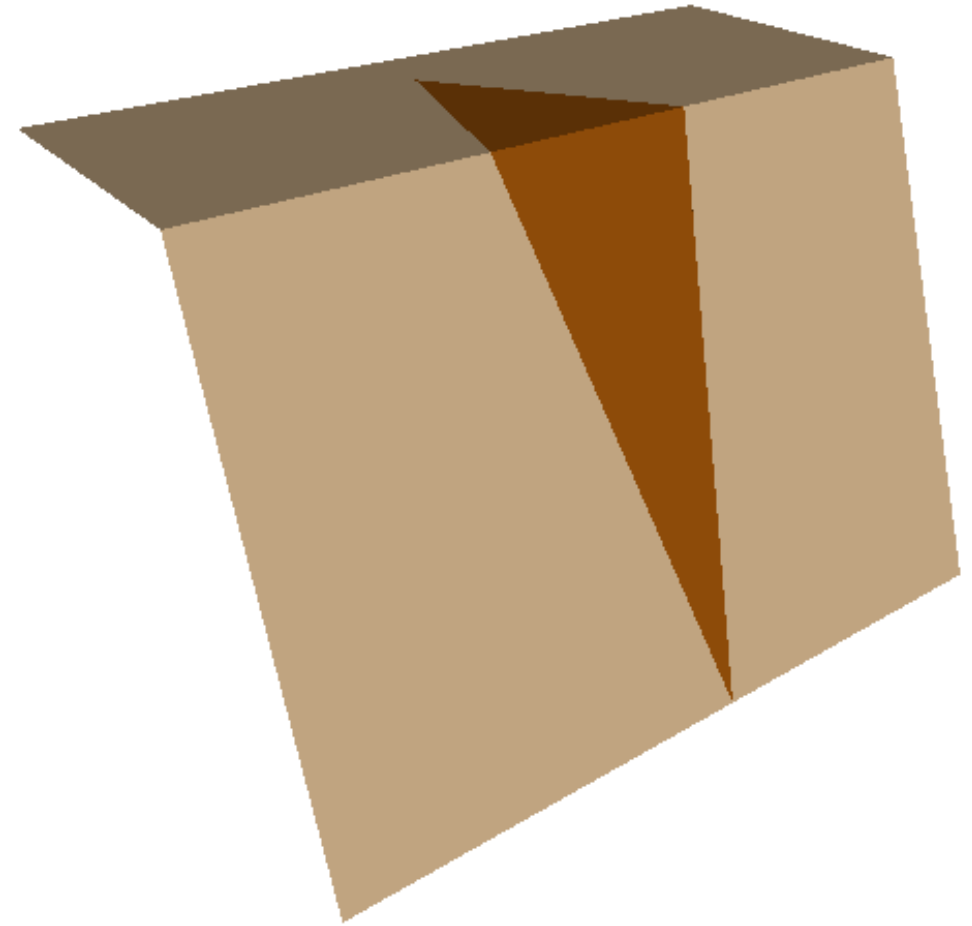
- h ... Harnischflächen (rot)
- k1 ... Großklüfte (schwarz)
- k2 ... Klüfte (grün)



(Feitzinger, 2025)

Lokale Beurteilung – Etage

- Kombinatorischer Ansatz
- Grenzgleichgewichtsverfahren
- Keilversagen
- Zwei Trennflächen
- Etage
 - Einfallsrichtung: 300°
 - Höhe: 15 m
 - Neigung: 70°
- Software „SWedge“
- Grenzbedingung: $FoS = 1.3$



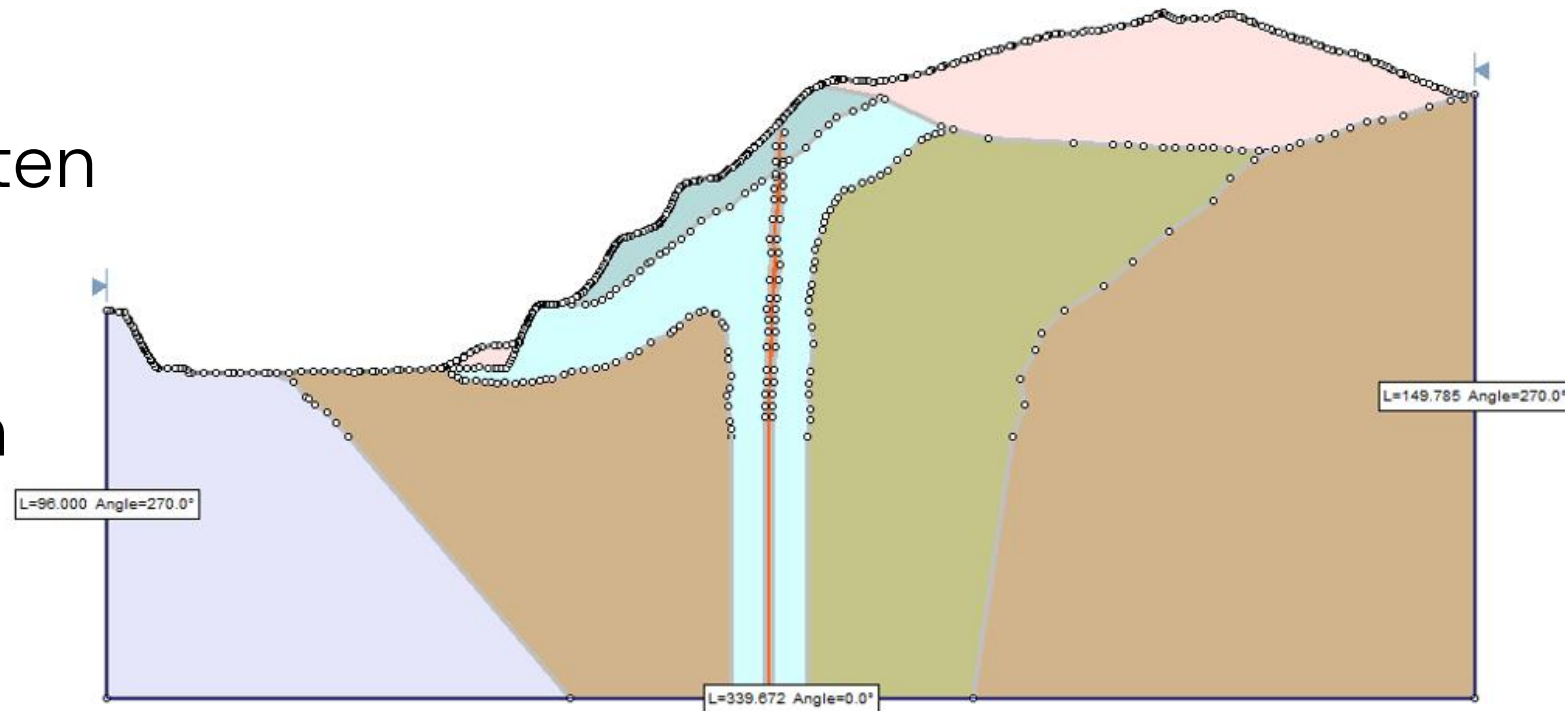
Lokale Beurteilung – Etage

Trennflächen	Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kPa]	FoS	Keilvolumen [m ³]
h-sf	40	19	1.3	1 110
h-k1	40	7	1.3	150
h-k2.1	40	18	1.3	1 029
h-k2.2	40	0	1.7	1 360
sf-k1	40	0	8.7	5 929
sf-k2.1	40	1	1.3	93

Globale Beurteilung – Endböschung



- Lamellenverfahren
- Grenzgleichgewichtsbetrachtung
- Gleitkreise und polygonale Gleitbahnen
- Kontinuum mit diskreten Trennflächen
- Berücksichtigung der Vorschüttung auf den unteren Etagen
- Software „Slide2“

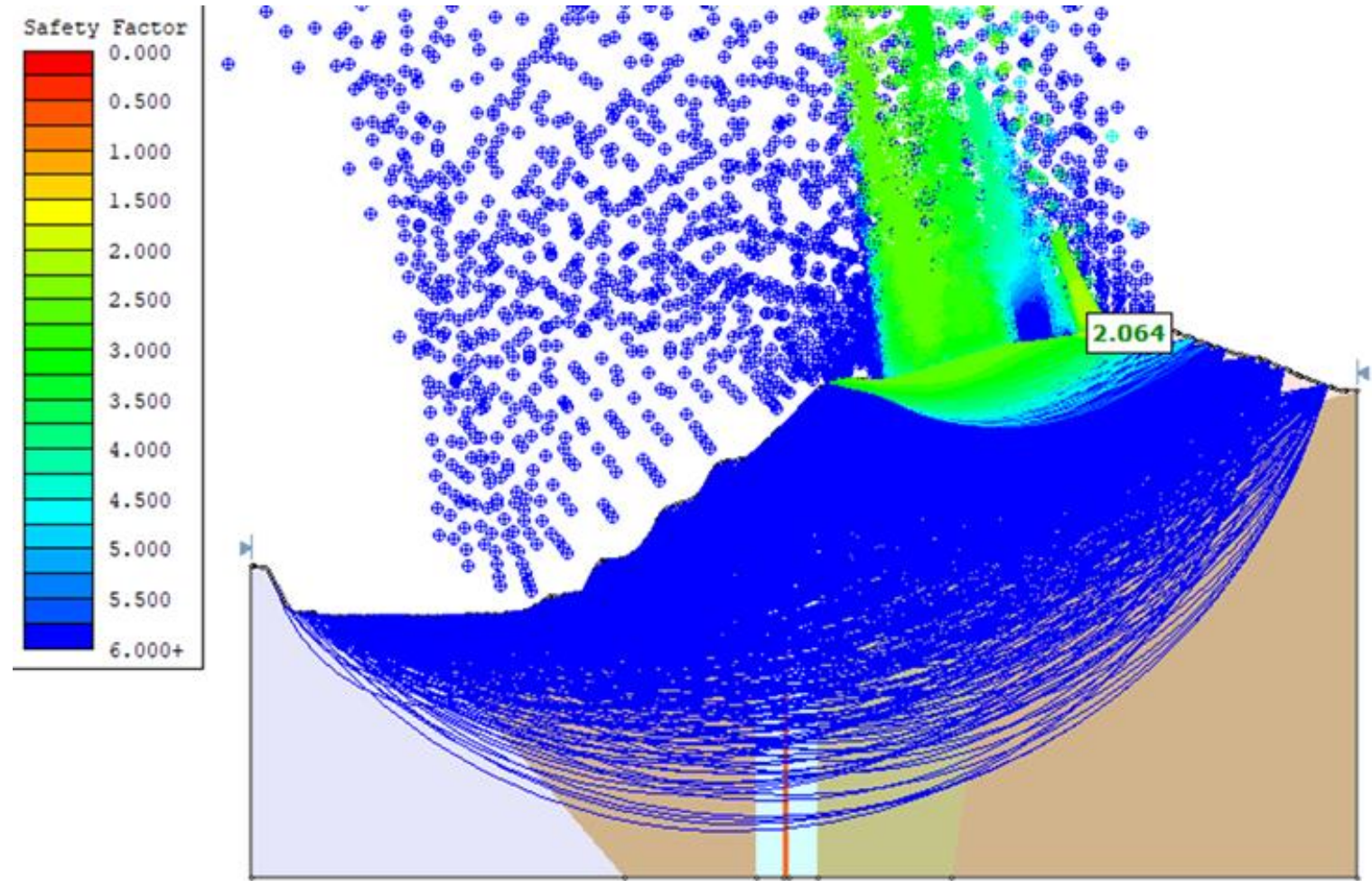


Globale Beurteilung – Endböschung



- Sicherheitsfaktor gegen globalem Böschungsversagen

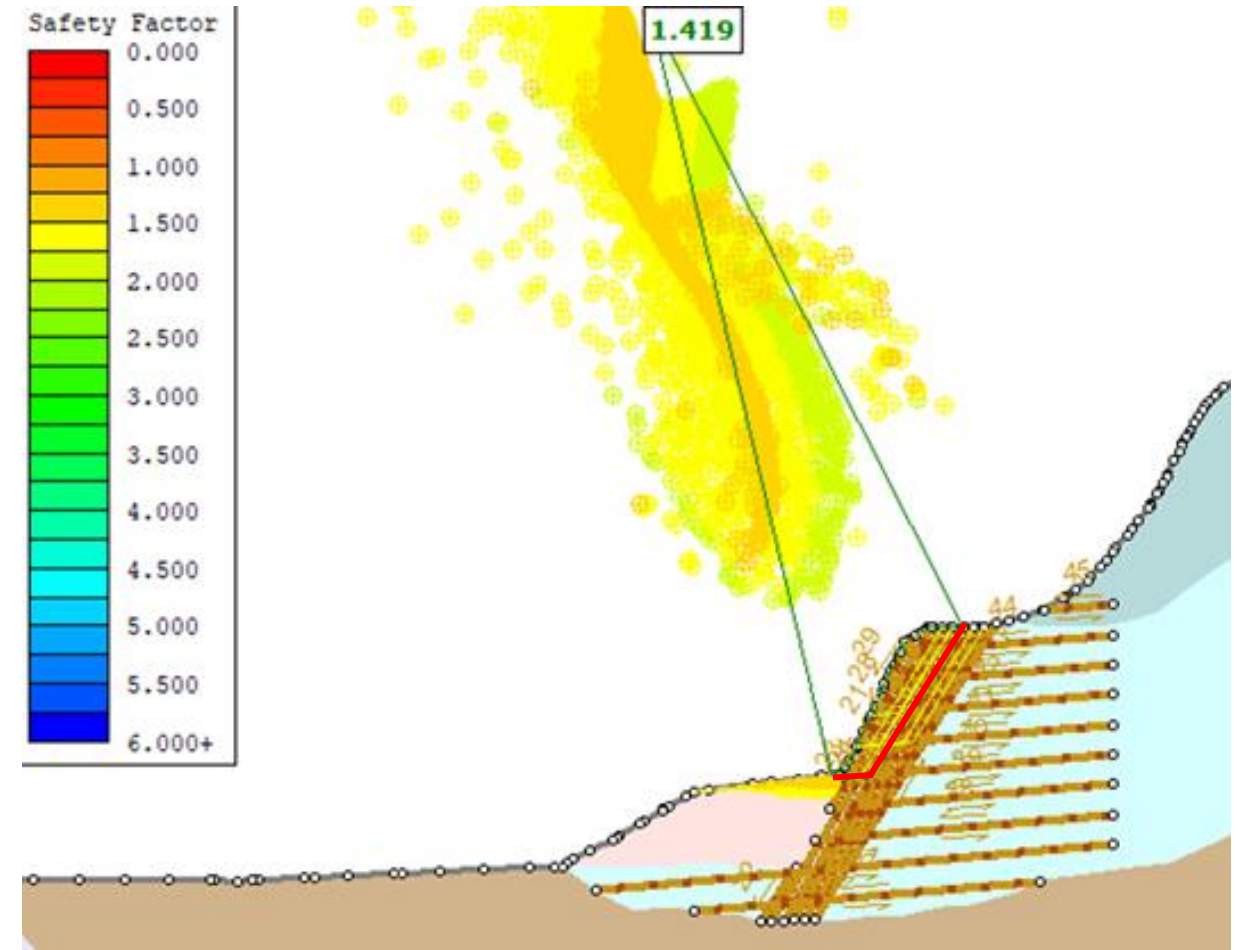
$$\text{FoS} = 2.0$$



Globale Beurteilung – Endböschung

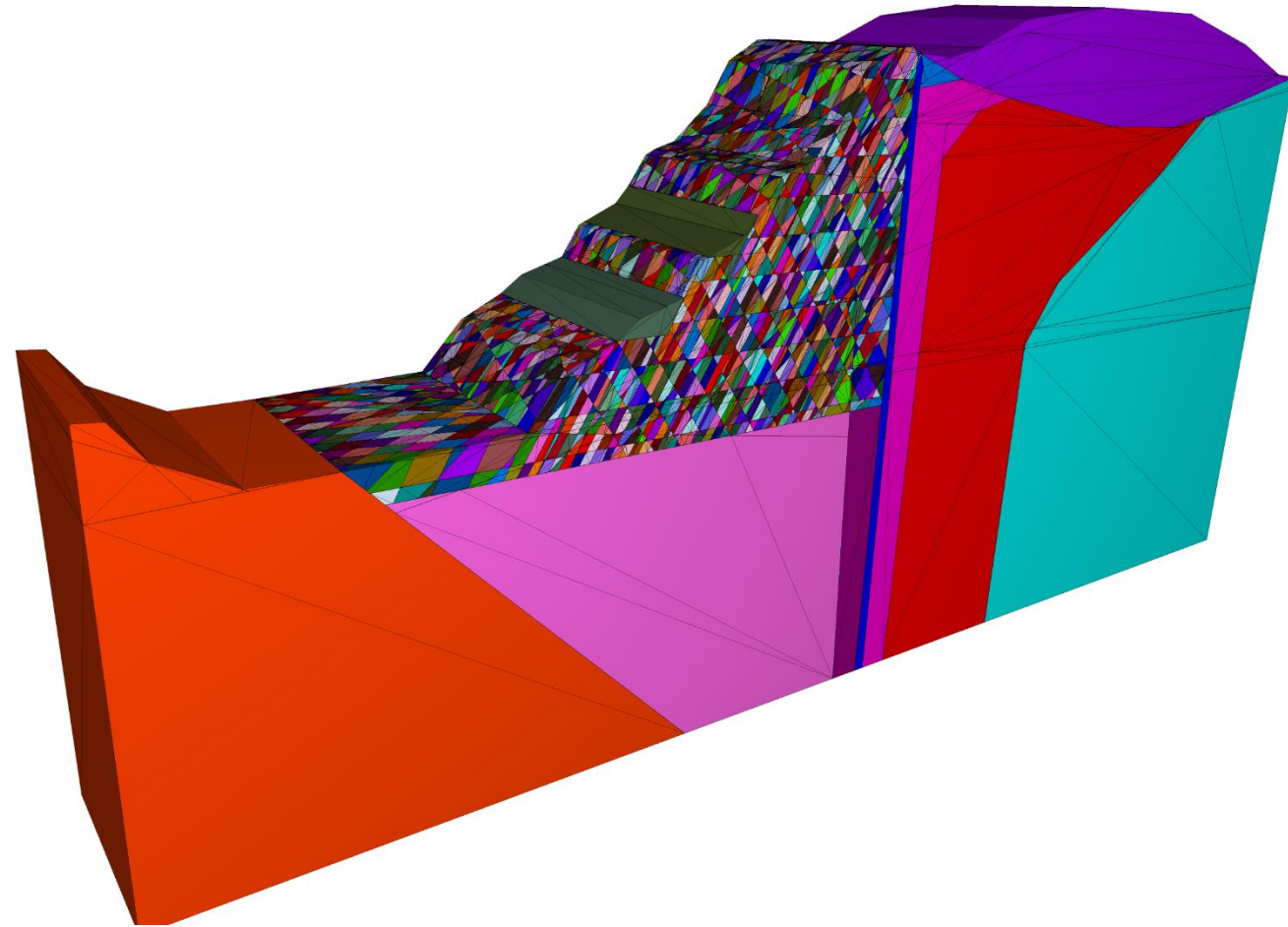


- Berücksichtigung der Trennflächen h (Harnischflächen) und k_1 (Großklüfte)
 - Kohäsion = 0 kPa
 - Reibungswinkel = 40°
- Fokus auf unterste Etage
- Ohne Vorschüttung:
FoS = 1.3
- Mit Vorschüttung:
FoS = 1.4



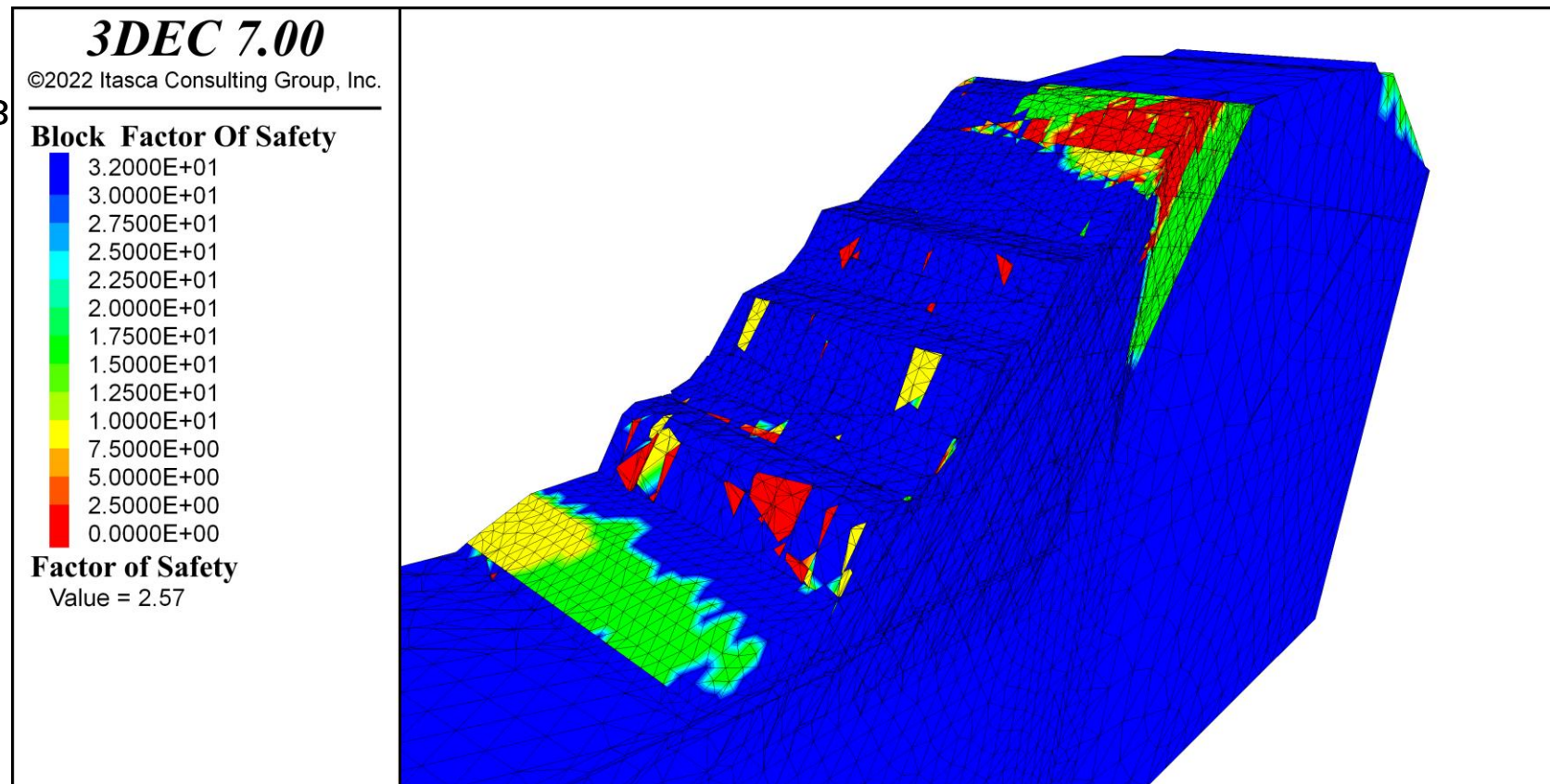
Gesamtheitliche Beurteilung

- Numerisches Verfahren
- Distinkte Elemente Methode
- Diskontinuum: Einzelblöcke mit Kontaktbedingungen
- Keine Vorgabe/Restriktion hinsichtlich Versagensfigur
- Berücksichtigung der Vorschüttung auf den unteren Etagen
- Software „3DEC“



Gesamtheitliche Beurteilung

- Sicherheit gegen globalem Böschungsversagen $FoS > 3.5$
- Lokales Versagen einzelner Kluftkörper möglich (Keilgleiten)
- Begrenztes Keilvolumen $< 1\text{m}^3$ wegen räumlicher Verschneidung
- Stabilisierende Wirkung der Vorschüttung dokumentiert



Zusammenfassung

- Zur Beurteilung der Standsicherheit ist die Betrachtung über mehrere Skalen notwendig.
- Unterschiedliche Beurteilungsverfahren und Softwaretools sind sinnvoll und zielführend.
- Die betrachtete Tagebauendböschung ist global als standsicher zu beurteilen.
- Die Auffahrung einer weiteren Sohle (8. Sohle) lässt keine relevanten negativen Auswirkungen auf die globale Standsicherheit erwarten.
- Lokales, kleinvolumiges Versagen einzelner Blöcke und Kluftkörper ist möglich und kann mit betrieblichen Maßnahmen (z. B. Wälle, Fallböden) gelöst werden.
- Die positive Wirkung von Vorschüttungen ist hervorzuheben.

thomas.fruehwirt@unileoben.ac.at

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.
Thomas Frühwirt
Lehrstuhl für Bergbaukunde
Gebirgsmechanik und Untertagbau
+43 664 80898 – 2010