
Geotechnische Stellungnahme

Stand sicherheitsbewertung

Steinbrucherweiterung Lohbusch-West in Warstein

Auftraggeber:



Heidelberg Materials AG
Standort Warstein
Am Hillenberg 14
59581 Warstein

Bearbeitung:



GeoConsult Busch
Passestraße 80
D-52070 Aachen

Tel: +49-241-405571-0
Fax: +49-241-405571-9
E-Mail: info@gcb-ac.de
Web: www.gcb-ac.de

Projektleitung: Dipl.-Geol. Gerhard Busch

Projektbearbeitung: Dipl.-Geol. Silke Ewald
Philipp Odinius, M.Sc.

Projekt-Nr.: 19_0010 Umfang: 21 Seiten (inkl. Deckblatt)

Ort / Datum: Aachen, 16.02.2024 Revisions-Nr.: 1.0

Inhaltsverzeichnis:

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2	Verwendete Unterlagen.....	5
3	Lage und geplante Abbaugeometrie.....	6
4	Geologische Verhältnisse.....	9
4.1	Allgemeine geologische Verhältnisse	9
4.2	Erkundungsbohrungen und Geophysik.....	9
4.3	Gefügemessungen	10
4.4	Geotechnische Einheiten / Homogenbereiche.....	11
4.5	Oberflächengewässer / Grundwasser	12
5	Standsicherheitseinschätzung der Lockergesteinsböschungen	13
5.1	Geotechnische Kennwerte	13
5.2	Böschungstabilität.....	13
6	Standsicherheitseinschätzung der Festgesteinsböschungen	16
6.1	Geomechanische Grundsätze	16
6.2	Bewertung der Standsicherheit „Gleiten“	17
6.2.1	Nordböschung.....	17
6.2.2	Ostböschung	18
6.2.3	Südböschung	19
6.3	Bewertung der Standsicherheit „Kippen“	20
7	Zusammenfassung	21

Verzeichnis der Abbildungen:

Abb. 1:	Lage der Erweiterungsfläche	6
Abb. 2:	Derzeitige Geländehöhen und geplante Abbautiefen.....	7
Abb. 3:	Darstellung im Schmidt'schen Netz der Polpunkte der gemessenen Trennflächen im benachbarten Steinbruch Lohbusch	10
Abb. 4:	Geologischer Profilschnitt durch die Steinbrucherweiterung Lohbusch-West	11
Abb. 5:	Lage der Profilschnitte der berechneten Abraumböschungen	14
Abb. 6:	Auswertung im Schmidt'schen Netz der Trennflächenraumlagen zum Bereich Nordböschung, links ebenes Gleiten, rechts räumliches Gleiten.....	18
Abb. 7:	Auswertung im Schmidt'schen Netz der Trennflächenraumlagen zum Bereich Ostböschung, links ebenes Gleiten, rechts räumliches Gleiten	19
Abb. 8:	Auswertung im Schmidt'schen Netz der Trennflächenraumlagen zum Bereich Süd-Böschung, links ebenes Gleiten, rechts räumliches Gleiten	20

Verzeichnis der Tabellen:

Tab. 1:	Böschungsgeometrie der geplanten Lockergesteinswände	8
Tab. 2:	Böschungsgeometrie der geplanten Festgesteinswände.....	8
Tab. 3:	Häufungsmaxima der Trennflächensysteme	11
Tab. 4:	Geotechnische Kennwerte Lockergestein, kalkuliert	13
Tab. 5:	Teilsicherheitsbeiwerte im GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit	14
Tab. 6:	Ausnutzungsgrad der Abraumböschung.....	15
Tab. 7:	Geotechnische Kennwerte der relevanten geologischen Einheiten [Barton & Bandis]	16
Tab. 8:	Fallunterscheidung der möglichen Versagensmechanismen Nordböschung.....	18
Tab. 9:	Fallunterscheidung der möglichen Versagensmechanismen südliche Ost-Böschung	19
Tab. 10:	Fallunterscheidung der möglichen Versagensmechanismen Süd-Böschung	20

Verzeichnis der Anhänge:

Anhang 1	Böschungsbruchberechnung BS-P, Lockergesteinsböschung
----------	---

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Firma Heidelberg Materials AG (vormals HeidelbergCement AG) betreibt am Standort Warstein die Steinbrüche Morgensonne, Kupferkuhle und Lohbusch. Das in den Steinbrüchen gewonnene Material wird im angegliederten Schotterwerk Kupferkuhle aufbereitet. Aus den gewonnenen Kalksteinen wird Rohkalkstein für die Zementindustrie sowie Edelsplitte und Mineralgemische hergestellt.

Der Steinbruch Lohbusch ist inzwischen nahezu ausgebeutet. Zur künftigen Sicherung des Werkstandortes und des mittelfristigen Rohstoffbedarfs strebt die Fa. Heidelberg Materials AG eine Erweiterung des Steinbruchs Lohbusch in westliche Richtung an. Die geplante Erweiterungsfläche wird im Weiteren als Steinbrucherweiterung Lohbusch-West bezeichnet.

Die geplante Steinbrucherweiterung bedarf einer Änderungsgenehmigung nach §§ 4 und 16 BImSchG i.V.m. §§ 3, 4 und 7 AbgrG NRW.

Im Rahmen des Abgrabungsantrags ist eine Bewertung der Standsicherheit der geplanten Endböschungen im Abbaubereich vorzulegen.

Die geplanten Endböschungen in der Steinbrucherweiterung Lohbusch-West bestehen nach Stand der vorliegenden Untersuchungen zum Teil aus Abraummaterial und zum Teil aus Kalkstein. Es ist demnach die Standsicherheit von Lockergesteinsböschungen (aus Abraummaterial) und Festgesteinsböschungen (aus Kalkstein) zu bewerten.

Für beide dieser geotechnischen Einheiten erfolgt mit der vorliegenden geotechnischen Stellungnahme eine prognostische Standsicherheitsbewertung.

2 Verwendete Unterlagen

Zur Planung und Durchführung der Untersuchungen wurden folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt bzw. für die Bearbeitung herangezogen:

- U 1 Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25.000, Blatt 4516 Warstein, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1984
- U 2 Erläuterungsbericht zum Antrag auf Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis zum Abbau von Gestein gem. §§ 8 und 9 WHG, Steinbrucherweiterung Lohbusch-West in Warstein.- GeoConsult Busch, Aachen 05.04.2023
- U 3 Geoelektrische Untersuchung Erschließung des Steinbruchs „Lohbusch-West“ Warstein im Auftrag der Firma Brühne Baustoff und Transport GmbH & Co.KG Warstein, terratec Geophysical Services D-49423 Heitersheim 21.12.2007
- U 4 Folgenutzungskonzept für den Kalksteinabbau in der Stadt Warstein, Bertram Mestermann Büro für Landschaftsplanung, Enderle Beratung und Büro Stelzig, Warstein-Hirschberg, Juli 2022
- U 5 Fachinformationssystem ELWAS-Web, <https://www.elwasweb.nrw.de/> - Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW (Abruf: August 2023)
- U 6 WMS NW DOP, Geobasis NRW, dl-de/by-2-0, (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>), URL: https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dop (Abruf: Februar 2024)
- U 7 WMS NW ABK, Geobasis NRW, dl-de/by-2-0, (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>), URL: https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_abk (Abruf: Februar 2024)
- U 8 WMS NW ALKIS, Geobasis NRW, dl-de/by-2-0, (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>), URL: https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_alkis (Abruf: Februar 2024)
- U 9 WMS NW DTK, Geobasis NRW, dl-de/by-2-0, (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>), URL: https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dtk (Abruf: Februar 2024)
- U 10 Digitales Geländemodell DGM1, dgm1_05974044_Warstein_EPSG25832_XYZ, Flugdatum 06.02.2018, Abruf Februar 2024, Geobasis NRW, dl-de/by-2-0, (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>), URL: https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dgm/dgm1/dgm1_05974044_Warstein_EPSG25832_XYZ.zip
- U 11 Wyllie, D., C. and Mah, C., W.: Rock slope Engineering, Civil and mining, based on the third edition by E Hoek and J Bray, London and New York 2005
- U 12 Barton, N., Bandis, S., Bakhtar, K.: Strength, deformation and conductivity coupling of rock joints, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.&Geomech. Abstr. 22, 3, 121-140 (1985)

Sowie weitere einschlägige DIN-Normen, Regelwerke und Fachliteratur.

3 Lage und geplante Abbaugeometrie

Das beantragte Abgrabungsfeld liegt westlich des derzeit betriebenen Steinbruchs Lohbusch (s. Abb. 1). Zwischen den beiden Abgrabungsgebieten Lohbusch und Lohbusch-West verläuft die Straße „Nuttlerer Pfad“. Sie trennt die beiden Steinbrüche und ist derzeit nicht in die Abbauplanung integriert.

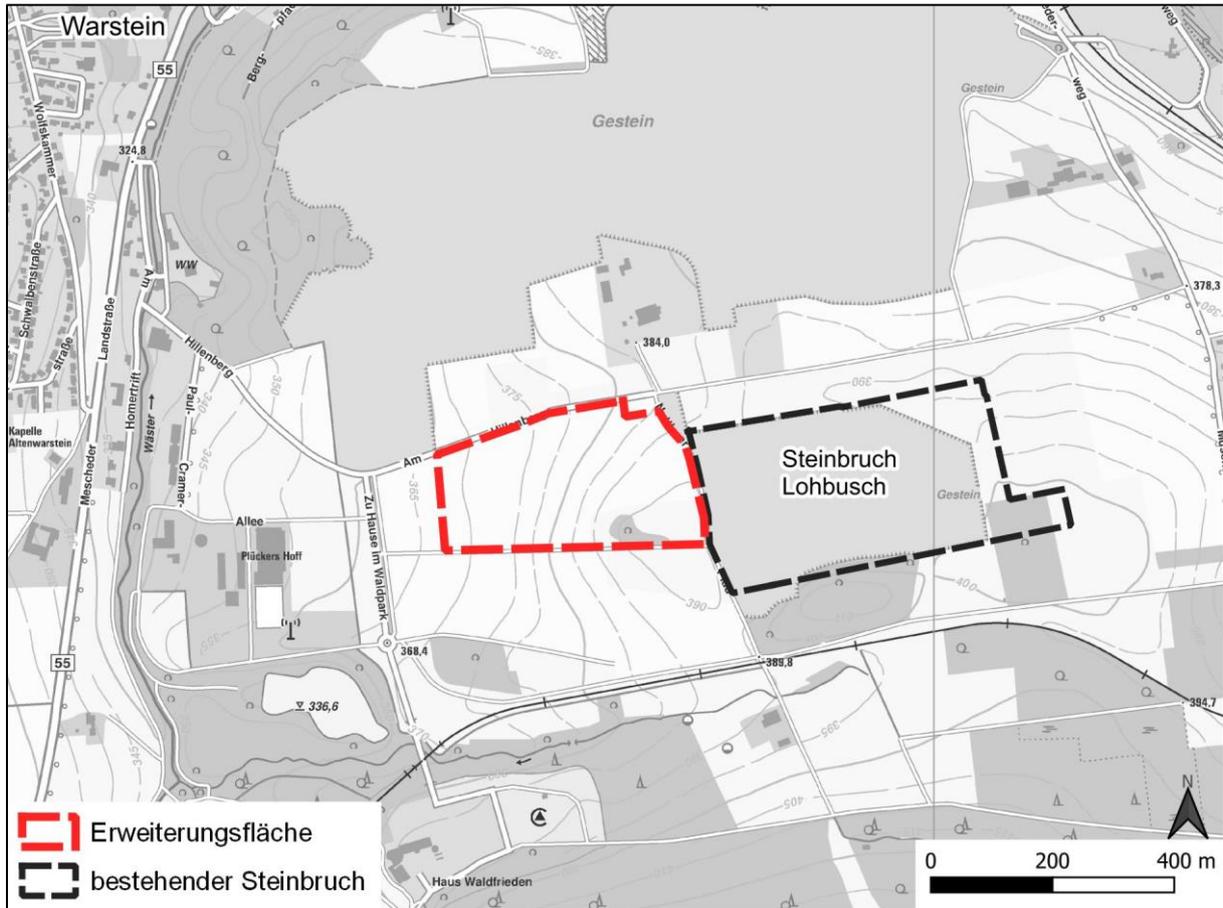


Abb. 1: Lage der Erweiterungsfläche Kartengrundlage: [U 4]

Morphologisch fällt die Vorhabenfläche flach nach Westen bzw. Nordwesten ab mit Geländehöhen von ca. 396 m NHN im Südosten und ca. 367 m NHN an der Westgrenze. Den Hochpunkt bildet ein kleiner von Westen nach Osten verlaufender Höhenrücken in der Südostecke der Fläche.

Die Vorhabenfläche beträgt ca. 86.600 m², entsprechend ca. 8,66 ha (s. Abb. 2). Davon soll zunächst nur auf einer Fläche von ca. 4,6 ha Abbau stattfinden (sog. Verritzungskante). Die übrige Fläche wird zunächst als Bodenlager genutzt.

In Abb. 2 ist der Abbauplan mit den geplanten Endböschungen im Abbaubereich dargestellt. Die dargestellte Abbauplanung berücksichtigt nicht betriebsbedingte Verluste durch Rampen, Zufahrten o.ä.

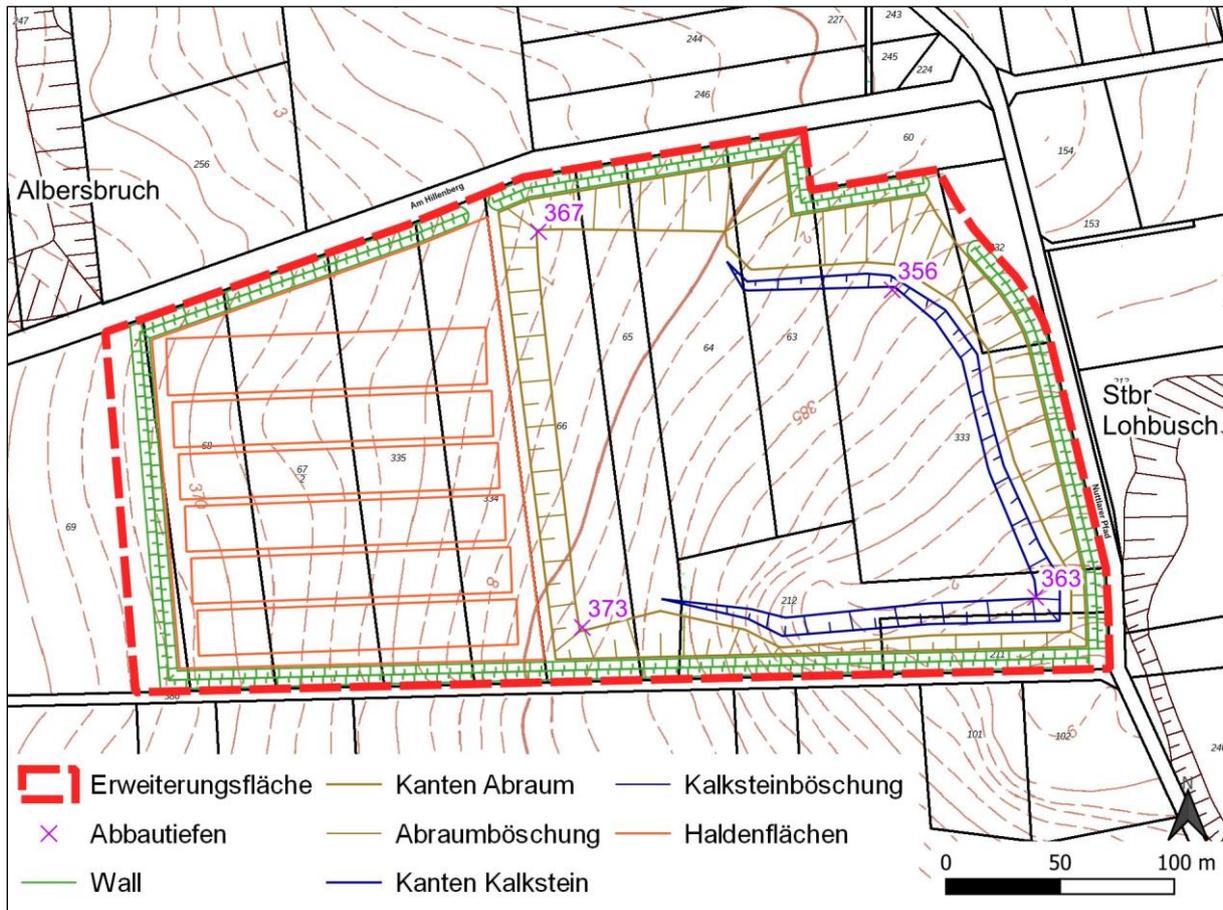


Abb. 2: Derzeitige Geländehöhen und geplante Abbautiefen [U 8, U 9]

Der Abbau wird innerhalb der Verritzungskante bis auf ein Niveau von 356 m NHN im Nordosten und 373 m NHN im Südwesten beantragt (s. Abb. 2). Die beantragten Abbautiefen orientieren sich an dem zeHGW (zu erwartenden höchsten Grundwasserstand) und einer Mindestmächtigkeit der verbleibenden Grundwasserüberdeckung (Schicht aus unverritztem Fels und Deckschichten) über dem zeHGW von 10 m¹. Die Abbautiefen betragen maximal 32 m an der Ostgrenze, im Westen werden ca. 9 m Abbautiefe erreicht.

Aufgrund der anzunehmenden großen Abraummächtigkeiten² (Überlagerung des Kalksteins) im Bereich des Erweiterungsgeländes (vgl. Kap. 4.4) bestehen die geplanten Endböschungen zum Teil aus Abraummaterial (Überlagerungs-/Lockergesteinsböschungen) und zum Teil aus Kalkstein (Fels-/Festgesteinsböschungen).

¹ Gemäß „Urteil des OVG NRW zur WSG-VO im Warsteiner Kalkmassiv vom 18.11.2015 - Konsequenzen für die Wasserbehörden – Besprechung im MKULNV am 27.07.2016“ – LANUV NRW

² Die Abraummassen werden nicht, wie durchaus üblich, als Deckschichten bezeichnet, da der Begriff Deckschichten bereits durch den Geologischen Dienst für die Schichten oberhalb des Grundwassers (zeHGW) verwendet wird. Um keine Doppeldeutigkeit mit anderen Antragsunterlagen zu erzeugen, wird der Begriff „Abraum“ für den Verwitterungslehm und die Kluffüllungen sowie Füllungen großer Dolinen und Sturzmassen und vereinzelt aufragenden Kalkrippen verwendet.

Die Abbauwände im Festgestein werden im Sprengverfahren erstellt, die jeweiligen Abschlüge werden mit ca. 12-20 m Strossenhöhe vorgegeben. Der Abbau der Lockergesteinsböschungen erfolgt hauptsächlich mit Hydraulikbagger.

Für die geplante Endböschungsgeometrie werden generell durchgehende Wandhöhen ohne Berme von max. 30 m im Festgestein und max. 20 m im Lockergestein angesetzt. Nach den vorhandenen Erkenntnissen (geologisches Modell) ergeben sich damit maximale Böschungshöhen von 28 m im Festgestein und 18 m im Lockergestein. Zwischen der Lockergesteinsböschung und der Festgesteinsböschung wird eine Berme von 5 m Breite vorgesehen.

Als generelle mittlere Neigungswinkel für die Böschungen wird von folgenden Werten ausgegangen:

- Lockergesteinsböschungen ca. 34°
- Festgesteinsböschungen ca. 55 -70°

Die Lockergesteinsböschungen werden mit einem Winkel von 34° geplant, der generell in allen Böschungsabschnitten aus Abraummaterial angesetzt wird (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Böschungsgeometrie der geplanten Lockergesteinswände

Böschung	max. Böschungswinkel	max. Höhe Abraumböschungen
alle Abraumböschungen (Überlagerung)	34°	max. 18 m

Die Böschungsgeometrie der geplanten Abbauwände im Festgestein kann mit den in Tab. 2 dokumentierten generalisierten Raumdaten dokumentiert werden. Hierbei wurden bereits die Raumlagen der Trennflächensysteme berücksichtigt (siehe Kap. 4.3). Entsprechend der unterschiedlichen Raumlagen der Festgesteinsböschungen wird der geplante Abgrabungsbereich in mehrere Böschungsabschnitte unterteilt. Im Westen ist nach dem derzeitigen Stand der Erkundung nicht mit dem Antreffen von zusammenhängenden Felspartien zu rechnen. Hier wird voraussichtlich nur eine Abraumböschung erstellt, die im Rahmen der Bewertung der Lockergesteinsböschungen berücksichtigt wird.

Tab. 2: Böschungsgeometrie der geplanten Festgesteinwände

Böschung	mittlere Raumlage Böschung	max. Höhe Felsböschung	max. Gesamthöhe der Abgrabung
Nord	172/55	12 m	27 m
Ost	258/70	28 m	32 m
Süd	359/70	28 m	32 m

Raumlage: Einfallrichtung/Neigung

4 Geologische Verhältnisse

Die geologischen Verhältnisse im geplanten Abgrabungsbereich werden geprägt durch den Warsteiner Massenkalkkomplex und seine Überlagerungsschichten.

4.1 Allgemeine geologische Verhältnisse

Im Untersuchungsbereich grenzt der mittel- bis oberdevonische Massenkalk im Süden an die karbonischen Ton- und Sandsteine der Arnsberger Schichten, die einen Großteil des Untergrundes des Arnsberger Waldes aufbauen. Entlang einer etwa Ost-West verlaufenden Störungszone sind hier die karbonischen Schichten auf die Schichten des Massenkalk diskordant aufgeschoben worden [U 1].

Der devonische Massenkalk weist hier generell ein mittleres bis mittelsteiles Einfallen nach Süden auf. Er besteht aus einer Folge von dickbankigen bis massigen, schwärzlichen bis grauen, teilweise bituminösen und dichten Kalksteinen mit einzelnen verkieselten Zonen. Die Gesteine sind teilweise intensiv tektonisch beansprucht und weisen deutlich erkennbare Kluft- und bereichsweise Schieferungsflächen auf.

Der Massenkalkkörper zeigt teilweise tiefreichende Verkarstungserscheinungen, die in einem engen Zusammenhang zu den tektonischen Trennflächen, besonders den Klüften stehen. Hierbei fallen vor allem nahezu senkrechte Nordnordwest-Südsüdost-verlaufende ac-Klüfte auf, die zum Teil spalten- und trichterförmig erweitert und mit jüngeren Sedimenten gefüllt sind.

4.2 Erkundungsbohrungen und Geophysik

Im Zeitraum Februar bis April 2007 wurden in der Umgebung des Erweiterungsgeländes Lohbusch-West Bohrungen zur Erkundung der geologischen und hydro-geologischen Situation niedergebracht und zu Grundwassermessstellen ausgebaut. In den Bohrungen wurden neben den teilweise stark klüftigen Kalksteinen des Massenkalkes auch Sand- und Schluffsteine und sandig, tonige Lehme einer Dolinenzone angetroffen.

Ende 2007 wurden von der Firma terratec Geophysical Services, Heitersheim geoelektrische Untersuchungen des Erweiterungsgeländes Lohbusch-West [U 3] durchgeführt. Aus den geoelektrischen Profilen lassen sich Mächtigkeiten der Überlagerungsschichten des massiven Kalksteines anhand der gemessenen Widerstände abschätzen. Vor allem im Norden und Westen des Erweiterungsgeländes sind in den Profilen Überlagerungsmächtigkeiten des Massenkalks von mehreren 10-er Metern ausgewiesen. Die Überlagerungsschichten weisen innerhalb großer zusammenhängender Dolinenstrukturen eine Westsüdwest-Ostnordost gerichtete Erstreckung auf, insbesondere am Nordrand der geplanten Abgrabung. Innerhalb der Dolinenstrukturen ragen immer wieder Massenkalk-Rippen empor. In die Dolinenstrukturen können auch Blöcke aus Nebengesteinen (Mergelkalke, Glaukonit-Mergel und andere „jüngere“ Gesteine) als Bruchmassen eingelagert sein. Hauptbestandteil sind jedoch die Verwitterungsprodukte des Massenkalkes und des aufliegenden Lösslehms.

4.3 Gefügemessungen

Da der geplante Abbaubereich noch nicht aufgeschlossen ist, konnten keine Gefügemessungen in der geplanten Erweiterung durchgeführt werden. In dem östlich benachbarten Steinbruch Lohbusch wurden in den vergangenen Jahren einzelne Gefügemessungen mit dem Gefügekompass (Methode nach Clar) im Massenkalk durchgeführt. Auf diese Messungen kann für die vorliegende Bewertung zurückgegriffen werden.

Die Ergebnisse der Gefügemessungen sind im nachfolgenden Gefügediagramm (Lagekugel, s. Abb. 3) dargestellt.

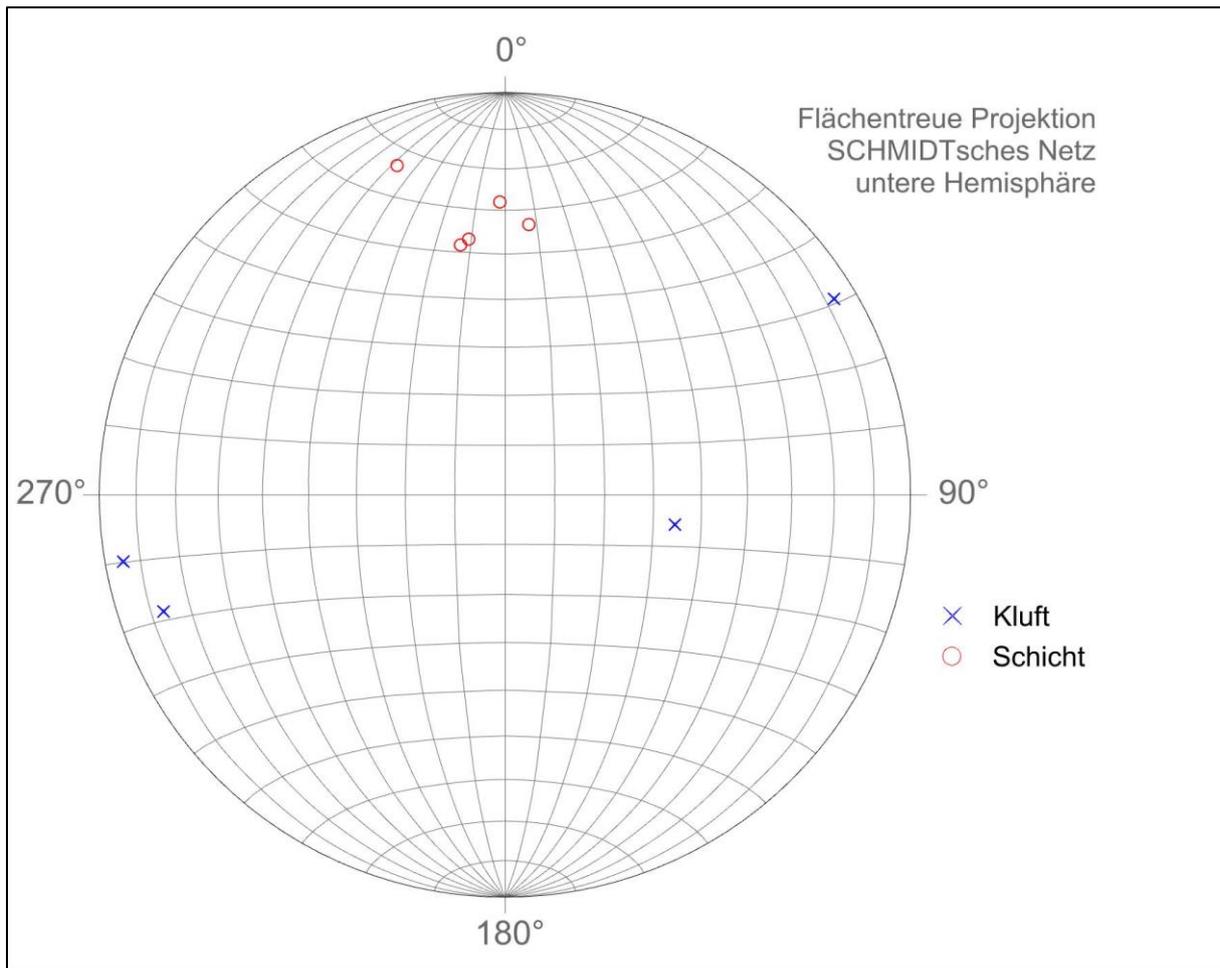


Abb. 3: Darstellung im Schmidt'schen Netz der Polpunkte der gemessenen Trennflächen im benachbarten Steinbruch Lohbusch

Die Gefügemessungen bestätigen ein Schichteinfallen mit ca. 55-75° nach Süden. Die typischen ac-Klüfte konnten mit steilen Einfallswerten um 80° nach Westsüdwest oder Ostnordost ebenfalls belegt werden. Zusätzlich wurde neben den Trennflächen der ac-Klüfte eine weitere Kluftechar angetroffen, die mit ca. 35° nach Westen einfällt und als Diagonalkluft-System gedeutet wird.

In Tab. 3 sind die Häufungsmaxima der Trennflächensysteme zusammengefasst.

Tab. 3: Häufungsmaxima der Trennflächensysteme

SS (Schichtung)	K1 (ac-Klüfte)	K2 (Diagonalkluft)
175/60	70/80	280/35

4.4 Geotechnische Einheiten / Homogenbereiche

Aus den Ergebnissen der Bohrungen, der Interpretation der geoelektrischen Untersuchungen und Begehungen in den benachbarten Steinbrüchen wurde bereits im Rahmen des wasserrechtlichen Antrags [U 2] ein geologisches Modell erarbeitet. Das geologische Modell ist Grundlage für geologische Profilschnitte. Abb. 4 enthält beispielhaft einen Nord-Süd-Schnitt durch die Erweiterung Lohbusch-West.

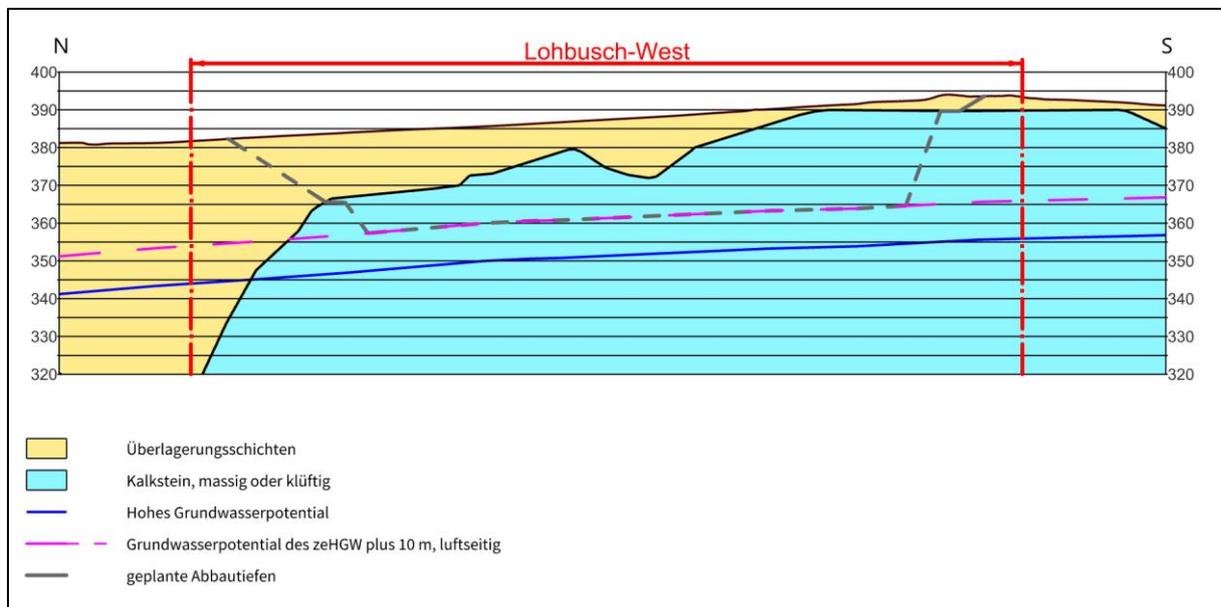


Abb. 4: Geologischer Profilschnitt durch die Steinbrucherweiterung Lohbusch-West An den geplanten Abbauwänden in der Erweiterung Lohbusch-West können die nachfolgend beschriebenen geotechnischen Einheiten unterschieden werden.

1. Überlagerung (kurz Abraum): bestehend aus Verwitterungslehm, Lösslehm und Kluffüllungen sowie Füllungen großer Dolinenstrukturen, einzelne Kalksteinrippen
2. Massenkalk: Kalkstein, dickbankig bis massig, teilweise geklüftet

Die Abraummassen weisen aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte als flächendeckende Ablagerung, Verwitterungsbildungen, Kluffüllungen oder Dolinenmaterial ein heterogenes Bild auf. Es handelt sich vorwiegend um Gesteine bzw. Gesteinsfragmente in einer Lockergesteinsmatrix. Als Gesteinsbruchstücke konnten neben Kalksteinen des Massenkalkes auch Ton- und Schluffsteine, Sandsteine, Brekzien und verkieselte Kalke angesprochen werden. Als Matrix treten neben braunen

Lehmen auch vereinzelt schwach kohlige Tone, rote und weiße Tone sowie Fein- bis Mittelsande mit vereinzelt grünlicher Färbung (Glaukonit) auf.

Im Norden und Osten des bestehenden Steinbruchs Lohbusch wurden vergleichbare Abraumschichten angetroffen. Im Bereich des geplanten Erweiterungsgeländes Lohbusch-West ist insbesondere im Norden, Westen und Osten mit größeren Mächtigkeiten der Abraumschichten zu rechnen.

Die Grenze zum Kalkstein ist häufig an mehr oder weniger senkrechte Trennflächen gebunden und ist durch aufragende Felsrippen unregelmäßig ausgebildet.

Die beiden geologischen Einheiten Abraum und Kalkstein werden als je ein Homogenbereich betrachtet, da nach den vorliegenden Untersuchungen davon ausgegangen werden kann, dass die Zusammensetzung des Abraums sowie die Lagerungsverhältnisse der Trennflächen im Festgestein im Bereich der Erweiterung weitgehend gleichbleiben.

4.5 Oberflächengewässer / Grundwasser

Oberflächengewässer sind im Erweiterungsgelände nicht vorhanden.

Die Grundwasserstände im Erweiterungsbereich weisen auf maximale GW-Stände von ca. 364 m NHN im Südwesten und 343 m NHN im Nordosten hin [U 2]. Die Grundwasserfließrichtung ist je nach Höhe des Wasserstandes nach Nordost oder Nord gerichtet.

Der Grundwasserspiegel liegt ca. 10 m unter der geplanten Abgrabungssohle von 356-373 m NHN. Die Berücksichtigung von drückendem Wasser bei den Standsticherheitsbewertungen ist somit nicht notwendig.

5 Standsicherheitseinschätzung der Lockergesteinsböschungen

Die oberen Böschungsbereiche der geplanten Abbauwände im Erweiterungsbereich Lohbusch-West bestehen aus einer lehmigen Matrix mit unterschiedlichen Anteilen Grobmaterialien bis hin zu großen verwitterten Gesteinsblöcken. Für eine erste Einschätzung der möglichen Abbaugeometrie wird der Bereich der Abraumböschung als eine Einheit betrachtet.

5.1 Geotechnische Kennwerte

Als geotechnische Kennwerte für den Abraum werden die in Tab. 4 dokumentierten charakteristischen Werte für Wichte γ' , Reibungswinkel φ' und Kohäsion c' angesetzt. Die Kennwerte werden hierbei als Schätzwerte auf Basis geotechnischer Laboruntersuchungen an vergleichbaren Materialien, der örtlichen Erfahrung des Unterzeichners sowie in Anlehnung an die Tabellenwerke der DIN 1055 angegeben.

Tab. 4: Geotechnische Kennwerte Lockergestein, kalkuliert

Einheit	Dichte	Reibungswinkel	Kohäsion
	γ'	φ'	c'
	kN/m ³	°	kN/m ²
Wall (aufgebaut aus Abraum)	20	27	5
Abraum	21	30	10

Der Wall wirkt im Bereich der Böschungskante als Auflast (Abstand Wall zur Verritzungskante ca. 1 m) für den unterlagernden Abraum. Neben dem Wall sind im Norden und Osten Auflasten durch Verkehrslasten zu beachten. Neben dem betrieblichen Verkehr mit SKW und Bagger (bis zu 60 t => 33,3 kN/m²) sind auch die angrenzenden Straßen (Verkehrslast 16,7 kN/m²) zu berücksichtigen. Da die angesetzte betriebliche Last am größten ist, wird diese Auflast (33,3 kN/m²) als ständige Verkehrslast bei der Böschungsberechnung angesetzt. Damit liegt auch diese Annahmen auf der sicheren Seite.

Das Untersuchungsgebiet liegt nicht in einer Erdbebenzone. Eine Berechnung der Bemessungssituation Erdbeben wird daher aus fachgutachterlicher Sicht für nicht erforderlich angesehen.

5.2 Böschungsstabilität

Die Berechnungen zur Böschungsstabilität wurden mit der SOFTWARE GEO5 2023 „Böschungsbruch“ und der Gleitkreismethode nach BISHOP durchgeführt. Die Teilsicherheitsbeiwerte werden entsprechend DIN EN 1997-1:2014-3, DIN EN 1997-1/NA:2010-12 und DIN 1054:2010-12 angesetzt (siehe Tab. 5). Es wird der Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit (Geo-3) als ständiger Bemessungszustand (BS-P) berechnet.

Die temporären Bemessungssituationen (BS-T), die während dem Betrieb der Abgrabung eintreten werden (Teilabbau von Wänden), werden bereits in der Bemessungssituation BS-P berücksichtigt,

da alle temporären Abbauzustände der geplanten Endwände nicht steiler ausgebildet werden, als die im BS-P berücksichtigte Endgeometrie.

Außergewöhnliche Fälle (BS-A) können zum derzeitigen Stand nicht definiert werden.

Tab. 5: Teilsicherheitsbeiwerte im GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit

	BS-P
Einwirkung	
Ständige Einwirkungen	1,0
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	1,3
Bodenkenngrößen	
Reibungsbeiwert $\tan \phi'$ und c' bzw. c_u	1,25

Die Standsicherheit der Abraumböschungen wurde beispielhaft an 4 Profilen (siehe Abb. 5) nachgewiesen. Die Auswahl der Profile richtete sich in der Regel nach der maximalen Höhe der Abraumböschung. Die Bemessungssituation im Süden zeigt einen repräsentativen Schnitt durch die Südböschung mit geringer Böschungshöhe im Abraum und großer Böschungshöhe im Festgestein.

Alle Berechnungen sind in Anhang 1 dokumentiert und die ermittelten Ausnutzungsgrade in Prozent in Tab. 6 zusammengestellt.



Abb. 5: Lage der Profilschnitte der berechneten Abraumböschungen

Tab. 6: Ausnutzungsgrad der Abraumböschung

Bemessungssituation	Ausnutzungsgrad	Anmerkung
Abraumböschung Nord	97,5 %	angenommene Höhe 18 m
Abraumböschung Ost	96,9 %	angenommene Höhe 17,5 m
Abraumböschung Süd	58,8 %	angenommene Höhe 3,5 m
Abraumböschung West	87,5 %	angenommene Höhe 9,0 m

Wie Tab. 6 zu entnehmen ist, liegen die Ausnutzungsgrade (in Prozent) zwischen 58,8% im Süden und 97,5 % bei der angenommenen maximalen Abraumböschung von 18 m im Norden. Werte über 100 % (kein Nachweis ausreichender Standsicherheit) konnten nicht ermittelt werden, der Nachweis der Standsicherheit konnte für die geplanten Lockergesteinsböschungen erbracht werden.

Vergleichbare Abraumböschungen im benachbarten Steinbruch Lohbusch sind mit Böschungsneigungen von 36-42° ausgebildet und haben bereits seit Jahren Bestand. Dies bestätigt zusätzlich, dass die angesetzte Böschungsneigung von 34° für die Lockergesteinsböschungen der Erweiterung Lohbusch-West als standsicher zu erwarten ist.

6 Standsicherheitseinschätzung der Festgesteinsböschungen

Für die geplanten Abbauwände der Endgeometrie im Festgestein ist grundsätzlich eine ausreichende Standsicherheit nachzuweisen.

Die Nachweise werden anhand der im benachbarten Steinbruch Lohbusch vorhandenen Aufschlüsse und dem dort gemessenen Trennflächeninventar durchgeführt. Diese Aufschlüsse geben derzeit eine gute Abschätzung des zu erwartenden Trennflächeninventars in der Erweiterung Lohbusch-West.

Mit den vorliegenden Informationen wird im Folgenden eine Einschätzung der Standsicherheit der geplanten Endböschungen im Festgestein vorgenommen. Diese Einschätzung sollte im weiteren Verlauf des Abbaugeschehens anhand der dann angetroffenen Trennflächen anpasst werden. Es wird daher empfohlen, den Nachweis der Standsicherheit für die Endböschung bei Annäherung der Abbauvorgänge an die Endstellung der Abbauwände auf Basis der dann aktuell vorliegenden geotechnischen Gegebenheiten ggf. zu überarbeiten.

6.1 Geomechanische Grundsätze

Ein Versagen der Böschung im Sinne der Standsicherheit ist generell dann zu erwarten, wenn die Scherfestigkeit eines Gesteinsverbandes mit den Kräften der Gravitation nicht mehr im Gleichgewicht steht. Damit ist die Stabilität (Standsicherheit) der Böschung nicht mehr gewährleistet und es kommt zu Massenbewegungen (Steinschlag bis Böschungsbruch).

Zur Bewertung der Standsicherheit der Abbauwände sind somit Aussagen über den ingenieurgeologisch/gebirgsmechanischen Aufbau der Felswände und die möglichen Versagensmechanismen zu treffen.

Nach den Vorgaben der DIN EN 1997-1:2009, EC 7-1, DIN 1054:2010-12 in Verbindung mit DIN 4084/A1:2017-08 ist der Nachweis der Standsicherheit i.d.R. nach den Vorgaben des Teilsicherheitskonzeptes durchzuführen. Ziel ist der Nachweis eines Ausnutzungsgrades $\mu < 1$ bei der Anwendung von geotechnischen Parametern, die mittels Teilsicherheitsbeiwerten angepasst wurden.

Im Folgenden wird unter konservativen Annahmen von den in Tab. 7 dokumentierten Kennwerten ausgegangen.

Tab. 7: Geotechnische Kennwerte der relevanten geologischen Einheiten [Barton & Bandis]

Einheit	Dichte	effektiver Reibungswinkel*	Bemessungswert von φ'	Kohäsion	Kluft-Rauhigkeit	Kluftfestigkeit	Bestimmungslänge
	γ'	φ'	φ'_d	c'	JRC ₀	JCS ₀	L ₀
	kN/m ³	°	°	kN/m ²	1	MN/m ²	m
Kalkstein des Masenkalkes	26	42	36	0	10	100	0,1

* effektiver Reibungswinkel

Aus dem effektiven Reibungswinkel $\varphi' = 42^\circ$ wird unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte ($\gamma_\varphi = 1,25$, siehe Tab. 5) der Bemessungswert des Reibungswinkels mit 36^{03} ermittelt.

Bei ausschließlicher Betrachtung des Reibungswinkels folgt hieraus, dass bei Trennflächen mit Einfallwinkeln $< 36^\circ$ im Massenkalk eine grundsätzlich ausreichende Sicherheit gegen Gleiten vorliegt.

Zur Beurteilung der kinematisch möglichen Bewegung auf einer Gleitfläche ist somit der mögliche Unterschneidungsbereich der Trennfläche im Bereich einer Böschung geomechanisch zu bewerten.

6.2 Bewertung der Standsicherheit „Gleiten“

Zur Bewertung der Endböschungen hinsichtlich des Versagensmechanismus Gleiten wird auf die kinematische Bewertung des räumlichen Trennflächengefüges mittels Auswertungen des Schmidt'schen Netzes zurückgegriffen (Charakterisierung von Versagensfällen nach HOEK and BRAY 1981).

Beim **ebenen Gleiten** wird geprüft, ob die Polpunkte potenzieller Gleitflächen im kritischen Bereich liegen, der durch den Reibungswinkel (Talobrekegel) und die Einfallrichtung der Böschung (Marklandkegel) bestimmt wird.

Für den Massenkalk wird hierbei von einem Reibungswinkel von 42° ausgegangen, der unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte zu einem relevanten Reibungswinkel von 36° reduziert wird. Dieser Bemessungsreibungswinkel von 36° wird für den Radius des Talobrekels angesetzt (s.o.).

Die kinematische Prüfung berücksichtigt bereits die angestrebte Endböschungsgeometrie, sodass als Ergebnis dieser kinematischen Prüfung bereits Empfehlungen zur Anpassung der Böschungsneigungen für die jeweiligen Abgrabungsböschungen getroffen werden können.

Beim **räumlichen Gleiten** entlang von 2 Trennflächen ist des Weiteren zu prüfen, ob die Einfallrichtungen der beiden Trennflächen außerhalb des Bereichs, der zwischen Einfallrichtung der Böschung und der Richtung des Verschnittlinears aufgespannt wird, liegen. Dann ist das Gleiten auf beiden Trennflächen relevant. Liegt eine Einfallrichtung der Trennflächen innerhalb dieses Bereiches, ist ebenes Gleiten auf dieser Trennfläche möglich.

Als Ergebnis der kinematischen Prüfung des Trennflächengefüges ergeben sich somit Bereiche, in denen ein Versagen aufgrund der geometrischen Lage des Trennflächeninventars ausgeschlossen werden kann oder Bereiche, in denen potenziell mögliche Versagensfälle eintreten können.

6.2.1 Nordböschung

Für die spätere Nordböschung im Kalkstein wird von einer mittleren Böschung mit einer Raumlage (172/55), bzw. einem Einfallen der Wand mit 55° nach Süden ausgegangen. Der Einfallwinkel 55° ist hierbei an das zu erwartende Schichteinfallen angepasst.

³ $\text{Arctan}(\tan(42^\circ)/1,25) = 36^\circ$

Für die Nordböschung ist in Abb. 6 das Schmidt'sche Netz mit den Großkreisen der Böschung (braun) und den relevanten Trennflächen (Kluftflächen blau, Schichtung rot) dargestellt. Es liegen nur randlich Polpunkte im kritischen Bereich. Da sich der Abbau in der Nordböschung jedoch an dem Einfallen der Schichten orientiert, treten keine Massen auf, für die der Versagensfall ebenes Gleiten zu untersuchen wäre.

Auch die Verschnittlineare von SS, K1 und K2 unterschneiden die Böschung nicht. Der Versagensfall des räumlichen Gleitens ist hier nicht relevant.

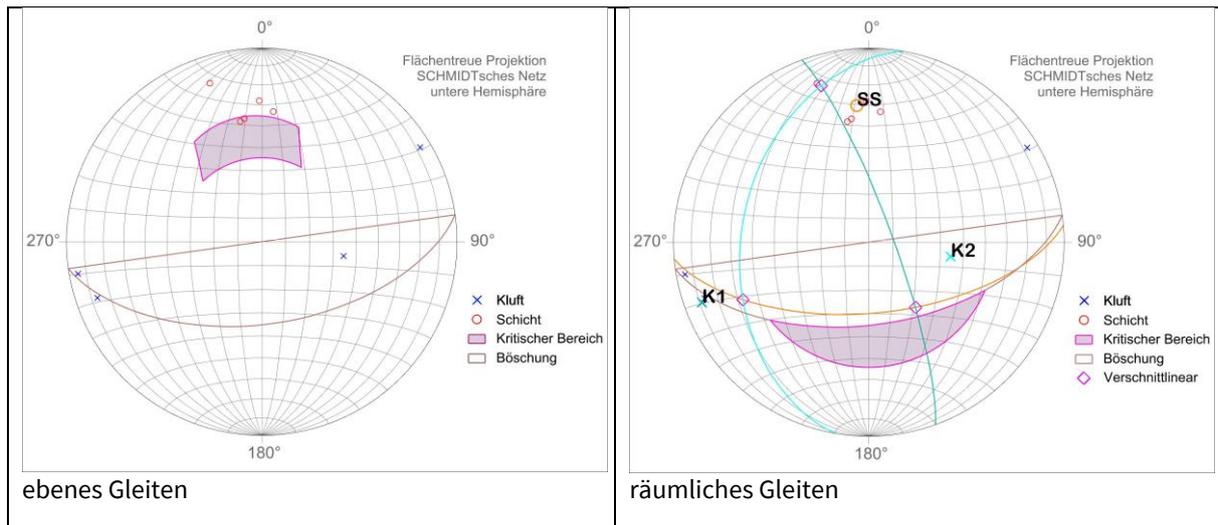


Abb. 6: Auswertung im Schmidt'schen Netz der Trennflächenraumlagen zum Bereich Nordböschung, links ebenes Gleiten, rechts räumliches Gleiten

In Tab. 8 sind die zu untersuchenden Raumstellungen zusammengefasst.

Tab. 8: Fallunterscheidung der möglichen Versagensmechanismen Nordböschung

	SS	K1	K2
Ebenes Gleiten	Böschung entspricht der Schichtung	Keine Unterschneidung	Keine Unterschneidung
	SS/K1	SS/K2	K1/K2
Räumliches Gleiten	keine Unterschneidung	keine Unterschneidung	keine Unterschneidung

Für die Endwände der Nordböschung kann derzeit eingeschätzt werden, dass kein Böschungsversagen durch ebenes oder räumliches Gleiten eintreten wird.

6.2.2 Ostböschung

Für die spätere Ostböschung wird von einer mittleren Böschung mit einer Raumlage (258/70), entsprechend einem Einfallen der Wand mit 70° nach Westen ausgegangen.

Für die Ostböschung ist in Abb. 7 das Schmidt'sche Netz mit den Großkreisen der Böschung (braun) und den relevanten Trennflächen (Kluftflächen blau, Schichtung orange) dargestellt. Es liegen keine Polpunkte von Trennflächen im kritischen Bereich, so dass hier der Versagensfall ebenes Gleiten nicht relevant ist.

Auch die Verschnittlineare von SS, K1 und K2 unterschneiden die Böschung nicht. Der Versagensfall des räumlichen Gleitens ist hier ebenfalls nicht relevant.

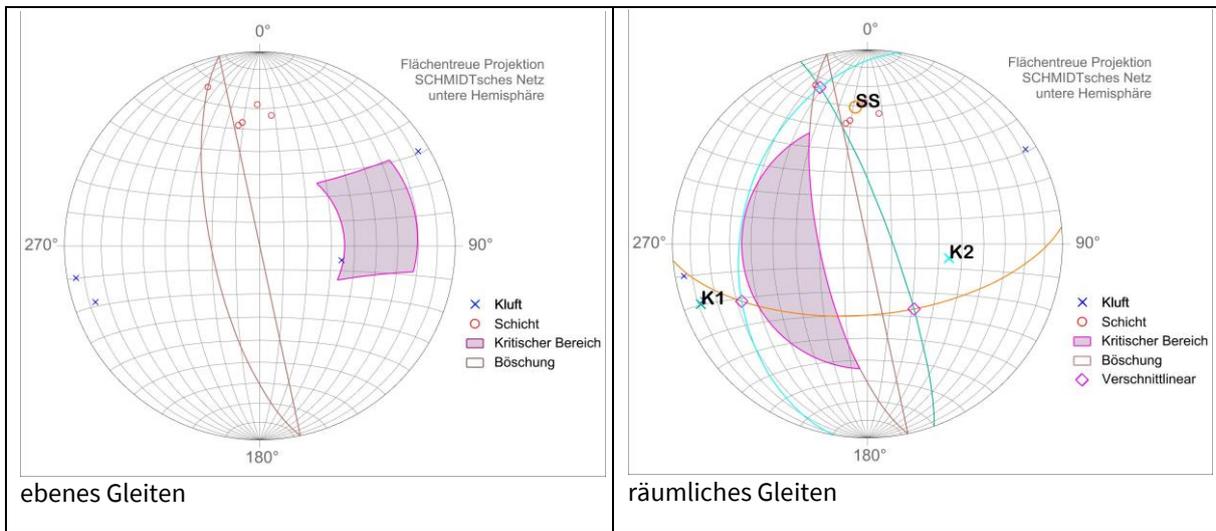


Abb. 7: Auswertung im Schmidt'schen Netz der Trennflächenraumlagen zum Bereich Ostböschung, links ebenes Gleiten, rechts räumliches Gleiten

In Tab. 9 sind die zu untersuchenden Raumstellungen zusammengefasst.

Tab. 9: Fallunterscheidung der möglichen Versagensmechanismen südliche Ost-Böschung

	SS	K1	K2
Ebenes Gleiten	Keine Unterschneidung	keine Unterschneidung	keine Unterschneidung
	SS/K1	SS/K2	K1/K2
Räumliches Gleiten	keine Unterschneidung	keine Unterschneidung	keine Unterschneidung

Aus den derzeit vorliegenden Trennflächengeometrien lässt sich ableiten, dass die Böschungsgeometrie der Ostböschung bei einem Wandwinkel von 70° in einer ersten Einschätzung als standsicher zu bewerten ist.

6.2.3 Südböschung

Für die spätere Südböschung wird von einer mittleren Böschung mit einer Raumlage (359/70), entsprechend einem Einfallen der Wand mit 70° nach Norden ausgegangen.

Für die Südböschung ist in Abb. 8 das Schmidt'sche Netz mit den Großkreisen der Böschung (braun) und den relevanten Trennflächen (Kluftflächen blau, Schichtung orange) dargestellt. Es liegen keine Polpunkte von Trennflächen im kritischen Bereich. Der Versagensfall ebenes Gleiten muss hier nicht untersucht werden

Die Verschnittlineare von SS, K1 und K2 unterschneiden die Böschung nicht. Der Versagensfall des räumlichen Gleitens ist hier nicht relevant.

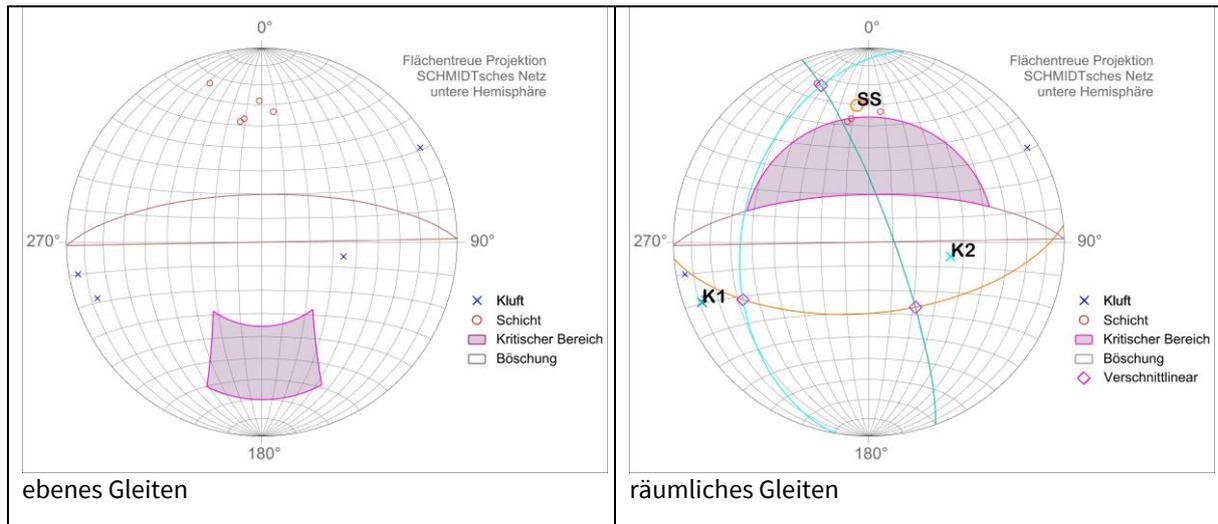


Abb. 8: Auswertung im Schmidt'schen Netz der Trennflächenraumlagen zum Bereich Süd-Böschung, links ebenes Gleiten, rechts räumliches Gleiten

In Tab. 10 sind die zu untersuchenden Raumstellungen zusammengefasst.

Tab. 10: Fallunterscheidung der möglichen Versagensmechanismen Süd-Böschung

	SS	K1	K2
Ebenes Gleiten	keine Unterschneidung	Keine Unterschneidung	keine Unterschneidung
	SS/K1	SS/K2	K1/K2
Räumliches Gleiten	keine Unterschneidung	keine Unterschneidung	keine Unterschneidung

Aus den derzeit vorliegenden Trennflächengeometrien lässt sich ableiten, dass die Böschungsgeometrie der Südböschung bei einem Wandwinkel von 70° in einer ersten Einschätzung als standsicher zu bewerten ist.

6.3 Bewertung der Standsicherheit „Kippen“

Insbesondere bei senkrecht aufeinander stehenden mehreren Trennflächenscharen, die eine intensive Zerteilung des Gebirges in Blöcke zur Folge haben, kann es an steilstehenden Wänden entlang von steilstehenden Trennflächen zum Kippen einzelner Blöcke kommen.

Das Kippen der Blöcke ist hier im Einzelfall von der Geometrie des Blockes, den Raumlagen der Trennflächen und den Reibungswinkeln auf den Trennflächen abhängig.

Im vorliegenden Fall bilden die Trennflächen zumeist Blöcke mit geringeren Höhen aus. Derzeit wird nicht von kippenden Blöcken ausgegangen.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen einer ersten generellen Standsicherheitseinschätzung der geplanten Endwände wurde die Standsicherheit der zu erwartenden Endböschungen im Abraum (Lockergestein) und im Kalkstein (Festgestein) bewertet.

Die Bewertung der Lockergesteinsböschungen (Abraum) wurde mittels der Gleitkreismethode nach BISHOP durchgeführt. Für die geplante Böschungsgeometrie mit einen Böschungswinkel von 34° konnte für alle untersuchten Abraumböschungen eine ausreichende Standsicherheit nachgewiesen werden.

Zur Bewertung der Festgesteinsböschungen wurde zur Beurteilung der kinematisch möglichen Bewegung auf Gleitflächen eine geomechanische Trennflächenanalyse mittels Auswertungen des Schmidt'schen Netzes vorgenommen. Die Nachweise werden anhand der im benachbarten Steinbruch Lohbusch vorhandenen Aufschlüsse und dem dort gemessenen Trennflächeninventar durchgeführt.

Die kinematische Betrachtung der geplanten Abbauböschungen im Festgestein hat ergeben, dass die geplanten Abbauwände unter Beachtung eines Böschungswinkels von 70° im Osten und Süden und 55° im Norden eine standsichere Ausgestaltung erwarten lassen.

Es ist zu empfehlen, die Standsicherheitsbewertung im Zuge des Abbaus anhand der angetroffenen Trennflächen zu kontrollieren und zu prüfen, ob das Trennflächensystem der prognostizierten Raumlage entspricht. Abweichende Trennflächenlagen können eine Anpassung der Böschungsgeometrie der Endwände nach sich ziehen.

Aachen, 16.02.2024


Dipl.-Geol. G. Busch


Dipl.-Geol. S. Ewald

Anhang 1

Böschungsbruchberechnung BS-P, Lockergesteinsböschung

Böschungstabilität

Projekt

Projekt :	Steinbrucherweiterung Lohbusch-West
Kunde :	Heidelberg Materials AG
Auftragsnummer :	19_0010
Verfasst von :	S. Ewald
Datum :	08.02.2023

Einstellung

Deutschland - EN 1997

Stabilitätsberechnungen

Beurteilungsmethodik : Berechnung nach EN1997 (Deutschland)

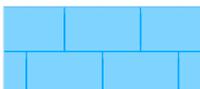
Erdbebenberechnung : Standard

Bemessungsansatz : 3 - GEO-, STR- und Material-Belastungsreduktion

Teilsicherheitsbeiwert der Belastung (F)					
ständige Bemessungssituation (BS-P)					
		Stand STR		Stand GEO	
		Ungünstig	Günstig	Ungünstig	Günstig
Ständige Belastung :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]
Veränderliche Belastung :	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]	1,30 [-]	0,00 [-]
Wasserbelastung :	$\gamma_w =$			1,00 [-]	

Teilsicherheitsbeiwert des Materials (M)		
ständige Bemessungssituation (BS-P)		
Beiwert des Winkels der inneren Reibung :	$\gamma_\phi =$	1,25 [-]
Beiwert der effektiven Kohäsion :	$\gamma_c =$	1,25 [-]
Reduktionsbeiwert der undrän. Scherfestigkeit :	$\gamma_{cu} =$	1,40 [-]

Bodenparameter

Nr.	Name	Legende	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Abraum		30,00	10,00	21,00	22,00		
2	Kalkstein		35,00	100,00	26,00	26,50		
3	Wall		27,00	5,00	19,00	20,00		

Berechnung

Kreisgleitfläche nach Bishop

Schnitt Nord

Bemessungssituation : ständig (BS-P)

Auflast

Nr.	Name	Typ	Wirkung	Positionierung	Ursprung	Länge	Breite	Neigung	Größe		
				z [m]	x [m]	l [m]	b [m]	α [°]	q, q ₁ , f, F, x	q ₂ , z	Einheit
1	Verkehrslast	Band	veränderlich	auf der Oberfläche	x = 39,19	l = 6,00		0,00	33,30		kN/m ²

Kreisgleitfläche

Schерflächenparameter					
Mittelpunkt :	x =	-6,65 [m]	Winkel :	α_1 =	8,01 [°]
	z =	408,46 [m]		α_2 =	54,53 [°]
Radius :	R =	47,91 [m]			
Gleitfläche nach der Optimierung.					

Gesamtes Bodengewicht über der Scherfläche: 2684,31 kN/m

Nachweis über die Standfestigkeit der Böschung (Bishop)

Summierung der aktiven Kräfte : $F_a = 1360,64$ kN/m

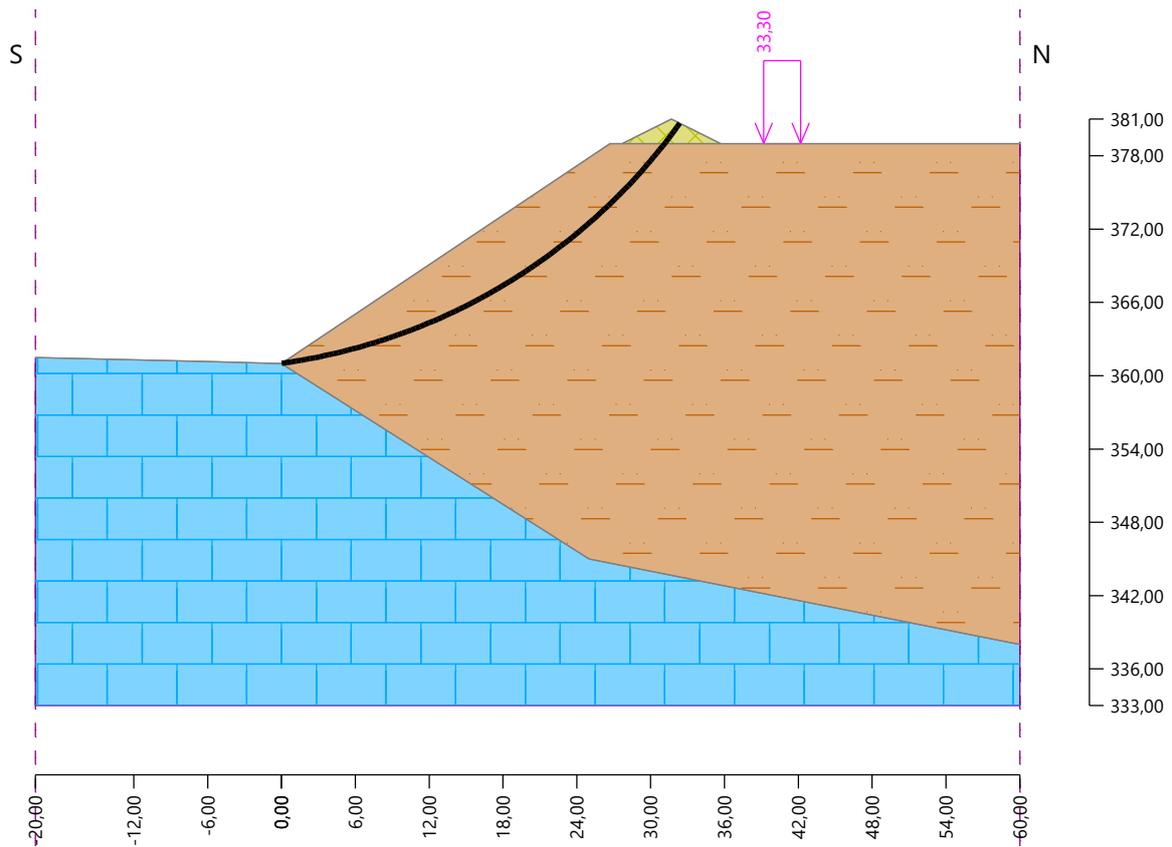
Summierung der passiven Kräfte : $F_p = 1395,66$ kN/m

Böschungsmoment : $M_a = 65188,39$ kNm/m

Widerstandsmoment : $M_p = 66865,94$ kNm/m

Ausnutzung : 97,5 %

Böschungsbruch Nachweis ERFÜLLT



Schnitt Ost

Bemessungssituation : ständig (BS-P)

Auflast

Nr.	Name	Typ	Wirkung	Positionierung z [m]	Ursprung x [m]	Länge l [m]	Breite b [m]	Neigung α [°]	Größe	
									q, q_1, f, F, x	q_2, z
1	Verkehrslast Straße	Band	veränderlich	auf der Oberfläche	x = 47,44	l = 6,00		0,00	33,30	kN/m ²

Kreisgleitfläche

Schерflächenparameter					
Mittelpunkt :	x =	3,53 [m]	Winkel :	$\alpha_1 =$	7,02 [°]
	z =	411,50 [m]		$\alpha_2 =$	55,64 [°]
Radius :	R =	44,83 [m]			
Gleitfläche nach der Optimierung.					

Gesamtes Bodengewicht über der Scherfläche: 2631,49 kN/m

Nachweis über die Standfestigkeit der Böschung (Bishop)

Summierung der aktiven Kräfte : $F_a = 1328,03$ kN/m

Summierung der passiven Kräfte : $F_p = 1370,65$ kN/m

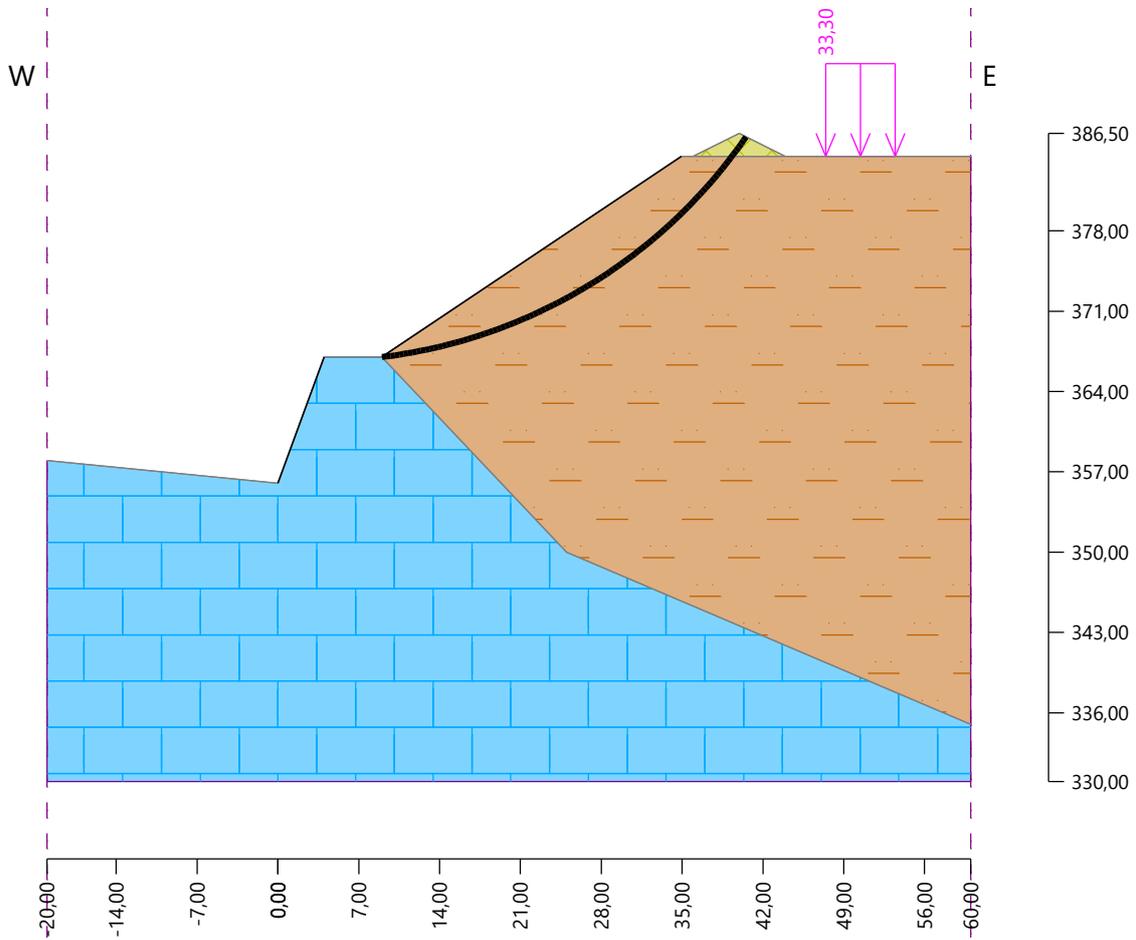
Böschungsmoment : $M_a = 59535,62$ kNm/m

Widerstandsmoment : $M_p = 61446,37$ kNm/m

Ausnutzung : 96,9 %

Böschungsbruch Nachweis ERFÜLLT

Schnitt : Ost



Schnitt Süd

Bemessungssituation : ständig (BS-P)

Auflast

Nr.	Name	Typ	Wirkung	Positionierung	Ursprung	Länge	Breite	Neigung	Größe	
				z [m]	x [m]	l [m]	b [m]	α [°]	q, q ₁ , f, F, x	q ₂ , z
1	Verkehrslast	Band	veränderlich	auf der Oberfläche	x = 29,29	l = 3,00		0,00	33,30	kN/m ²

Kreisgleitfläche

Schерflächenparameter					
Mittelpunkt :	x =	14,61 [m]	Winkel :	$\alpha_1 =$	-2,06 [°]
	z =	402,62 [m]		$\alpha_2 =$	54,11 [°]
Radius :	R =	12,59 [m]			
Gleitfläche nach der Optimierung.					

Gesamtes Bodengewicht über der Scherfläche: 351,23 kN/m

Nachweis über die Standfestigkeit der Böschung (Bishop)

Summierung der aktiven Kräfte : $F_a = 141,94$ kN/m

Summierung der passiven Kräfte : $F_p = 241,19$ kN/m

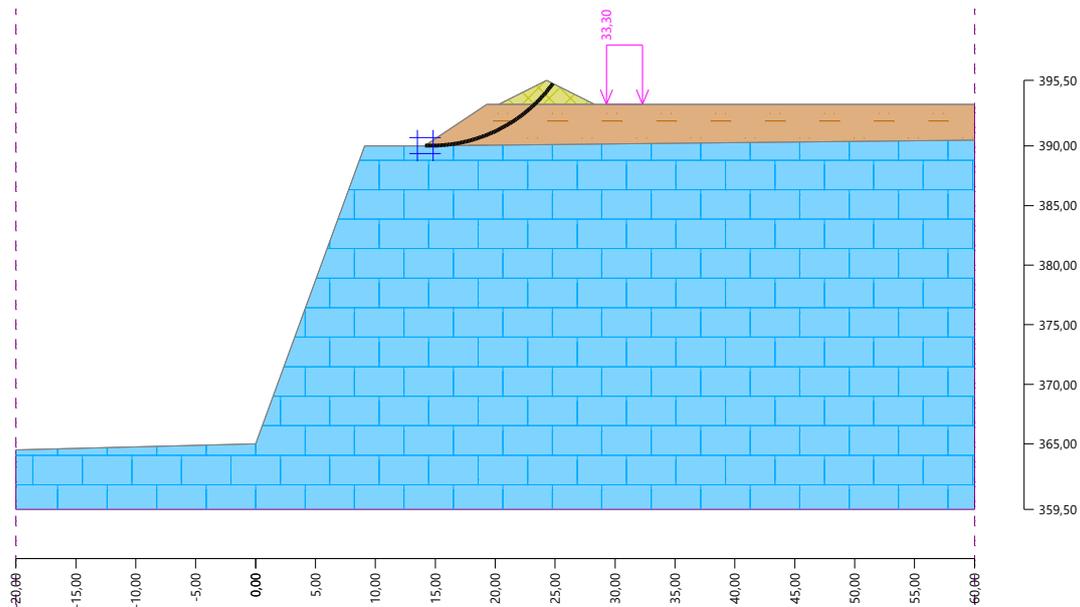
Böschungsmoment : $M_a = 1786,97$ kNm/m

Widerstandsmoment : $M_p = 3036,58$ kNm/m

Ausnutzung : 58,8 %

Böschungsbruch Nachweis ERFÜLLT

Schnitt : Süd



Schnitt West

Bemessungssituation : ständig (BS-P)

Auflast

Nr.	Name	Typ	Wirkung	Positionierung	Ursprung	Länge	Breite	Neigung	Größe	
				z [m]	x [m]	l [m]	b [m]	α [°]	q, q ₁ , f, F, x	q ₂ , z
1	Verkehrslast	Band	veränderlich	auf der Oberfläche	x = 14,34	l = 6,00		0,00	33,30	kN/m ²

Kreisgleitfläche

Schерflächenparameter					
Mittelpunkt :	x =	-1,17 [m]	Winkel :	$\alpha_1 =$	3,00 [°]
	z =	389,37 [m]		$\alpha_2 =$	53,35 [°]
Radius :	R =	22,40 [m]			
Gleitfläche nach der Optimierung.					

Gesamtes Bodengewicht über der Scherfläche: 898,81 kN/m

Nachweis über die Standfestigkeit der Böschung (Bishop)

Summierung der aktiven Kräfte : $F_a = 510,23$ kN/m

Summierung der passiven Kräfte : $F_p = 582,82$ kN/m

Böschungsmoment : $M_a = 11429,14$ kNm/m

Widerstandsmoment : $M_p = 13055,27$ kNm/m

Ausnutzung : 87,5 %

Böschungsbruch Nachweis ERFÜLLT

Schnitt: West

