



## 3.8 Standsicherheitsnachweis

Vorhabenträger:	Verfasser:
 <p>Diabaswerk Halbeswig GmbH &amp; Co. KG Korzerter Str. 18 42349 Wuppertal</p>	 <p>AGM Alber GeoMechanik Prof. Dr. – Ing. M. Alber 44357 Dortmund</p>

## Diabaswerk Halbeswig

### Standicherheit der Böschungen im geplanten Erweiterungsgebiet

**Auftraggeber:** Diabaswerk Halbeswig GmbH & Co. KG  
Halbeswig 100  
59909 Bestwig

**Auftragnehmer:** AGM Alber GeoMechanik  
Prof. Dr.-Ing. Michael Alber  
44357 Dortmund  
Tel: 0231 / 28 00 76 36  
E-Mail: [alber@alber-geomechanik.de](mailto:alber@alber-geomechanik.de)

**Gutachter:** Prof. Dr.-Ing. M. Alber (AGM)  
Von der IHK zu Dortmund öffentlich  
bestellter und vereidigter Sachverständiger für Ingenieurgeologie und Felsmechanik



**Datum:** 31. August 2025

**Umfang:** 26 Seiten, 2 Anlagen

<b>I</b>	<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>SEITE</b>
I	Inhaltsverzeichnis	2
II	Anlagenverzeichnis	2
III	Verwendete Unterlagen	3
1	Veranlassung	3
2	Methodik	3
3	Geometrie der Böschungen im Bestand und im Endstand	4
4	Geologie und Ingenieurgeologie	6
4.1	Geologie	6
4.2	Ingenieurgeologische Beschreibung und Klassifizierung des Gebirges	8
5	Standsicherheit der Wände und Böschungen	14
5.1	Standsicherheit der Bestandsböschungen	15
5.2	Standsicherheit der geplanten Endböschungen	20
6	Zusammenfassung und Empfehlungen	25
<b>II</b>	<b>ANLAGENVERZEICHNIS</b>	
	Anlage 1 Schnitte durch den Bestand	
	Anlage 2 Technische Gebirgsbeschreibung und -klassifizierung	
<b>III</b>	<b>VERWENDETE UNTERLAGEN</b>	
/1/	GK 25 4616 Eversberg. Geologische Karte samt Erläuterungen.	
/2/	Diabaswerk Halbeswig. Unterlagen per E-Mail (Hr.-J. Ehling am 04.04.2024).	
/3/	DIN 14689: 2018-05. Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels. Beuth-Verlag, Berlin.	
/4/	DOHMEN, HERZOG & Partner GmbH. Planungsunterlagen Erweiterung Diabaswerk Halbeswig.	
/5/	Lowson, A.R. and Z.T. Bieniawski (2013). Critical assessment of RMR-based tunnel design practices: A practical engineer's approach. RETC 2013.	
/6/	Schlotfeldt, P and T.G. Carter (2018). A new and unified approach to improved scalability and volumetric fracture intensity quantification for GSI and rockmass strength	

and deformability estimation. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 110 (2018) 48–67.

- /7/ Hoek, E. and E.T. Brown (2018). The Hoek-Brown failure criterion and GSI – 2018 edition, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 11(3).
- /8/ RocScience Inc. (2025). RS2 (2D-FE), RS3 (3D-FE) und DIPS. Software zu numerischen Analysen mittels der FE-Methode und zur Analyse von Gefügedaten für die kinematischen Betrachtungen.

## 1 Veranlassung

Das Diabaswerk Halbeswig betreibt südlich von Bestwig einen Steinbruch auf Diabas. Das intrusive Hartgestein wird hauptsächlich zu Edelsplitten und Edelbrechsanden für den Asphalt- und Betonstraßenbau sowie Tragschichtgemischen, aber auch zu diversen Sondermaterialien weiterverarbeitet. Das Werk plant eine Erweiterung des Tagebaus nach Osten. Für das Genehmigungsverfahren wird ein Nachweis der Standsicherheit der Böschungen gefordert.

Alber GeoMechanik (AGM) wurde am 28.03.2024 vom Diabaswerk Halbeswig GmbH & Co. KG (Hr. J. Ehling) diesbezüglich kontaktiert. Am 04.04.2024 fand eine gemeinsame Befahrung mit Erläuterung der Aufgabenstellung statt. AGM wurde am 04.06.2025 mit der Erstattung eines Gutachtens zur Standsicherheit der Böschungen im Erweiterungsgebiet beauftragt. Die Abschätzung des Steinschlagrisikos ist nicht Bestandteil dieses Gutachtens.

## 2 Methodik

Nach dem Studium der vorhandenen Unterlagen (geologische Karte und Literatur, Luftbilder, Erweiterungsbereich) wurden am 23./24.06.2025 ingenieurgeologische Kartierarbeiten im südöstlichen Teil des Tagebaus Halbeswig durchgeführt. An den bis zu 20 m hohen Wänden konnte die Geologie nur lokal beobachtet werden. Aus diesem Grund wurde zusätzlich eine Drohnenbefliegung durchgeführt, um auf Grundlage einer georeferenzierten Punktwolke Eigenschaften der Böschungen abzuschätzen.

Die Lagerung des intrusiven Diabas ist auf Grund von Verfaltung und Störungen kaum von der Tagesoberfläche zu erfassen. Das vom AG zur Verfügung gestellte Lagerstättenmodell /4/ stammt aus Erkundungsbohrungen und wurde als Grundlage für das Gutachten zur Standsicherheit der geplanten Zwischen- und Endstände der Böschungen verwendet.

Die gewonnenen und nachfolgend zusammengefassten Informationen aus eigenen Kartierarbeiten und dem Lagerstättenmodell wurden zur Analyse der Standsicherheit verwendet. Auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Geländemodelle wurden 3D- und 2D Berechnungen unter Verwendung der Programme RS2, RS3 und DIPS der Firma RocScience /8/ durchgeführt. Die Vorgehensweise ist nachfolgend zusammengefasst:

- Studium der Unterlagen
- Ingenieurgeologische Kartierung am 23./24.06.2025
- Auswertung der Punktwolke aus Drohnenbefliegung
- Entwicklung eines ingenieurgeologischen Modells
- Erstellung eines 2D/3D-Rechenmodells
- Berechnung der Standsicherheit durch 2D/3D-FE-Numerik
- Zusammenfassung und Empfehlungen

### 3 Geometrie der Böschungen im Bestand und im Endstand

Abbildung 1 zeigt ein Orthofoto des Bestands aus der Drohnenbefliegung vom 24.06.2025 mit Bezeichnungen der Sohlen und der Wände (Böschungssysteme). In Tabelle 1a werden die geometrischen Merkmale des Bestands zusammengefasst. Abbildung 2 und Tabelle 1b fassen die Böschungen im geplanten Endstand zusammen.

Tab. 1a Orientierung, Neigungen und Böschungshöhen der Teilböschungen und Wände im Bestand.

Wand / Böschung	Orientierung / Neigung der Teilböschungen (Streichrichtung)	Generalneigung	Höhen der Teilböschungen
Südwand	327° - 341° / 70° - 80 ° (WSW – ENE)	63° - 70°	11 – 19 m
Westwand	024° - 259° / 66° - 77 ° (SE – NW)	56° - 60°	11 – 28 m
Nordwand	131° - 159° / 27° - 77 ° (SW – NE bzw. W - E)	~ 32°	16 – 17 m
Ostwand	212° - 246° / 61° - 76 ° (N – S bzw. NNW - SSW)	34° - 38°	13 – 19 m

Tab. 1b Geometrie der Böschungen im Endstand.

Wand / Böschung	Bermen-breiten	Generalneigung	Neigung der Teilböschungen	Höhen der Teilböschungen
alle außer Ostwand	5 m	54°	63°	20 - 25 m
Ostwand	5 – >15 m	54°	70°	

In Anlage 1 sind einzelne Schnitte senkrecht zu den Wänden beigelegt.

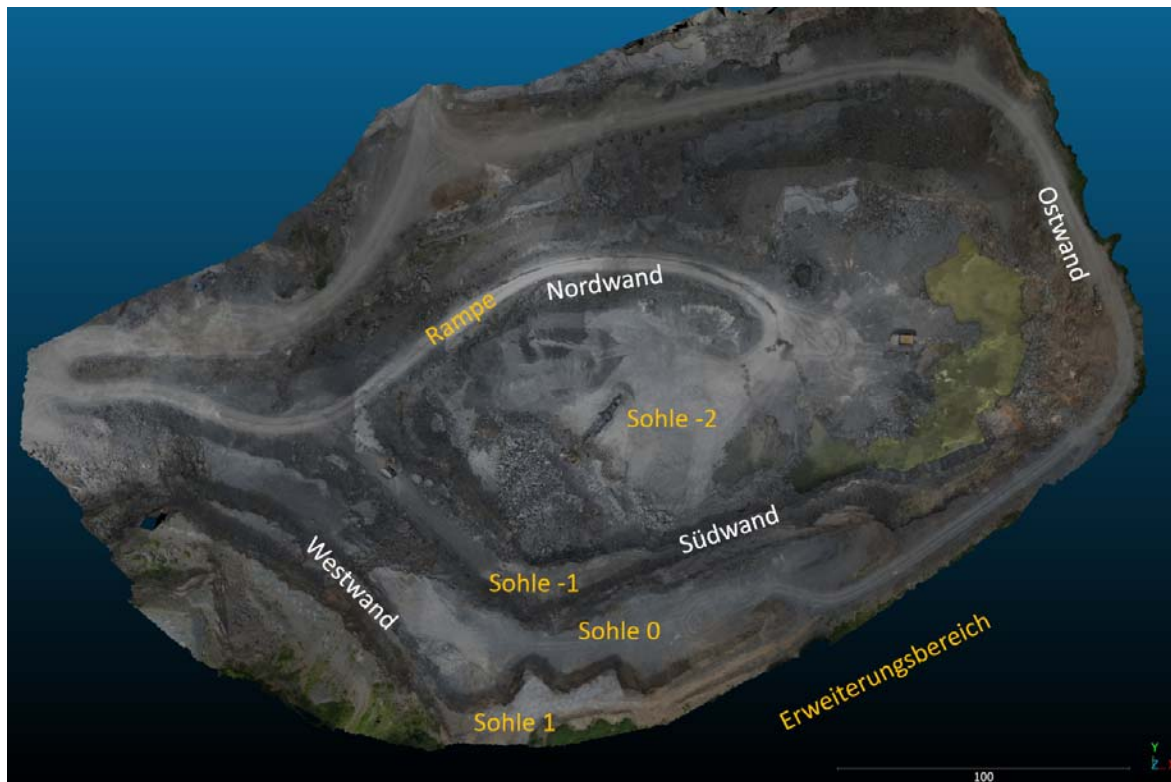


Abb. 1 Betrachtungsraum, Bezeichnungen der Sohlen und Wände.

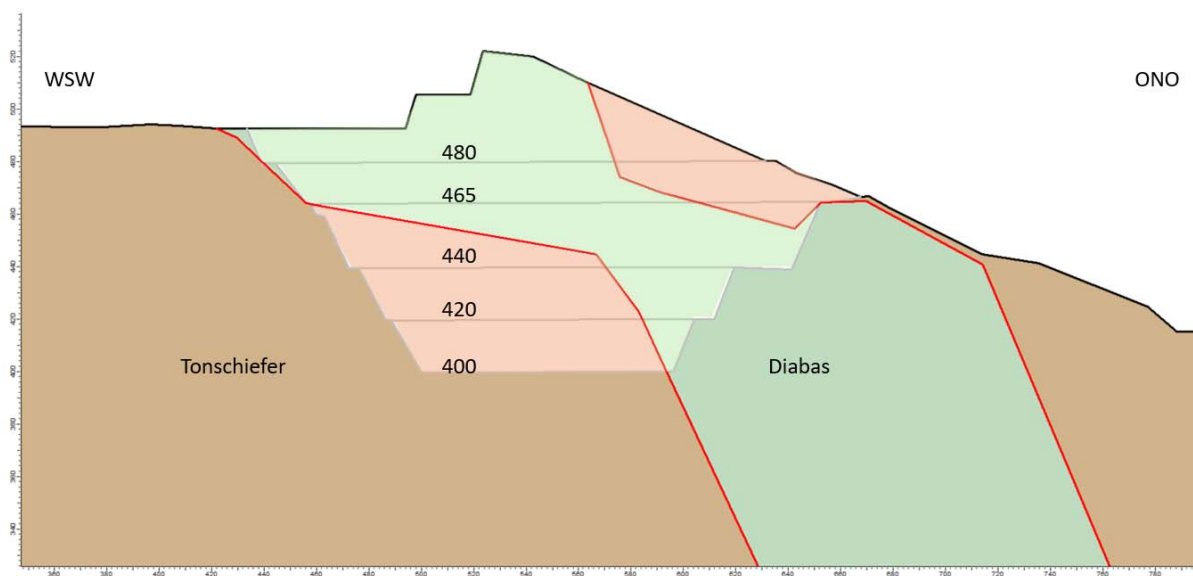


Abb. 2 Böschungsgeometrie im Endstand mit den einzelnen Sohlen und deren Höhen in mNHN. Die Böschungen im Endstand sind durch stärkere Farben angedeutet.



## 4 Geologie und Ingenieurgeologie

### 4.1 Geologie

Der Steinbruch liegt ca. 3,2 km südlich von Velmede im Ostsauerländer Hauptsattel des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges. Hier tritt in den Schichten des Unteren Mitteldevons intrusiver Diabas auf. Basaltisches Magma drang in die damals noch horizontal liegenden Ton-schichten, meist entlang von Schichtfugen, flächenhaft ein. Durch die variszische Gebirgsbildung wurde das Gebirge gefaltet und gestört (Abb. 3).

Im Werk Halbeswig streichen drei Diabaslagergänge mit einer Mächtigkeit von bis zu 30 m aus. Vermutlich handelt es sich um einen Gang, der durch Verfaltung bzw. Störungen wiederholt an der Oberfläche auftritt.

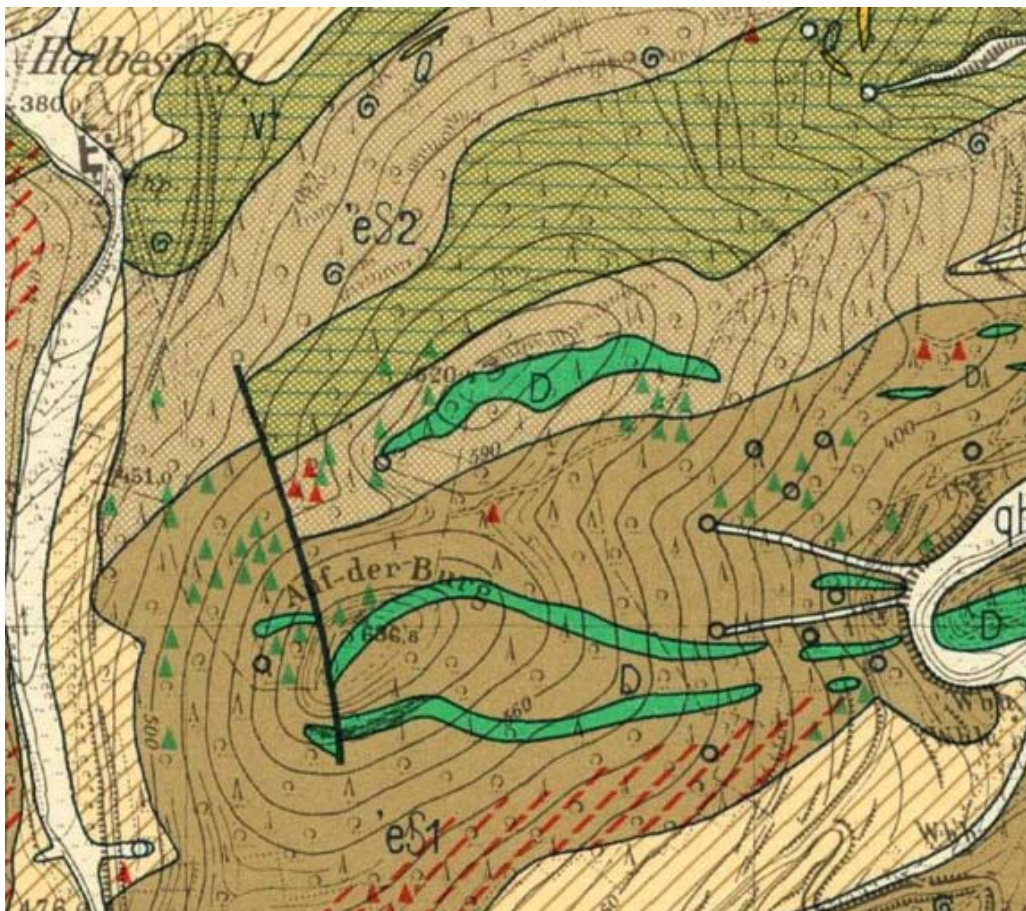


Abb. 3 Ausschnitt aus der geologischen Karte Eversberg (GK25 4616). Der Diabas ist grün eingezeichnet.

Der Diabas ist in den Unteren bzw. Oberen Fredeburger Schieferen eingelagert und streicht O-W. Der Diabas hat eine dunkelgraugrüne Farbe und besteht aus den Mineralen Feldspat, Augit, Hornblende, Serizit und Olivin. Das Gestein ist massig, meist frisch und unverwittert, im Bereich von Störungen jedoch stärker zerlegt und verwittert (Abb. 4).





Abb. 4 Verwitterter Diabas (links) und frischer Diabas (rechts).

Der Fredeburger Tonschiefer ist eine mehr als 1000 m mächtige, eintönige Abfolge von feinkörnigen Gesteinen. Der Schiefer ist weitgehend dunkel und kalkfrei, oft sind jedoch dünne Lagen von Quarz zu beobachten (Abb. 5).



Abb. 5 Quarzlagen im Tonschiefer

Der Burgberg verdankt sein Auftreten dem gegenüber den Tonschiefern härteren Diabas, der als Härtling wirkt. Die Verfaltung im Gebiet des Burgbergs ist durch den harten Diabas anders als in der Umgegend. Überkippung, Zerschierung und Schuppenbildung sowie zahlreiche



Störungen sind Ausdruck dieser lokalen Spezialtektonik, bei der von Süden aus der „weiche“ Tonschiefer auf/um/über den „harten“ Diabas bewegt wurde.

Nach dem Lagerstättenmodell (s. Anlage) taucht der Diabas nach ONO (Abb. 2) ab und bildet dort die Böschung im Endstand. Im Westen wird die Böschung im Endstand durch Tonschiefer gebildet. Ein Übergang von Tonschiefer zu Diabas ist somit an den Nord- und Südböschungen zu erwarten.

#### 4.2 Ingenieurgeologische Beschreibung und Klassifizierung des Gebirges

Die ingenieurgeologische Beschreibung des Gebirges erfolgt nach DIN 14689 und ist in Anhang 2 für frischen und verwitterten Diabas sowie für den Tonschiefer detailliert beigelegt. Für die Lokation der Aufschlüsse wurden die Bezeichnungen in Abbildung 1 benutzt.

Der Diabas ist ein Gestein mit sehr hoher Festigkeit ( $>100$  MPa). Er liegt meist frisch vor, ist kalkfrei und bildet Kluftkörper mit Volumina von  $1 - > 5 \text{ m}^3$ . Die Trennflächen im Diabas sind meist nicht weit aushaltend (nicht persistent), rau und stufig/wellig (Abb. 6). Die Öffnungsweiten der Trennflächen sind aufgrund der Auflockerung durch Gewinnungssprengungen kaum zu beobachten. Die wenigen unbeeinflussten Bereiche zeigen enge Kluftöffnungsweiten.

Vor allem im östlichen Bereich treten im Diabas zahlreiche Störungen auf. Dort ist das Gebirge stärker zerlegt und leicht bis stark verwittert (Abb. 11). Der verwitterte Diabas ist dort an seinen braunen Farben zu erkennen. Durch die Verwitterung ist die Gesteinsdruckfestigkeit um eine Klasse tiefer einzustufen ( $50 - 100$  MPa).

Der Tonschiefer ist ein hochfestes Gestein mit ausgeprägter Anisotropie. In Nahbereich des Diabas ist der Tonschiefer „gefrittet“ und zeigt eine sehr hohe Festigkeit. Im Tonschiefer sind bis zu 4 Trennflächensysteme vorhanden, wobei die Schieferungsflächen als mechanisch nicht wirksam einzustufen sind. Die Trennflächen halten in der Regel nicht länger als 5 m aus und sind im m-Maßstab gerade (Abb. 6). Die Kontaktflächen zum Diabas sind prominent mit sehr hoher Persistenz vertreten. Diese Flächen sind weit aushaltend in verschiedenen Orientierungen anzutreffen.

Die in der Anlage 2 beigelegten Gebirgsklassifikationen nach dem RMR- und GSI-System werden in der Tabelle 2 zusammengefasst (RMR nach Lowson & Bieniawski, 2013; GSI nach Schlotfeldt & Carter, 2018).

Tab. 2 Gebirgsklassifikation für frischen Diabas, verwitterten Diabas und Tonschiefer.

	Frischer Diabas	verw. Diabas	Tonschiefer
Einaxiale Druckfestigkeit	100 – 150 MPa	50 – 100 MPa	50 – 100 MPa
Rock Mass Rating RMR	66 - 89	46 - 71	58 - 82
Geological Strength Index GSI	70 - 80	50 - 60	60 - 70

Daraus wird nach dem Stand der Technik mittels des Gebirgsfestigkeitskriteriums nach Hoek & Brown, (2018) die in Tabelle 3 zusammengefassten Rechenkennwerte abgeleitet.

Tab. 3 Kennwerte für Berechnungen der globalen Standsicherheit mit der FEM-Methode.

	Frisher Diabas	verw. Diabas	Tonschiefer
Einaxiale Druckfestigkeit	125 MPa	60 MPa	75 MPa
Wichte	0,029 MN/m <sup>3</sup>	0,027 MN/m <sup>3</sup>	0,027 MN/m <sup>3</sup>
Geological Strength Index GSI	75	55	65
m <sub>i</sub> -Konstante	15	6	6
Gebirgsmodul	33 GPa	9,5 GPa	9,5 GPa




Abb. 6 Beispiel für nicht persistente Trennflächen im Diabas.



Abb. 7 Beispiel für nicht persistente Trennflächen im Tonschiefer.

Die Werte aus der Gebirgsklassifikation in Tabelle 3 gelten für ein „homogenisiertes Gebirge“, bei dem die zahlreichen lang aushaltenden, größeren Trennflächen oder Störungen nicht berücksichtigt sind. Der Einfluss dieser persistenten Trennflächen ist für die Standsicherheit entscheidend und wird deshalb in einem eigenen Unterkapitel ausführlich beschrieben.

### Lang aushaltende Trennflächen und Störungen

Auffällig sind die weit aushaltenden Kontaktflächen zwischen Diabas und Tonschiefer mit dem Symbol  in den folgenden Abbildungen. Ist der Diabas noch mit dem Tonschiefer verbunden, so sind keine Zeichen für Instabilitäten zu bemerken (Abb. 8).



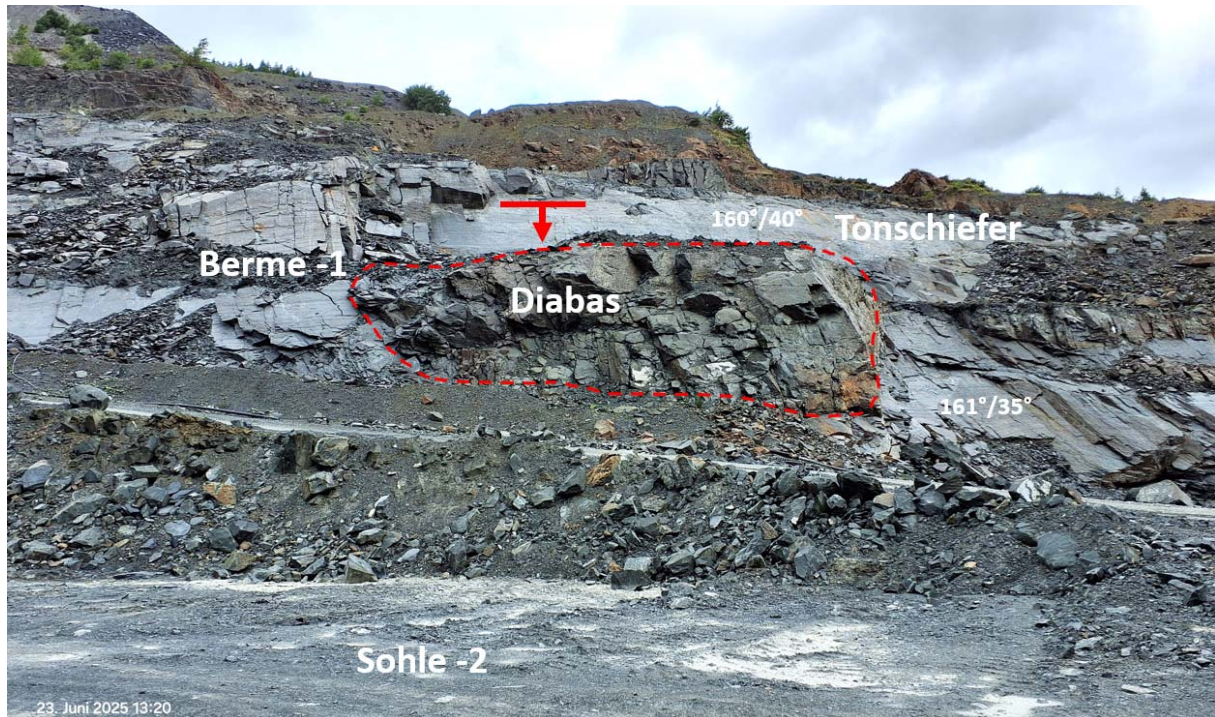


Abb. 8 Kontakt von Diabas auf Tonschiefer an der Ostböschung mit Lagerungswerten.

Die Kontaktfläche hat durch Verfaltung und Störungen stark variierende Orientierungen. Während an der Nordböschung die Kontaktfläche nach SO einfällt, ist diese an der Südböschung nach N/NW orientiert (Abb. 9). An der Westböschung sind einige große nach NO einfallende Flächen zu erkennen (Abb. 10). Da keine direkte Aufnahme erfolgen konnte, bleibt unklar, ob dies auch Kontaktflächen sind. Festzustellen ist, dass die Westböschung zahlreiche Störungen aufweist.



Abb. 9 Kontaktflächen von Diabas auf Tonschiefer an der Südböschung mit Lagerungswerten.



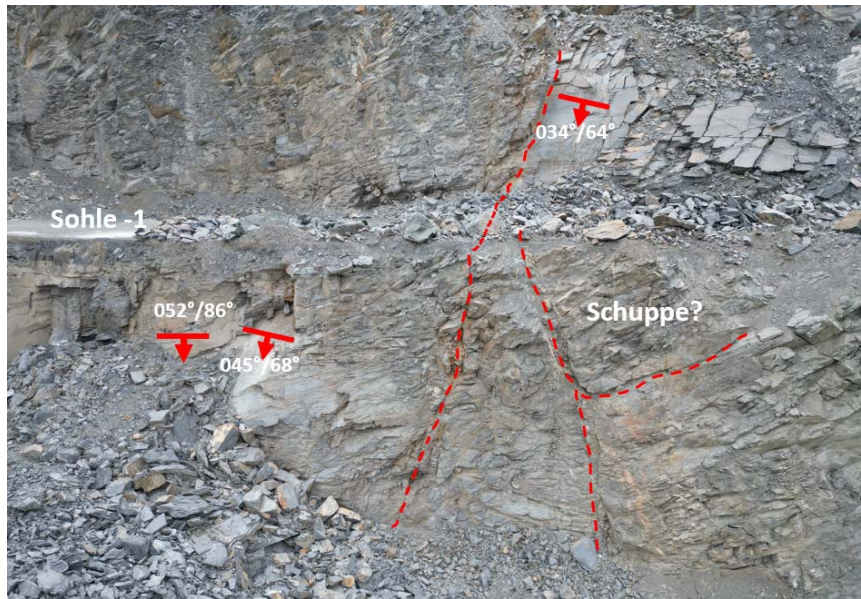


Abb. 10 Mögliche Kontaktflächen an der Westböschung mit Lagerungswerten und Störungen (rot gestrichelt).

An der Ostböschung oberhalb der Sohle -1 steht in einem Störungssystem verwitterter und aufgelockerter Diabas an (Abb. 11). Dieser ist deutlich durch die rotbraunen Farben zu erkennen. Durch die stärkere Zerlegung springt hier die Böschungskrone an der Sohle 0 zurück.

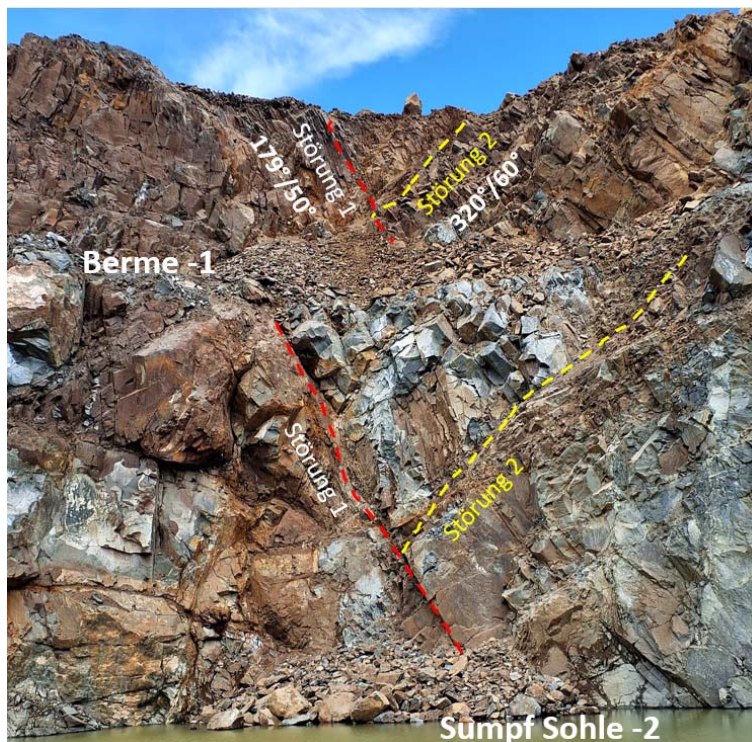


Abb. 11 Störungen an der Ostböschung mit v.a. oberhalb der Berme -1 verwittertem und stärker zerlegtem Diabas.



Störungen oder lang aushaltende Trennflächen sind neben der Ostböschung auch an den Süd – und Westböschungen vorzufinden (Abb. 12 bis 14).

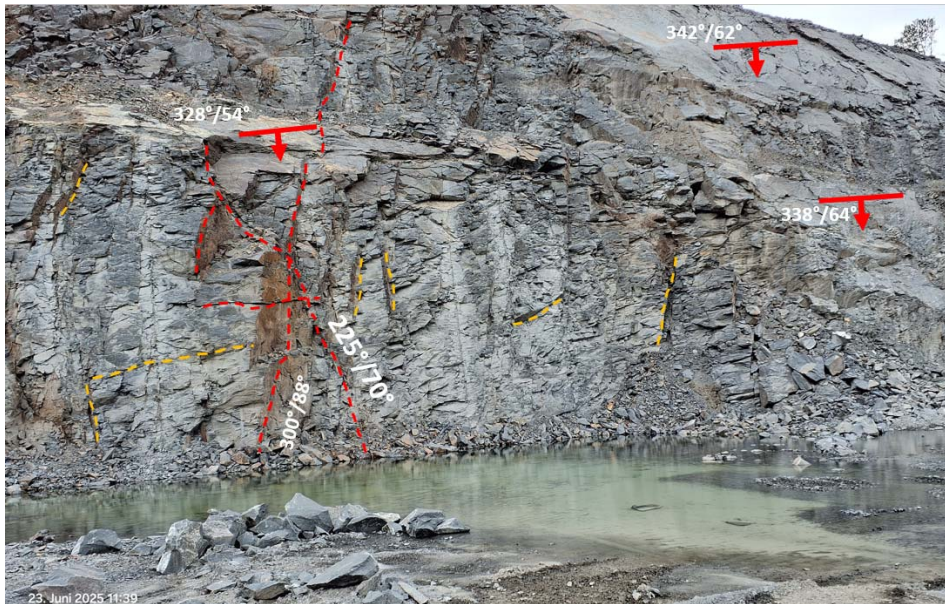


Abb. 12 Störungen bzw. persistente Trennflächen (rot gestrichelt) im Tonschiefer an der Südböschung.



Abb. 13 Störungen bzw. persistente Trennflächen (rot gestrichelt) im Tonschiefer an der Südböschung.





Abb. 14 Großstörung (gelb), Störungen bzw. persistente Trennflächen (rot gestrichelt) im Tonschiefer an der Westwand.

## 5 Standsicherheit der Wände und Böschungen

### Grundlagen

Abbildung 15 zeigt die möglichen Versagensmechanismen an einer Böschung in geklüftetem Festgestein. Für den Fall des Basaltwerks Halbeswig kommen hier die Versagensmechanismen A, B und C in Frage.

Bei der Bewertung der Standsicherheit der Böschungen werden zwei verschiedene Verfahren eingesetzt. Zuerst wird die Böschungsstandsicherheit (Versagensmechanismus C) mit einem homogenisierten Gebirge mit Qualitäten nach Tabelle 2 und Gebirgskennwerten nach Tabelle 3 mittels 3D-FEM bewertet. Hiermit wird die globale Standsicherheit der Wände geprüft, also das Gesamtversagen der Böschungen. Danach werden die Wände auf die kinematische Bewegungsmöglichkeit (Mechanismen A und B) von Gebirgskörpern auf den festgestellten persistenten Trennflächen bewertet. Dabei wird auf Böschungsversagen durch ebenes Gleiten (A) oder Keilversagen (B) geprüft. Ein solches Versagen kann globale (die Gesamtböschung betreffend) oder lokale (kleine Volumina) Massenbewegungen zur Folge haben.

Für die Nordwand wird keine Standsicherheitsbetrachtung durchgeführt, da hier die Böschungsoberflächen den mit  $< 30^\circ$  geneigten Kontaktflächen Tonschiefer-Diabas folgen. Ein globales Böschungsversagen ist hier ausgeschlossen.

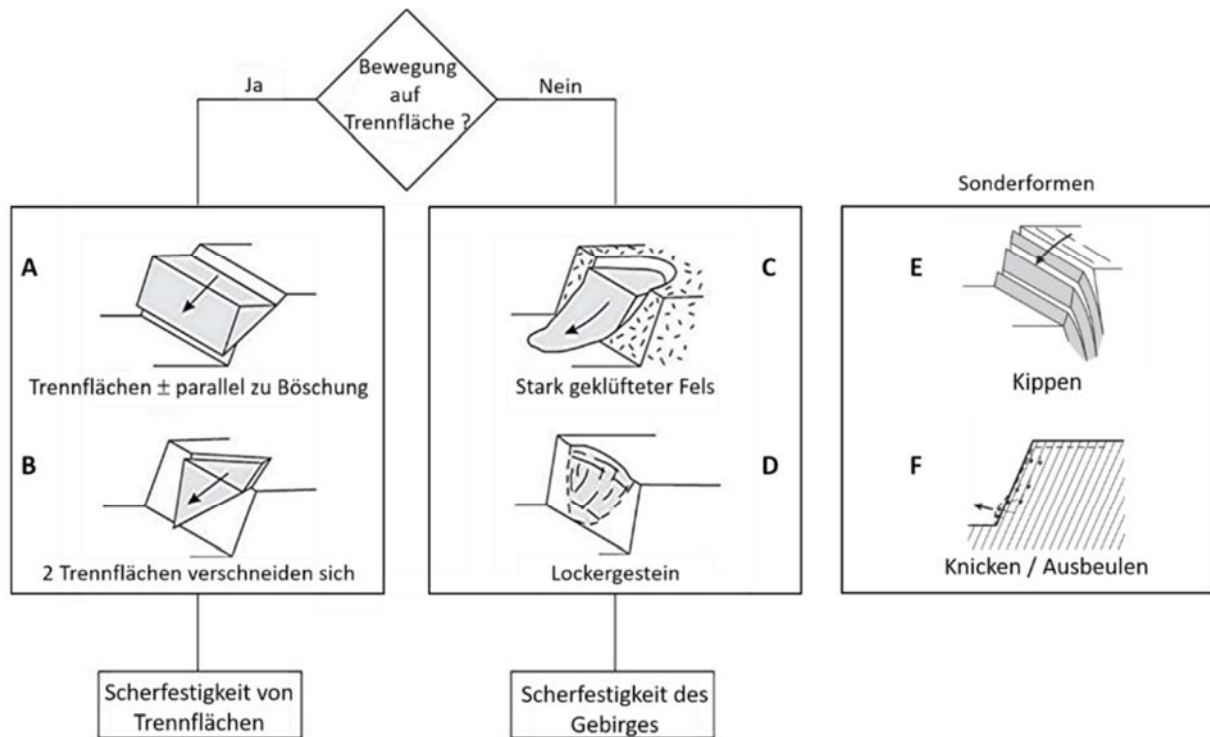


Abb. 15 Mögliche Versagensmechanismen an Böschungen.

## 5.1 Standsicherheit der Bestandsböschungen

### Globales Böschungsversagen des homogenen Gebirges

Die 3D-FEM Berechnungen zeigen für alle Gebirgsarten (frischer Diabas, verwitterter Diabas und Tonschiefer) keine Standsicherheitsdefizite an den Wänden. Die Gesamtverformungen liegen im mm-Bereich und sind an der Westwand auf Grund deren Höhe am größten. Auch der stärker zerlegte und verwitterte Diabas an der Ostwand ist standsicher. Die folgenden Abbildungen 16, 17 und 18 zeigen für jede Gebirgsart die Gesamtverformungen.



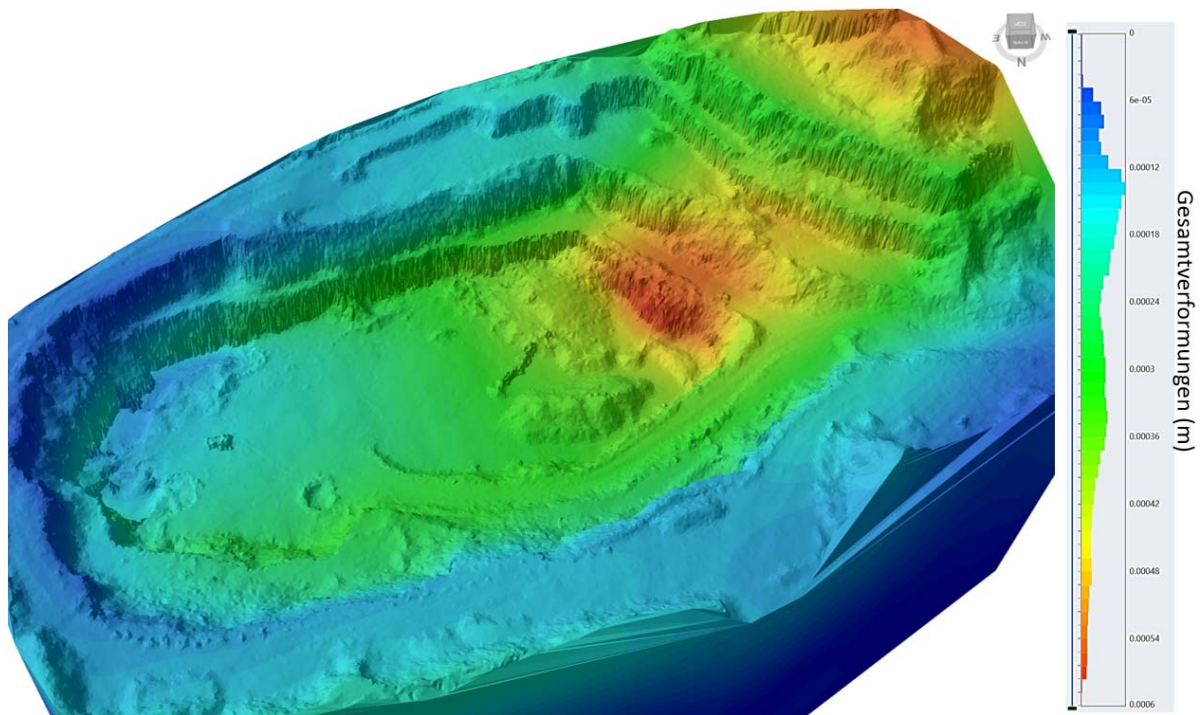


Abb. 16 Gesamtverformungen an den Bestandswänden im frischen Diabas.

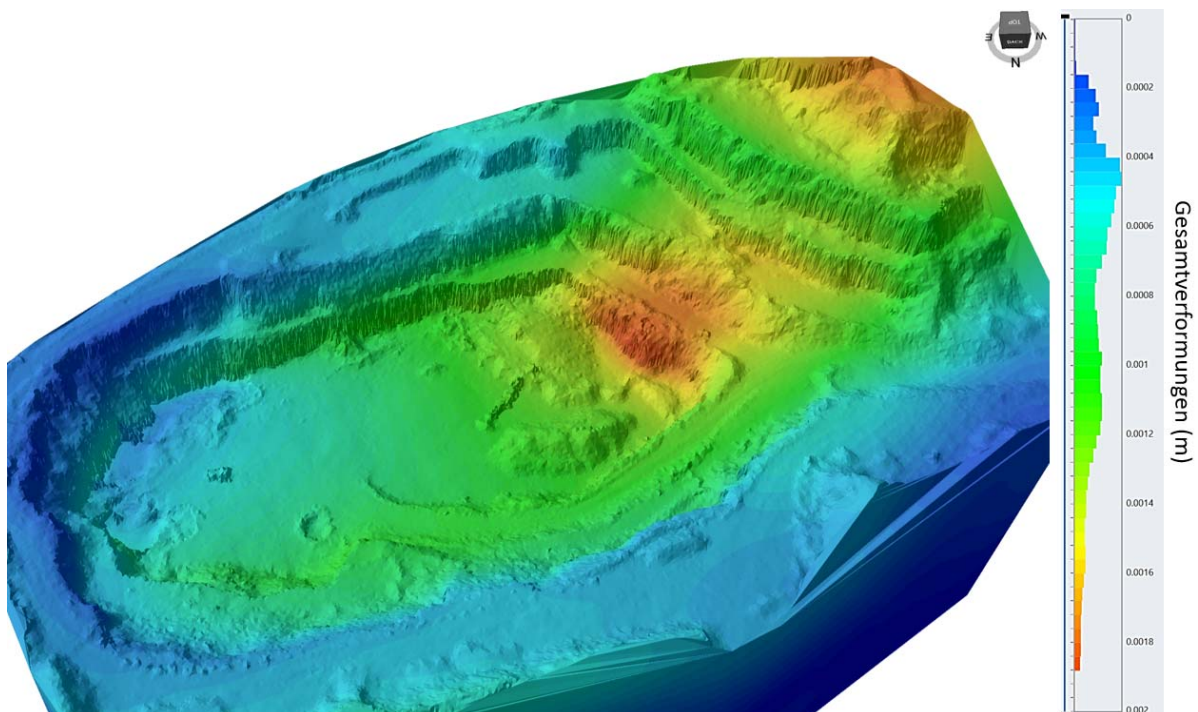


Abb. 17 Gesamtverformungen an den Bestandswänden im Tonschiefer.

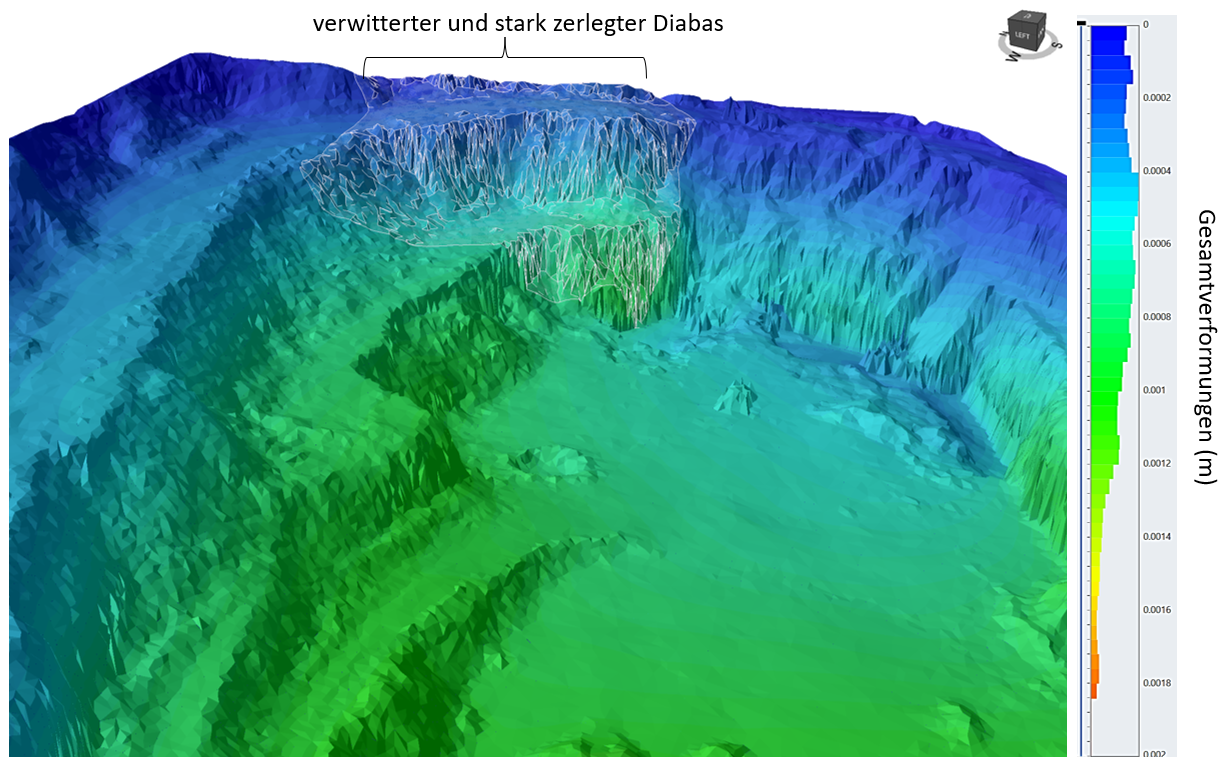


Abb. 18 Gesamtverformungen an der Ostwand mit verwittertem / zerlegten Diabas.

Festzustellen ist, dass an den Bestandswänden keine Standsicherheitsdefizite bezüglich Fall C in Abbildung 15 anzutreffen sind.

### Kinematisches Versagen im Bestand

Abbildung 19 zeigt in der stereografischen Projektion einige prominente Trennflächen, die an den Böschungen im Bestand händisch gemessen oder aus der 3D-Punktwolke aus der Drohnenbefliegung extrahiert wurden. Es ist vor Ort nicht möglich zu prüfen, ob diese Trennflächen mechanisch wirksam sind. Es wird die konservative Annahme getroffen, dass sich bei ungünstigem Anschnitt Gebirgskörper auf diesen lang aushaltenden Trennflächen bewegen können.

Die kinematischen Analysen der Westwand auf die Fälle A (ebenes Gleiten) und B (Keilversagen) sind in Abbildung 20 dargestellt. Hier ist festzustellen, dass zwar ebenes Versagen möglich ist, die vorhandenen Kontaktflächen jedoch zu klein für eine Gefährdung einer (Teil-)Böschung sind. Keilversagen ist nicht möglich, da das Verschnittlinear (blauer Pfeil in Abb. 20 rechts) spitzwinklig aus der Böschung austreicht.

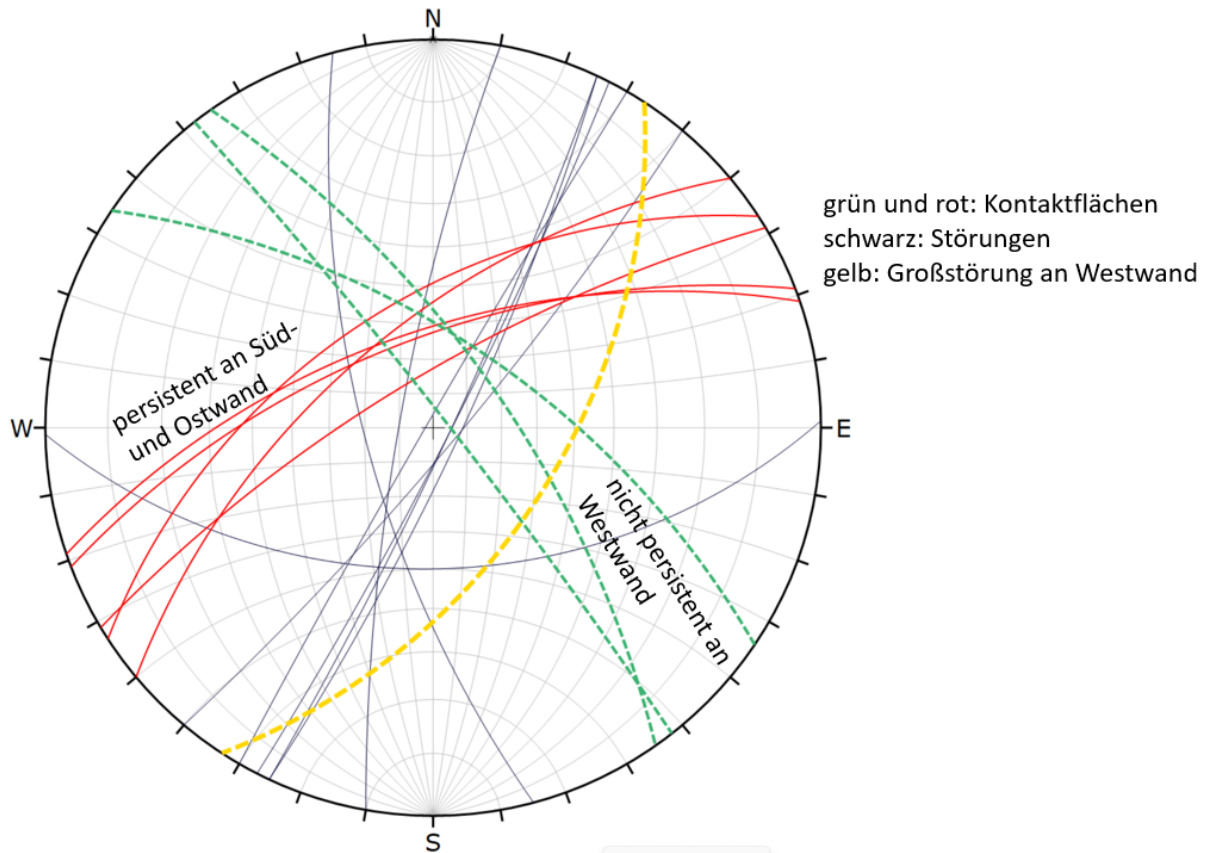


Abb. 19 Persistente Trennflächen im Diabas und im Tonschiefer im Schmidt'schen Netz.

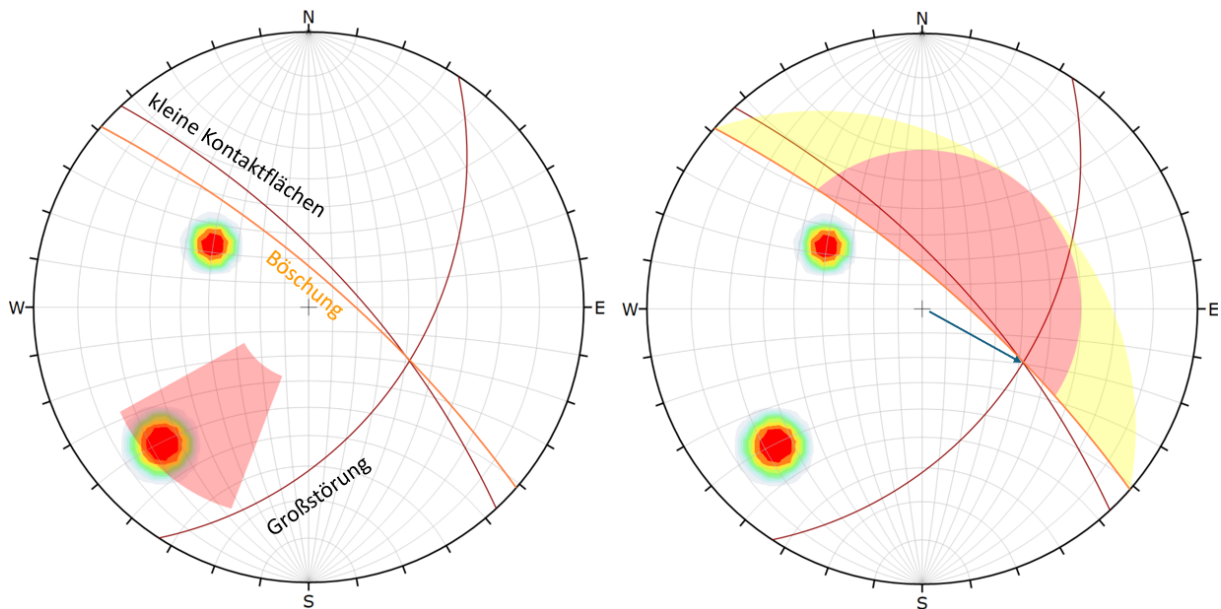


Abb. 20 Prüfung auf ebenes Versagen (links) und Keilversagen (rechts) an der Westwand.

Die kinematischen Analysen der Südwand auf die Fälle A (ebenes Gleiten) und B (Keilversagen) sind in Abbildung 21 dargestellt. Auch hier ist ebenes Versagen auf einer in den Bruch geneigten Fläche (F im Foto) möglich. Ebenso möglich ist Keilversagen (K im Foto) aus dem Verschnitt



zweier Trennflächen (blaue Pfeile in Abb. 21 rechts). Jedoch sind auch an der Südwand die Trennflächenlängen zu kurz, um die Standsicherheit einer Böschung zu gefährden.

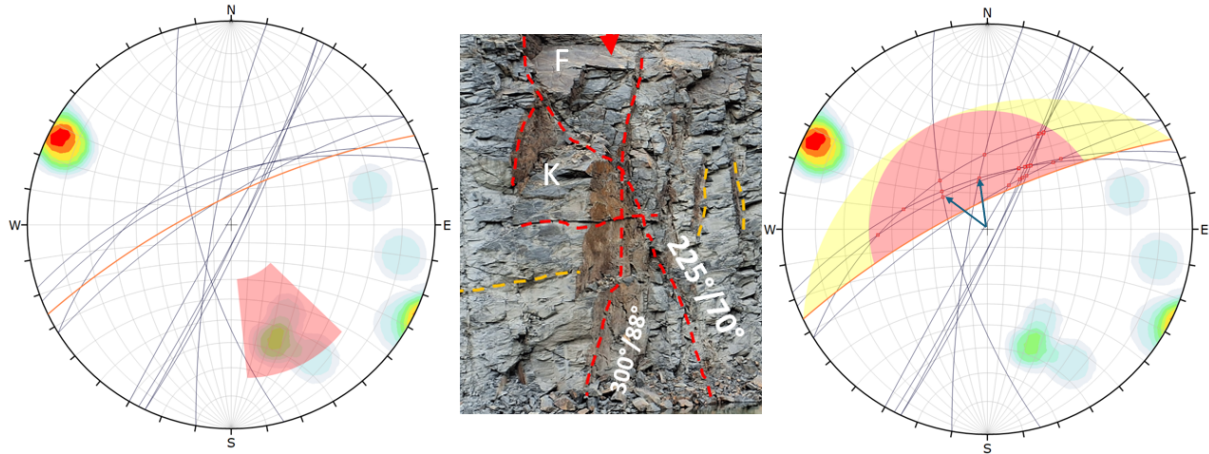


Abb. 21 Prüfung auf ebenes Versagen (links) und Keilversagen (rechts) an der Südwand.

Die kinematische Analysen der Ostwand auf die Fälle A (ebenes Gleiten) und B (Keilversagen) sind in Abbildung 22 dargestellt. Ebenes Versagen ist hier nicht möglich. Keilversagen ist theoretisch möglich, jedoch müsste dazu der Reibungswinkel auf den Keilflächen  $\varphi < 28^\circ$  sein.

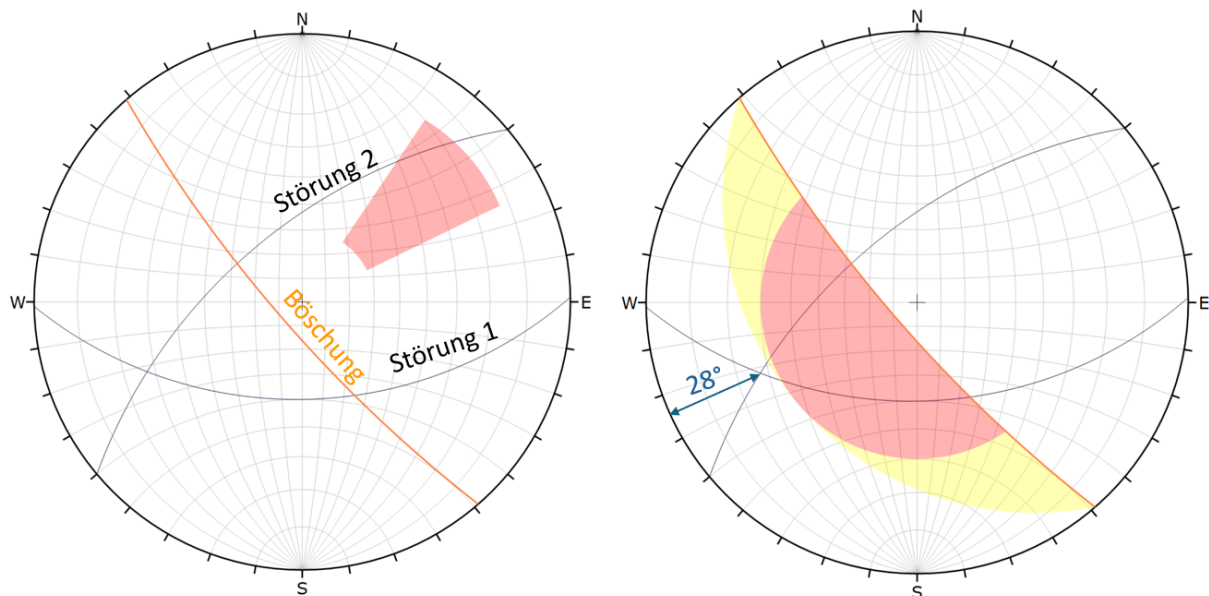


Abb. 22 Prüfung auf ebenes Versagen (links) und Keilversagen (rechts) an der Ostwand.

Für die Standsicherheit der Bestandsböschungen ist Folgendes festzustellen:

- Die Gebirgsfestigkeit ist zu hoch, als dass sich ein Versagen auf einer gekrümmten Gleitfläche einstellen kann; und



- Trennflächen können so ungünstig verschneiden, dass Ablösen von Gebirgskörpern möglich ist. Jedoch ist immer eine Trennfläche so klein, dass nur eine lokale Massenverlagerung auftreten kann.
- Der Bereich des verwitterten, gestörten und stärker zerlegten Diabas an der Ostwand ist bei der momentanen Bermenbreite und Teilböschungshöhe standsicher.
- Die Böschungen im Bestand sind standsicher, jedoch sind kleinvolumige Rutschungen möglich.

## 5.2 Standsicherheit der geplanten Endböschungen

### Globales Versagen im geplanten Endstand

Der Nachweis der Standsicherheit der Böschungen im Endstand folgt der oben beschriebenen Vorgehensweise. Zuerst wird die Böschungsstandsicherheit (Versagensmechanismus C in Abbildung 15) mit einem homogenisiertes Gebirge mit Qualitäten nach Tabelle 2 und Gebirgskennwerten nach Tabelle 3 mittels 2D und 3D-FEM bewertet. Danach erfolgt die kinematische Analyse der Standsicherheit unter der Maßgabe, dass ähnliche Trennflächen wie im Bestand auftreten werden.

Die Planungen /4/ sind in Abbildungen 23 und 24 dargestellt. Die geplante Teilverfüllung des Tagebaus wurde in den Standsicherheitsanalysen nicht betrachtet.

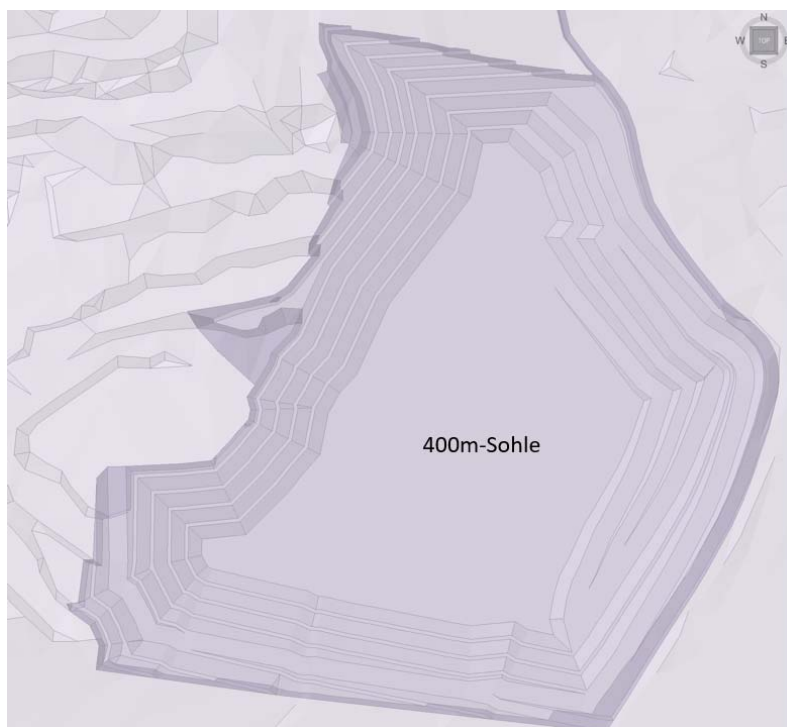


Abb. 23 Aufsicht auf den geplanten Erweiterungsbereich im Endstand.

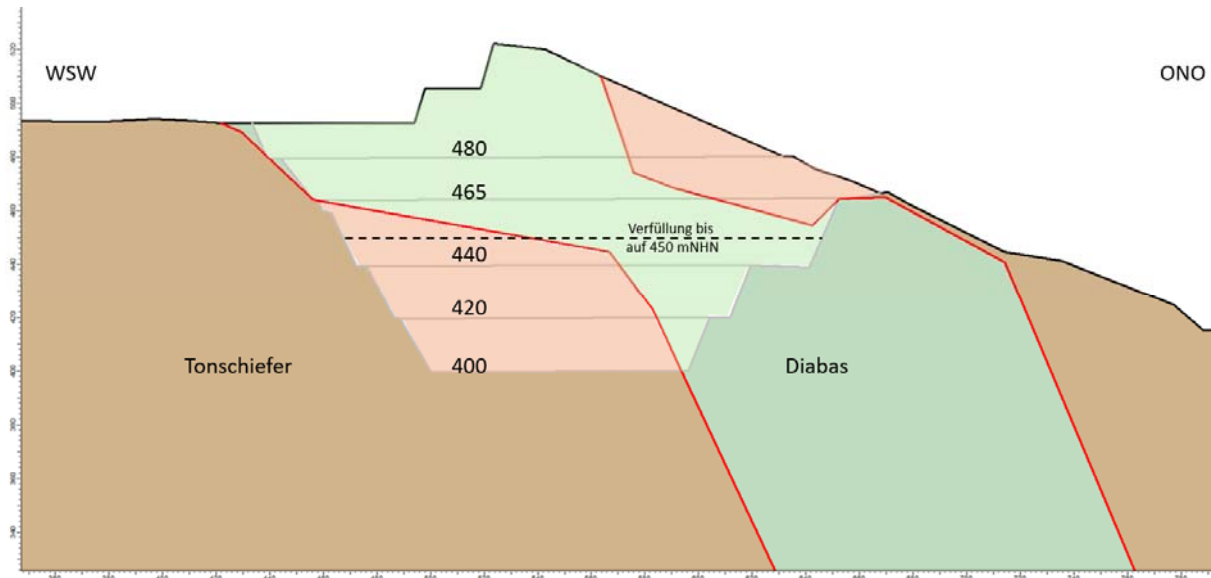


Abb. 24 Lagerstättenmodell im WSW-ONO Schnitt mit einzelnen Sohlen /4/.

Die Teilböschungen sind 20 bis 25 m hoch und in der Regel 70° geneigt. Die Bermen sind 5 m, an der Ostseite bis zu 15 m breit. Unter Verwendung der Gebirgskennwerte aus Tabelle 3 sind weder im 2D-Modell noch im 3D-Modell Standsicherheitsdefizite während der Gewinnung als auch im Endstand zu erkennen. Der Sicherheitsfaktor an und hinter den geplanten Böschungen ist  $>2$  und somit genügend hoch. Es ist ebenfalls keine Gefährdung der Bereiche außerhalb der Betriebsgrenze festzustellen.

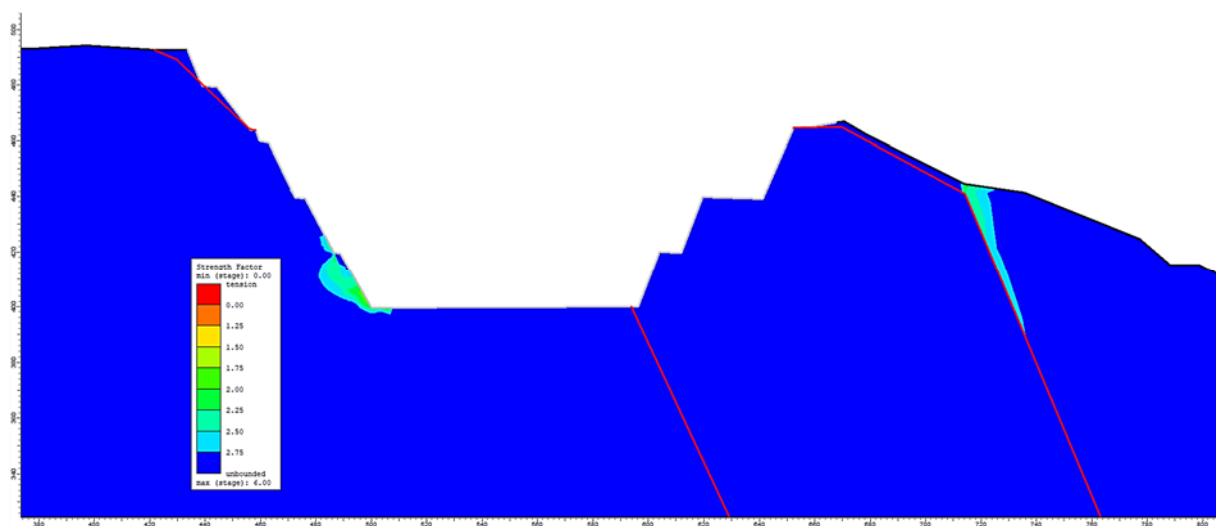


Abb. 25 Standsicherheit nach Abbau aller Sohlen im 2D-Modell.

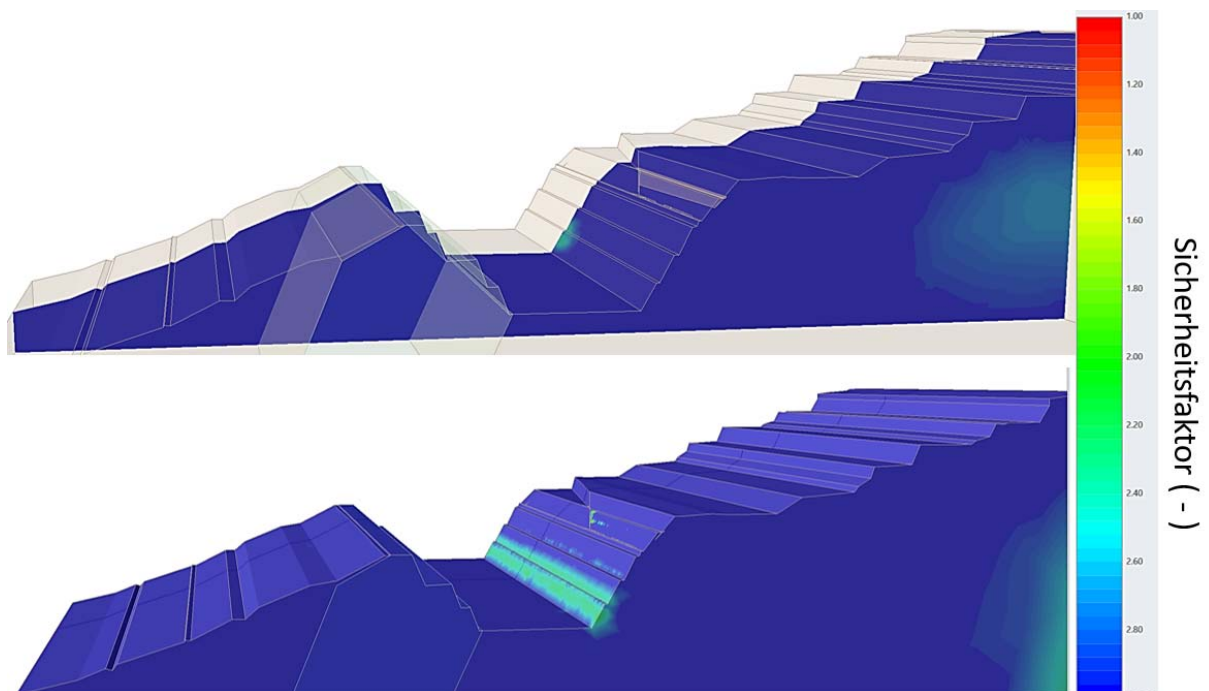


Abb. 26 Standsicherheit nach Abbau aller Sohlen im 3D-Modell. Oben: Schnitt senkrecht zu den Böschungen. Unten: Gesamtansicht.

### Kinematisches Versagen im geplanten Endstand

Abbildung 27 zeigt die Ausrichtungen der Böschungen, die für die kinematischen Nachweise betrachtet wurden. Abbildung 28 zeigt die Orientierungen der im Bestand aufgenommenen Trennflächen, nach deren Länge gekennzeichnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

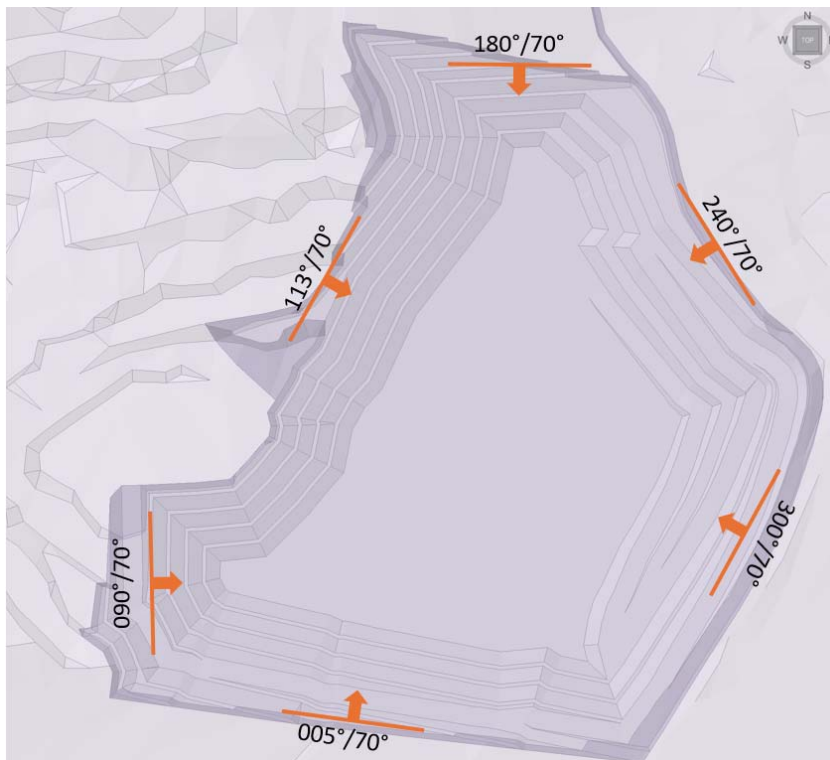


Abb. 27 Geplante Böschungen im Endstand mit Orientierung der Teilböschungen. Geprüft auf kinematisches Versagen wurden steilere Teilböschungen, also der ungünstigste Fall.

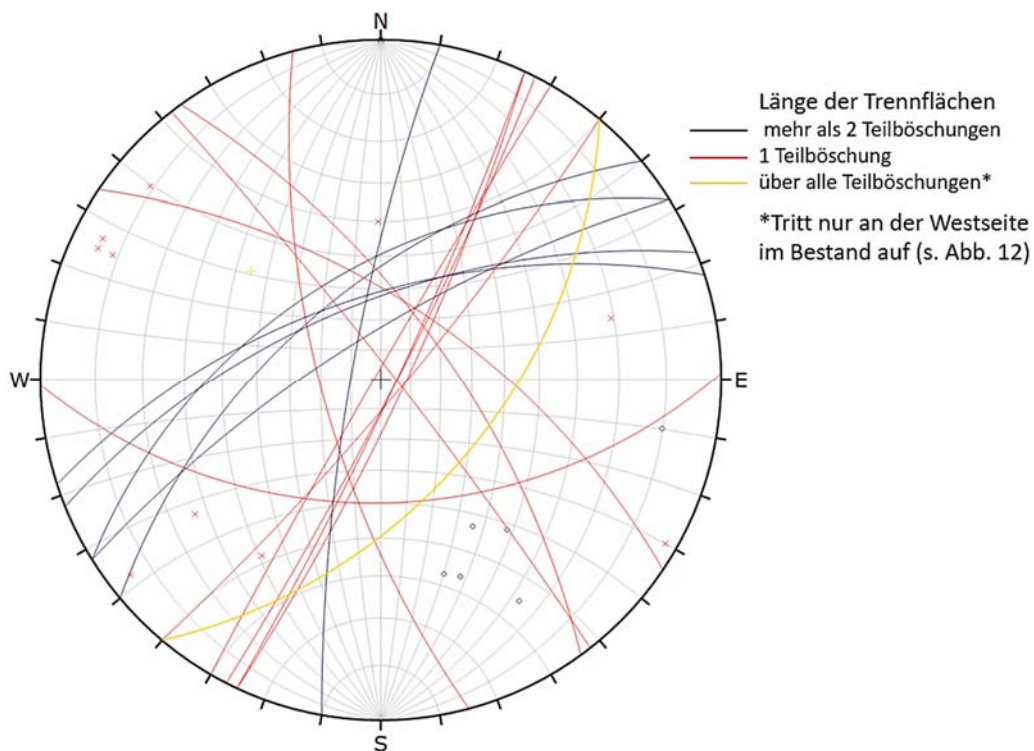
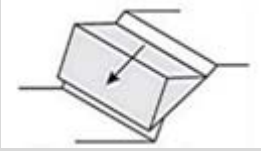
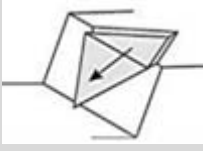
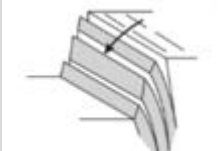


Abb. 28 Im Bestand gemessene Trennflächen mit deren Längen.



Tab. 4 Ergebnisse der kinematischen Prüfungen.

Böschungsbereich	ebenes Gleiten 	Keilversagen 	Kippen 
240°/70°	nicht möglich	lokal möglich	vereinzelt
300°/70°	nicht möglich	lokal möglich	nicht möglich
005°/70°	nicht möglich	lokal möglich	nicht möglich
090°/70°	nicht möglich	vereinzelt	nicht möglich
113°/70°	nicht möglich	vereinzelt	nicht möglich
180°/70°	lokal	vereinzelt	vereinzelt

Es treten zwar fast immer Trennflächen mit großen Längen auf (schwarze Linien in Abb. 28), jedoch ist die erforderliche zweite Trennfläche (rot in Abb. 28) immer kürzer. Somit ist aus Tabelle 4 festzustellen, dass mit lokalem Abrutschen von kleineren Kluftkörpern zu rechnen ist. Dies ist auch im Bestandstagebau an den „gezackten“ Bermenkanten und Oberflächen der Teilböschungen ersichtlich. Versagen einer gesamten Böschung ist nicht zu erwarten.

Potenziell problematisch ist jedoch die weit aushaltende Störung (gelbe Linie in Abb. 28, 130°/35°) für die zukünftige Nordwestböschung. Verläuft diese Störung in dieser Position und Orientierung weiter nach Nordosten, so liegt sie im Bereich der geplanten NW-Böschung (Abb. 29).

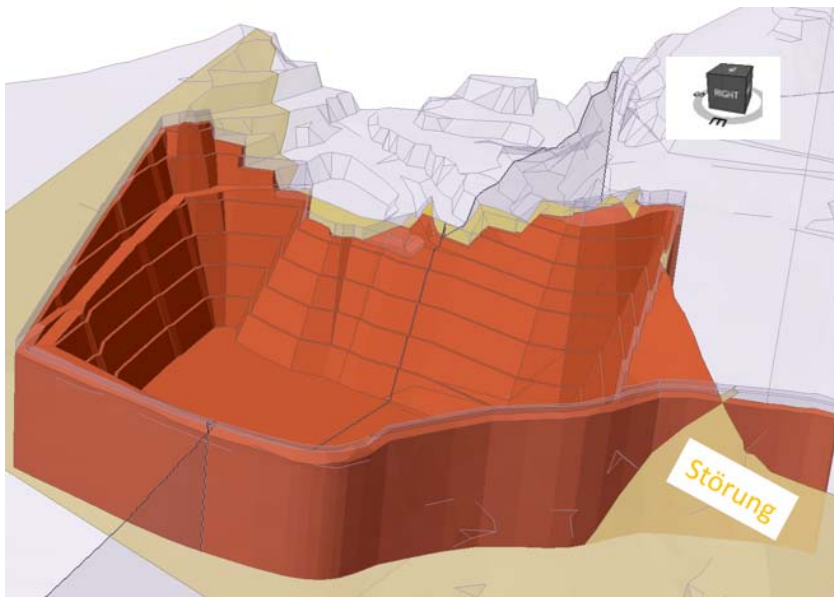


Abb. 29 Extrapolierte Störung (gelbe Fläche) und geplanter Endstand.

Da die Störung mit ca. 53° flacher einfällt als die NW-Böschung besteht die Gefahr, dass sie an der Böschungsoberfläche ausbeißt und ein ebenes Versagen ermöglicht. Abbildung 30 zeigt in einem Schnitt senkrecht zur fraglichen Böschung die mögliche Position der Störung.

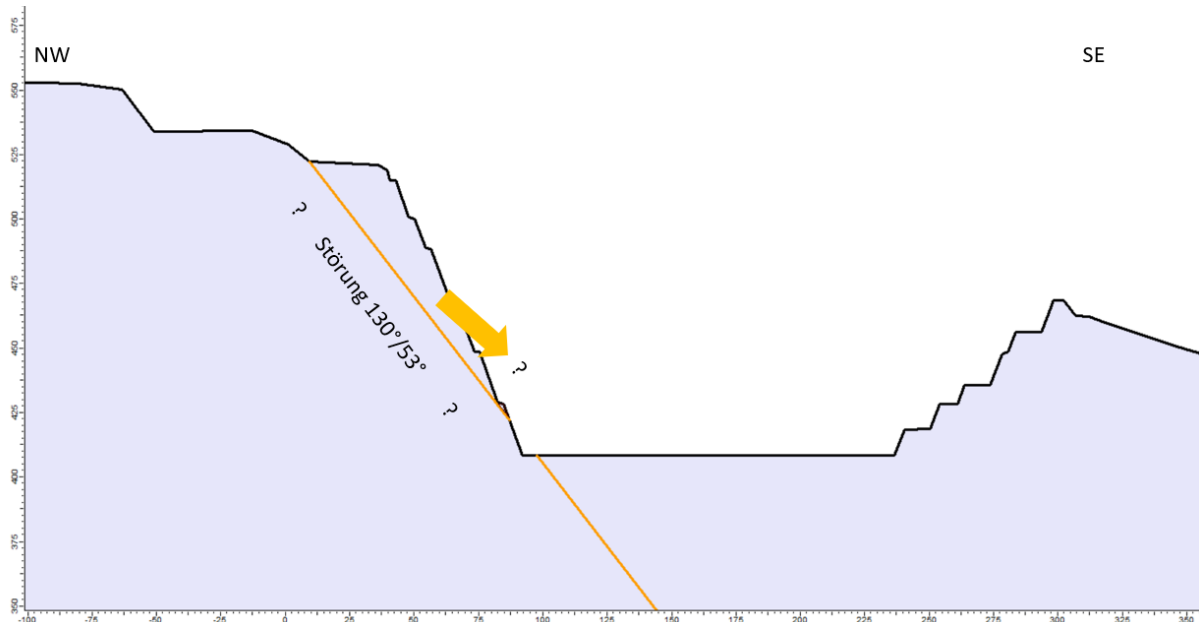


Abb. 30 Mögliche Position der Störung an der NW-Böschung mit potenziell ebenem Versagen (Abrutschen des Volumens oberhalb der Störung).

Es wird empfohlen, die Lage und Orientierung der Störung während des Abbaus zu dokumentieren. Liegt diese hinter der Böschungskrone und fällt flacher ein als die NW-Böschung, muss die gesamte Böschung nach NW bis hinter die Störung geführt werden. Damit wird ein Abrutschen auf der Störung unmöglich.

## 6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Bei den verfalteten und gestörten Gebirgsverhältnissen ist eine eindeutige geometrische Abgrenzung von Böschungsbereichen mit Tonschiefer oder Diabas nicht möglich. Deshalb wurde zuerst die Standsicherheit der Bestandsböschungen mit Tonschiefer und Diabas geprüft. Hier waren keine globale Standsicherheitsdefizite festzustellen. Die kinematischen Prüfungen auf Kluftkörperversagen zeigen, dass sich lokal kleinere Volumina aus der Böschung lösen können.

Diese Methodik wurde auf die geplanten Böschungen im Erweiterungsbereich angewendet. Auch hier ist globales Böschungsversagen nicht zu erwarten. Es ist aber auf den gestörten Bereich im Osten zu achten (s. Abb. 11). Sollte dieser an der geplanten Ostwand auftreten, so ist hier möglicherweise eine Abflachung der Wand notwendig.

Die kinematischen Analysen zeigen – unter der Annahme, dass dasselbe Trennflächeninventar vorhanden sein wird – nur lokales Kluftkörperversagen wie im Bestand. Jedoch ist hier die

Lage der Großstörung (s. Abb. 14 und 28 – 30) zu beachten. Diese kann an der zukünftigen Nordwestwand zur Verlagerung großer Volumina führen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bis auf die genannten Ausnahmen keine globalen Standsicherheitsdefizite an den geplanten Endböschungen zu erwarten sind. Lokale, kleinvolumige Kluftkörper ( $< \text{ca. } 5 \text{ m}^3$ ) können sich aus den Böschungen lösen. Weiterhin wird mit der Teilverfüllung des Erweiterungsbereichs auf 450 mNHN ein Böschungsversagen an der Betriebsgrenze unmöglich.

Es wird empfohlen,

- den gestörten Bereich im Osten zu beobachten und ggf. dort die Böschungsneigungen anzupassen;
- die Lage der Großstörung beim Abbau der einzelnen Sohlen festzuhalten und ggf. die Böschungskrone nach NW zu verschieben, und
- generell die Böschungen im Endstand mittels gebirgsschonender Löseverfahren (Vorpaltsprengung) herzustellen.

Für Rückfragen stehe ich gerne zur Verfügung.

Dortmund, den 31.08.2025


Prof. Dr.-Ing. M. Alber

Alber GeoMechanik