

Anlage 14

Standsicherheitsnachweis



Calcit Edelsplitt Produktions GmbH & Co. KG
Deinstrop 1
59757 Arnsberg
ü b e r
Büro Landschaftsplanung Böhling
An der Molkerei 11
47551 Bedburg-Hau

ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG
Ingenieur Consult Geotechnik

Beratende Ingenieure für Baugrund, Grundbau,
Hydrogeologie und Altlasten
Baugrundlaboratorium

Düsseldorf, 16.08.2018
Haa-Ju-Si-Fr
Projekt-Nr.: 60923
Auftrag-Nr.: 12787

Arnsberg, Kalksteinbruch „Holzen“ - Westerweiterung

Geologische Verhältnisse / Auswertung der Kernbohrungen / Stand sicherheitsnachweise zur Westerweiterung

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Roland Haarer (Tel.: -44)
Dipl.-Geol. Dr. Jürgen Jungrichter (Tel.: -18)
Dr.-Ing. Philipp Siebert (Tel.: -80)

Borbecker Straße 22
40472 Düsseldorf

Tel.: 0211/ 4 72 01-0
Fax: 0211/ 4 72 01-33

mail@icg-duesseldorf.de
www.icg-duesseldorf.de

Geschäftsführende Gesellschafter:
Dipl.-Ing. Roland Haarer
Dr.-Ing. Patrick Lammertz

Kommanditgesellschaft in Düsseldorf
AG Düsseldorf HRA 14683
Persönlich haftende Gesellschafterin:
ICG Verwaltungsgesellschaft mbH
AG Düsseldorf HRB 40138

Bankverbindungen:
IBAN: DE40 3005 0110 0010 1904 11
BIC: DUSSEDDXXX
Stadtsparkasse Düsseldorf
IBAN: DE50 3602 0030 0000 1449 32
BIC: NBAGDE3E
National-Bank Essen

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung/Aufgabenstellung	4
2	Unterlagen	5
3	Lage und Morphologie des Untersuchungsgebietes	8
4	Regionalgeologischer Überblick	10
5	Untersuchungsprogramm	14
5.1	Geologische Geländeaufnahme	15
5.2	Kernbohrungen	18
5.3	Standsicherheitsuntersuchungen	19
6	Ergebnisse der geologischen/geotechnischen Untersuchungen	20
6.1	Anstehende Festgesteine im Steinbruch Holzen	20
6.2	Ergebnisse der Kernbohrungen	32
6.3	Geologische Verhältnisse im Bereich der Westerweiterung	35
7	Standsicherheitsuntersuchungen	37
7.1	Geometrische Randbedingungen	37
7.2	Felsmechanische Kennwerte	41
7.3	Lokale Standsicherheit - Gleitkörper auf Trennflächen	42
7.3.1	Wand W1 – Nord-Wand	44
7.3.2	Wand W2 – Nordwest-Wand	45
7.3.3	Wand W3 – West-Wand, nördlicher Abschnitt	45
7.3.4	Wand W4 – West-Wand, südlicher Abschnitt	46
7.3.5	Wand W5 – Süd-Wand	46
7.4	Globale Standsicherheit	47
7.4.1	Wand W1 (Nord-Wand)	48
7.4.2	Wand W3 (West-Wand)	49
7.4.3	Wand W5 (Süd-Wand)	49
8	Zusammenfassung	50

Anlagenverzeichnis	Anlage
Übersichtslageplan mit Ansatzpunkten der Bohrungen	1
Kernbohrungen B1, B2 und B3	2.1 bis 2.3
Lagenkugeldarstellungen des Trennflächengefüges für die Steinbruchwände W1 bis W5	3.1 bis 3.5
Stand sicherheitsberechnungen	4.1.1 bis 4.3.3

1 Veranlassung/Aufgabenstellung

Die Calcit Edelsplitt Produktions GmbH & Co. KG, Arnsberg, plant die Erweiterung des bestehenden Kalksteinbruchs Holzen in westlicher Richtung. Zur Vorerkundung der geologischen Verhältnisse sind auf dem geplanten Erweiterungsgelände im Jahr 2017 drei Kernbohrungen ausgeführt worden.

Im Hinblick auf die Ausarbeitung eines Genehmigungsantrages bei der zuständigen Behörde wurde die ICG Düsseldorf seitens des Büros für Landschaftsplanung Böhling, Bedburg-Hau, im Namen der Calcit Edelsplitt beauftragt, eine fachtechnische Auswertung und Beurteilung der Bohrkernproben aus den drei Erkundungsbohrungen durchzuführen, um Aussagen über die in der geplanten Westerweiterung zu erwartenden geologischen Verhältnisse machen zu können.

Darüber hinaus sind für die nach dem Gesteinsabbau im Erweiterungsreich sich einstellenden Böschungen Standsicherheitsberechnungen durchzuführen.

2 Unterlagen

Als Grundlage für die Ausarbeitung des vorliegenden geotechnischen Berichtes standen der ICG folgende Unterlagen zur Verfügung:

Projektbezogene Unterlagen

- [1] Kalksteinbruch „Holzen“ – Erweiterung
 - Abbauplan (Norderweiterung), Anlage 3.1
 - Abbauprofile (Norderweiterung), Anlage 3.2Büro für Landschaftsplanung Böhling, 30.11.2011

- [2] Kalksteinbruch „Holzen“
Lageplan Grundwassermessstelle /
Erkundungsbohrungen, Maßstab 1:2.500
Büro für Landschaftsplanung Böhling, 15.09.2017

- [3] Zeichnerische Darstellung / Bohrprofile der Kernbohrungen
12160302 – AB 2 (B1)
12160302 – AB 3 (B2)
12160302 – AB 4 (B3)
Maßstab 1:100
Celler Brunnenbau GmbH, Celle, 27.02.2017

- [4] Schichtenverzeichnisse der Kernbohrungen
12160302 – AB 1 (GM1)
12160302 – AB 2 (B1)
12160302 – AB 3 (B2)
12160302 – AB 4 (B3)
Maßstab 1:100
Celler Brunnenbau GmbH, Celle, 27.02.201

- [5] Kalksteinbruch „Holzen“ - Westerweiterung
Lageplan/Abbaukonzept, Maßstab 1:2.500
Büro für Landschaftsplanung Böhling, 01.06.2017

- [6] Erweiterung des Steinbruchs Arnsberg-Holzen
Erdstatische Berechnungen (Stand sicherheitsnachweis),
Prüfbericht Nr. 12-02006
Ingenieurbüro für Geo- und Umwelttechnik Driemeier,
Lengerich, 06.03.2013

- [7] Kalksteinbruch „Holzen“
Aufmaß 2015, Lageplan Maßstab 1: 1.500
Büro für Landschaftsplanung Böhling, 22.11.2015

- [8] Deutsche Grundkarte 1:5.000, DGK 5
Grundkartenausschnitt (DGK 5) als TIFF-TFW-Dateien
E-Mail Büro für Landschaftsplanung Böhling vom 15.05.2018

- [9] Kalksteinbruch „Holzen“
Überschüttete Abbaumassen (Aufmaß), Lageplan Maßstab 1:1.500
Büro für Landschaftsplanung Böhling, 13.01.2016

- [10] Kalksteinbruch „Holzen“
Profile P23, P30, P39 zum Abbauverzicht, Maßstab 1:1.500
Büro für Landschaftsplanung Böhling, 10.01.2016

- [11] Kalksteinbruch „Holzen“
Hydrogeologische Untersuchungen zur Erweiterung und
Vertiefung des Kalksteinbruchs „Holzen“
Bearbeitung: Dr. Louis Pattichis, Hagen, September 2011

Kartenunterlagen

- [12] Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen,
Maßstab 1:100.000, Blatt C 4710 Dortmund mit Erläuterungen
Geologisches Landesamt NRW, 1989

- [13] Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen,
Maßstab 1:25.000, Blatt 1:25.000, Blatt 4513 Neheim-Hüsten, 1979

- [14] Geologische Karte von Preußen und benachbarten
deutschen Ländern, Maßstab 1:25.000,
Blatt 4613 Balve, 1938

Literatur

- [15] Hoek et al. 2002, Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition,
https://www.rocscience.com/help/rocddata/pdf_files/theory/Hoek-Brown_Failure_Criterion-2002_Edition.pdf

3 Lage und Morphologie des Untersuchungsgebietes

Der Kalksteinbruch „Holzen“ liegt etwa 11 km westlich vor Arnsberg zwischen den Ortschaften Holzen im Nordosten und Asbeck im Westen. Die Lage des Untersuchungsgebietes ist auf dem Kartenausschnitt der topographischen Karte (Bild 3-1) eingetragen. Der gekennzeichnete Bereich A umfasst die derzeit genehmigte Abbaufläche des Kalksteinbruchs. Der Bereich B stellt die Fläche der geplanten Westerweiterung dar.

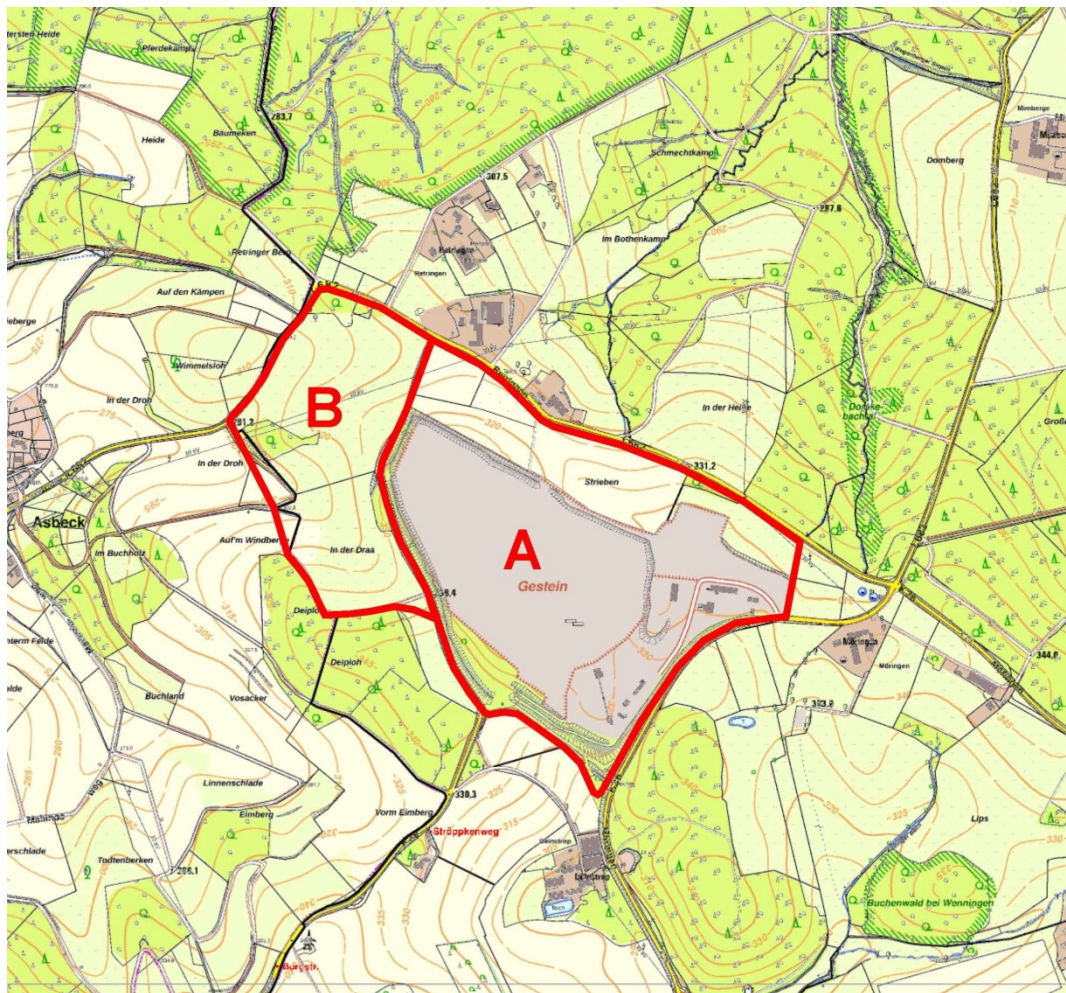


Bild 3-1: Auszug aus der Topographischen Karte mit der Lage des Kalksteinbruchs „Holzen“

Das Steinbruchgelände liegt im Bereich der ehemaligen Geländekuppe des Hahn-Berges (ursprüngliche Geländehöhe 361,5 m). Die natürliche Geländehöhe des heutigen Steinbruchrandes liegt nur noch bei etwa 340 mNHN. Das Gelände fällt am Nordrand des Steinbruchs in Richtung Norden mit einer natürlichen Neigung von $\beta = 10$ bis 15° ein. Die Abbausohle des Steinbruchs liegt derzeit bei etwa 180 mNHN.

Entlang der Nordseite des Steinbruchgeländes verläuft in NW-SO-Richtung die L682. Der bestehende Steinbruch hat aktuell eine NW-SO-Erstreckung von ca. 550 m und eine N-S-Erstreckung von maximal ca. 350 m.

Zum Zeitpunkt der von der ICG durchgeführten Geländeaufnahme (Juni 2018) wurde der Gesteinsabbau im NW-Bereich der Nordböschung auf einer Abbausohle bei ca. 260 mNHN ausgeführt.

In dem Übersichtslageplan der Anlage 1 sind der genehmigte Abbaubereich des Kalksteinbruchs und die geplante Abbaufäche der Westerweiterung dargestellt.

4 Regionalgeologischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet gehört nach der naturräumlichen Gliederung von NRW zum Landschaftsgebiet des Niedersauerlandes, das sich von Hagen bis Arnsberg erstreckt.

Geologisch gesehen liegt das Gebiet am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges, das aus paläozoischen Gesteinsschichten (Devon-, Karbongesteine) des Rhenoharzynischen Beckens hervorgegangen ist. Im Zuge der variszischen Gesteinsbildung wurden die Festgesteine durch tektonische Einengungen in Südost-Nordwest-Richtung stark verfaltet, intensiv zerbrochen und von zahlreichen geologischen Längs- und Querstörungen durchtrennt.

Das Untersuchungsgebiet liegt auf der Nordflanke des sogenannten Remscheid-Altenaer-Sattels, der eine weitgespannte tektonische Südwest-Nordost-streichende Großfalte mit devonischen und karbonischen Gesteinsschichten bildet.

In dem nachfolgenden Ausschnitt aus der geologischen Karte [12] ist die Verbreitung der devonischen und karbonischen Schichten im Randbereich des Remscheid-Altenaer-Sattels dargestellt. Die Lage des Kalksteinbruchs Holzen an der Nordflanke des Sattels im Verbreitungsgebiet des Kulm-Plattenkalkes (cdP) ist in der Karte eingetragen.

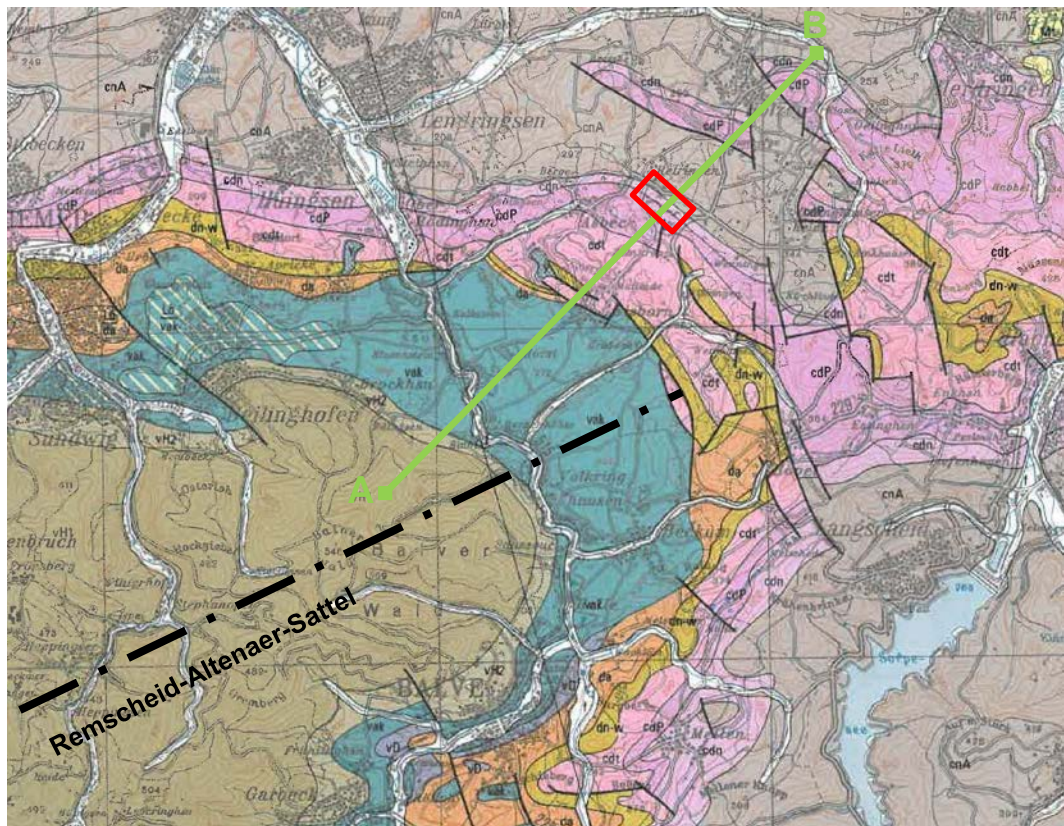


Bild 4-1: Ausschnitt aus der Geologischen Karte [12]



Lage des Kalksteinbruchs



Schnittlinie des geologischen Profils

Geologische Schichten vom Hangenden zum Liegenden:

cnA	= Arnberger Schichten	[Oberkarbon]
cdn	= Hangende Alaunschiefer	[Ober-/Unterkarbon]
cdP	= Kulm-Plattenkalk	[Unterkarbon]
cdt	= Kulm-Kieselkalk	[Unterkarbon]
dn-w, dn, da	= Nehden-, Adorf-Schichten	[Oberdevon]
vak	= Massenkalk	[Ober-/Mitteldevon]
vH2	= Obere Honseler Schichten	[Mitteldevon]
vH1	= Untere Honseler Schichten	[Mitteldevon]

Der Remscheid-Altenaer-Sattel taucht in Richtung Nordosten allmählich ab, wodurch in diesem Bereich ein umlaufendes Streichen der Gesteinsschichten verursacht wird.

Im Bereich des Untersuchungsgebietes tauchen die Gesteinsschichten generell in nordnordöstliche Richtung ab, so dass im Süden – im Kernareal des tektonischen Sattels – die älteren Gesteine (Unterdevon und Mitteldevon) und im Norden die jüngeren Gesteine (Oberdevon, Unterkarbon und Oberkarbon) zutage treten.

Bei der Gebirgsbildung haben sich generell weitgespannte Großsättel und Großmulden gebildet, die wiederum häufig durch kleinere (im mehreren Zehnermeterbereich) und kleinste (im mehreren Meterbereich) Falten sowohl in Nord-Süd-Richtung als auch senkrecht dazu in West-Ost-Richtung gegliedert werden. Die Gesteine werden dabei kleinräumig von zahlreichen Störungen (Auf-, Ab- und Überschiebungen sowie Horizontalverschiebungen) und einem intensiven Trennflächengefüge durchzogen.

Der nachfolgend im Bild 4-2 dargestellte schematische geologische Schnitt in Südwest-Nordost-Richtung zeigt, dass die Gesteinsschichten im engeren Untersuchungsgebiet des Steinbruchs eine „normale“ stratigraphische Abfolge (ältere Schichten im Liegenden/jüngere Schichten im Hangenden) aufweisen.

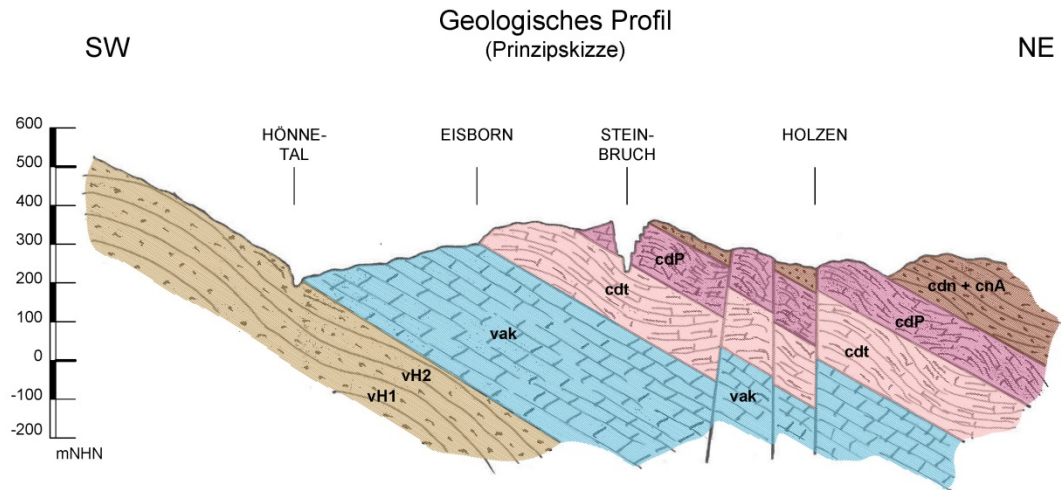


Bild 4-2: Schematisches geologisches Profil durch die Nordost-Flanke des Remscheid-Altener-Sattels

Geologische Schichten vom Hangenden zum Liegenden:

cnA	= Arnberger Schichten	[Oberkarbon]
cdn	= Hangende Alaunschiefer	[Ober-/Unterkarbon]
cdP	= Kulm-Plattenkalk	[Unterkarbon]
cdt	= Kulm-Kieselkalk	[Unterkarbon]
vak	= Massenkalk	[Ober-/Mitteldevon]
vH2	= Obere Honseler Schichten	[Mitteldevon]
vH1	= Untere Honseler Schichten	[Mitteldevon]

Im Kalksteinbruch Holzen werden hauptsächlich die plattig-bankigen, überwiegend dunkelgrauen bis schwarzen, schwefelkiesreichen, teils bitumenhaltigen Kulm-Plattenkalke (cdP, Herdringen Formation) abgebaut. Diese Gesteine weisen eine Schichtmächtigkeit zwischen 100 und 130 m auf.

Im tiefsten Bereich des Steinbruchs sind graue, dünnbankige bis plattige Kulm-Kieselkalke (cdt) aufgeschlossen, die ebenfalls eine Schichtmächtigkeit von etwa 100 m erreichen. Im Hangenden wird der Kulm-Plattenkalk (cdP) von gering mächtigen schwarzen, schwefelkiesreichen, gebänderten, überwiegend verwitterten Tonschiefern der „Hangenden Alaunschiefer“ (cdn, Eisenberg-Formation im Profil, Bild 4-2 mit den darüber liegenden Arnsberger Schichten zusammengefasst) bedeckt.

Nach Norden zu folgen darüber die jüngeren Gesteine der „Arnsberger Schichten“ (cnA). Diese Gesteinsfolge besteht aus einer Wechsellagerung aus Grauwackenbänken, Grauwackenschiefern und Tonschiefern. Die Arnsberger Schichten sind oberflächennah tiefgründig stark verwittert und zersetzt und treten im Aufschluss als braune, steinhaltige Lehmschichten (sogenannter Faulschiefer) in Erscheinung.

5 Untersuchungsprogramm

Im Hinblick auf die Erkundung der geologischen Verhältnisse und die geotechnische Beurteilung der Standsicherheiten der zukünftigen Steinbruchböschungen im Bereich der geplanten Westerweiterung erfolgten folgende Untersuchungsstufen:

- Stufe 1: Geologische Geländeaufnahme und gefügekundliche Erfassung und Beurteilung des in den zugänglichen Steinbruchbereichen aufgeschlossenen Gebirges
- Stufe 2: Fachtechnische Ansprache und Beurteilung von Festgesteinsproben aus drei Kernbohrungen im Bereich der geplanten Westerweiterung

Stufe 3: Standsicherheitsnachweise für repräsentative Abbauprofile

5.1 Geologische Geländeaufnahme

Zur Feststellung der generellen geologischen Situation des Gebirgsaufbaus im Untersuchungsgebiet wurden im Rahmen einer ersten Geländeaufnahme am 14.06./15.06.2018 seitens der ICG folgende Geländearbeiten durchgeführt:

- Geologisch-petrografische Ansprache und Aufnahme der Gesteinsschichten im Steinbruch auf unterschiedlichen Abbauebene
- Einmessen der tektonischen Trennflächen des anstehenden Festgesteins mit einem geologischen Gefügekompas
- Feststellung und Beurteilung des Verwitterungs- und Entfestigungsgrades des Festgesteins

Die in den zugänglichen, auf unterschiedlichen Niveaus des Steinbruchs zutage tretenden Trennflächen wurden hinsichtlich ihrer räumlichen Orientierung mit dem Geologenkompass eingemessen. Ebenso wurden die Dicken der Gesteinslagen, die Kluftabstände und die Kluftöffnungen stichprobenartig ermittelt und die Festigkeit des Kalkgesteins qualitativ beurteilt.



Bild 5-1: Steinbruch Holzen, Blickrichtung Nordwesten



Bild 5-2: Steinbruch Holzen, Nordböschung

Darüber hinaus erfolgte eine Begehung des Steinbruchgeländes entlang des oberen Randes der Nordböschung. Hierbei konnte ein Überblick über den geologischen Aufbau und Zustand der nördlichen Steinbruchwand, insbesondere der jüngeren Deckschichten an der Geländeoberfläche, gewonnen werden.

Eine Begehung des Steinbruchs entlang der Westböschung konnte ausgehend von der Steinbruchstraße aus Sicherheitsgründen (Steinbruchverkehr mit Großmuldenkippern, Steinschlaggefahr) nur im oberen Teil durchgeführt werden.



Bild 5-3: Westliche Steinbruchwand

Durch die für die Gewinnung des Kalksteins durchgeführten Sprengungen, aber auch infolge der fortschreitenden Verwitterung ist das Gebirgsgefüge zum Teil aufgelockert und entfestigt, wodurch den Steinbruchböschungen eine mögliche Steinschlaggefahr und in Abhängigkeit vom Trennflächengefüge und der Streichrichtung der Steinbruchwand lokale Felsausbrüche nicht auszuschließen sind.

5.2 Kernbohrungen

Auf Grundlage der Erkenntnisse der geologischen Geländeaufnahme wurde in einem zweiten Untersuchungsschritt eine geologische Ansprache und Beurteilung der Festgesteinsproben aus drei Kernbohrungen durchgeführt. Diese Bohrungen waren bereits im Jahr 2017 auf dem Gelände der geplanten Westerweiterung abgeteuft worden. Zudem wurde seinerzeit auf dem Gelände eine Grundwassermessstelle (GM1) neu errichtet.

Bei den Bohrungen mit Kerngewinn handelte es sich um Rotationskernbohrungen im Seilkernrohrsystem (SK6L-Kernbohrungen), die einen durchgehenden Gewinn von Festgesteinsproben mit Linern ermöglichen. Die Bohrung für die Grundwassermessstelle wurde im Lufthebeverfahren abgeteuft, d. h. bei dieser Bohrung wurden keine Bohrkernproben gewonnen.

In dem Lageplan der Anlage 1 sind die Ansatzpunkte der ausgeführten Bohrungen eingetragen.

Die Bohrkernproben der Bohrungen B1, B2 und B3 waren im Februar 2017 von der Celler Brunnenbau GmbH gewonnen worden. Bei den Bohrarbeiten wurden die oberflächennahen Bohrstrecken, in denen kein abbauwürdiger, harter Kalkstein vorhanden war, nicht beprobt, sondern ohne Kerngewinn-

nung überbohrt. Das heißt, dass in den Bohrungen B1, B2 und B3 nur folgende Bohrstrecken mit durchlaufendem Kerngewinn zur Verfügung standen:

Tabelle 5-1: Bohrstrecken

Bohrung	Geländehöhe [mNHN]	Bohrtiefe [m]	Kerngewinn [m]	Kernstrecke von ... bis ... [m]
B1	319,72	41,0	20	21,0 bis 41,0
B2	310,13	32,0	20	12,0 bis 32,0
B3	314,90	30,0	27	3,0 bis 30,0
GM1 neu	292,39	121,0	kein	keine

Bis zum Zeitpunkt der Untersuchungen der ICG im Juni 2018 lagerten die Liner ungeöffnet in einer Lagerhalle des Steinbruchbetriebs. Am 16.05. und 14.06.2018 wurden die Liner geöffnet, und es erfolgte durch die ICG eine fachtechnische Ansprache und Beurteilung der Kernproben. Zusätzlich zur geotechnischen Aufnahme wurden die in Kernkisten ausgelegten Bohrkern auch fotografisch erfasst und dokumentiert. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 2.1, 2.2 und 2.3 dargestellt und werden im Kapitel 6.2 beschrieben

5.3 Standsicherheitsuntersuchungen

Auf Grundlage der Ergebnisse der geologischen/geotechnischen Untersuchungen wird die Standsicherheit der Steinbruchwände nach Beendigung der Abbautätigkeit betrachtet.

Dabei wird zunächst das mögliche Versagen von Gleitkörpern auf Trennflächen betrachtet. Zusätzlich wird die Standsicherheit der Gesamtböschung unter Ansatz einer Gebirgsfestigkeit untersucht.

Die Standsicherheitsuntersuchungen sind in Kapitel 7 beschrieben.

6 Ergebnisse der geologischen/geotechnischen Untersuchungen

6.1 Anstehende Festgesteine im Steinbruch Holzen

Im Steinbruch Holzen treten vom Liegenden zum Hangenden folgende Gesteinsschichten zutage:

- Im Steinbruchtiefsten, unterhalb von etwa 240 bis 220 mNHN stehen grau, graugrüne, teils rötliche unregelmäßig bankige **Kulm-Kieselkalke (cdt)** an. Diese Gesteine sind unregelmäßig mit Hornsteineinschlüssen und verwitterten Tonschiefern durchsetzt. Der Übergang zu den darüber anstehenden Kulm-Plattenkalken (cdP) ist fließend und im Aufschluss nur schwer erkennbar:

Der **Kulm-Plattenkalk (cdP)** stellt im Steinbruch mit einer Gesamtmächtigkeit von etwa 100 m das hauptsächliche abbauwürdige Festgestein dar. Es handelt sich um mehr oder weniger kieselige Kalksteine von dunkelgrauer bis schwarzer Farbe, die durch zwischenliegende dünne zumeist nur wenige Zentimeter dicke Tonmergelsteine und Tonschiefer sehr deutlich gebankt sind.

Die Schichtdicken der Kalksteine variieren im Steinbruch zwischen wenigen Zentimetern (dünnplattig) bis zu etwa 1 m (massig). Überwiegend ist der Kulm-Plattenkalk dünnbankig (10 bis 30 cm) ausgebildet.



Bild 6-1: Kulm-Plattenkalk (Messstab = 2 m)

Wie an der Oberfläche der nördlichen und westlichen Steinbruchwand erkennbar ist, weist das Gebirge ein straff geregeltes Trennflächengefüge auf. Die Schichtung (ss) streicht generell in WNW-ESE-Richtung und fällt mit einer Neigung zwischen $\beta = 20^\circ$ bis 40° (im Mittel $\beta = 31^\circ$) nach NNE in die Nordböschung des Steinbruchs ein. Das Gebirge wird zusätzlich von engständigen Trennflächenscharen durchtrennt. Die Längsklüftung (kk1) streicht ebenfalls etwa W-E und fällt mit etwa 60° bis 75° in südliche Richtung ein. Die sehr steil einfallende Querklüftung (kk2) streicht N-S und weist einen Einfallswinkel von etwa 85° in östliche Richtung auf. Zudem wird das Gebirge von engständigen Diagonalklüften (kk3) mit südwestlicher Einfallrichtung und Neigungen von $\beta \approx 75^\circ$ durchzogen. Eine zweite Diagonalklüftung (kk4) liegt etwa senkrecht zur Anschnittsböschung der nördlichen Steinbruchwand und tritt deshalb im Aufschluss nur sehr untergeordnet in Erscheinung. Da für diese Trennflächen in der Steinbruchwand nahezu keine Gefügemessungen möglich waren, können die Gefügedaten nur überschlägig abgeschätzt werden. Das Einfallen ist nach SE gerichtet. Der Einfallswinkel beträgt etwa 75° (Bild 6-1).

Die an der Nordwand des Steinbruchs mit dem geologischen Gefügekompas durchgeführten Messungen der Trennflächen ergaben nach statistischer Auswertung von insgesamt 99 Gefügemessungen (Programm solidRock, 2001) folgende mittlere Richtungsdaten der Trennflächenscharen:

Tabelle 6-1: Mittlere Raumstellung der Trennflächenscharen

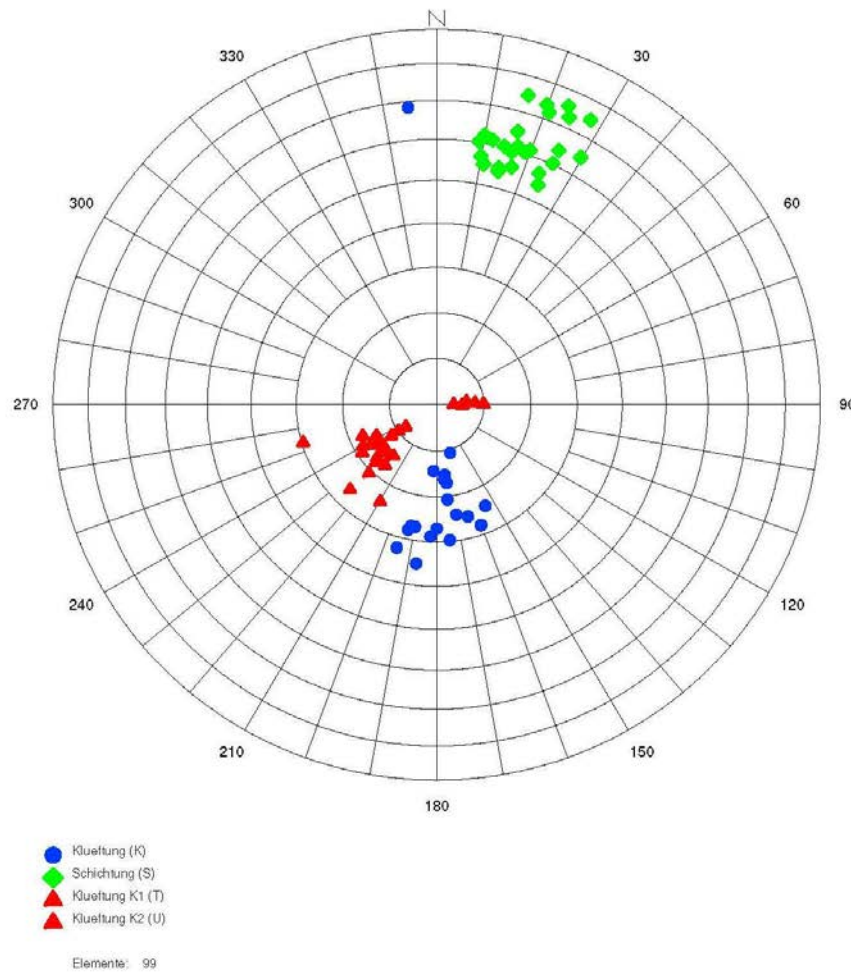
Trennflächenschar	Fallrichtung (Azimut)	Fallwinkel
Schichtung (ss)	19°	31°
Längsklüftung (kk1)	177°	64°
Querklüftung (kk2)	88°	84°
Diagonalklüftung (kk3)	233°	73°
Diagonalklüftung (kk4)	~ 140°	~ 75°

Für die Diagonalklüftung kk4 konnten im Steinbruch nur wenige Messungen erfolgen, so dass eine statistische Auswertung nicht erfolgen konnte. Die hier angegebenen Werte stellen überschlägliche Werte dar.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das Polpunktdiagramm, das Dichtediagramm und das Großkreisdiagramm (sog. Schmetterlingsdiagramm) der ermittelten Trennflächenscharen (Gesamtauswertung).

<p>ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG Borbecker Straße 22 40472 Düsseldorf</p>		Auftrag-Nr.:
		12787
<p>Projekt: Kalksteinbruch Holzen</p>		Datum
		08.08.2018
		Bearbeiter
		Dipl.-Geol. Dr.Jungrichter

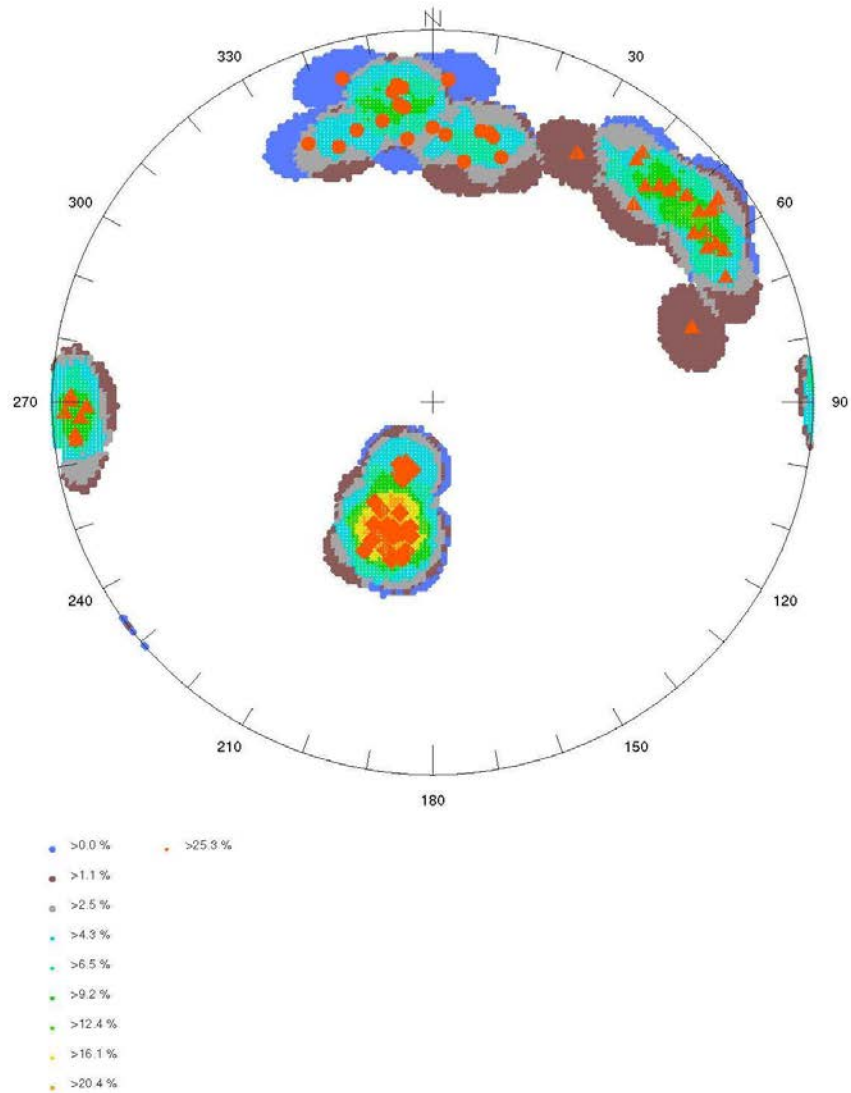
Poldiagramm der Datei: Steinbruch Holzen (gesamt)1



Projekt: Steinbruch Holzen (gesamt)1

<p>ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG Borbecker Straße 22 40472 Düsseldorf</p>		Auftrag-Nr.:
		12787
<p>Projekt: Kalksteinbruch Holzen</p>		Datum
		08.08.2018
		Bearbeiter
		Dipl.-Geol. Dr.Jungrichter

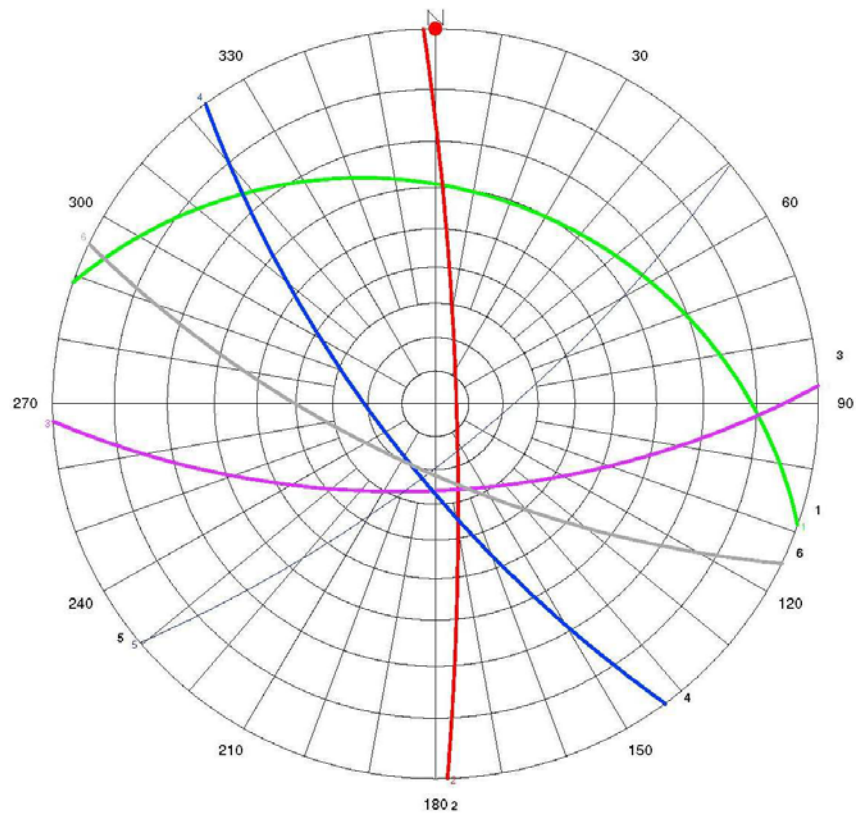
Dichtediagramm der Datei: Steinbruch Holzen (gesamt)



Projekt: Steinbruch Holzen (gesamt)

<p align="center">ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG Borbecker Straße 22 40472 Düsseldorf</p>		Auftrag-Nr.:
		12787
<p>Projekt: Kalksteinbruch Holzen</p>		Datum
		08.08.2018
		Bearbeiter
		Dipl.-Geol. Dr.Jungrichter

Grosskreisdiagramm der Datei: Steinbruch Holzen (Trennflächengefüge)

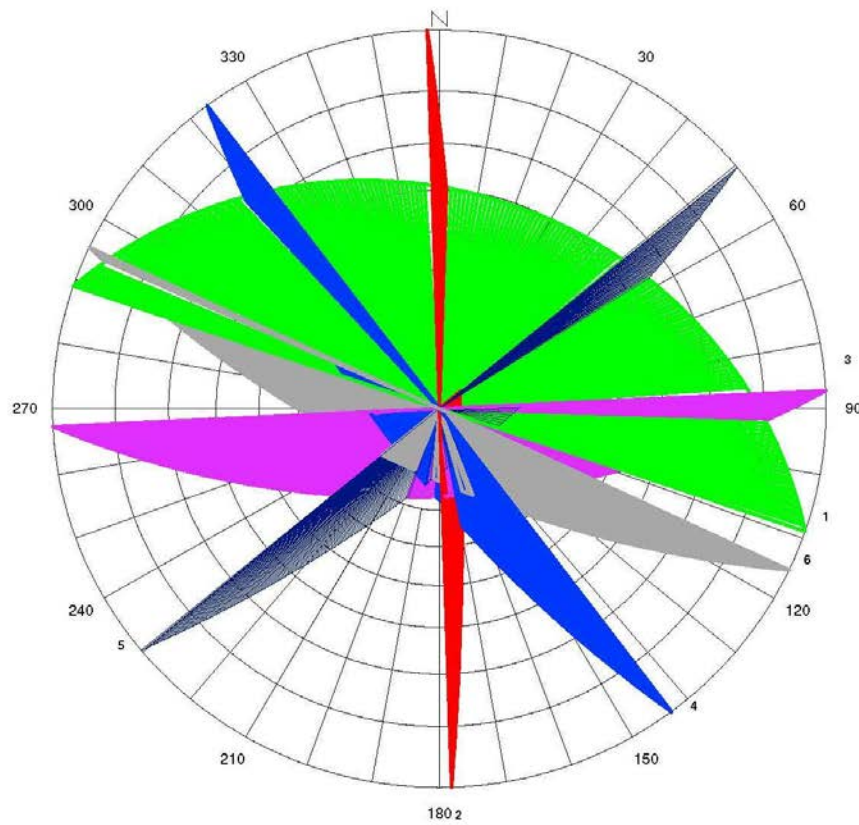


Flächen			Lineare		
Nr	Azi	FW	Nr	Azi	FW
1	19	31 ss-Schichtung	1	0	0
2	88	84 kk2-Querkluft			
3	177	64 kk1-Laengskluft			
4	233	73 kk3-Diagonalkluft			
5	140	75 kk4-Diagonalkluft			
6	205	70 Nord-Boeschung			

Projekt: Steinbruch Holzen (Trennflächengefüge)

<p align="center">ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG Borbecker Straße 22 40472 Düsseldorf</p>		Auftrag-Nr.:
		12787
<p>Projekt: Kalksteinbruch Holzen</p>		Datum
		08.08.2018
		Bearbeiter
		Dipl.-Geol. Dr.Jungrichter

Grosskreisdiagramm der Datei: Steinbruch Holzen (Trennflächengefüge)



Flächen			Lineare		
Nr	Azi	FW	Nr	Azi	FW
1	19	31 ss-Schichtung	1	0	0
2	88	84 kk2-Querkluft			
3	177	64 kk1-Laengskluft			
4	233	73 kk3-Diagonalkluft			
5	140	75 kk4-Diagonalkluft			
6	205	70 Nord-Boeschung			

Durch die Trennflächen wird das Gebirgsgefüge in mehr oder minder große quaderartige/würfelige Gesteinsblöcke mit Kantenlängen von wenigen Zentimetern bis mehrere Dezimeter durchtrennt. An dem auf den Steinbruchbermen und entlang der Steinbruchstraße vorhandenen Abbruchmaterial kann die Stein- und Blockgröße des gebrochenen Felsmaterials abgeschätzt werden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Gebirge durch Sprengungen aufgelockert und gelöst wird. Hierbei zerfällt das Gebirge entlang der vorgegebenen Richtung des engen Trennflächengefüges.

Die Zuordnung der Orientierung der Haupttrennflächen zu der räumlichen Lage der nördlichen Steinbruchwand zeigt, dass die Schichtflächen generell hangeinwärts einfallen. Die Oberfläche der Anschnittsböschung wird im Wesentlichen von der Längsklüftung bzw. der nach SW-gerichteten steilen Diagonalklüftung (kk3) gebildet. Querschläggig zur nördlichen Steinbruchwand und zur Schichtung wird das Gebirge von der steil einfallenden Querklüftung (kk2) und einer weiteren Diagonalklüftung (kk4) durchtrennt. Der besseren Anschauung wegen ist der Verlauf der Schichtung an der nördlichen Steinbruchwand im nachfolgenden Bild 6-2 dargestellt.

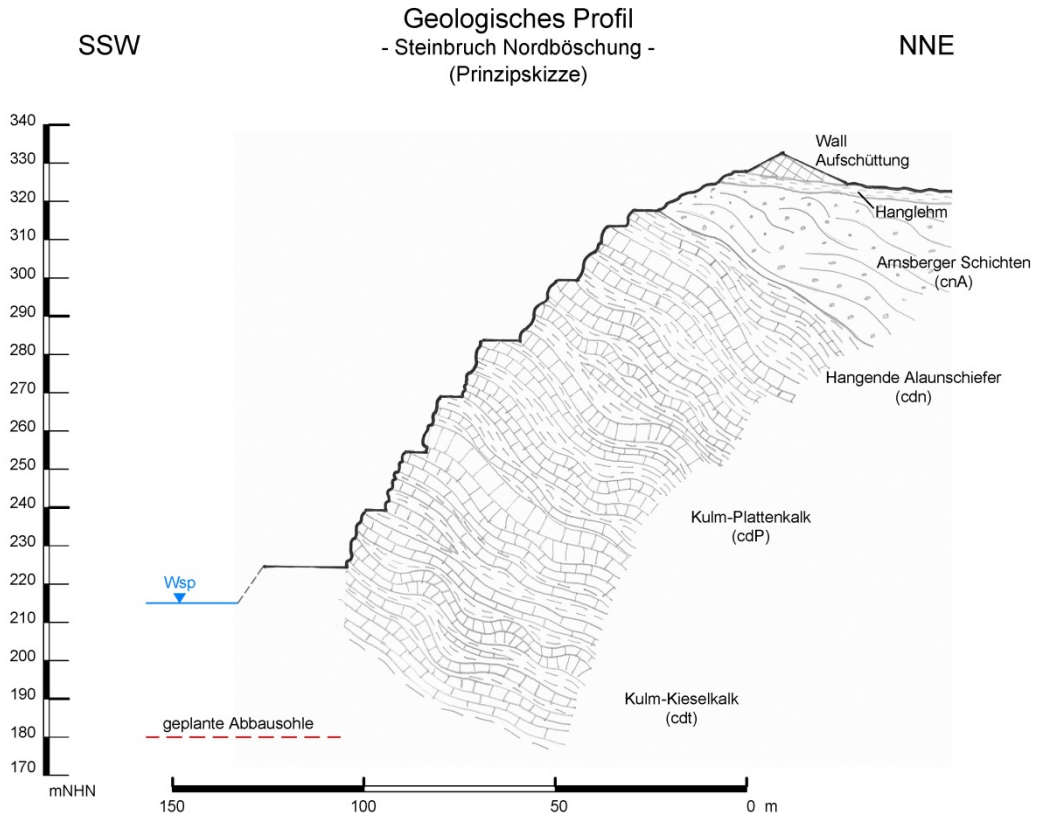


Bild 6-2: Geologisches Profil, Steinbruch Nordböschung

Die großflächig im Steinbruch freigelegte Nord- und Westböschung zeigt, dass die Gesteinsschichten des Kulm-Plattenkalks kleinräumig verfaltet sind. An dem wellenartigen Verlauf der Schichtungen ist zu erkennen, dass die Gesteinsschichten sowohl in Nord-Süd-Richtung (sichtbar an der Westböschung) als auch in West-Ost-Richtung (sichtbar an der Nordböschung) tektonische Falten aufweisen.

In der Mitte des Steinbruchs wird das Gebirge von einer markanten Störungszone in Nord-Süd-Richtung durchzogen, in der offensichtlich eine Horizontalverschiebung der karbonischen Gesteine stattgefunden hat. Entlang dieser Störungszone ist der Kulm-Plattenkalk rötlich gefärbt, intensiv verfaltet und mit hydrothermalen Erzgängen (sulfidische Erze) durchzogen. Lokal sind an den Aufschlusswänden auch kleine Störungen/Verwerfungen, kleinräumige Spezialfalten (z. B. Knickfalten) mit überkippten Faltenschenkeln und auch Überschiebungen erkennbar.

- Oberhalb des Kulm-Plattenkalks sind im oberen Bereich der nördlichen Steinbruchwand „**Hangende Alaunschiefer**“ (**cdn**) aufgeschlossen (Bild 6-3). Diese Schichten gehen allmählich aus den Plattenkalken in eine reine Schieferserie über. Diese besteht aus milden, schwarzgrauen bis braungrauen Tonschiefern mit wenigen Kalksteinbänken. Die Mächtigkeit dieser überwiegend stark verwitterten Schichten beträgt im Steinbruch etwa 3 - 8 Meter.
- Über den Hangenden Alaunschiefern folgen die aus Grauwackenbänken und Grauwackenschiefern sowie Tonschiefern bestehenden **Arnsberger Schichten (cnA)** (Bild 6-4). Diese sind an der Geländeoberfläche tiefgründig stark verwittert und zu steinigem Lehmboden zersetzt. Die Hangenden Alaunschiefer und die Arnsberger Schichten bilden an der nördlichen Steinbruchwand bereichsweise völlig zersetzte, lehmige Deckschichten mit bis zu 20 m Mächtigkeit.
- An der Geländeoberfläche werden die anstehenden Festgesteine generell von einer etwa 2 m dicken, steinigen **Hanglehm-Deckschicht** (Bild 6-3) überlagert.



Bild 6-3: Hangende Alaunschiefer mit darüber liegender Hanglehm-Deckschicht



Bild 6-4: Arnsberger Schichten über Hangendem Alaunschiefer (ca. 18 m Schichtdicke), links Gesteinshöcker aus Kulm-Plattenkalk

6.2 Ergebnisse der Kernbohrungen

Die gewonnenen Bohrkerne der drei Erkundungsbohrungen auf dem Areal der geplanten Westerweiterung wurden von der ICG vor Ort geologisch/ petrographisch angesprochen.

Bei der geotechnischen Aufnahme und Beschreibung der Festgesteine wurden im Wesentlichen die Gesteinsart, die Gesteinsfarbe, der Kalkgehalt, der Verwitterungsgrad, die Gesteinsfestigkeit und die Klüftigkeit beurteilt. Darüber hinaus wurden besondere Merkmale der Bohrkernproben erfasst. Des Weiteren wurde eine Fotodokumentation der in Kernkisten ausliegenden Bohrkerne erstellt. Die detaillierten Schichtbeschreibungen und die gesteinsmechanischen Merkmale sind den geotechnischen Bohrprofilen der Bohrungen B1, B2 und B3 in den Anlagen 2.1 bis 2.3 zu entnehmen. Die Fotodokumentation der Bohrkerne ist dem entsprechenden Bohrprofil direkt gegenübergestellt. Die Schichtenfolge stellt sich in den drei Kernbohrungen wie folgt dar:

Kernbohrung B1

In der Kernbohrung B1 wurde erst ab einer Tiefe von 21,0 m unter GOK mit der Gewinnung von Bohrkernen begonnen. Gemäß mündlicher Informationen des Auftraggebers bestand seinerzeit das Ziel der Kernbohrungen darin, erst im Bereich der abbauwürdigen Kalksteine mit Beprobungen des Festgesteins zu beginnen.

Das Schichtenverzeichnis für die Bohrung B1 der Celler Brunnenbau GmbH [4] gibt unter einer 6,7 m dicken Lehmbedeckung bis in eine Tiefe von 2110 m unter GOK stark verwitterten, brüchigen Schiefer an.

Unter Berücksichtigung dieser Angaben kann geschlossen werden, dass an dieser Stelle von 0 bis 21,0 m unter Geländeoberkante nur stark verwitterte, zersetzte Gesteinsschichten auftreten. Vermutlich handelt es sich um Hanglehme und hangende Alaunschiefer. Eine genaue Aussage über die Beschaffenheit dieser oberflächennahen Gesteinsschichten ist nicht möglich.

Von 21,0 m bis zur Endteufe der Bohrung bei 41,0 m steht Kulm-Plattenkalk an, der aus einer unregelmäßigen Wechsellagerung aus kieseligen Kalkstein- und Kieselschieferschichten besteht (vgl. Anlage 2.1). Die Schichtung der Gesteine ist überwiegend plattig und bankig ausgebildet. Ab einer Tiefe von 36 m unter GOK treten massive Kalksteinbänke von > 1 m Dicke auf. Generell ist das Gestein intensiv mit verheilten Mineralgängen (Calzit, Quarz) durchsetzt. Das Gebirge wird von einem engständigen Trennflächengefüge durchzogen, in dem z. T. mehrere Zentimeter große offene Klüfte auftreten.

Kernbohrung B2

Auch in der Kernbohrung B2 wurde mit dem Probengewinn erst in einer Tiefe von 12,0 m unter GOK begonnen. Gemäß dem Schichtenverzeichnis der Celler Brunnenbau GmbH [4] bestehen die Bodenschichten bis 12 m Tiefe aus Lehmen und Tonen. Genaue Aussagen über die Beschaffenheit der anstehenden Gesteinsschichten sind auf dieser Grundlage nicht möglich. Es ist wahrscheinlich, dass es sich auch hier um verwitterten hangenden Alaunschiefer handelt.

Die Bohrung B2 wurde bis in eine Tiefe von 32,0 m abgeteuft. Die Bohrkernproben zeigen, dass es sich hier ebenfalls um Kulm-Plattenkalk mit einer intensiven Wechsellagerung von kieseligen Kalksteinen mit Kiesel-

schiefern und z. T. Tonschiefern handelt. Die Gesteinsschichten sind in der oberen Hälfte der Kernbohrung dünnplattig und z. T. blättrig und zur Tiefe hin eher bankig bis massig ausgebildet. Zwischen 16,0 m und 18,0 m Tiefe besteht ein Kernverlust. Gegebenenfalls ist in diesem Bereich vorhandenes blättriges Feinkornmaterial von der Bohrspülung verdrängt worden. Die Beschaffenheit des in der Bohrung B2 anstehenden Kulm-Plattenkalks kann der Fotodokumentation der Anlage 2.2 entnommen werden. Es ist zu erkennen, dass das Gebirge ein engständiges Trennflächengefüge aufweist.

Kernbohrung B3

Die auf dem Gelände der geplanten Westerweiterung am südlichsten gelegene Kernbohrung B3 wurde bereits ab einer Tiefe von 3 m unter Geländeoberkante durchgehend gekernt. Die Bohrung wurde bis in eine Tiefe von 30 m abgeteuft.

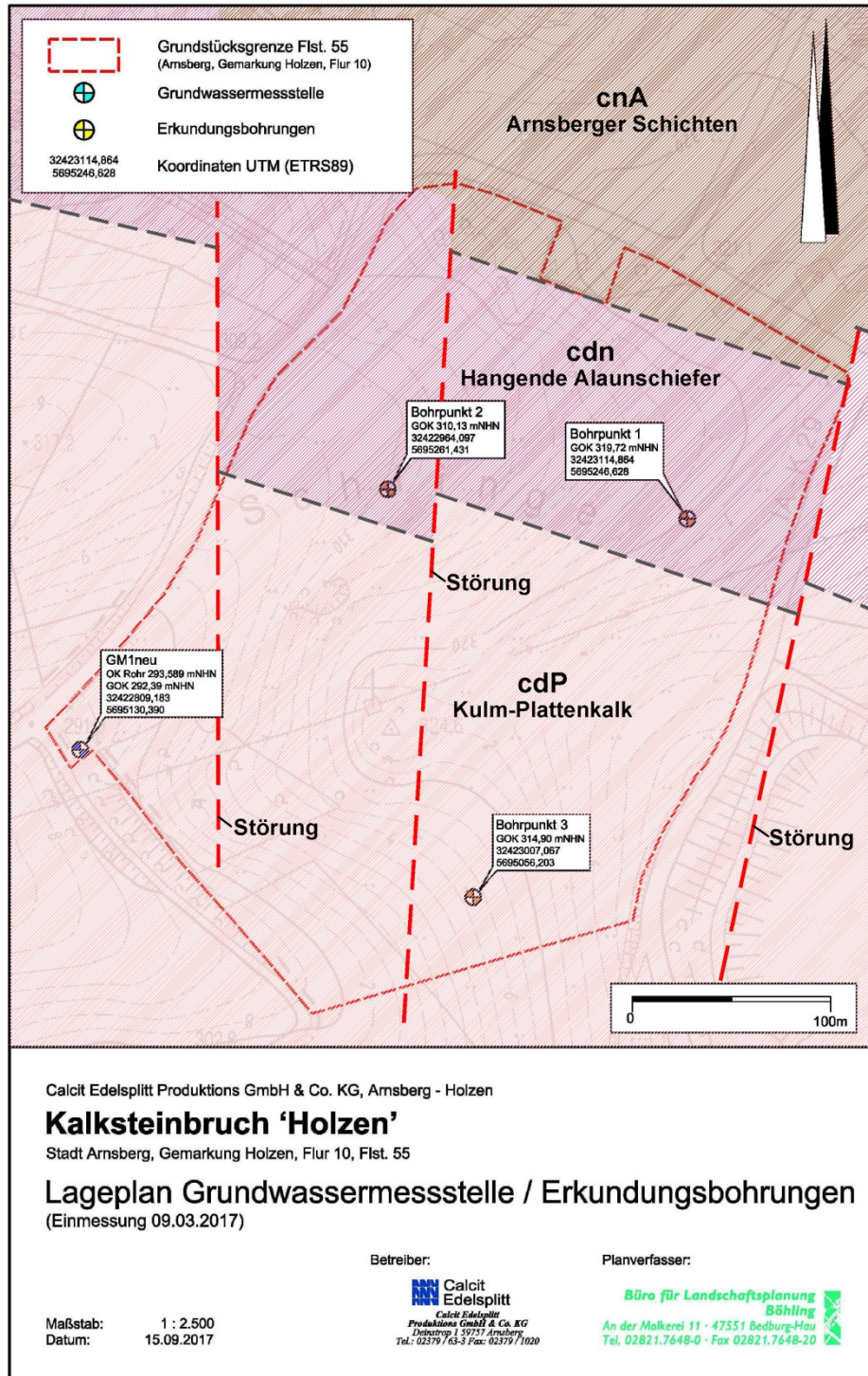
Das Bohrprofil der Kernbohrung B3 (Anlage 2.3) zeigt, dass oberflächennah bis in einer Tiefe von etwa 10 m vorwiegend stark verwitterte, teils entfestigte Tonschiefer in Wechsellagerung mit Kieselschichten auftreten. Die Tonschiefer sind z. T. zu dünnen Lehmschichten zersetzt. Offensichtlich stellt dieser obere Aufschlussbereich die Verwitterungszone des Kulm-Plattenkalkes dar.

Die Gesteinsschichten zwischen 10 m und 30 m Tiefe bestehen aus unverwitterten bzw. gering verwitterten typischen Kulm-Plattenkalk mit einer intensiven Wechsellagerung von kieseligen Kalksteinen und Kieselschiefern. Die Schichten sind plattig bis bankig ausgebildet. Das Gebirge wird von einem engständigen Trennflächengefüge durchzogen.

6.3 Geologische Verhältnisse im Bereich der Westerweiterung

Auf Grundlage der zur Verfügung stehenden geologischen Karten [12, 13, 14] und der geologischen Geländeaufnahme auf dem Steinbruchgelände sowie der Ergebnisse der im Bereich der geplanten Westerweiterung abgeteuften Bohrungen können die Ausbisslinien der im Untersuchungsgebiet anstehenden Gesteinsschichten abgeleitet werden. In dem nachfolgenden Lageplan (Bild 6-5) sind die ungefähren Grenzen der generell nach Norden einfallenden Gesteinsschichten (Kulm-Plattenkalk, Hangende Alaunschiefer, Arnsberger Schichten) eingetragen. Die Ausbisslinien sind generell WNW-ESE gerichtet. Das Azimut der Schichten kann mit etwa 19° angegeben werden.

Gemäß den Angaben der geologischen Karten wird das Untersuchungsgebiet von drei Störungen durchzogen, die etwa von Süden nach Norden streichen und an denen die Festgesteine sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung versetzt sind.



01103

Bild 6-5: Geologische Karte der Westerweiterung

7 Standsicherheitsuntersuchungen

Die Standsicherheit von Steinbruchwänden im geschichteten und geklüfteten Gebirge wird maßgeblich vom Trennflächengefüge in Zuordnung zur geplanten Wand, den Trennflächeneigenschaften, den Gesteinseigenschaften und gegebenenfalls vorhandenem Kluftwasser bestimmt.

Im Folgenden werden nach Darstellung der geometrischen Randbedingungen und Herleitung der grundlegenden Gebirgskennwerte sowohl die lokale Standsicherheit möglicher Gleitkörper, die durch das Trennflächengefüge gebildet werden können, als auch die Standsicherheit der gesamten Steinbruchwand untersucht.

7.1 Geometrische Randbedingungen

In Bild 7-1 sind die maximale Ausdehnung der geplanten Westerweiterung des Steinbruchs dargestellt und die fünf verschieden orientiert geplanten Wände W1 bis W5 benannt.

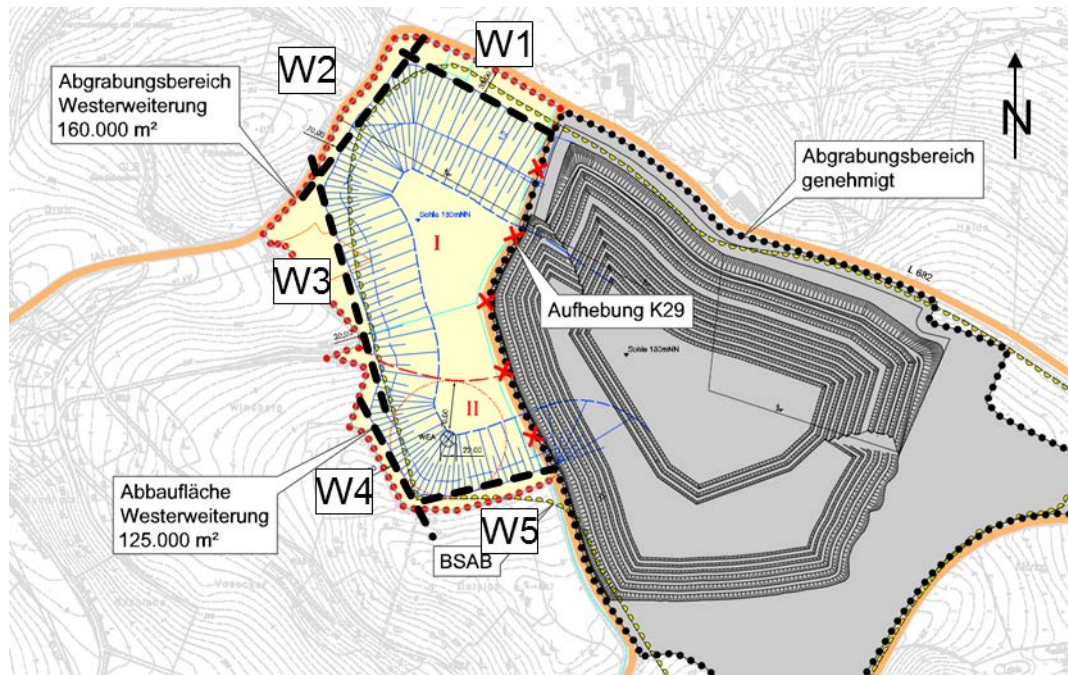


Bild 7-1: Geplante Steinbruchwände W1 bis W5 im Endzustand

In der nachfolgenden Tabelle sind für diese geplanten Wände die Orientierung der Böschungslinie und die ungefähren Höhen von Sohle und aktueller GOK an der geplanten Wandoberkante charakterisiert.

Tabelle 7-1: Geplante Steinbruchwände W1 bis W5

Wand	Einfallsrichtung [°]	Böschung-Fuß/Sohle [mNHN]	Akt. GOK an Wand-OK [mNHN]
-			
W1	205	180	320
W2	120		310
W3	70		310
W4	60		325
W5	255		335
W5a	20		335

Ein konkreter Abbauplan mit geplanten Böschungsneigungen und -höhen sowie erforderlichen Bermenbreiten lag zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Berichtes nicht vor. Durch das Büro Böhling sind mit E-Mail vom 01.08.2018 folgende Randbedingungen zum Ansatz der Wandgeometrie vorgegeben worden:

- Die Abschlagshöhe beträgt, bedingt durch die Sprengbohrungen entweder 6 oder 12 m.
- Die max. Wandhöhe zwischen den Bermen soll 24 m nicht überschreiten.
- Die Bermenbreite muss mindestens 5 m betragen.

Im Folgenden wird – unter Beachtung dieser Randbedingungen und angelehnt an die zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen zur vormaligen Norderweiterung [1]– zunächst die in Bild 7-2 dargestellte Geometrie der Steinbruchwände angenommen.

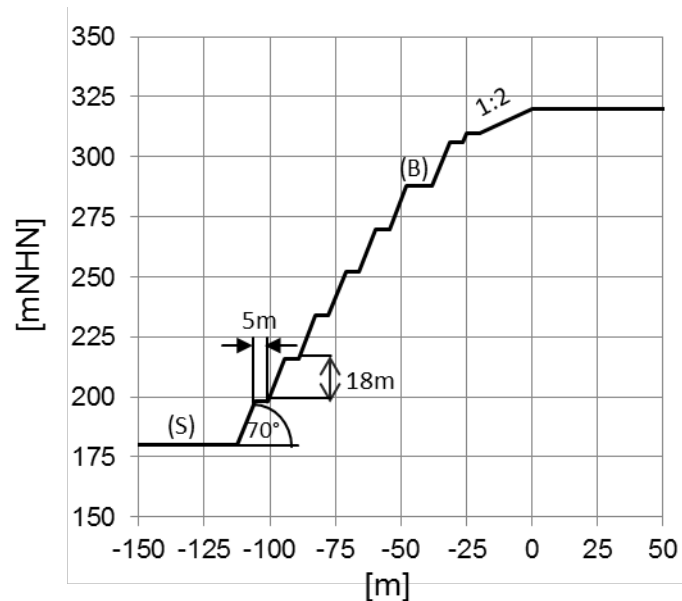


Bild 7-2: Angenommenes Böschungsprofil (Beispielhaft für die geplante Nordwand W1)

Von der geplanten Sohle auf 180 mNHN (S) wurden einheitlich 18 m hohe Teilwände mit einer Neigung von 70° angenommen. Die Bermenbreite wurde zu 5 m angesetzt. Zusätzlich wurde auf einer Höhe von 288 mNHN eine 10 m breite Berme (B) vorgesehen. Bis zur Lockergesteinsdeckschicht wurde dann nach Möglichkeit wieder eine Wandhöhe von 18 m angenommen. Auf Höhe der Lockergesteinsbasis wird ein 5 m breiter Schutzstreifen vorgesehen. Bergseitig dieses Schutzstreifens wird die Böschung in der Lockergesteinsdeckschicht mit einer Neigung von 1:2 ausgebildet.

7.2 Felsmechanische Kennwerte

Für die Standsicherheitsbetrachtungen werden materialtypische Kennwerte auf Grundlage vorliegender Erfahrungen angenommen und aus Standardwerken zur Felsmechanik abgeleitet. Auf die Durchführung einaxialer Zylinderdruckversuche zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit σ_u (Gesteinsfestigkeit) wurde verzichtet. Die einaxiale Druckfestigkeit stellt einen Eingangsparameter zur Ermittlung der Gebirgsfestigkeit dar. Die Bohrkernproben zeigten einen unverwitterten bis gering verwitterten Plattenkalk mit einer harten bis sehr harten Kornbindung. Die versuchstechnisch zu erwartenden einaxialen Druckfestigkeiten lägen an der Obergrenze der nachstehend genannten Bandbreite für σ_u . Nur der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass keine kostenintensiven Großversuche zur Ermittlung der Gebirgsfestigkeit ausgeführt wurden.

- Lockergesteinsdeckschicht:
 - Reibungswinkel $\varphi' = 30^\circ$
 - Kohäsion $c' = 5 \text{ kN/m}^2$
 - Wichte $\gamma/\gamma' = 19/9 \text{ kN/m}^3$

- Hangende Alaunschiefer (verwittert):
 - Wichte $\gamma/\gamma' = 24/14 \text{ kN/m}^3$
 - einax. Druckfestigkeit $\sigma_u = 40 - 100 \text{ MN/m}^2$

- Kulm-Plattenkalk
 - Schichtung (ss):
 - Reibungswinkel $\varphi' = 40^\circ$
 - Kohäsion $c' = 10 \text{ kN/m}^2$ (Strukturkohäsion)
 - Klüfte (kk1 bis kk4):
 - Reibungswinkel $\varphi' = 25^\circ$
 - Kohäsion $c' = 15 \text{ kN/m}^2$ (Strukturkohäsion)

- Festgesteinskomponente:
 - Wichte $\gamma/\gamma' = 26/16 \text{ kN/m}^3$
 - einax. Druckfestigkeit $\sigma_u = 60 - 180 \text{ MN/m}^2$

7.3 Lokale Standsicherheit - Gleitkörper auf Trennflächen

In Tabelle 6-1 ist die mittlere Raumstellung der aufgenommenen Trennflächenscharen aufgeführt.

Grundlegend kann angenommen werden, dass das an den Bestandswänden (vorrangig der Nordwand) aufgenommene Gefüge auf die Westerweiterung übertragbar ist. Diese Annahme ist im Rahmen des Felsausbruchs bei der Westerweiterung fachgutachterlich zu überprüfen.

Nach den Ergebnissen der geologischen Geländeaufnahme, kann allein von den Schichtungsflächen (ss) und gegebenenfalls von der Querklüftung (kk2) angenommen werden, dass diese durchgehende Ebenen bilden, die potentielle Gleitflächen darstellen. Die übrigen Klüfte hingegen verspringen lagenweise im Zentimeter- bis Meterbereich und bilden daher keine durchgehenden Kluftebenen, auf denen ein Gleiten erfolgen kann. Zur Berücksichtigung der Verzahnung bzw. erforderlicher Materialbrüche bei der Ausbildung von Gleitflächen auf den Klüften wird hier für alle Längs-, Quer- und Diagonalklüfte (kk1 bis kk4) eine (Struktur-)Kohäsion von 15 kN/m^2 angesetzt.

Aufgrund der bereichsweise welligen und rauen Oberfläche wird für die Schichtungsflächen eine (Struktur-)Kohäsion von 10 kN/m^2 angenommen.

Grundsätzlich besteht bei den vorhandenen kleinteiligen Kluffkörpern die Gefahr von Steinschlag. Die Wände sind zu beräumen und von aufgelockertem Material zu befreien. Auf die Nachweisführung gegen das sogenannte Toppling, d.h. Stürzen von Felsblöcken, und ein eventuelles Knicken steileinfallender und unterschrittener Schicht wird hier verzichtet. Ein Unterschneiden von Wandbereichen ist grundsätzlich zu unterlassen.

Im Folgenden wird für die fünf Wandbereiche mit Hilfe der Lagenkugeldarstellung des Trennflächengefüges überprüft, ob ein ebenes bzw. ein räumliches Gleiten von Kluffkörpern entsprechend Bild 7-3 möglich ist.

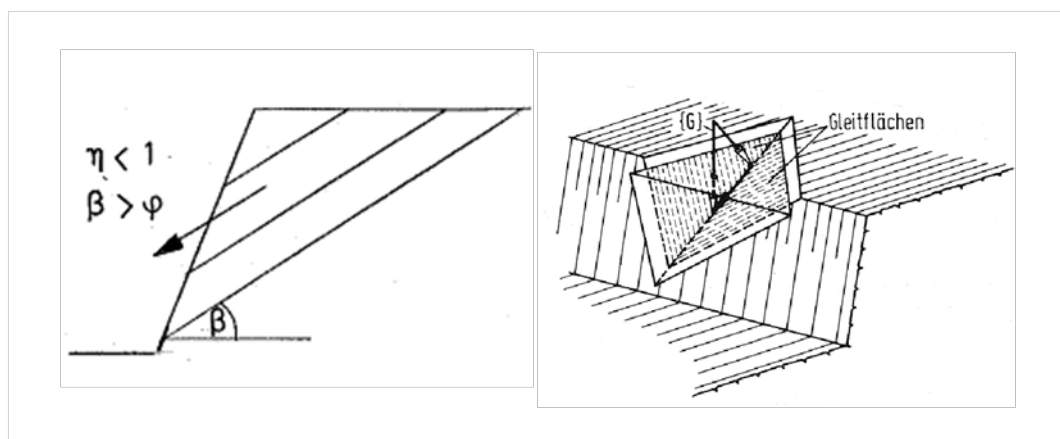


Bild 7-3: Ebenes (links) und räumliches Gleiten (rechts) von Felskeilen

Ebenes Gleiten auf einer Trennfläche ist kinematisch möglich, wenn:

- eine Trennfläche(-nschar) ungefähr parallel ($\pm 20^\circ$) zur Wand und
- flacher als die betrachtete Wand

einfällt.

Räumliches Gleiten auf zwei Trennflächen kann eintreten wenn

- die Verschneidung zweier Trennfläche(-nscharen) aus der Wand herausweist und
- die betrachtete Wand parallel zur Verschneidung steiler als die Verschneidung

einfällt.

In den Anlagen 3.1.1 bis 3.1.5 sind die fünf Wände in Form von Großkreisen mitsamt den Großkreisen der Trennflächenscharen dargestellt. Darüber hinaus sind die Verschneidungslinien/Lineare die aus der Wand herausweisen mit eingetragen.

Bei der Berechnung der im Folgenden genannten Sicherheiten wurde stets angenommen, dass die Höhe des Gleitkörpers der Teilwandhöhe von 18 m entspricht.

Angelehnt an die alte DIN 4084-1981 wird hier vorausgesetzt, dass für eine permanente Nachnutzung ein **Sicherheitsfaktor $\eta = 1,4$** ausreichend ist.

7.3.1 Wand W1 – Nord-Wand

Die Schichtung ss fällt in Gegenrichtung zur Nord-Wand W1 ein. Die Klüfte streichen nicht annähernd böschungsparell und stehen steiler als die Wand. Ein ebenes Gleiten auf einer Trennfläche(-nschar) ist hier demnach kinematisch nicht möglich.

Weiter ergeben sich an der Nord-Wand W1 drei Verschneidungen von Kluftscharen (L1 bis L3). Nur die Verschneidungen L1 und L2 weisen bei einer Wandneigung von 70° aus der Wand heraus – nur hier ist die Entste-

hung von Gleitkeilen theoretisch möglich. Unter Ansatz der oben genannten Scherparameter beträgt die Standsicherheit für die Gleitkeile $\eta = 1,77$ bzw. 2,35.

7.3.2 Wand W2 – Nordwest-Wand

Bei Wand W2 ist ein ebenes Gleiten auf einer Trennfläche aufgrund der Raumstellung von Wand und Trennflächengefüge ebenfalls auszuschließen.

Da die Neigung der Wand in Richtung der Verschneidungslinien L1 und L3 flacher ist als die der Verschneidungslinien selbst, können sich entsprechende Gleitkörper nicht ausbilden.

Der entlang der Verschneidung L4 (Schichtung ss und Längsklüftung kk1) gleitende Keil ist aufgrund des flachen Einfallens als standsicher zu erachten. Die globale Sicherheit bei Ansatz der oben genannten Kennwerte beträgt $\eta = 6,26$.

Auf den Klufscharen kk2 (Querklüftung) und kk3 (Diagonalklüftung) gebildete Gleitkeil, der auf dem Linear L2 gleiten könnte, weist unter Ansatz der oben genannten Kennwerte eine globale Standsicherheit von $\eta = 4,35$ auf.

7.3.3 Wand W3 – West-Wand, nördlicher Abschnitt

Ein ebenes Gleiten kann geometrisch bedingt theoretisch nicht eintreten.

Wie bei Wand W2 ist ein Gleiten auf der flach einfallenden Verschneidung L4 auszuschließen ($\eta = 6,21$).

Die globale Standsicherheit eines Gleitkörpers aus der Verschneidung der Schichtungsflächen ss mit der Querklüftung kk2 (Linear L5) beträgt unter Ansatz der oben genannten Kennwerte und Ansatz einer Höhe des Gleitkeils von 18 m (Höhe der Wandabschnitte) $\eta = 2,47$.

7.3.4 Wand W4 – West-Wand, südlicher Abschnitt

Für die Wand W4 gelten sinngemäß die Darstellungen zur Wand W3. Die Sicherheit des Gleitkeils auf dem Linear L5 ist aufgrund der veränderten Wandorientierung etwas geringer ($\eta = 2,06$).

7.3.5 Wand W5 – Süd-Wand

Die Südwand W5 der geplanten Steinbrucherweiterung stellt den kritischsten Bereich in Hinblick auf die Standsicherheit dar. Ursache hierfür ist, dass die Schichtungsflächen unter einem Winkel von 20° bis 40° (i.M 31°) in etwa parallel zu den geplanten Böschungen ($\alpha_{W5} = \alpha_{ss} \pm 20^\circ$) einfallen. Entsprechend ist hier die Standsicherheit eines ebenen Gleitkeils auf einer Schichtungsfläche nachzuweisen. Unter Ansatz der oben genannten Kennwerte für die Schichtungsflächen ergibt sich ein globaler Sicherheitsfaktor von $\eta = 1,52 > 1,4$.

Darüber hinaus ist entsprechend der Variation der Linie im Bereich der Südwand auch die Bildung räumlicher Gleitkeile theoretisch möglich. Analog zu den Wänden W3 und W4 ist ein Gleitkörper auf der flach einfallenden Verschneidungslinie L4 nicht standsicherheitsrelevant. Auch hier kann aber theoretisch ein Gleitkeil auf der Verschneidung L5 entstehen. Unter Ansatz der oben aufgeführten Kennwerte ergibt sich ein globaler Sicherheitsfaktor von $\eta = 1,81$.

7.4 Globale Standsicherheit

Ergänzend zur Betrachtung lokaler Gleitkörper wird die Standsicherheit der Steinbruchwände in ihrer Gesamthöhe betrachtet.

Zur Beschreibung der Gebirgsfestigkeit bei der Betrachtung der Böschungsstabilität wird ein modifizierter Ansatz des Festigkeitskriteriums von Hoek & Brown verwendet [15].

Bei diesem Ansatz wird aus der einaxialen Druckfestigkeit der intakten Gesteinskomponente (σ_{ci}) unter Berücksichtigung der Gebirgsstruktur und der Verwitterung des Gebirges (Geological strength index = GSI), der Gesteinsart (Faktor m_i) und der zu erwartenden Auflockerung durch den Abbauprozess (Faktor D) eine Scherfestigkeitsbedingung abgeleitet, die in den Hauptspannungen σ_1' und σ_3' formuliert ist. Durch das Anlegen einer Ausgleichgeraden an dieses nichtlineare Festigkeitskriterium im Schubspannungs-Normalspannungs-Diagramm, können der Reibungswinkel φ' und die Kohäsion c' des Gebirges zur Berechnung der Standsicherheit mit dem Festigkeitskriterium nach Mohr-Coulomb abgeleitet werden.

Für die angewitterten bis verwitterten Alaunschiefer wurde so unter Ansatz einer Höhe von 20 m ein Reibungswinkel $\varphi = 29^\circ$ und eine Kohäsion $c' = 70 \text{ kN/m}^2$ ermittelt (gewählte Eingangswerte: GSI = 20, $\sigma_{ci} = \sigma_u = 40 \text{ MN/m}^2$, $m_i = 9$, $D = 0,7$).

Für den Kulm-Plattenkalk wurden unter Ansatz einer Höhe von 150 m und konservativ abgeschätzter Eingangswerte Scherparameter $\varphi = 28^\circ$ und $c' = 620 \text{ kN/m}^2$ bestimmt (gewählte Eingangswerte: GSI = 45, $\sigma_{ci} = 60 \text{ MN/m}^2$, $m_i = 8$, $D = 1,0$)

Die globale Standsicherheit wurde mit Hilfe der Software GGU Stability, Version 12.09 untersucht. Im Folgenden sind die durchgeführten Standsicherheitsberechnungen nach DIN 4018 dargestellt. Im Gegensatz zur Betrachtung der lokalen Versagensmechanismen wird hier das „neue“ Sicherheitskonzept nach DIN 1997-1 (EC 7) angewendet. Eine ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn der Ausnutzungsgrad μ unter Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkungen und die Widerstände kleiner bzw. gleich 1,0 ist.

7.4.1 Wand W1 (Nord-Wand)

Die Geometrie des Berechnungsschnitts zur Nord-Wand W1 ist in Anlehnung an die oben genannten geometrischen Vorgaben entwickelt worden. Sie ist in Anlage 4.1.1 mit den angesetzten Gebirgs- und Bodenkennwerten dargestellt. Die angenommene Bodenschichtung ist aus geologischen Geländeaufnahme und den vorliegenden Erkundungsbohrungen abgeleitet worden.

Wie der Anlage 4.1.2 zu entnehmen ist, weist der ungünstigste Versagenskörper (Gleitkreisberechnung nach Bishop) einen Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,80$ auf. Damit ist die globale Standsicherheit rechnerisch nachgewiesen. Der Anstieg des Grundwassers auf 215 mNHN bzw. 220 mNHN nach Beendigung der Abbautätigkeit führt zu Verringerung der Ausnutzungsgrades ($\mu = 0,79$ bzw. $0,78$, vgl. Anlagen 4.1.3 und 4.1.4).

7.4.2 Wand W3 (West-Wand)

Die angenommene Geometrie des Berechnungsschnitts zur West-Wand W3 ist in Anlage 4.2.1 dargestellt. Die angenommene Bodenschichtung ist aus geologischen Geländeaufnahme und den vorliegenden Erkundungsbohrungen abgeleitet worden.

Wie der Anlage 4.2.2 zu entnehmen ist, weist der ungünstigste Versagenskörper (Gleitkreisberechnung nach Bishop) einen Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,72$ auf. Damit ist die globale Standsicherheit rechnerisch nachgewiesen. Der Anstieg des Grundwassers auf 215 mNHN bzw. 220 mNHN nach Beendigung der Abbautätigkeit führt zu Verringerung der Ausnutzungsgrades ($\mu = 0,71$ bzw. $0,70$, vgl. Anlagen 4.2.3 und 4.2.4).

7.4.3 Wand W5 (Süd-Wand)

Bei der Süd-Wand fallen die Schichtungsflächen (ss) mit 31° etwa parallel zur Wand ein. Aus diesem Grunde wird für diese Wand die Standsicherheit großer ebener Gleitkörper auf diesen Schichtungen maßgebend. Grundsätzlich wird empfohlen, dass die Neigung der Teilwände im Endzustand zur Erhöhung der Standsicherheit auf 60° verringert wird. In Anlage 4.3.1 ist das betrachtete ebene Modell dargestellt. Das Einfallen der Trennflächen ist durch die roten Strichlinien angedeutet. Bei der Berechnung werden für alle Gleitfugenabschnitte die in etwa parallel zum Einfallen der Schichten verlaufen (hier $\pm 2^\circ$ angesetzt) die geringeren Scherparameter der Schichtungsflächen in Ansatz gebracht.

In Anlage 4.3.2 ist der maßgebende Gleitkeil dargestellt. Bei einem Ausnutzungsgrad von $\mu = 0,89$ ist die Standsicherheit für den ständigen Bemessungsfall (BS-P) rechnerisch gegeben. Der Wiederanstieg des Grundwassers beeinflusst die Standsicherheit dieses Keils nicht ($\mu = 0,89$, siehe Anlage 4.3.3).

8 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden – auf Grundlage der Ergebnisse von Erkundungsbohrungen, ausgeführt in der geplanten Westerweiterung, und einer im Steinbruch Holzen durchgeführten Geländeaufnahme mit geologisch-petrographischer Ansprache sowie einer gefügekundlichen Aufnahme der Gebirgstrennflächenscharen – die im Bereich der geplanten Westerweiterung zu erwartenden geologisch-tektonischen Verhältnisse beschrieben.

Auf Grundlage dieser Untersuchungsergebnisse wurden Standsicherheitsnachweise für fünf repräsentative Steinbruchwände (generelle Verhältnisse) nach Beendigung des Gesteinsabbaus durchgeführt. Dabei wurde mit Hilfe der Lagenkugeldarstellung des Trennflächengefüges überprüft, ob ein ebenes oder räumliches Gleiten von Kluffkörpern überhaupt kinematisch möglich ist. Ferner wurden Standsicherheitsberechnungen für die geplanten Gesamtböschungen des Steinbruchs ausgeführt.

Die Berechnungen zeigen, dass für die geplanten Wandböschungen mit einer Neigung von 70° die erforderliche Standsicherheit gegeben ist. Hier-von ausgenommen ist die geplante Südböschung (Wand W5).

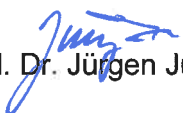
Bei der Südwand fallen die Schichtungsflächen mit ca. 30° parallel zur Wand ein. Für diese Situation wird die Standsicherheit auf großen ebenen Gleitkörpern auf diesen Schichtungen maßgebend. Daher wird für die Südwand empfohlen, die Neigung der Teilböschungen im Endzustand auf 60° zu verringern, so dass auch hier die Standsicherheiten für den ständigen Bemessungsfall rechnerisch gegeben sind.

Sofern sich aus planerischen Gründen grundlegende Änderungen ergeben, sind die vorgelegten Standsicherheitsnachweise zu überprüfen und ggf. zu ergänzen.

Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass in Anbetracht der speziellen geologischen Verhältnisse (Störungen, Spezialfaltungen der Gesteinschichten etc.) lokal abweichende Raumstellungen des Trennflächengefüges auftreten können, durch die die Standsicherheit einer Abbauböschung beeinträchtigt wird. Es wird daher empfohlen, den geplanten Gesteinsabbau bei Bedarf unter fachgutachterlicher Begleitung eines Geologen durchzuführen.

ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG


Dipl.-Ing. Roland Haarer


Dipl.-Geol. Dr. Jürgen Jungrichter

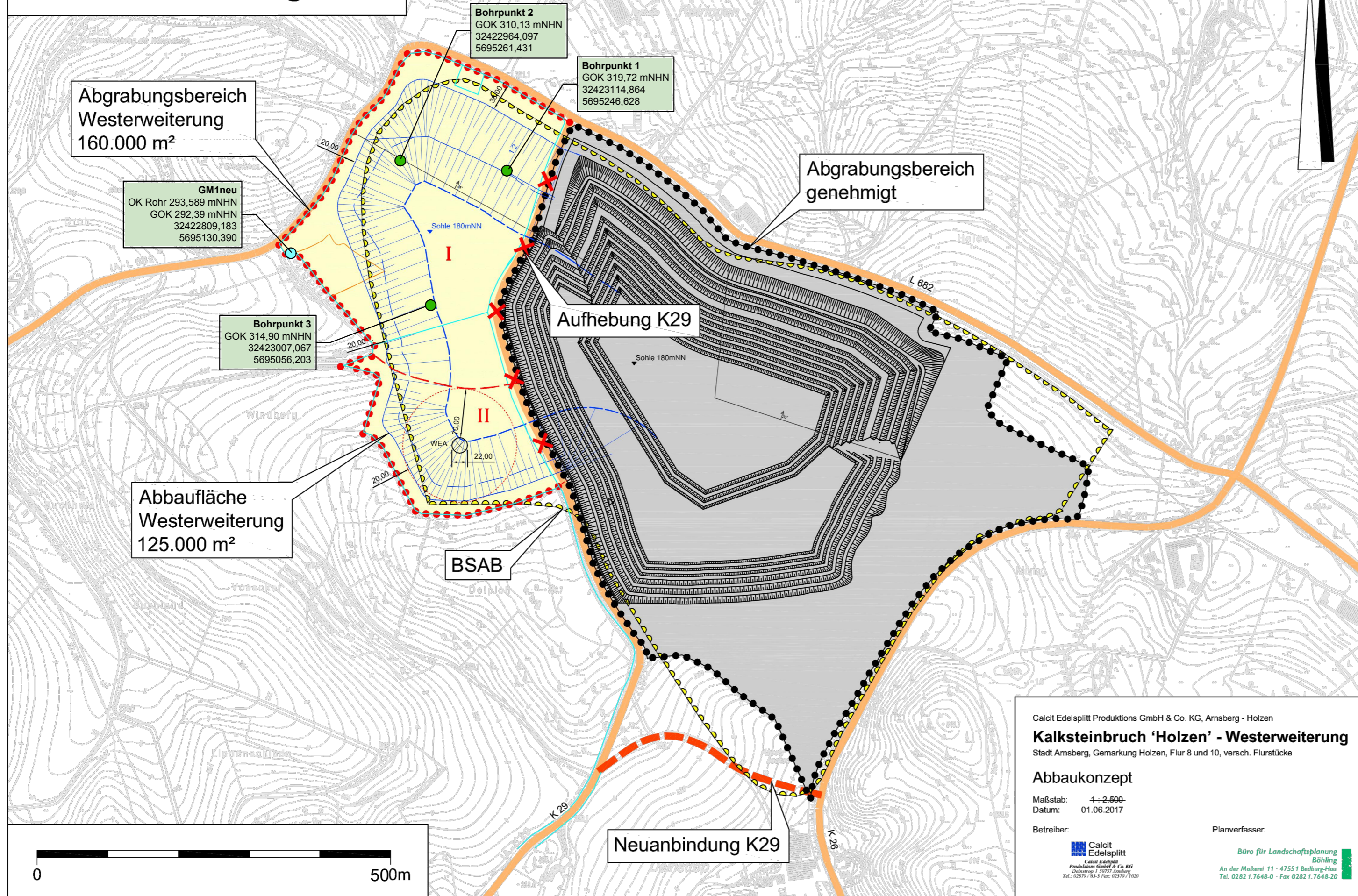
gez. Dr.-Ing. Philipp Siebert

Anlagen

Verteiler


M.Deppenkemper@lp-boehling.de

Kalksteinbruch 'Holzen' - Westerweiterung -



Zusätzliche Eintragungen

- - Bohrung
- - Grundwassermessstelle

ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG Ingenieur Consult Geotechnik <small>Beratende Ingenieure für Baugrund, Grundbau, Hydrogeologie und Altlasten, Baugrundlaboratorium</small>		
<small>Borbecker Straße 22, 40472 Düsseldorf Telefon 0211/47201-0, Telefax 0211/47201-33</small>		
Auftraggeber:	Calcit Edelsplitt Produktions GmbH & Co. KG, Arnsberg	Projekt-Nr.: 60923
Projekt:	Kalksteinbruch Holzen Westerweiterung	Auftrag-Nr.: 12787
Planinhalt:	Lageplan	Anlage-Nr.: 1
Plan-Nr.:	1 2 7 8 7 - B G R - L P - 0 1	Maßstab: ~1:5000 Datum: 15.08.2018 gez.: ru Bearb.: Haa/Ju Stand: -

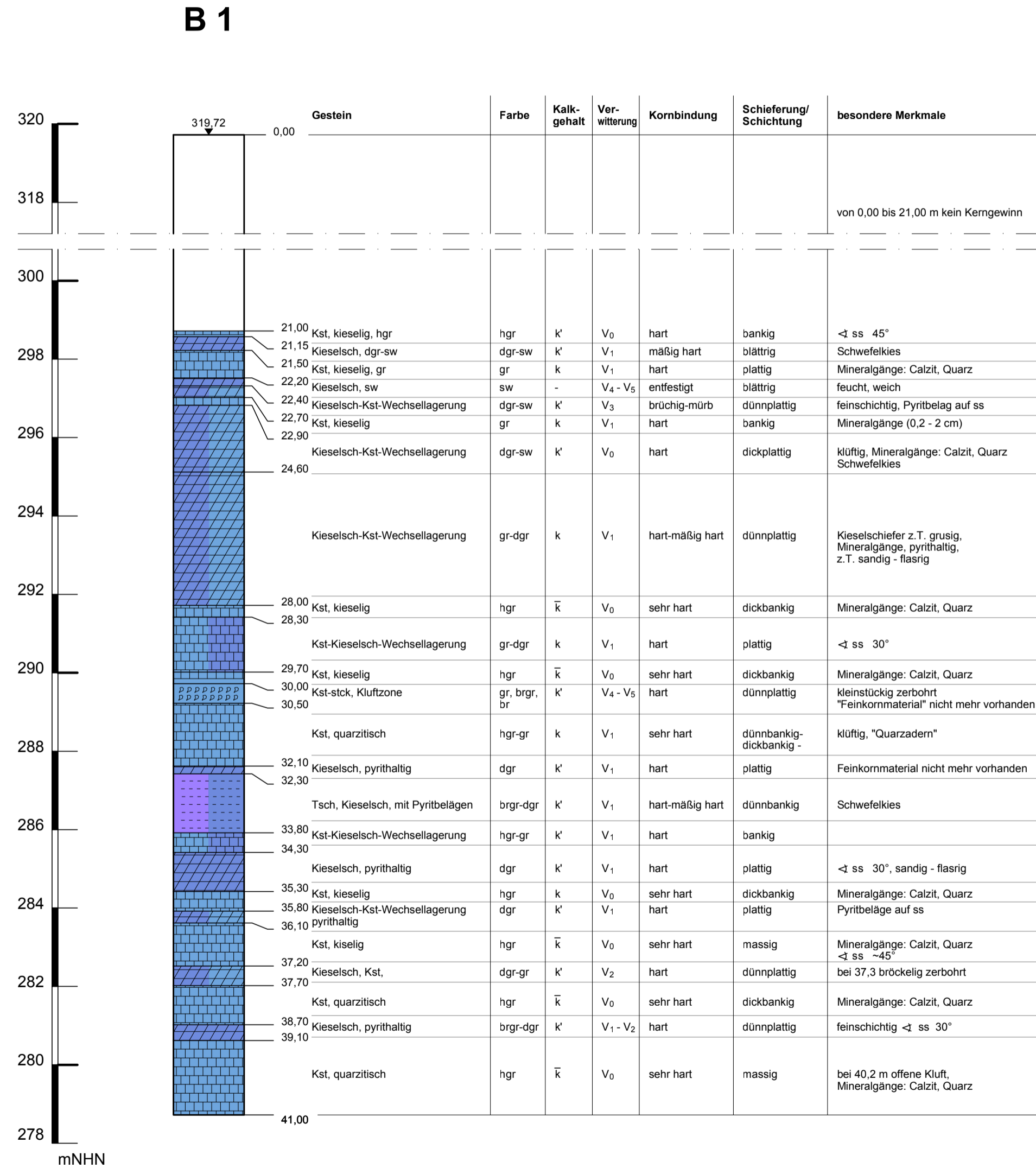
Calcit Edelsplitt Produktions GmbH & Co. KG, Arnsberg - Holzen
Kalksteinbruch 'Holzen' - Westerweiterung
 Stadt Arnsberg, Gemarkung Holzen, Flur 8 und 10, versch. Flurstücke

Abbaukonzept
 Maßstab: 1:2.500
 Datum: 01.06.2017
 Betreiber: Calcit Edelsplitt Produktions GmbH & Co. KG
 Planverfasser: Büro für Landschaftsplanung Böhlhoff

An der Moßerei 11 · 47551 Bedburg-Hau
 Tel. 0282 1.7648-0 · Fax 0282 1.7648-20

P:\12787-Arnsberg-Kalksteinbruch-Holzen-Westerweiterung-60923\CAD\Bearing\12787-BGR-LP-01.dwg

Kernbohrung B 1 21,00 - 41,00 m



Zeichenerklärung

Kieselsch		Kieselschiefer
Kst-stck		Kalksteinstücke
Kst		Kalkstein
Tsch		Tonschiefer

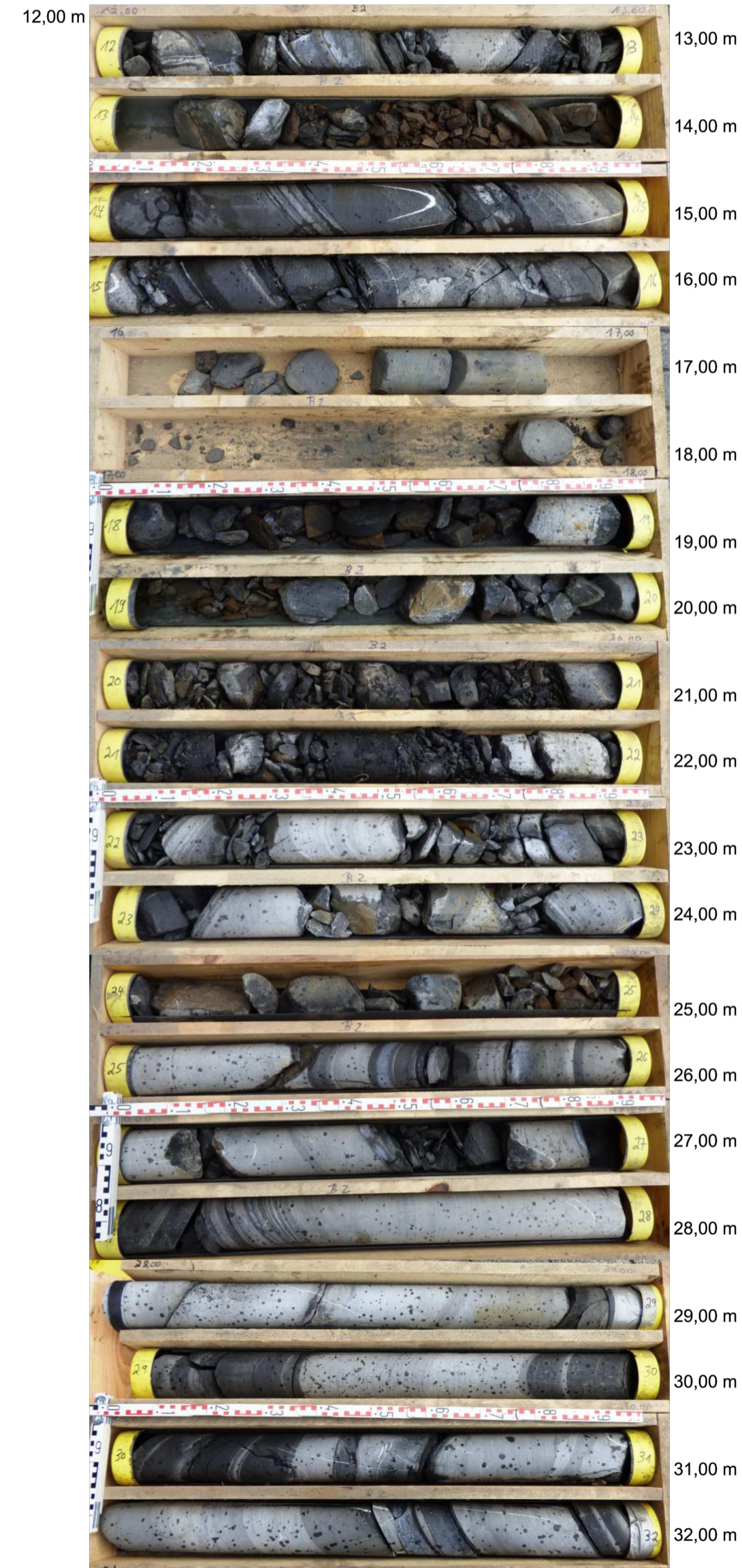
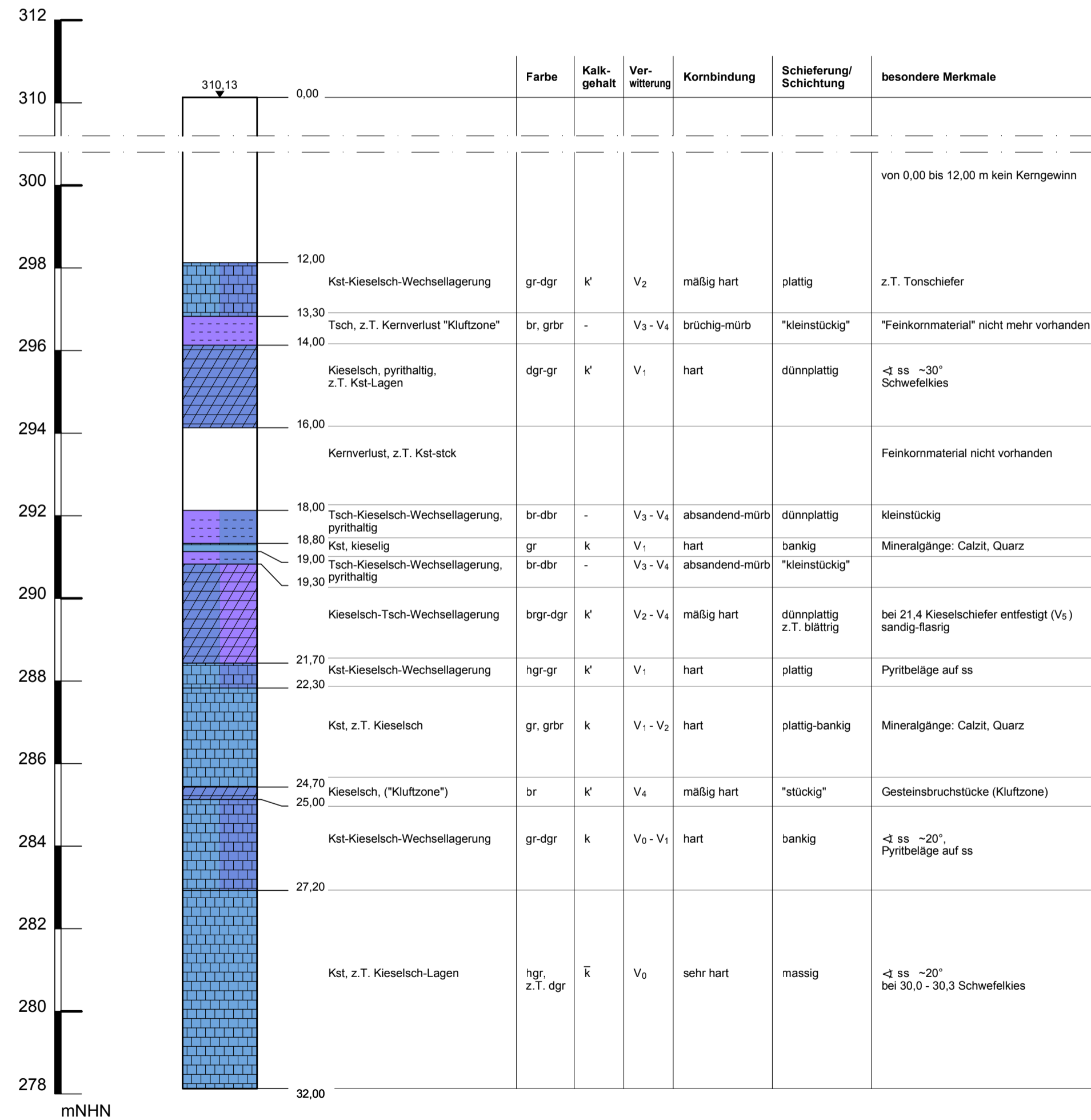
Gesteinsverwitterungsgrade

- V₀ = unverwittert, frisch
- V₁ = angewittert, schwach verwittert
- V₂ = mäßig verwittert
- V₃ = verwittert, mäßig entfestigt
- V₄ = sehr stark verwittert, stark entfestigt
- V₅ = zersetzt

ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG Ingenieur Consult Geotechnik		
Beratende Ingenieure für Baugrund, Grundbau, Borbecker Straße 22, 40472 Düsseldorf Hydrogeologie und Altlasten, Baugrundlaboratorium Telefon 0211/47201-0, Telefax 0211/47201-33		
Auftraggeber: Calcit Edelsplitt Produktions GmbH & Co. KG, Arnsberg	Projekt-Nr.: 60923	
Projekt: Kalksteinbruch Holzen Westerweiterung	Auftrag-Nr.: 12787	Anlage-Nr.: 2.1
	Planinhalt: Kernbohrung B 1	Maßstab: 1:100
	Datum: 21.06.2018	gez.: ru
	Bearb.: Haa/Ju	Stand: 27.06.2018
Plan-Nr.: 1 2 7 8 7 - B G R - B P - 0 1		

Kernbohrung B 2 12,00 - 32,00 m

B 2



Zeichenerklärung

- Kieselsch Kieselschiefer
- Kst Kalkstein
- Tsch Tonschiefer

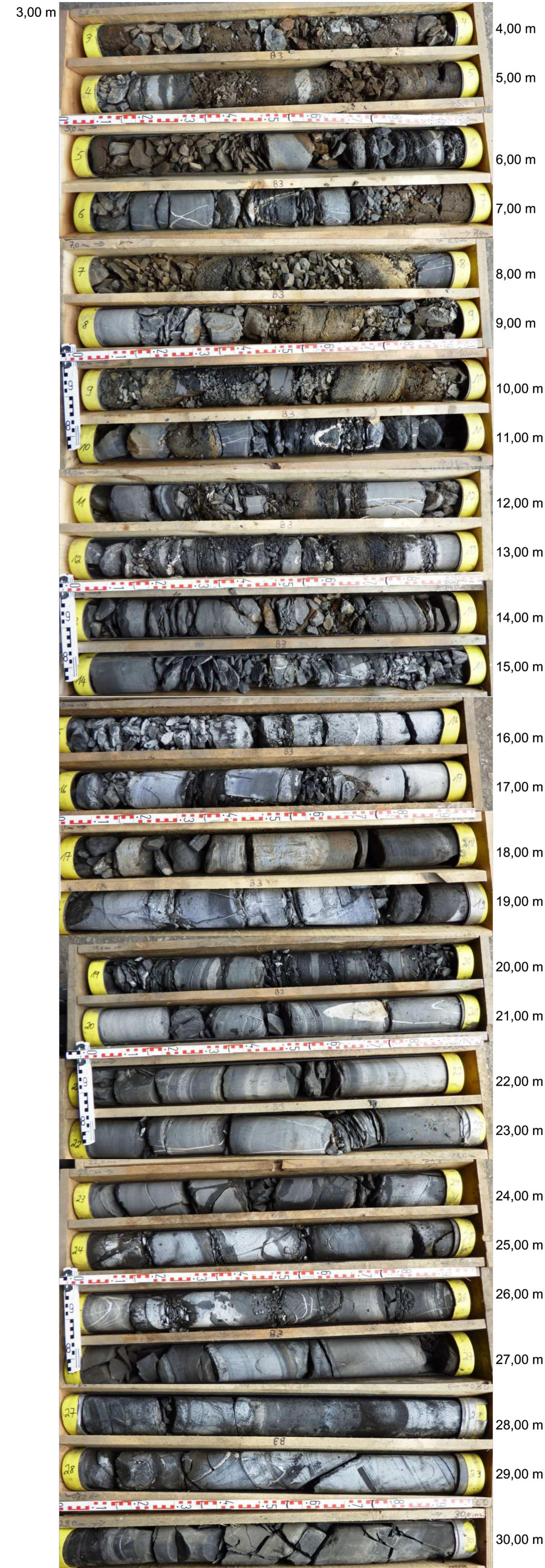
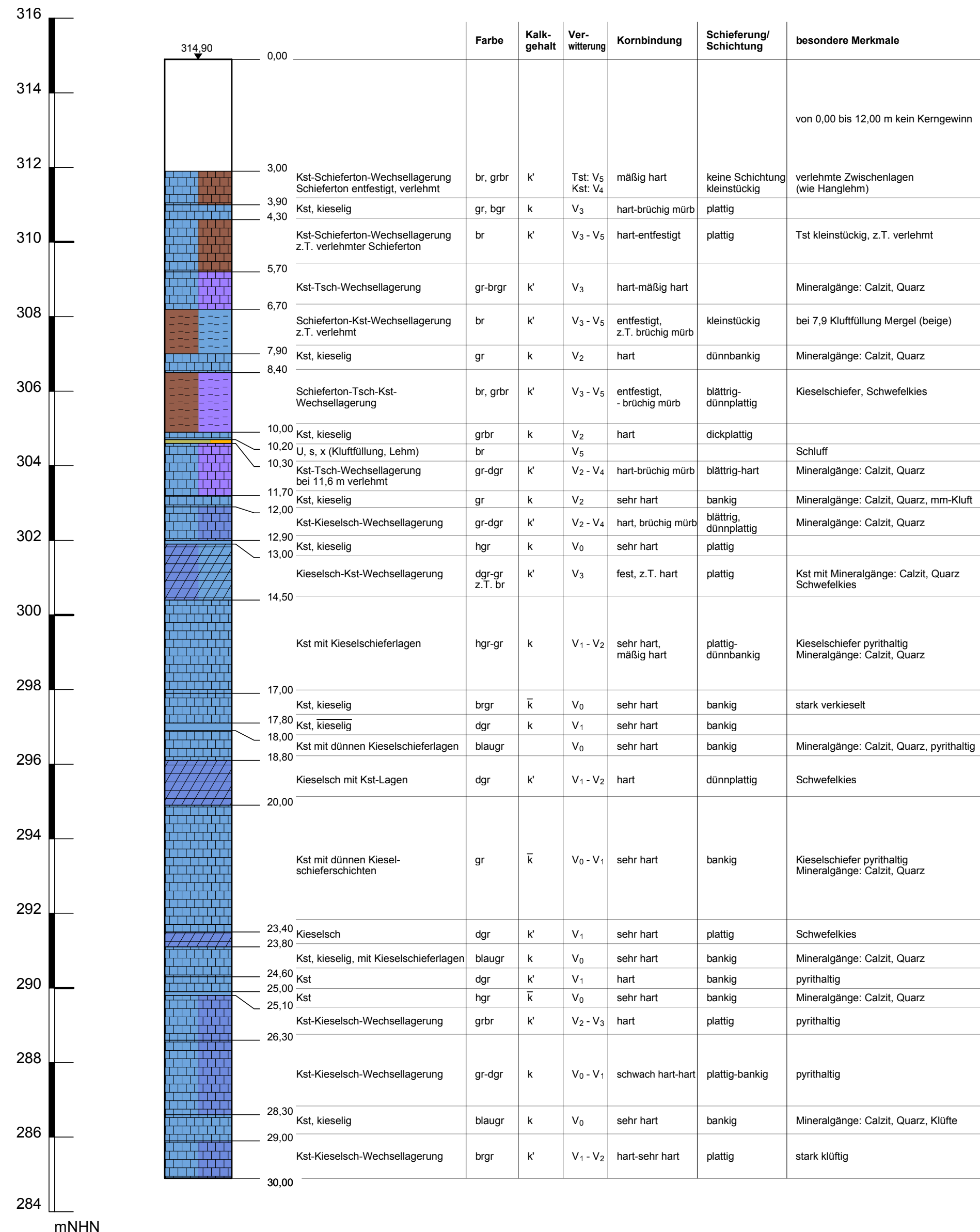
Gesteinsverwitterungsgrade

- V₀ = unverwittert, frisch
- V₁ = angewittert, schwach verwittert
- V₂ = mäßig verwittert
- V₃ = verwittert, mäßig entfestigt
- V₄ = sehr stark verwittert, stark entfestigt
- V₅ = zersetzt

ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG Ingenieur Consult Geotechnik <small>Beratende Ingenieure für Baugrund, Grundbau, Hydrogeologie und Altlasten, Baugrundlaboratorium</small>		
<small>Borbecker Straße 22, 40472 Düsseldorf Telefon 0211/47201-0, Telefax 0211/47201-33</small>		
Auftraggeber:	Calcit Edelsplitt Produktions GmbH & Co. KG, Arnsberg	Projekt-Nr.: 60923
Projekt:	Kalksteinbruch Holzen Westerweiterung	Auftrag-Nr.: 12787
Planinhalt:	Kernbohrung B 2	Anlage-Nr.: 2.2
Maßstab:	1:100	Datum: 22.06.2018
Bearb.:	Haa/Ju	gez.: ru
Plan-Nr.:	1 2 7 8 7 - B G R - B P - 0 2	Stand: 27.06.2018

Kernbohrung B 3 3,00 - 30,00 m

B 3



Zeichenerklärung

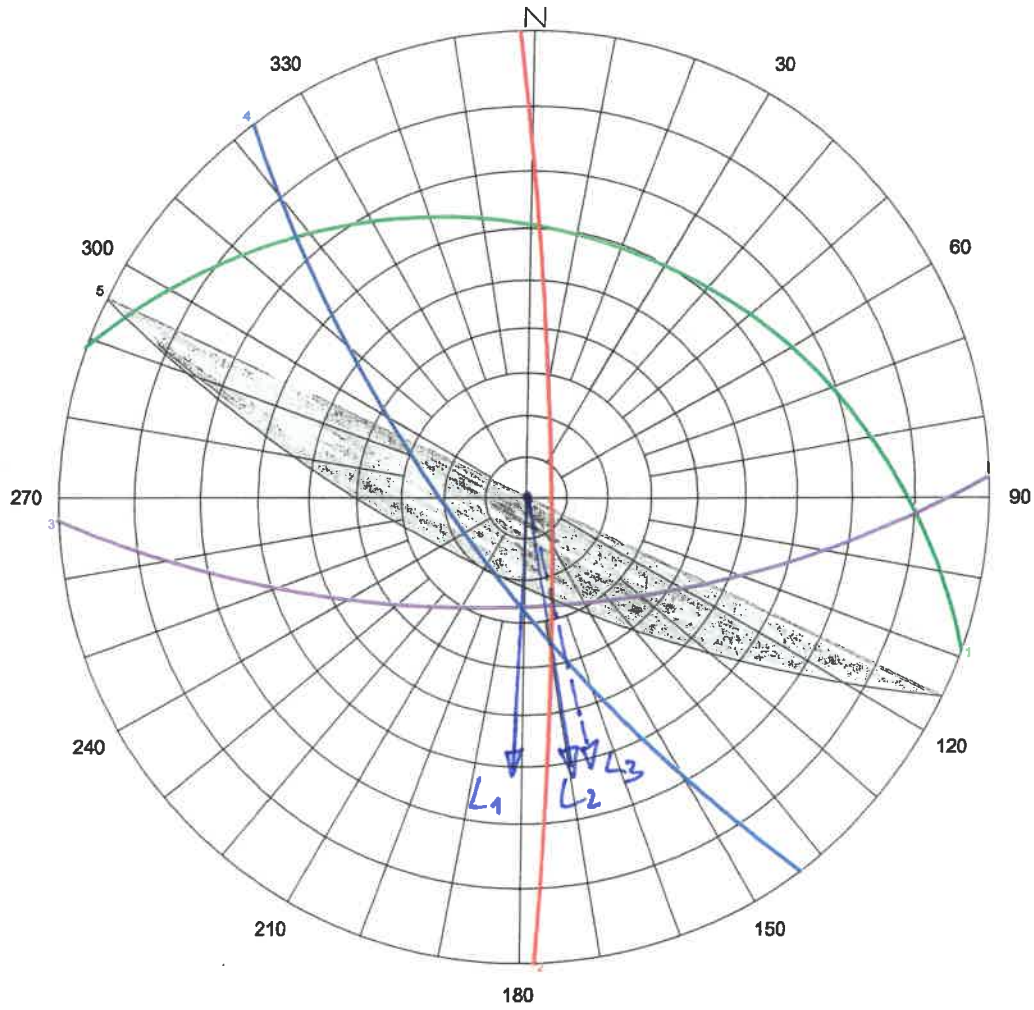
U		Schluff
Schieferung		Schieferung
Kieselsch		Kieselschiefer
Kst		Kalkstein
Tsch		Tonschiefer
s		sandig
x		steinig

Gesteinsverwitterungsgrade

- V₀ = unverwittert, frisch
- V₁ = angewittert, schwach verwittert
- V₂ = mäßig verwittert
- V₃ = verwittert, mäßig entfestigt
- V₄ = sehr stark verwittert, stark entfestigt
- V₅ = zersetzt

ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG Ingenieur Consult Geotechnik <small>Beratende Ingenieure für Baugrund, Grundbau, Borbecker Straße 22, 40472 Düsseldorf Hydrogeologie und Alltasten, Baugrundlaboratorium Telefon 0211/47201-0, Telefax 0211/47201-33</small>		
Auftraggeber:	Calcit Edelsplitt Produktions GmbH & Co. KG, Arnsberg	Projekt-Nr.: 60923
Projekt:	Kalksteinbruch Holzen Westerweiterung	Auftrag-Nr.: 12787
Planinhalt:	Kernbohrung B 3	Anlage-Nr.: 2.3
Plan-Nr.:	1 2 7 8 7 - B G R - B P - 0 3	Maßstab: 1:100 Datum: 26.06.2018 gez.: nu Bearb.: Haa/Ju Stand: 27.06.2018

Grosskreisdiagramm der Datei: Steinbruch Holzen W1

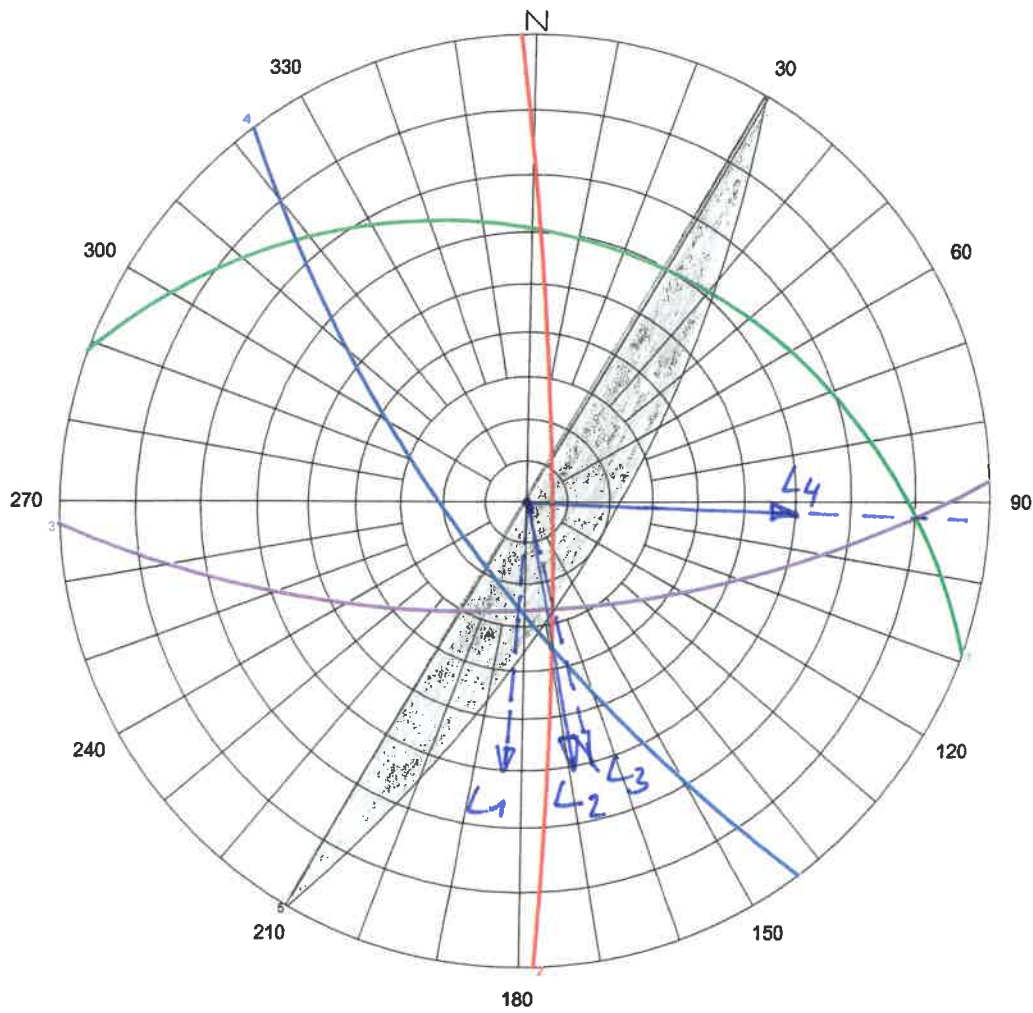


Flächen		
Nr	Azi	FW
1	19	31 ss - Schichtung
2	88	84 kk2 - Querkl.
3	177	64 kk1 - Laengskl.
4	233	73 kk3 - Diagonalkl
5	205	70 Boeschung

Lineare		
Nr	Azi	FW

Datei Steinbruch Holzen W1
 Geometrie:

Grosskreisdiagramm der Datei: Steinbruch Holzen W2

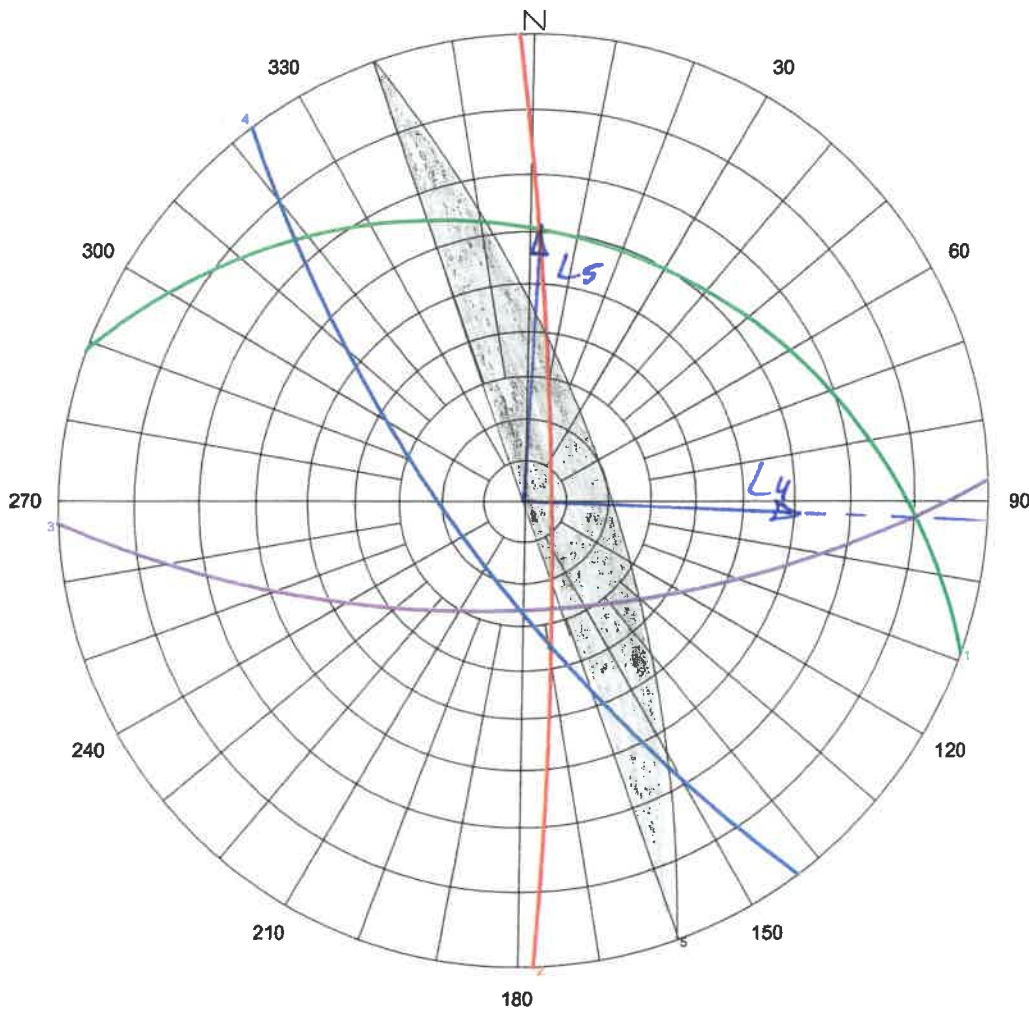


Flächen		
Nr	Azi	FW
1	19	31 ss - Schichtung
2	88	84 kk2 - Querkl.
3	177	64 kk1 - Laengskl.
4	233	73 kk3 - Diagonalkl
5	120	70 Boeschung

Lineare		
Nr	Azi	FW

Datei Steinbruch Holzen W2
 Geometrie:

Grosskreisdiagramm der Datei: Steinbruch Holzen W3

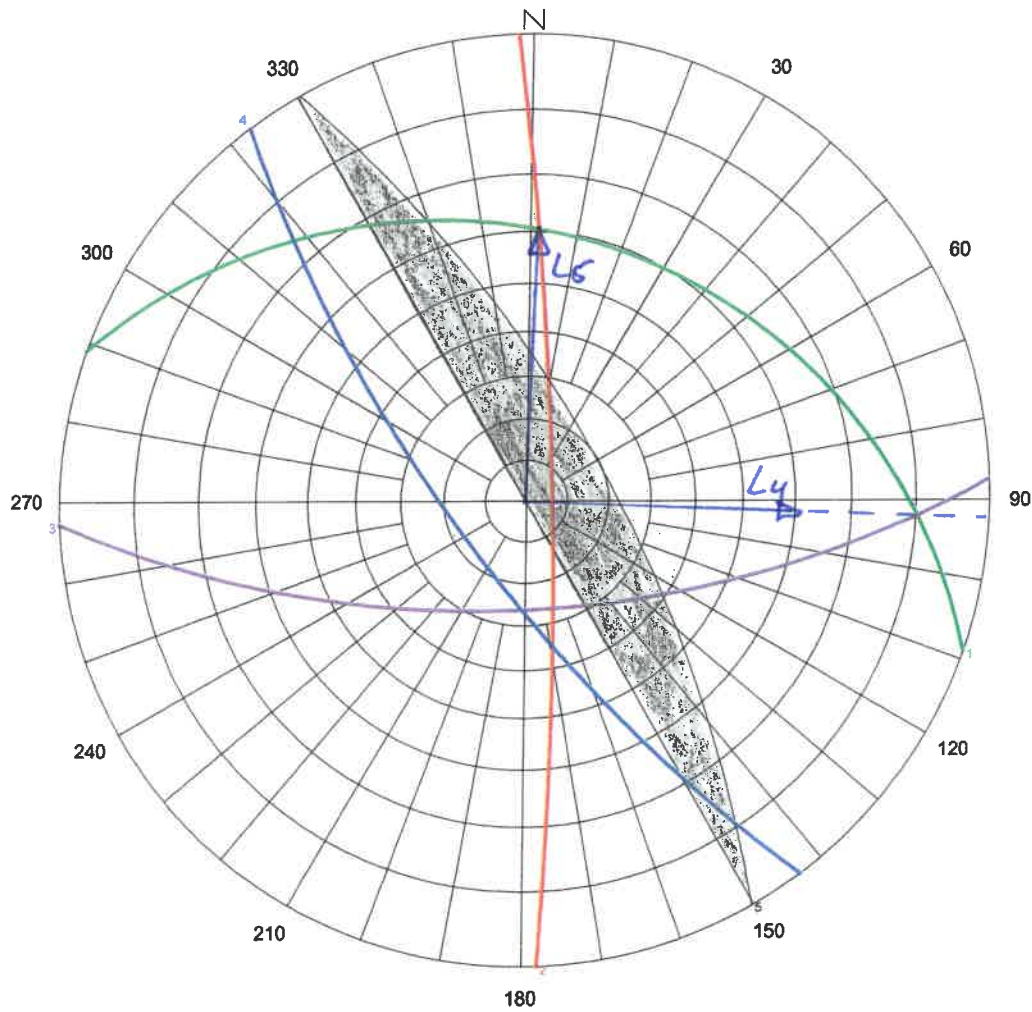


Flächen		
Nr	Azi	FW
1	19	31 ss - Schichtung
2	88	84 kk2 - Querkl.
3	177	64 kk1 - Laengskl.
4	233	73 kk3 - Diagonalkl
5	70	70 Boeschung

Lineare		
Nr	Azi	FW

Datei Steinbruch Holzen W3
 Geometrie:

Grosskreisdiagramm der Datei: Steinbruch Holzen W4

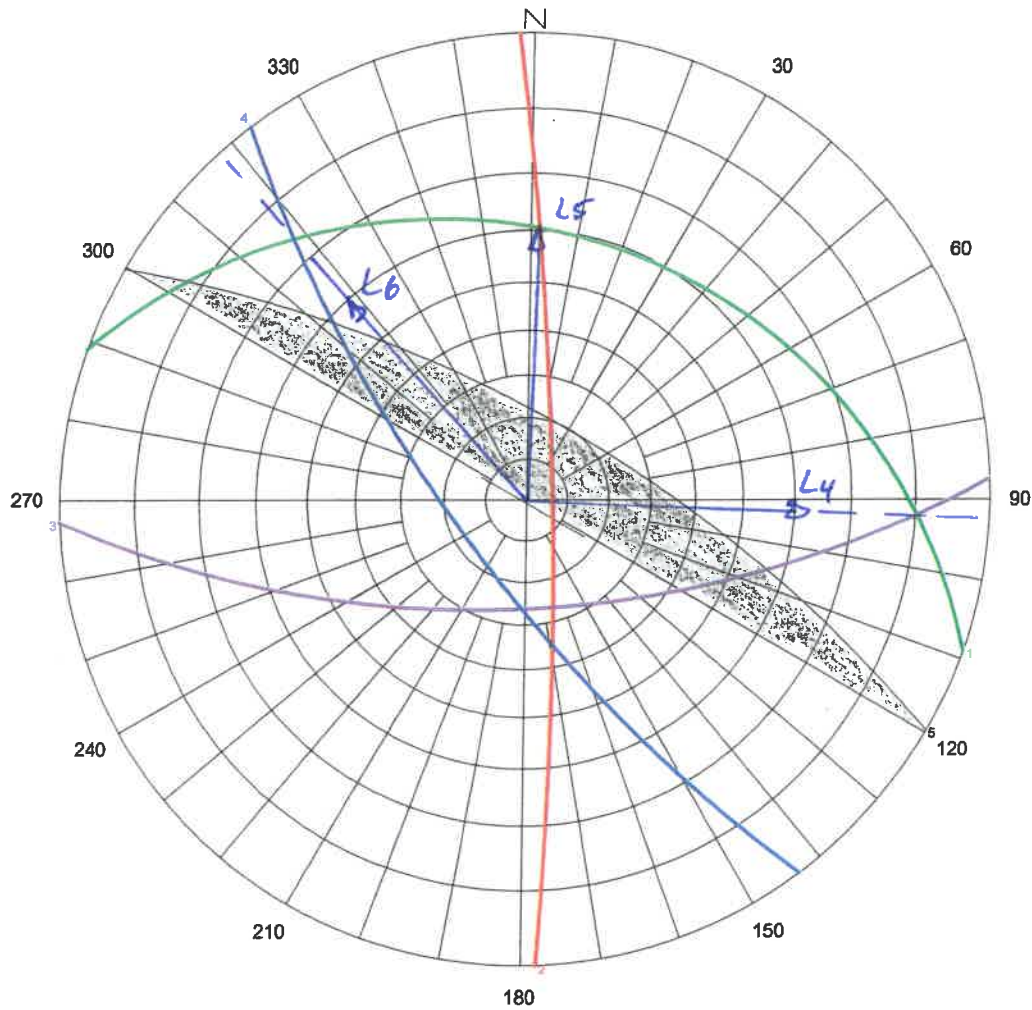


Flächen		
Nr	Azi	FW
1	19	31 ss - Schichtung
2	88	84 kk2 - Querkl.
3	177	64 kk1 - Laengskl.
4	233	73 kk3 - Diagonalkl
5	60	70 Boeschung

Lineare		
Nr	Azi	FW

Datei Steinbruch Holzen W4
 Geometrie:

Grosskreisdiagramm der Datei: Steinbruch Holzen W5



Flächen		
Nr	Azi	FW
1	19	31 ss - Schichtung
2	86	84 kk2 - Querkl.
3	177	64 kk1 - Laengskl.
4	233	73 kk3 - Diagonalkl
5	30	70 Boeschung

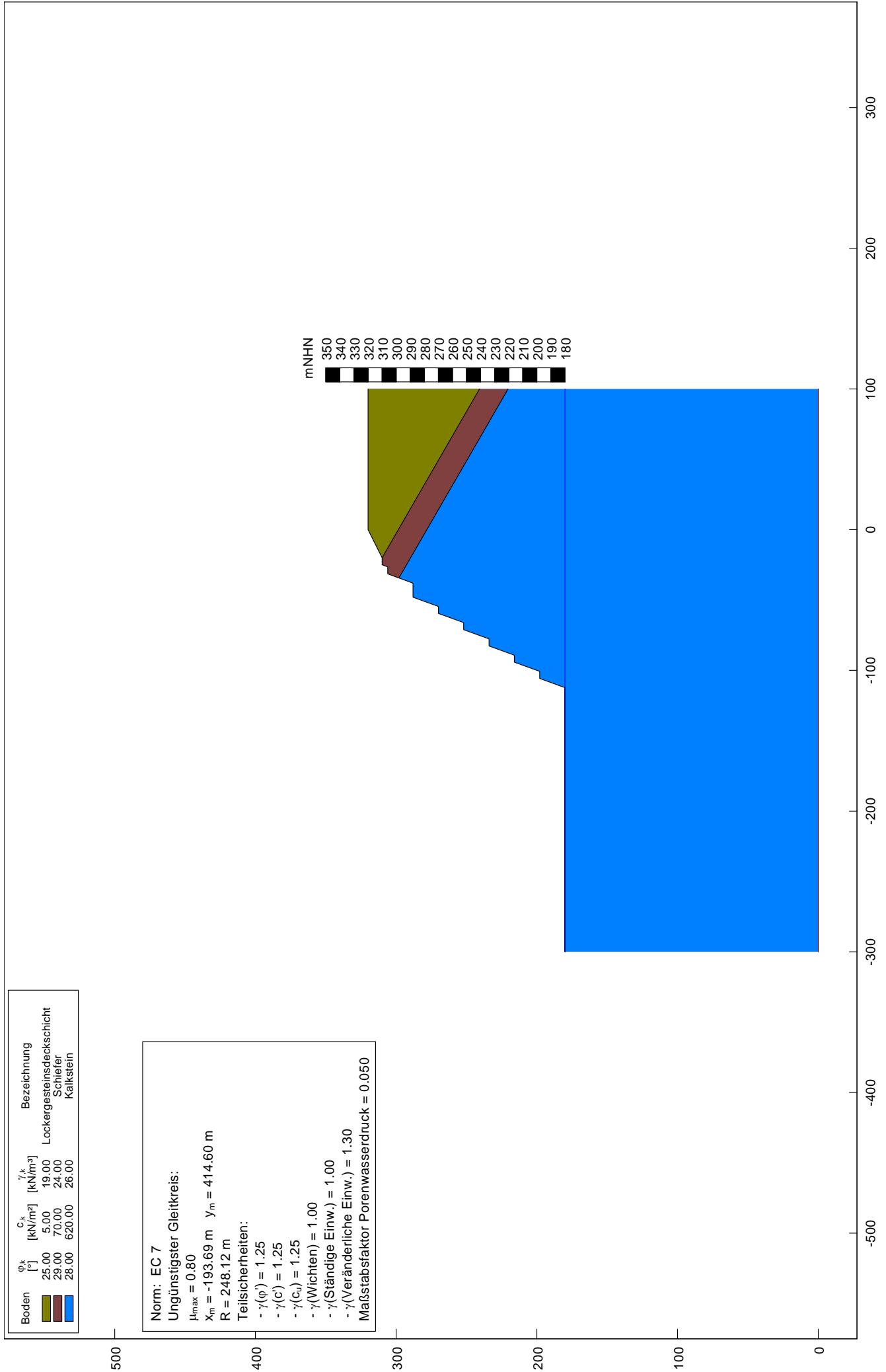
Lineare		
Nr	Azi	FW

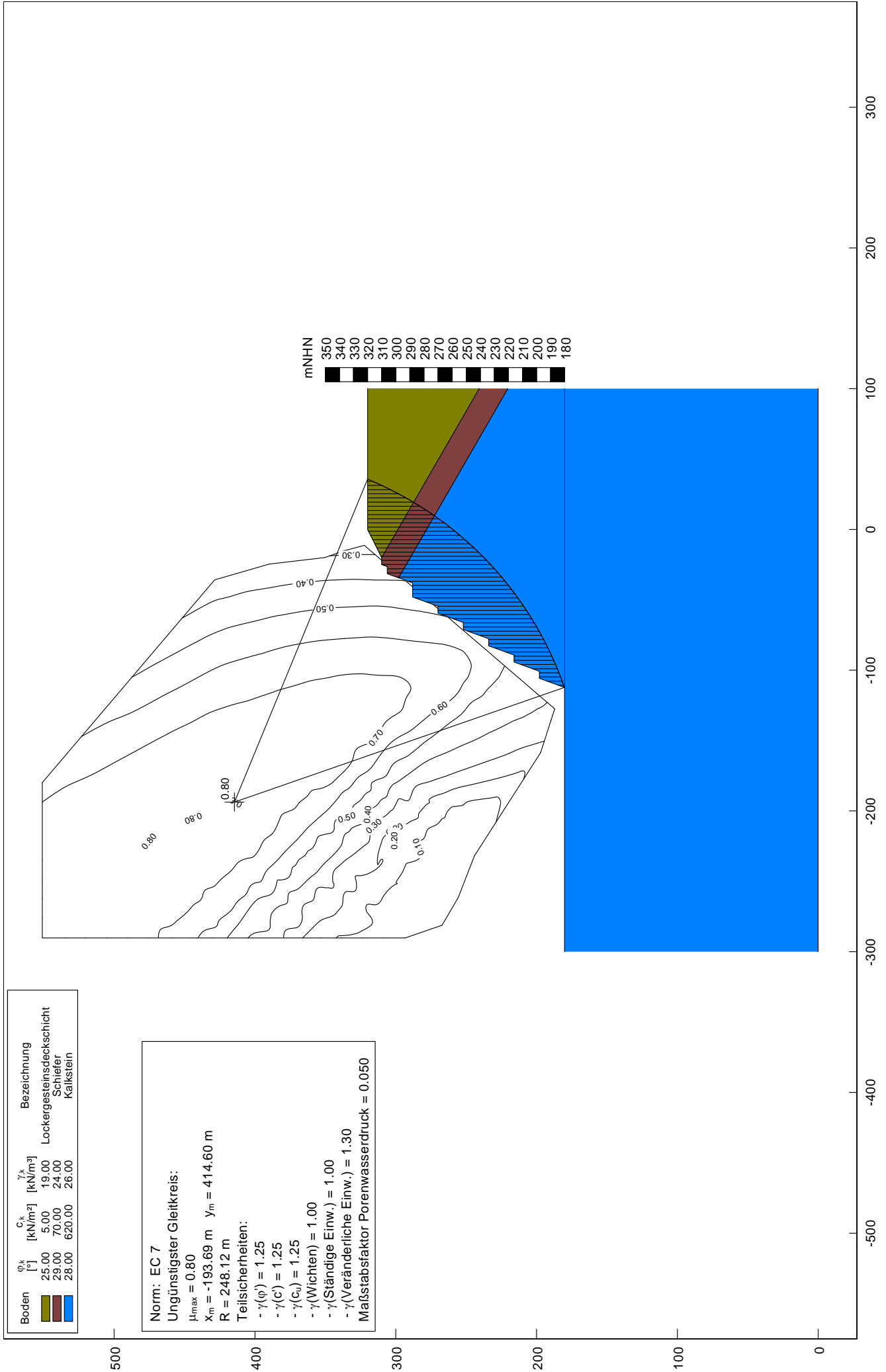
Datei Steinbruch Holzen W5
 Geometrie:

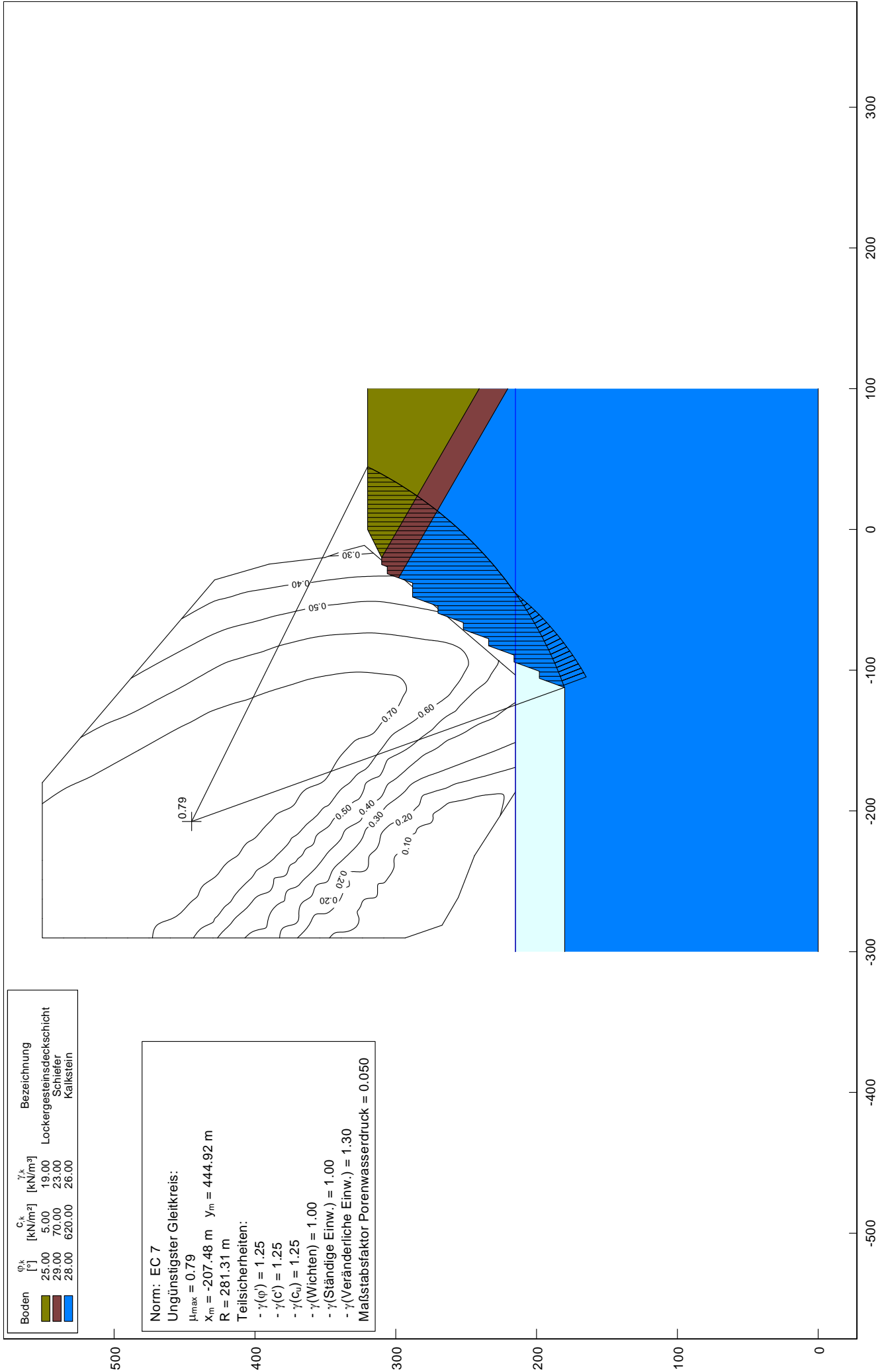


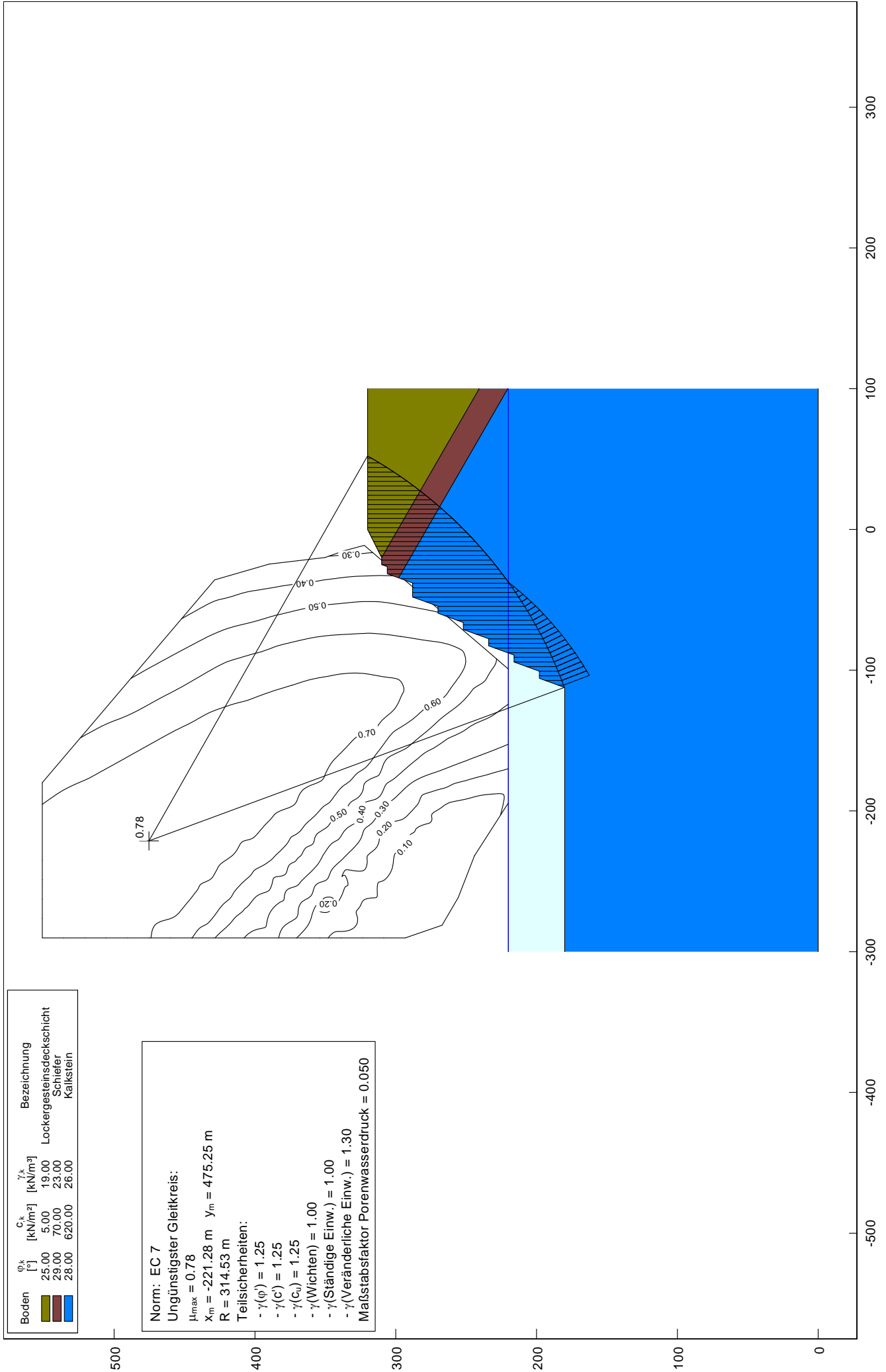
Projekt-Nr.: 60923
 Auftrag-Nr.: 12787
 Projekt: Kalksteinbruch Holzen, Westerweiterung

Wand W1 - Nordwand
 GW = 180 mNHN











Projekt-Nr.: 60923
Auftrag-Nr.: 12787
Projekt: Kalksteinbruch Holzen, Westererweiterung

Wand W3 - Westwand
GW = 180 mNHN

