

**Fels-/Hangsicherungsmaßnahme
„Sonnborner Str.“ (T.016075808)
Str 2525 Neuss – Schwelm-Linderhausen,
Bahn-km 34,215 – Bahn-km 34,240
Vereinfachte Baugrunduntersuchung – Bericht**

31 Seiten, 2 Anlagen, 4 Abbildungen, 4 Tabellen

Auftraggeber: DB InfraGO AG
Konstruktiver Ingenieurbau
Fachplanung, I.NI-W-T 5
Königstr. 57
47051 Duisburg

Berichtersteller: Sakosta GmbH
Liststr. 50
40470 Düsseldorf
Tel.: 0211 171831-0
Fax: 0211 171831-10

Projektleitung: Dipl.-Geol. B. Schulz

Projektnummer: 23DU00183-1

Düsseldorf, 26. April 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	4
2	Verwendete Unterlagen	5
3	Projektgebiet	5
3.1	Geographischer Überblick, örtliche Verhältnisse	5
3.2	Schadensereignis(se)	9
4	Untergrundverhältnisse	9
4.1	Geologischer Überblick	9
4.2	Strukturgeologischer Überblick	10
4.3	Erdbebengefährdung	11
5	Bestandsaufnahme Februar/März 2024	13
5.1	Allgemeines	13
5.2	Örtliche geotechnische Verhältnisse	14
5.3	Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins	20
5.4	Grund- und Sickerwasser	20
6	Geotechnische Beurteilung	20
6.1	Bohrbarkeit	20
6.2	Kennwerte des Gesteins und des Gebirges	21
6.3	Homogenbereiche	22
6.4	Ergänzende Angaben zu den Einwirkungen aus Erdbeben	23
7	Risikoeinstufung	23
8	Empfehlungen zu Sicherungsmaßnahmen	24
9	Hinweise zur weiteren Planung	26
10	Hinweise zur Bauausführung	26
11	Leitungen/Kabelanlagen, Bauhindernisse; Kampfmittel	27
12	Zusammenfassung, abschließende Bemerkungen	28
13	Literatur- und Quellenverzeichnis	30

Anlagen

- Anlage 1 Lageplan des Untersuchungsbereiches 1 : 250 (1 Plan)
Anlage 2 Photodokumentation (11 Seiten)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage des Projektgebietes o. M. [8], ergänzt	6
Abbildung 2	Örtliche Verhältnisse im bahneigenen Grundstücksbereich (ohne Datum) [5].....	7
Abbildung 3	Polpunktdarstellung der eingemessenen Trennflächen	16
Abbildung 4	Mittlere Raumlage des (mechanisch wirksamen) Trennflächeninventars und der generellen Hangneigung	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Zusammenfassende Darstellung des Trennflächeninventars	15
Tabelle 2	Bodenmechanische Kennwerte Fels- und Hangschutt, locker gelagert	21
Tabelle 3	Felsmechanische Kennwerte Gestein/Gebirge (frische bis zumeist verfärbte, lokal zerfallene Ton-/Siltschiefer, [Mittel]sandsteine).....	22
Tabelle 4	Gem. DIN 18301 für die Homogenbereiche anzugebende Kenngrößen	23

1 **Veranlassung**

Am 03.03.2023 kam es zu einem Abgang von etwa 1 m³ bis 2 m³ Fels aus der S' Böschung des W' Widerlagers der Brücke, mit der in Wuppertal-Elberfeld die Strecken 2525 und 2550 über das Tal der Wupper geführt werden.

Vor dem Hintergrund des Risikos weiterer Steinschläge auf die am Böschungsfuß situierte Hofffläche respektive den öffentlichen Straßenraum wurde die Sakosta GmbH, Düsseldorf (kurz: Sakosta) auf Grundlage des Rahmenvertrages für Leistungen der Geotechnik für die Region West Nr. 1000/EBO/92301788 mit Einzelvertrag Nr. A217165 vom 18.10.2023 [1] bzw. mit Bestellung Nr. 0016/UAV/42272210 vom 27.10.2023 von der DB Netz AG, Regionalbereich West, vertreten durch die Fachplanung Konstruktiver Ingenieurbau (I.NI-W-T 5) in Duisburg (kurz: Auftraggeberin) mit der Ausarbeitung eines Bodengutachtens (hier i. S. einer vereinfachten Baugrunduntersuchung ¹⁾) für die geplante Fels- und Hangsicherungsmaßnahme „Sonnborner Str.“ beauftragt. Der Untersuchungsbereich umfasst den N' der Verschneidung der Grundstücksgrenze des bahneigenen Grundstücks mit dem Böschungsfuß, vollständig auf bahneigenem Grundstück liegenden, Teil der Böschung (vgl. Anlage 1).

Nach einer Erstbegehung des Projektgebietes (22.11.2023) wurde der gegenständliche Böschungsbereich am 14.02.2024 und 19.03.2024 durch Mitarbeiter der Sakosta erneut begangen. Im Rahmen der Geländebegehung wurden i. W. Morphologie, Vegetation und vorhandene Hangsicherungsmaßnahmen in Augenschein genommen sowie für die Beschreibung der Untergrundverhältnisse Gestein, Trennflächen und Gebirge unter besonderer Berücksichtigung der maßgeblichen geotechnischen Aspekte inventarisiert. Der Bericht zur vereinfachten Baugrunduntersuchung dient u. A. als Grundlage für die weiterführenden Pla-

¹ Durch das Eisenbahnbundesamt (kurz: EBA) wurde die DIN 1054:2004-01 mit Ergänzung 2005-04 zum 01.06.2007 verbindlich eingeführt. Damit sind auch die Vorgaben der DIN 4020:2003-09 zu beachten. Nach DIN 4020, 4.1 müssen Aufbau und Beschaffenheit des Baugrundes sowie die Grundwasserverhältnisse hinreichend bekannt sein, um insbesondere die Standsicherheit/Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks sowie die Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Umgebung sicher beurteilen zu können. Hierzu sind projektbezogene geotechnische Untersuchungen durchzuführen. Im vorliegenden Anwendungsfall sind projektbezogene Erkundungsmaßnahmen nach DIN 4020 nicht oder nur bedingt möglich – in Anlehnung an entsprechende unternehmensinterne Genehmigungen (kurz: UiG) besteht die vereinfachte Baugrunduntersuchung daher aus einer Kartierung/Dokumentation des jeweiligen Geländeabschnittes sowie der Festlegung der möglichen Einwirkungen von Felssturzereignissen

Zwischenzeitlich wurde DIN 1054:2004-01 durch DIN 1054:2021-04 in Verbindung mit DIN EN 1997-1:2014-03 und DIN EN 1997-1/NA:2010-12 ersetzt, DIN 4020:2003-09 durch DIN 4020:2010-12 in Verbindung mit DIN EN 1997-2/2010-10 und DIN EN 1997-2/NA:2010-12. Die grundsätzlichen Aussagen der UiG bleiben hiervon unberührt

nung ² der Fels- und Hangsicherungsmaßnahmen. Neben einer Beschreibung der Untergrundverhältnisse, des mechanisch wirksamen Trennflächeninventars und der Kluftkörperform und –größe werden daher auch boden- und felsmechanische Kennwerte angegeben und Angaben zur Bohrbarkeit des Gesteins gemacht sowie Empfehlungen zur Sicherung des Böschungsbereiches ausgesprochen.

2 Verwendete Unterlagen

Als Grundlage für die Bearbeitung wurden seitens der Auftraggeberin folgende Unterlagen digital zur Verfügung gestellt:

- 1 das Projektgebiet umfassender Ivl-Lageplan, Februar 2011 [2]
- 1 Vermerk zu durchgeführten Beräumungsarbeiten, März 2023 [3]
- Leistungsanfrage, Oktober 2023 [4] mit Anlage (Lageskizze und 4 Photos der Örtlichkeit) [5].

Ergänzend wurden, da keine Vermessungsdaten vorlagen, projektgebietsbezogen kostenfrei erhältliche Daten des digitalen Geländemodells, 1 m-Gitterweite für Nordrhein-Westfalen (kurz: DGM 1) von einem Downloadportal für 3D-Stadtmodelle der DWi IT-Services [6] verwendet.

Daneben wurden allgemein zugängliche Unterlagen und Literatur sowie die einschlägigen Normen, Vorschriften und technischen Regelwerke in der zum Zeitpunkt der Berichterstellung gültigen Fassung herangezogen. Auf verwendete Unterlagen wird erforderlichenfalls im Einzelfall durch entsprechende Querverweise auf das Literatur- und Quellenverzeichnis verwiesen.

3 Projektgebiet

3.1 Geographischer Überblick, örtliche Verhältnisse

Geographischer Überblick

Naturräumlich befindet sich die Böschung im N´ Bergischen Land an der 2-gleisigen Strecke 2525 Neuss – Schwelm-Linderhausen, Streckenabschnitt Wuppertal-Sonnborn – Wuppertal-Zoo etwa zwischen Bahn-km 34,215 und Bahn-km 34,240. Unmittelbar N´ verläuft parallel

² Derzeit erfolgt die Grundlagenermittlung

die ebenfalls 2-gleisige Strecke 2550 Aachen – Kassel, Streckenabschnitt Wuppertal-Vohwinkel – Wuppertal-Elberfeld. Beide Strecken kreuzen hier das Tal der Wupper und werden mit einer Brücke über dieses hinweggeführt. Einen Überblick über die Lage des Projektgebietes gibt Abbildung 1.

Naturschutzfachlich betrachtet liegt das Projektgebiet außerhalb von international bedeutsamen Feuchtgebieten und außerhalb von Vogelschutz-, Flora-Fauna-Habitat-, Landschafts- und Naturschutzgebieten [7].

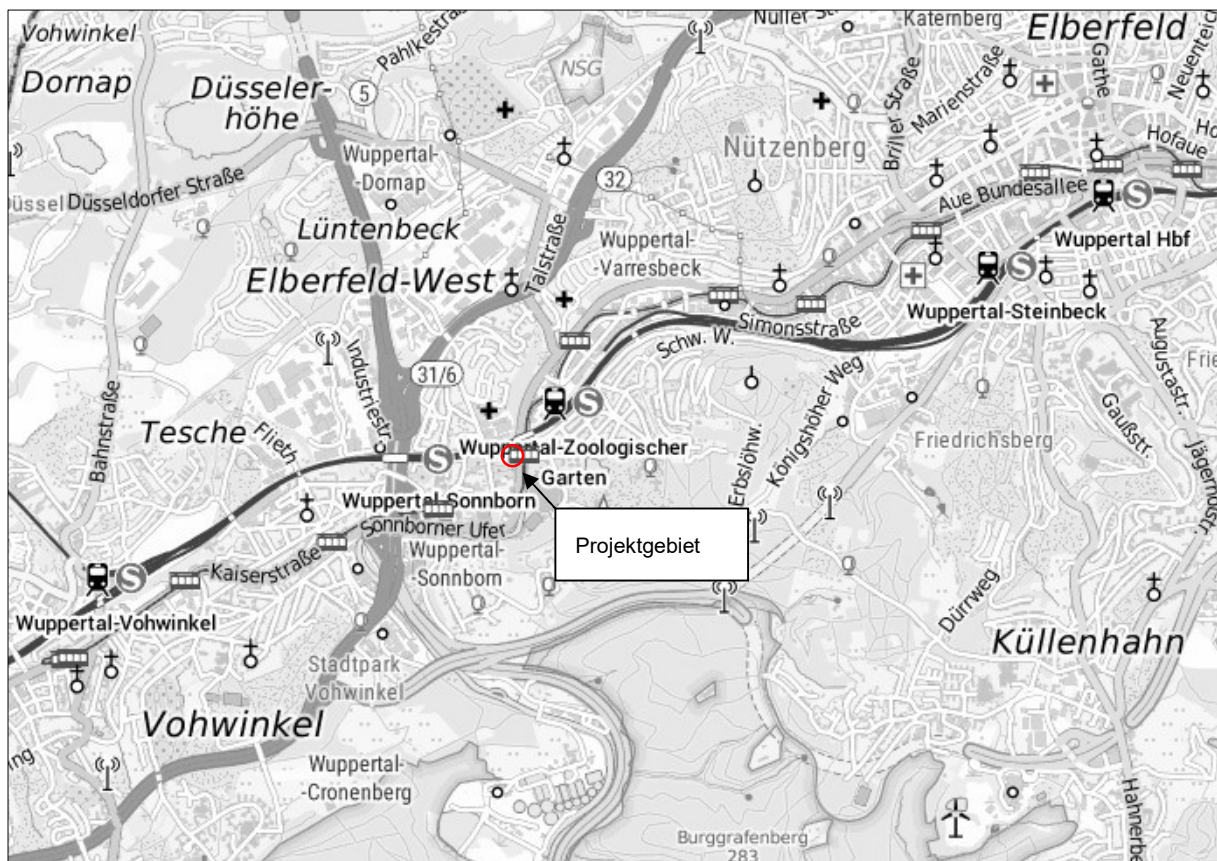


Abbildung 1 Lage des Projektgebietes o. M. [8], ergänzt

Örtliche Verhältnisse

Das Projektgebiet liegt in der Gemarkung Elberfeld, Flur 431 auf dem in Bahneigentum befindlichen Flurstück 91 unmittelbar S´ unterhalb der WSW-ENE verlaufenden Strecke 2525, welche hier das hier quasi N-S ausgerichtete Tal der Wupper mit einer EÜ spitzwinklig überbrückt. Zwischen Projektgebiet und Wupper verläuft die Bundesstraße B 228 Sonnborner Straße. Die S´ Nachbargrundstücke sind i. W. mit mehrgeschossigen Wohngebäuden be-

baut.

Der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass für das Projektgebiet keine festgesetzten, vorläufig gesicherten oder ermittelten Überschwemmungsgebiete ausgewiesen sind [7]. Auch bei extremen Hochwassersituationen („Jahrtausendhochwasser“, im Mittel seltener als alle 100 Jahre auftretend) ist nach den in [7] dargestellten Hochwassergefahren- bzw. –risikokarten keine Gefährdung der Hoffläche am Böschungsfuß durch Hochwässer der Wupper zu erwarten. Ausweislich der Angaben auf den Internetseiten der Bezirksregierung Düsseldorf [9] liegt das Projektgebiet außerhalb von Schutzzonen von Wassergewinnungsanlagen, nach [7] auch außerhalb von Heilquellenschutzgebieten.



Abbildung 2 Örtliche Verhältnisse im bahneigenen Grundstücksbereich (ohne Datum) [5]

Unter Berücksichtigung der Hangausrichtung und einer möglichen Gefährdung durch Stein- schlag wäre das S´ angrenzende Flurstück 91/3 (Flur 268), welches im Nahbereich des bahneigenen Grundstücks auch mit Garagen bebaut ist und dessen freie, asphaltierte Hof- fläche als Lagerfläche genutzt wird, in die planerischen Überlegungen mit einzubeziehen. Die Länge der Böschung an ihrem Fuß beträgt auf bahneigenem Grundstück – d.h. rechts der in Abbildung 2 blau markierten Grundstücksgrenze – rd. 13 m, unter Einbeziehung des Bereiches hinter den Garagen beträgt die Böschungslänge insgesamt rd. 25 m. Auf Basis

der aus dem DGM 1 [6] ermittelten Daten kann die Höhe der Böschung mit rd. 15 m bis 20 m angegeben werden.

Am Top der Böschung ist die Morphologie – bedingt durch die Lage des Gleiskörpers im Einschnitt – durch eine relativ markante, gleisparallele Geländerippe geprägt. Ausgehend von einem Höhenniveau von rd. 159 m ü. NHN³ ist der Hang unter Berücksichtigung der aus dem DGM1 [6] abgeleiteten Höhenlinien unterhalb der Geländerippe zunächst noch vgl.weise flach mit rd. 47° vom Gleiskörper weg in ESE´ Richtung (rd. 110°) geneigt. In den tiefer liegenden, steileren Lagen streicht die Böschung – entsprechend dem zentralen Böschungsbereich – dem Grunde nach etwa NNE-SSW (rd. 15°-195°) bzw. fällt generell mit rd. 70° in E´ Richtung (rd. 105°) ein. Im unmittelbaren Widerlagerbereich ist die Böschung etwa NE-SW ausgerichtet (rd. 40°-220°) und fällt generell mit 67° nach SE (rd. 130°), sinngemäß verschwenkt der Böschungsverlauf auf dem S´ Nachbargrundstück bei einer generellen Böschungsneigung von rd. 63°.

Im Übergang von der Geländerippe zu den Steillagen beträgt die lokale Hangneigung im zentralen Böschungsbereich rd. 56° nach ESE (rd. 105°), im N´ Böschungsbereich rd. 46° nach ESE (rd. 105°). In den Steillagen betragen variieren die lokalen Hangneigungen in einer Größenordnung von rd. 67° bis rd. 73° (zentraler Böschungsbereich), rd. 63° bis rd. 72° (Widerlagerbereich) und rd. 47° bis rd. 70° (S´ Nachbargrundstück). Nähere Angaben zur lokalen Hangneigung können dem Lageplan in Anlage 1 entnommen werden.

Im bahneigenen Grundstücksbereich ist der Böschungsfuß weitgehend mit einer Stützmauer gesichert. Im zentralen Böschungsbereich ist diese rd. 2,2 m bis 2,5 m hoch, im N´ Böschungsbereich wird die Stützmauer bis zur Geländeoberkante verzogen. Abgesehen vom N´ Böschungsbereich wäre am Böschungsfuß ob des Abstandes zum Bürgersteig von rd. 4,5 m bis 7 m ein vgl.weise breiter Auffangraum für Gesteinskörper vorhanden; allerdings verläuft die Grenze zum Flurstück 93/1 diagonal durch diesen Bereich (vgl. Anlage 1). Hinter den Garagen auf Flurstück 93/1 ist quasi kein Auffangraum vorhanden.

Abgesehen von den mit Bäumen bewachsenen Partien in den flacheren Bereichen am Top der Böschung und den mit Buschwerk/bodendeckendem Gestrüpp bewachsenen Partien bevorzugt oberhalb der Stützmauer ist dem Grunde nach mehr oder weniger im gesamten Projektgebiet Fels aufgeschlossen. Der Hang ist daher in unterschiedlichem Maße mit Fels, Hangschutt und natürlicher Vegetation bedeckt, wobei Fels, Fels mit geringmächtiger Bodenbedeckung und Fels mit Gräsern und Fels mit Gestrüpp und Gräsern diese deutlich dominieren.

Einen Überblick über die örtlichen Verhältnisse/die gesamte Böschung gibt Abbildung 1 in

³ DHHN 2016 (m ü. NHN im DHHN 2016)

Anlage 2.

3.2 Schadensereignis(se)

Nach [3] kam es am 03.03.2023 zu einem Abgang von etwa 1 m³ bis 2 m³ Fels aus dem N' Böschungsbereich. Die Ausbruchstelle liegt etwa auf halber Höhe der Böschung, das abgängige Gestein kam auf Hofffläche zu liegen.

Als ad hoc-Maßnahme wurde zunächst zum Schutz vor weiterer Auflockerung durch Wurzel- druck die vorhandene Vegetation auf Stock gesetzt und im Anschluss die gesamte Böschung händisch beräumt. Dabei wurden ≤ 4 m³ Gestein, vorwiegend aus dem bereits aufgelocker- ten Schadensbereich, entfernt [3].

Während der Beräumungsarbeiten kam es am 16.03.2023 zum Nachfall weiterer Gesteins- körper mit Kantenlängen von 0,1 m * 0,2 m * 0,1 m (0,002 m³) auf die Hofffläche. Die Nach- brüche sollen wahrscheinlich auf Eisdruck durch auffrierendes Tropfwasser auf den Trenn- flächen zurückzuführen gewesen sein [3].

Nach [3] besteht die Gefahr weiterer Steinschläge.

4 Untergrundverhältnisse

4.1 Geologischer Überblick

Regionalgeologischer Überblick

Geologisch gesehen liegt das Projektgebiet am NW-Rand des rechtsrheinischen Teils des Rheinischen Schiefergebirges.

Generell tauch die paläozoischen Gesteinsschichten des Rheinischen Schiefergebirges nach NW ab, so dass im SE ältere Gesteine ausstreichen als im NW. Ausweislich der geologi- schen Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100.000, Blatt C 4706 Düsseldorf [10] stehen im Projektgebiet dem Grunde nach mitteldevonische Sedimentite in Form der Oberen Honsel- Schichten aus der Stufe des Givet an. Während diese in höheren Lagen reliktsch von Bach- und Flussablagerungen der Elster- bis Saale-Kaltzeit bedeckt werden, sind in Tallage ho- lozäne Ablagerungen der Wupper verbreitet.

Oberflächennaher Schichtenaufbau

Nach [10] i. V. m. der älteren geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25.000, Blatt 4708 Elberfeld [11] ist im Projektgebiet von folgendem, nicht durch Inlandseis der Saale- Kaltzeit vorbelastetem, oberflächennahen Aufbau des Untergrundes auszugehen:

- Holozän, Ablagerungen in Bach- und Flusstälern

Sandige, tonige Schluffe; kiesige, schluffige Sande und untergeordnet sandige Kiese, Steine sowie örtlich Torf [10] bzw. nach [11] Kies, Sand und Lehm; grau bis graubraun ⁴; variierende Mächtigkeit [10]. Meist frostempfindlich; variierende Zusammendrückbarkeit; sehr unterschiedlich durchlässig [10]

- Mittelpleistozän (Elster- bis Saale-Kaltzeit), Mittelterrasse

Kiesige Sande und steinige, schluffige, sandige Kiese [10] bzw. nach [11] Kies und mehr oder minder steiniger Lehm ⁵; gelb- bis graubraun und grau (Kiese) [10]. Meist dicht gelagert; mäßige bis gute Durchlässigkeit [10]

- Mitteldevon (Givet), Obere Honsel-Schichten

Kalkhaltige, schluffig-sandige Tonsteine mit kalkhaltigen, tonig-schluffigen Sandsteinen und – örtlich linsenförmig – vorkommenden Kalksteinen [10] bzw. kalkige Grauwackenschiefer als Hauptgestein und Grauwacken ⁶ mit Kalkbänken [11]; graublau (Tonsteine) oder grau (Sand- und Kalksteine) [10] bzw. graublau/graubraun verwitternd (Tonsteine) oder dunkelblaugrau (Grauwackenschiefer), dunkelblaugrauschwarz oder grau (Kalksteine) [11]; Mächtigkeit etwa 200 m [10]. Meist hoch belastbar, Kalksteine lokal verkarstet, Standfestigkeit abhängig vom Trennflächengefüge [10]; mäßige bis geringe, auf Störungen und in verkarsteten Kalksteinen z. T. hohe Durchlässigkeit [10].

Nähere Angaben kleinmaßstäblicher Natur zur generellen Schichtenfolge, stratigraphischen Einordnung, lateralen Ausdehnung, zu Mächtigkeiten, Lithologie und insbesondere zum oberflächennahen Schichtaufbau liegen nicht vor.

4.2 Strukturgeologischer Überblick

Das Rheinische Schiefergebirge hat seine primäre und wesentliche tektonische Prägung (Faltentektonik) durch die variszische Gebirgsbildung im Oberkarbon erhalten. Es haben sich weitgespannte Großsattel/-mulden gebildet, welche in sich durch kleinere und bereichsweise

⁴ In [11] bezeichnet mit „Aufschüttungen der Talböden“

⁵ In [11] bezeichnet mit „mittlere Terrasse der Wupper“

⁶ Untergruppe der Sandsteine: Meist dunkel-(grün-)graue Sandsteine mit einem Matrixanteil > 15 %, stark verfestigt. Grauwacken sind reich an Gesteinsbruchstücken bei wechselndem Quarz- und Feldspatgehalt in der meist fein- bis mittelkörnigen Sandfraktion, in der Regel schlecht sortiert und die Komponenten schlecht gerundet

kleinste Falten gegliedert sind [10]. Störungen, Klüfte, Spalten (ggf. mit Gangmineralen) und Schieferungsflächen durchsetzen die Gesteine und erhöhen die Wasserdurchlässigkeit, begünstigen die Zerlegung der Gesteine bei der Verwitterung und beeinträchtigen die Standsicherheit. Die variszische Deformation spiegelt sich im sog. variszischen General-Streichen der tektonischen Strukturen von NE-SW ($\pm 40^\circ$ - 220° bis 60° - 240° ; teils 70° - 250°) bis - nach [11] - ENE-WSW sowie in parallel oder spitzwinklig zum General-Streichen verlaufenden Überschiebungen. Die Faltenachsen tauchen im Blattgebiet von [10] in E' Richtung ab. Die Schieferung soll nach [11] parallel zum Schicht-Streichen verlaufen und stets – und zumeist steil – nach S einfallen. Die variszischen Gebirgsstrukturen unterliegen, nach langanhaltenden Verwitterungs- und Abtragungsprozessen, seit dem Ende der Kreide bzw. seit dem Alttertiär einer erneuten Hebung in Verbindung mit Bruchtektonik.

Das Projektgebiet liegt auf der NW-Flanke des Remscheider Sattels, einem weitgespannten Antiklinorium aus offenen, aufrechten Spezialfalten. I. A. fallen die Oberen Honsel-Schichten im Umfeld des Projektgebietes gleichsinnig relativ steil in N' Richtung ein – im Projektgebiet und seinem näheren Umfeld herrscht jedoch nach den Darstellungen in [11] in Folge Spezialfaltung eine relativ flache Lagerung (Raumlage der Schichtung $280^\circ - 298^\circ/30^\circ - 32^\circ$; i. M. $293^\circ/32^\circ$) vor. In Abhängigkeit der Lithologie sind die Gesteine des Remscheider Sattels unterschiedlich stark geschiefert [10]. Die NW-Flanke des Remscheider Sattels wird im Übergang zur Herzkammer Mulde durch die rd. 3,3 km N' des Projektgebietes an der Devonoberfläche ausstreichende Ennepe-Überschiebung (generelle Raumlage etwa $166^\circ/50^\circ$) zerschert [10]. Mit der Ennepe-Überschiebung verbunden sind nach [11] weitere Längsklüfte oder -verwerfungen, die in etwa NE-SW (56° - 236° bis 79° - 259° ; i. M. $\pm 69^\circ$ - 249°) streichen⁷. Daneben zersetzen zahlreiche, steil in NE' und SW' Richtungen einfallende, Klüfte/Verwerfungen quer zum Streichen der Falten (d.h. ESE-WNW bis SSE-NNW verlaufend) die Schichten [11] – aus [10], [11] kann im Umfeld des Projektgebietes ein Streichen der Querklüfte/-verwerfungen von 115° - 295° bis 158° - 338° , i. M. rd. 138° - 318° abgeleitet werden⁸.

4.3 Erdbebengefährdung

Für die Abschätzung der generellen Erdbebengefährdung werden die schematische Darstellung der Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (Bild NA.1), in welcher Erdbebenzonen 0, 1, 2 und 3 ausgewiesen sind, und die schematische Darstellung der geologischen Untergrundklassen in den Erdbebenzonen der Bundes-

⁷ Damit korrespondiert ein Einfallen der Klufflächen in SE' (146° bis 169° , i. M. 159°) oder NW' Richtungen (326° bis 349° , i. M. 326°)

⁸ Damit korrespondiert ein Einfallen der Klufflächen in SW' (205° bis 248° , i. M. 228°) oder NE' Richtungen (25° bis 68° , i. M. 48°)

republik Deutschland der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (Bild NA.2), welche den Einfluss der örtlichen, tieferen Untergrundverhältnisse auf die Erdbebenwirkung berücksichtigt, herangezogen. Für Nordrhein-Westfalen hatte der Geologische Dienst Nordrhein-Westfalen (kurz: GD NRW) unter Bezug auf die bereits zurückgezogene, aber bauaufsichtlich immer noch maßgebende DIN 4149 die Untergrundverhältnisse des Landes bereits seismologisch beurteilt und die Erdbebenzonen und Untergrundklassen kartographisch dargestellt [12]. Nach [12] und auch nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 liegt das Projektgebiet außerhalb von Erdbebenzonen (d.h. es handelt sich um ein Gebiet mit sehr geringer seismischer Gefährdung, in dem gemäß dem zu Grunde gelegten Gefährdungsniveau rechnerisch die Intensität 6 nicht erreicht wird).

Für die Abschätzung der generellen Erdbebengefährdung im Hinblick auf den bauaufsichtlich noch nicht eingeführten EC 8 (DIN EN 1998-1:2010-12 i. V. m. mit DIN EN 1998-1/NA:2021-07⁹) werden zunächst die Darstellungen der räumlichen Verteilung der spektralen Antwortbeschleunigung für das Untergrundverhältnis A-R im Plateaubereich $S_{aP,R}$ für die Wiederkehrperioden $T_{NCR} = 475$ Jahre, $T_{NCR} = 975$ Jahre und $T_{NCR} = 2475$ Jahre der DIN EN 1998-1/NA:2021-07 (Bilder NA.1, NA.E.1 und NA.E.2)¹⁰ sowie die schematische Darstellung der geologischen Untergrundklassen in der Bundesrepublik Deutschland der DIN EN 1998-1/NA:2021-07 (Bild NA.G.1), welche den Einfluss der örtlichen, tieferen Untergrundverhältnisse auf die Erdbebenwirkung berücksichtigt, herangezogen. Danach würde im Projektgebiet für dieses Untergrundverhältnis die spektrale Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ zwischen $0,6 \text{ m/s}^2$ und $0,7 \text{ m/s}^2$ (für $T_{NCR} = 475$ Jahre); $0,8 \text{ m/s}^2$ bis $1,0 \text{ m/s}^2$ (für $T_{NCR} = 975$ Jahre) bzw. $1,6 \text{ m/s}^2$ bis $2,0 \text{ m/s}^2$ (für $T_{NCR} = 2.475$ Jahre) betragen. Nach Bild NA.G.1 der DIN EN 1998-1/NA:2021-07 ist das Projektgebiet der geologischen Untergrundklasse R (im Bereich der Konturlinie von $S_{aP,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$) zuzuordnen. Standortspezifische Werte unter Berücksichtigung des Untergrundverhältnisses (Baugrundklasse i. V. m. der geologischen Untergrundklasse) können bspw. über entsprechende Plattformen/Software zur Abfrage von gefährdungskonsistenten Antwortspektren für beliebige Punkte in Deutschland ermittelt werden.

Sofern die Bodenbeschleunigungen gem. EC 8 deutlich höher sind als nach DIN 4149 und damit signifikant höhere Beanspruchungen (ungünstigere Bemessungssituationen) aussteifender Bauteile zu erwarten sind, wird empfohlen unabhängig vom bauaufsichtlich noch offe-

⁹ Es wird darauf hingewiesen, dass zum 01.11.2023 DIN EN 1998-1/NA:2021-07 durch DIN EN 1998-1/NA:2023-11 ersetzt wurde. Dies wurde in vorliegendem Bericht zur vereinfachten Baugrunduntersuchung noch nicht berücksichtigt!

¹⁰ Die Spektralwerte $S_{aP,R}$ an den berechneten Stützstellen werden digital in den Anhängen NA.I (für $T_{NCR} = 475$ Jahre, normativ) und NA.J (weitere Spektralbeschleunigungen, informativ) der DIN EN 1998/NA zur Verfügung gestellt; Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

nen Normenübergang bereits jetzt den EC 8 anzuwenden.

Zur Zuordnung einer Baugrundklasse s. 6.4.

Es wird explizit darauf hingewiesen, dass – unabhängig von vorstehenden Hinweisen zu den Einwirkungen aus Erdbeben – bei der Tragwerksplanung die aktuelle DIN EN 1998-1/NA (Fassung: 2023-11) zu berücksichtigen ist und vorstehende Hinweise entsprechend zu verifizieren und erforderlichenfalls zu adaptieren sind.

5 Bestandsaufnahme Februar/März 2024

5.1 Allgemeines

Im Zuge der Begehung ¹¹ wurden die ohne Sicherung oder Abseilen zugänglichen Bereiche des Hangs – d.h. etwa das untere Drittel des Hangs – begangen, die nicht ohne Sicherung/Abseilen begehbaren Bereiche visuell begutachtet und an den zugänglichen Bereichen die örtlichen geotechnischen Verhältnisse an Hand eines für die projektspezifischen Belange entwickelten Formblattes unter Einmessung des Trennflächengefüges i. W. aus Schichtung ss (s. hierzu 5.2) und Kluftflächenscharen (k_i) mit dem Gefügekompass nach CLAR ingenieurgeologisch aufgenommen (163 Werte) ¹². Ergänzend wurde der Böschungsbereich am 19.03.2024 mit einem unbemannten Luftfahrtsystem (kurz: ULS) befliegen. Die angetroffenen geotechnischen Verhältnisse wurden zudem photographisch – auch mit einer 360°-Kamera – dokumentiert. Die Erfassung und Beschreibung des Gesteins, der Trennflächen und des Gebirges erfolgte dabei i. W. gem. DIN EN ISO 14689: 2018-05 ¹³ bzw. M Fels:2015 [13] ¹⁴ unter ergänzender qualitativer Beschreibung des Durchtrennungsgrads der Trennflächen.

Nachfolgend werden die für die weiterführenden Planungen relevanten geotechnischen Sachverhalte an Hand der wichtigsten erhobenen Parameter unter besonderer Berücksichtigung des Trennflächeninventars zusammenfassend beschrieben. Ausgewählte Photos sind zusammenfassend in Anlage 2 dokumentiert.

¹¹ Auf die ursprünglich seitens der Auftraggeberin vorgesehenen Kleinrammbohrungen gem. DIN EN ISO 22475-1 musste ob der örtlichen und der geologischen Verhältnisse verzichtet werden

¹² In den nachfolgenden Tabellen/Texten stellen die Werte in Klammern den jeweiligen Komplementärwinkel dar

¹³ Verwitterung, Veränderungen und einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins; Trennflächenabstand, -öffnungsweite, Rauigkeit; Abmessungen und Form der Gesteinskörper; Verwitterungsstufe des Gebirges

¹⁴ Auflockerung des Gebirges

5.2 Örtliche geotechnische Verhältnisse

Gesteine

Die aufgeschlossenen Festgesteine sind als Wechsellagerung bräunlich-grauer bis blaugrauer, vorwiegend mitteldünnkörniger Sandsteine mit deutlich tonig-schluffiger Matrix und dunkelgrauer Ton- bis Siltschiefer anzusprechen, wobei der Anteil an Sandsteinen gegenüber den Ton-/Siltschiefern deutlich überwiegt. Die Gesteine sind partiell leicht kalkhaltig, Kalksteine konnten während der Begehungen jedoch nicht identifiziert werden. Das Gestein ist i. A. frisch bis zumeist verfärbt, lokal im Bereich von Ton-/Siltschiefern außerordentlich geringer einaxialer Druckfestigkeit auch zerfallen. Die einaxiale Druckfestigkeit der Ton-/Siltschiefer wurde zu außerordentlich gering bis mäßig schwach (zumeist sehr gering bis gering), die der Sandsteine zu mäßig hoch bis hoch (zumeist in Abhängigkeit der Schichtdicke zu hoch) abgeschätzt.

Trennflächeninventar

Die tektonische Überprägung des Gebirges äußert sich in einer an den Material- und Kompetenzwechseln des Gesteins erkennbaren und – abweichend vom allgemeinen steilen Einfallen in N´ Richtung – flach nach WNW einfallenden Schichtung ss und in 3 mehr oder weniger deutlich ausgeprägten Kluftsystemen k_1 , k_2 und k_3 ¹⁵. Eine Schieferung sf konnte in den – überwiegend kompetenten Gesteinen – im Feld nicht identifiziert werden. Insgesamt ist das Trennflächengefüge durch eine große Richtungsvarianz der einzelnen Trennflächen und zusätzliche, unterschiedlich einfallende Einzelklüfte (nachfolgend nicht weiter beschrieben) gekennzeichnet.

Das aus der Aufnahme der örtlichen geotechnischen Verhältnisse abgeleitete Trennflächeninventar kann – unter zusätzlicher Berücksichtigung der im geol. Kartenwerk dokumentierten Raumlagen (s. 4.2) – wie in Tabelle 1 dargestellt zusammenfassend beschrieben werden.

Die wesentlichen Trennflächensysteme sind die Haupttrennfläche Schichtung ss und die Kluftflächenschar $k_1/k_{1,k}$. Demgegenüber sind ob ihrer geringeren Ausdehnung und ihres geringeren Durchtrennungsgrades die Kluftflächenscharen $k_3/k_{3,k}$ felsmechanisch nicht ganz so bedeutend, die Kluftflächenscharen $k_2/k_{2,k}$ weniger bedeutend.

¹⁵ I. A. fallen die Klüfte einer Kluftflächenschar k_i in 2 diametral entgegengesetzte Richtungen ein, zur Differenzierung werden daher nachfolgend die Termini k_i und $k_{i,k}$ (für die komplementäre Trennfläche) verwendet

Tabelle 1 Zusammenfassende Darstellung des Trennflächeninventars

Trenn- flächen- schar	Trenn- flächen- abstand	Öffnungs- weite	Rauigkeit [m-Bereich]	Raumlage ¹⁾		Aus- dehnung ²⁾	Durchtren- nungsgrad	Bemer- kungen ³⁾
				Fall- richtung α [°]	Fall- winkel β [°]			
ss	In Abhängig- keit der Litho- logie fein laminiert bis dick; bevor- zugt (dünn bis) mittel	Sehr eng bis offen, seltener (oberflächen- nah) gemäßigt weit	Sehr unein- heitlich gera- de bis wellig, rau; bevorzugt kurvig, rau	208 – 322 280	17 – 52 32	dcm- bis bevorzugt m-Bereich	Mittel bis sehr hoch; bevor- zugt hoch	Deutliche Richtungsva- rianz der Raumlage, auch in Folge von Spezial- fältelungen (s. Anlage 2)
K ₁ /k _{1,k}	Außerordent- lich engstän- dig bis weit- ständig, überwiegend eng- bis mittelständig	Sehr eng bis gemäßigt weit, oberflä- chennah sehr häufig teilw. offen oder offen	Gerade/kur- vig, glatt/rau oder wellig, rau/glatt; zumeist gerade oder kurvig, glatt	5 – 74, i. M. 37 bzw. (180 - 252, i. M. 212)	54 – 89, i. M. 80 bzw. (54 – 89, i. M. 81)	dcm- bis m-Bereich	Gering bis sehr hoch, be- vorzugt mittel bis hoch	Sehr häufig aufgeschlos- sen
K ₂ /k _{2,k}	Außerordent- lich engstän- dig bis weit- ständig, überwiegend eng- bis mittelständig	Sehr eng bis gemäßigt weit, oberflä- chennah sehr häufig teilw. offen	Zumeist gerade oder kurvig, glatt; seltener kurvig, rau	140 – 180, i. M. 162 bzw. (326 – 356, i. M. 345)	50 – 87, i. M. 69 bzw. (59 – 81, i. M. 73)	dcm- bis m-Bereich	Gering bis sehr hoch, bevorzugt mittel (bis hoch)	Vgl.weise selten aufge- schlossen
K ₃ /k _{3,k}	Eng- bis weitständig, bevorzugt mittel- bis weitständig	Sehr eng bis gemäßigt weit; zumeist eng bis teilw. offen	Kurvig, glatt oder wellig, rau; bevorzugt wellig, rau	99 – 135, i. M. 122 bzw. (300 – 308, i. M. 304)	45 – 77, i. M. 64 bzw. (79 – 86, i. M. 86)	dcm- (bevor- zugt) bis m-Bereich	Gering bis sehr hoch, bevorzugt gering bis mittel	Bei SE' Ori- entierung quasi gleichsinnig mit dem Hang einfallend; NW' orientier- te, komple- mentäre Kluft- flächenschar nur selten aufgeschlos- sen

¹⁾ Jeweils untere Zeile: Mittelwerte

²⁾ dcm: Dezimeter, m: Meter, dm: Zehnermeter

³⁾ Nennenswerte Zwischenmittel oder Bestege wurden auf den Trennflächen nicht festgestellt

Die Polpunkte aller eingemessenen Trennflächen wurden unter Verwendung des Programms Stereonet, Version 11.5.5 von Richard W. Allmendinger in Abbildung 3 i. V. m. den Linien gleicher Flächenprozentage ¹⁶ dargestellt. Die mittlere Raumlage des (mechanisch wirksamen) Trennflächeninventars, welche für den Gesamthang als repräsentativ angesehen werden

¹⁶ (2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 18 - > 20 %)

kann, sowie die generelle Hangneigung sind in Form von Großkreisen in Abbildung 4 wiedergegeben.

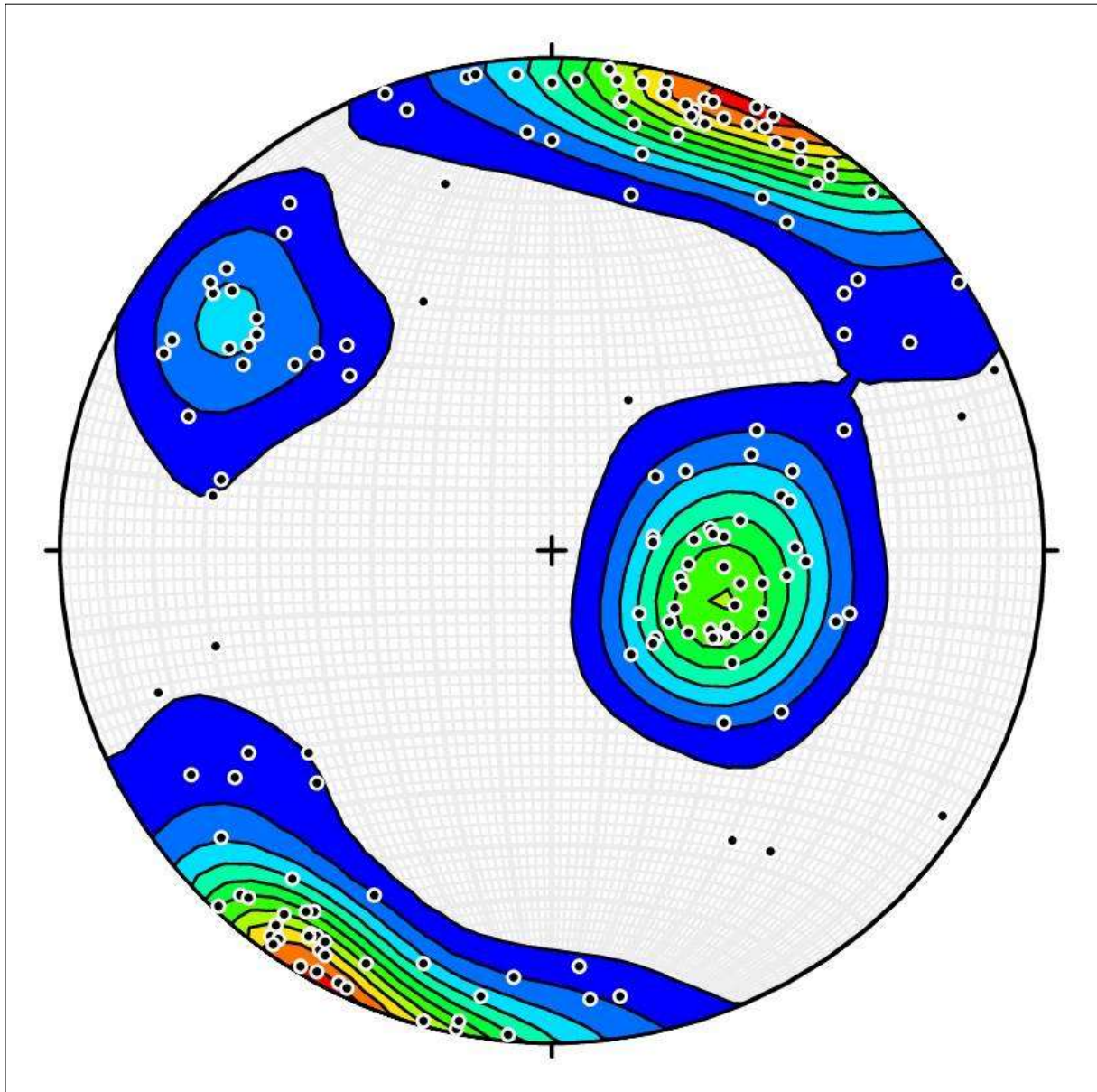


Abbildung 3 Polpunktdarstellung der eingemessenen Trennflächen

Die Kluffflächenscharen $k_1/k_{1,k}$ und $k_3/k_{3,k}$ stehen quasi orthogonal zueinander, wobei die Kluffflächenschar $k_1/k_{1,k}$ mehr oder weniger stumpfwinklig (i. M. rd. 115°) zur Schichtung ss orientiert ist während die Kluffflächenschar $k_3/k_{3,k}$ spitzwinklig (i. M. rd. 23°) zur Schichtung ss streicht. Beide Kluffflächenscharen fallen zumeist deutlich steiler ein als die Schichtung ss.

Die Kluflächenschar $k_2/k_{2,k}$ streicht mit relativ großem Winkel (i. M. rd. 64°) spitzwinklig zur Schichtung ss und fällt ebenfalls steiler ein als diese.

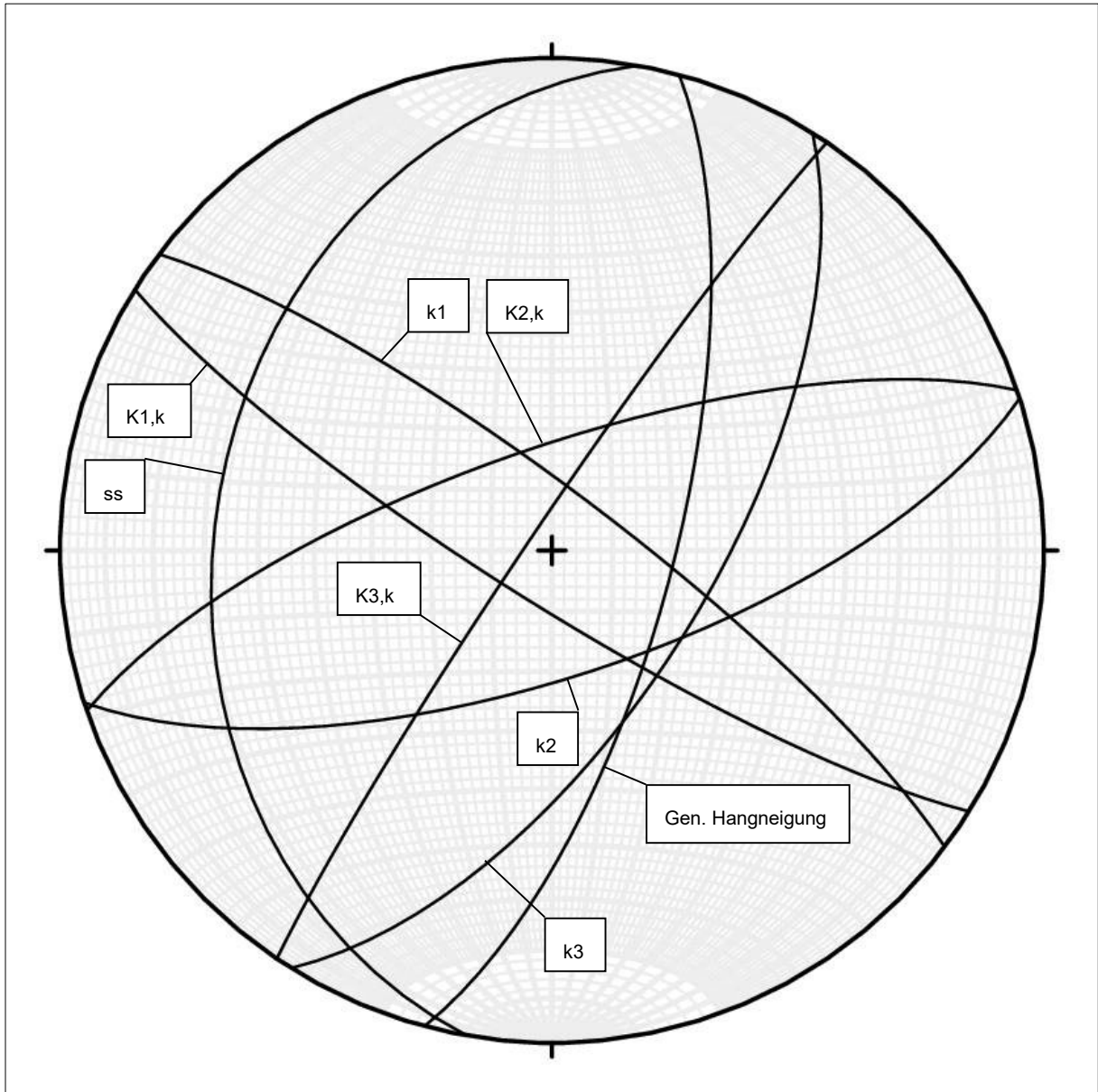


Abbildung 4 Mittlere Raumlage des (mechanisch wirksamen) Trennflächeninventars und der generellen Hangneigung

Die generelle Hangneigung und die im Untersuchungsabschnitt auftretenden natürlichen, bevorzugt in ESE´ bis SE´ Richtungen geneigten, Felsanschnitte und Böschungen sind quasi an der quasi parallel streichenden, hangauswärts fallenden Kluftflächenschar k_3 orientiert.

Die flach in WNW' Richtungen einfallende Haupttrennfläche Schichtung ss streicht in etwa gleichsinnig zu den Felsanschnitten und natürlichen Böschungen und fällt damit bevorzugt hangeinwärts ein. Die Kluftflächenschar $k_1/k_{1,k}$ streicht \pm spitzwinklig bis orthogonal zu diesen und fällt steil entsprechend mehr oder weniger senkrecht zur Böschung ein. Die Kluftflächenschar $k_2/k_{2,k}$ verläuft spitzwinklig zur Böschung und fällt bei SSE' Orientierung dem Grunde nach hangauswärts/bei NNW' Orientierung hangeinwärts. Die hangparallel streichenden Klüfte der Kluftflächenschar $k_{3,k}$ fallen in NW' Richtung und damit in den Hang ein.

Gesteinskörper

Im Gesteinsverband weisen die - durch Unterschneidung der Schichtfugen ss bevorzugt in Folge schnellerer Rückwitterung inkompetenterer Ton-/Siltschiefer bereichsweise auch überhängenden - Gesteinskörper durch die Verschneidung der Trennflächen ob des insgesamt außerordentlich engständigen bis weitständigen-, überwiegend aber eng- bis mittelständigen Trennflächenabstandes auf Grund der vorherrschenden Ausdehnung von Trennflächen im dcm- bis m-Bereich und eines insgesamt sehr geringen bis hohen-, bevorzugt mittleren bis hohen Durchtrennungsgrades der Trennflächen überwiegend geringe bis hohe Seitenlängen und damit i. A. sehr kleine bis mittlere-, überwiegend geringe bis mittlere Gesteinskörpervolumina auf; sie können Volumina von \leq rd. $0,7 \text{ m}^3$ erreichen. Gesteinskörper vgl.barer Größe lösen sich (oder haben sich bereits gelöst) bspw. durch Unterschneidung der Schichtfugen ss in Folge schnellerer Rückwitterung inkompetenterer Ton-/Siltschiefer i. V. m. den Trennflächenscharen $k_1 + k_2$, $k_1 + k_3$, $k_2 + k_{2,k}$ sowie $k_3 + k_{2,k}$ (freier Fall von Gesteinskörpern, s. bspw. Abbildung 3 und Abbildung 4 in Anlage 2), durch Entstehung hangauswärts fallender Gleitkeile – bspw. auf den Verschneidungen der Kluftflächenscharen k_1/k_2 , k_1/k_3 und $k_3/k_{2,k}$ – oder durch Gleiten von Gesteinskörpern auf der hangauswärts fallenden Kluftflächenschar k_3 . Lokal – bei Auftreten weitständiger Trennflächen sehr hohen Durchtrennungsgrades (insbesondere ss, k_1 , k_3) – können auch große Gesteinskörpervolumina von bis zu 2 m^3 abgängig werden ¹⁷. Ausgebrochene Gesteinskörper weisen ein Volumen von bis zu rd. $0,15 \text{ m}^3$ auf; mehrheitlich jedoch weisen die ausgebrochenen Gesteinskörper sehr kleine bis mittlere Seitenlängen und damit sehr kleine Volumina von $\leq 0,0025 \text{ dm}^3$ bis 50 dm^3 auf.

In Abhängigkeit der Anzahl der auftretenden Trennflächen, ihrer lokalen Richtungsvarianz und ihres Durchtrennungsgrades brechen bevorzugt (prismatische bis) rhombische Gesteinskörper aus dem Gebirge aus, welche in Richtung der Hoffläche bzw. des öffentlichen Straßenraums abgleiten bzw. rollen und springen können. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich ausgebrochene Gesteinskörper aus Ton-/Siltschiefer und (Mittel)sandsteinen auf Grund des insgesamt außerordentlich engständigen bis weitständigen-, überwiegend aber eng- bis mittelständigen Trennflächeninventars beim Aufprall weiter zerlegen und dann

¹⁷ Abb. 2 in Anlage 2 zeigt die Stelle eines Ausbruchs von geschätzt $1,5 \text{ m}^3$

wahrscheinlich meistens ein Volumen von 50 dm³ nicht übersteigen.

Gebirge

Das Gebirge ist frisch bis schwach verwittert und lokal vor Allem im Bereich inkompetenterer Ton-/Siltschiefer mit außerordentlich geringer bis sehr geringer einaxialer Druckfestigkeit auch mäßig verwittert und i. A. nicht- bis mäßig-, vorwiegend aber nur nicht- bis schwach aufgelockert. Die mäßige Auflockerung beschränkt sich dem Grunde nach auf die oberflächennahen Bereiche der Felsanschnitte. Unabhängig davon wird die Entfestigung des Gebirgsverbandes durch die erhebliche kleinräumige Richtungsvarianz des Trennflächeninventars und überhängende Gesteinskörper sowie durch die schnellere Verwitterung von Ton-/Siltschiefern mit außerordentlich geringer bis mäßig schwacher einaxialer Druckfestigkeit oder vereinzelt inkompetentere (Mittel)sandsteine begünstigt.

Hangbedeckung

Die Bedeckung des Hanges ist durch einen engräumigen Wechsel von diffus mehr oder weniger über den ganzen Hang verteilten Felsanschnitten mit eher rauer oder auch – bei größerer Ausdehnung/hohem bis sehr hohem Durchtrennungsgrad v. A. der Kluffflächenschar k_3 - vorwiegend glatter Oberfläche und Fels mit geringer Bodenbedeckung (geschätzte Mächtigkeit $\leq 0,2$ m) charakterisiert. Flächen mit Hangschutt (geschätzte Mächtigkeit 0,3 m bis 0,8 m) und geringer Bodenbedeckung (geschätzte Mächtigkeit 0,2 m bis 0,4 m) beschränken sich auf die Areale am Böschungsfuß oberhalb der Stützmauer.

Zur anteiligen Hangbedeckung in Abhängigkeit des betrachteten Sicherungsbereiches vgl. Abbildung 1 in Anlage 2. Gutachterlicherseits werden die Anteile für den gesamten untersuchten Bereich mit rd. 35 % Fels mit rauer Oberfläche, rd. 25 % Fels mit vorwiegend glatter Oberfläche, rd. 20 % Fels mit geringer Bodenbedeckung und rd. 20 % Hangschutt mit geringer Bodenbedeckung abgeschätzt.

Stützmauer

Die Stützmauer aus Ziegel- und Natursteinen am Böschungsfuß weist kein Freibord aber deutliche Anzeichen von unzureichendem/fehlendem Kraftschluss mit dem Gebirge (Hohlräume hinter der Stützmauer im zentralen Böschungsbereich) und Anzeichen von Instabilität (Risse im Putz und fehlende Verfugung im zentralen Böschungsbereich; hofwärtige Vergenz und Verformung des Abschnitts im N' Böschungsbereich, wahrscheinlich in Folge Erddrucks) auf.

Die Stützmauer, welche zumindest teilweise Rückwand einer früheren Bebauung war, befindet sich insgesamt augenscheinlich einem schlechten Zustand.

5.3 Einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins

Im Rahmen der geotechnischen Aufnahme vor Ort wurde die einaxiale Druckfestigkeit σ_c des Gesteins mittels Feldmethoden nach DIN EN ISO 14689:2018-05 für

- die Ton-/Siltschiefer zu außerordentlich gering (< 1 MPa) bis mäßig schwach (12,5 MPa bis 25 MPa), zumeist sehr gering bis gering (1 MPa bis 12,5 MPa)
- die (Mittel)sandsteine zu mäßig hoch (25 MPa bis 50 MPa) bis hoch (50 MPa bis 100 MPa), zumeist in Abhängigkeit der Schichtdicke zu hoch

abgeschätzt.

Nach gutachtlichem Dafürhalten kann für die Gesteine im Untersuchungsgebiet i. A. von einer sehr geringen bis hohen einaxialen Druckfestigkeit σ_c (1 MPa bis 100 MPa) ausgegangen werden, wobei mit hoher Wahrscheinlichkeit mäßig hohe bis hohe einaxiale Druckfestigkeiten σ_c (25 MPa bis 100 MPa) überwiegen dürften.

5.4 Grund- und Sickerwasser

Sickerwasseraustritte wurden i. W. nur S´ oberhalb der Stützmauer und im zentralen Hangbereich oberhalb der ausgeprägten Bedeckung mit Hangschutt in Form von lokal begrenzten Vernässungen der Felsoberfläche mit geschätzt sehr geringer Durchflussrate ($< 0,05$ l/s bis $0,5$ l/s) beobachtet. Daneben sind partiell starke Vermoosungen Hinweis auf zumindest zeitweise Sickerwasseraustritte. Tendenziell scheinen die diffusen Sickerwasseraustritte bevorzugt an den Trennflächen Schichtung ss und Kluftflächenschar $K_1/k_{1,k}$ und an mäßig aufgelockerte Gebirgspartien aufzutreten.

Grundwasseraustritte wurden während der Begehungen nicht beobachtet.

6 Geotechnische Beurteilung

6.1 Bohrbarkeit

Unter Berücksichtigung des insgesamt außerordentlich eng- bis weitständigen, überwiegend aber eng- bis mittelständigen Trennflächenabstandes, welcher nach THURO [14] als semi-quantitativer Leitparameter für den räumlichen Durchtrennungsgrad des Gebirges herangezogen werden kann, ist davon auszugehen, dass die Bohrbarkeit maßgebend zu etwa gleichen Teilen sowohl von den Gebirgs- als auch den Gesteinseigenschaften bestimmt wird. In Abhängigkeit des insgesamt außerordentlich eng- bis weitständigen, überwiegend aber eng- bis mittelständigen Trennflächenabstandes und der vorliegenden sehr geringen bis hohen-, überwiegend aber mäßig hohen bis hohen einaxialen Druckfestigkeit der Gesteine σ_c sind

i. A. mittlere Bohrgeschwindigkeiten zu erwarten. Lediglich lokal, bei einem außerordentlich engständigem Trennflächenabstand ($< 20 \text{ mm}$)/einer außerordentlich geringen bis mäßig schwachen einaxialen Druckfestigkeit ($< 25 \text{ MPa}$) ist von einer hohen Bohrgeschwindigkeit auszugehen.

In den (Mittel)sandsteinen ist in Abhängigkeit insbesondere des Quarzgehaltes (vorbehaltlich entsprechender Untersuchungen kann erfahrungsgemäß zunächst von einem Quarzgehalt zwischen 25 % und 55 % ausgegangen werden) mit erhöhter Abrasivität und damit, ob des bevorzugten Auftretens dieser Gesteine, auch im gesamten Gebirge, mit einem geringen bis hohen-, überwiegend aber mittleren bis hohen Verschleiss der Bohrwerkzeuge und einer reduzierten Bohrbarkeit zu rechnen.

6.2 Kennwerte des Gesteins und des Gebirges

Basierend auf den örtlichen Feststellungen und Erfahrungswerten werden in Tabelle 2 bzw. Tabelle 3 Boden- bzw. Gesteins-/Gebirgskennwerte für die bautechnisch relevanten Schichten angegeben. Ebenda sind jeweils in der ersten Zeile, bspw. für den Nachweis von Grenzzuständen, untere/obere charakteristische Werte i. S. von DIN 1054 und in der jeweils zweiten Zeile charakteristische Werte i. S. von DIN EN 1997-1 (vorsichtige Schätzwerte der Mittelwerte) angegeben.

Tabelle 2 Bodenmechanische Kennwerte Fels- und Hangschutt, locker gelagert

γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ' [°]	c' [kN/m ²]	E_s [MPa]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
16 – 17,5	8,5 – 9,5	30 – 32,5	0	20 – 40	90 – 130
16,5	9,0	30		25	100

γ/γ'	Wichte/Wichte unter Auftrieb
φ'	Reibungswinkel
c'	Kohäsion
E_s	Steifemodul
$q_{s,k}$	Bruchwert der Mantelreibung für Anker

Die felsmechanischen Kenngrößen können im Hinblick auf die Trennflächen (in Abhängigkeit von Verlauf, Rauigkeit, Öffnungsweite, etwaigen Füllungen) und im Hinblick auf das Gebirge (in Abhängigkeit der einaxialen Druckfestigkeit, des Abstandes und des Durchtrennungsgrades der Trennflächen) in erheblichen Grenzen variieren. Zudem sind die Materialeigenschaften von Gestein/Gebirge bedingt durch den Einfluss der Trennflächen richtungsabhängig. Unter vereinfachender Annahme eines linearen Festigkeitsansatzes nach Mohr/Coulomb werden an Hand von Erfahrungswerten für das frisch bis schwach-, lokal auch mäßig verwitterte

terte Gebirge die nachfolgenden Kennwerte angeben:

Tabelle 3 Felsmechanische Kennwerte Gestein/Gebirge (frische bis zumeist verfärbte, lokal zerfallene Ton-/Siltschiefer, [Mittel]sandsteine)

Gestein	Trennflächen		Gebirge					$q_{s,k}$ [kN/m ²]
$\sigma_{c, \text{Gest}}$ [MPa]	φ'_{Trfl} [°]	c'_{Trfl} [kN/m ²]	γ_{Geb} [kN/m ³]	φ'_{Geb} [°]	c'_{Geb} [kN/m ²]	E_{Geb} [MPa]	ν_{Geb}	
1 – 100	25 – 32,5	0 – 30	22 – 26	30 – 37,5	80 – 400	450 – 800	0,3	90 – 700
60	30	5	25	32,5	200	600		540

$\sigma_{c, \text{Gest}}$	Einaxiale Druckfestigkeit Gestein
$\varphi'_{\text{Trfl/Geb}}$	Reibungswinkel Trennflächen/Gebirge
$c'_{\text{Trfl/Geb}}$	Kohäsion Trennflächen/Gebirge
γ_{Geb}	Wichte Gebirge
E_{Geb}	E-Modul Gebirge
ν_{Geb}	Poissonzahl Gebirge
$q_{s,k}$	Bruchwert der Mantelreibung für Mikropfähle

6.3 Homogenbereiche

Die erkundeten Baugrundsichten sind gemäß den Normen der VOB/C bzw. den Vorgaben der DB (Handlungsempfehlung Homogenbereiche) in Homogenbereiche einzuteilen, die für die Ausschreibung verwendet werden sollen.

Nach DIN 18300 (Erdarbeiten) sind Böden im Hinblick auf das Lösen, Laden und Wiederverwerten des Aushubs entsprechend ihres Zustands vor dem Lösen in Homogenbereiche einzuteilen. Dies gilt sinngemäß für DIN 18301 (Bohrarbeiten). Ein Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Baugrundsichten, der – eigentlich unter zusätzlicher Berücksichtigung umweltrelevanter Inhaltsstoffe – für die einsetzbaren Baugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist. Oberboden ist, unabhängig von seinem Zustand vor dem Lösen, ein eigener Homogenbereich.

Im vorliegenden Anwendungsfall kommen dem Grunde nach nur Bohrarbeiten zum Tragen - den Baugrundsichten werden für Bohrarbeiten zunächst die Homogenbereiche BOHR 1 (Tonschiefer) und BOHR 2 ([Mittel]sandsteine) zugeordnet. Für Oberboden, der unabhängig von seinem Zustand vor dem Lösen, ein eigener Homogenbereich ist wurde auf Grund seiner sehr geringen Mächtigkeit bzw. des vollständigen Fehlens auf den steilen Böschungsflächen auf die Beschreibung eines Homogenbereichs verzichtet. Dies gilt sinngemäß für den Hangschutt.

Die nach DIN 18301 anzugebenden Kenngrößen können der nachfolgenden tabellarischen

Zusammenstellung entnommen werden.

Tabelle 4 Gem. DIN 18301 für die Homogenbereiche anzugebende Kenngrößen

Kenngröße	Einheit	Homogenbereich	
		BOHR 1	BOHR 2
Ortsübliche Bezeichnung	-	Obere Honsel-Schichten, Grauwackenschiefer	Obere Honsel-Schichten, Grauwacken
Benennung von Fels	-	Tonstein	Sandstein
Verwitterung	-	Frisch bis zerfallen	Frisch bis verfärbt
Veränderung	-	Gute bis geringe Kornbindung	Gute Kornbindung
Veränderlichkeit (Luft)	-	Nicht veränderlich bis veränderlich	Nicht veränderlich
Einaxiale Druckfestigkeit	MPa	< 1 bis 25	25 - 100
Trennflächenrichtung	°	ss: 208 – 322, i. M. 280 $k_1/K_{1,k}$: 5 – 74, i. M. 37/180 – 252, i. M. 212 $k_2/K_{2,k}$: 140 – 180, i. M. 162/326 – 356, i. M. 345 $k_3/K_{3,k}$: 99 – 135, i. M. 122/300 – 308, i. M. 304	
Trennflächenabstand	mm	2 – 600	6 – 2000
Gesteinskörperform	-	Bevorzugt (prismatisch bis) rhombisch	
Abrasivität	-	Abrasiv	Abrasiv bis stark abrasiv

6.4 Ergänzende Angaben zu den Einwirkungen aus Erdbeben

Unter Berücksichtigung der erkundeten Untergrundverhältnisse ist das Projektgebiet der Baugrundklasse B gem. DIN EN 1998-1/NA:2011-01 zuzuordnen¹⁸. Als Kombination von Baugrund und geologischem Untergrund ist damit das Untergrundverhältnis B-R bei einer Bemessung nach DIN EN 1997-1 bzw. DIN EN 1998-1 ff. zu berücksichtigen.

Die Hinweise in 4.3 gelten sinngemäß.

7 Risikoeinstufung

Die Trennflächen sind zumindest oberflächennah durchaus als offen bis gemäßigt weit zu bezeichnen, was Hinweis auf eine fortschreitende Gebirgsauflockerung und -entfestigung in Folge der Einwirkungen aus Eigengewicht, Entspannung des Gebirges an den Felsanschnitten, Frost in Verbindung mit Oberflächen- und Sickerwasser sowie schwankende Temperaturen an dem ESE-exponierten Hang ist. Lokal wird die Minderung der Gebirgsfestigkeit durch

¹⁸ Hinweis: Aus DIN EN 1998-1/NA:2021-07 ergibt sich keine Änderung der Baugrundklasse

Wurzeldruck begünstigt. Die Gebirgsauflockerung und -entfestigung hängt mit einer fortschreitenden Unterschneidung – bereichsweise bereits überhängender – Gesteinskörper in Folge schnellerer Rückwitterung inkompetenterer Ton-/Siltschiefer, welche zu einem freien Fall von Gesteinskörpern führen kann; sich hangauswärts auf den Verschneidungen von Kluftflächenscharen bewegendes Gleitkeilen und dem Gleiten von Gesteinskörpern auf der hangauswärts fallenden Kluftflächenschar k_3 zusammen. An den aufgelockerten Partien wirken zunehmend verstärkt Frostsprengung, Eisdruck oder – nach Starkregenereignissen – Kluftwasserdruck auf das Gebirge. Ausgebrochene Gesteinskörper können in Richtung der Hofffläche/der aufstehenden Bebauung bzw. des öffentlichen Straßenraums springen, rollen oder gleiten. Das Volumen der ausbrechenden Gesteinskörper ist i. A. mit $\leq 0,7 \text{ m}^3$ anzunehmen, lokal können auch große Gesteinskörpervolumina von bis zu 2 m^3 abgängig werden (vgl. 5.2). Basierend auf der ingenieurgeologischen Geländeaufnahme ist im begutachteten Bereich etwa unterhalb Bahn-km 34,215 – Bahn-km 34,240 insgesamt eine mäßige bis hohe potenzielle Gefährdung durch Steinschlag festzustellen.

Unter der Prämisse, dass eine weitere Nutzung des Hofes zu gewährleisten ist, ist zwischen dem steil mit generell etwa 70° zur asphaltierten Hofffläche und aufstehenden Bebauung einfallenden Hang und der Hofffläche/Bebauung kein Auffangraum vorhanden. Ausbrechende Gesteinskörper würden mit hoher Wahrscheinlichkeit ihre Bewegungsenergie nur bedingt abbauen, die partiell – d.h. oberhalb der Stützmauer – vorhandene, flacher einfallende Hangschuttbedeckung überwinden und auf der Hofffläche/Bebauung auftreffen.

Aus dem mäßigen bis hohen Gefährdungspotenzial und der hohen Auftreffwahrscheinlichkeit kann qualitativ ein mittleres bis sehr hohes Risiko abgeleitet werden.

Es kann zudem nicht ausgeschlossen werden, dass es insbesondere nach Starkregenereignissen in der Hangschuttdecke oberhalb der Stützmauer trotz der hohen Wasserdurchlässigkeit des Hangschutts insbesondere in der vegetationsfreien Zeit zu lokalen Nachrutschungen kommt, welche sich im Laufe der Zeit hangabwärts bewegen.

8 Empfehlungen zu Sicherungsmaßnahmen

Unter Bezug auf die Ril 836.0507 sind bei der Auswahl möglicher Sicherungsmaßnahmen neben den Investitionskosten auch die zu erwartende Nutzungsdauer, die Erreichbarkeit/Zuwegung der zu sichernden Böschungsbereiche und der Instandhaltungsaufwand zu berücksichtigen.

Um dauerhaft eine sichere Nutzung des Hofes, der zu weiten Teilen im Eigentum Dritter steht, gewährleisten zu können wird gutachterlicherseits eine Stabilisierung der Böschung durch Anbringen einer Steinschlagschutzvernetzung als notwendig erachtet.

Hierzu ist die Felsböschung mit einem Steinschlagschutznetz abzuhängen und mittels ver-

pressten Mikropfählen rückzuverankern. Auf Grund der starken, überwiegend eng- bis mittelständigen Zerklüftung und der oberflächennah mäßigen Auflockerung des Gebirges wird die Verwendung hochzugfester Stahldrahtgeflechte empfohlen. Das vertikale/horizontale Raster der Rückverankerung wird zunächst mit etwa 2,5 m * 2,5 m abgeschätzt. In Bereichen, in denen die Gebirgsentfestigung deutlich ausgeprägter ist – bspw. im mittleren Böschungsbereich oberhalb der Stützmauer – sollte das Verankerungsraster auf etwa 2,0 m * 2,0 m verkleinert werden. Zur Verankerung der Vernetzung können im vorliegenden Anwendungsfall ob der fehlenden oder geringmächtigen Hangschuttdecken – je nach statischer Beanspruchung – bevorzugt GEWI-Mikropfähle Durchmesser (28 mm bis) 32 mm verwendet werden¹⁹. Auf Grund der starken, überwiegend eng- bis mittelständigen Zerklüftung ist davon auszugehen, dass bereichsweise Verpressverluste auftreten und eine Umhüllung der GEWI-Mikropfähle mit geotextilen Injektionsstrümpfen erforderlich wird. Die erforderliche Einbindetiefe der Rückverankerungen/Mikropfähle in den festen Fels wird vorab mit 3 m bis 3,5 m abgeschätzt. Sofern die Drahtnetzverhängung bis in die flacher geneigten Hanglagen am Top der Böschung gezogen wird, kann ebenda auf eine rückverankerte Steherschürze verzichtet werden. Unter Berücksichtigung der Daten des DGM 1 und der Verschneidung der Grundstücksgrenze des bahneigenen Grundstücks mit dem Böschungsfuß wird diesbezüglich zu vernetzende Fläche mit etwa 185 m² bis 200 m² abgeschätzt.

Die Stützmauer am Böschungsfuß weist deutliche Anzeichen von unzureichendem/fehlendem Kraftschluss mit dem Gebirge und von Instabilität auf. Sie befindet sich insgesamt augenscheinlich in einem schlechten Zustand und sollte vor der Übernetzung rückgebaut werden. Der N' Böschungsbereich ist im Anschluss erdbautechnisch anzuarbeiten.

Es ist zudem festzuhalten, dass die geotechnische Gesamtsituation an der Böschung des S' gelegenen Nachbargrundstücks dem untersuchten Bereich entspricht und daher das Sicherheitsniveau vergleichbar ist. Es wird empfohlen, auch die Böschungsbereiche auf bahneigenem Grundstück oberhalb der aufstehenden Bebauung des S' angrenzenden Nachbargrundstücks geotechnisch zu begutachten und die Steinschlaggefährdung und das damit verbundene Risiko einzuschätzen²⁰. Dies gilt sinngemäß für die Böschungsbereiche, die Teil des S' angrenzenden Nachbargrundstücks sind²¹.

¹⁹ Sofern die Hangschuttdecken Mächtigkeiten > 1 m aufweisen, sollten für die Verankerung der Vernetzung Injektionsbohranker, bspw. IBO 40/16 mm bzw. IBO 30/11 mm, zur Anwendung gelangen

²⁰ Sofern diese Bereiche vgl.bar o.g. Maßnahmen zu sichern wären, müssten weitere rd. 135 m² Böschung stabilisiert werden

²¹ Sofern diese Bereiche ebenfalls vgl.bar o.g. Maßnahmen zu sichern wären, wären hierfür rd. 215 m² Böschungsstabilisierung erforderlich

9 Hinweise zur weiteren Planung

Für Mikropfähle gilt die DIN EN 14199:2015-07 nebst DIN EN 14199 Berichtigung 1:2016-09 und einschließlich DIN SPEC 18539:2012-02 in Verbindung mit DIN EN 1997-1:2014-03.

Im Hinblick auf die zu erstellenden Planungs- und Ausschreibungsunterlagen wird empfohlen, für eine verlässlichere Festlegung der Mengenvordersätze an Material (Netzfläche, Anzahl Rückverankerungen) die Felsböschung – erforderlichenfalls nach erneutem Freischnitt – zu vermessen und ein möglichst hochgenaues 3D-Geländemodell zu erstellen. Dies kann schnell und wirtschaftlich mittels einer ULS-Befliegung erfolgen.

Nach Ril 836.4102 müssen alle Sicherungselemente aus nicht vergütetem Stahl einen auf die Nutzungsdauer (i. d. R. 75 Jahre) abgestimmten Korrosionsschutz aufweisen. Bei den vorgeschlagenen oder vergleichbaren Verankerungselementen ist eine Mörtel-/Zementsteindeckung des Stahltragglieds und der Verbindungselemente von 20 mm für die Expositionsklassen XC1 bis XC4 als Korrosionsschutz ausreichend. Der letzte Meter des Stahltragglieds inkl. Überstand aus dem verpressten Bohrloch ist mit einer Feuerverzinkung entsprechend DIN EN ISO 1461 vor Korrosion zu schützen. Auf einen Korrosionsschutz kann nach Ril 836.4102 verzichtet werden, wenn *„ersatzweise beim Standsicherheitsnachweis des Schutzsystems bei den Profilen unter Berücksichtigung der Umwelteinflüsse mindestens ein Abrostungszuschlag durch die Reduzierung des Widerstandsmomentes auf 90% und bei den Ankern, Grund- und Krallplatten beim Querschnitt ein um 4 mm reduzierter Durchmesser bzw. eine um 4 mm reduzierte Dicke angesetzt wird“*. Unabhängig davon ist generell die Verwendung vollverzinkter Bauteile empfehlenswert.

Die Ausführung der Steinschlagschutzvernetzung ist im Zuge der Vor- und Entwurfsplanung tragwerksplanerisch vorzudimensionieren und ggf. durch einen Varianten- und Kostenvergleich zu untersetzen.

10 Hinweise zur Bauausführung

Vor Beginn der Baumaßnahmen sind überwüchsige Sträucher und Bäume auf Stock zu setzen/ein erneuter Vegetationsrückschnitt vorzunehmen, um eine weitere Entfestigung des Gebirges durch Wurzeldruck weitmöglichst zu unterbinden. Die freiliegenden Felsoberflächen sollten schonend von lockerem, blockigem Schutt beräumt werden. Im Anschluss ist eine nochmalige, auch seilgesicherte, Begehung der freiliegenden Felsbereiche durch den Fachplaner bzw. den Ersteller des Berichts zur vereinfachten Baugrunduntersuchung zielführend, um nachbruchgefährdete, stark aufgelockerte/entfestigte Gesteinskörper erkennen und gezielt abstoßen zu können und die Sicherungsmaßnahmen im Detail an vorher nicht zugängliche bzw. nicht einsehbare Böschungsflächen anpassen zu können.

Die Vernetzung ist formschlüssig an die Geländeoberfläche anzupassen und zu verankern.

Lage und endgültige Abmaße der Steinschlagschutzvernetzung und insbesondere das Rückverankerungsraster und die Einbindetiefe für Anker/Nägel bzw. Mikropfähle sind daher abschließend im Zuge der Ausführungsplanung unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse und der statischen und konstruktiven Erfordernisse festzulegen.

Zur Überprüfung der angegebenen Bruchwerte der Mantelreibung $q_{s,k}$ und zur Optimierung der Mikropfahllängen wird empfohlen, entsprechend der einschlägigen Normen und technischen Regelwerke/Zulassungen zu Beginn der Baumaßnahmen an mindestens 2 Mikropfählen bzw. wenigstens 3 % aller Pfähle Eignungsprüfungen (Probebelastungen) in Form von Zugversuchen (Beanspruchung bis zum Versagen) dort durchzuführen, wo das Verankerungselement durchgehend in Festgestein einbindet und die ungünstigsten Ergebnisse zu erwarten sind und durch Rückrechnung den Bruchwert der Mantelreibung $q_{s,k}$ ²² zu verifizieren.

Für die Bohrarbeiten ist die erhöhte Abrasivität der (Mittel)sandsteine und damit der überwiegend mittlere bis hohe Verschleiss der Bohrwerkzeuge und die reduzierte Bohrbarkeit zu beachten.

Auf Grund der hohen Wasserdurchlässigkeit des Hangschuttes bzw. der teilweise offenen bzw. gemäßigt weiten Trennflächen im Fels kann nicht ausgeschlossen werden, dass beim Verpressen der Mikropfähle ein hoher Suspensionsverlust auftritt. Sind die verpressten Mörtel-/Zementmengen unverhältnismäßig hoch, können alternativ verrohrte Bohrungen in Kombination mit Felsnägeln ausgeführt werden. Die Nägel sollten dann zur Begrenzung der Suspensionsverluste mit einem geotextilen Injektionsstrumpf eingebaut werden. Die Empfehlungen zur Durchführung von Probebelastungen entsprechend der einschlägigen Normen und technischen Regelwerke/Zulassungen bleiben hiervon unberührt – um sicherzustellen, dass die erforderlichen Gebrauchslasten erreicht werden, sind entsprechende Anker jedoch gezielt mittels Ankerzugversuchen zu prüfen.

11 Leitungen/Kabelanlagen, Bauhindernisse; Kampfmittel

Leitungen/Kabelanlagen, Bauhindernisse

Recherchen hinsichtlich im Projektgebiet vorhandener Leitungen/Kabelanlagen der Bahn oder Dritter sowie hinsichtlich Bauhindernissen (bspw. Nutzungs-/Fundamentrecherchen) waren nicht Gegenstand der Beauftragung.

Unabhängig davon, dass ob der Lage des Projektgebietes unterhalb der Bahnstrecken zu-

²² Es wird zudem empfohlen, die Verpressstrecke entsprechend – bspw. auf weniger als 2 m zu verringern – damit die Bruchmantelreibung erreicht wird, bevor das Stahlglied versagt

nächst angenommen werden kann, dass in diesem wahrscheinlich keine bahneigenen Leitungen verlegt sind, wird empfohlen, im Zuge der weiteren Planung entsprechende Recherchen bei den zuständigen Stellen der Bahn vorzunehmen. Dies gilt sinngemäß für grundstückseigene Versorgungsleitungen und Entwässerungsanlagen (Anschlusskanälen/Grundleitungen) des S´ angrenzenden Nachbargrundstücks.

Des Weiteren kann vor dem Hintergrund der mehrfachen Umbauten und Nutzungsänderungen im Bereich der gegenständlichen Grundstücke das Vorkommen von Bauwerks(resten) wie Düngegruben, Öltanks, Altfundamente und dgl. im Bereich der Hoffläche nicht ausgeschlossen werden.

Kampfmittel

Recherchen hinsichtlich der Kampfmittelfreiheit waren nicht Gegenstand der Beauftragung.

Unabhängig davon, dass (im Hofbereich) ein nur geringmächtiges Gefährdungsband vorliegen dürfte, wird empfohlen, bei zuständigen Ordnungsbehörde einen Antrag auf Luftbilddauswertung zu stellen. Es wird darauf hingewiesen, dass bei Baumaßnahmen/Erdarbeiten mit erheblichen mechanischen Belastungen wie Rückverankerungen sowie vergleichbare Arbeiten, bei denen erhebliche mechanische Kräfte auf den Boden ausgeübt werden – zumindest im Hofbereich – zusätzlich Sicherheitsdetektionen (vorlaufende Sicherheitsüberprüfungen im Tiefensondierverfahren in bauseits hergestellten und mit PVC-Rohren DN 60 ausgebauten Bohrlöchern) gem. dem Merkblatt für Baugrundeingriffe des Kampfmittelbeseitigungsdienstes Rheinland der Bezirksregierung Düsseldorf in der jeweils aktuell gültigen Fassung (zum Zeitpunkt der Berichterstellung: [15]) durchzuführen sind. Der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass sich zum 01.06.2022 die Kampfmittelverordnung geändert hat – zulässig ist nunmehr, jeweils auf Flächen ohne konkrete Hinweise auf eine Kampfmittelbelastung, die Durchführung von Bohrlochdetektionen im Rahmen von Spezialtiefbaumaßnahmen sowie die baubegleitende Kampfmittelräumung, nachdem die anerkannten Detektionsverfahren nicht ergebnisorientiert eingesetzt werden konnten. Details können dem entsprechenden Leitfaden [16] entnommen werden.

Unabhängig davon ist das Merkblatt für Baugrundeingriffe [15] in der jeweils aktuell gültigen Fassung bei der gesamten Bauausführung grundsätzlich zu beachten.

12 Zusammenfassung, abschließende Bemerkungen

An der DB-Strecke 2525 Neuss – Schwelm-Linderhausen wird bei etwa Bahn-km 34,215 bis Bahn-km 34,240 ein mittleres bis sehr hohes Risiko für die unterhalb der S´ Böschung des W´ Widerlagers der Brücke, mit der in Wuppertal-Elberfeld die Strecken 2525 und 2550 über das Tal der Wupper geführt werden, gelegenen Hofflächen in Folge Steinschlag festgestellt. Die Hofflächen sind nur z. T. auf bahneigenem Grundstück gelegen.

In der gegenständlichen Böschung steht eine etwa 15 m bis 20 m hohe, bis zu rd. 75° steile Felsböschung an, die aufgrund ihres Trennflächengefüges und der festgestellten Gebirgsauflöckerung/-entfestigung als potenziell mäßig bis hoch steinschlaggefährdet einzustufen ist. Die Länge der Böschung an ihrem Fuß beträgt auf bahneigenem Grundstück rd. 13 m.

Das maximale potenzielle Gesteinskörpervolumen ist mit $\leq 0,7 \text{ m}^3$, lokal – bei Auftreten weitständiger Trennflächen sehr hohen Durchtrennungsgrades – auch mit 2 m^3 abzuschätzen und für die weitere Planung und die Dimensionierung der Sicherungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

Die anstehenden Festgesteine weisen überwiegend eine mäßig hohe bis hohe einaxiale Druckfestigkeit σ_c von 25 MPa bis 100 MPa und eine erhöhte Abrasivität auf.

Auf Grund der im Rahmen der vereinfachten Baugrunduntersuchung festgestellten geotechnischen Verhältnisse wird empfohlen, die gegenständliche Böschung unter Rückbau der sich insgesamt in einem schlechten Zustand befindlichen Stützmauer am Böschungsfuß mit einer hochfesten Steinschlagschutzvernetzung zu sichern. Es wird empfohlen, auch die S' angrenzenden Böschungsbereiche geotechnisch zu begutachten und die Steinschlaggefährdung und das damit verbundene Risiko einzuschätzen.

Technische Details zur Ausführung der Vernetzung (Netz-Typ, Rückverankerungsraster, Einbindetiefe der Mikropfähle) sind im Zuge der weiteren Planung festzulegen und rechnerisch nachzuweisen. Im Hinblick auf eine verlässliche Planungsgrundlage werden detaillierte Vermessungsdaten (möglichst hochgenaues 3D-Geländemodell) benötigt.

Im Zuge der Arbeiten zur Fels- und Hangsicherung ist sorgfältig zu überprüfen, ob die ange troffenen Baugrundverhältnisse mit den im Gutachten beschriebenen übereinstimmen. Im Zweifelsfall ist die Sakosta zur weiteren Beratung hinzuzuziehen.

Der Bericht zur vereinfachten Baugrunduntersuchung ist nur in seiner Gesamtheit gültig.

Die Sakosta ist gerne bereit, bei dem weiteren Vorgehen beratend zur Seite zu stehen und fachliche Entscheidungshilfen zu geben.

Düsseldorf, April 2024


i. A. Dipl.-Geol. H. Zuther


i. A. Dipl.-Geol. B. Schulz

13 **Literatur- und Quellenverzeichnis**

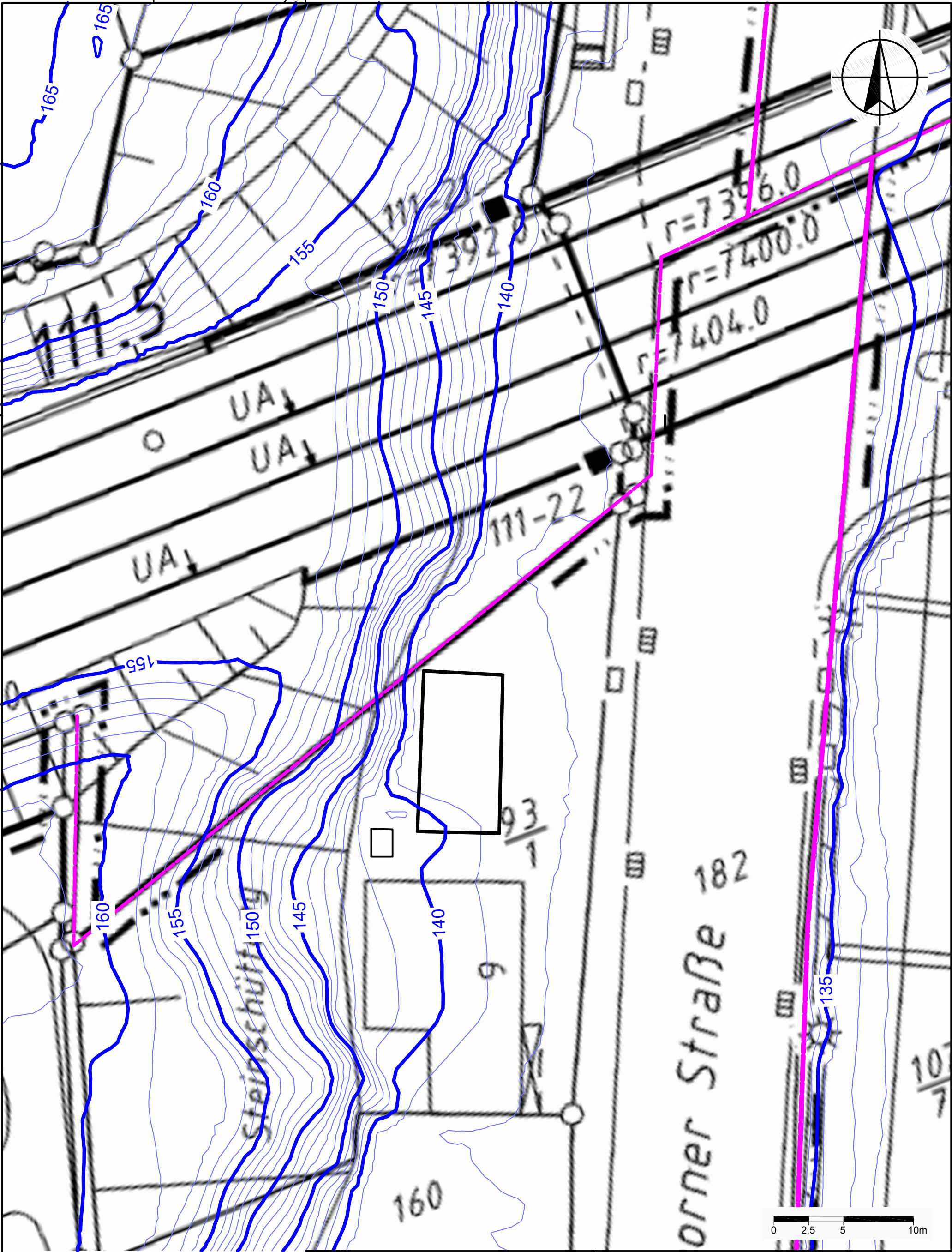
- [1] DB Netz AG, Regionalbereich West, Konstruktiver Ingenieurbau – Fachplanung (I.NI-W-T 5): Einzelvertrag Nr. A217165 zum Rahmenvertrag für Leistungen der Geotechnik der Region West Nr. 1000/EBO/92301788 – Bodengutachten 2525 FHS Sonnborner Straße. Duisburg, 18.10.2023
- [2] DB Netze, I.NP-W-I(D) [Planverfasser]: IVl 2550 HE, Str 2550 Aachen – Kassel km 111,2+7 ... 111,6+93/Str. 2525 km 33,9+31 ... km 34,4+19 – Lageplan 1 : 1.000. Frankfurt/Main., 09.02.2011 (Norm. 01/2018).- (2550HE_K.pdf)
- [3] Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH [Verfasser]: Felsböschung Sonnborner Str. 6 / Wuppertal (P 44.9298) – Vermerk zu Beräumungsarbeiten. Witten, 21.03.2023.- (2023_03_Vermerk_Beräumungsarbeiten.pdf)
- [4] DB Netz AG, Regionalbereich West, Konstruktiver Ingenieurbau – Fachplanung (I.NI-W-T 5): Maßnahme A217165 Bodengutachten 2525 FHS Sonnborner Straße (Projekt-Nr. T.016075808) - Leistungsanfrage. Duisburg, 06.10.2023
- [5] DB Netz AG, Regionalbereich West, Konstruktiver Ingenieurbau – Fachplanung (I.NI-W-T 5): Maßnahme A217165 Bodengutachten 2525 FHS Sonnborner Straße (Projekt-Nr. T.016075808) – Lage-skizze und 4 Photos der Örtlichkeit. Duisburg, ohne Datum
- [6] <https://3dcityloader.com>
- [7] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: NRW Umweltdaten vor Ort (<http://www.uvo.nrw.de>); Abfrage vom 19.04.2024, 11:00 Uhr
- [8] Ministerium des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen: Geoportal NRW (<https://www.geoportal.nrw>); Abfrage vom 28.03.2024, 09:58 Uhr
- [9] <https://www.brd.nrw.de/themen/umwelt-natur/wasserwirtschaft/grundwasser-und-wasserversorgung/wasserschutzgebiete-und.html> Abfrage vom 19.04.2024, 10:45 Uhr
- [10] Geologischer Dienst Nordrhein - Westfalen [Hrsg.]: Geologische Karte von Nordrhein–Westfalen 1 : 100.000, Blatt C 4706 Düsseldorf. Krefeld : GD NRW, 2007.- (2. Aufl.)
- [11] Geologisches Landesamt Nordrhein - Westfalen [Hrsg.]: Geologische Karte von Nordrhein–Westfalen 1 : 25.000, Blatt 4708 Wuppertal-Elberfeld. Krefeld : GLA NRW, 1979.- (2. Aufl.)
- [12] Geologischer Dienst Nordrhein – Westfalen [Hrsg.]: Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen der Bundesrepublik Deutschland 1 : 350.000, Bundesland Nordrhein–Westfalen. Krefeld : GD NRW, 2006

- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau [Hrsg.]: Merkblatt über das Bauen mit und im Fels. Köln : FGSV, 2015
- [14] Thuro, K.: Geologisch-felsmechanische Grundlagen der Gebirgslösung im Tunnelbau. München : TUM/LMUM, 2002.- (Münchner Geol. Hefte, Reihe B: Angewandte Geologie Bd. 18)
- [15] Merkblatt für Baugrundeingriffe 30.03.2016. (https://www.brd.nrw.de/system/files/migrated_documents/media/document/2019-12/merkblatt_fuer_baugrundeingriffe.pdf; Abfrage vom 03.11.2023, 17:38 Uhr)
- [16] Kampfmittelbeseitigungsdienst Nordrhein-Westfalen [Hrsg.]: Leitfaden des Kampfmittelbeseitigungsdienstes in Nordrhein-Westfalen für die Durchführung von Bohrlochdetektionen und Baubegleitender Kampfmittelräumung gemäß der Kampfmittelverordnung vom 16. März 2022 (https://www.brd.nrw.de/system/files/media/document/2023-06/20230601_2_22_Leitfaden-Kampfmittelverordnung.pdf)

Anlagen

Anlage 1
Lageplan
des Untersuchungsbereiches 1 : 250
(1 Plan)

Vorliegender Plan beruht auf überlassenen Planunterlagen und stellt nur die untersuchungsrelevanten Belange sowie schematisch die örtlichen Gegebenheiten dar. Für Fehler in diesen überlassenen Planunterlagen übernimmt die Sakosta GmbH keine Haftung



Legende:

- 45 5m - Höhenlinien
- 44 1m - Höhenlinien

<div><div><div><div><div></div><div>Sakosta</div></div><div>Ingenieur- und Sachverständigenleistungen</div><div>Boden Bauten Umwelt</div></div></div><div><div>Sakosta GmbH</div><div>Liststraße 50 40470 Düsseldorf</div><div>Telefon +49 (0)211 / 171 831 E-Mail duessel@sakosta.de www.sakosta.de</div></div></div>	Planbezeichnung		Bauteil		
	Lageplan des Untersuchungsbereiches		-		
Auftraggeber	Plangrundlagen:		Planinhalt		
	Quelle DGM: 3dcityloader.com		Lageplan		
Projekt	23DU00183-1	Projektnr.	bearbeitet	Anlagen-Nr.	Maßstab
			BSC 22.04.2024	1	1:250
		gezeichnet	Blattgrösse		
		ASH 22.04.2024	ISO full bleed A3		
		geprüft	Plotdatum	Index	
		BSC 22.04.2024	22 April 2024 15:43	-	

Anlage 2

Photodokumentation

(11 Seiten)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Felsböschung am W' Widerlager der DB-Brücke über die Wupper, aufgenommen mit einer 360°-Kamera (19.03.2023)	3
Abbildung 2	Überhängende Schichtpakete und alte Ausbruchbereiche im oberen, S' Teil der Böschung (14.02.2024)	4
Abbildung 3	Ausbruchbereich 03.03.2023 und hangauswärts einfallende Kluffflächenschar k_3 (14.03.2024)	5
Abbildung 4	Infolge Unterschneidung der Schichtung ss ausgebrochener Gesteinskörper (14.02.2024) mit Bezeichnung der Trennflächen.....	6
Abbildung 5	Vernässter Bereich in inkompetenteren, tonschieferbetonten Partien oberhalb der Stützmauer (14.03.2024)	7
Abbildung 6	Spezialfältelung in den Tonschiefern am Böschungsfuß hinter der Garage (14.03.2024)	8
Abbildung 7	Risse in der Verputzung der Stützmauer, S' Bereich (14.02.2024); Höhe des Maßstabs 40 cm.....	9
Abbildung 8	Fehlende/erodierte Verfugung des Ziegel- und Natursteinmauerwerks der Stützmauer (14.02.2024).....	10
Abbildung 9	Fehlender Kraftschluss Stützmauer/Gebirge hinter der Garage auf dem S' Nachbargrundstück (14.02.2024)	11

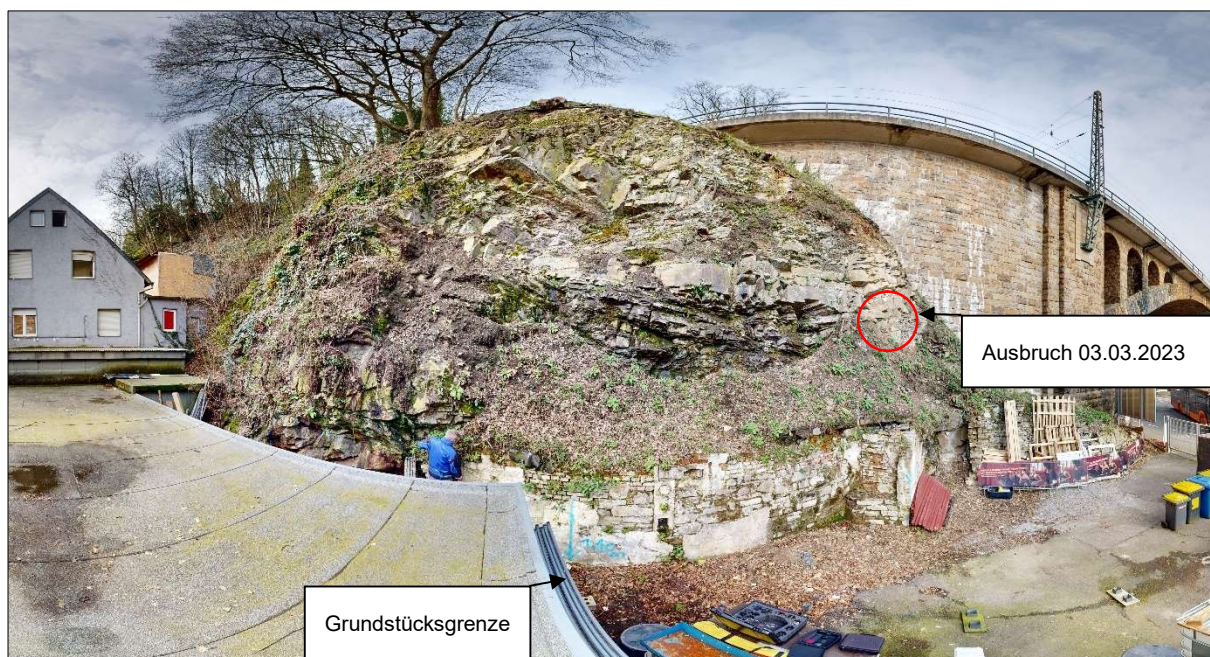


Abbildung 1 Felsböschung am W' Widerlager der DB-Brücke über die Wupper, aufgenommen mit einer 360°-Kamera (19.03.2023)



Abbildung 2 **Überhängende Schichtpakete und alte Ausbruchbereiche im oberen, S' Teil der Böschung (14.02.2024)**

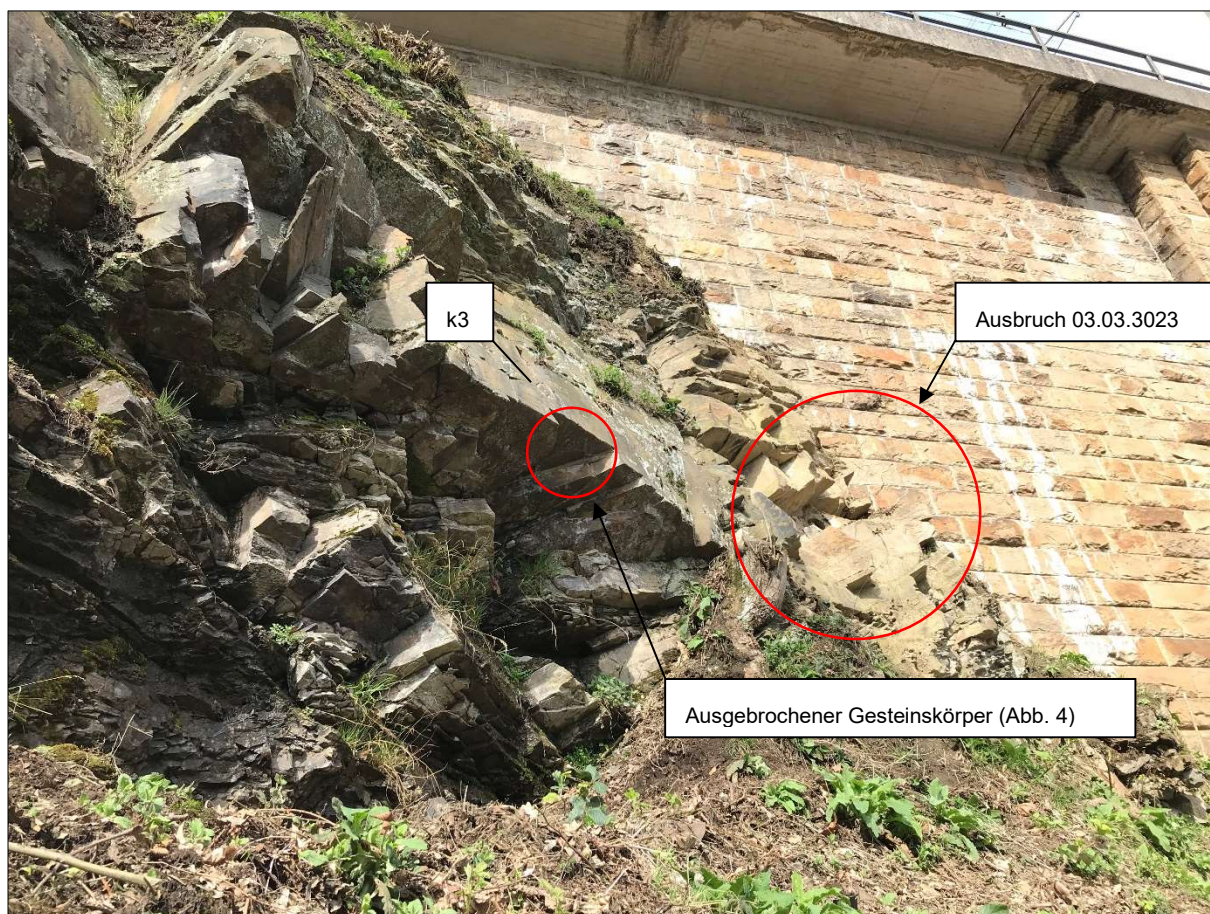


Abbildung 3 Ausbruchbereich 03.03.2023 und hangauswärts einfallende Kluftflächenschar k_3 (14.03.2024)

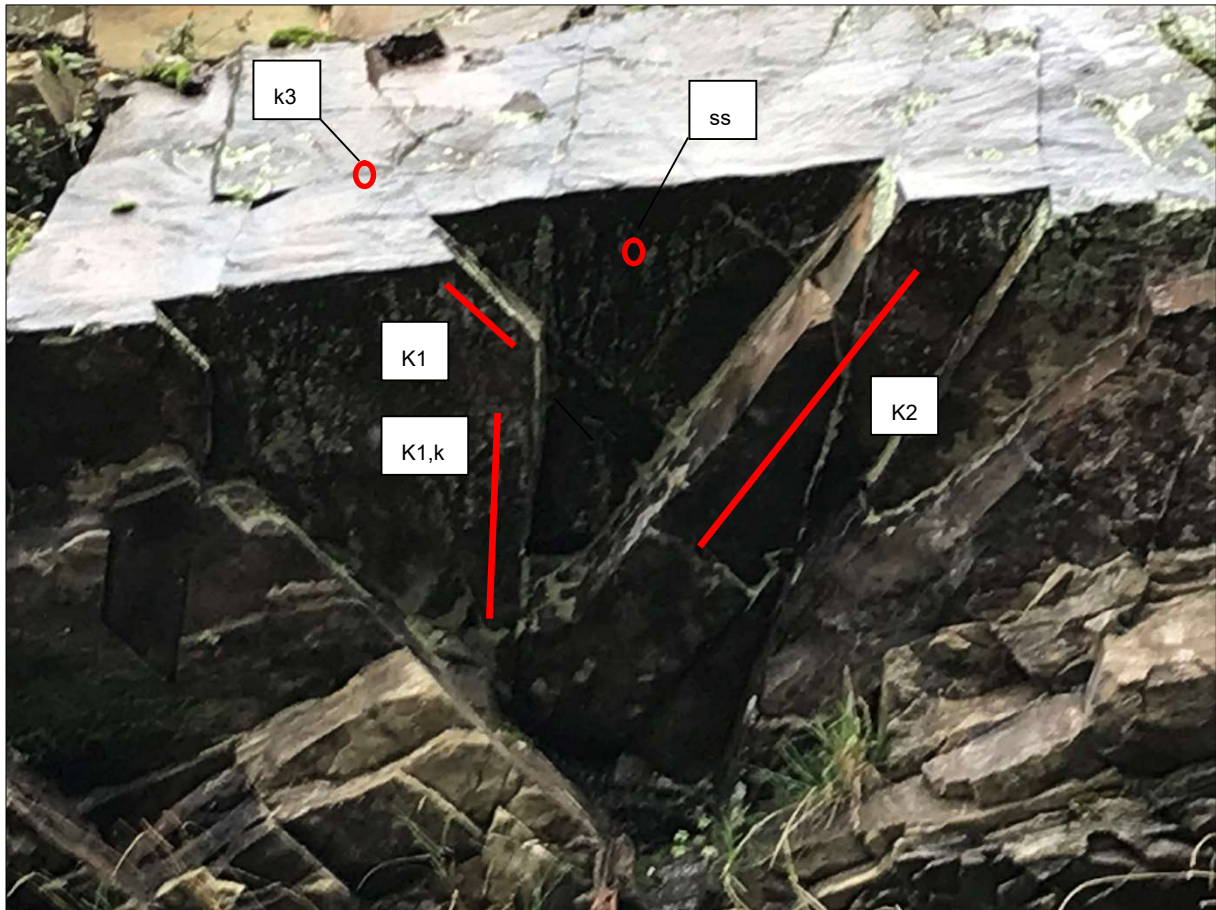


Abbildung 4 Infolge Unterschneidung der Schichtung ss ausgebrochener Gesteinskörper (14.02.2024)
mit Bezeichnung der Trennflächen



Abbildung 5 Vernässter Bereich in inkompetenteren, tonschieferbetonten Partien oberhalb der Stützmauer (14.03.2024)

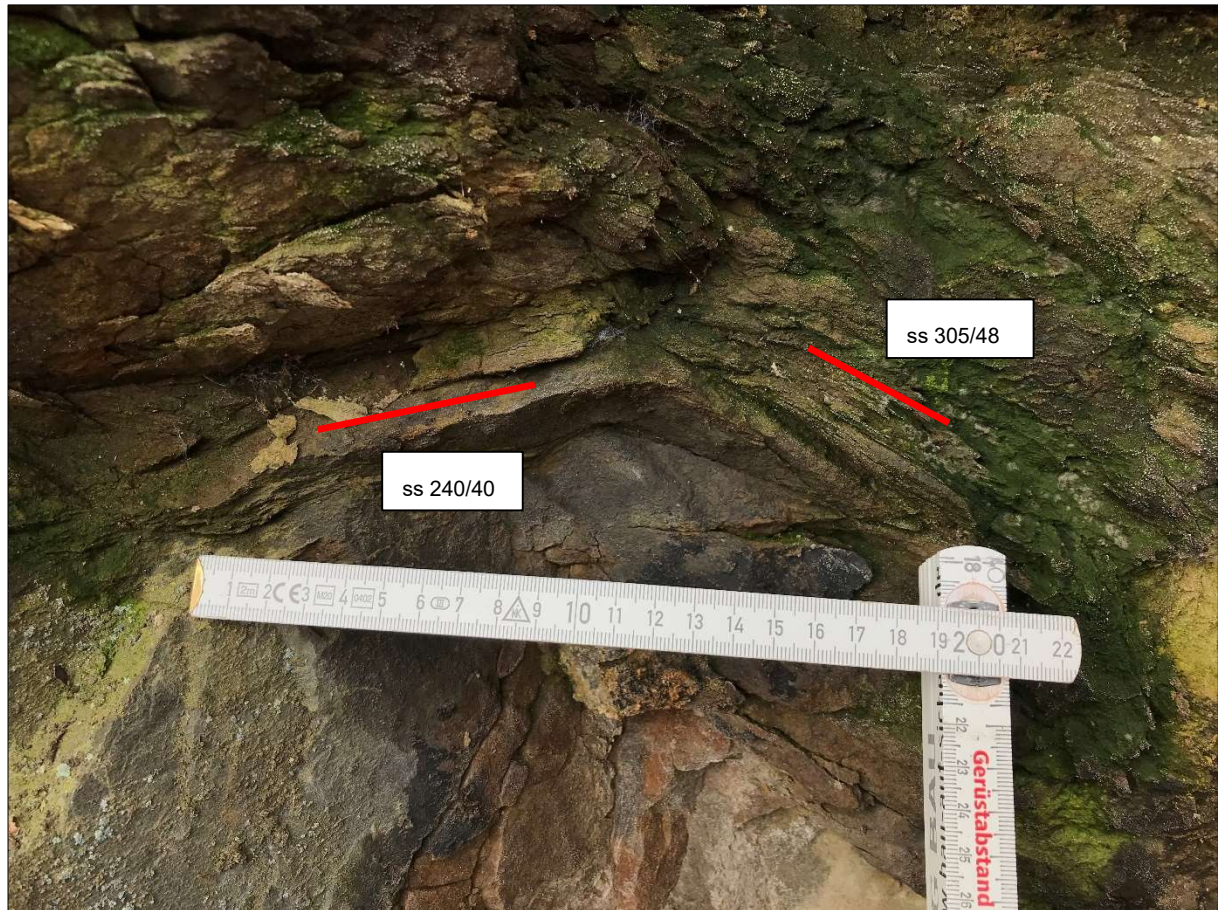


Abbildung 6 Spezialfältelung in den Tonschiefern am Böschungsfuß hinter der Garage (14.03.2024)



Abbildung 7 Risse in der Verputzung der Stützmauer, S´ Bereich (14.02.2024); Höhe des Maßstabs 40 cm



Abbildung 8 **Fehlende/erodierte Verfugung des Ziegel- und Natursteinmauerwerks der Stützmauer**
(14.02.2024)



Abbildung 9 **Fehlender Kraftschluss Stützmauer/Gebirge hinter der Garage auf dem S' Nachbargrundstück (14.02.2024)**