

22-057 Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach: BW 231 Talbrücke Wächtelesäcker
Geotechnischer Bericht

Auftraggeber

Stadt Heilbronn
 Amt für Straßenwesen
 Cäcilienstraße 49
 74072 Heilbronn
 Tel: 07131/56-0
 Herr Dipl.-Ing. M. Sadlowski (D:-4478)
 E-Mail: martin.sadlowski@heilbronn.de

Planer

IngenieurGruppe Bauen
 Beratende Ingenieure PartG mbB
 Fritz-Erler-Straße 25
 76133 Karlsruhe
 Tel: 0721/82 99-0
 Herr Dipl.-Ing. J. Seiler (D:-105)
 E-Mail: josef.seiler@ingenieurgruppe-bauen.de

Ort und Datum

Stuttgart, 28.10.2022

Verteiler

Digital und 1fach in Papierform an die Beteiligten

Textseiten; Anlagen

34; 1.1 bis 6.2 (80 Blatt)

Bericht-Nr.; Zeichen

876529-01; SI/DT/LS/Rx/Rb

Projektleiter

Dipl.-Geol. Dieter Tronich (D:-33)

Bearbeiter Bautechnik

Dipl.-Ing. Torsten Rexhäuser (D:-24)

Bearbeiter Baugrund

Dipl.-Geol. Philipp Schlittenhardt (D:-62)

Bearbeiter Umwelttechnik

Leonard Schulte, M.Sc (D:-21)

i.v. T. R.



<u>Inhalt</u>	Seite
1 Bezug und Unterlagen	3
2 Lage und Bauwerksbeschreibung	4
3 Untersuchungsumfang	6
4 Baugrund und bergbaubedingte Senkungen	8
5 Grundwasser	12
6 Eigenschaften von Böden und Fels	13
6.1 Ergebnisse der Feldversuche	14
6.2 Ergebnisse der Laborversuche	15
6.3 Klassifikation und charakteristische Kennwerte	18
6.4 Homogenbereiche	20
6.5 Orientierende abfalltechnische Untersuchungen	22
7 Bautechnische Folgerungen	24
7.1 Gründung	24
7.2 Herstellen der Baugruben	28
7.3 Anschlussdämme	29
7.4 Hinterfüllung und Erddruck, Entwässerung	30
8 Mitwirkung bei der Bauplanung und Ausführung	33
<u>Anlagen</u>	
siehe Anlagenverzeichnis	34

1 Bezug und Unterlagen

Auftrag: Durch die Stadt Heilbronn wurden wir am 05.04.22 auf der Grundlage unseres Leistungs- und Honorarvorschlags vom 01.03.22 beauftragt, für den Neubau der Talbrücke Wächtelesäcker (BW 231), die im Zuge der geplanten Nordumfahrung (NU) Frankenbach/Neckargartach errichtet werden soll, eine Baugrunderkundung zu planen, zu betreuen und durchzuführen sowie einen Geotechnischen Bericht zu erstellen.

Außerdem umfasste der Auftrag orientierende Schadstoffuntersuchungen an Bodenproben aus der Baugrunderkundung und die Bewertung dieser Untersuchungen.

Darüber hinaus wurden wir, mit gesondertem Auftrag, mit der geo- und umwelttechnischen Beratung zur geplanten Feldwegbrücke im Näpfle (BW 232) betraut. Den diesbezüglichen Geotechnischen Bericht legen wir separat vor.

Bereits im Jahr 2021 hatten wir im Auftrag der Stadt Heilbronn entlang der Trasse der geplanten Nordumfahrung eine bodenkundliche Erkundung durchgeführt und hierzu am 08.10.21 ein Bodenschutzkonzept vorgelegt.

An Unterlagen für die geplante Talbrücke BW 231 erhielten wir vom Auftraggeber per Download-Link am 11.02.22 zusammen mit der Anfrage:

- Bericht des Planers, der Ingenieurgruppe Bauen, Karlsruhe, zur Vorzugsvariante im Zuge der Vorplanung vom 30.06.20,
- Bauwerksskizze (M 1:200/50) zur Vorzugsvariante 1a mit Draufsicht, Ansicht, Längsschnitt, Regelquerschnitt und Draufsicht Fundament/Sockel, Vorentwurf mit Stand vom 07.12.17,
- Geotechnische Stellungnahme des Ingenieurbüros Roth & Partner, Karlsruhe (im Folgenden R&P genannt), zur Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach BW 231 Talbrücke Wächtelesäcker (km 3+130 – km 3+230) vom 22.06.18,
- Stellungnahme von R&P zum ergänzenden Erkundungsprogramm für BW 231 und BW 232 vom 07.05.19,
- Geotechnische Prüfung der o.g. Stellungnahme von R&P aus dem Jahr 2018 durch das Amt für Straßenwesen der Stadt Heilbronn vom 27.10.21,

per E-Mail am 07.07.22:

- 1 Lageplan (M 1:500) der Bohransatzpunkte der aktuellen Erkundung mit Angabe der Koordinaten (Lage: UTM/Höhe: DHHN2016), Stand 07.07.22,

per E-Mail am 13.07.22 nachfolgend aufgeführte Unterlagen zu den vom Steinsalzabbau herührenden Setzungen im Bereich der geplanten Trasse:

- Tabellarische Auflistung von Vermessungsdaten der Geländeoberfläche an ausgewählten Punkten aus den Jahren 1982 bis 2020, ohne Datumsangabe,

- Tabellarische Auflistung von Vermessungsdaten der Geländeoberfläche an ausgewählten Punkten aus den Jahren 2000 bis 2012, Stand 06.10.16,
- 2 Planauszüge (M 1:10.000) aus dem Geodatenportal der Stadt Heilbronn mit Lage der Geländehöhenmesspunkte, Stand 06.10.16,
- Isolinienplan (ohne Maßstabsangabe) der Setzungen im Bereich der geplanten Trasse im Zeitraum 1982 bis 2020, ohne Datum,
- 2 Schreiben der Südwestdeutschen Salzwerke AG zur Baumaßnahme "Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach" vom 18.10.16 und 17.11.17,

per E-Mail am 18.07.22:

- Tabellarische Auflistung der Koordinaten der Bohransatzpunkte der aktuellen Erkundung und

per E-Mail am 18.08.22 weitere Unterlagen zu den vom Steinsalzabbau herrührenden Setzungen im Bereich der geplanten Trasse, wobei wir hier nicht relevante bzw. bereits o.g. Unterlagen nicht erneut aufführen:

- Isolinienplan (ohne Maßstabsangabe) der Senkungen im Zeitraum 1986 bis 2020 und
- Ganglinien von Setzungsmessungen bis 2016.

Außerdem standen uns zur Verfügung:

- Blatt 6821 Heilbronn der Geologischen Karte (M 1:25.000) von Baden-Württemberg mit Erläuterungen, Stuttgart 1986,
- Ingenieurgeologische Karte von Baden-Württemberg: Baugrundkarte (M 1:15.000) von Heilbronn, Freiburg i. Br. 2005,
- Hydrogeologische Karte (M 1:25.000) Baden-Württemberg: Heilbronner Mulde, Freiburg i. Br. 1995 und
- Blätter NO 64/09 und 65/09 der Höhenflurkarte (M 1:2.500) von Württemberg, Stand 1900.

2 Lage und Bauwerksbeschreibung

Lage: Um das zukünftig zu erwartende Verkehrsaufkommen im Norden des Stadtgebiets zu bewältigen, plant die Stadt Heilbronn eine rund 4,5 km lange Nordumfahrung der Stadtteile Frankenbach und Neckargartach. Die Trasse der Umfahrung verläuft von Westen, von der Bundesstraße B 39, kommend, südlich und südöstlich des Industriegebiets Böllinger Höfe über das Gartacher Feld, eine leicht gewellte Verebnungsfläche oberhalb des Heilbronner Beckens. Im Osten fällt die Trasse zur rund 25 m tiefer gelegenen Neckaraue ab und schließt rund 100 m westlich des Neckars an die Landesstraße L 1100 an.

Im Zuge der Herstellung der Nordumfahrung ist auf dem Gartacher Feld unter anderem der Bau von zwei Brücken: BW 231 Talbrücke Wächtelesacker und BW 232 Feldwegbrücke am

Näpfe vorgesehen (Anlage 1.1).

Das Baufeld der Talbrücke liegt in einer Senke, in der von Südwest nach Nordost der zeitweise wasserführende Wächtelesgraben verläuft. Im Osten quert ein Feldweg von Nord nach Süd das Baufeld. Ein weiterer Feldweg verläuft rund 30 m südlich des Baufelds von West nach Ost.

Zum Zeitpunkt der Erkundung lagen im Westen und Osten des Baufelds Ackerflächen. Dazwischen befand sich eine Streuobstwiese (Anlage 1.2).

Die Trasse für die geplante Nordumfahrung verläuft über dem Grubengebäude des Bergwerks Heilbronn, in dem von Ende der 1970er Jahre an bis Ende der 1990er Jahre bergmännisch Steinsalz abgebaut wurde. Der größte Teil der abgebauten Kammern wurde gemäß den Angaben der Südwestdeutschen Salzwerte AG bereits wieder verfüllt oder befindet sich in Verfüllung.

Seit 1986 wird vierjährlich die Höhe der Geländeoberfläche über dem Bergwerk an zahlreichen Messpunkten vermessen, siehe Abschnitt 4.

Entsprechend den Höhenflurkarten aus dem Jahr 1900 lag das Ursprungsgelände in etwa auf dem heutigen Niveau; Hinweise auf künstliche Aufschüttungen oder Geländeabtragungen, die zwischen damals und heute erfolgt hätten sein können, ergeben sich aus den Karten nicht.

Gemäß dem Online-Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) liegt das Untersuchungsgebiet im (noch) nicht rechtskräftigen, fachtechnisch abgegrenzten Wasserschutzgebiet Neckarsulm (Neckartalaue).

Die geodätischen Grundstücksdaten sind in Anlage 2 angegeben.

Bauwerksbeschreibung: Der Überbau der Talbrücke soll für 3 Fahrbahnen je 3,5 m, also eine Gesamtfahrbahnbreite von 11,5 m, ausgelegt werden. Die Vorzugsvariante 1a der Vorentwurfsplanung sieht einen Spannbetonüberbau, welcher bei einer Gesamtlänge von 90 m über 5 Felder mit Einzelstützweiten von 2 x 16,5 m und 3 x 19 m spannt. Das Bauwerk ist in semi-integraler Bauweise mit in der Dammschüttungen hochgesetzten Widerlagern und Stahlrohrstützenpaaren \varnothing 500 mm in den 4 Pfeilerachsen geplant. Die Höhen der Anschlussdämme betragen rund 7,5 m auf der Westseite (Achse 0) und rund 6 m auf der Ostseite (Achse 5).

Seitens des Planers wurden dem Büro R&P vertikale Bemessungslasten des westlichen und östlichen Widerlagers im Bereich von rund 1,4 MN bis 7,6 MN und die vertikalen Bemessungslasten der Brückenpfeiler im Bereich von rund 1,8 MN bis 12 MN angegeben. Zudem sind die Setzungsdifferenzen zwischen Widerlager- und Pfeilerfundament bzw. zwischen den Pfeilerfundamenten auf 1 cm bis 2 cm zu begrenzen, also maximale relative Setzungsdifferenzen ($\Delta s/l$) von rund 0,001.

Das Bauwerk ist gemäß DIN 1054 in die Geotechnische Kategorie 3 (GK 3) einzuordnen. Diese Einordnung resultiert aus der Lage im Bergsenkungsgebiet.

3 Untersuchungsumfang

Bereits in den Jahren 2016/17 hatte das Ingenieurbüro Roth und Partner (R&P) im Baufeld der geplanten Talbrücke eine Baugrunderkundung mit insgesamt 5 Kernbohrungen (M1 bis M5, Lage und Bohrprofile s. Anlagen 1.2 und 2.3) durchgeführt und auf deren Grundlage am 22.06.18 eine Geotechnische Stellungnahme vorgelegt (s. Abschnitt 1).

Gemäß der geotechnischen Prüfung des Auftraggebers im Jahr 2021 (s. ebenfalls Abschnitt 1) konnten mit der damaligen Erkundung nicht alle offenen Punkte zum Baugrund geklärt werden, so dass eine ergänzende Baugrunderkundung erforderlich wurde.

Hierfür haben wir am 12.04.22 beim Planungs- und Baurechtsamt, Abteilung Umwelt- und Arbeitsschutz, der Stadt Heilbronn, gemäß § 43 des Wassergesetzes von Baden-Württemberg, einen Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis für Bohrarbeiten eingereicht. Die Erlaubnis wurde vom Amt am 14.04.22 erteilt.

Die Bohransatzpunkte wurden vom Vermesser des Auftraggebers ausgepflockt und nach Abschluss der Bohrarbeiten nach Lage (UTM) und Höhe (mNHN gemäß DHHN2016) eingemessen. Sie wurden entsprechend den am 18.07.22 per E-Mail übermittelten Koordinaten von uns in Anlage 1.2 eingezeichnet.

Da in der Planung, die uns zur Verfügung gestellt wurde, die Bauwerkshöhen in mNN (DHHN12) angegeben sind, haben wir die Ansatzhöhen der Bohrpunkte (ebenso wie alle anderen Höhen) in unseren Anlagen ebenfalls in mNN angegeben.

Gemäß einer Luftbildauswertung des Kampfmittelbeseitigungsdiensts Baden-Württemberg (KMBD) bestand kein Kampfmittelverdacht für das Baufeld, so dass hierzu auf weitere Maßnahmen verzichtet werden konnte.

Ziel der ergänzenden Erkundung war es, Zusatzinformationen zur Ausbildung der Deckschichten und zur Tiefenlage der Lettenkeuper-Oberfläche zu erhalten und Bodenproben für bodenmechanische Untersuchungen zu gewinnen.

Dazu wurden, entsprechend dem von uns ausgearbeiteten Erkundungskonzept, von der Bohrfirma Baugrund Süd GmbH, Bad Wurzach, vom 23.06. bis 01.07.22 unter unserer fachtechnischen Aufsicht

4 Kernbohrungen nach DIN EN ISO 22 475, Tabelle 2, Zeile 7, im Fels Zeile 2, mit insgesamt
110 Bohrm Metern
niedergebracht.

In den Bohrungen wurden während der Bohrarbeiten von der Baugrund Süd GmbH

12 Bohrlochrammsondierungen nach DIN 4094-2: BDP (Borehole Dynamic Probing), Sondierungen mit geschlossener Spitze, durchgeführt, deren Ergebnisse in Anlage 2.1, links neben den Bohrprofilen, angegeben sind, wobei ein Sondierergebnis nicht verwertbar ist (Abbruch wegen "zu weichem Boden").

Die Bohrlöcher wurden nach Abschluss der Arbeiten mit Zement-Bentonit-Suspension und auf den oberen 0,5 m mit Quellton verfüllt; nähere Angaben dazu siehe Anlage 2.1.

Die Böden und Festgesteine wurden durch S&P visuell und durch manuelle Feldversuche nach DIN EN ISO 14 688-1 und DIN EN ISO 14 689 angesprochen und ingenieurgeologisch aufgenommen.

Die Schichtenfolgen der Bohrungen sind in Anlehnung an DIN 4023 in Anlage 2.1 dargestellt und beschrieben sowie in einen geologischen Geländeschnitt und drei Schichtlagerungskarten eingearbeitet (Anlagen 3).

Die Signaturen, Zeichen und Bezeichnungen in den Anlagen 2 und 3 sind in Anlage 2.0 erläutert.

Die Schichtenverzeichnisse der Kernbohrungen und die Verfüll-Protokolle, die von der Bohrfirma erstellt wurden, befinden sich in unseren Unterlagen. Fotos der Bohrkern sind in Anlage 2.2 beigefügt.

Den Bohrungen wurden insgesamt

- 3 Bodenproben der Güteklasse 1 (Sonderprobe) und
- 89 Bodenproben der Güteklasse 3 nach DIN EN 1997-2, Tab. 3.1 und DIN EN ISO 22 475

entnommen.

Alle Proben werden nach Abgabe des Geotechnischen Berichts drei Monate lang aufbewahrt und danach, sofern sie der Auftraggeber nicht anfordert oder eine längere Einlagerung vereinbart, ohne Ankündigung entsorgt.

An ausgewählten Proben wurden in unserem geotechnischen Labor boden- und felsmechanische Versuche durchgeführt:

- 30 Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts nach DIN EN ISO 17 892-1 (Anlage 2.1, rechts neben den Profilsäulen),
- 4 Bestimmungen der Fließ- und Ausrollgrenzen nach DIN EN ISO 17 892-12 (Anlage 4.1),
- 3 Bestimmungen der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4 (Anlage 4.2) und
- 9 Punktlastversuche nach DGGT-Empfehlung Nr. 5 für die Versuchstechnik im Fels.

Im felsmechanischen Labor der Ruhr-Universität Bochum (RUB) wurden ergänzend in unserem Auftrag und gemäß unseren Vorgaben an Gesteinen felsmechanische Versuche nach den DGGT-Empfehlungen für die Versuchstechnik im Fels durchgeführt (Anlage 4.3):

- 4 einaxiale Druckversuche nach Empfehlung Nr. 1,
- 49 Punktlastversuche nach Empfehlung Nr. 5 und
- 5 Abrasivitätsuntersuchungen nach Cerchar nach Empfehlung Nr. 23.

Die Ergebnisse der Feld-/Laborversuche werden in Abschnitt 6.1/6.2 erläutert und bewertet.

Des Weiteren wurden an den Bodenproben aus der Baugrunderkundung orientierende Untersuchungen hinsichtlich möglicher Schadstoffbelastungen durchgeführt. Hierfür wurden nach unseren Vorgaben im chemischen Labor ICA Institut für chemische Analytik, Leipzig, akkreditiert mit D-PL-17484-01-00

- 4 Mischproben aus Bohrgut (Lösslehm, Terrassenschotter, Gipskeuper und Lettenkeuper) auf den Umfang der VwV Bodenverwertung¹ chemisch untersucht.

Die Ergebnisse werden in Abschnitt 6.5 beschrieben und bewertet.

4 Baugrund und bergbaubedingte Senkungen

Durch Interpolation zwischen den zwangsläufig punktuellen Aufschlüssen der aktuellen Erkundung und unter Einbeziehung der Ergebnisse der früheren Erkundung von R&P aus den Jahren 2016/17 haben wir, unter Berücksichtigung geologischer Zusammenhänge, ein räumliches Modell des Untergrundes erarbeitet, das nachfolgend beschrieben und in einem geologischen Geländeschnitt (Anlage 3.1) und drei Schichtlagerungskarten (Anlagen 3.2) dargestellt ist.

¹ Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial ("VwV Bodenverwertung") vom 14. März 2007

Dabei haben wir die Bohrprofile von R&P auf Grundlage unserer eigenen Erkundungsergebnisse stratigraphisch interpretiert. Da uns über die Bohrprofile hinaus keine Informationen zu dem damals aufgeschlossenen Bohrgut vorliegen, können die tatsächlichen Baugrundverhältnisse im Bereich der Fremdbohrungen von unserer Interpretation abweichen.

Das Baugrundmodell zeigt stark vereinfacht einen sechsschichtigen Aufbau aus Auffüllungen oder Oberboden, Lösslehm, Terrassenschotter, umgelagertem Gipskeuper und den Festgesteinsschichten des Lettenkeupers:

- Zuoberst liegt nahezu im gesamten Untersuchungsgebiet Oberboden im Sinne der DIN 18 915. Details zu Mächtigkeit und bodenkundlichen Eigenschaften sind dem Bodenschutzkonzept (s. Abschnitt 1) zu entnehmen.
- Im Bereich des Feldwegs liegt zuoberst künstliche Auffüllung: unter der Asphaltdecke ist eine mehrere Dezimeter mächtige ungebundene Tragschicht zu erwarten.
- Darunter liegt Lösslehm. Er entstand aus Löss, einem Schluff-Feinsand-Gemisch, das von eiszeitlichen Winden abgelagert wurde und durch allmähliche Verwitterung verlehmt. Der Lösslehm besteht im Wesentlichen aus beigebraunem, schwach feinsandigem, schwach tonigem bis tonigem Schluff. Die Konsistenz wechselt zwischen weich und halbfest.

Die Mächtigkeit nimmt von rund 4 m im Osten des Baufelds, bei BK 4, auf bis zu 8 m im Westen, bei BK 1, zu.

- Nach unten folgen Hochterrassenschotter, die eiszeitlich, im Alt- und Mittelpleistozän, von einem Vorläufer des Neckars abgelagert wurden. Heute, nachdem der Neckar sich im Laufe der Jahrtausende tief ins Heilbronner Becken eingegraben hat, liegen sie mehrere Zehner Meter über der derzeitigen Flussaue. Sie bestehen ganz überwiegend aus Geröllen von Muschelkalk-, Oberjura- und seltener Buntsandstein-Material. Zwischen Frankenbach und Großgartach (Leingarten) wurden sie als "Frankenbacher Schotter" in der Vergangenheit abgebaut.

Entsprechend der aktuellen Erkundung setzen sich die Hochterrassenschotter im Untersuchungsgebiet aus schwach sandigen bis sandigen, gerundeten Kiesen aus Kalkstein und Sandstein zusammen, die stellenweise einen gewissen Schluffanteil aufweisen. Sie wechsellagern mit Sandlagen mit variierendem Kiesanteil.

Im Heilbronner Raum sind die Hochterrassenschotter häufig durch Kalzitlösung und -ausfällung zu felshartem Konglomerat, dem so genannten Nagelfluh, zementiert. Im aktuellen Baufeld wurden keine Hinweise auf Nagelfluh innerhalb der Hochterrassenschotter festgestellt.

Die Oberfläche der Hochterrassenschotter fällt im Baufeld von rund 171 mNN im Osten, bei BK 4, auf etwa 164,5 mNN im Westen, bei BK 1, ab. Sie liegt damit im Osten rund 2,5 m

bis 4 m, im Westen bis zu 8 m unter Gelände (Anlage 3.2.1). Ihre Mächtigkeit nimmt von rund 10 m im Osten auf etwa 2 m im Westen ab.

- Darunter schließt umgelagerter Gipskeuper an: Dabei handelt es sich um Material des ursprünglich im Bereich des Gartacher Felds über dem Lettenkeuper anstehenden Gipskeupers (Grabfeld-Formation), das im Zuge von früheren Gipsauslaugungsprozessen entfestigte und verstürzte und vermutlich während des Pleistozäns durch erosive Prozesse umgelagert wurde. Es ist mit Kalkstein- und Sandsteingeröllen fluvialer Herkunft vermengt.

In den aktuellen Bohrungen besteht der umgelagerte Gipskeuper im Wesentlichen aus olivgrünem und beigebraunem, nicht geschichtetem, schwach tonigem Schluff. In wechselnden Anteilen ist Kies aus kantigem Dolomitstein und Tonstein und gerundetem Kalkstein und Sandstein eingelagert. Die Konsistenz der bindigen Anteile wechselt vorwiegend zwischen steif und halbfest. Stellenweise ist sie auch weich (s. BK 2) oder halbfest bis fest (s. BK 3 und BK 4).

Die Oberfläche des umgelagerten Gipskeupers schwankt im Baufeld stark, zwischen weniger als 157 mNN und rund 164 mNN. Sie liegt etwa 10 m bis 16 m unter Gelände (Anlage 3.2.2). Die Mächtigkeit variiert zwischen etwa 4 m und 6 m.

Mit Bohrung BK 2 wurden unter dem umgelagerten Gipskeuper-Material Restmächtigkeiten von anstehendem Gipskeuper von knapp 1 m angetroffen. Im Gegensatz zu dem umgelagerten Material besteht dieser aus olivgrünem Schlufftonstein mit deutlich hervortretender feinelaminierter Schichtung. Er ist gemäß DIN EN ISO 14 689 von außerordentlich geringer einaxialer Druckfestigkeit und zum Teil auch zu halbfestem Schluff zersetzt. Auch an anderer Stelle können an der Basis des umgelagerten Gipskeupers noch vergleichbare Restmächtigkeiten von anstehendem Gipskeuper vorhanden sein.

- Zur Tiefe hin folgen die Festgesteinsschichten des Lettenkeupers (Erfurt-Formation): Sie bestehen aus einer Wechselfolge von Tonstein, Dolomitstein und Sandstein. Mit der aktuellen Erkundung wurde der stratigraphische Abschnitt vom Grenzdolomit (oben) bis zu den Unteren Grauen Mergeln (unten) erbohrt.

Der graue Tonstein ist gemäß DIN EN ISO 14 689 ganz vorwiegend nichtkörnig, dicht, weist eine schlechte bis mäßige Kornbindung auf und ist kalkfrei. Seine einaxiale Druckfestigkeit ist vornehmlich gering bis mäßig hoch; besonders auf den oberen Metern des Lettenkeupers kann sie auch außerordentlich gering und sehr gering sein. Die Schichtflächenabstände sind fein laminiert bis sehr dünn, die Klufflächen außerordentlich engständig bis engständig.

Dolomitstein wie Sandstein sind grau und dunkelgrau, nichtkörnig, ganz überwiegend dicht, stellenweise aber auch löchrig (nur der Dolomitstein), und weisen eine gute bis sehr gute Kornbindung auf. Sie sind im Wesentlichen kalkfrei, auf den obersten Dezimetern

des Lettenkeupers durch die fortgeschrittene Verwitterung aber auch kalkhaltig (ebenefalls nur der Dolomitstein).

Die einaxiale Druckfestigkeit ist ganz überwiegend mäßig hoch und hoch, örtlich auch sehr hoch. Lediglich der Grenzdolomit ist stellenweise durch fortgeschrittene Verwitterung von außerordentlich geringer bis sehr geringer einaxialer Druckfestigkeit.

Dolomitstein wie Sandstein zeigen grob laminierte bis mittlere Schichtflächenabstände und sehr engständige bis weitständige Klüfte.

Die Höhenlage der Oberfläche des Lettenkeupers schwankt in der überwiegenden Zahl der Bohrungen vergleichsweise geringfügig, zwischen rund 153,5 mNN und 155,5 mNN. Lediglich in den früheren Bohrungen M 4 und M 5 wurde sie entsprechend den Bohrprofilen von R&P deutlich tiefer angetroffen, bei etwa 148 mNN bzw. rund 150 mNN (Oberfläche des Festgesteins in den Bohrungen). Vermutlich quert hier eine frühere Erosionsrinne das Baufeld, entlang der die Schichten des Lettenkeupers zum Teil abgetragen wurden (s. Anlagen 3.1 und 3.2.3).

Die Schichten des Lettenkeupers setzen sich gemäß den vorliegenden Schichtlagerungskarten aus dem Stadtgebiet Heilbronn noch bis rund 130 mNN, also bis etwa 40 m bis 45 m unter Gelände, fort. Sie lagern dort dem Oberen Muschelkalk auf.

Die Kammern des Bergwerks Heilbronn, in denen Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk abgebaut wurde (s. Abschnitt 2), liegen gemäß den Angaben in der Südwestdeutsche Salzwerke AG rund 200 m unter Gelände.

Die bergbaubedingten Senkungen am Bauwerksstandort gemäß den Messungen und Auswertungen der Südwestdeutsche Salzwerke AG (s. Abschnitt 1) im Zeitraum von 1982 bis 2020 sind in Anlage 1.3 dargestellt. Demnach betragen die Senkungen auf der Westseite (Achse 0; Messpunkt 748/6020) 160 mm und auf der Ostseite (Achse 5) 100 mm. Im Zeitraum von 2016 bis 2020 wurden am Messpunkt 6020 Senkungen von 9,7 mm, also ca. 2,4 mm pro Jahr, gemessen. Unter der Annahme, dass das Verhältnis der Setzungen an West-/Ostseite konstant ist, sind die Ergebnisse in nachfolgender Tabelle zusammengestellt. Die Beträge für die Achsen 1 bis 4 wurden linear interpoliert und weichen daher in Zeile 1 geringfügig von der Isolinien-darstellung in Anlage 1.3.2 ab.

	Westseite			Ostseite			rel. Senkungs- differenzen ($\Delta s/l$)
	Achse 0	Achse 1	Achse 2	Achse 3	Achse 4	Achse 5	
Senkung 1982 bis 2020	160 mm	149 mm	136 mm	124 mm	111 mm	100 mm	67/100.000
- pro Jahr	4,2 mm	3,9 mm	3,6 mm	3,2 mm	2,9 mm	2,6 mm	1.8/100.000
Senkung 2016 bis 2020	9,7 mm	9,0 mm	8,3 mm	7,5 mm	6,8 mm	6,1 mm	4/100.000
- pro Jahr	2,4 mm	2,3 mm	2,1 mm	1,9 mm	1,7 mm	1,5 mm	1/100.000

Tabelle 1: Bergbaubedingte Senkungen und relative Senkungsdifferenzen

Tendenziell sollten die Senkungen nach den vorliegenden Angaben und Messergebnissen der Südwestdeutsche Salzwerke AG allmählich abklingen. Uns ist allerdings nicht bekannt, wann tatsächlich alle Hohlräume verfüllt sind und welche nachlaufenden Verformungen sich infolge der Zusammendrückung der Verfüllung ergeben, da eine kraftschlüssige verdichtete Verfüllung bis zu den Firsten der Kammern erfahrungsgemäß nicht möglich ist.

Hinsichtlich einer bergbaubedingten Senkungsprognose für das Bauwerk empfehlen wir daher auf der sicheren Seite liegend bis auf Weiteres von den Senkungen und relativen Senkungsdifferenzen auszugehen, die sich aus dem letzten vorliegenden Messzeitraum von 2016 bis 2020 ergibt, s. Tabelle 1. Wir weisen darauf hin, dass derartige Senkungen i.d.R. nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft eintreten.

5 Grundwasser

Während der aktuellen Erkundung wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Grundwasserstände gemessen:

Bohrung	BK 1	BK 2	BK 3
Datum 2022	28.06.	27.06.	27.06.
Wasserstand			
[m u. Gel]	13,5	13,6	14,0
mNN	158,97	158,13	157,99

Tabelle 2: Grundwasserstände während der Erkundung

Grundwasserleiter sind die geklüfteten Schichten des Lettenkeupers; untergeordnet führen auch durchlässige Bereiche an der Basis des umgelagerten Gipskeupers Grundwasser. Das

Grundwasser ist gemäß den Erkundungsergebnissen unter den nicht durchlässigen Abschnitten des umgelagerten Gipskeupers gespannt und stieg nach dem Antreffen um mehrere Meter an.

In Bohrung BK 4 konnte vermutlich kein Grundwasserzutritt festgestellt werden, da das Grundwasser hier erst nach dem Umstellen auf das Rotationskernbohrverfahren angetroffen worden sein dürfte, was dann durch den technisch erforderlichen Spülwassereinsatz überdeckt wurde.

Demzufolge lag der Grundwasserdruckspiegel während der Erkundung bei rund 13,5 m/159 mNN im Westen und bei 14 m/158 mNN im Zentrum des Baufelds.

Dies deckt sich recht gut mit den vorliegenden Grundwassergleichenkarten aus dem Stadtgebiet Heilbronn, wonach die Mittlere Grundwasserdruckfläche im Lettenkeuper im Bereich des Baufelds von etwa 157 mNN im Westen auf rund 156 mNN im Osten abfällt.

Nach unseren Erfahrungen zum Standort bzw. Untersuchungsergebnissen bei vergleichbarer Geologie können im Grundwasser Sulfatgehalte von über 300 mg/l auftreten. Wir empfehlen daher, das Grundwasser als schwach betonangreifend einzustufen sowie nach DIN 4030-1 und DIN EN 206-1 der Expositionsklasse XA 1 zuzuordnen und sämtliche Bauteile mit Grundwasserkontakt (Pfähle) entsprechend darauf auszulegen.

6 Eigenschaften von Böden und Fels

Boden- und felsmechanische Versuche sind erforderlich, um die angetroffenen Böden und Gesteine mit Hilfe objektiver Vergleichswerte boden- und felsmechanisch klassifizieren und charakteristische Werte für erdstatische Berechnungen festlegen zu können. Im vorliegenden Fall haben wir

- Bohrlochrammsondierungen (Abschnitt 6.1) und
- Laborversuche (Abschnitt 6.2): Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts, der Zustandsgrenzen und der Korngrößenverteilung an ausgewählten Bodenproben sowie Bestimmungen der Druckfestigkeit und der Abrasivität an Gesteinsproben durchgeführt.

Die Versuche erlauben, qualitative und quantitative Unterschiede der Baugrundeigenschaften zu erfassen. Zur Darstellung der Tiefenabhängigkeit sind sie teilweise in die Schichtenprofile (Anlagen 2.1) und in den geologischen Geländeschnitt (Anlagen 3.1) eingearbeitet.

Die Ergebnisse der Feldversuche und geomechanischen Laborversuche sind in Abschnitt 6.1 bzw. 6.2 und die orientierenden abfalltechnischen Untersuchungen in Abschnitt 6.5 beschrieben.

Die Klassifikationen und charakteristischen Kennwerte sind in Abschnitt 6.3 zusammengestellt. In Abschnitt 6.4 sind die Homogenbereiche des Baugrunds nach den Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) der VOB – Teil C, Ausgabe 2019, beschrieben.

6.1 Ergebnisse der Feldversuche

Während der Erkundung wurden in jeder Bohrung in jeweils drei unterschiedlichen Tiefen insgesamt 12 Bohrlochrammsondierungen (BDP), Sondierungen mit geschlossener Spitze durchgeführt, wobei ein Sondierergebnis nicht verwertbar ist (Sondierabbruch wegen "zu weichem Boden"). Sie erlauben bodenmechanische Kennwerte abzuleiten und punktuell tiefenabhängige Unterschiede im Baugrund zu erkennen. Die Ergebnisse der BDP-Versuche sind unter den Bohrprofilen der Bohrungen (Anlagen 2.1) aufgeführt. In der Regel werden drei Schlagzahlen N_{15} für je 15 cm Eindringung der Sonde unter die Bohrlochsohle ausgewiesen. Die Schlagzahl für die Eindringung von 15 cm bis 45 cm heißt N_{30} und ist neben dem Bohrprofil in der Tiefenlage des Versuchs angegeben.

Ergebnisse:

- Hochterrasse, kiesig: $N_{30} = 24$ bis 34 ; im Mittel 30 ; 5 Versuche
- Hochterrasse, Sandlage: $N_{30} = 7$ 1 Versuch
- Gipskeuper, umgelagert $N_{30} = 26$ bis 54 ; im Mittel 36 ; 3 Versuche
- Gipskeuper ($N_{30} = > 50$); Abbruch 1 Versuch
- Lettenkeuper ($N_{30} = > 50$); Abbruch 1 Versuch

Im Ergebnis weisen die Sondierungen für die kiesigen Hochterrassenschotter sowie die schluffige Feinsandlage mit enggestufter (Fein-)Sandfraktion (siehe Korngrößenverteilung in Anlage 4.2) eine mitteldichte Lagerung aus.

Im umgelagerten Gipskeuper belegen die Schlagzahlen eine halbfeste bis feste Konsistenz bzw. das Vorhandensein von eingelagerten Steinen.

Die beiden Sondierungen an der Oberfläche des Gipskeupers bzw. Lettenkeupers wurden bei $N_{15} \geq 20$ und weniger als 3 cm Eindringung abgebrochen. Diese hohen Schlagzahlen belegen für die sondierten Tiefenbereiche eine nur mäßige Verwitterung.

6.2 Ergebnisse der Laborversuche

Der Lösslehm ist nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 als feinkörniger Böden zu bezeichnen. Die im Labor an 4 Proben ermittelten Konsistenzgrenzen klassifizieren den schluffig-tonigen Boden mit den Wassergehalten an der Fließgrenze w_L von etwa 31 % bis 49 % und 13 % bis 15 % an der Ausrollgrenze w_P als leicht- bis mittelplastischen Ton (TL/TM), siehe Anlage 4.1.

Für die an insgesamt 16 Proben festgestellten natürlichen Wassergehalte w_n von 11 % bis 22 %, im Mittel 18 %, ergibt sich:

- für 6 Proben eine weiche Konsistenz,
- für 1 Probe eine weiche bis steife Konsistenz,
- für 6 Proben eine steife Konsistenz und
- für 3 Proben eine halbfeste Konsistenz.

An insgesamt 3 Proben aus dem Hochterrassenschotter wurde die Korngrößenverteilung bestimmt (Anlage 4.2). Die kiesigen Hochterrassenschotter sind nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 als Kies mit Sandgehalten von rund 32 % bis 34 % und Feinkornanteilen ($d < 0,063$ mm) zwischen rund 6 % und 10 % einzustufen. Daraus ergibt sich die Klassifikation als gemischtkörniger Boden mit intermittierend bis weitgestufter Körnungslinie (GU/GT). Für die in BK 4 erbohrten sandigen Terrassenschotter ergibt sich gemäß der Körnungslinie die Einstufung als gemischtkörniger Boden mit enggestufter (Fein-)Sandfraktion und Feinkornanteilen von 25 % (SU*/ST*).

Für das umgelagerte Gipskeupermaterial wurde an 14 Proben der natürlichen Wassergehalte w_n von 6 % bis 26 %, im Mittel 17 % bestimmt. Diese Wassergehalte liegen für die überwiegend zu tonigem Schluff zersetzten Schlufftonsteine in der Bandbreite für eine steife bis feste Konsistenz.

Die Festgesteine des Lettenkeupers werden im Wesentlichen von einer Wechsellagerung von Tonsteinen und Dolomitsteinen gebildet.

Anhand von 5 Bohrkernstücken aus den Ton- und Dolomitsteinen des Lettenkeupers wurden von der Ruhr-Universität Bochum nach unseren Vorgaben 4 Zylinderproben zur Bestimmung der Einaxialen Druckfestigkeit q_u sowie parallel weitere 49 Proben zur Ermittlung des Punktlastindex i_s gewonnen, siehe Anlage 4.3. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt, wobei die Druckfestigkeiten im Zusammenhang mit den weiteren Laborversuchen (siehe unten) und der Bewertung im Feld (Anlagen 2.1 und Tabelle 4) zu betrachten sind.

Bohrung	Stratigraphie	Gestein	Tiefe [m]	Einaxiale Druckfestigkeit σ_u [MN/m ²]	Punktlastindex i_s [MN/m ²]
BK 1	Grüne Mergel	Dolomitstein	19,45 – 19,55	70,1	Mittelwert axial (5 Stk.): 3,6 Mittelwert diametral (5 Stk.): 2,2
BK 2	Lingula-Dolomit	Dolomitstein	23,40 – 23,50	- ¹⁾	Mittelwert axial (3 ²⁾ Stk.): 3,7 Mittelwert diametral (4 Stk.): 1,4
BK 3	Lingula-Dolomit	Dolomitstein	25,40 – 25,50	90,8	Mittelwert axial (5 Stk.): 5,3 Mittelwert diametral (5 Stk.): 1,4
BK 4	Grenzdolomit	Dolomitstein	20,00 – 20,10	53,3	Mittelwert axial (5 Stk.): 1,6 Mittelwert diametral (5 Stk.): 1,8
BK 4	Grüne Mergel	Tonstein	24,70 – 24,80	117,2	Mittelwert axial (5 Stk.): 4,7 Mittelwert diametral (5 Stk.): 5,4
Mittelwerte:				83	axial: 3,8 diametral: 2,4

¹⁾ Probekörperpräparation nicht möglich

²⁾ bei 2 von 5 Versuchen waren die Anforderungen an die Probekörpergeometrie nicht erfüllt

Tabelle 3: Ergebnisse der Einaxialen Druckversuche und Punktlastversuche der Ruhr-Universität Bochum

An insgesamt 9 Dolomitstein-Kernstücken aus dem Lettenkeuper haben wir mittels Punktlastversuchen den Punktlastindex i_s in axialer Richtung $i_s = 1,6$ bis 8 MN/m^2 , im Mittel $5,2 \text{ MN/m}^2$ ermittelt. Über einen gesteinspezifische Umrechnungsfaktoren ergibt sich daraus die Einaxialen Druckfestigkeiten in axialer Richtung zu $\sigma_{u,a} = 35$ bis 180 MN/m^2 , im Mittel 115 MN/m^2 .

Die Gesteinsfestigkeit der Dolomitsteine des Lettenkeupers ist anisotrop, da die Festigkeit in diametraler Belastungsrichtung ($\sigma_{u,d}$) überwiegend nur i. M. 50 % der Werte in axialer Richtung beträgt.

Bei vergleichsweise guter Übereinstimmung der Ergebnisse der Laborversuche und der Bewertung im Feld sind die Dolomitsteine von mäßig hoher bis sehr hoher Festigkeit, siehe Tabelle 4. Das untersuchte Tonsteinkernstück ist von sehr hoher Festigkeit, was die obere Grenze der Bandbreite darstellen dürfte. Gemäß der Bewertung im Feld sind die Tonsteine zumeist von geringer bis mäßig hoher Festigkeit.

DIN EN ISO 14 689		IAEG-Empfehlung		DIN 1054:2010-12 ¹⁾	
Bezeichnung	Druckfestigkeit (N/mm ²)	Bezeichnung	Druckfestigkeit (N/mm ²)	Bezeichnung	Druckfestigkeit (N/mm ²)
außerordentlich gering	< 1			sehr mürb	< 1,25
sehr gering	1 – 5	gering	1,5 – 15	mürb	1,25 - 5
gering	5 – 25			mäßig mürb	5 – 12,5
mäßig hoch	25 – 50	mäßig	15 – 50	mäßig hart	12,5 – 50
hoch	50 – 100	fest	50 – 120	hart	50 - 100
sehr hoch	100 – 250	sehr fest	120 – 230	sehr hart ²⁾	> 100
außerordentlich hoch	mehr als 250	extrem fest	mehr als 230		

¹⁾ Für die Ermittlung von Bemessungssohlrücken für Flächenfundamente auf Fels

²⁾ Gesteinsfestigkeiten > Betondruckfestigkeiten sind für Flächengründungen nicht relevant

Tabelle 4: Klassifikation der Gesteine nach der einaxialen Druckfestigkeit

Anhand von 5 Bohrkernstücken aus den Ton- und Dolomitsteinen des Lettenkeupers wurde von der Ruhr-Universität Bochum nach unseren Vorgaben der CERCHAR-Arbraktivitäts-Index CAI bestimmt, siehe Anlage 4.3 sowie nachfolgende tabellarische Zusammenstellung. Auf Grundlage der Ergebnisse ist die Abrasivität nach DGGT Empfehlung Nr. 23 sehr niedrig bis niedrig.

Bohrung	Stratigraphie	Gestein	Tiefe [m]	CAI	ΔCAI ¹⁾	Klassifikation nach DGGT Nr. 23
BK 1	Grüne Mergel	Dolomitstein	19,45 – 19,55	1,1	0,30	niedrig
BK 2	Lingula-Dolomit	Dolomitstein	23,40 – 23,50	0,5	0,06	sehr niedrig
BK 3	Lingula-Dolomit	Dolomitstein	25,40 – 25,50	1,7	0,40	niedrig
BK 4	Grenzdolomit	Dolomitstein	20,00 – 20,10	0,8	0,25	sehr niedrig
BK 4	Grüne Mergel	Tonstein	24,70 – 24,80	0,8	0,21	sehr niedrig
Mittelwert				0,98		sehr niedrig

¹⁾ Standardabweichung ΔCAI aus 5 CAI-Einzelwerten

Tabelle 5: Abrasivitäts-Index CAI beim Cerchar-Versuch der Ruhr-Universität Bochum

6.3 Klassifikation und charakteristische Kennwerte

Anhand der Bodenansprache im Gelände, der Ergebnisse der Feld- und Laborversuche sowie unseren Erfahrungen mit bodenmechanisch bzw. felsmechanisch gleichartigen Böden und Fels kann der Baugrund in Anlehnung an bautechnische Regelwerke klassifiziert und durch charakteristische Kennwerte für statische Untersuchungen beschrieben werden (Tabelle 6).

Die in der Tabelle 6 angegebenen Steifemoduln gelten für die Erstbelastung und sind charakteristische Werte für den aus der erwarteten Belastung anzusetzenden Spannungsbereich. Für eine Wiederbelastung können Werte in doppelter Größe angesetzt werden.

Der Gipskeuper ist größtenteils umgelagert. Der nur in der Bohrung BK 2 mit 0,9 m Mächtigkeit erbohrte anstehende Gipskeuper wird nicht als separate Baugrundsicht ausgewiesen. Es gelten einheitlich die Kennwerte des umgelagerten Gipskeupers.

Die in der Tabelle 6 für die Festgesteine des Lettenkeupers angegebene Kohäsion ist eine sogenannte technische Kohäsion, ein rechnerischer Wert für die Gebirgsfestigkeit, dessen Größe Einflüsse wie Durchtrennungsgrad des Gebirges, Beschaffenheit der Trennflächen und mögliche Kluffüllungen berücksichtigt.

Die gesamte Scherfestigkeit, die sich aus den Angaben von Reibungswinkel und technischer Kohäsion ergibt, basiert auf der Modellvorstellung eines stark durchtrennten Gebirgskörpers, in dem sich zusammenhängende Scherfugen ausbilden können, auf denen ein Scherwiderstand wirksam ist.

Das Baugrundstück liegt nach DIN 4149:2005-04 und der entsprechenden regionalen Karte der Erdbebenzonen, hier für Baden-Württemberg, außerhalb von Erdbebenzonen.

geol. Bezeichnung	Lösslehm	Hochterrassen- schotter	Gipskeuper umgelagert	Lettenkeuper
Konsistenz (vorherrschend)	steif	-	steif bis halbfest	-
Lagerungsdichte	-	mitteldicht	-	-
Gesteinsfestigkeit (DIN EN ISO 14 689-1)	-	-	-	-außerordentlich gering bis sehr hoch
Verwitterungsstufe (DIN EN ISO 14 689-1)	-	-	-	VS1 bis VS3
Klassifikationen				
Bodengruppe (DIN 18 196)	TL, TM	GT, GT*, GU, GU*, GW/ ST, ST*, SU, SU*, X	TM (GT*) (Ust, Tst)	(Tst, Dst, Sst)
Bodenklasse (DIN 18 300: 2012-09)	4	3, (5)	4, (6)	6, 7
Bodenklasse (DIN 18 301: 2012-09)	BB2, BB3	BN1, BN2/ BS1, BS2, BS3	BB2, BB3, BB4/ BN2/FV1	FV2 bis FV6/ FD1 bis FD3
Felsgruppe (DIN EN 1997-1: 2009-09)	-	-	-	3
Frostempfindlichkeit	sehr	mittel bis sehr	sehr	mittel bis sehr
Klasse nach ZTV E-StB 17	F3	F2 bis F3	F3	F2 bis F3
Schrumpfgefahr	mittel bis groß	keine	gering bis mittel	keine
Sackungsgefahr	gering	keine	keine	keine
charakteristische Kennwerte				
Wichte γ [kN/m ³]	19	21	20	23
unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	9	11	10	13
Reibungswinkel φ' [°]	25	35	25	25
Kohäsion c' [kN/m ²]	10 bis 15	0	10 bis 20	≥ 50 ¹⁾
Steifemodul E_s [MN/m ²] für Setzungsberechnung	10 bis 15	40 bis 60	15 bis 25	≥ 500

¹⁾ technische Kohäsion, siehe Erläuterung im Text

Tabelle 6: Klassifikationen und charakteristische Kennwerte

6.4 Homogenbereiche

Nach den Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) der VOB/C, Ausgabe 2019, ist der Baugrund in Homogenbereiche einzuteilen. Bei der Definition der Homogenbereiche sind die verfahrens- und gerätespezifischen Besonderheiten für jedes Gewerk zu berücksichtigen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand wird für das vorliegende Bauvorhaben mit Homogenbereiche folgender Gewerke des Tiefbaus entsprechend den ATVs gerechnet:

- ATV DIN 18 300, Erdarbeiten,
- ATV DIN 18 301, Bohrarbeiten sowie ggf.
- ATV DIN 18 304, Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten.

Zur Vereinfachung von Ausschreibung, Aufmaß und Abrechnung werden die Homogenbereiche einheitlich für die erwarteten Bauverfahren festgelegt und in nachfolgender Tabelle 7 anhand der Bandbreite ihrer Kennwerte definiert sowie zeichnerisch in den Anlagen 3 dargestellt.

Die Homogenbereiche nach DIN 18 300 für Erdarbeiten gelten für das Lösen, Laden, Fördern, Einbauen und Verdichten von Boden, Fels und sonstigen Stoffen. Die Homogenbereiche nach DIN 18 301 für Bohrarbeiten gelten für Bohrungen jeder Art und nach DIN 18 304 für das Einbringen und Ziehen von Bohlen, Pfählen, Trägern, Rohren, Lanzen und dergleichen durch Rammen, Rütteln oder Pressen.

Der Oberboden ist nach ATV DIN 18 320, Landschaftsbauarbeiten, unabhängig von seinem Zustand vor dem Lösen ein eigener Homogenbereich "O".

Die in der nachfolgenden Tabelle genannten Homogenbereiche sind im Zusammenhang mit den angegebenen ATVs zu verwenden.

Homogenbereich Nr. geol. Bezeichnung	B 1 Lösslehm	B 2 Hochterrassenschotter	B 3 ²⁾ Gipskeuper, umgelagert	X 1 Lettenkeuper
Boden				
Bodengruppe (DIN 18 196)	TL, TM	GT, GT*, GU, GU*, GW/ ST, ST*, SU, SU*, X	TM (GT*) (Ust, Tst)	-
Kornkennzahlen (DIN EN ISO 14688-4)	T/U/S/G	T/U/S/G	T/U/S/G	-
Obergrenze Körnungsband	50/50/0/0	10/20/70/0	50/50/0/0	
Untergrenze Körnungsband	10/35/40/5	0/2/13/50	5/25/40/20	
Stein- und Blockanteile [%] (DIN EN ISO 14 688-1)	< 10 Steine ¹⁾ keine Blöcke ¹⁾	< 30 Steine ¹⁾ < 30 Blöcke ¹⁾	< 10 Steine ¹⁾ keine Blöcke ¹⁾	-
Lagerungsdichte (DIN 18 126)	-	mitteldicht	-	-
Plastizitätszahl I _p (DIN EN ISO 17892-12)	12 bis 40	-	12 bis 40	-
Konsistenzzahl I _c (DIN EN ISO 17892-12)	0,5 bis 1,5	-	0,5 bis 1,5	-
Wassergehalte [%]	10 bis 30	5 bis 25	5 bis 30	-
undr. Kohäsion c _u [kN/m ²]	30 bis 250	-	100 bis 300	-
Dichte ρ [t/m ³]	1,8 bis 2,1	2,0 bis 2,3	1,9 bis 2,1	2,1 bis 2,4
organische Anteile, Glühverlust [%] (DIN 18 128)	< 3	< 3	< 3	< 3
Abrasivität nach NF P18-579 LAK [g/t]	0 bis 250	150 bis 500	0 bis 250	-
orientierende Einstufung nach VwV ³⁾	Z0	Z0*IIIA	Z0	Z0
Fels				
- Benennung	-	-	-	Tst, Dst, Sst
- Verwitterung	-	-	-	VS1 bis VS3
- Veränderlichkeit	-	-	-	verfärbt bis frisch
- Schichtflächenabstände	-	-	-	fein laminiert bis mittel
- Kluftabstände	-	-	-	außerordentlich eng- ständig bis weitständig
CERCHAR-Abrasivitäts- Index CAI [-] (NF P94-430-1)	-	-	-	0,5 bis 2
Einaxiale Druckfestigkeit [N/mm ²] (DIN 18 141-1)	-	-	-	< 1 bis 200

¹⁾ Steine bis Ø 200 mm, Blöcke bis Ø 630 mm gemäß Norm

²⁾ anstehender Gipskeuper ist dem Homogenbereich B 3 zugeordnet

³⁾ s. Abschnitt 6.5

Tabelle 7: Homogenbereiche nach DIN 18 300/18 301/18 304

6.5 Orientierende abfalltechnische Untersuchungen

Aus den Einzelproben der vier niedergebrachten Kernbohrungen wurden die in der Tabelle 8 aufgeführten schichtbezogenen Mischproben gebildet. Diese vier Mischproben wurden für eine orientierende Schadstoffuntersuchung im Hinblick auf die Verwertung von Bodenaushub nach unseren Vorgaben im chemischen Labor ICA – Institut für chemische Analytik GmbH, Leipzig, akkreditiert mit DAkkS D-PL-17484-01-00, auf den Umfang der VwV Bodenverwertung untersucht.

Die Einzelergebnisse der chemischen Untersuchungen sind in den beigegeführten S&P-Auswertetabellen (Anlagen 5.1) und in den Prüfberichten des chemischen Labors (Anlage 5.2) dokumentiert.

Danach ergeben sich folgende Einstufungen nach VwV Bodenverwertung:

Mischprobe, schichtbezogen	Einzelproben	Einstufung VwV Boden	Hinweise, Kommentar, Erläuterung zur Einstufung
"MP 1 Lösslehm"	BK1: 2,0 m 4,0 m 6,0 m BK2: 1,0 m 3,0 m 5,0 m BK3: 2,0 m 4,0 m 5,5 m BK4: 1,0 m 2,0 m 4,0 m	Z 0	keine Überschreitung der Z 0-Zuordnungswerte
"MP 2 Terrassenschotter"	BK1: 8,0 m 9,0 m BK2: 8,0 m 10,0 m BK3: 6,0 m 8,0 m 10,0 m BK4: 5,0 m 7,0 m 11,0 m 14,0 m	Z 0*IIIA	leicht erhöhter Nickel-Gehalt von 19 mg/kg im Feststoff

Mischprobe, schichtbezogen	Einzelproben	Einstufung VwV Boden	Hinweise, Kommentar, Erläuterung zur Einstufung
"MP 3 Gipskeuper"	BK1: 11,0 m	Z 0	keine Überschreitung der Z 0-Zuordnungswerte
	13,0 m		
	15,0 m		
	BK2: 11,0 m		
	13,0 m		
	15,0 m		
	BK3: 11,0 m		
	12,0 m		
	BK4: 15,0 m		
	17,0 m		
	19,0 m		
	"MP 4 Lettenkeuper"		
20,51 - 20,55 m			
BK2: 17,46 - 17,55 m			
22,00 - 22,10 m			
BK3: 17,01 - 17,05 m			
21,05 - 21,10 m			
23,51 - 23,55 m			
BK4: 23,60 - 23,70 m			
25,80 - 25,85 m			

Tabelle 8: Übersicht der untersuchten Mischproben und deren Einstufung nach VwV Bodenverwertung

Die vorliegenden Untersuchungen und die daraus resultierenden Einstufungen haben orientierenden Charakter. Das gemäß der durchgeführten abfallrechtlichen Untersuchung als Z 0 eingestufte Material ("MP 1 Lösslehm", "MP 3 Gipskeuper", "MP 4 Lettenkeuper") kann aus unserer Sicht uneingeschränkt in der Einbaukonfiguration Z 0 verwertet werden. Die "MP 2 Terrassenschotter" ist auf Grund eines leicht erhöhten Nickel-Gehaltes von 19 mg/kg in die Qualität Z 0*IIIA einzustufen.

Das durch die "MP 2 Terrassenschotter" charakterisierte Material kann ebenfalls, wie das Z 0 Material, in Verfüllungen von Abgrabungen verwendet werden, wenn die Bedingungen der VwV Boden Abschnitt 5.2 eingehalten werden. Alternativ kann der Aushub mindestens in der Einbaukonfiguration Z 1.1 verwertet werden.

Die Untersuchung erfolgte an Proben, die aus zwangsläufig punktuellen Aufschlüssen entnommen wurden. Während des Aushubs hat die Erdbaufirma zwingend auf Übereinstimmung des Aushubs mit den Beschreibungen in dem vorliegenden Gutachten zu achten. Bei Abweichungen, wie z. B. ungewöhnlichen, nicht beschriebenen, Verfärbungen, sensorischen (geruchlichen) Auffälligkeiten oder abweichender Zusammensetzung sollte umgehend die Bauleitung benachrichtigt werden, um das Vorgehen abzustimmen und ggf. den Gutachter zur Beurteilung hinzuzuziehen.

7 Bautechnische Folgerungen

Für den angetroffenen und beschriebenen Baugrund können zur weiteren Planung und Herstellung des Bauwerks Empfehlungen, Hinweise und Angaben

- zur Gründung (Abschnitt 7.1),
 - zum Herstellen der Baugruben (Abschnitt 7.2),
 - zu den Anschlussdämmen (Abschnitt 7.3) und
 - zu Hinterfüllung und Erddruck (Abschnitt 7.4)
- gemacht werden.

7.1 Gründung

Die Baugrundverhältnisse sind gekennzeichnet durch die mäßig tragfähige Lösslehmdecke über den tragfähigen Hochterrassenschottern mit allerdings stark schwankender Schichtdicke, dem darunter folgenden, mäßig tragfähigen umgelagertem Gipskeuper über der Festgesteinsoberfläche des Lettenkeupers.

Aufgrund der Lage im bergbaubedingten Senkungsgebiet ist mit zusätzlichen Senkungen und relativen Senkungsdifferenzen zu rechnen, siehe Abschnitt 4.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen:

- semiintegrale Bauweise mit entsprechend hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Setzungs-/Verformungsprognosen,
- zusätzliche Senkungen und Senkungsdifferenzen aus dem Bergbau,
- mit Bemessungslasten der Brückenpfeiler bis 12 MN vergleichsweise hohen Einwirkungen,
- mäßige Tragfähigkeit der Lösslehmdecke bzw. Heterogenität aufgrund stark schwankender Schichtdicken oberhalb der Festgesteinsoberfläche

empfehlen wir zur Minimierung der Setzungen und insbesondere der Setzungsdifferenzen einheitlich für die Widerlager- und Pfeilerachsen eine Tiefgründung im Festgestein des Lettenkeupers. Hierfür bieten sich Großbohrpfähle an, da rammende bzw. vibrierende oder verdrängende Alternativ-Verfahren erhöhte Ausführungsrisiken hinsichtlich Hindernissen, insbesondere in den Hochterrassenschottern, aufweisen.

Das Festgestein des Lettenkeupers ist für eine Bohrpfeilergründung des integralen Bauwerks geeignet.

Bei der Herstellung von Bohrpfeilern sind die Vorgaben der DIN EN 1536 sowie DIN SPEC 18 140 und für die Vergabe die DIN-VOB 18 301 zu beachten.

Die Pfähle müssen mit schwerem Gerät hergestellt werden. Daher wird ein ausreichend tragfähiges Arbeitsplanum erforderlich.

Für die Herstellung und Einbindung der Großbohrpfähle in das Grundwasser ist eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich.

Die charakteristischen Werte für Mantelreibung und Spitzendruck zur Dimensionierung einer Bohrpfahlgründung sind auf der Grundlage der DIN 1054 festzulegen. Es können abweichend von diesen Bemessungswerten höhere Pfahltragfähigkeiten auf der Grundlage von Pfahlprobelastungen festgelegt werden.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse und unseren Erfahrungen unter vergleichbaren Randbedingungen sowie in Anlehnung an die Erfahrungswerte aus der EA-Pfähle für (Halb-)Festgesteine (Tabellen 5.18) mit vergleichbaren Eigenschaften (Verwitterungsgrad, Festigkeit) empfehlen wir im Hinblick auf die Bemessung der Bohrpfähle die charakteristischen Widerstands-Werte für den Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ und Pfahlspitzen-
druck $q_{b,k}$ gemäß nachfolgender Tabelle anzusetzen, wobei die Schichtgrenzen in den Anlagen 3 dargestellt sind.

Auf Basis der Ergebnisse der Fremdbohrungen M4 und M5 sind wir im Bereich der Achse 4 von einer Erosionsrinne im Lettenkeuper, also einer tiefer liegenden OK Lettenkeuperfels der Verwitterungsstufen VS1 bis VS3, ausgegangen (s. Anlage 3.1 und Anlage 3.2.3).

Wir empfehlen daher insbesondere die Pfahlbohrungen in Achse 4 durch uns begleiten zu lassen. Evtl. liegt die Lettenkeuperoberfläche in diesem Bereich gegenüber dem Baugrundmodell auch rund 4 m höher.

Die Durchführung von Pfahlprobelastungen ist unter den vorliegenden Randbedingungen und den genannten Voraussetzungen aus unserer Sicht nicht erforderlich.

geol. Bezeichnung	Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²]	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²]
Lösslehm	-	-
Hochterrassenschotter	0,15	-
Gipskeuper, umgelagert	0,10	-
Lettenkeuper	0,45	5,0 ¹⁾

¹⁾ Pfahl-Mindesteinbindetiefe von 1,5 m in den Lettenkeuper der Verwitterungsstufe VS1 bis VS3 beachten

Tabelle 9: Charakteristische Pfahlwiderstände, ohne Abminderung für die Pfahl-Achsabstände

Hinsichtlich der Setzungen ist mit folgenden Beträgen zu rechnen, wobei wir voraussetzen, dass die Bohrlochsohlen mit einem Bohreimer bzw. Kastenbohrer sauber beräumt werden:

- wahrscheinliche Setzung: 0,5 cm im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) und
- mögliche Setzung: 1 cm im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT).

Die zusätzlichen zeitabhängigen bergbaubedingten Senkungen und relativen Senkungsdifferenzen sind in Tabelle 1 zusammengestellt und zusätzlich zu berücksichtigen.

Zu den Pfahlersatzfedersteifigkeiten können wir bei Bedarf und nach Vorlage des Entwurfs, den Pfahldurchmessern und Pfahllängen sowie den charakteristischen Einwirkungen entsprechende Angaben machen.

Zum zulässigen Abstand von Einzelpfählen bzw. zur Reduzierung der Pfahlwiderstände bei engen Abständen der Bohrpfähle empfehlen wir folgende Regelung: Bis zu Abständen der Pfahlachsen von $3 \cdot D$ (D = Pfahldurchmesser) müssen keine Abminderungen vorgenommen werden. Bei Abständen $\leq 1 \cdot D$ verringert sich die Fläche, in der Mantelreibung übertragen werden kann. Beim Spitzendruck ist zu berücksichtigen, dass mit abnehmendem Pfahlabstand der beim Einzelpfahl vorliegende dreidimensionale Spannungszustand in ein ebenes Problem übergeht.

Nach der früheren Norm für Bohrpfähle DIN 4014, Tabelle 6, ist bei tangierenden Pfählen bzw. bei einer durchgehenden Pfahlwand der Spitzendruck auf 60 % abzumindern. Wir empfehlen daher, auf die von uns angegebenen Werte für Einzelpfähle folgende Abminderungsfaktoren für die Gesamtwiderstände in Abhängigkeit der Pfahlabstände zu verwenden:

Achsabstand in einer Pfahlreihe	1·D	1,5·D	2·D	2,5·D	≥ 3·D
Abminderungsfaktor	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Diese Abminderungen gelten für Pfahlreihen mit wiederholt engen Pfahlabständen. Falls nur zwei Pfähle zueinander geringe Abstände aufweisen, sind die Reduktionen geringer:

Achsabstand in einer Pfahlreihe	1·D	1,5·D	2·D	2,5·D	≥ 3·D
Abminderungsfaktor	0,85	0,89	0,93	0,96	1,0

Bei durch Horizontallasten querbeanspruchten biegeweichen langen, schlanken Pfählen braucht der Nachweis der Tragfähigkeit in den Grenzzuständen STR und GEO nicht geführt zu werden, wenn die Pfähle vollkommen im Boden eingebettet sind und die waagerechte charakteristische Beanspruchung für BS-P höchstens 3 % bzw. für BS-T höchstens 5 % der lotrechten Beanspruchung erreicht. In allen anderen Fällen ist nach DIN 1054, Abs. 7.7 vorzugehen.

Beanspruchungen aus ungewollten Exzentrizitäten der Tiefgründungselemente gegenüber den Vertikallasten sind jedoch gemäß DIN EN 1536 zu berücksichtigen, können aber ebenso der aufgehenden Konstruktion zugeordnet werden.

Treten höhere Beanspruchungen als 3 % bzw. 5 % auf, kann der charakteristische Widerstand gegen Querbeanspruchung mit Probelastungen nachgewiesen werden, siehe DIN EN 1997-1 und DIN 1054, Abs. 7.7.2, bzw. kann die Berechnung des Widerstandes eines langen schlanken Pfahles mit dem Bettungsmodulverfahren für einen am Kopf belasteten Pfahl erfolgen.

Dabei können für die Ermittlung der Schnittgrößen bei der Biegebemessung für die beteiligten Bodenschichten horizontale Bettungsmoduln k_s angesetzt werden, die nach der Formel $k_s = E_s/d$ ermittelt werden können. Dabei ist E_s der Steifemodul aus Tabelle 6 bzw. Tabelle 10 und d der Pfahlschaftdurchmesser. Der Anwendungsbereich dieser Gleichung ist nach DIN 1054, Abs. 7.7.3 A(3) durch eine rechnerische max. charakteristische Horizontalverschiebung von entweder 2 cm oder $0,03 \cong d$ begrenzt, wobei der kleinere Wert maßgebend ist.

Ferner muss gemäß DIN 1054 vereinfacht nachgewiesen werden, dass:

- lokal die charakteristischen Normalspannungen $\sigma_{h,k}$ zwischen Pfahl und Boden die charakteristischen Erdwiderstandsspannungen $e_{ph,k}$, die für den ebenen Fall berechnet werden dürfen, nicht überschreiten, und
- es ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der seitlichen Bodenwiderstandskraft global, im Integral über die Höhe, nicht größer angesetzt worden ist, als es der Bemessungswert der räumlichen Erdwiderstandskraft für den entsprechenden Teil der Einbindetiefe bis zum Querkraftnullpunkt zulässt. Dabei ist für den Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit (SLS) zu zeigen, dass mit dem Integral der horizontalen Bettungsspannungen der Bemessungswert des Erdwiderstands nur bis max. zu 50 % genutzt wird.

Bei der Erdwiderstandsberechnung kann eine Ersatzbreite von $2,5 \cdot d$ angesetzt werden, um die Mitwirkung des Bodens seitlich und in seiner räumlichen Auswirkung vor dem Pfahl zu erfassen.

Die Abtragung größerer Horizontallasten kann auch über Schrägpfähle erfolgen. Verfahrenstechnisch ist die Herstellung von Bohrpfählen mit einer Neigung von 1:10 gegen die Vertikale ohne technische Schwierigkeiten möglich, auch Neigungen von bis zu 1:8 werden ausgeführt, wobei dann bei der Herstellung der Felseinbindung mit zusätzlichem Aufwand zu rechnen ist.

In Tabelle 10 sind die Grenzwerte der Steifemoduln zur Ermittlung der horizontalen Pfahlbettung angegeben.

geol. Bezeichnung	Lösslehm	Hochterrasse	Gipskeuper, umgelagert	Lettenkeuper
Steifemodul E_s [MN/m ²]	10 / 15	40 / 60	15 / 25	300 / 700
Grenzwerte für Ermittlung der horizontalen Bettung				

Tabelle 10: Steifemoduln, Grenzwerte für horizontale Bettung

Hinsichtlich der Gruppenwirkung quer zur Pfahlachse belasteter Pfähle verweisen wir zur Verteilung von Einwirkungen und Widerständen auf die EA-Pfähle: 2012, 8.1.3 und 8.2.3.

7.2 Herstellen der Baugruben

Aushub und Wiederverwendung von Böden: Die Bodenklassen und Bodengruppen der zu lösenden Schichten sind in Tabelle 6 angegeben und die Homogenbereiche nach DIN 18 300, DIN 18 301 und DIN 18 304 in Tabelle 7 definiert.

Die Ergebnisse der orientierenden abfallrechtlichen Untersuchung sind in Abschnitt 6.5 beschrieben.

Beim Aushub der Pfeilergruben werden Lösslehm-Böden anfallen, auf deren geotechnische Eignung zum Wiedereinbau wir nachfolgend eingehen. Im Zuge der Pfahlherstellung fällt als Bohrgut ein Gemisch aus sämtlichen Schichten an.

Das Aushubmaterial aus dem Lösslehm ist aufgrund der bindigen Ausbildung und der daraus resultierenden bodenmechanischen Eigenschaften und Witterungsempfindlichkeit nicht bzw. nur bedingt für einen qualifizierten Wiedereinbau in Bereichen mit Tragfähigkeitsanforderungen geeignet. Bei einer Wiederverwendung in Geländemodellierungen oder niedrigen Lärmschutzwällen, in denen Sackungen bis zu 3 % der Schütthöhe in Kauf genommen werden können, kann dieses Aushubmaterial ohne Bodenverbesserungsmaßnahmen (Behandlung mit Bindemitteln) eingebaut werden. Das gewonnene und zum Wiedereinbau vorgesehene Material sollte aufgrund der Witterungsempfindlichkeit möglichst unmittelbar nach dem Aushub wieder eingebaut und eine Zwischenlagerung nur in Ausnahmen vorgenommen werden. Beim Zwischenlagern sind die Aushubböden vor Witterungseinflüssen derart zu schützen, dass die Einbaufähigkeit erhalten bleibt. Dazu ist das Material geordnet zu deponieren, also mit Gefälle einzubauen und zu verdichten, außerdem abzudecken oder glatt abzuwalzen.

Für das Großbohrgerät wird ein ausreichend tragfähiges Arbeitsplanum erforderlich, wobei die Bohrebene im Bereich der Pfeilerachsen im jetzigen Geländeniveau und im Bereich der hochgesetzten Widerlager auf einer Vorschüttung der Anschlussdämme liegen wird.

Im Bereich der Pfeilerachsen ist zur Schaffung eines tragfähigen Arbeitsplanums das Einfräsen von Bindemitteln (Frästiefe 30 cm bis 40 cm) in den Lösslehm Boden und das Aufbringen einer Grobschotterschüttung $d \geq 0,5$ m sinnvoll. In der Vorschüttung ist bei bindemittelbehandeltem Schüttmaterial die Grobschotterlage ausreichend.

Ausbildung der Baugrubenwände: Die Böschungen der nur rund 1 m tiefen Pfeilergruben im Lösslehm dürfen bauzeitlich nach DIN 4124 mit Neigungen $\leq 60^\circ$ realisiert werden.

In den Widerlagerbereichen ist die Böschungsneigung aus der Funktion der späteren Hinterfüllung als "Schleppkeil" zu beachten, die gemäß ZTV E-StB 17 nicht steiler sein soll als:

- 1:2 bei nachträglicher Hinterfüllung in Dammlage sowie
- 1:1 bei Einschnitten und gleichzeitig mit der Dammschüttung ausgeführten Hinterfüllungen.

7.3 Anschlussdämme

Unter den Anschlussdämmen ergeben sich bei einer angenommenen Wichte des Schüttmaterials von $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ folgende rechnerischen Untergrundsetzungen, wobei die Setzungen am westlichen Anschlussdamm aufgrund der größeren Dammhöhe bei gleichzeitig ungünstigerer Baugrundsituation mit mächtiger Lösslehmdecke größer sind, siehe auch Anlage 6.1:

- Anschlussdamm Westseite, $h \sim 7,5$ m: rund 14 cm Untergrundsetzungen
- Anschlussdamm Ostseite, $h \sim 6$ m: rund 8 cm Untergrundsetzungen.

Der Gesamtsetzungsbetrag am Dammkopf ergibt sich aus der ermittelten Untergrundsetzung zuzüglich der Eigensetzung des Dammschüttmaterials (etwa 0,5 % der Damm-Schütthöhe).

Zur Minimierung der Setzungsdifferenzen zwischen den tiefgegründeten Brückenwiderlagern und den Anschlussdämmen kommen in Frage:

- Frühere Herstellung der planmäßigen Dammschüttungen zur Vorwegnahme der Untergrund- und Eigensetzungen (Vorschüttung). Wir gehen davon aus, dass nach einer Liegezeit der Vorschüttung von rund 5 bis 7 Monaten die Setzungen größtenteils eingetreten sind.
- Vorschüttung und Überschüttung der Dämme zur Verkürzung der Liegezeit.

Für eine Schüttzeit von rund 1 Monat haben wir in Anlage 6.2 die theoretischen Setzungsverläufe mit und ohne Überschüttung dargestellt um den Einfluss der Schüttgeschwindigkeit

keit, Schütthöhe und Liegezeit auf die zu erwartenden Restsetzungen exemplarisch aufzuzeigen, wobei wir für die maßgebende Konsolidationsschicht (Lösslehm) auf Basis unserer Erfahrungswerte einen Konsolidationsbeiwert $C_v = 1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ angesetzt haben.

Für das Widerlager West kann mit einer Überschüttung von 2 m bei einer tolerierbaren Restsetzung von 2 cm eine Verkürzung der Liegezeit von etwa 7 Monate auf 4 Monate erreicht werden, siehe Anlage 6.2.1.

Für das Widerlager Ost ist der Beschleunigungseffekt einer Überschüttung relativ gering und damit unwirtschaftlich. Bei einer tolerierbaren Restsetzung des Untergrunds von 2 cm wäre hier nach einer Liegezeit von knapp 5 Monaten ein Baubeginn möglich, siehe Anlage 6.2.2. Bei einer Liegezeit von 4 Monaten würden die Restsetzungen bei rund 2,5 cm liegen.

Bei diesen Angaben handelt es sich um grobe Anhaltswerte, die im Zuge der Erdarbeiten mit Hilfe von Setzungspegeln und eine engmaschige baubegleitende Messung des Setzungsverlaufs zu überprüfen sind.

7.4 Hinterfüllung und Erddruck, Entwässerung

Für die Hinterfüllung von Bauwerken (Verfüllung von Arbeitsräumen) sind hinsichtlich Materialwahl und Verdichtungsanforderungen in Deutschland bei Brückenwiderlagern und Stützwänden die Regeln des Erdbaus im Straßenbau zu beachten. Grundregelwerk ist dabei die ZTV E-StB 17, die als Vertragsgrundlage vereinbart werden sollten. Unsere Empfehlungen beruhen ebenfalls darauf.

Für die Hinterfüllung des Brückenbauwerks ist in Ergänzung zur ZTV E-StB auch das Merkblatt über den Einfluss der Hinterfüllung auf Bauwerke (M HifüBau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2018) zu beachten.

Die Hinterfüllbereiche der Widerlager liegen im Einflussbereich der Fahrbahn. Die Hinterfüllung unter Verkehrsflächen sollte mit gut abgestuftem, grob- oder gemischtkörnigem Material erfolgen, bei dem der Anteil an Korn unter $d = 0,063 \text{ mm}$ jedoch auf maximal 12 % begrenzt ist (Bodengruppen GW, GI, SW, SI, GT, GU nach DIN 18 196). Entsprechend ZTV E-StB, Abs. 10.2.4, können auch Boden-Bindemittel-Gemische im Hinterfüllbereich eingebaut werden. Das verwendete Hinterfüllmaterial muss verwitterungsbeständig und umweltverträglich sein. Es darf keine quellfähigen, zerfallsempfindlichen oder bauwerksaggressiven Bestandteile enthalten. Zur Vermeidung von Sackungen ist die Hinterfüllung lagenweise einzubauen und auf einen Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100 \%$ der einfachen Proctordichte zu verdichten. Bei Boden-Bindemittel-Gemischen ist zusätzlich ein Luftporenanteil $n_a \leq 12 \%$

nachzuweisen. Feinkörnige Böden ohne Bindemittelstabilisierung sind im Hinterfüllbereich auszuschließen, auch wenn aufgrund des natürlichen Wassergehalts eine ausreichende Verdichtung möglich wäre. Gegebenenfalls ist bei der Herstellung der Boden-Bindemittel-Gemische Wasser zuzugeben. Die Bindemitteldosierung und die evtl. erforderliche Wasserzugabe sind im Rahmen von Eignungsprüfungen festzulegen.

Der Verdichtungserfolg ist durch Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen nachzuweisen.

Außerhalb des Einflussesbereiches von Verkehrsflächen kann auch verdichtungsfähiges im Rahmen der Baumaßnahme anfallendes bindiges Material in die Arbeitsräume eingebaut werden. Hier ist eine lagenweise Verdichtung auf einen Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 95$ % der einfachen Proctordichte ausreichend, wobei in diesen Bereichen aber langfristig mit Sackungen von mehreren Zentimetern (rund 3 % der Verfüllhöhe) gerechnet werden muss. Um in diesen Bereichen weitere langfristige Sackungen zu vermeiden, empfehlen wir auch hier einen Luftporengehalt von $n_a \leq 12$ % einzuhalten.

Unverschiebliche Bauwerke sind nach DIN 4085 grundsätzlich auf einen erhöhten aktiven Erddruck bzw. den Erdruehdruck zu bemessen. Bei den geplanten Widerlagern, die nachträglich angeschüttet werden, ist mit dem Erddruck aus dem geschütteten und verdichteten Auffüllmaterial zu rechnen. Aufgrund von Messungen an hinterfüllten Bauwerken aus Stahlbeton, über die in der Literatur berichtet wird, und in Übereinstimmung mit DIN 4085, ist für die Bauteilbemessung der Erdruehdruck maßgebend. Der Erdruehdruck ist nicht umzulagern. Zur Berücksichtigung der horizontalen Verspannung infolge der Bodenverdichtung muss als Mindesterdruddruck ein Verdichtungserddruck von $e_v = 25$ kN/m² angesetzt werden.

In Abhängigkeit von der Scherfestigkeit des Verfüllmaterials haben wir Erdruehdruckbeiwerte bei ebenem Gelände in nachfolgender Tabelle 11 geschätzt.

Beiwert für	grob- und gemischt-körniges Material (Feinkornanteil < 15 %)	feinkörnige Böden (Feinkornanteil ≥ 15 %)
Erdruehdruck K_{ogh}	0,46 – 0,39	0,58 bzw. 0,54 ¹⁾

¹⁾ bei Boden-Bindemittel-Gemischen

Tabelle 11: Erdruehdruckbeiwerte bei Verfüllungen und ebenem Gelände sowie lotrechter Wand

Für die Bemessung integraler Bauwerke sind zusätzliche Betrachtungen des minimalen (aktiven) Erddrucks $\min E_{ah,k}$ und des (maximalen) mobilisierten passiven Erddrucks vorzunehmen, wobei der mobilisierte Erddruck $E_0 < E_{ph,mob} < E_{ph}$ ist.

Die minimalen und maximalen Erddruckbeiwerte E_{ah} und E_{ph} für die verschiedenen Hinterfüllmaterialien sind in Tabelle 12 angegeben.

Beiwert für	grob- und gemischt- körniges Material (Feinkornanteil < 15 %)	feinkörnige Böden (Feinkornanteil \geq 15 %)
aktiven Erddruck K_{agh}	0,25 - 0,20	0,35 bzw. 0,31 ¹⁾
aktiven Erddruck K_{ach}	0,87 - 0,76	1,04 bzw. 0,98 ¹⁾
passiven Erddruck K_{pgh}	7,15 - 12,10	3,91 bzw. 4,70 ¹⁾
passiven Erddruck K_{pch}	8,28 - 12,73	5,18 bzw. 5,96 ¹⁾

¹⁾ bei Boden-Bindemittel-Gemischen

Tabelle 12: minimale und maximale Erddruckbeiwerte bei Verfüllungen und ebenem Gelände sowie lotrechter Wand

Der mobilisierte Erddruck $E_{ph,mob,k}$ kann nach Vogt (siehe M HifüBau, Abs. 5.1.3) bestimmt werden. Eine vorhandene Kohäsion im Hinterfüllmaterial sollte zusätzlich berücksichtigt werden.

Für einen ersten Bemessungsansatz kann für eine Hinterfüllung mit einer qualifizierten Bodenverbesserung im Sinne der ZTV E-StB (Bindemittelzugabemenge \geq 3 M.-%) die Kohäsion c_k' in einer Bandbreite von 15 kN/m² bis 400 kN/m² angesetzt werden. Für eine qualifizierte Bodenverbesserung wird eine Eignungsprüfung erforderlich, bei der dann die Bindemitteldosierung entsprechend den zu erreichenden bodenmechanischen Rechenwerten ermittelt wird.

Die weiteren Hinweise im Merkblatt M HifüBau der FGSV zu den Einflüssen der Hinterfüllung, des Bauablaufs und des Bauwerks auf die Größe des Erddrucks und die Berechnungsansätze für integrale Bauwerke sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der Entwässerung der Bauwerkshinterfüllungen verweisen wir auf die Zeichnung Was 7 der Bundesanstalt für Straßenwesen.

8 Mitwirkung bei der Bauplanung und Ausführung

Das geologische Modell des Baugrunds, das Grundlage unserer bautechnischen Empfehlungen ist, resultiert aus punktuellen Aufschlüssen. Es kann den Baugrund daher nicht exakt beschreiben, und Abweichungen - vor allem der Schichtgrenzen - zwischen den Erkundungspunkten sind möglich. Eine Baugrundüberprüfung während der Erdarbeiten ist daher zwingend erforderlich:

- Abweichungen von der beschriebenen Schichtung und Beschaffenheit des Untergrunds und von den angegebenen Grundwasserverhältnissen sind uns sofort mitzuteilen.
- Die Pfahlbohrungen sind von uns zeitweise begleiten zu lassen.

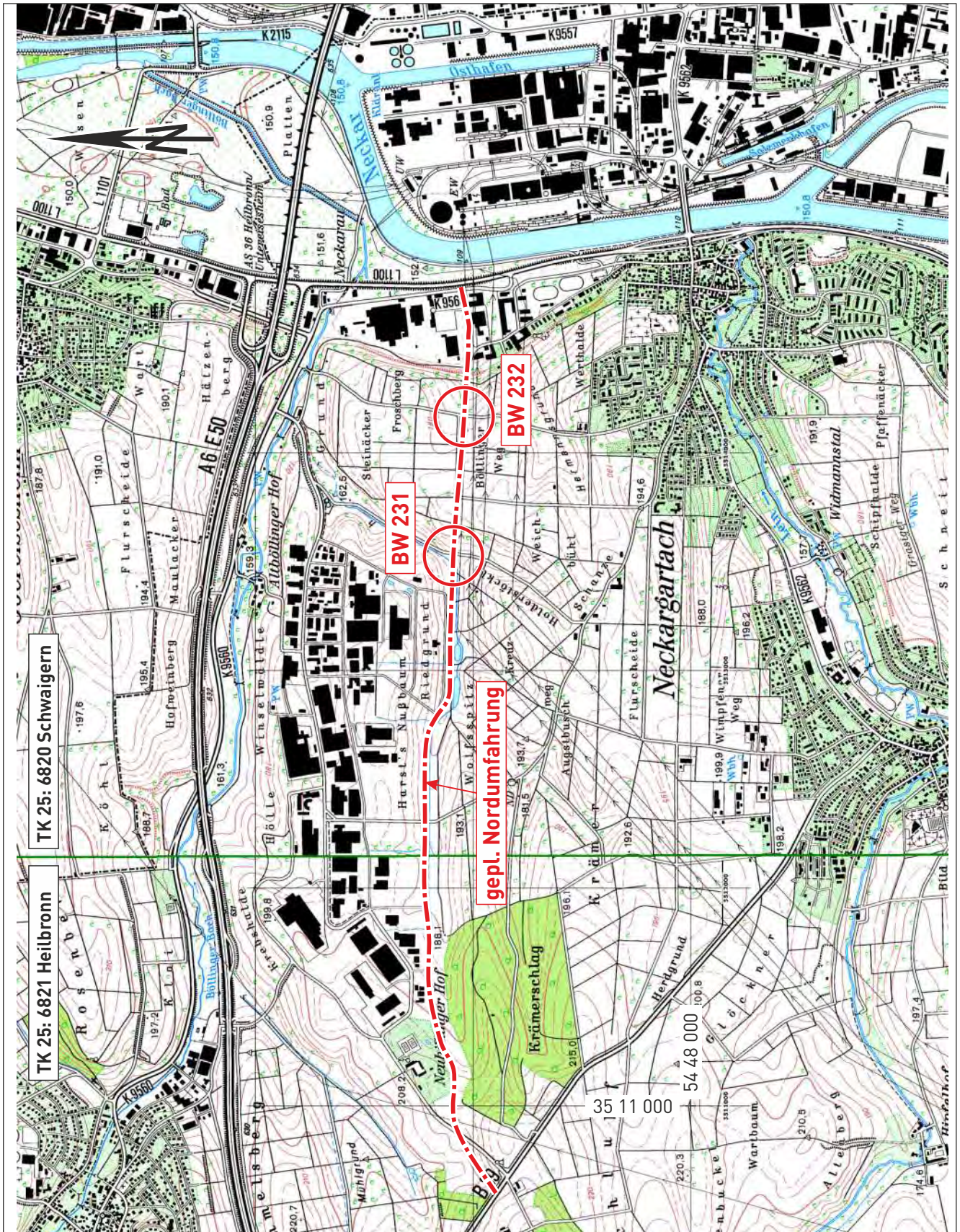
Wir bitten, uns rechtzeitig zu benachrichtigen.

Für die in das Grundwasser einbindenden Gründungspfähle ist eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich und entsprechend zu beantragen.

Die bautechnischen Angaben und Empfehlungen beruhen außer dem Baugrundmodell auch auf den uns vorliegenden Unterlagen und Lastangaben. Planerische oder konstruktive Änderungen gegenüber den beschriebenen Randbedingungen, Abmessungen und Einflüssen, die hier einen relevanten Einfluss haben könnten, sind uns daher mitzuteilen.

Für spezielle boden-/felsmechanische Fragestellungen, z. B. zu Pfahlersatzfedersteifigkeiten o. ä., empfehlen wir eine direkte Abstimmung zwischen dem Tragwerksplaner und uns.

<u>Anlagen</u>	Anlage
Lagepläne des geplanten BW 231 Talbrücke Wächtelesäcker	
▪ Übersichtslageplan (M 1:25.000)	1.1
▪ Lageplan (M 1:500) der Kernbohrungen und Verlauf des geologischen Schnittes (Anlage 3)	1.2
▪ Lageplan (M 1:2.500) mit den Isolinien der Senkungen im Zeitraum 1982 bis 2020 gemäß Angaben Südwestdeutsche Salzwerke AG	1.3.1
▪ Lageplan (M 1:500) mit den Isolinien der Senkungen im Zeitraum 1982 bis 2020 gemäß Angaben Südwestdeutsche Salzwerke AG im Bauwerksbereich	1.3.2
Schichtenfolgen der Kernbohrungen (M 1:100)	
▪ Kurzzeichen und Abkürzungen	2.0
▪ Kernbohrungen S&P 2022	
- BK 1	2.1.1
- BK 2	2.1.2
- BK 3	2.1.3
- BK 4	2.1.4
▪ Bohrkernfotos der Kernbohrungen S&P 2022	
- BK 1 (3 Blatt)	2.2.1
- BK 2 (3 Blatt)	2.2.2
- BK 3 (3 Blatt)	2.2.3
- BK 4 (3 Blatt)	2.2.4
▪ Kernbohrungen Roth & Partner 2016/17: M1 bis M5 (5 Blatt)	2.3
Baugrundmodell	
▪ Geologischer W-O-Geländeschnitt (M 1:500) entlang der Gradienten	3.1
▪ Schichtlagerungskarten (M 1:500) mit Höhenlage (mNN und m u. Gel.) der Oberfläche	
- der Hochterrassenschotter	3.2.1
- des umgelagerten Gipskeupers	3.2.2
- des Lettenkeupers (Verwitterungsstufe VS1 bis VS3)	3.2.3
Bodenmechanische Laborversuche	
▪ Zustandsgrenzen des Lösslehms	4.1
▪ Korngrößenverteilungen der Hochterrassenschotter	4.2
▪ Felsmechanische Untersuchungen Ruhr-Universität Bochum, 26.09.22 (31 Blatt)	4.3
Chemische Untersuchungen	
▪ Auswertetabellen nach VwV Bodenverwertung (4 Blatt)	5.1
▪ Prüfberichte des chemischen Labors (4 Blatt)	5.2
Ergebnisse der erdstatischen Berechnungen zu den Anschlussdämmen	
▪ Dammsetzungen West-/Ostseite (4 Blatt)	6.1
▪ Überschüttung und theoretische Zeitsetzungsverläufe West-/Ostseite (2 Blatt)	6.2

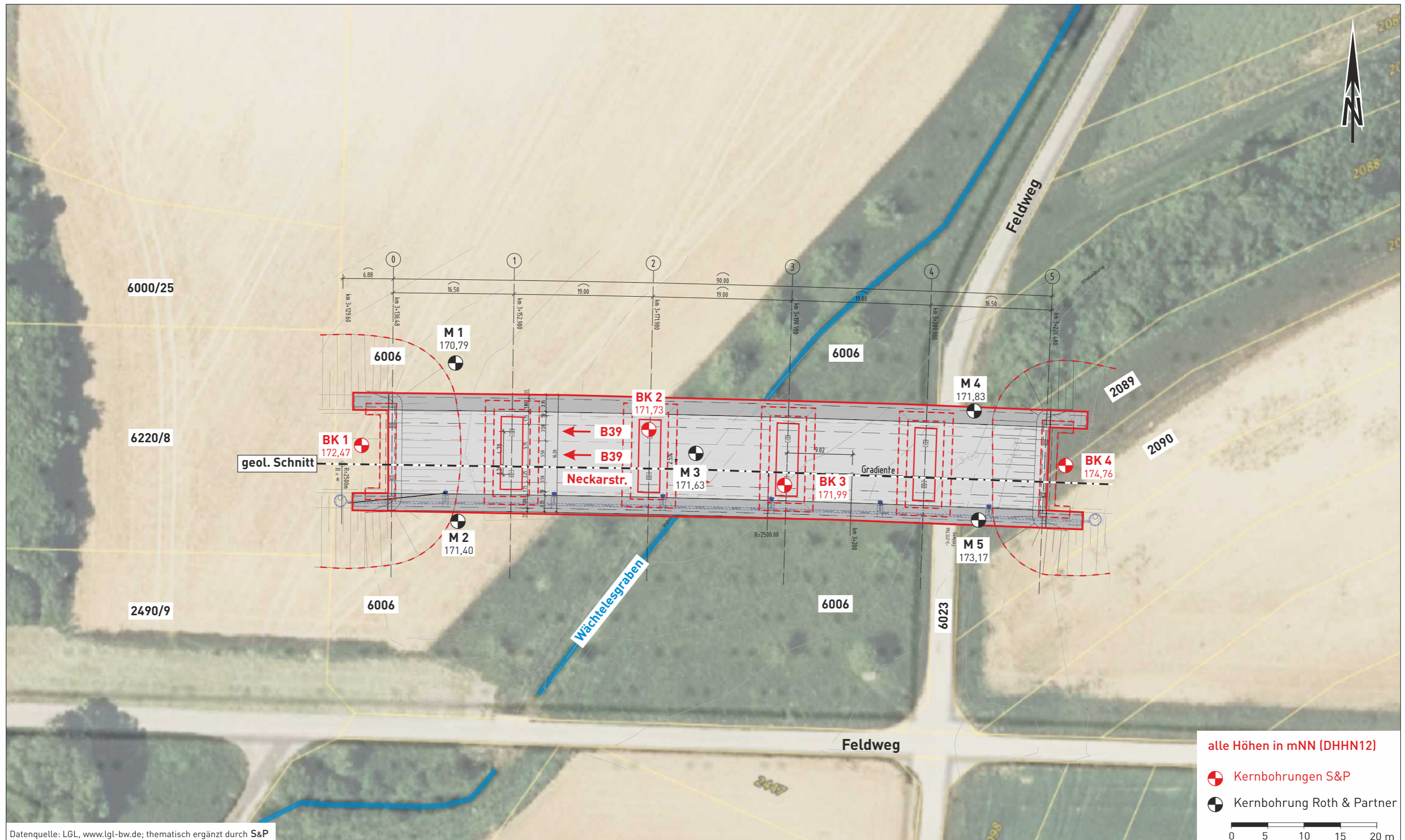


© LGL B-W (www.lgl-bw.de) 2012; thematisch ergänzt durch S&P

Übersichtslageplan mit Lage
des geplanten BW 231 Talbrücke Wächtelesäcker

gez. me
gepr. Sl

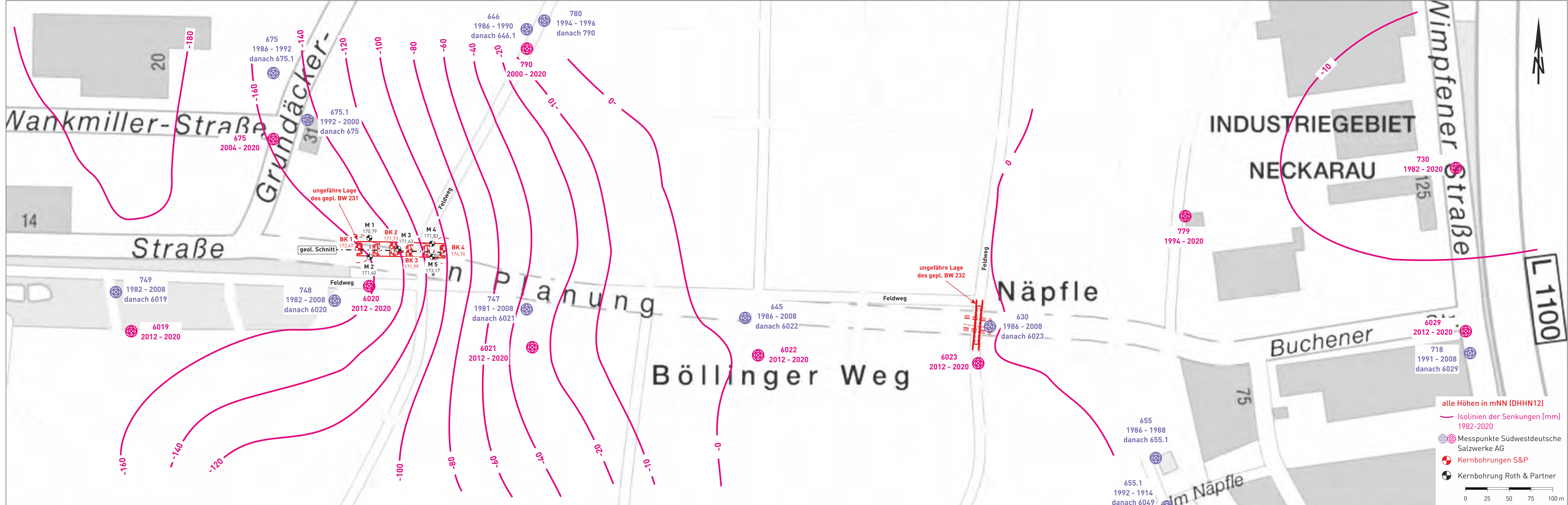
Maßstab
1:25 000



Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de; thematisch ergänzt durch S&P

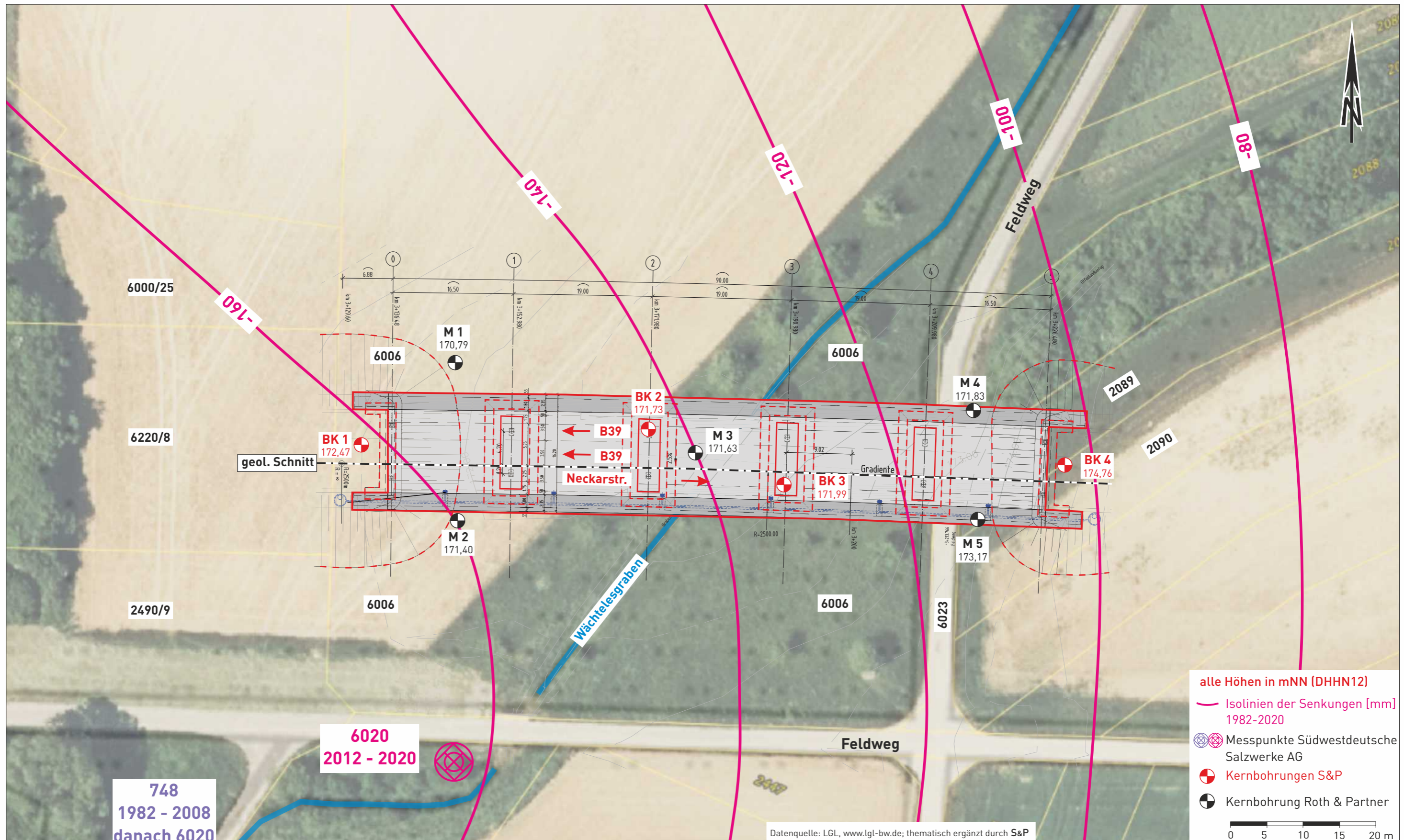
Lageplan mit Lage der Kernbohrungen und Verlauf des geologischen Schnittes

gez. me gepr. DT	Maßstab 1:500
---------------------	------------------



Lageplan mit den Isolinien der Senkungen im Zeitraum 1982 bis 2020 gemäß Angaben Südwestdeutsche Salzwerke AG

gez. me
gepr. DT
Maßstab
1:2500



748
 1982 - 2008
 danach 6020

Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de; thematisch ergänzt durch S&P

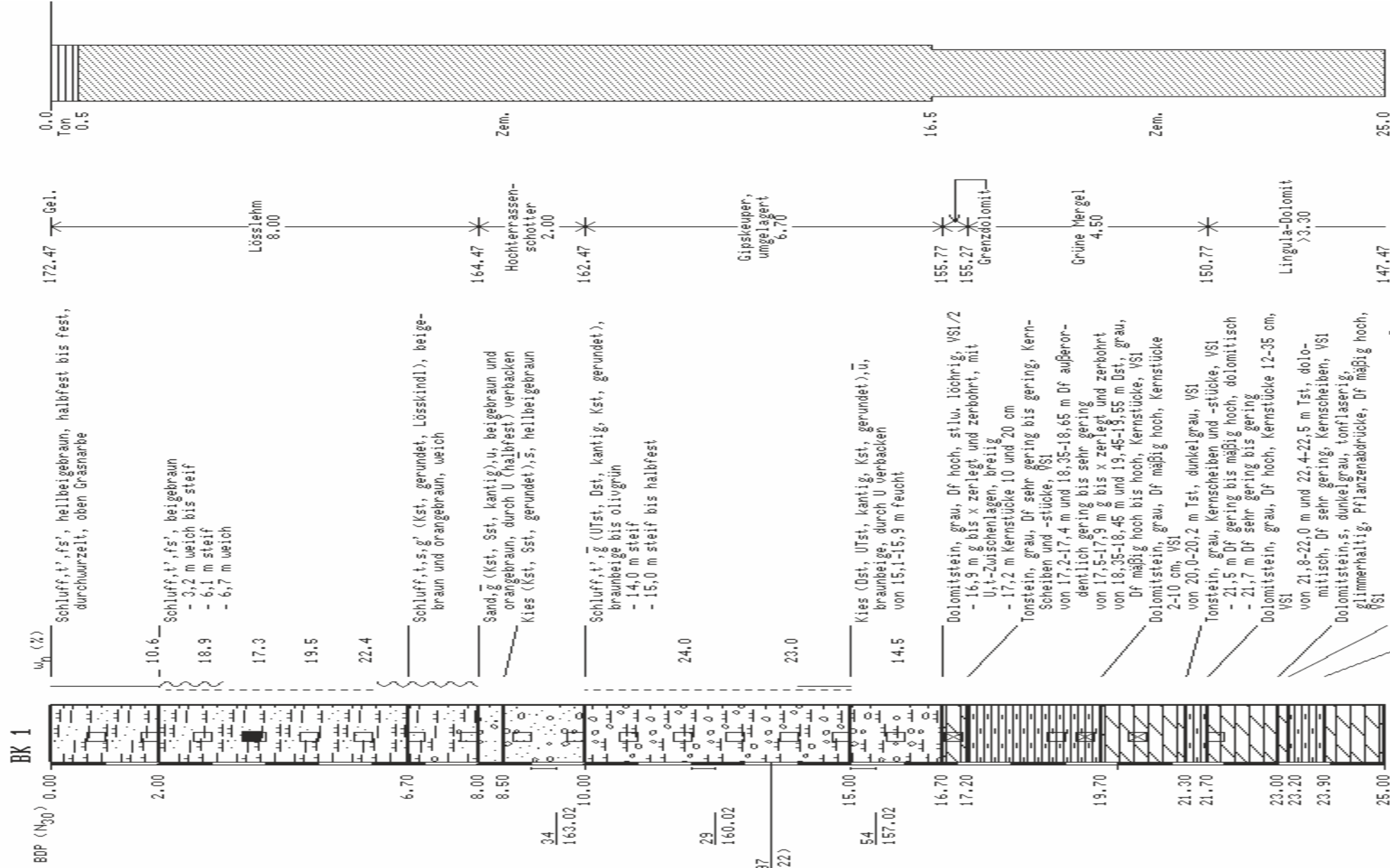
Lageplan mit den Isolinien der Senkungen im Zeitraum 1982 bis 2020
 gemäß Angaben Südwestdeutsche Salzwerke AG im Bauwerksbereich

gez. me gepr. DT	Maßstab 1:500
---------------------	------------------

<p>Untersuchungsstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> SCH Schurf BK Kernbohrung BS Kleinbohrung 	<p>Rammsondierung (Dynamic Probing)</p> <ul style="list-style-type: none"> DPL leichte Sonde (light) DPM mittelschwere Sonde (medium) DPH schwere Sonde (heavy) 	<p>Bodenproben</p> <ul style="list-style-type: none"> Güteklasse 1 Güteklasse 3 Kernstück 																																																																															
<p>Bodenarten-Beschreibung</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr><td>A</td><td>Auffüllung</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Y</td><td>Blöcke</td><td>y</td><td>mit Blöcken</td></tr> <tr><td>X</td><td>Steine</td><td>x</td><td>steinig</td></tr> <tr><td>G</td><td>Kies</td><td>g</td><td>kiesig</td></tr> <tr><td>S</td><td>Sand</td><td>s</td><td>sandig</td></tr> <tr><td>U</td><td>Schluff</td><td>u</td><td>schluffig</td></tr> <tr><td>T</td><td>Ton</td><td>t</td><td>tonig</td></tr> <tr><td>H</td><td>Humus, Torf</td><td>h</td><td>humos, torfig</td></tr> <tr><td>F</td><td>Faulschlamm</td><td>o</td><td>org. Anteile</td></tr> <tr><td>Mg</td><td>Mergel</td><td>mg</td><td>mergelig</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>dol.</td><td>dolomitisch</td></tr> </table>	A	Auffüllung			Y	Blöcke	y	mit Blöcken	X	Steine	x	steinig	G	Kies	g	kiesig	S	Sand	s	sandig	U	Schluff	u	schluffig	T	Ton	t	tonig	H	Humus, Torf	h	humos, torfig	F	Faulschlamm	o	org. Anteile	Mg	Mergel	mg	mergelig			dol.	dolomitisch	<p>Korngrößen</p> <p>f fein m mittel g grob</p> <p>grobkörnige Nebenteile (Massenanteile Körnungslinie)</p> <p>· schwach (< 15%) - stark (> 30%)</p> <p>feinkörnige Nebenteile (Einfluss auf Verhalten des Bodens)</p> <p>· schwach - stark</p>	<p>Konsistenz</p> <p>}} breiig } weich : steif halbfest fest</p> <p>Kalkgehalt (Aufbraus-Test: 10% HCl)</p> <p>Ca:0 kalkfrei Ca:+ kalkhaltig Ca:++ stark kalkhaltig</p>																																			
A	Auffüllung																																																																																
Y	Blöcke	y	mit Blöcken																																																																														
X	Steine	x	steinig																																																																														
G	Kies	g	kiesig																																																																														
S	Sand	s	sandig																																																																														
U	Schluff	u	schluffig																																																																														
T	Ton	t	tonig																																																																														
H	Humus, Torf	h	humos, torfig																																																																														
F	Faulschlamm	o	org. Anteile																																																																														
Mg	Mergel	mg	mergelig																																																																														
		dol.	dolomitisch																																																																														
<p>Felsarten-Beschreibung</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr><td>Z</td><td>Fels allgemein</td><td></td></tr> <tr><td>Zv</td><td>Fels verwittert</td><td></td></tr> <tr><td>Ko, Br</td><td>Konglomerat, Brekzie</td><td></td></tr> <tr><td>Sst</td><td>Sandstein</td><td></td></tr> <tr><td>Utst, Tst</td><td>Schluffstein, Tonstein</td><td></td></tr> <tr><td>Mst, Kst</td><td>Mergelstein, Kalkstein</td><td></td></tr> <tr><td>Dst</td><td>Dolomitstein</td><td>gering</td></tr> <tr><td>Gyst</td><td>Gipsstein</td><td></td></tr> <tr><td>Mem</td><td>Massige Metamorphite (z.B. Gneis)</td><td></td></tr> <tr><td>Pl</td><td>Plutonite (z.B. Granit)</td><td>mäßig hoch</td></tr> <tr><td>Vu</td><td>Vulkanite (z.B. Basalt)</td><td></td></tr> </table>	Z	Fels allgemein		Zv	Fels verwittert		Ko, Br	Konglomerat, Brekzie		Sst	Sandstein		Utst, Tst	Schluffstein, Tonstein		Mst, Kst	Mergelstein, Kalkstein		Dst	Dolomitstein	gering	Gyst	Gipsstein		Mem	Massige Metamorphite (z.B. Gneis)		Pl	Plutonite (z.B. Granit)	mäßig hoch	Vu	Vulkanite (z.B. Basalt)		<p>Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit (Df) im Feld</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Feldversuch</u></td> </tr> <tr> <td>außerordentlich gering</td> <td>mit Fingernagel leicht ritzbar</td> </tr> <tr> <td>sehr gering</td> <td>mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln</td> </tr> <tr> <td>gering</td> <td>mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar</td> </tr> <tr> <td>mäßig hoch</td> <td>mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>hoch</td> <td>nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>sehr hoch</td> <td>nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen</td> </tr> <tr> <td>außerordentlich hoch</td> <td>durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter</td> </tr> </table> <p>Kalkgehalt (s. Boden)</p>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Feldversuch</u>	außerordentlich gering	mit Fingernagel leicht ritzbar	sehr gering	mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln	gering	mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar	mäßig hoch	mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen	hoch	nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen	sehr hoch	nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen	außerordentlich hoch	durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter	<p>Zerlegung</p> <p>⚡ klüftig</p> <p>Schichtflächenabstand</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Abstand [mm]</u></td> </tr> <tr> <td>sehr dick</td> <td>größer als 2000</td> </tr> <tr> <td>dick</td> <td>2000 bis 600</td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>600 bis 200</td> </tr> <tr> <td>dünn</td> <td>200 bis 60</td> </tr> <tr> <td>sehr dünn</td> <td>60 bis 20</td> </tr> <tr> <td>grob laminiert</td> <td>20 bis 6</td> </tr> <tr> <td>fein laminiert</td> <td>kleiner als 6</td> </tr> </table> <p>Kluffflächenabstand</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td><u>Bezeichnung</u></td> <td><u>Abstand [mm]</u></td> </tr> <tr> <td>sehr weitständig</td> <td>größer als 2000</td> </tr> <tr> <td>weitständig</td> <td>2000 bis 600</td> </tr> <tr> <td>mittelständig</td> <td>600 bis 200</td> </tr> <tr> <td>engständig</td> <td>200 bis 60</td> </tr> <tr> <td>sehr engständig</td> <td>60 bis 20</td> </tr> <tr> <td>außerordentlich engständig</td> <td>kleiner als 20</td> </tr> </table>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>	sehr dick	größer als 2000	dick	2000 bis 600	mittel	600 bis 200	dünn	200 bis 60	sehr dünn	60 bis 20	grob laminiert	20 bis 6	fein laminiert	kleiner als 6	<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>	sehr weitständig	größer als 2000	weitständig	2000 bis 600	mittelständig	600 bis 200	engständig	200 bis 60	sehr engständig	60 bis 20	außerordentlich engständig	kleiner als 20
Z	Fels allgemein																																																																																
Zv	Fels verwittert																																																																																
Ko, Br	Konglomerat, Brekzie																																																																																
Sst	Sandstein																																																																																
Utst, Tst	Schluffstein, Tonstein																																																																																
Mst, Kst	Mergelstein, Kalkstein																																																																																
Dst	Dolomitstein	gering																																																																															
Gyst	Gipsstein																																																																																
Mem	Massige Metamorphite (z.B. Gneis)																																																																																
Pl	Plutonite (z.B. Granit)	mäßig hoch																																																																															
Vu	Vulkanite (z.B. Basalt)																																																																																
<u>Bezeichnung</u>	<u>Feldversuch</u>																																																																																
außerordentlich gering	mit Fingernagel leicht ritzbar																																																																																
sehr gering	mit Messer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze zu zerbröckeln																																																																																
gering	mit Messer schwer ritzbar, durch feste Aufschläge mit Hammerspitze schwach einkerbar																																																																																
mäßig hoch	mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen festen Hammerschlag zu zerbrechen																																																																																
hoch	nur durch mehrere Hammerschläge zu zerbrechen																																																																																
sehr hoch	nur durch sehr viele Hammerschläge zu zerbrechen																																																																																
außerordentlich hoch	durch Schläge mit dem Hammer lösen sich nur Splitter																																																																																
<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>																																																																																
sehr dick	größer als 2000																																																																																
dick	2000 bis 600																																																																																
mittel	600 bis 200																																																																																
dünn	200 bis 60																																																																																
sehr dünn	60 bis 20																																																																																
grob laminiert	20 bis 6																																																																																
fein laminiert	kleiner als 6																																																																																
<u>Bezeichnung</u>	<u>Abstand [mm]</u>																																																																																
sehr weitständig	größer als 2000																																																																																
weitständig	2000 bis 600																																																																																
mittelständig	600 bis 200																																																																																
engständig	200 bis 60																																																																																
sehr engständig	60 bis 20																																																																																
außerordentlich engständig	kleiner als 20																																																																																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Verwitterungsstufen</th> <th>VS 5</th> <th>VS 4</th> <th>VS 3</th> <th>VS 2</th> <th>VS 1</th> <th>VS 0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesteinstyp</td> <td>Boden</td> <td>Boden</td> <td>Boden + Gestein</td> <td>Gestein</td> <td>Gestein</td> <td>Gestein</td> </tr> <tr> <td>Bezeichnung</td> <td>zersetzt</td> <td>vollständig verwittert</td> <td>stark verwittert</td> <td>mäßig verwittert</td> <td>schwach verwittert</td> <td>frisch</td> </tr> <tr> <td>Beschreibung</td> <td>gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge</td> <td>gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt</td> <td>mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.</td> <td>weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt</td> <td>Verfärbung</td> <td>möglicherweise leichte Verfärbung</td> </tr> </tbody> </table>							Verwitterungsstufen	VS 5	VS 4	VS 3	VS 2	VS 1	VS 0	Gesteinstyp	Boden	Boden	Boden + Gestein	Gestein	Gestein	Gestein	Bezeichnung	zersetzt	vollständig verwittert	stark verwittert	mäßig verwittert	schwach verwittert	frisch	Beschreibung	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt	mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.	weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt	Verfärbung	möglicherweise leichte Verfärbung																																															
Verwitterungsstufen	VS 5	VS 4	VS 3	VS 2	VS 1	VS 0																																																																											
Gesteinstyp	Boden	Boden	Boden + Gestein	Gestein	Gestein	Gestein																																																																											
Bezeichnung	zersetzt	vollständig verwittert	stark verwittert	mäßig verwittert	schwach verwittert	frisch																																																																											
Beschreibung	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, ohne Gefüge	gesamtes Gestein zu Boden umgewandelt, Gefüge größtenteils unversehrt	mehr als die Hälfte des Gesteins zersetzt oder zerfallen Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor.	weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt	Verfärbung	möglicherweise leichte Verfärbung																																																																											
<p>Grundwasser (Gw) Gw-Spiegel / Gw-Stand</p> <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>100,00 mNN</td> <td>undefiniert oder nach Bohrende</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle;"> <ul style="list-style-type: none"> Aufsatzrohr Ringraumzementation Filterrohr Sumpfrohr Quellton Bohrendtiefe </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>100,00 mNN</td> <td>angebohrt</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>100,00 mNN</td> <td>in Ruhe im ausgebauten Bohrloch</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>20.12.1998</td> <td>Datum</td> </tr> </table> <p>Normen: DIN EN ISO 14688, DIN EN ISO 14689-1 DIN 4022, DIN 4023</p> <p style="text-align: center;"> Vernässung oberhalb des Gw</p>								100,00 mNN	undefiniert oder nach Bohrende	<ul style="list-style-type: none"> Aufsatzrohr Ringraumzementation Filterrohr Sumpfrohr Quellton Bohrendtiefe 		100,00 mNN	angebohrt		100,00 mNN	in Ruhe im ausgebauten Bohrloch		20.12.1998	Datum																																																														
	100,00 mNN	undefiniert oder nach Bohrende	<ul style="list-style-type: none"> Aufsatzrohr Ringraumzementation Filterrohr Sumpfrohr Quellton Bohrendtiefe 																																																																														
	100,00 mNN	angebohrt																																																																															
	100,00 mNN	in Ruhe im ausgebauten Bohrloch																																																																															
	20.12.1998	Datum																																																																															
<p>Beschreibung der Schichtenfolgen: Kurzzeichen und Abkürzungen</p>					<p>gez. AJ gepr. Sl</p>																																																																												

TK 25: 6821 Heilbronn
 R = 35 13 462,4 / H = 54,49 117,4
 Lage siehe auch Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 172,47 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Baugrund Süd GmbH
 am: 28.-29.06.22
 aufgenommen: Dipl.-Geol. Philipp Schlittenhardt/S&P
 G: S&P-AUFTR22-22057 BK01.bpr; 17.10.2022



Schluff, t', fs', hellbeigebraun, halbfest bis fest, durchwurzelt, oben Gräsernarbe

Schluff, t', fs', beigebraun
 - 3,2 m weich bis steif
 - 6,1 m steif
 - 6,7 m weich

Schluff, t, s, g' (Kst, gerundet, Lösskinkl), beige-braun und orangebraun, weich

Sand, g (Kst, Sst, kantig), u, beigebraun und orangebraun, durch U (halbfest) verbacken

Kies (Kst, Sst, gerundet), s, hellbeigebraun

Schluff, t', g (Ufst, Ost, kantig, Kst, gerundet), braunbeige bis olivgrün
 - 14,0 m steif
 - 15,0 m steif bis halbfest

24.0

23.0

Kies (Ost, Ufst, kantig, Kst, gerundet), u, braunbeige, durch U verbacken
 von 15,1-15,9 m feucht

14.5

Dolomitstein, grau, Df hoch, stlw. löchrig, VSI/2
 - 16,9 m g bis x zerlegt und zerbohrt, mit U,-Zwischenlagen, breit
 - 17,2 m Kernstücke 10 und 20 cm

Tonstein, grau, Df sehr gering bis gering, Kern-scheiben und -stücke, VSI
 von 17,2-17,4 m und 18,35-18,65 m Df außerordentlich gering bis sehr gering
 von 17,5-17,9 m g bis x zerlegt und zerbohrt
 von 18,35-18,45 m und 19,45-19,55 m Dst, grau, Df mäßig hoch bis hoch, Kernstücke, VSI

Dolomitstein, grau, Df mäßig hoch, Kernstücke 2-10 cm, VSI

Tonstein, grau, Df mäßig hoch, VSI
 von 20,0-20,2 m Tst, dunkelgrau, VSI

Tonstein, grau, Kernscheiben und -stücke, VSI
 - 21,5 m Df gering bis mäßig hoch, dolomitisch
 - 21,7 m Df sehr gering bis gering

Dolomitstein, grau, Df hoch, Kernstücke 12-35 cm, VSI
 von 21,8-22,0 m und 22,4-22,5 m Tst, dolomitisch, Df sehr gering, Kernscheiben, VSI

Dolomitstein, s, dunkelgrau, tonflaserig, glimmerhaltig; Pflanznarben, Df mäßig hoch, VSI

Tonstein, dolomitisch, grau, Df gering bis mäßig hoch, Kernstücke 5-15 cm
 von 23,5-23,7 m g bis x zerlegt und zerbohrt
 von 23,75-23,85 m dunkelgrau, Df sehr gering

Dolomitstein, s, dunkelgrau, Df mäßig hoch, tonflaserig, glimmerhaltig, Kernstücke 1-10 cm, VSI
 von 24,6-24,85 m Tst, dunkelgrau, Df gering

Bohrverfahren:
 - 16,5 m Rammkernbohrung Ø 180 mm
 - 25,0 m Rotationskernbohrung Ø 146 mm
 - 16,5 m Hilfsverrohrung Ø 220 mm

Bodenproben: 1,0 m; 2,0 m; 3,0 m; 4,0 m; 5,0 m; 6,0 m; 7,0 m; 8,0 m; 9,0 m; 10,0 m; 11,0 m; 12,0 m; 13,0 m; 14,0 m; 15,0 m; 16,0 m; 19,0 m; 22,0 m

Kernstücke: 17,0-17,1 m; 19,45-19,55 m; 20,5-20,55 m

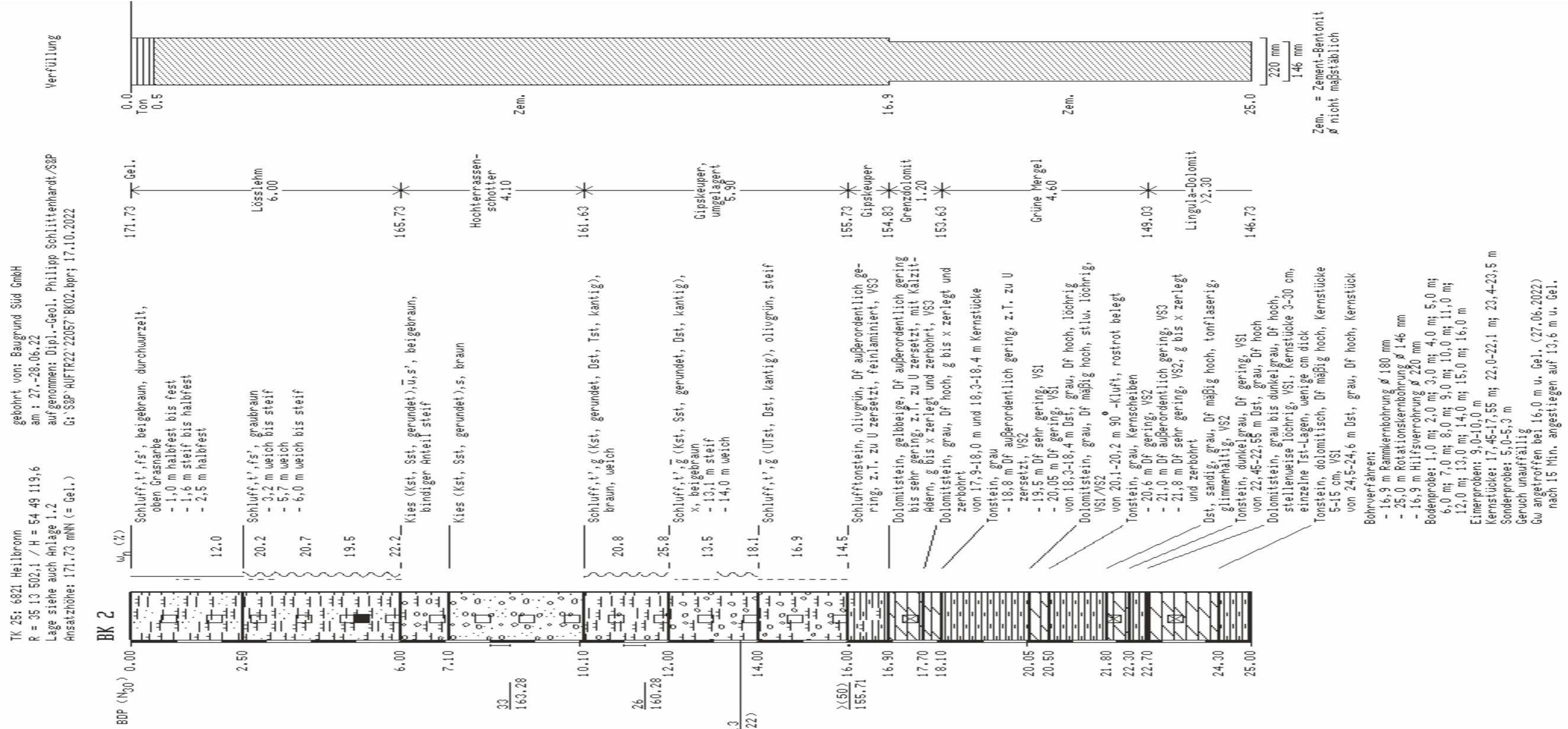
Sonderproben: 3,6-3,9 m

Geruch: unauffällig

Gw: angetroffen bei 15,5 m u. Gel. (28.06.22) nach 15 Min. angestiegen auf 13,5 m u. Gel.

BDP 9,00 m - 9,45 m; 14/16/18
 12,00 m - 12,45 m; 12/13/16
 15,00 m - 15,45 m; 21/25/29

UTM-Koordinaten: E 32513381,65; N 5447377,21
 Ansatzhöhe DHNN2016: 172,43 mNN



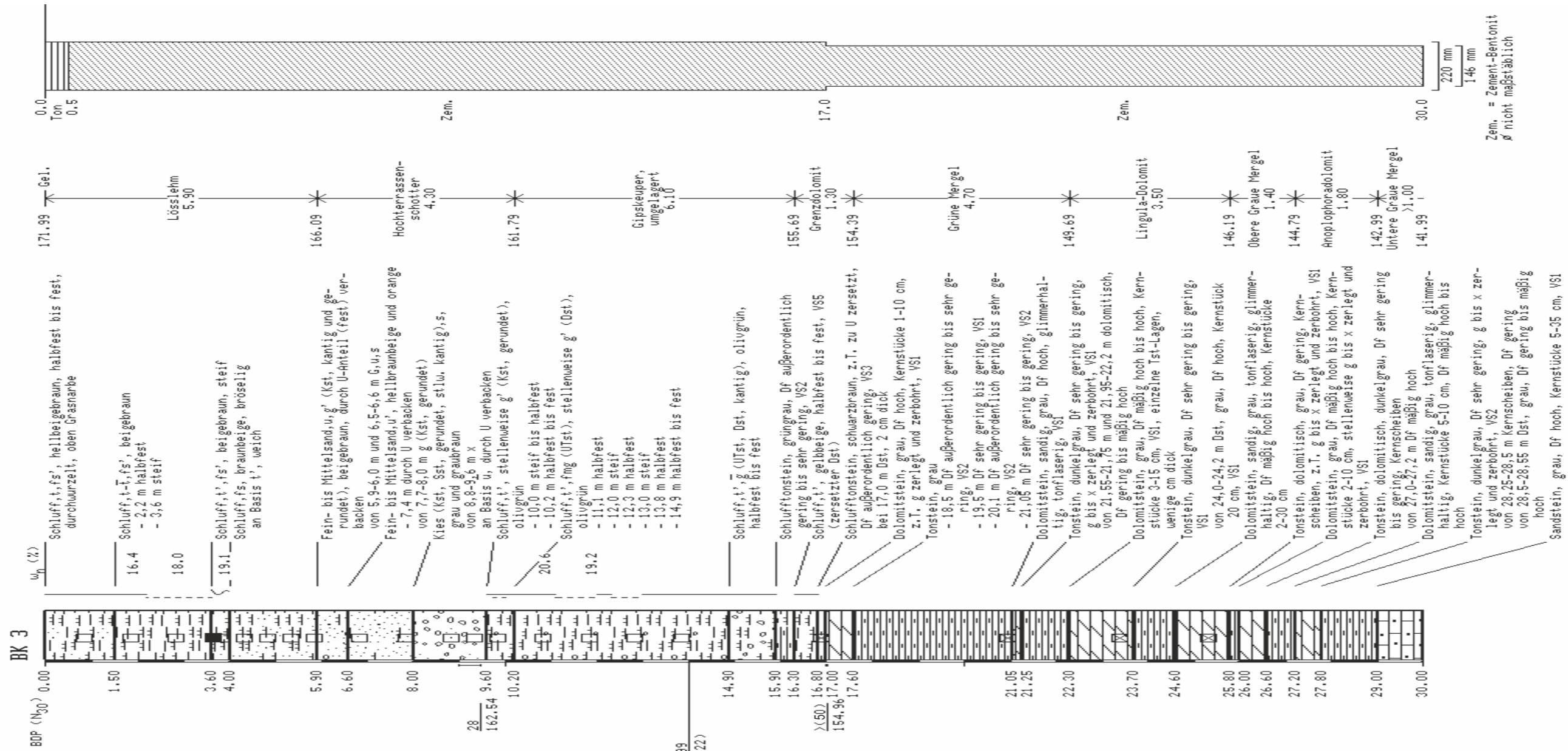
Schichtenfolge der Kernbohrung S&P 2022 BK 2

gez. ks
gepr. Sl

Maßstab
1:100

TK 25: 6821 Heilbronn
 R = 35 13 520,8 / H = 54 49 111,9
 Lage siehe auch Anlage 1.2
 Ansatzhöhe: 171,99 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Baugrund Süd GmbH
 am: 23.-27.06.22
 aufgenommen: Dipl.-Geol. Philipp Schlittenhardt/S&P
 G: S&P-AUFR22-22057-BK03.bprj; 17.10.2022



28
 162,54
 157,99
 (27.06.22)

14.90 Schluff, t, g (Ust, Dst, kantig), olivgrün, halbfest bis fest

15.90 Schlufftonstein, grüngrau, Df außerordentlich gering bis sehr gering, VS2

16.30 Schluff, t, gelbbefige, halbfest bis fest, VS5 (zersetzt Dst)

16.80 Schlufftonstein, schwarzbraun, z.T. zu U zersetzt, Df außerordentlich gering, VS3 bei 17,0 m Dst, 2 cm dick

17.00 Dolomitstein, grau, Df hoch, Kernstücke 1-10 cm, z.T. g zerlegt und zerbohrt, VSI

17.60 Tonstein, grau
 - 18,5 m Df außerordentlich gering bis sehr gering, VS2
 - 19,5 m Df sehr gering bis gering, VSI
 - 20,1 m Df außerordentlich gering bis sehr gering, VS2
 - 21,05 m Df sehr gering bis gering, VS2
 Dolomitstein, sandig, grau, Df hoch, glimmerhaltig, tonfaserig, VSI

21.05 Tonstein, dunkelgrau, Df sehr gering bis gering, g bis x zerlegt und zerbohrt, VSI

21.25 von 21,55-21,75 m und 21,95-22,2 m dolomitisch, Df gering bis mäßig hoch

22.30 Dolomitstein, grau, Df mäßig hoch bis hoch, Kernstücke 3-15 cm, VSI, einzelne Ist-Lager, wenige cm dick

23.70 Tonstein, dunkelgrau, Df sehr gering bis gering, VSI
 von 24,0-24,2 m Dst, grau, Df hoch, Kernstück 20 cm, VSI

25.80 Dolomitstein, sandig, grau, tonfaserig, glimmerhaltig, Df mäßig hoch bis hoch, Kernstücke 2-30 cm

26.00 Tonstein, dolomitisch, grau, Df gering, Kerne-scheiben, z.T. g bis x zerlegt und zerbohrt, VSI

26.60 Dolomitstein, grau, Df mäßig hoch bis hoch, Kern-stücke 2-10 cm, stellenweise g bis x zerlegt und zerbohrt, VSI

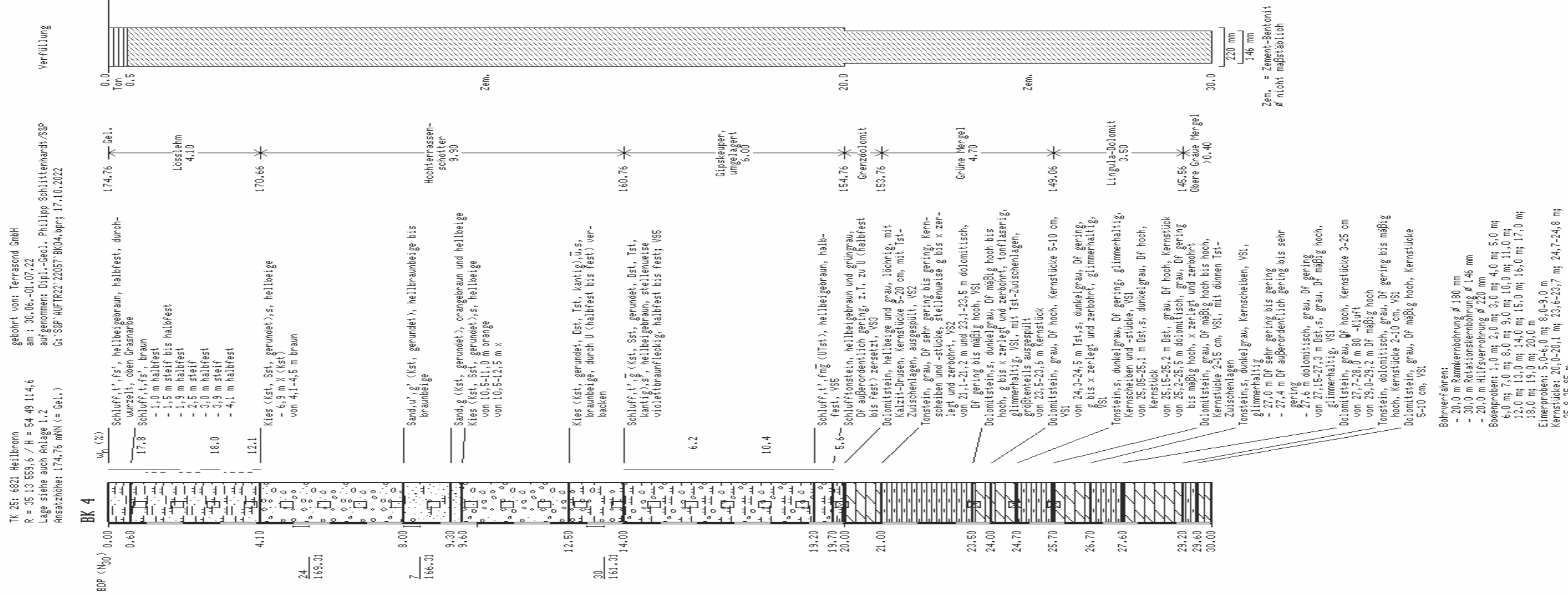
27.20 Tonstein, dolomitisch, dunkelgrau, Df sehr gering bis gering, Kerne-scheiben
 von 27,0-27,2 m Df mäßig hoch

27.80 Dolomitstein, sandig, grau, tonfaserig, glimmerhaltig, Kernstücke 5-10 cm, Df mäßig hoch bis hoch

29.00 Tonstein, dunkelgrau, Df sehr gering, g bis x zerlegt und zerbohrt, VS2
 von 28,25-28,5 m Kerne-scheiben, Df gering
 von 28,5-28,55 m Dst, grau, Df gering bis mäßig hoch

Sandstein, grau, Df hoch, Kernstücke 5-35 cm, VSI

Bohrverfahren:
 - 17,0 m Rammkernbohrung Ø 180 mm
 - 30,0 m Rotationskernbohrung Ø 146 mm
 - 17,0 m Hilfsverrohrung Ø 220 mm
 Bodenprobe: 1,0 m; 2,0 m; 3,0 m; 4,0 m; 4,5 m; 5,0 m; 5,5 m; 6,0 m; 7,0 m; 8,0 m; 9,0 m; 9,5 m; 10,0 m; 11,0 m; 12,0 m; 13,0 m; 14,0 m
 Eimerprobe: 8,0-9,0 m
 Kernstücke: 17,0-17,05 m; 21,05-21,1 m; 23,5-23,55 m; 25,4-25,5 m
 Sonderprobe: 3,5-3,8 m
 Geruch unauffällig
 Gw angetroffen bei 17,0 m u. Gel. (24.06.22)
 nach 15 Min. angestiegen auf 14,5 m u. Gel.
 nach Unterteil übers überhöhenende bei 14,0 m u. Gel. (27.06.22, 7:00h)
 BOP 9,00 m - 9,45 m; 12/13/15
 17,00 m - 17,03 m; 20/00/00 (3 cm)



Schichtenfolge der Kernbohrung S&P 2022
 BK 4

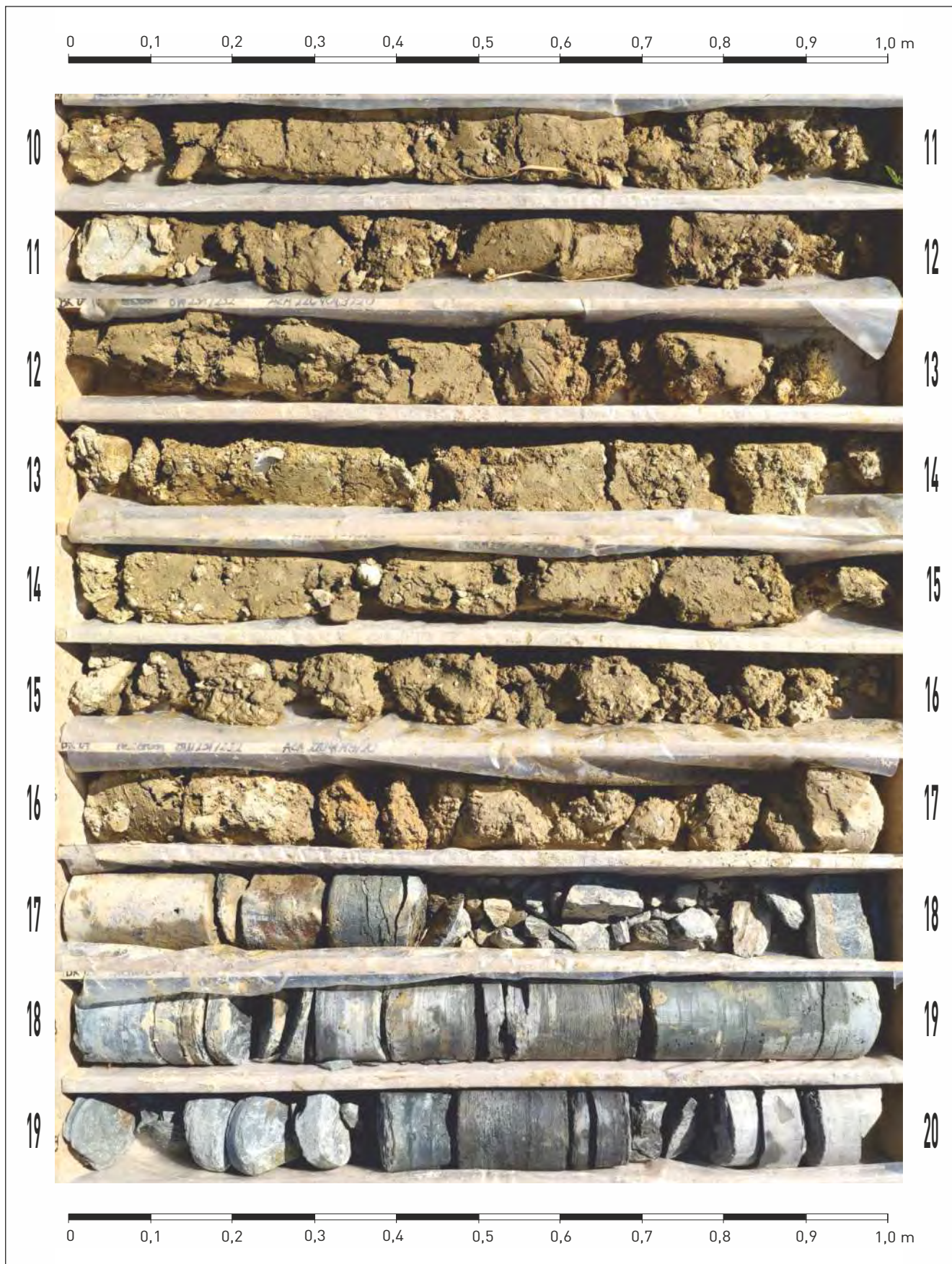
gez. ks
 gepr. Sl

Maßstab
 1:100



Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 1 (0,0 - 10,0 m)

gez. AJ
gepr. St



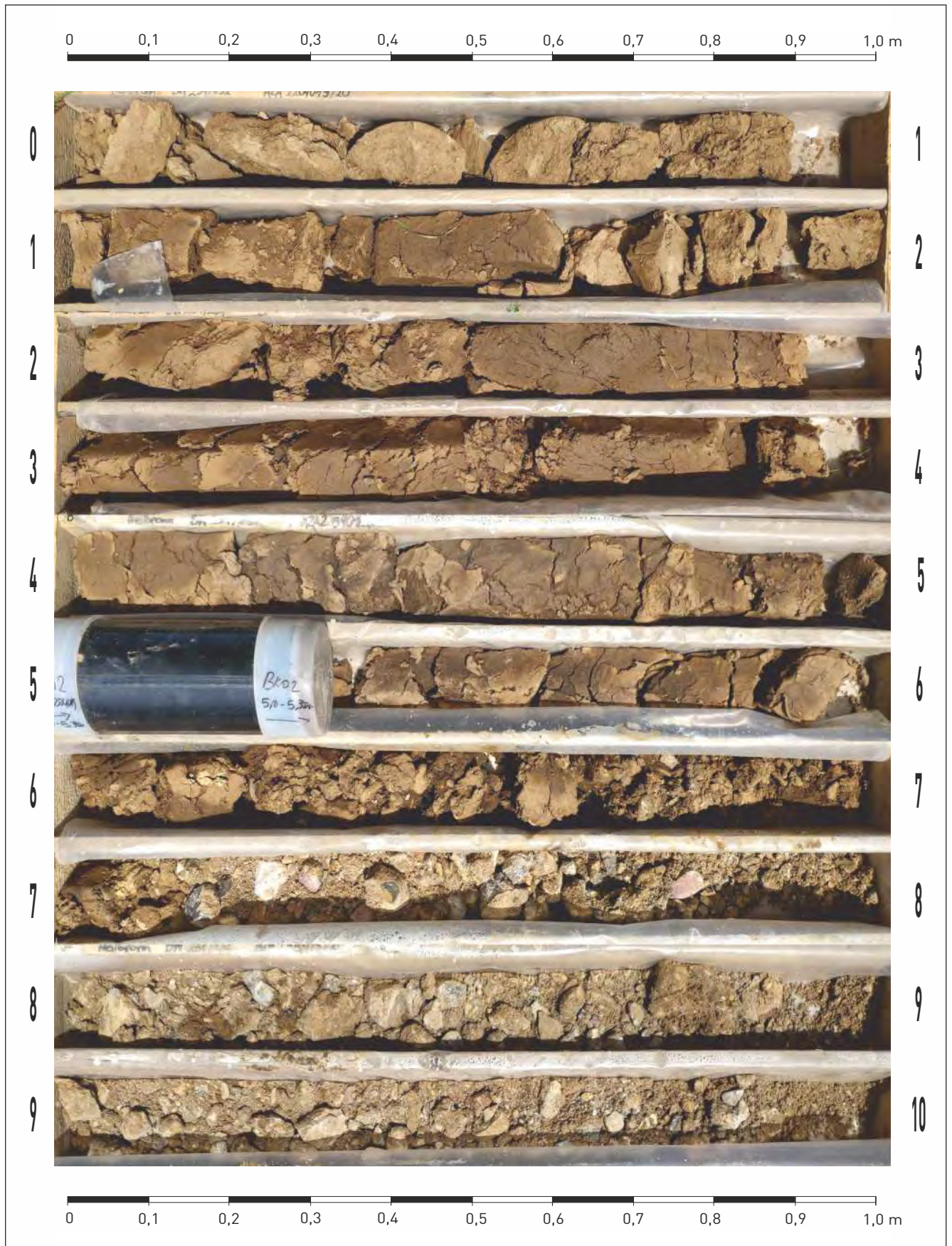
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 1 (10,0 - 20,0 m)

gez. AJ
gepr. St



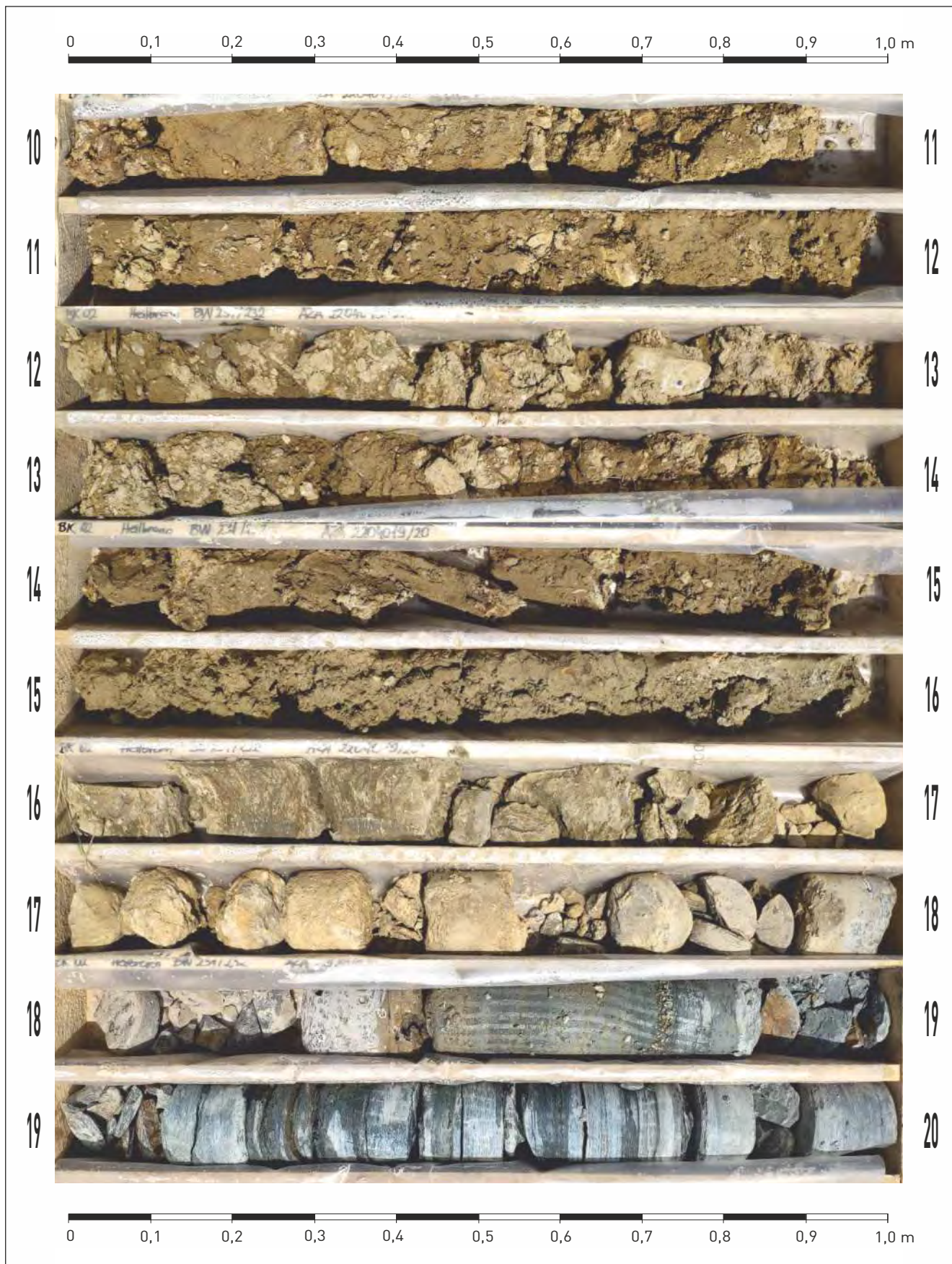
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 1 (20,0 - 25,0 m)

gez. AJ
gepr. St



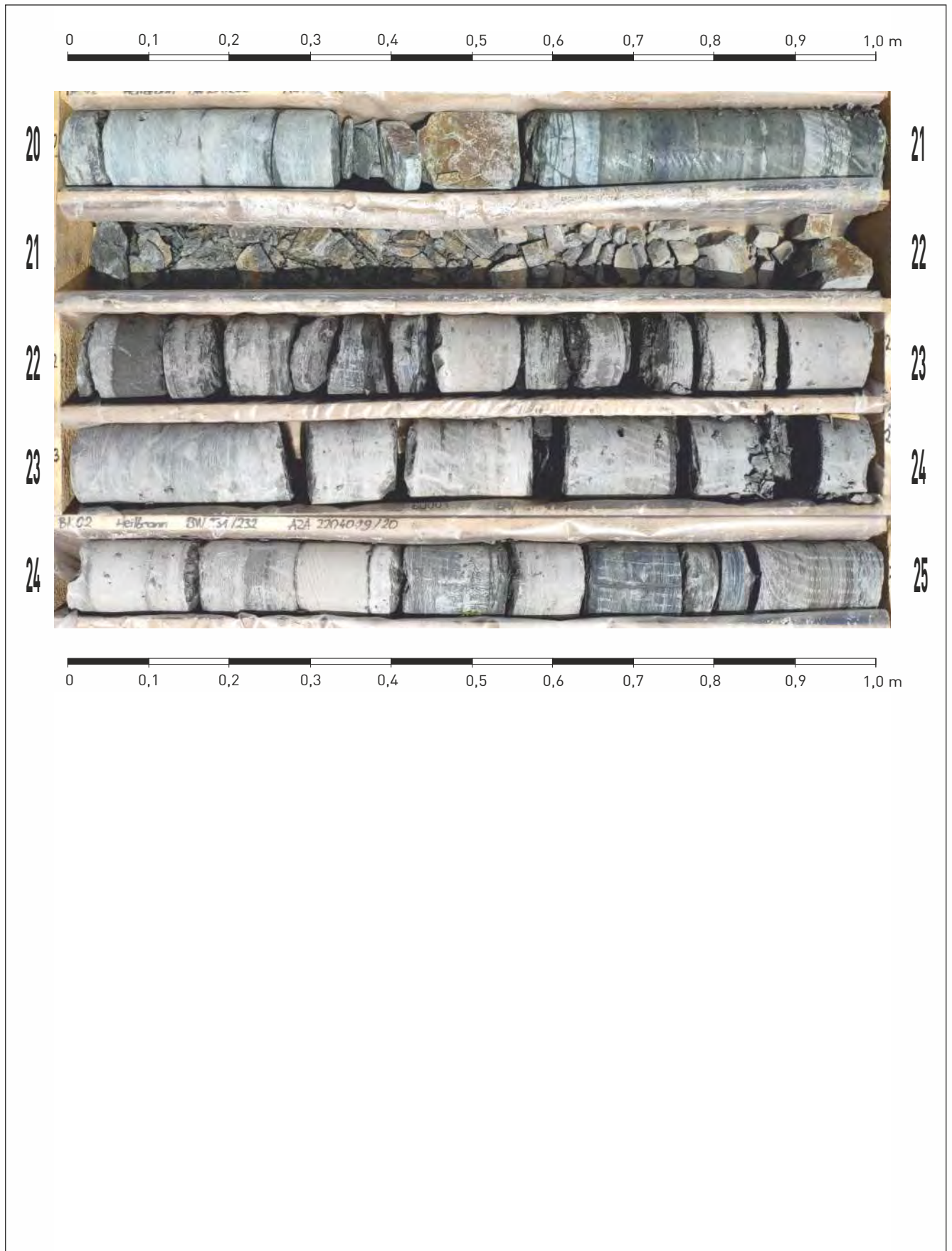
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 2 (0,0 - 10,0 m)

gez. AJ
gepr. St



Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 2 (10,0 - 20,0 m)

gez. AJ
gepr. St



Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 2 (20,0 - 25,0 m)

gez. AJ
gepr. St



Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 3 (0,0 - 10,0 m)

gez. AJ
gepr. St



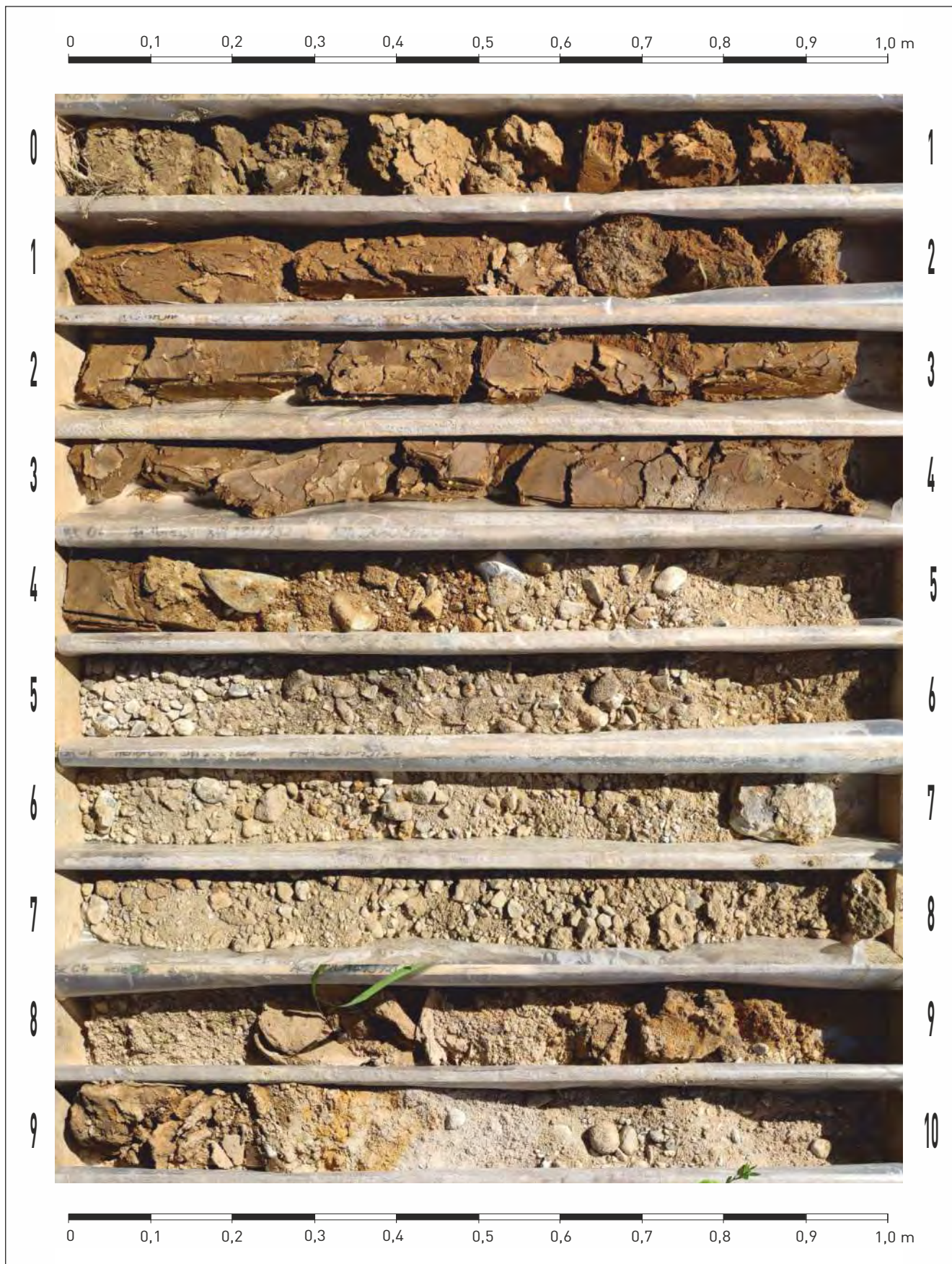
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 3 (10,0 - 20,0 m)

gez. AJ
gepr. St



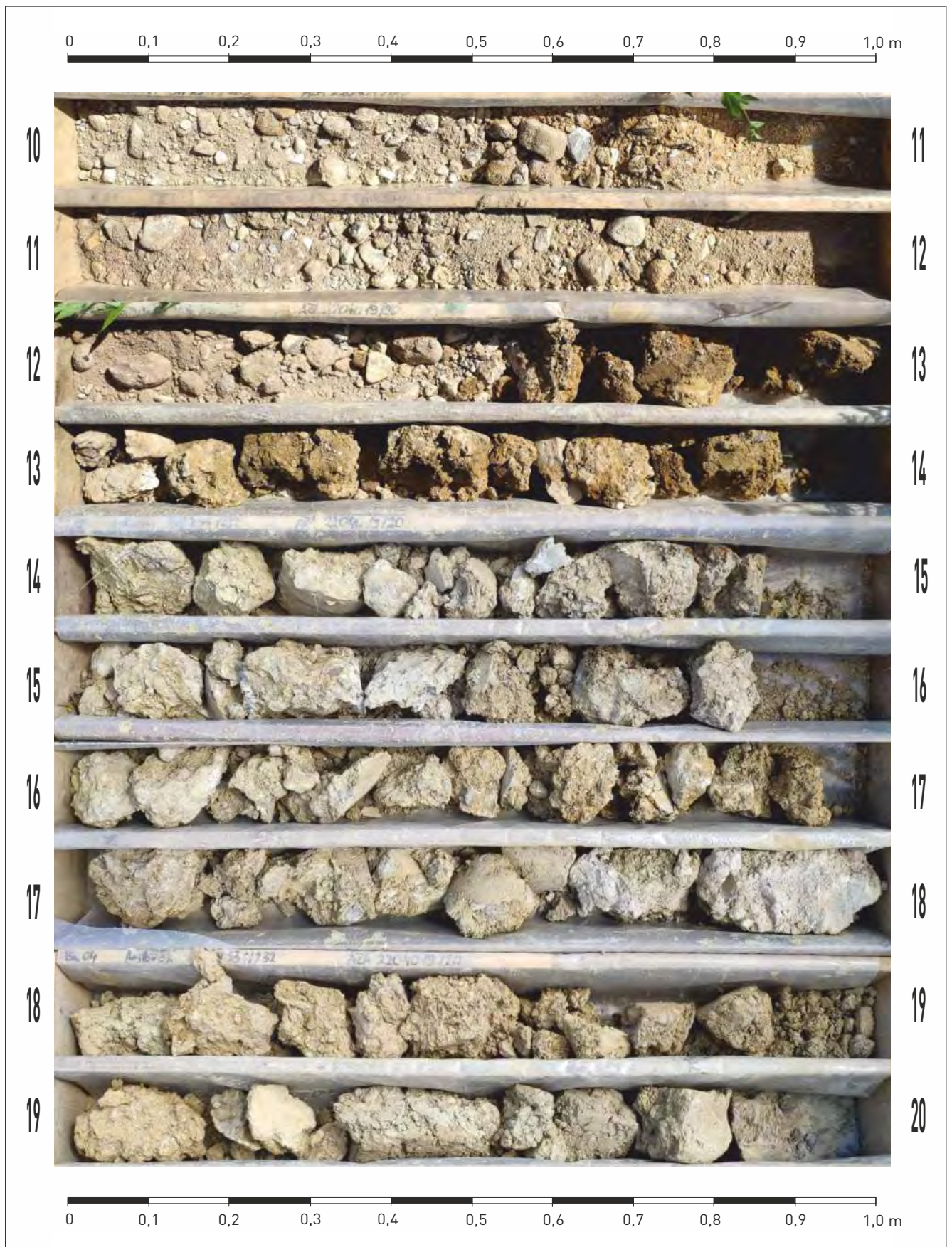
Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 3 (20,0 - 30,0 m)

gez. AJ
gepr. St



Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 4 (0,0 - 10,0 m)

gez. AJ
gepr. St



Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 4 (10,0 - 20,0 m)

gez. AJ
gepr. St



Bohrkernfotos der Kernbohrung
BK 4 (20,0 - 30,0 m)

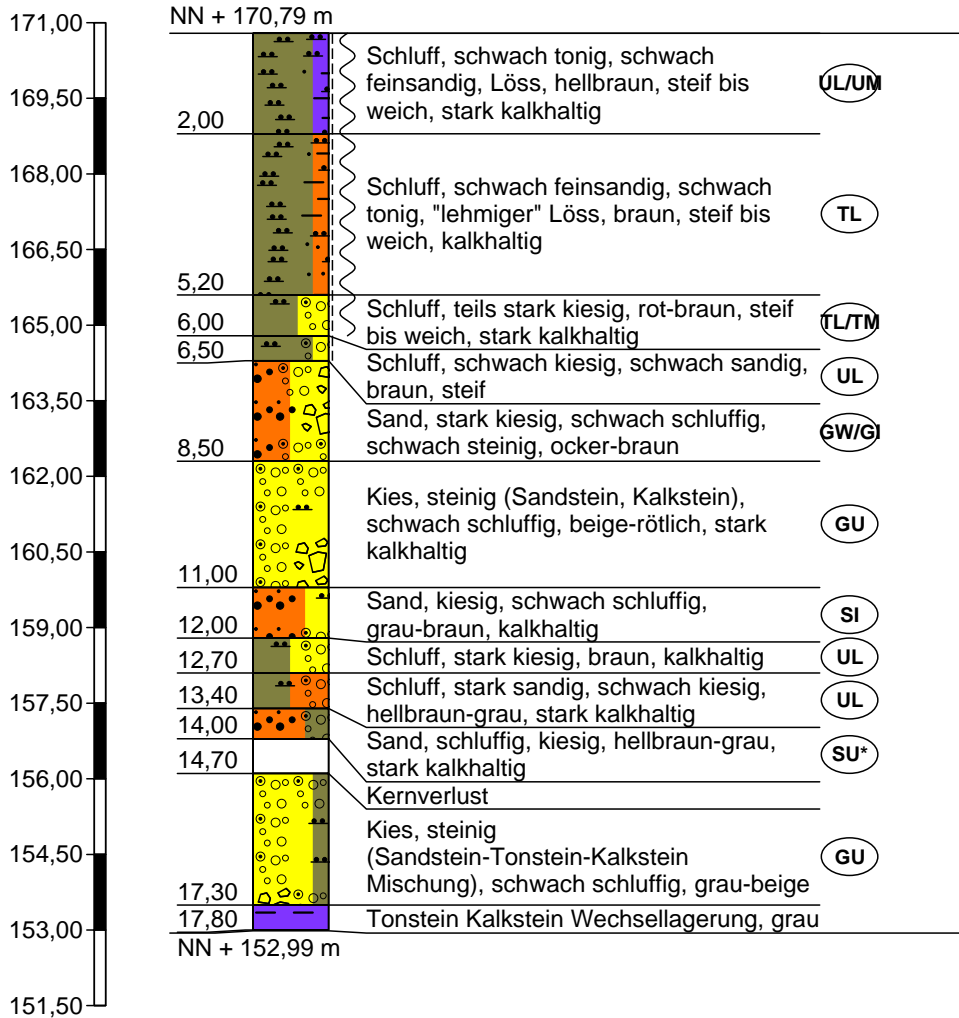
gez. AJ
gepr. St

Kernbohrungen Roth & Partner 2016/17

(5 Blatt)

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen

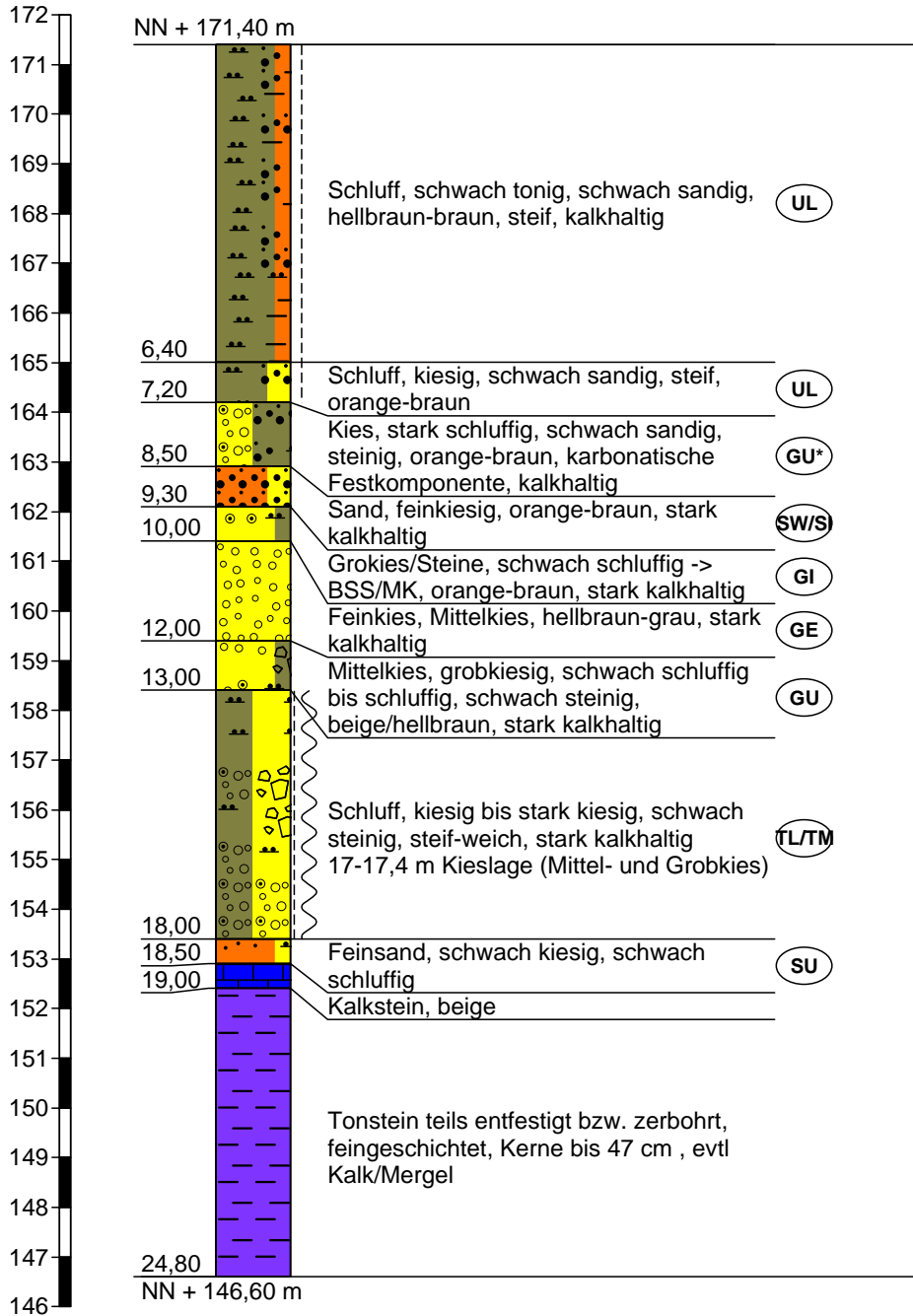
M1



Höhenmaßstab 1:150

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen

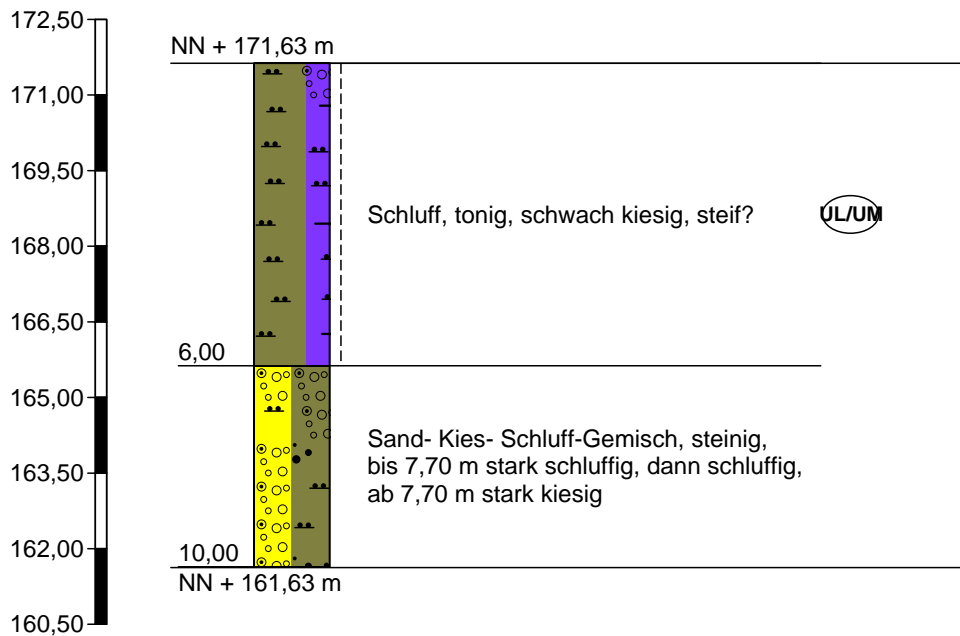
M2



Höhenmaßstab 1:150

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen

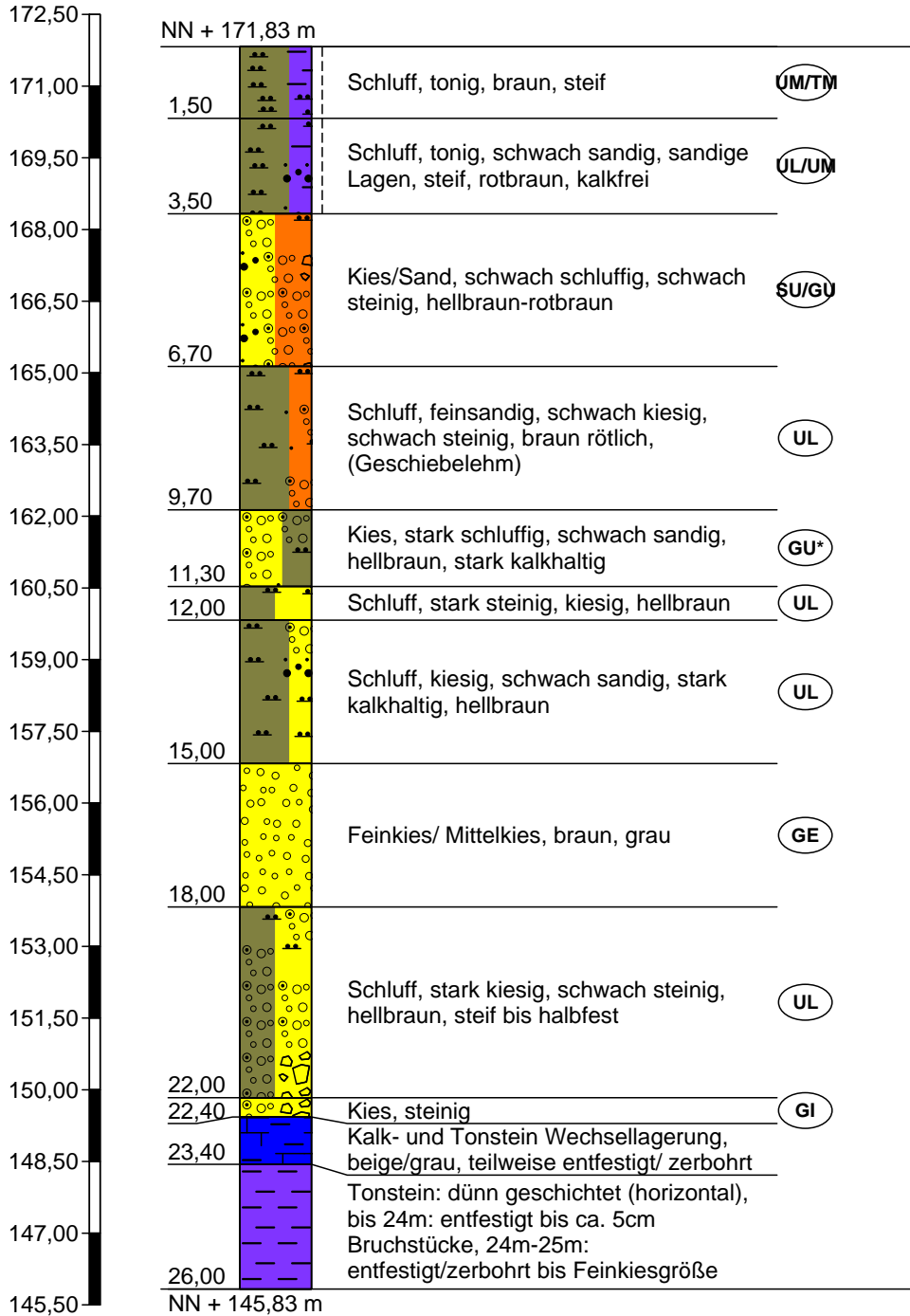
M3



Höhenmaßstab 1:150

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen

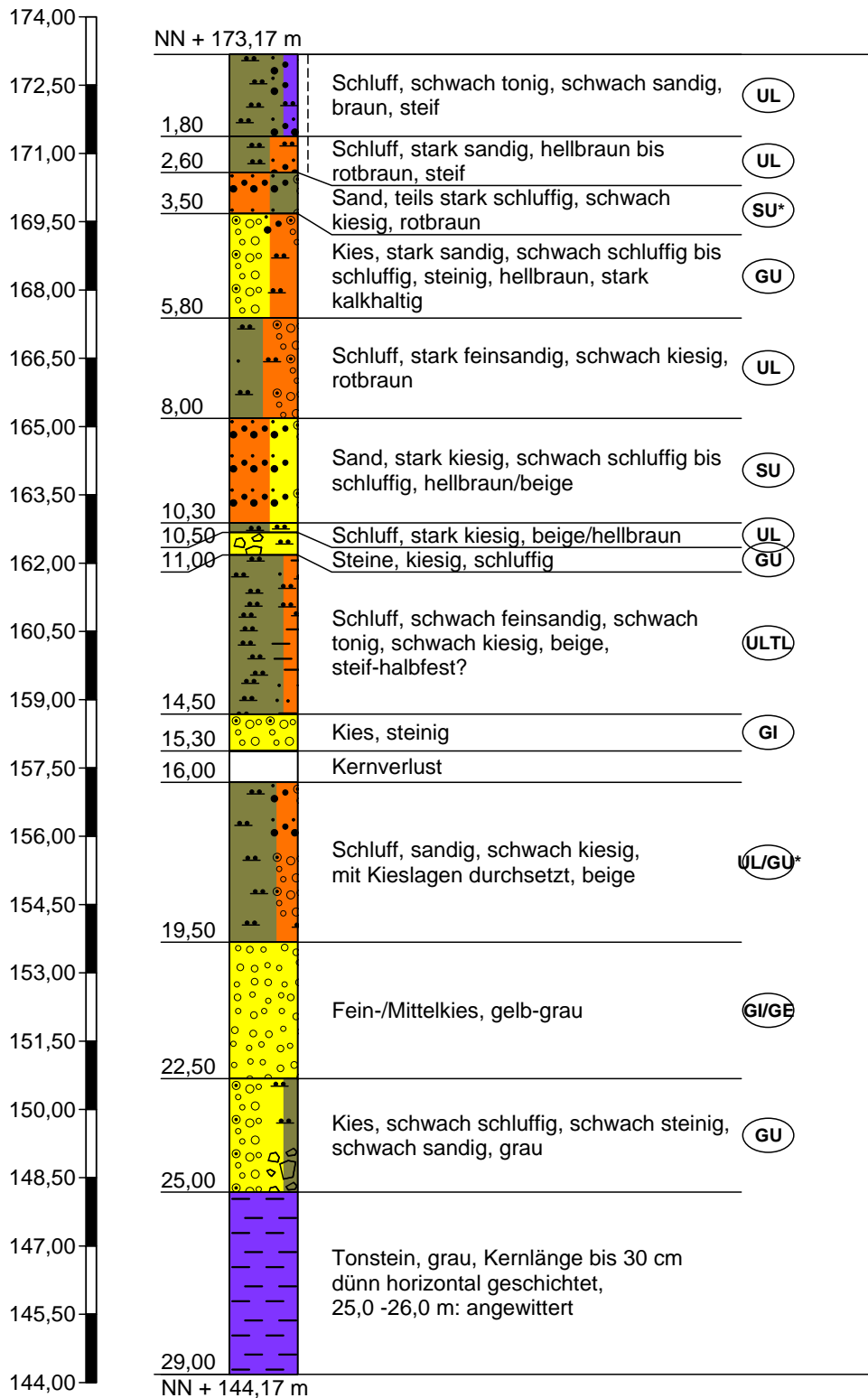
M4



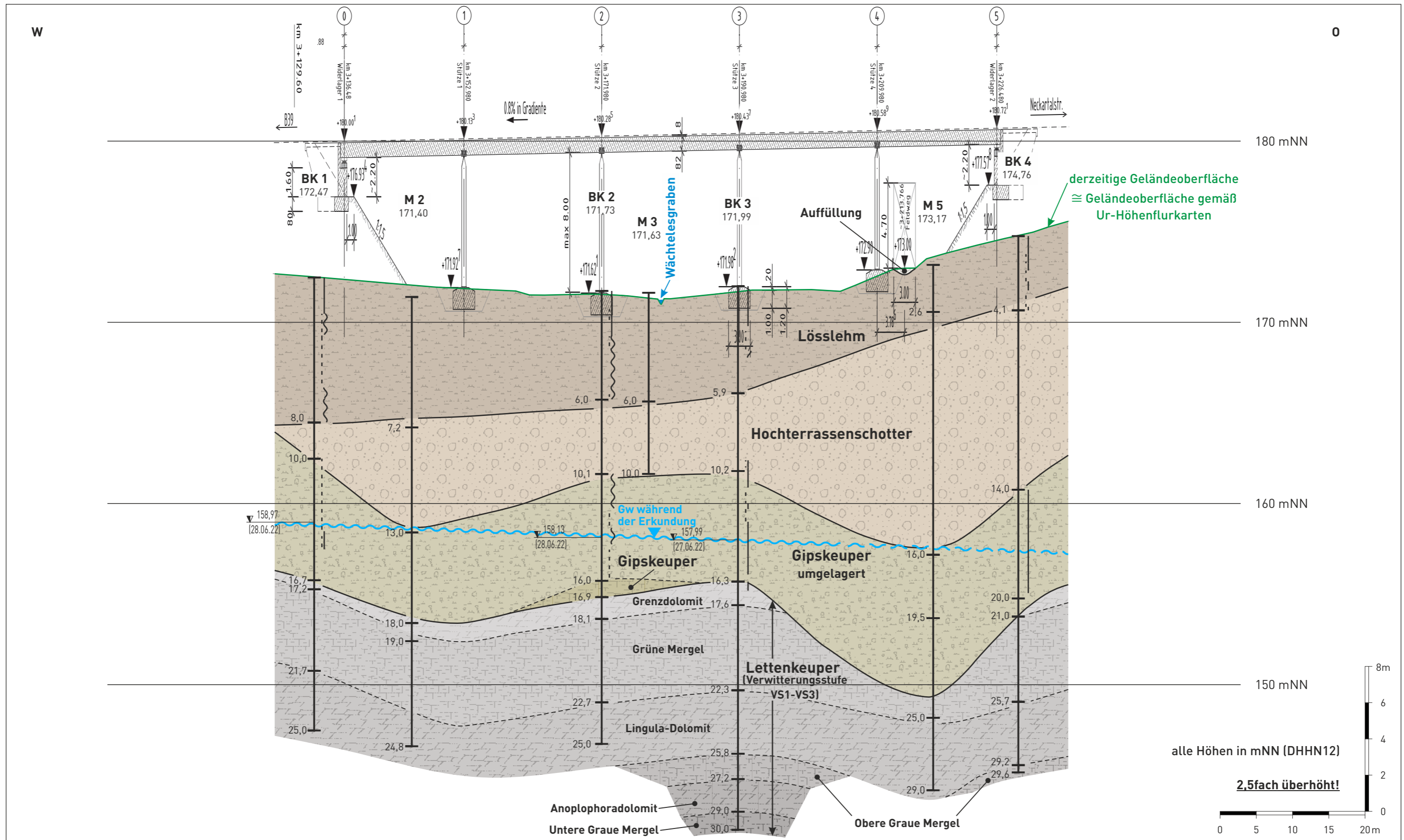
Höhenmaßstab 1:150

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen

M5

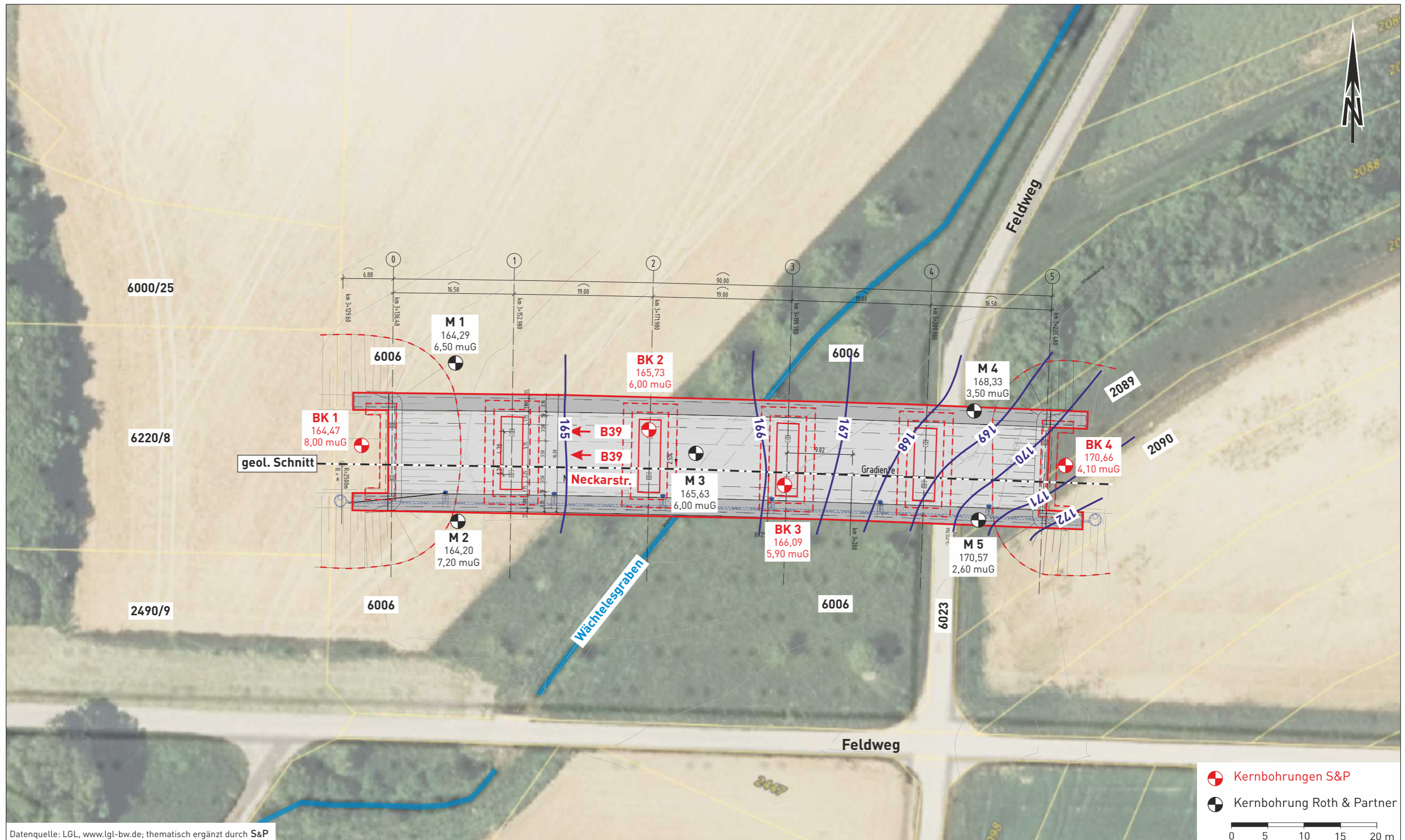


Höhenmaßstab 1:150



Geologischer W-O-Geländeschnitt, entlang der Gradiente (Schnittführung siehe Anlage 1.2)

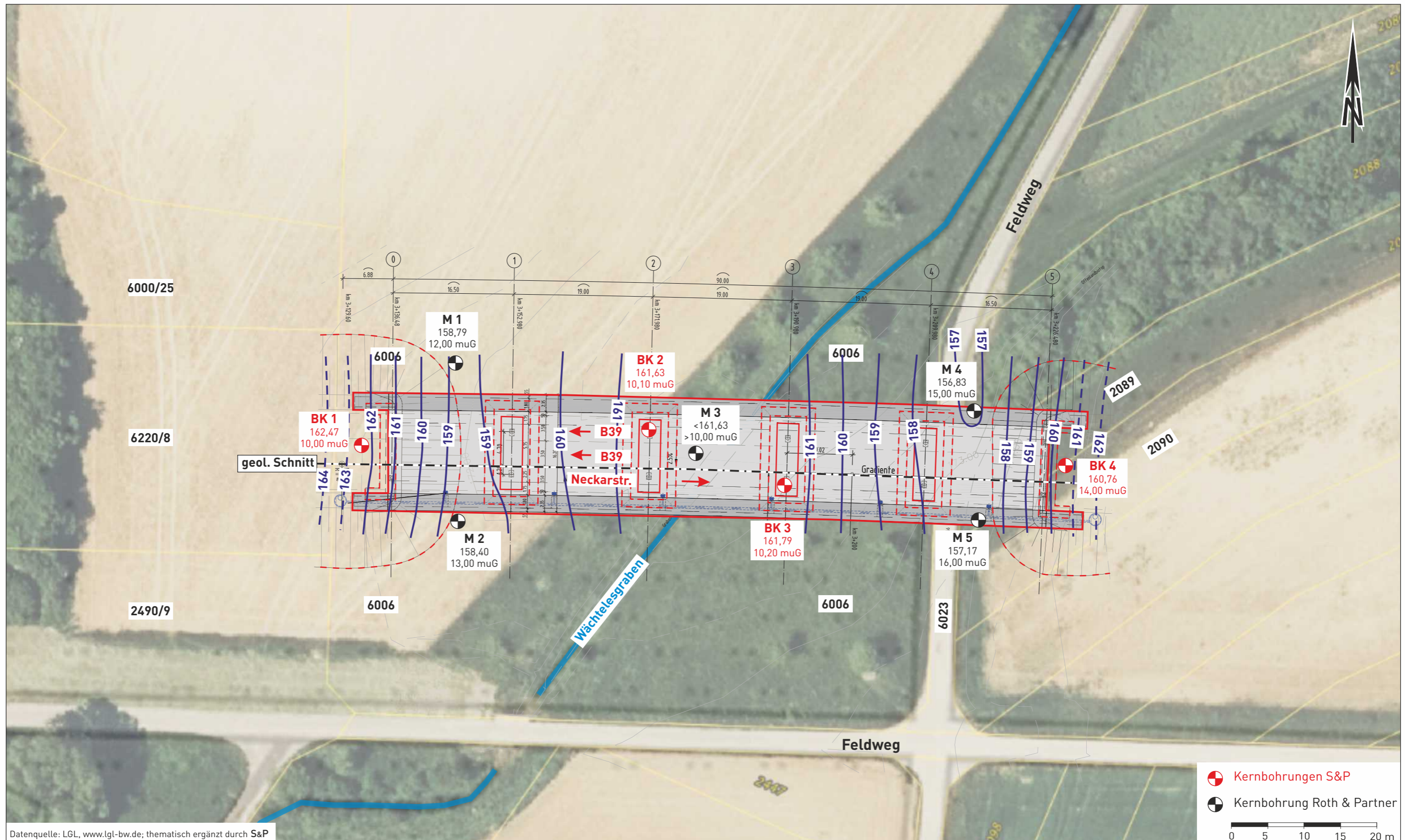
gez. AJ
gepr. Sl
Maßstab
1:500/200



Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de; thematisch ergänzt durch S&P

Schichtlagerungskarte mit Höhenlage (mNN und m u. Gel.) der Oberfläche der Hochterrassenschotter

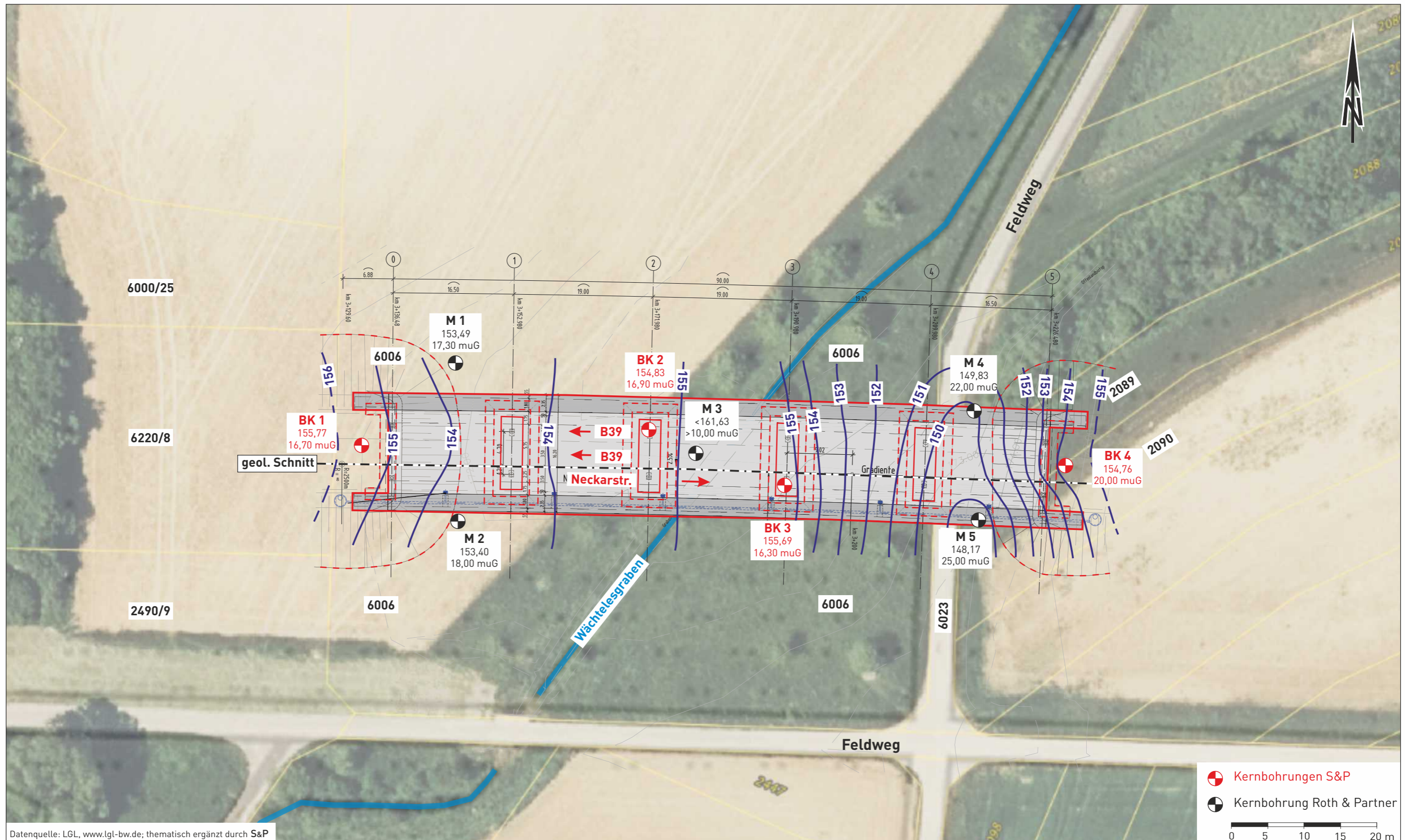
gez. me gepr. DT	Maßstab 1:500
---------------------	------------------



Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de; thematisch ergänzt durch S&P

Schichtlagerungskarte mit Höhenlage (mNN und m u. Gel.) der Oberfläche des umgelagerten Gipskeupers

gez. me gepr. DT	Maßstab 1:500
---------------------	------------------



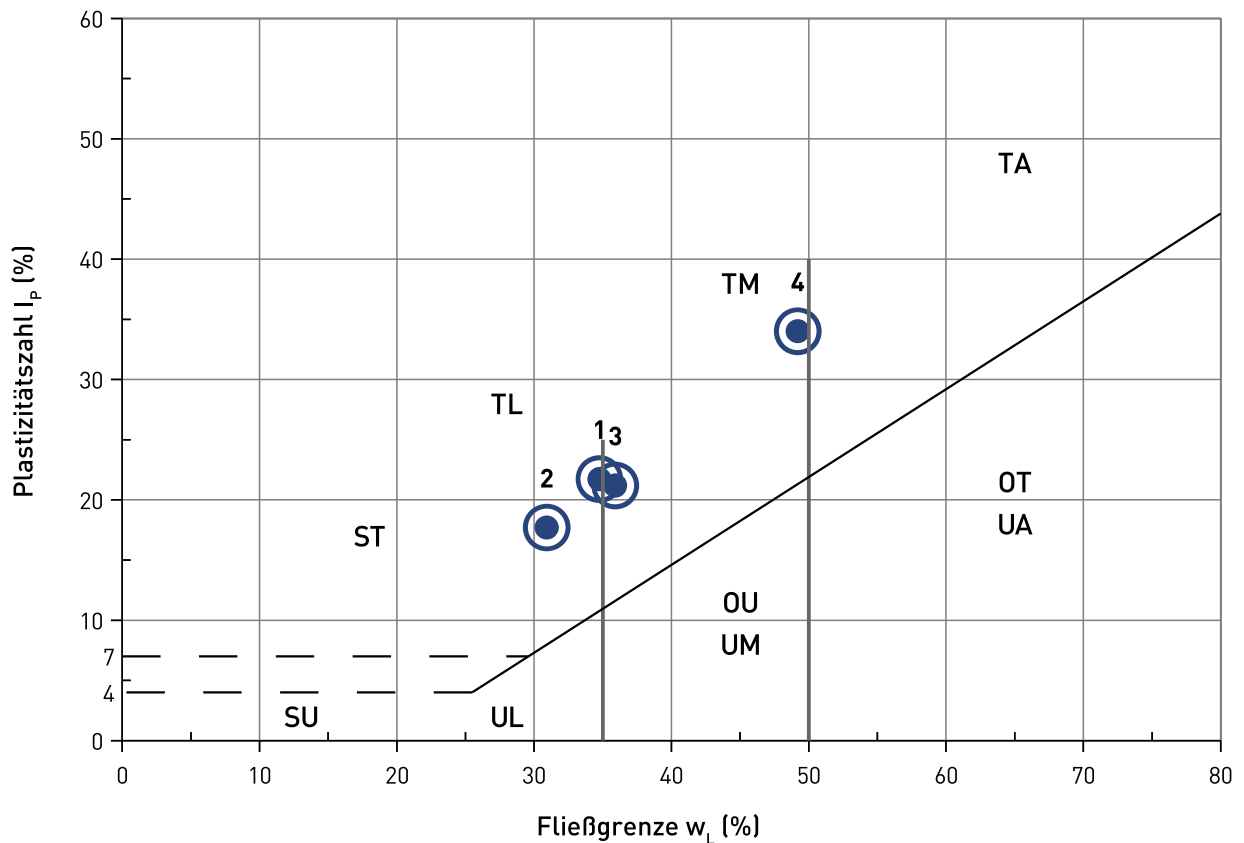
Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de; thematisch ergänzt durch S&P

Schichtlagerungskarte mit Höhenlage (mNN und m u. Gel.) der Oberfläche des Lettenkeupers (Verwitterungsstufe VS1 bis VS3)

gez. me
gepr. DT

Maßstab
1:500

Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12



Probe Nr.		1	2	3	4
Aufschluss		BK 1	BK 2	BK 3	BK 4
Entnahmetiefe	(m u.Gel.)	3,0	4,0	3,0	3,0
Bodenart		U,t,fs'	U,t',fs'	U,t',fs'	U,t,fs'
Geologie		Lösslehm	Lösslehm	Lösslehm	Lösslehm
Natürl. Wassergehalt	w_n (%)	18,9	20,7	18,0	18,0
Überkorn	\ddot{u} (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
Wassergehalt Matrix	$w_{<0,4}$ (%)	18,9	20,7	18,0	18,0
Fließgrenze	w_L (%)	34,8	30,9	35,9	49,2
Ausrollgrenze	w_P (%)	13,0	13,2	14,7	15,2
Plastizitätszahl	I_p (%)	21,7	17,7	21,2	34,0
Konsistenzzahl	I_c (-)	0,73	0,58	0,85	0,92
Konsistenz		weich	weich	steif	steif

Bodenklassifikation nach DIN 18196:

SU Sand-Schluff-Gemisch

TL Ton, leichtplastisch

OU Schluffe mit organischen

ST Sand-Ton-Gemisch

TM Ton, mittelpplastisch

Beimengungen oder organogene Schluffe

TA Ton, ausgeprägt plastisch

UL Schluff, leichtplastisch

OT Tone mit organischen

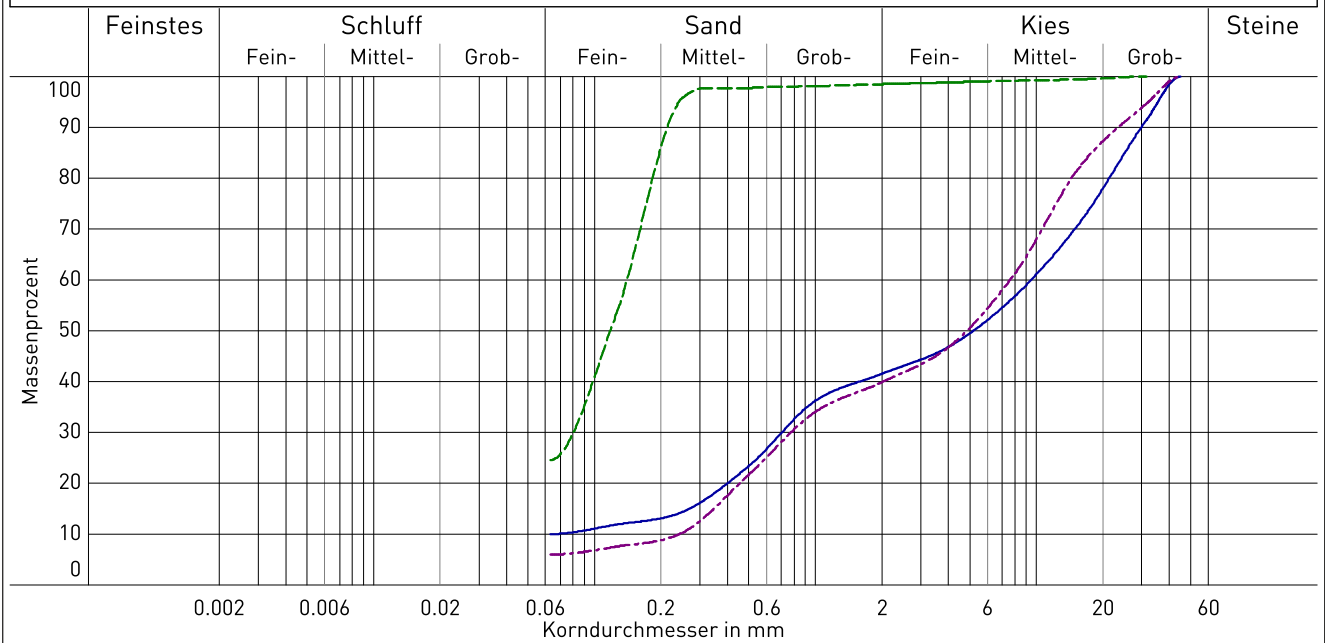
UM Schluff, mittelpplastisch

Beimengungen oder

UA Schluff, ausgeprägt zusammendrückbar

organogene Tone

**Bestimmung der Korngrößenverteilung
DIN ISO/TS 17892-4**



Versuchsname	— BK 2	- - - BK 4	- - - BK 4		
Geologie	Terrassenschotter	Terrassenschotter	Terrassenschotterr		
Entnahmestelle	BK 2	BK 4	BK 4		
Entnahmetiefe	9,0 - 10,0 m	8,0 - 9,0 m	5,0 - 6,0 m		
Bodengruppe	GU	SÜ	GU		
Ungleichförm. U	-	-	U = 31.4		
Krümmungszahl Cc	-	-	Cc = 0.3		
d10 / d60	- /9.486 mm	- /0.140 mm	0.242/7.602 mm		
d30	0.704 mm	0.080 mm	0.774 mm		
Anteil < 0.063 mm	10.0 %	24.5 %	6.0 %		
Kornfrakt. T/U/S/G	0.0/10.0/31.5/58.5 %	0.0/24.5/74.0/1.5 %	0.0/6.0/33.9/60.1 %		

Felsmechanische Untersuchungen
Ruhr-Universität Bochum, 26.09.22

(31 Blatt)

Smoltczyk & Partner GmbH
Untere Waldplätze 14

D-70569 Stuttgart

Ingenieurgeologie und Felsmechanik

Gebäude IA 3/127
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

PROF. DR. TOBIAS BACKERS

Fon +49 (0)234 32-23881
Fax +49 (0)234 32-14433
tobias.backers@rub.de
www.rub.de/inggeo

Dr. Mandy Duda

Fon +49 (0)234 32-19587
mandy.duda@rub.de

26.09.2022

22-057 Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach: BW 231

1. Veranlassung

Die AG Ingenieurgeologie und Felsmechanik an der Ruhr-Universität Bochum wurde am 19.08.2022 von Herrn Rexhäuser beauftragt, felsmechanische Untersuchungen durchzuführen. Grundlage dazu waren Proben, die am 23.08.2022 in das felsmechanische Labor der Ruhr-Universität Bochum geliefert wurden. Aufgaben waren die Erstellung entsprechender Probekörper, die Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeiten inklusive Messung der axialen Verformung und Bestimmung des statischen Verformungsmoduls, die Durchführung von Punktlastversuchen (axial und diametral) sowie die Bestimmung der Cerchar-Abrasivitäts-Indizes.

2. Probenvorbereitung

2.1. Wassergehalt bei Anlieferung

Die Bestimmung der Wassergehalte erfolgte an Teilproben der unbearbeiteten Gesteinsproben.

2.2. Einaxialer Druckversuch

Aus den Gesteinsproben wurden zylindrische Probekörper für einaxiale Druckversuche durch Überbohren mit Wasserspülung hergestellt. Gemäß der Empfehlung Nr. 1 der DGGT [1] für die Gewinnung von Proben für einaxiale Druckversuche wurde für die Zylinder ein Längen-Durchmesser-Verhältnis von $L/D \sim 2$ angestrebt. Die Probekörper wurden nach der Probenpräparation feuchterhaltend bei Raumtemperatur aufbewahrt.

Wassergehalte nach Versuch wurden an Teilproben der getesteten Probekörper bestimmt.

2.3. Punktlastversuch

Die Probekörper für Punktlastversuche wurden aus den Gesteinsproben gemäß der Empfehlung Nr. 5 der DGGT [2] mithilfe eines Hammers präpariert, sodass die Handstücke eine Höhe zwischen 25 mm und 100 mm besitzen, die Breite größer als 25 mm und die Tiefe die größte Abmessung ist.

2.4. Cerchar-Versuch

Die Durchführung der Cerchar-Versuche erfolgte gemäß der Empfehlung Nr. 23 des AK 3.3 der DGGT [3] an einer bruchrauen Oberfläche.

3. Versuchsdurchführungen und Auswertungen

3.1. Wassergehalt bei Anlieferung

Die Wassergehalte wurden durch Trocknung von Teilproben bis zur Massenkonstanz bei 60°C über das Verhältnis aus Masseverlust zu Trockenmasse ermittelt. Der zusätzlich ermittelte Masseanteil bezieht den Masseverlust auf die Feuchtmasse.

3.2. Einaxialer Druckversuch

Für den einaxialen Druckversuch nach [1] wurden die Probekörper in einen steifen 4000 kN Lastrahmen eingebaut und zwischen Belastungsstempeln zentriert. Der einaxiale Druckversuch wurde servokontrolliert nach Versuchsempfehlungen der DGGT mit Prüfgeräten der Güteklasse 1 durchgeführt. Dabei wird die Probe in axialer Dehnungskontrolle mit einer Rate von 10^{-5} mm/mm/s belastet und bis zum Versagen getestet. Der Versuch wurde mit dem Steuergerät TestStar II_m der Fa. MTS durchgeführt. Während des Versuchs wurden mit einer Frequenz von 10 Hz Kraft (mittels kalibrierter Kraftmessdose) und Längsverformung (mittels kalibrierter LVDTs mit einer Auflösung von 10^{-7} m) gemessen.

Während der Versuchsdurchführung wurden in einer Frequenz von 10 Hz die einaxiale Druckspannung und die axiale Dehnung in Echtzeit am Bildschirm beobachtet und gesteuert. Dabei wurden folgende Berechnungsformeln verwendet:

$$\text{axiale Spannung } \sigma_a = F / (0,25 \cdot \pi D^2) \text{ [MPa]}$$

$$\text{axiale Dehnung } \varepsilon_a = \Delta l / L \text{ [mm/mm]}$$

Die einaxiale Druckfestigkeit σ_c wurde als Maximalwert in den Spannungs-Dehnungskurven abgelesen, die aus den Daten der einaxialen Druckversuche erstellt wurden. Für zwei Proben wurde die Dimensionskorrektur nach DGGT-Empfehlung vorgenommen. Der Verformungsmodul V wurde im Bereich von 40% bis 60% der einaxialen Druckfestigkeit an kalibrierten Dehnungsdaten bestimmt.

3.3. Punktlastversuch

Der Punktlastversuch nach [2] liefert einen Indexwert für die Festigkeit eines Gesteins. Zur Versuchsdurchführung wird ein Punktlastgerät benötigt, welches aus einem steifen Rahmen mit Belastungseinrichtung besteht, wobei die Belastungskapazität mindestens 50 kN beträgt. Außerdem sind eine Anordnung zum Messen der Bruchkraft F_B sowie eine Einrichtung zum Messen des Lastpunktabstandes vorhanden. Die Abmessungen der Proben müssen dabei einige Anforderungen erfüllen, die sich je nach Geometrie der Probe unterscheiden (Zylinder, Quader oder Handstück).

Die Proben wurden mittig zwischen die Lasteinleitungspunkte eingespannt, wobei der Abstand zwischen den Kegelspitzen den Lastpunktabstand darstellt. Mittels Hydraulikpumpe wurde die Probe bis zum Versagen belastet und die Bruchkraft abgelesen. Der Punktlastindex berechnet sich nach der Formel $i_S = F_B/A$, wobei A die Bruchfläche in mm^2 darstellt. Weicht der Lastpunktabstand um mehr als 5 mm vom Bezugsabstand 50 mm ab, wird folgende Korrekturformel verwendet:

$$i_{S(50)} = (A/2500)^{0,225} \cdot i_S.$$

3.4. Cerchar-Versuch

Die Beurteilung der Abrasivität erfolgte mittels Cerchar-Versuch (CAI) nach [3] mit dem Prüfgerät nach West. Mit dem Cerchar-Verfahren wird das Verschleißverhalten von Gesteinen direkt getestet, was eine unmittelbare Beurteilung der entsprechenden Gesteinsabrasivität zulässt.

Die Versuchsanordnung besteht aus einer beweglichen Einspannvorrichtung (Schlitten) zur Aufnahme der Probe sowie aus einem fixierten Prüfstift definierter Geometrie und Härte (Stahlstift mit Rockwell-Härte HRC 54-56), der an einem 7 kg Gewicht befestigt ist. Der Prüfstift wird behutsam auf die Probenoberfläche gelegt. Die Prüfkörperoberfläche wird mit Hilfe des Schlittens gleichmäßig 10 mm unter der Prüfspitze bewegt. Der CAI berechnet sich aus der Abnutzung des Stahlstiftes.

Dieser Versuch wurde fünfmal (mit jeweils neuer Prüfspitze) für jede Probe durchgeführt. Die Abnutzung D_j [mm] der Prüfspitze wurde unter einem Auflichtmikroskop mit einer Genauigkeit von $\leq 0,01$ mm an vier im 90° Winkel zueinanderstehenden Seitenansichten (d_i) bestimmt und gemittelt. Die Werte der fünf Einzelmessungen werden ebenfalls gemittelt (D_m). Der einzelne Cerchar Abrasivitäts-Index (CAI) berechnet sich daraus mit

$$\text{CAI} = D_m \cdot 10 \text{ mm}^{-1}.$$

Der CAI-Wert der Probe ist der Mittelwert aus fünf Einzelwerten. Zu den CAI werden die Standardabweichungen SD und Standardfehler SEM angegeben. Die Gesteinsabrasivität wird nach [3] klassifiziert.

Tabelle 1: Klassifizierung der Abrasivität beim Cerchar-Versuch nach [3].

CAI	Klassifizierung
0,1 – <0,5	extrem niedrig
0,5 – <1,0	sehr niedrig
1,0 – <2,0	niedrig
2,0 – <3,0	mittel
3,0 – <4,0	hoch
4,0 – <5,0	sehr hoch
$\geq 5,0$	extrem hoch

4. Ergebnisse

4.1. Wassergehalt bei Anlieferung

Tabelle 2: Ergebnisse der Wassergehalte.

Bohrung	Teufe [m]	Wassergehalt bei Anlieferung	
		[%]	Masseanteil bei Anlieferung [%]
BK1	19,45 – 19,55	1,09	1,08
BK2	23,40 – 23,50	0,68	0,67
BK3	25,40 – 25,50	0,92	0,91
BK4	20,00 – 20,10	0,34	0,34
BK4	24,70 – 24,80	0,96	0,95

4.2. Einaxialer Druckversuch

 Tabelle 3: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche – Wassergehalt und Masseanteil nach Versuch, Probenlänge L , Durchmesser D , Einbaudichte ρ , einaxiale Druckfestigkeit σ_c (ggf. Angabe der dimensionskorrigierten einaxialen Druckfestigkeit unter Angabe der unkorrigierten einaxialen Druckfestigkeit in Klammern), Verformungsmodul V .

Bohrung	Teufe [m]	Wassergehalt [%]	Masseanteil [%]	L [mm]	D [mm]	ρ [g/cm ³]	σ_c [MPa]	V [GPa]
BK1	19,45 – 19,55	1,96	1,92	57,03	29,95	2,42	70,1 (70,5)	14
BK2	23,40 – 23,50	-	-	Keine Probenpräparation möglich				
BK3	25,40 – 25,50	1,43	1,41	83,28	39,95	2,48	90,8	12
BK4	20,00 – 20,10	1,90	1,87	78,52	39,96	2,65	53,3 (53,4)	11
BK4	24,70 – 24,80	1,03	1,02	83,36	39,95	2,75	117,2	29

4.3. Punktlastversuch

 Tabelle 4: Ergebnisse der Punktlastversuche – Höhe der Probe H , Breite/Durchmesser der Probe B , Höhe der Bruchfläche H_B , Breite der Bruchfläche B_B , Bruchfläche A_B , Bruchkraft F_B , Punktlastindex i_s , größenkorrigierter Punktlastindex $i_{s(50)}$.

Bohrung	Teufe [m]	Orientierung	H [mm]	B [mm]	H_B [mm]	B_B [mm]	A_B [mm ²]	F_B [N]	i_s [MPa]	$i_{s(50)}$ [MPa]
BK1	19,45 – 19,55	Axial	35	75	32	60	1920	8720	4,5	4,3
		Axial	35	75	34	52	1768	6907	3,9	3,6
		Axial	36	67	33	52	1716	7224	4,2	3,9
		Axial	40	80	40	60	2400	7425	3,1	3,1
		Axial	37	45	39	36	1404	4979	3,5	3,1
		Diametral	60	85	62	85	5270	8663	1,6	1,9

Bohrung	Teufe [m]	Orientierung	H [mm]	B [mm]	H_B [mm]	B_B [mm]	A_B [mm ²]	F_B [N]	i_s [MPa]	$i_{s(50)}$ [MPa]
		Diametral	49	70	50	42	2100	6303	3,0	2,9
		Diametral	50	75	52	70	3640	6936	1,9	2,1
		Diametral	37	50	36	37	1332	4087	3,1	2,7
		Diametral	52	60	50	55	2750	3137	1,1	1,2
BK2	23,40 – 23,50	Axial	38	30	35	25	875	1410	1,6	1,3*
		Axial	43	30	48	25	1200	1410	1,2	1,0*
		Axial	40	60	36	45	1620	8605	5,3	4,8
		Axial	36	40	35	47	1645	4777	2,9	2,6
		Axial	40	60	34	50	1700	6677	3,9	3,6
		Diametral	30	45	28	60	1680	1756	1,0	1,0
		Diametral	32	45	33	48	1584	1698	1,1	1,0
		Diametral	25	35	25	25	625	1669	2,7	2,0
		Diametral	28	45	33	30	990	1986	2,0	1,6
BK3	25,40 – 25,50	Axial	60	80	58	52	3016	16347	5,4	5,7
		Axial	60	60	58	42	2436	10850	4,5	4,4
		Axial	40	80	45	48	2160	12347	5,7	5,5
		Axial	45	65	35	45	1575	9785	6,2	5,6
		Axial	28	45	28	50	1400	8835	6,3	5,5
		Diametral	45	80	45	50	2250	1842	0,8	0,8
		Diametral	30	40	30	42	1260	2331	1,9	1,6
		Diametral	30	50	25	25	625	2015	3,2	2,4
		Diametral	35	48	30	38	1140	1094	1,0	0,8
		Diametral	30	35	32	43	1376	1842	1,3	1,2
BK4	20,00 – 20,10	Axial	40	50	38	36	1368	2015	1,5	1,3
		Axial	35	45	30	43	1290	2072	1,6	1,4
		Axial	35	45	30	33	990	2993	3,0	2,5
		Axial	40	50	30	45	1350	1439	1,1	0,9

Bohrung	Teufe [m]	Orientierung	H [mm]	B [mm]	H_B [mm]	B_B [mm]	A_B [mm ²]	F_B [N]	i_s [MPa]	$i_{s(50)}$ [MPa]
		Axial	32	50	33	35	1155	2619	2,3	1,9
		Diametral	45	80	40	65	2600	9382	3,6	3,6
		Diametral	35	70	35	40	1400	2043	1,5	1,3
		Diametral	40	55	43	45	1935	3713	1,9	1,8
		Diametral	30	70	35	60	2100	2101	1,0	1,0
		Diametral	32	60	35	45	1575	2245	1,4	1,3
BK4	24,70 – 24,80	Axial	45	70	45	60	2700	14189	5,3	5,3
		Axial	45	45	42	34	1428	9382	6,6	5,8
		Axial	45	55	45	50	2250	9872	4,4	4,3
		Axial	55	75	53	53	2809	11397	4,1	4,2
		Axial	50	40	55	45	2475	9094	3,7	3,7
		Diametral	50	95	48	93	4464	13037	2,9	3,3
		Diametral	35	55	35	48	1680	12491	7,4	6,8
		Diametral	28	50	30	40	1200	11023	9,2	7,8
		Diametral	40	70	45	70	3150	10620	3,4	3,6
		Diametral	40	55	35	40	1400	8634	6,2	5,4

*Anforderungen an Probekörpergeometrie nicht erfüllt

4.4. Cerchar-Versuch

Tabelle 5: Ergebnisse der Cerchar-Versuche - CAI aus Einzelversuchen. SD: Standardabweichung, SEM: Standardfehler. Die Einzelergebnisse werden im Anhang aufgeführt.

Bohrung	Teufe [m]	Fläche	CAI	SD	SEM	
BK1	19,45 – 19,55	bruchrau	1,1	0,30	0,14	niedrig
BK2	23,40 – 23,50	bruchrau	0,5	0,06	0,03	sehr niedrig
BK3	25,40 – 25,50	bruchrau	1,7	0,40	0,18	niedrig
BK4	20,00 – 20,10	bruchrau	0,8	0,25	0,11	sehr niedrig
BK4	24,70 – 24,80	bruchrau	0,8	0,21	0,10	sehr niedrig


5. Literaturverzeichnis

- [1] T. Mutschler, „Neufassung der Empfehlung Nr. 1 des Arbeitskreises “Versuchstechnik Fels” der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.: Einaxiale Druckversuche an zylindrischen Gesteinsprüfkörpern,“ *Bautechnik* 81, pp. 825-834, 2004.
- [2] K. Thuro, „Empfehlung Nr. 5 “Punktlastversuche an Gesteinsproben“ des Arbeitskreises 3.3 “Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik.,“ *Bautechnik* 87, pp. 322-330, 2010.
- [3] H. Käsling und R. Plinninger, „Empfehlung Nr. 23 des Arbeitskreises 3.3 – Versuchstechnik Fels – der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Bestimmung der Abrasivität von Gesteinen mit dem CERCHAR-Versuch,“ *Bautechnik*, 93, pp. 409-415, 2016.

Eine Dokumentation der Versuche und Probenkörper befindet sich im Anhang. Für Fragen stehe ich Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung und verbleibe

mit freundlichem Glückauf

Ruhr-Universität Bochum
Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik
Ingenieurgeologie u. Festmechanik Geb. IA 4/137
Universitätsstr. 150
D-44801 Bochum



Prof. Dr. Tobias Backers

Prof. Dr. Tobias Backers



Dr. Mandy Duda

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM | 44780 Bochum | Germany

Smoltczyk & Partner GmbH
Untere Waldplätze 14

D-70569 Stuttgart

FAKULTÄT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

Ingenieurgeologie und Felsmechanik

Gebäude IA 3/127
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

PROF. DR. TOBIAS BACKERS

Fon +49 (0)234 32-23881
Fax +49 (0)234 32-14433
tobias.backers@rub.de
www.rub.de/inggeo

Dr. Mandy Duda

Fon +49 (0)234 32-19587
mandy.duda@rub.de

26.09.2022

22-057 Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach: BW 231 - Anhang

- (A) Probenmaterial**
- (B) Einaxialer Druckversuch**
- (C) Punktlastversuch**
- (D) Cerchar-Versuch**

(A) Probenmaterial

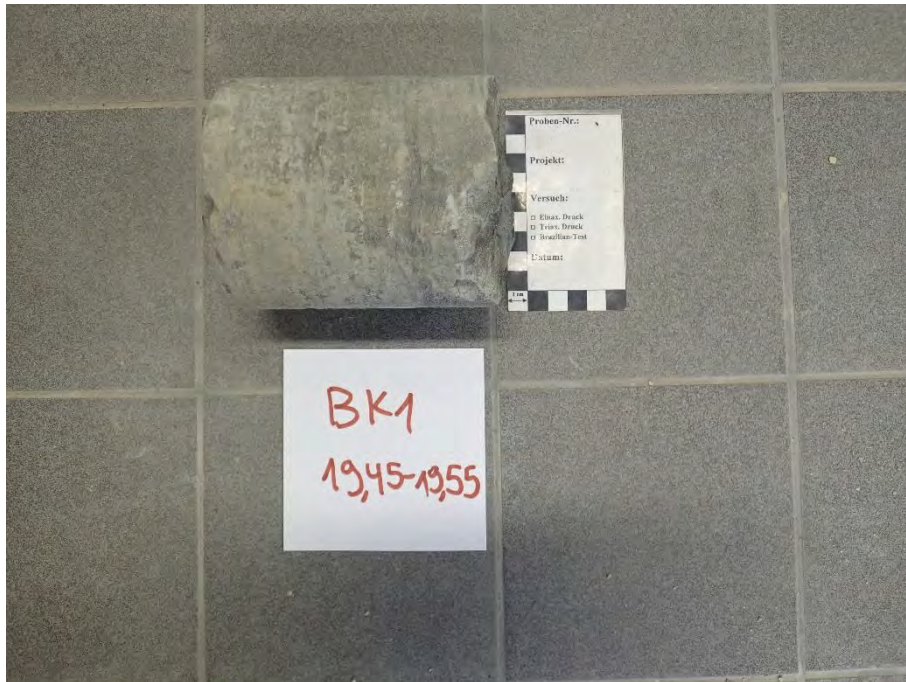


Abbildung 1: Angeliefertes Probenmaterial – Probe BK1 19,45 – 19,55 m.

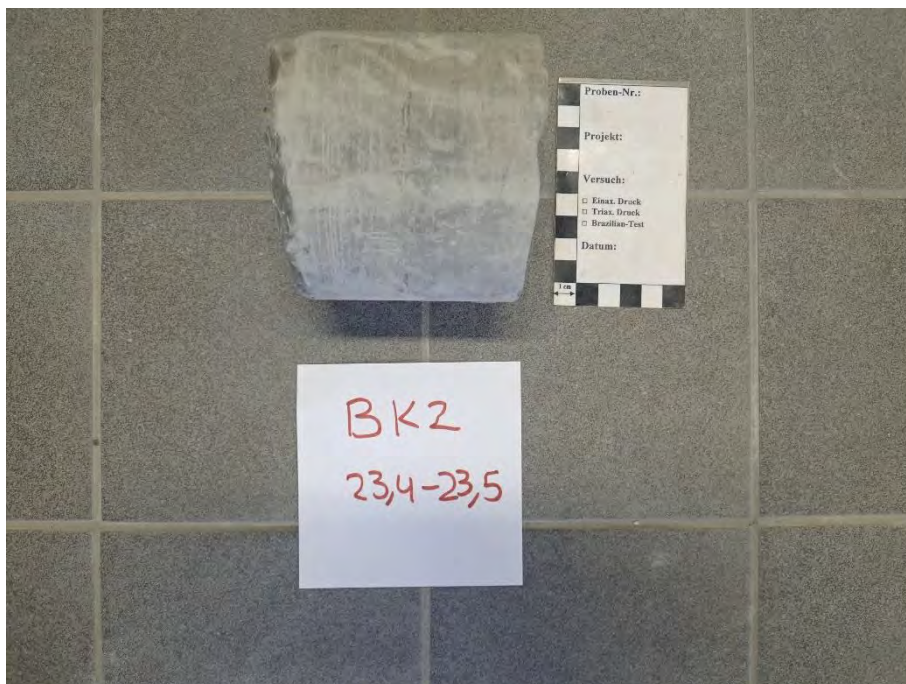


Abbildung 2: Angeliefertes Probenmaterial – Probe BK2 23,40 – 23,50 m.

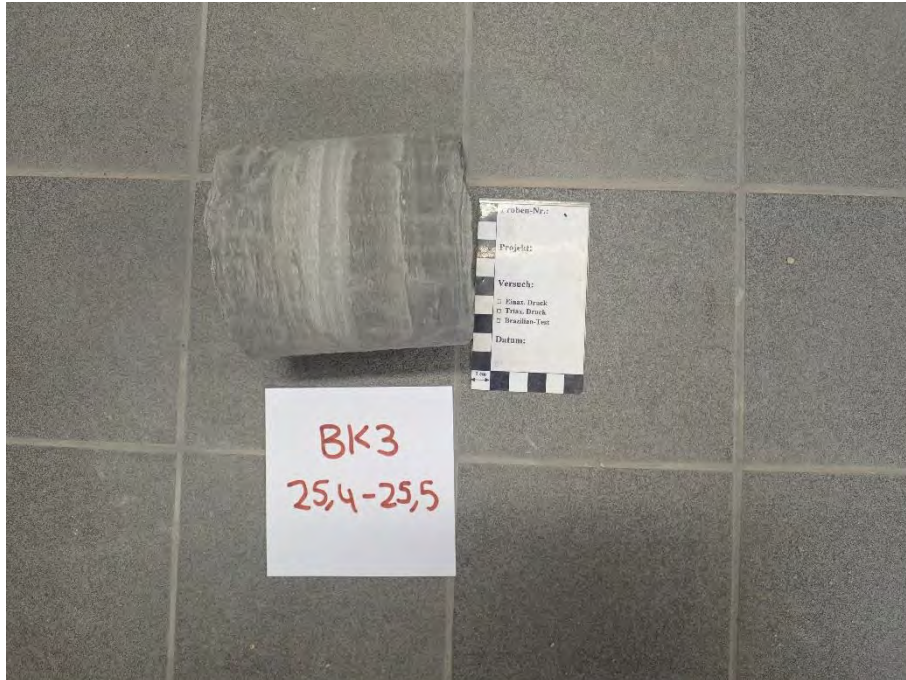


Abbildung 3: Angeliefertes Probenmaterial – Probe BK3 25,40 – 25,50 m.



Abbildung 4: Angeliefertes Probenmaterial – Probe BK4 20,00 – 20,10 m.

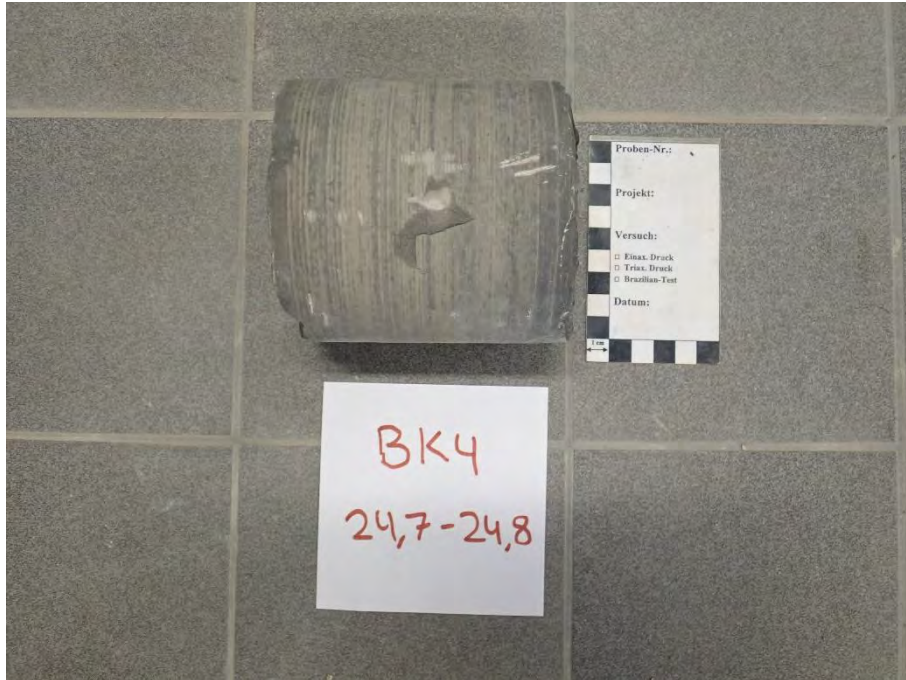


Abbildung 5: Angeliefertes Probenmaterial – Probe BK4 24,70 – 24,80 m.

(B) Einaxialer Druckversuch

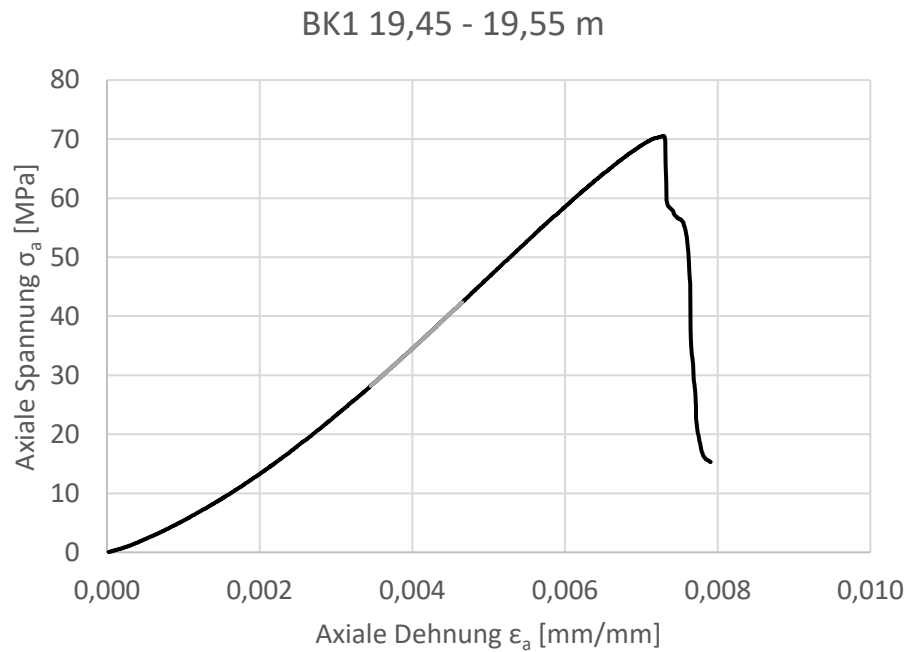


Abbildung 6: Einaxialer Druckversuch Probe BK1 19,45 – 19,55 m: Spannungs-Dehnungsdiagramm mit Ablesebereich des Verformungsmoduls, Probe vor dem Versuch, Probe nach dem Versuch.

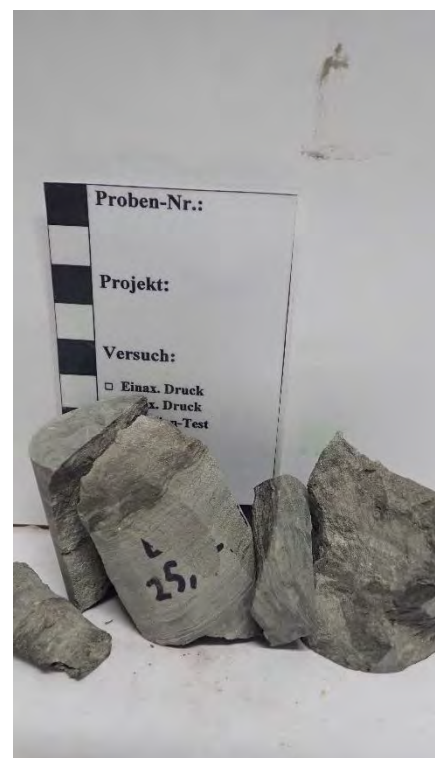
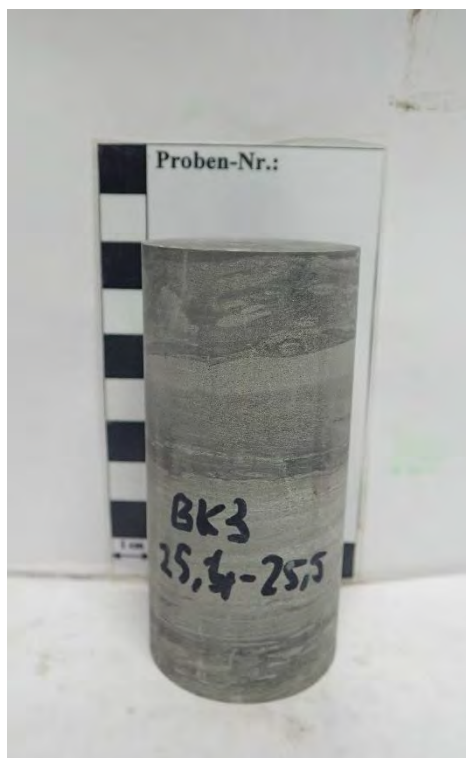
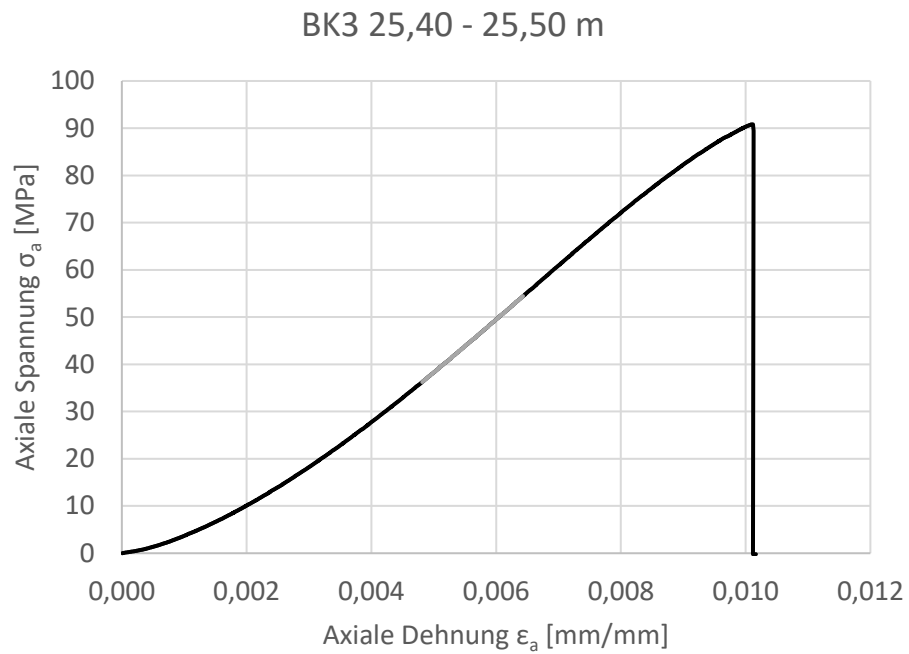


Abbildung 7: Einaxialer Druckversuch Probe BK3 25,40 – 25,50 m: Spannungs-Dehnungsdiagramm mit Ablesebereich des Verformungsmoduls, Probe vor dem Versuch, Probe nach dem Versuch.

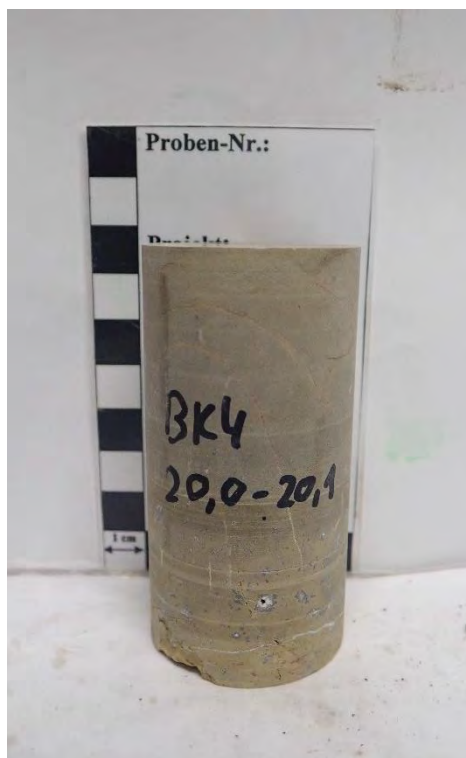
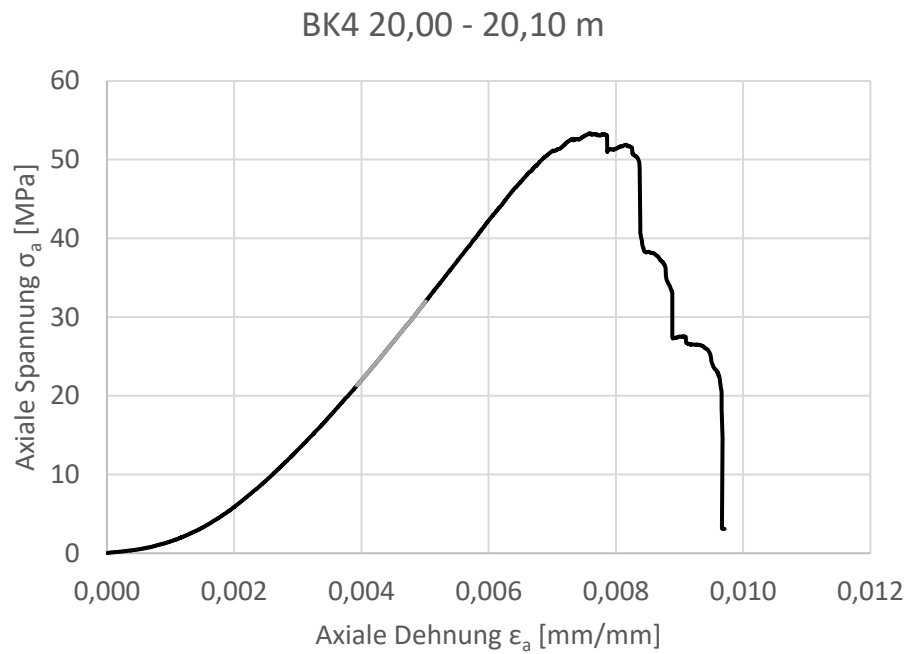


Abbildung 8: Einaxialer Druckversuch Probe BK4 20,00 – 20,10 m: Spannungs-Dehnungsdiagramm mit Ablesebereich des Verformungsmoduls, Probe vor dem Versuch, Probe nach dem Versuch.

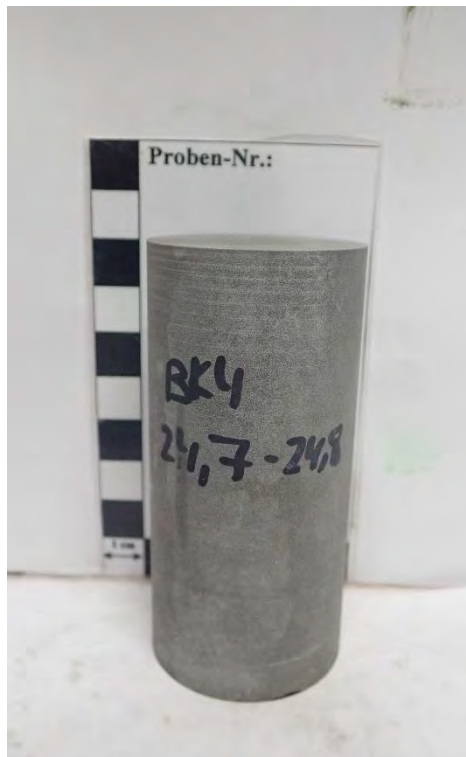
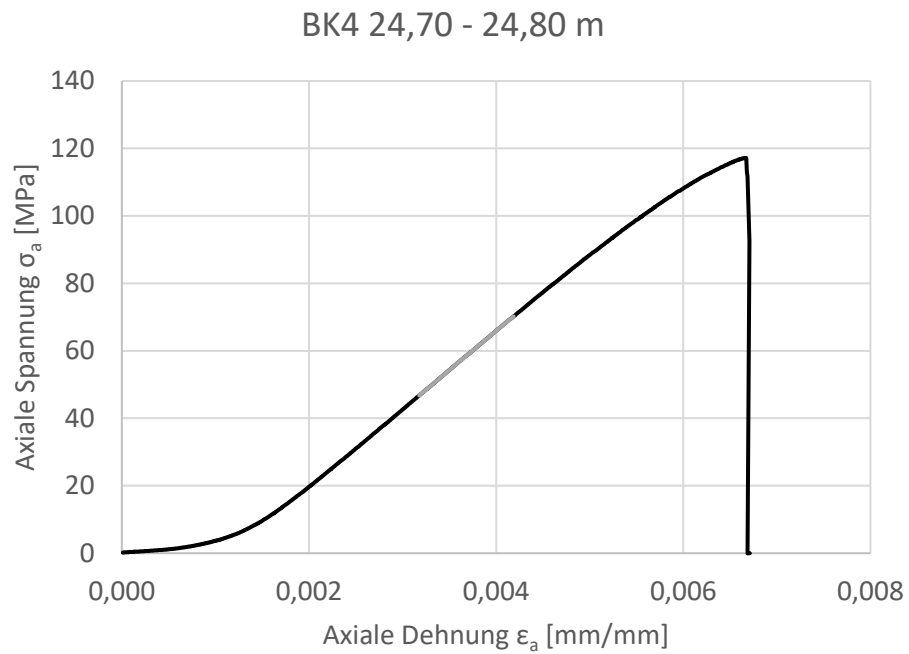


Abbildung 9: Einaxialer Druckversuch Probe BK4 24,70 – 24,80 m: Spannungs-Dehnungsdiagramm mit Ablesebereich des Verformungsmoduls, Probe vor dem Versuch, Probe nach dem Versuch.

(C) Punktlastversuch

BK1 19,45 - 19,55 m





Abbildung 10: Probekörper nach Punktlastversuchen BK1 19,45 – 19,55 m.

BK2 23,40 - 23,50 m





Abbildung 11: Probekörper nach Punktlastversuchen BK2 23,40 – 23,50 m.

BK3 25,40 - 25,50 m





Abbildung 12: Probekörper nach Punktlastversuchen BK₃ 25,40 – 25,50 m.

BK4 20,00 - 20,10 m





Abbildung 13: Probekörper nach Punktlastversuchen BK₄ 20,00 – 20,10 m.

BK4 24,70 - 24,80 m





Abbildung 14: Probekörper nach Punktlastversuchen BK₄ 24,70 – 24,80 m.

(D) Cerchar-Versuch

Proben-Nr.: BK1 19,45 - 19,55 m
 Zustand der Prüfoberfläche: bruchrau
 Schichtung/Schieferung: x
 Lagerung der Prüfkörper (nach Anlieferung): Felsmechanisches Labor RUB
 Wassergehalt: wie Anlieferung

Einzelversuch-Nr.	1	2	3	4	5
Ablesung d_1 [mm]	0,098	0,102	0,159	0,079	0,091
Ablesung d_2 [mm]	0,079	0,102	0,162	0,087	0,087
Ablesung d_3 [mm]	0,110	0,121	0,170	0,076	0,102
Ablesung d_4 [mm]	0,113	0,113	0,185	0,094	0,087
Prüfstiftabnutzung D_j [mm]	0,100	0,110	0,169	0,084	0,092

Mittlere Prüfstiftabnutzung D_{m*} [mm] 0,11
 Korrigierte Prüfstiftabnutzung D_m [mm] (nur sägerau)
Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) [-] **1,1**
 Standardabweichung SD 0,30
 Standardfehler SEM 0,14

Klassifizierung **niedrig**

Fotodokumentation:



Gerätespezifikation: Prüfgerät Typ 2 nach West

Proben-Nr.: BK2 23,40 - 23,50 m
 Zustand der Prüfoberfläche: bruchrau
 Schichtung/Schieferung: x
 Lagerung der Prüfkörper (nach Anlieferung): Felsmechanisches Labor RUB
 Wassergehalt: wie Anlieferung

Einzelversuch-Nr.	1	2	3	4	5
Ablesung d_1 [mm]	0,042	0,060	0,042	0,060	0,045
Ablesung d_2 [mm]	0,049	0,072	0,057	0,049	0,049
Ablesung d_3 [mm]	0,038	0,053	0,045	0,042	0,053
Ablesung d_4 [mm]	0,045	0,068	0,057	0,057	0,049
Prüfstiftabnutzung D_j [mm]	0,044	0,063	0,050	0,052	0,049

Mittlere Prüfstiftabnutzung D_{m*} [mm] 0,05
 Korrigierte Prüfstiftabnutzung D_m [mm] (nur sägerau)
Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) [-] **0,5**
 Standardabweichung SD 0,06
 Standardfehler SEM 0,03

Klassifizierung **sehr niedrig**

Fotodokumentation:



Gerätespezifikation: Prüfgerät Typ 2 nach West

Proben-Nr.: BK3 25,40 - 25,50 m
 Zustand der Prüfoberfläche: bruchrau
 Schichtung/Schieferung: senkrecht
 Lagerung der Prüfkörper (nach Anlieferung): Felsmechanisches Labor RUB
 Wassergehalt: wie Anlieferung

Einzelversuch-Nr.	1	2	3	4	5
Ablesung d_1 [mm]	0,117	0,230	0,144	0,219	0,181
Ablesung d_2 [mm]	0,102	0,204	0,128	0,204	0,208
Ablesung d_3 [mm]	0,106	0,200	0,170	0,208	0,204
Ablesung d_4 [mm]	0,102	0,204	0,159	0,193	0,193
Prüfstiftabnutzung D_j [mm]	0,107	0,210	0,150	0,206	0,197

Mittlere Prüfstiftabnutzung D_{m*} [mm] 0,17
 Korrigierte Prüfstiftabnutzung D_m [mm] (nur sägerau)
Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) [-] **1,7**
 Standardabweichung SD 0,40
 Standardfehler SEM 0,18

Klassifizierung **niedrig**

Fotodokumentation:



Gerätespezifikation: Prüfgerät Typ 2 nach West

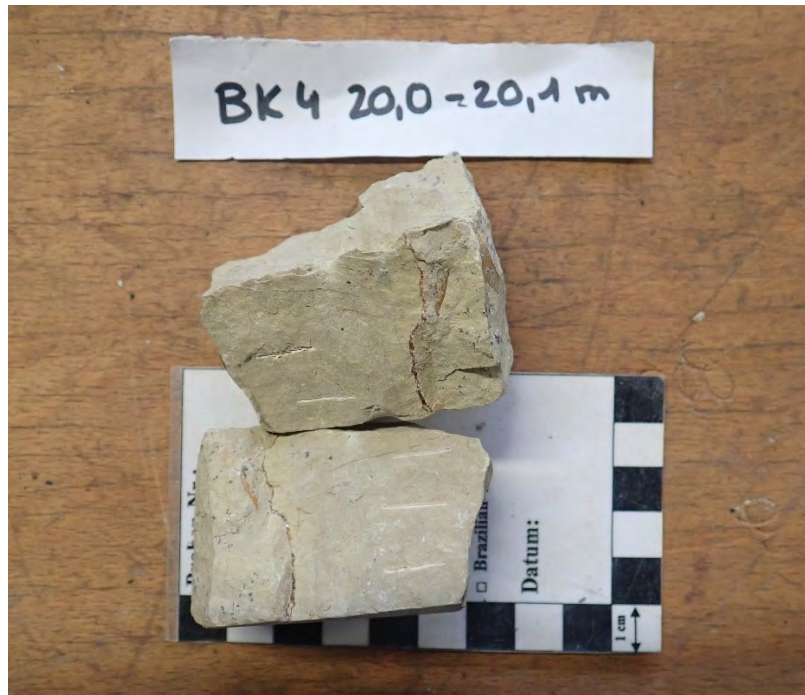
Proben-Nr.: BK4 20,00 - 20,10 m
 Zustand der Prüfoberfläche: bruchrau
 Schichtung/Schieferung: senkrecht
 Lagerung der Prüfkörper (nach Anlieferung): Felsmechanisches Labor RUB
 Wassergehalt: wie Anlieferung

Einzelversuch-Nr.	1	2	3	4	5
Ablesung d_1 [mm]	0,079	0,060	0,121	0,072	0,049
Ablesung d_2 [mm]	0,064	0,045	0,128	0,072	0,049
Ablesung d_3 [mm]	0,076	0,064	0,132	0,068	0,060
Ablesung d_4 [mm]	0,076	0,053	0,113	0,072	0,053
Prüfstiftabnutzung D_j [mm]	0,074	0,056	0,124	0,071	0,053

Mittlere Prüfstiftabnutzung D_{m*} [mm] 0,08
 Korrigierte Prüfstiftabnutzung D_m [mm] (nur sägerau)
Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) [-] **0,8**
 Standardabweichung SD 0,25
 Standardfehler SEM 0,11

Klassifizierung **sehr niedrig**

Fotodokumentation:



Gerätespezifikation: Prüfgerät Typ 2 nach West

Proben-Nr.: BK4 24,70 - 24,80 m
 Zustand der Prüfoberfläche: bruchrau
 Schichtung/Schieferung: senkrecht
 Lagerung der Prüfkörper (nach Anlieferung): Felsmechanisches Labor RUB
 Wassergehalt: wie Anlieferung

Einzelversuch-Nr.	1	2	3	4	5
Ablesung d_1 [mm]	0,110	0,060	0,068	0,045	0,072
Ablesung d_2 [mm]	0,117	0,079	0,068	0,068	0,076
Ablesung d_3 [mm]	0,132	0,064	0,076	0,060	0,076
Ablesung d_4 [mm]	0,113	0,042	0,057	0,072	0,076
Prüfstiftabnutzung D_j [mm]	0,118	0,061	0,067	0,061	0,075

Mittlere Prüfstiftabnutzung D_{m*} [mm] 0,08
 Korrigierte Prüfstiftabnutzung D_m [mm] (nur sägerau)
Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) [-] **0,8**
 Standardabweichung SD 0,21
 Standardfehler SEM 0,10

Klassifizierung **sehr niedrig**

Fotodokumentation:



Gerätespezifikation:

Prüfgerät Typ 2 nach West

Auswertung nach VwV Bodenverwertung

Probe Nr. / Bezeichnung: **MP 1 Lösslehm**

chemische Analyse:

Prüfbericht 65568-MP1, ICA, Leipzig, vom 14.09.2022

Bodenart: Lehm/Schluff

Parameter	¹⁾	Einheit	Z0	Z0*IIIA	Z0*	Z 1.1	Z1.2	Z 2	Gehalt ²⁾	Einstufung
Arsen	FS	mg/kg	15	15	15	45	45	150	10	Z 0
Blei	FS	mg/kg	70	100	140	210	210	700	14	Z 0
Cadmium	FS	mg/kg	1	1	1	3	3	10	0	Z 0
Chrom (ges.)	FS	mg/kg	60	100	120	180	180	600	38	Z 0
Kupfer	FS	mg/kg	40	60	80	120	120	400	13	Z 0
Nickel	FS	mg/kg	50	70	100	150	150	500	26	Z 0
Thallium	FS	mg/kg	0,7	0,7	0,7	2,1	2,1	7	0	Z 0
Quecksilber	FS	mg/kg	0,5	1	1	1,5	1,5	5	0	Z 0
Zink	FS	mg/kg	150	200	300	450	450	1500	57	Z 0
Cyanide (ges.)	FS	mg/kg				3	3	10	0	Z 0
EOX	FS	mg/kg	1	1	1	3	3	10	0	Z 0
MKW (C10-22)	FS	mg/kg	100	100	200	300	300	1000	0	Z 0
MKW (C10-40)	FS	mg/kg	100	100	400	600	600	2000	0	Z 0
Σ BTEX (4)	FS	mg/kg	1	1	1	1	1	1	0	Z 0
Σ LHKW	FS	mg/kg	1	1	1	1	1	1	0	Z 0
Σ PAK 16	FS	mg/kg	3	3	3	3	9	30	0	Z 0
Benzo(a)pyren	FS	mg/kg	0,3	0,3	0,6	0,9	0,9	3	0	Z 0
Σ PCB 6	FS	mg/kg	0,05	0,05	0,1	0,15	0,15	0,5	0	Z 0
Arsen	E	µg/l		14	14	14	20	60	0	Z 0
Blei	E	µg/l		40	40	40	80	200	0	Z 0
Cadmium	E	µg/l		1,5	1,5	1,5	3	6	0	Z 0
Chrom (ges.)	E	µg/l		12,5	12,5	12,5	25	60	0	Z 0
Kupfer	E	µg/l		20	20	20	60	100	0	Z 0
Nickel	E	µg/l		15	15	15	20	70	0	Z 0
Quecksilber	E	µg/l		0,5	0,5	0,5	1	2	0	Z 0
Zink	E	µg/l		150	150	150	200	600	0	Z 0
Cyanide (ges.)	E	µg/l	5	5	5	5	10	20	0	Z 0
Phenol-Index	E	µg/l	20	20	20	20	40	100	0	Z 0
pH-Wert	E	-	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	6-12	5,5-12	8,2	Z 0
el. Leitfähigkeit	E	µS/cm	250	250	250	250	1500	2000	80	Z 0
Chlorid	E	mg/l	30	30	30	30	50	100	0	Z 0
Sulfat	E	mg/l	50	50	50	50	100	150	0	Z 0

¹⁾ FS = Feststoff; E = Eluat

²⁾ "0" in Spalte Gehalte bedeutet:

< BG (Bestimmungsgrenze) bzw. n.n. (nicht nachweisbar)

Gesamteinstufung: **Z 0**

Erläuterungen / Kommentar zur Einstufung:

alle Zuordnungsparameter für Z 0 eingehalten

Auswertung nach VwV Bodenverwertung

Probe Nr. / Bezeichnung: **MP 2 Terrassenschotter**

chemische Analyse:

Prüfbericht 65568-MP2, ICA, Leipzig, vom 14.09.2022

Bodenart: Sand

Parameter	¹⁾	Einheit	Z0	Z0*IIIA	Z0*	Z 1.1	Z1.2	Z 2	Gehalt ²⁾	Einstufung
Arsen	FS	mg/kg	10	15	15	45	45	150	8,1	Z 0
Blei	FS	mg/kg	40	100	140	210	210	700	10	Z 0
Cadmium	FS	mg/kg	0,4	1	1	3	3	10	0,33	Z 0
Chrom (ges.)	FS	mg/kg	30	100	120	180	180	600	22	Z 0
Kupfer	FS	mg/kg	20	60	80	120	120	400	9,9	Z 0
Nickel	FS	mg/kg	15	70	100	150	150	500	19	Z 0*IIIA
Thallium	FS	mg/kg	0,4	0,7	0,7	2,1	2,1	7	0	Z 0
Quecksilber	FS	mg/kg	0,1	1	1	1,5	1,5	5	0	Z 0
Zink	FS	mg/kg	60	200	300	450	450	1500	29	Z 0
Cyanide (ges.)	FS	mg/kg				3	3	10	0	Z 0
EOX	FS	mg/kg	1	1	1	3	3	10	0	Z 0
MKW (C10-22)	FS	mg/kg	100	100	200	300	300	1000	0	Z 0
MKW (C10-40)	FS	mg/kg	100	100	400	600	600	2000	0	Z 0
Σ BTEX (4)	FS	mg/kg	1	1	1	1	1	1	0	Z 0
Σ LHKW	FS	mg/kg	1	1	1	1	1	1	0	Z 0
Σ PAK 16	FS	mg/kg	3	3	3	3	9	30	0	Z 0
Benzo(a)pyren	FS	mg/kg	0,3	0,3	0,6	0,9	0,9	3	0	Z 0
Σ PCB 6	FS	mg/kg	0,05	0,05	0,1	0,15	0,15	0,5	0	Z 0
Arsen	E	µg/l		14	14	14	20	60	0	Z 0
Blei	E	µg/l		40	40	40	80	200	0	Z 0
Cadmium	E	µg/l		1,5	1,5	1,5	3	6	0	Z 0
Chrom (ges.)	E	µg/l		12,5	12,5	12,5	25	60	0	Z 0
Kupfer	E	µg/l		20	20	20	60	100	0	Z 0
Nickel	E	µg/l		15	15	15	20	70	0	Z 0
Quecksilber	E	µg/l		0,5	0,5	0,5	1	2	0	Z 0
Zink	E	µg/l		150	150	150	200	600	0	Z 0
Cyanide (ges.)	E	µg/l	5	5	5	5	10	20	0	Z 0
Phenol-Index	E	µg/l	20	20	20	20	40	100	0	Z 0
pH-Wert	E	-	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	6-12	5,5-12	8,5	Z 0
el. Leitfähigkeit	E	µS/cm	250	250	250	250	1500	2000	82	Z 0
Chlorid	E	mg/l	30	30	30	30	50	100	0	Z 0
Sulfat	E	mg/l	50	50	50	50	100	150	2,3	Z 0

¹⁾ FS = Feststoff; E = Eluat

²⁾ "0" in Spalte Gehalte bedeutet:

< BG (Bestimmungsgrenze) bzw. n.n. (nicht nachweisbar)

Gesamteinstufung: **Z 0*IIIA**

Erläuterungen / Kommentar zur Einstufung:

leicht erhöhter Nickel-Gehalt von 19 mg/kg

Auswertung nach VwV Bodenverwertung

Probe Nr. / Bezeichnung:	MP 3 Gipskeuper
--------------------------	------------------------

chemische Analyse:

Prüfbericht 65568-MP3, ICA, Leipzig, vom 14.09.2022

Bodenart: Lehm/Schluff

Parameter	¹⁾	Einheit	Z0	Z0*IIIA	Z0*	Z 1.1	Z1.2	Z 2	Gehalt ²⁾	Einstufung
Arsen	FS	mg/kg	15	15	15	45	45	150	9,4	Z 0
Blei	FS	mg/kg	70	100	140	210	210	700	13	Z 0
Cadmium	FS	mg/kg	1	1	1	3	3	10	0	Z 0
Chrom (ges.)	FS	mg/kg	60	100	120	180	180	600	30	Z 0
Kupfer	FS	mg/kg	40	60	80	120	120	400	15	Z 0
Nickel	FS	mg/kg	50	70	100	150	150	500	21	Z 0
Thallium	FS	mg/kg	0,7	0,7	0,7	2,1	2,1	7	0	Z 0
Quecksilber	FS	mg/kg	0,5	1	1	1,5	1,5	5	0	Z 0
Zink	FS	mg/kg	150	200	300	450	450	1500	31	Z 0
Cyanide (ges.)	FS	mg/kg				3	3	10	0	Z 0
EOX	FS	mg/kg	1	1	1	3	3	10	0	Z 0
MKW (C10-22)	FS	mg/kg	100	100	200	300	300	1000	0	Z 0
MKW (C10-40)	FS	mg/kg	100	100	400	600	600	2000	0	Z 0
Σ BTEX (4)	FS	mg/kg	1	1	1	1	1	1	0	Z 0
Σ LHKW	FS	mg/kg	1	1	1	1	1	1	0	Z 0
Σ PAK 16	FS	mg/kg	3	3	3	3	9	30	0	Z 0
Benzo(a)pyren	FS	mg/kg	0,3	0,3	0,6	0,9	0,9	3	0	Z 0
Σ PCB 6	FS	mg/kg	0,05	0,05	0,1	0,15	0,15	0,5	0	Z 0
Arsen	E	µg/l		14	14	14	20	60	0	Z 0
Blei	E	µg/l		40	40	40	80	200	0	Z 0
Cadmium	E	µg/l		1,5	1,5	1,5	3	6	0	Z 0
Chrom (ges.)	E	µg/l		12,5	12,5	12,5	25	60	0	Z 0
Kupfer	E	µg/l		20	20	20	60	100	0	Z 0
Nickel	E	µg/l		15	15	15	20	70	0	Z 0
Quecksilber	E	µg/l		0,5	0,5	0,5	1	2	0	Z 0
Zink	E	µg/l		150	150	150	200	600	0	Z 0
Cyanide (ges.)	E	µg/l	5	5	5	5	10	20	0	Z 0
Phenol-Index	E	µg/l	20	20	20	20	40	100	0	Z 0
pH-Wert	E	-	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	6-12	5,5-12	8,6	Z 0
el. Leitfähigkeit	E	µS/cm	250	250	250	250	1500	2000	86	Z 0
Chlorid	E	mg/l	30	30	30	30	50	100	0	Z 0
Sulfat	E	mg/l	50	50	50	50	100	150	2,5	Z 0

¹⁾ FS = Feststoff; E = Eluat²⁾ "0" in Spalte Gehalte bedeutet:< **BG** (Bestimmungsgrenze) bzw. **n.n.** (nicht nachweisbar)**Gesamteinstufung: Z 0****Erläuterungen / Kommentar zur Einstufung:**

alle Zuordnungsparameter für Z 0 eingehalten

Auswertung nach VwV Bodenverwertung

Probe Nr. / Bezeichnung: **MP 4 Lettenkeuper**

chemische Analyse:

Prüfbericht 65568-MP4, ICA, Leipzig, vom 14.09.2022

Bodenart: Lehm/Schluff

Parameter	¹⁾	Einheit	Z0	Z0*IIIA	Z0*	Z 1.1	Z1.2	Z 2	Gehalt ²⁾	Einstufung
Arsen	FS	mg/kg	15	15	15	45	45	150	3,8	Z 0
Blei	FS	mg/kg	70	100	140	210	210	700	6,2	Z 0
Cadmium	FS	mg/kg	1	1	1	3	3	10	0	Z 0
Chrom (ges.)	FS	mg/kg	60	100	120	180	180	600	24	Z 0
Kupfer	FS	mg/kg	40	60	80	120	120	400	9,1	Z 0
Nickel	FS	mg/kg	50	70	100	150	150	500	22	Z 0
Thallium	FS	mg/kg	0,7	0,7	0,7	2,1	2,1	7	0	Z 0
Quecksilber	FS	mg/kg	0,5	1	1	1,5	1,5	5	0	Z 0
Zink	FS	mg/kg	150	200	300	450	450	1500	19	Z 0
Cyanide (ges.)	FS	mg/kg				3	3	10	0	Z 0
EOX	FS	mg/kg	1	1	1	3	3	10	0	Z 0
MKW [C10-22]	FS	mg/kg	100	100	200	300	300	1000	0	Z 0
MKW [C10-40]	FS	mg/kg	100	100	400	600	600	2000	0	Z 0
Σ BTEX (4)	FS	mg/kg	1	1	1	1	1	1	0	Z 0
Σ LHKW	FS	mg/kg	1	1	1	1	1	1	0	Z 0
Σ PAK 16	FS	mg/kg	3	3	3	3	9	30	0	Z 0
Benzo(a)pyren	FS	mg/kg	0,3	0,3	0,6	0,9	0,9	3	0	Z 0
Σ PCB 6	FS	mg/kg	0,05	0,05	0,1	0,15	0,15	0,5	0	Z 0
Arsen	E	µg/l		14	14	14	20	60	0	Z 0
Blei	E	µg/l		40	40	40	80	200	0	Z 0
Cadmium	E	µg/l		1,5	1,5	1,5	3	6	0	Z 0
Chrom (ges.)	E	µg/l		12,5	12,5	12,5	25	60	0	Z 0
Kupfer	E	µg/l		20	20	20	60	100	0	Z 0
Nickel	E	µg/l		15	15	15	20	70	0	Z 0
Quecksilber	E	µg/l		0,5	0,5	0,5	1	2	0	Z 0
Zink	E	µg/l		150	150	150	200	600	0	Z 0
Cyanide (ges.)	E	µg/l	5	5	5	5	10	20	0	Z 0
Phenol-Index	E	µg/l	20	20	20	20	40	100	0	Z 0
pH-Wert	E	-	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	6-12	5,5-12	8,9	Z 0
el. Leitfähigkeit	E	µS/cm	250	250	250	250	1500	2000	78	Z 0
Chlorid	E	mg/l	30	30	30	30	50	100	0	Z 0
Sulfat	E	mg/l	50	50	50	50	100	150	16	Z 0

¹⁾ FS = Feststoff; E = Eluat

²⁾ "0" in Spalte Gehalte bedeutet:

< BG (Bestimmungsgrenze) bzw. n.n. (nicht nachweisbar)

Gesamteinstufung: Z 0

Erläuterungen / Kommentar zur Einstufung:

alle Zuordnungsparameter für Z 0 eingehalten

Prüfberichte des chemischen Labors

(4 Blatt)

Auftraggeber: Smolczyk & Partner GmbH
Untere Waldplätze 14
70569 Stuttgart

Projekt: 22-057 Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach:
BW 231 Talbrücke Wächtelesäcker

Probenanzahl/-art: 1 Bodenprobe
Probenahme: durch Auftraggeber
Eingang Labor/Prüfdatum: 7.9.22 / 7.9.-13.9.22

**Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums von Baden-Württemberg
für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial vom 14. März 2007**

Feststoffuntersuchung; Metalle aus dem Königswasserextrakt gem. DIN EN 13657: 2003-01
(alle Feststoffwerte bezogen auf Trockenmasse / 88,5 Masse %)

Eluatuntersuchung (Eluat gem. DIN EN 12457-4: 2003-01, SM über 0,45 µm filtriert)

Aussehen filtriertes Eluat: farblos, klar

Parameter	Prüfverfahren	Feststoff in mg/kg	
		MP 1 Lösslehm	Eluat in µg/l MP 1 Lösslehm
Arsen	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	10	<5
Blei	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	14	<5
Cadmium	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	<0,3	<0,5
Chrom, gesamt	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	38	<5
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	13	<5
Nickel	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	26	<5
Thallium	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	<0,3	--
Quecksilber	DIN EN ISO 12846: 2012-08	<0,1	<0,2
Zink	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	57	<5
Cyanid, gesamt	DIN 38405 D13: 2011-04	<0,1	<5
EOX	DIN 38414 S17: 2017-01	<1	--
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ - C ₂₂	DIN EN 14039: 2005-01	<50	--
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ - C ₄₀	DIN EN 14039: 2005-01	<100	--
BTEX	DIN EN ISO 22155: 2016-07	<0,5	--
LHKW	DIN EN ISO 22155: 2016-07	<0,5	--
Summe PAK 16	DIN ISO 18287: 2006-05	<0,5	--
Benzo(a)pyren	DIN ISO 18287: 2006-05	<0,05	--
Summe PCB ₆	DIN EN 15308: 2016-12	<0,03	--
Phenol-Index	DIN 38409 H16: 1984-06	--	<10

pH-Wert (22°C)	DIN EN ISO 10523: 2012-04	--	8,2
elektr. LF in µS/cm Bezug 25°C	DIN EN 27888: 1993-11	--	80

Eluat in mg/l

Chlorid	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07	--	<1
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07	--	<1

Leipzig, den 14.9.22


A. Bittner - Stellv. Laborleiter-
Institut für Chem. Analytik GmbH
Naumburger Straße 29 · 04229 Leipzig
Tel.: 0341/9261-452 · Fax: 0341/9261-454
e-mail: mail@ICA-Leipzig.de

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.

Veröffentlichungsrecht: ohne Genehmigung der ICA GmbH nur ungekürzt und unverändert

Auftraggeber: Smolczyk & Partner GmbH
Untere Waldplätze 14
70569 Stuttgart

Projekt: 22-057 Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach:
BW 231 Talbrücke Wächtelesäcker

Probenanzahl/-art: 1 Bodenprobe
Probenahme: durch Auftraggeber
Eingang Labor/Prüfdatum: 7.9.22 / 7.9.-13.9.22

**Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums von Baden-Württemberg
für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial vom 14. März 2007**

Feststoffuntersuchung; Metalle aus dem Königswasserextrakt gem. DIN EN 13657: 2003-01
(alle Feststoffwerte bezogen auf Trockenmasse / 90,5 Masse %)

Eluatuntersuchung (Eluat gem. DIN EN 12457-4: 2003-01, SM über 0,45 µm filtriert)
Aussehen filtriertes Eluat: farblos, klar

Parameter	Prüfverfahren	Feststoff in mg/kg		Eluat in µg/l	
		MP 2 Terrassenschotter	MP 2 Terrassenschotter	MP 2 Terrassenschotter	MP 2 Terrassenschotter
Arsen	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	8,1		<5	
Blei	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	10		<5	
Cadmium	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	0,33		<0,5	
Chrom, gesamt	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	22		<5	
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	9,9		<5	
Nickel	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	19		<5	
Thallium	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	<0,3		--	
Quecksilber	DIN EN ISO 12846: 2012-08	<0,1		<0,2	
Zink	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	29		<5	
Cyanid, gesamt	DIN 38405 D13: 2011-04	<0,1		<5	
EOX	DIN 38414 S17: 2017-01	<1		--	
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ - C ₂₂	<<	<50		--	
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ - C ₄₀	DIN EN 14039: 2005-01	<100		--	
BTEX	DIN EN ISO 22155: 2016-07	<0,5		--	
LHKW	DIN EN ISO 22155: 2016-07	<0,5		--	
Summe PAK 16	DIN ISO 18287: 2006-05	<0,5		--	
Benzo(a)pyren	DIN ISO 18287: 2006-05	<0,05		--	
Summe PCB ₆	DIN EN 15308: 2016-12	<0,03		--	
Phenol-Index	DIN 38409 H16: 1984-06	--		<10	

pH-Wert (22°C)	DIN EN ISO 10523: 2012-04	--	8,5
elektr. LF in µS/cm Bezug 25°C	DIN EN 27888: 1993-11	--	82

Eluat in mg/l

Chlorid	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07	--	<1
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07	--	2,3

Leipzig, den 14.9.22


J. Bittner -Stellv. Laborleiter-
Institut für Chem. Analytik GmbH
Naumburger Straße 29 · 04229 Leipzig
Tel.: 0341/9261-452 · Fax: 0341/9261-454
e-mail: mail@ICA-Leipzig.de

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.
Veröffentlichungsrecht: ohne Genehmigung der ICA GmbH nur ungekürzt und unverändert

Auftraggeber: Smolczyk & Partner GmbH
Untere Waldplätze 14
70569 Stuttgart

Projekt: 22-057 Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach:
BW 231 Talbrücke Wächtelesäcker

Probenanzahl/-art: 1 Bodenprobe
Probenahme: durch Auftraggeber
Eingang Labor/Prüfdatum: 7.9.22 / 7.9.-13.9.22

**Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums von Baden-Württemberg
für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial vom 14. März 2007**

Feststoffuntersuchung; Metalle aus dem Königswasserextrakt gem. DIN EN 13657: 2003-01
(alle Feststoffwerte bezogen auf Trockenmasse / 87,3 Masse %)

Eluatuntersuchung (Eluat gem. DIN EN 12457-4: 2003-01, SM über 0,45 µm filtriert)

Aussehen filtriertes Eluat: farblos, klar

Parameter	Prüfverfahren	Feststoff in mg/kg		Eluat in µg/l	
		MP 3 Gipskeuper	MP 3 Gipskeuper	MP 3 Gipskeuper	MP 3 Gipskeuper
Arsen	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	9,4		<5	
Blei	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	13		<5	
Cadmium	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	<0,3		<0,5	
Chrom, gesamt	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	30		<5	
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	15		<5	
Nickel	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	21		<5	
Thallium	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	<0,3		--	
Quecksilber	DIN EN ISO 12846: 2012-08	<0,1		<0,2	
Zink	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	31		<5	
Cyanid, gesamt	DIN 38405 D13: 2011-04	<0,1		<5	
EOX	DIN 38414 S17: 2017-01	<1		--	
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ - C ₂₂	DIN EN 14039: 2005-01	<50		--	
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ - C ₄₀	DIN EN 14039: 2005-01	<100		--	
BTEX	DIN EN ISO 22155: 2016-07	<0,5		--	
LHKW	DIN EN ISO 22155: 2016-07	<0,5		--	
Summe PAK 16	DIN ISO 18287: 2006-05	<0,5		--	
Benzo(a)pyren	DIN ISO 18287: 2006-05	<0,05		--	
Summe PCB ₆	DIN EN 15308: 2016-12	<0,03		--	
Phenol-Index	DIN 38409 H16: 1984-06	--		<10	

pH-Wert (22°C)	DIN EN ISO 10523: 2012-04	--	8,6
elektr. LF in µS/cm Bezug 25°C	DIN EN 27888: 1993-11	--	86

Eluat in mg/l

Chlorid	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07	--	<1
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07	--	2,5

Leipzig, den 14.9.22


I. Bittner -Stellv. Laborleiter-
Institut für Chem. Analytik GmbH
Naumburger Straße 29 · 04229 Leipzig
Tel.: 0341/9261-452 · Fax: 0341/9261-454
e-mail: mail@ICA-Leipzig.de

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.

Veröffentlichungsrecht: ohne Genehmigung der ICA GmbH nur ungekürzt und unverändert

Auftraggeber: Smolczyk & Partner GmbH
Untere Waldplätze 14
70569 Stuttgart

Projekt: 22-057 Nordumfahrung Frankenbach/Neckargartach:
BW 231 Talbrücke Wächtelesäcker

Probenanzahl/-art: 1 Bodenprobe
Probenahme: durch Auftraggeber
Eingang Labor/Prüfdatum: 7.9.22 / 7.9.-13.9.22

**Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums von Baden-Württemberg
für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial vom 14. März 2007**

Feststoffuntersuchung; Metalle aus dem Königswasserextrakt gem. DIN EN 13657: 2003-01
(alle Feststoffwerte bezogen auf Trockenmasse / 99,5 Masse %)

Eluatuntersuchung (Eluat gem. DIN EN 12457-4: 2003-01, SM über 0,45 µm filtriert)

Aussehen filtriertes Eluat: farblos, klar

Parameter	Prüfverfahren	Feststoff in mg/kg	
		MP 4 Lettenkeuper	Eluat in µg/l MP 4 Lettenkeuper
Arsen	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	3,8	<5
Blei	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	6,2	<5
Cadmium	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	<0,3	<0,5
Chrom, gesamt	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	24	<5
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	9,1	<5
Nickel	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	22	<5
Thallium	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	<0,3	--
Quecksilber	DIN EN ISO 12846: 2012-08	<0,1	<0,2
Zink	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01	19	<5
Cyanid, gesamt	DIN 38405 D13: 2011-04	<0,1	<5
EOX	DIN 38414 S17: 2017-01	<1	--
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ - C ₂₂	<	<50	--
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ - C ₄₀	DIN EN 14039: 2005-01	<100	--
BTEX	DIN EN ISO 22155: 2016-07	<0,5	--
LHKW	DIN EN ISO 22155: 2016-07	<0,5	--
Summe PAK 16	DIN ISO 18287: 2006-05	<0,5	--
Benzo(a)pyren	DIN ISO 18287: 2006-05	<0,05	--
Summe PCB ₆	DIN EN 15308: 2016-12	<0,03	--
Phenol-Index	DIN 38409 H16: 1984-06	--	<10

pH-Wert (22°C)	DIN EN ISO 10523: 2012-04	--	8,9
elektr. LF in µS/cm Bezug 25°C	DIN EN 27888: 1993-11	--	78

Eluat in mg/l

Chlorid	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07	--	<1
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07	--	16

Leipzig, den 14.9.22

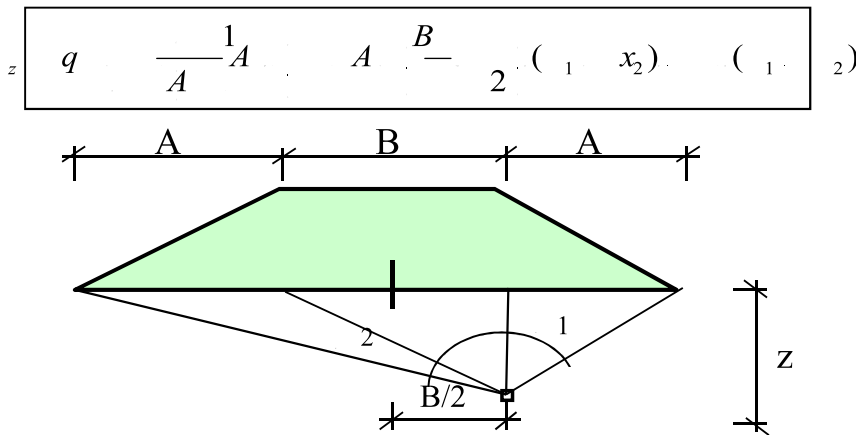

I. Bittner - Stellv. Laborleiter-
Institut für Chem. Analytik GmbH
Naumburger Straße 29 · 04229 Leipzig
Tel.: 0341/9261-452 · Fax: 0341/9261-454
e-mail: mail@ICA-Leipzig.de

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.

Veröffentlichungsrecht: ohne Genehmigung der ICA GmbH nur ungekürzt und unverändert

Berechnungsgrundlage:

- Setzungsberechnung nach DIN 4019/1+2 mit Hilfe lotrechter Spannungen im Boden
- Berechnung der Spannungen nach KÉZDI (Dammlast):



1. Vorgaben

1.1 Belastung

Dammhöhe	H	7,5 m
Dammwichte		20 kN/m ³
Verkehrslast	p	0 kN/m ²
Sohlspannung	σ	150 kN/m ²
Aushub	*d	0 kN/m ²
	1	150 kN/m ²

1.2 Geometrie

Breite	A	11,25 m
	B	11 m
Abstand zur Dammmitte		
	x	16,75 m
	B/2	0 m

1.3 Bodenparameter

	Tiefe	Es	Wichte
	m	MN/m ²	kN/ m ³
Lösslehm	8	12,5	19
Terrasse	10	50	22
km	17	20	10
ku	25	750	13

Grenztiefe bei 0,2 Sigma_ü

2. Berechnung der Spannungen und Setzungen

Die Berechnung erfolgt für verschiedene Punkte im Abstand x zum Dammfuß, wobei im folgenden der Berechnungshergang für die Dammmitte als Punkt mit der maximalen Setzung dargestellt ist.

2.1 Festlegung der Grenztiefe

lotrechte Spannung

σ _ü [kN/m ²]	370,0
20 % σ _ü	74,0
[kN/m ²]	73,8

Spannungen aus der Bauwerkslast, UK Schicht 4

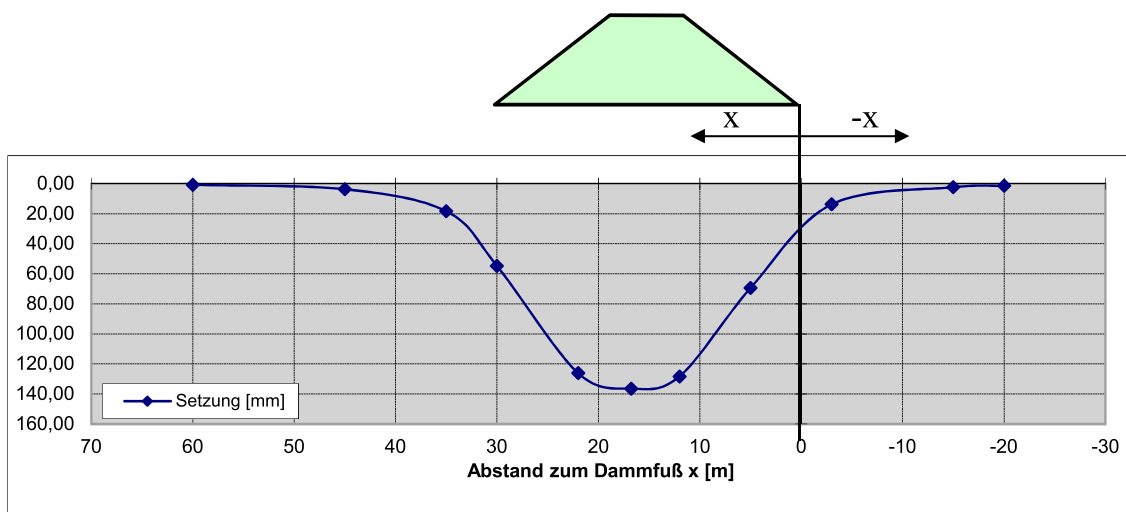
20 % - Bedingung erfüllt!

2.2 Berechnung

	Punkt	Schicht OK	Schicht Mi	Schicht UK	S [mm]
Schicht 1	Tiefe z [m]	0,01	4,005	8	
	1	0,001	0,395	0,523	
		3,138	1,883	1,205	
		0,001	0,395	0,523	
	[kN/m ²]	150,0	146,0	131,9	92,25
Schicht 2	Tiefe z [m]	8	9	10	
	1	0,523	0,529	0,530	
		1,205	1,097	1,006	
		0,523	0,529	0,530	
	[kN/m ²]	131,9	127,6	123,3	5,10
Schicht 3	Tiefe [m]	10	13,5	17	
	1	0,530	0,506	0,465	
		1,006	0,774	0,626	
		0,530	0,506	0,465	
	[kN/m ²]	123,3	108,8	96,0	38,19
Schicht 4	Tiefe [m]	17	21	25	
	1	0,465	0,417	0,374	
		0,626	0,512	0,433	
		0,465	0,417	0,374	
	[kN/m ²]	96,0	83,8	73,8	0,90
					136,4 mm

3. Darstellung des Setzungsverlaufes

Punkt	x [m]	Setzung [mm]
1	60	0,70
2	45	3,71
3	35	18,38
4	30	54,73
5	22	126,19
6	16,75	136,44
7	12	128,32
8	5	69,45
9	-3	13,76
10	-15	2,37
11	-20	1,34

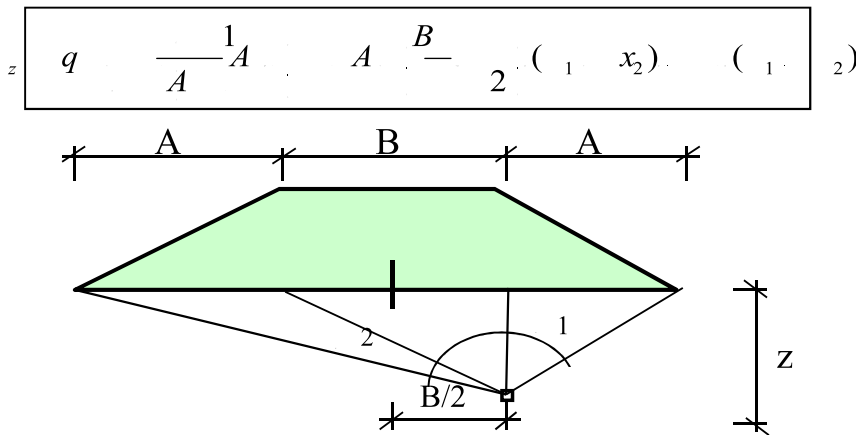


Ergebnisse der erdstatischen Berechnungen zu den Anschlussdämmen
Dammsetzungen Westseite

gez. AJ
gepr. Rx

Berechnungsgrundlage:

- Setzungsberechnung nach DIN 4019/1+2 mit Hilfe lotrechter Spannungen im Boden
- Berechnung der Spannungen nach KÉZDI (Dammlast):



1. Vorgaben

1.1 Belastung

Dammhöhe	H	6 m
Dammwichte		20 kN/m ³
Verkehrslast	p	0 kN/m ²
Sohlspannung	σ	120 kN/m ²
Aushub	*d	0 kN/m ²
	1	120 kN/m ²

1.2 Geometrie

Breite	A	9 m
	B	11 m
Abstand zur Dammmitte		
	x	14,5 m
	B/2	0 m

1.3 Bodenparameter

	Tiefe	Es	Wichte
	m	MN/m ²	kN/ m ³
Lösslehm	4	12,5	19
Terrasse	14	50	22
km	20	20	10
ku	25	750	13

Grenztiefe bei 0,2 Sigma_ü

2. Berechnung der Spannungen und Setzungen

Die Berechnung erfolgt für verschiedene Punkte im Abstand x zum Dammfuß, wobei im folgenden der Berechnungshergang für die Dammmitte als Punkt mit der maximalen Setzung dargestellt ist.

2.1 Festlegung der Grenztiefe

lotrechte Spannung

σ _ü [kN/m ²]	421,0
20 % σ _ü	84,2
[kN/m ²]	54,6

Spannungen aus der Bauwerkslast, UK Schicht 4

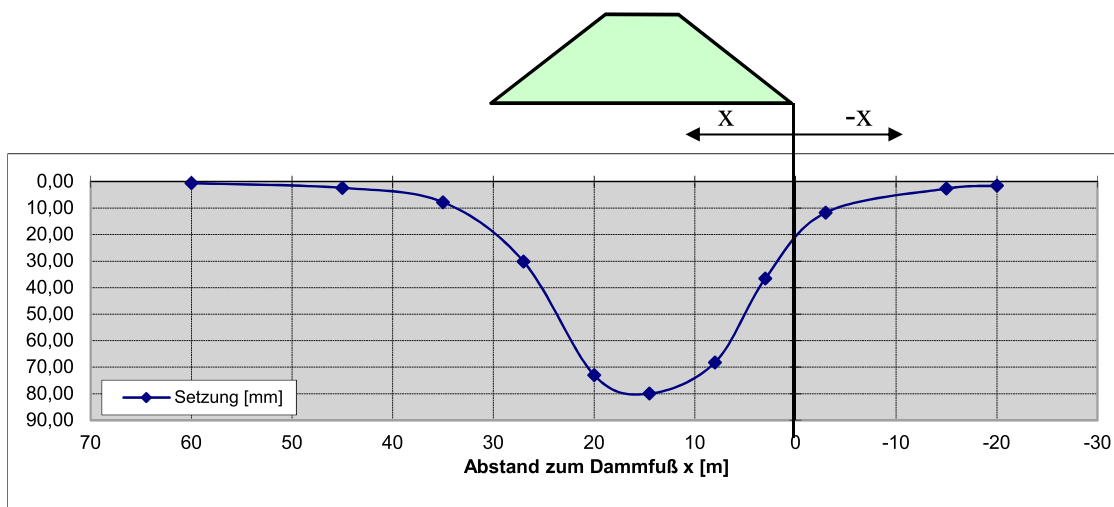
20 % - Bedingung erfüllt!

2.2 Berechnung

	Punkt	Schicht OK	Schicht Mi	Schicht UK	S [mm]
Schicht 1	Tiefe z [m]	0,01	2,005	4	
	1	0,001	0,212	0,360	
		3,138	2,442	1,884	
		0,001	0,212	0,360	
	[kN/m ²]	120,0	119,4	116,2	37,98
Schicht 2	Tiefe z [m]	4	9	14	
	1	0,360	0,467	0,429	
		1,884	1,097	0,749	
		0,360	0,467	0,429	
	[kN/m ²]	116,2	99,4	81,3	19,83
Schicht 3	Tiefe [m]	14	17	20	
	1	0,429	0,393	0,359	
		0,749	0,626	0,537	
		0,429	0,393	0,359	
	[kN/m ²]	81,3	72,3	64,7	21,76
Schicht 4	Tiefe [m]	20	22,5	25	
	1	0,359	0,333	0,309	
		0,537	0,479	0,433	
		0,359	0,333	0,309	
	[kN/m ²]	64,7	59,3	54,6	0,40
					80,0 mm

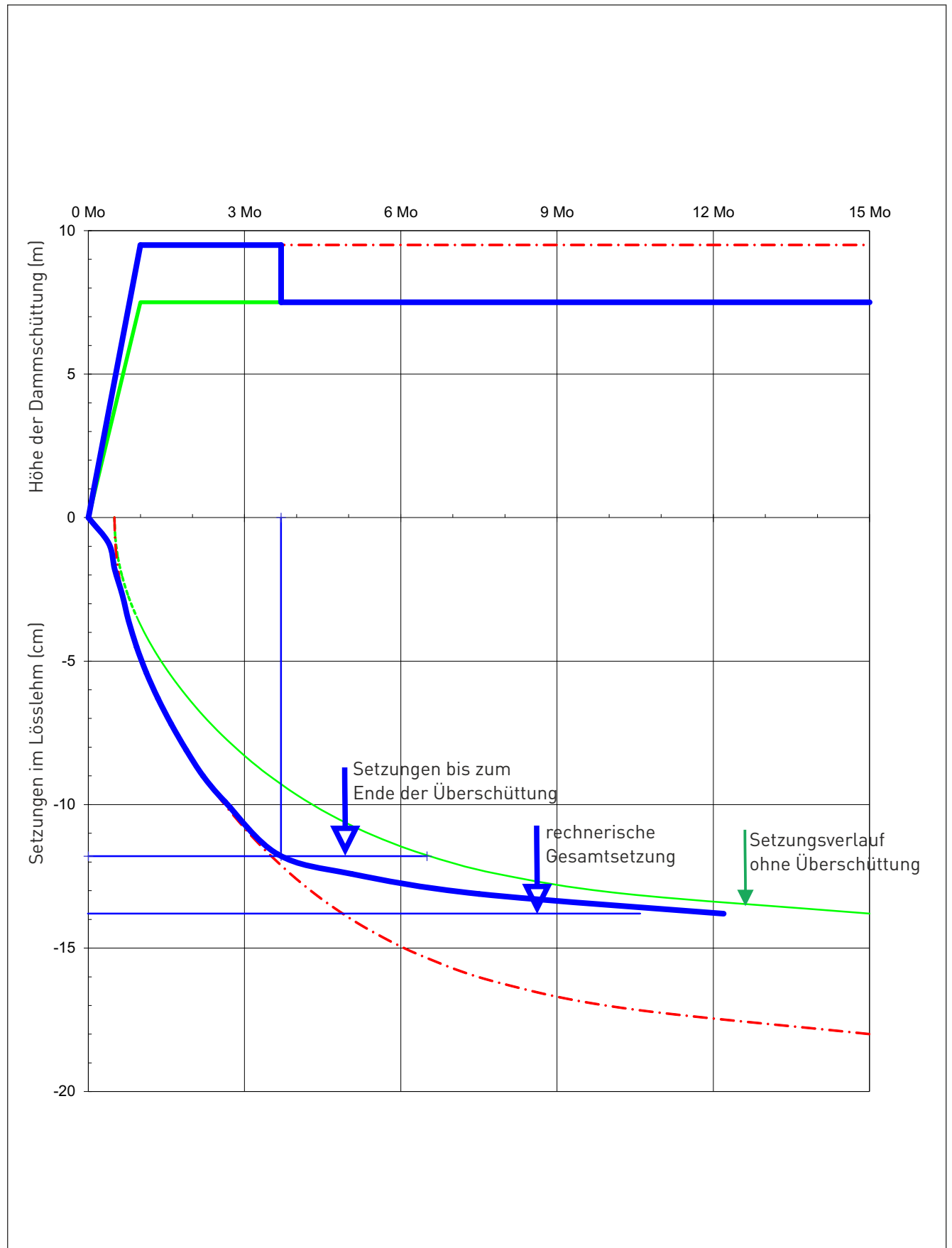
3. Darstellung des Setzungsverlaufes

Punkt	x [m]	Setzung [mm]
1	60	0,57
2	45	2,36
3	35	7,80
4	27	30,20
5	20	72,98
6	14,5	79,97
7	8	68,20
8	3	36,59
9	-3	11,68
10	-15	2,64
11	-20	1,55



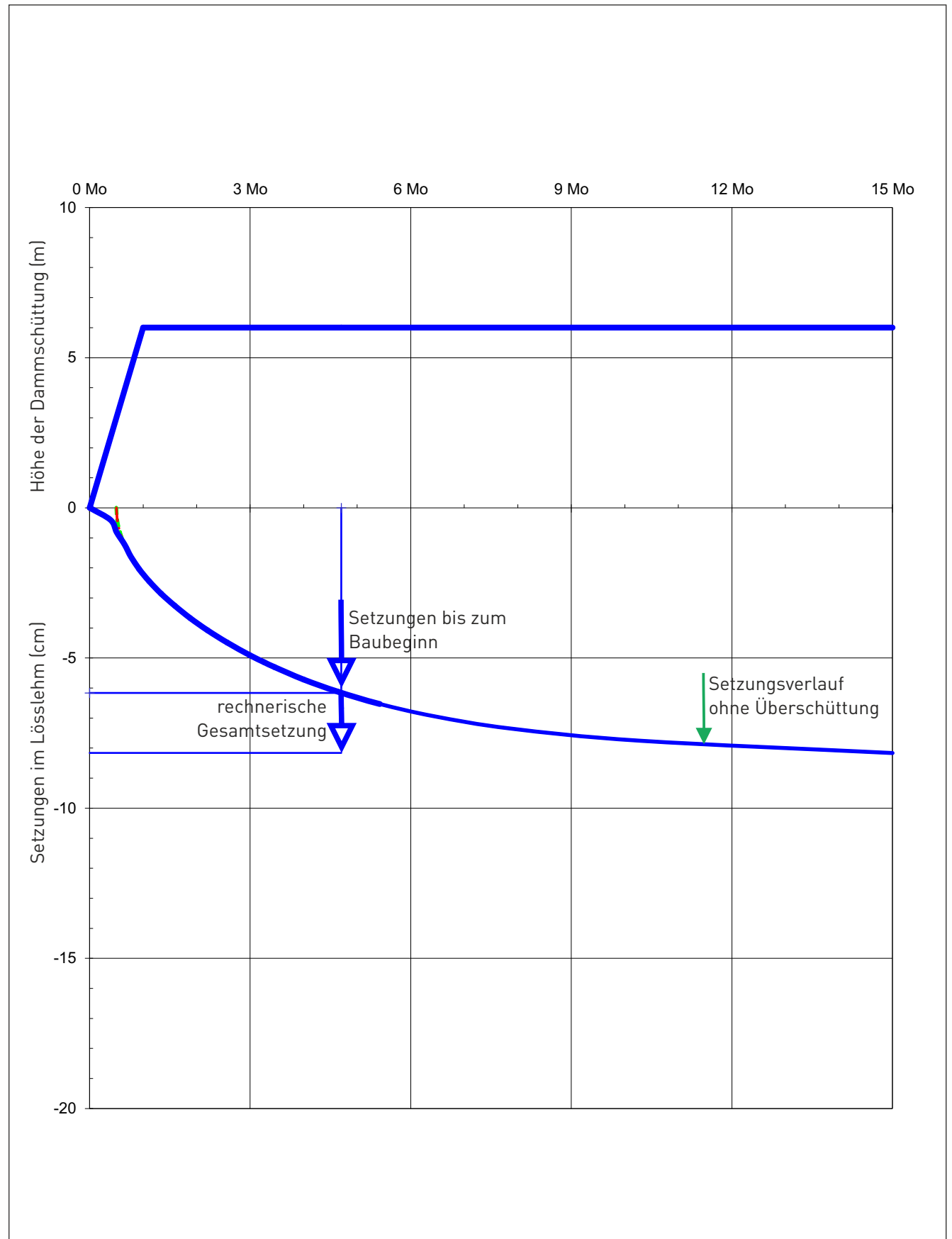
Ergebnisse der erdstatischen Berechnungen zu den Anschlussdämmen
Dammsetzungen Ostseite

gez. AJ
gepr. Rx



Überschüttung und theoretischer Setzungsverlauf Widerlager West,
rechnerische Restsetzung = 2 cm nach ca. 4 Monaten

gez. Rb
gepr. Rx



Theoretischer Setzungsverlauf Widerlager Ost,
 rechnerische Restsetzung = 2 cm nach ca. 5 Monaten

gez. Rb
 gepr. Rx