**19-125 Kornwestheim, Pflugfelder Brücke: Neubau**

Geotechnischer Bericht (Stand 10/2021)

| | |
|---|---|
| Auftraggeber | Stadt Kornwestheim<br>Fachbereich Tiefbau und Grünflächen<br>Jakob-Sigle-Platz 1<br>70806 Kornwestheim<br>Tel: 07154/202-0<br>Herr Stefan Thalheimer (D:-7172)<br>E-Mail: stefan_talheimer@kornwestheim.de |
| Planer | Prof. Dr.-Ing. Bechert & Partner<br>Ingenieurbüro für Bauwesen<br>Von-Pistorius-Straße 6A<br>70188 Stuttgart<br>Tel: 0711/16 63-3<br>Herr Dipl.-Ing. Andreas Gruber (D:-456)<br>E-Mail: A.Gruber@ibb-s.de |

| | |
|---|---|
| Ort und Datum | Stuttgart, 29.10.2021 |
| Verteiler | Digital und 1fach in Papierform an die Beteiligten |
| Textseiten; Anlagen | 37; 1.1 bis 5 (39 Blatt) |
| Bericht-Nr.; Zeichen | 666426-03; Sc/DT/HS/Ju |

| | | |
|---|---|---|
| Projektleiter | Dipl.-Ing. Holger Jud | (D:-30) |
| Bearbeiter Bautechnik | Dipl.-Ing. Hendrik Suttkus | (D:-32) |
| Bearbeiter Baugrund | Dipl.-Geol. Ralph Schleifenheimer | (D:-34) |

i. A.

S&P Smoltczyk & Partner GmbH

**Smoltczyk & Partner GmbH**
Untere Waldplätze 14
70569 Stuttgart
Tel. 0711 / 131 64-0

Amtsgericht Stuttgart HRB 9451
www.SmoltczykPartner.de
post@SmoltczykPartner.de

**Büro Heilbronn**
Lindenstraße 16
74232 Abstatt
Tel. 07062 / 914 23 55

**Büro Oberschwaben**
Marsweilerstraße 19
88255 Baindt
Tel. 0751 / 767 820 98

**Geschäftsführende Gesellschafter**
Dipl.-Ing. Hartmut Reichenbach
Dipl.-Geol. Dr. Martin Brodbeck
Dr.-Ing. Annette Lächler
Dipl.-Ing. Holger Jud
**Gesellschafter**
Dr.-Ing. Thomas Rumpelt
Dr.-Ing. Berthold Rilling

Sachverständige für Geotechnik
Beratende Ingenieure VBI
Beratende Geowissenschaftler BDG

Mitglied von
Ingenieurkammer BW,
AIV, ASCE, DGGT, DVGW, FGSV,
IAEG, IGS, ISRM, ISSMGE, ITVA, VDI

Inhalt Seite

1 Bezug und Unterlagen 3

2 Lage und Bauwerksbeschreibung 4

3 Untersuchungsumfang 6

4 Baugrund 8

5 Grundwasser 11

6 Eigenschaften von Böden und Fels 13
6.1 Ergebnisse der Feldversuche 13
6.2 Ergebnisse der Laborversuche 14
6.3 Klassifikation und charakteristische Kennwerte 17
6.4 Homogenbereiche 20

7 Bautechnische Folgerungen 22
7.1 Gründung Brücke 1 (A10 bis A40) 23
7.2 Gründung Brücke 2 (A50 bis A60) 26
7.2.1 Aushub und Wiederverwendbarkeit von Böden 28
7.2.2 Baugrubenböschungen 29
7.2.3 Baugrubenverbau 29
7.3 Hinterfüllung und Erddruck 34

8 Mitwirkung bei der Bauplanung und Ausführung 35

Anlagen
siehe Anlagenverzeichnis 37

## 1 Bezug und Unterlagen

**Auftrag:** Auf der Grundlage unseres Leistungs- und Honorar-Vorschlags vom 31.03.21 wurden wir mit E-Mail vom 03.05.21 von der Stadt Kornwestheim, Fachbereich Tiefbau und Grünflächen, beauftragt, für den Neubau der Großen Pflugfelder Brücke in Kornwestheim eine ergänzende Baugrunderkundung zu planen und durchzuführen sowie den mit Datum vom 31.08.21 vorgelegten Geotechnischen Bericht zu überarbeiten.

In einem ersten Schritt wurden bereits im Dezember 2019 an den Widerlagern der Bestandsbrücke Kernbohrungen und im Januar 2020 Kleinbohrungen im Bereich zwischen den Widerlagern durchgeführt und die Ergebnisse in einem Geotechnischen Bericht festgehalten. Verfahrensbedingt wurden mit den Kleinbohrungen die Festgesteinsschichten nicht bis in die erforderliche Tiefe erkundet, so dass weitere Kernbohrungen im Bereich der geplanten Stützpfeiler erforderlich wurden.

Der Auftrag umfasste des Weiteren die orientierende Untersuchung der Schadstoffsituation anhand von Proben aus der Baugrunderkundung, deren Ergebnisse in einem gesonderten Bericht bewertet sind.

An **Unterlagen** für den Brückenneubau erhielten wir zusätzlich zu den bereits in unserem Geotechnischen Bericht mit Stand 08/2020 aufgeführten Unterlagen vom Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. Heinrich Bechert + Partner, Herrn Florian Roos, per E-Mail am 22.01.21:

- 1 Übersichtsplan (M 1:500) zum Neubau als Vorabzug, Stand November 2020,

am 19.03.21:

- Erläuterung (3 Blatt) zum Herstellablauf der Baugrunduntersuchungen, ohne Datum,
- 3 Pläne (M 1:200, 100, 50) zur Herstellung Überbauöffnungen: Gesamtübersicht, detaillierte Darstellung Bereich 1 + 2 sowie 3 + 4, Stand März 2021,

am 11.05.21:

- 1 Plan (M 1:100, 50) zur Herstellung Überbauöffnungen: Detaillierte Darstellung Bereich 1 + 2, Stand Mai 2021,

am 02.08.21:

- einen Bauwerksplan (M 1:200, 100, 50) zum Neubau - Blatt 1 als Vorabzug mit Längsschnitt, Draufsicht, Regelquerschnitt mit Stand August 2021,

und am 11.10.2021

- Skizzen mit Angabe der Pfahllängen Achse 10 -40 und Unterkanten der Spundwände Achse 10 – 60.

Vom Auftraggeber erhielten wir per E-Mail am 02.06.21

- 4 Pläne (M 1:200, 100, 50, 10, 2,5) zur Herstellung Überbauöffnungen: Gesamtübersicht, detaillierte Darstellung Bereich 1 + 2 und 3 + 4, Detailplan Verschluss Überbauöffnungen, Stand Mai 2021.

Außerdem standen uns zur Verfügung:
- Blatt 7121 Stuttgart-Nordost der Geologischen Karte (M 1:25 000) von Baden-Württemberg mit Erläuterungen, Stuttgart 1963, sowie
- Blatt NO 35/09 der Höhenflurkarte (M 1:2 500) von Württemberg, Stand 1922
- Grundwassergleichenkarte im Lettenkeuper; in: Freiräume in Stadtlandschaften Modellraum Ludwigsburg, hrsg. vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt in Baden-Württemberg, 1979, sowie
- unser geotechnischer Bericht mit Stand vom 31.08.20.

## 2 Lage und Bauwerksbeschreibung

**Lage:** Das untersuchte Grundstück liegt ungefähr 1 km nordwestlich des Zentrums der Stadt Kornwestheim, zwischen dem Wohngebiet Pflugfelder Straße und dem Gewerbegebiet Westrandstraße. Die bestehende Große Pflugfelder Brücke überführt auf einer Länge von rund 190 m die heutige Villeneuvestraße über den Rangierbahnhof Kornwestheim (Anlage 1.1).

Auf dem Areal befinden sich verschiedene Strecken der DB Netze AG, Gleise der Gesellschaft zur Erhaltung von Schienenfahrzeugen e.V. (GES e.V.), eine Museumsbahn sowie die ehemaligen Anlagen des Bundegrenzschutzes mit einer Hundesportanlage (Anlage 1.2).

Das Gelände liegt an den Brückenwiderlagern auf einem Niveau von rund 316,1 mNN im Westen und rund 310,8 mNN im Osten. Im Bereich der Gleisanlagen liegt das mehrfach terrassierte Gelände bis zu rund 8 m tiefer.

Die heutige Geländehöhe im Bereich der Widerlager entspricht etwa der Geländehöhe von 1921. Die Gleisanlagen liegen somit in einem Einschnitt.

Die geodätischen Grundstücksdaten sind in Anlage 2.1 angegeben.

**Bauwerksbeschreibung:** Geplant sind zwei aufeinanderfolgende Straßenbrücken mit Brücke 1 als 3-feldrige (A10 bis A40) und Brücke 2 als 1-feldriges (A50 bis A60) mit Längen von etwa 93 m bzw. 37 m und einer Breite des Überbaus von knapp über 10 m. Die Spannweiten zwischen den Pfeilern bzw. Widerlagern betragen zwischen 29 m und 37 m. Gemäß den Angaben des Tragwerksplaner ist die 1 feldrige Brücke zwischen den Widerlagern in Achse 50

und 60 ein integrales Bauwerk. Zwischen den Achsen 40 und 50 ist eine Dammschüttung geplant. Somit sind zu den Widerlagern 10 und 60 zwei zusätzliche Widerlager in Achse 40 und 50 vorgesehen.

Aufgrund des Geländesprungs an den Widerlagern und des geringen Abstands zu den Gleisen werden an den Widerlagern sowie an einigen Pfeilerstandorten Baugrubenverbauten erforderlich. Die Baugrubentiefen betragen zwischen 2 m und 6 m.

Anhand unserer vorangegangenen Empfehlungen aus dem Geotechnischen Bericht vom 04.05.20 ist in den Achsen 10, 20, 30, und 40 eine Pfahlgründung vorgesehen. Entsprechend den Angaben des Büros Bechert und Partner kann nach dem derzeitigen Stand der Planungen von folgende charakteristische Einwirkungen auf die Einzelpfähle in den nachfolgend genannten Achsen mitgeteilt:

| Bereich | Pfahllänge [m] | Pfahldurchmesser [m] | charakteristische Einwirkungen bis zu [MN] |
|---|---|---|---|
| Achse 10 Vorderreihe | 8,0 | 1,2 | 3,75 |
| Achse 10 Hinter- und Mittelreihen | 6,0 | 1,2 | 3,25 |
| Achse 20 | 7,0 | 1,2 | 2,75 |
| Achse 30 | 5,0 | 1,2 | 2,75 |
| Achse 40 Vorderreihe | 8,0 | 1,2 | 5 |
| Achse 40 Mittelreihe | 7,5 | 1,2 | 3 |
| Achse 40 Hinterreihe | 4,5 | 1,2 | 1,5 |

Tabelle 1: gerundete charakteristische Einwirkungen auf die Pfahlgründung in den jeweiligen Achsen

In den Achsen 50 und 60 sind Flachgründungen geplant. Mit den Angaben aus dem Geotechnischen Bericht vom 04.05.20 ergeben sich für die Flachgründungen in den Achsen 50 und 60 aus ersten Bettungsmodulberechnungen des Büros Bechert und Partner charakteristische Sohldruckspannungen zwischen 300 kN/m$^2$ und 550 kN/m$^2$.

Brücke 1 zwischen Achse 10 und 40 sowie die Dammschüttung zwischen Achse 40 und 50 sind der geotechnischen Kategorie GK 2 zuzuordnen wohingegen die integrale Brücke zwischen Achse 50 und 60 als geotechnische Kategorie GK 3 zu klassifizieren ist.

## 3 Untersuchungsumfang

Bereits für die Bearbeitung unseres Leistungs- und Honorarvorschlags haben wir die in Abschnitt 1 aufgeführten Unterlagen aus unserem Archiv über das Baugelände ausgewertet.

Im Vorfeld der aktuellen Erkundungskampagne haben wir am 16.03.21 gemäß § 43 des Wassergesetzes (WG) von Baden-Württemberg einen Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis bei der Unteren Wasserbehörde des Landratsamtes Ludwigsburg eingereicht. Die Erlaubnis dazu wurde am 17.03.21 erteilt.

Gemäß der Luftbildauswertung des KMBD Baden-Württemberg vom 30.01.19 lag für das Untersuchungsgebiet eine Freigabe bezüglich Kampfmittel vor, so dass hierzu keine weiteren Maßnahmen erforderlich waren.

Zur Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse wurden, entsprechend dem von uns ausgearbeiteten Erkundungskonzept, von der Bohrfirma GEO-BOHRTECHNIK GmbH, Blaustein, vom 05. bis 14.07.21 unter unserer fachtechnischen Aufsicht

4 Kernbohrungen nach DIN EN ISO 22 475, Tabelle 2, Zeile 7, im Fels Zeile 2, mit insgesamt
35,0 Bohrmetern

niedergebracht und nach Abschluss der Arbeiten mit Quellton verfüllt; nähere Angaben dazu siehe Anlage 2.1.
Die Bohrung BK 6 wurde aufgrund des Verdachts auf nicht bekannte Versorgungsleitungen bis in eine Tiefe von 1 m von der Bohrfirma händisch vorgeschachtet.

Bereits vom 20.11.19 bis 05.12.19 wurden von der Terrasond GmbH & Co. KG unter unserer fachtechnischen Aufsicht in einer ersten Erkundungskampagne

2 Kernbohrungen nach DIN EN ISO 22 475, Tabelle 2, Zeile 7, im Fels Zeile 2, mit insgesamt
35,0 Bohrmetern

niedergebracht und nach Abschluss der Arbeiten mit Zement-Bentonit-Suspension verfüllt; nähere Angaben dazu siehe Anlage 2.2.

In diesen Bohrungen wurden während der Bohrarbeiten von der Terrasond GmbH

6 Bohrlochrammsondierungen nach DIN 4094-2: BDP (Borehole Dynamic Probing), Sondierungen mit geschlossener Spitze

durchgeführt, deren Ergebnisse ebenfalls in Anlage 2.1, links neben den Bohrprofilen, angegeben sind.

Zusätzlich wurden durch S&P am 13. und 14.01.20, mit einem Elektrobohrhammer "WACKER EH 23/220"

6 Kleinrammbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1, Tabelle 2, Zeile 9, mit Tiefen von 2,1 m bis 5 m,
insgesamt rund 19,6 Sondiermetern

abgeteuft und nach Abschluss der Arbeiten mit Quellton verfüllt; nähere Angaben dazu siehe Anlage 2.3.

Die Erkundungspunkte der aktuellen Erkundungskampagne wurden vom Vermessungsbüro Bartholomä + Kunzi, Kirchberg/Murr nach Lage (Gauß-Krüger) und Höhe (mNN) eingemessen. Sie wurden entsprechend den am 15.07.21 per E-Mail übermittelten Koordinaten von uns zusammen mit den früheren **S&P**-Bohrungen lagerichtig in Anlage 1.2 eingezeichnet.

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

Die Schichtenfolgen sind in Anlehnung an DIN 4023 in Anlage 2 dargestellt und beschrieben und in einen geologischen Geländeschnitt eingearbeitet (Anlage 3).

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

Den Kernbohrungen und Kleinbohrungen der früheren und aktuellen Erkundungen wurden insgesamt

155 Bodenproben der Güteklasse 3 nach 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:

53 Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts nach DIN EN ISO 17 892-1 (Anlage 2, rechts neben den Profilsäulen),
4 Bestimmungen der Fließ- und Ausrollgrenzen nach DIN EN ISO 17 892-12 (Anlage 5.1),

und an Gesteinen nach den DGGT-Empfehlungen für die Versuchstechnik im Fels

21 Punktlastversuche nach Empfehlung Nr. 5.

Zusätzlich haben wir in unserem Auftrag und gemäß unseren Vorgaben im Labor der Hochschule für Technik Stuttgart (HfT) weitere **felsmechanischen Untersuchungen** nach den DGGT-Empfehlungen durchführen lassen (Anlagen 5.2):

- 4 einaxiale Druckversuche nach Empfehlung Nr. 1,
- 6 Punktlastversuche nach Empfehlung Nr. 5 und
- 2 Cherchar-Abrasivitäts-Tests nach Empfehlung Nr. 23.

Die Ergebnisse aller Versuche werden in Abschnitt 6 erläutert und bewertet.

## 4 Baugrund

Durch Interpolation zwischen den zwangsläufig punktuellen Aufschlüssen haben wir, unter Berücksichtigung geologischer Zusammenhänge, ein räumliches **Modell des Untergrundes** erarbeitet, das nachfolgend beschrieben und in einem geologischen Geländeschnitt (Anlage 3) dargestellt ist.
Es zeigt vereinfacht einen sechsschichtigen Aufbau aus Auffüllung, Talablagerung, Lösslehm, Hanglehm, den Grundgipsschichten des Gipskeupers und den Schichten des Lettenkeupers:

- Zuoberst liegt nahezu im gesamten untersuchten Bereich künstliche **Auffüllung**, die im Zusammenhang mit der Bebauung des Areals aufgebracht wurde.
  Im Wesentlichen handelt es sich bei diesen um die Gleisanlagen der Deutschen Bahn mit den dazugehörigen Infrastruktureinrichtungen, wie z. B. Wege, Strommasten, Signalanlagen, Leitungsschächte und einzelne Gebäude. Daneben auch um Auf- und Anschüttungen, die in Zusammenhang mit der Herstellung der bestehenden Großen Pflugfelder Brücke (Hinterfüllung) und den umliegenden Straßen aufgebracht wurden.
  Sie bestehen im Wesentlichen aus braunen, braungrauen und graubraunen, schwach kiesigen bis kiesigen, tonigen und feinsandigen Schluffen von überwiegend steifer und halbfester Konsistenz. Überwiegend dürfte es sich hierbei um umgelagertes Bodenmaterial aus früheren Erdbaumaßnahmen auf dem Areal handeln. An den Widerlagern der Großen Pflugfelder Brücke, in den Bohrungen BK 1 und BK 2, sind zudem vereinzelte Lagen aus Betonbruch sowie von sandigem und schluffigem Kies aus Kalksteinbrechkorn bzw. kiesigem Sand zwischengeschaltet.
  Das Gelände der Gesellschaft zur Erhaltung von Schienenfahrzeugen e.V. (GES e.V.) ist im Abschnitt des Brückenneubaus neben den Gleisanlagen großflächig mit Asphalt und Beton versiegelt. Bereits in der früheren Kleinbohrung BS 4, wenige Meter nördlich des Baufeldes, wurden unterhalb der Oberflächenbefestigung kalkige, schwarz verfärbte Kiese erkundet. In der aktuellen Bohrung BK 4 wurden ebenfalls schwarz verfärbte Kiese

erkundet, welche an der Basis mit dem anstehenden Bodenmaterial vermengt sind. Das ehemalige Gelände des Bundesgrenzschutzes welches im südlichen Baufeld zwischen den Anlagen des GES e.V. im Westen und weiteren Gleisanlagen der Deutschen Bahn im Osten liegt, ist derzeit ungenutzt und mit Gräsern, Sträuchern, Büschen und kleinen Bäumen bewachsen. Lediglich im Westen des Geländes waren Betonplatten verlegt, welche zunächst auf einen in den Unterlagen nicht eingetragenen Kabel-/Leitungsschacht hindeuteten. Auffüllungen wurden mit der aktuellen Erkundung auf dem Areal nicht erkundet, jedoch können geringmächtige Lagen umgelagerter Böden oder ähnliches nicht ausgeschlossen werden.

Die Mächtigkeit der Auffüllung beträgt zumeist rund 1 m, lokal auch bis zu 1,6 m.

In den ehemaligen Arbeitsräumen zur Herstellung der Bestandsgebäude, der Widerlagerhinterfüllung an den Bestandswiderlagern sowie in Leitungs- und Kanalgräben ist mit weiteren Auffüllungen unbekannter Zusammensetzung, Qualität und Mächtigkeit zu rechnen.

- Als jüngste natürliche Schicht folgen **Talablagerungen**, die jedoch nur kleinräumig anstehen und ausschließlich in BS 2, also außerhalb der Brückenachse, erbohrt wurden. Bei ihnen handelt es sich um braungraue und beigegraue, kiesige, feinsandige Schluffe von steifer Konsistenz. Die erkundete Restmächtigkeit der Talablagerungen beträgt rund 1,6 m. Die Basis liegt bei rund 300,5 mNN, also rund 2,7 m u. Gel.
- Großräumig folgt als oberste natürliche Schicht sog. **Lösslehm**. Er besteht aus einem überwiegend braunen, hellbraunen und gelbbraunen, je nach Verwitterungsgrad auch dunkelbraunen, tonigen und sandigen Schluff, der bereichsweise durch eingelagertes Manganhydroxid charakteristisch schwarzfleckig ist und die lösstypischen Schneckenschalen enthält. Örtlich kann der Lösslehm durch organische Bestandteile auch graubraun bis schwarzbraun gefärbt sein. Die Konsistenz ist steif und halbfest, daneben auch weich und weich bis steif.

  Die Mächtigkeit des Lösslehms liegt bei den Brückenwiderlagern bei rund 9,2 m im Westen und rund 5,1 m im Osten. Im Geländeeinschnitt der Gleisanlagen beträgt die Restmächtigkeit zwischen rund 0,6 m und rund 2,9 m. In BS 5 wurde die Basis des Lösslehms nicht erbohrt. Im Osten des Geländeeinschnitts fehlt er ganz.
- Unter dem Lösslehm steht **Hanglehm** an. Es handelt sich um einen graubraunen und braunen, z. T. hellbraunfleckigen, tonigen Schluff mit einem meist geringen Anteil an sandigen und kiesigen Dolomit- und Tonsteinbröckchen. Die Konsistenz ist meist halbfest, daneben auch steif. Die Restmächtigkeit beträgt im Westen rund 1,2 m. Nach Osten nimmt die Mächtigkeit auf rund 0,4 m in BS 4 ab, in BK 2 beträgt sie rund 0,2 m. In den Kleinbohrungen BS 1 bis BS 3 ist der Hanglehm topographisch bedingt ausgeräumt. Mit den aktuellen Kernbohrungen wurde der Hanglehm nicht erkundet. Die Basis des

Hanglehms liegt an den Brückenwiderlagern bei rund 304,6 mNN im Westen bzw. rund 304 mNN im Osten.

- Darunter folgen die sog. **Grundgipsschichten**, die das unterste Schichtglied des Gipskeupers (Grabfeld-Formation) bilden. Sie bestehen überwiegend aus graubraunem bis beigebraunem und grüngrauem, teils violettfleckigem, überwiegend zu Schluff zersetztem Schlufftonstein. In Anlehnung an DIN EN ISO 14 689-1 sind sie den Verwitterungsstufen VS 3 (stark verwittert) bis VS 5 (zersetzt) zuzuordnen und weisen eine außerordentlich geringe bis sehr geringe einaxiale Druckfestigkeit bzw. wechselnde Konsistenzen zwischenweich bis steif und halbfest bis fest auf. Vereinzelt enthalten sie beigegraue und hellbraune, wenige Millimeter bis Zentimeter mächtige, schluffige ("mehlige") Lagen von **G**ips**a**uslaugungs**r**ückständen (GAR). Zwischengelagert sind örtlich wenige Zentimeter mächtige, oft auch kiesig zerlegte Zellenkalke mit einer mäßig hohen bis hohen einaxialen Druckfestigkeit, die aus kalziumreichen Wässern hervorgingen. Ihren Namen erhalten die Zellenkalke durch ihre kavernöse Struktur.
  Die Restmächtigkeit der Grundgipsschichten beträgt zwischen rund 1,6 m und 3 m. Am westlichen Brückenwiderlager, in BK 1, fehlen sie ganz.
- Den tieferen bilden die Schichten des **Lettenkeupers (Erfurt-Formation, Unterer Keuper)**. Sie bestehen bis zu den erbohrten Endtiefen aus einer Wechselfolge von zuoberst olivgrünen und graubraunen bis braunen, zur Tiefe hin dunkel- bis schwarzgrauen, z. T. dolomitischen und sandigen Schlufftonsteinen und Tonsteinen, grauen Sandsteinen und zumeist braungrauen und grauen, in der Tiefe auch dunkelgrauen, harten Dolomitsteinbänken.
  Die Schlufftonsteine weisen zumeist eine außerordentlich geringe bis geringe, lagenweise auch eine mäßig hohe einaxiale Druckfestigkeit auf. In Anlehnung an DIN EN ISO 14 689-1 sind sie den Verwitterungsstufen VS 0 (frisch) bis VS 3 (stark verwittert) zuzuordnen. Bereichsweise, insbesondere auf den oberen Metern können diese auch vollständig zu tonigen Schluffen (Verwitterungsstufen VS 4 (vollständig verwittert) und VS 5 (zersetzt) von wechselnder Konsistenz zwischen breiig und fest verwittert sein.
  Die in kompakten Kernen auftretenden, glimmerführenden, grauen, teilweise ebenfalls dolomitischen Sandsteine sind der Verwitterungsstufe VS 0 und VS 1 zuzuordnen. Die einaxiale Druckfestigkeit ist meist hoch bis sehr hoch, untergeordnet auch gering bis mäßig hoch.
  Die Dolomitsteine sind insbesondere auf den oberen Metern zu sandigem Schluff (Verwitterungsstufe VS 3 bis VS 5) verwittert und darunter örtlich kiesig-steinig zerlegt bzw. zerbohrt. Die einaxiale Druckfestigkeit ist gering bis mäßig hoch. Zur Tiefe wird sie rasch mit abnehmendem Verwitterungsgrad hoch bis sehr hoch.
  Die Schichtenfolge des Lettenkeupers setzt im Untersuchungsgebiet mit dem bis zu rund 0,6 m mächtigen, sog. Grenzdolomit ein. Aus Gründen der übersichtlicheren Darstellung

wurde er im Bohrprofil BK 2 (Anlage 2.2.2) sowie im geologischen Schnitt (Anlage 3) den darunter folgenden Grünen Mergeln zugeschlagen. Die Mächtigkeit der Grünen Mergel beträgt rund 3,4 m bis 4,4 m. Im Westen bildet die Schichtobergrenze der Grünen Mergel eine Erosionsfläche zu den auflagernden Deckschichten. Unter den Grünen Mergeln folgen die Lingula-Dolomite mit einer Mächtigkeit von bis zu rund 2,6 m. Darunter liegen die bis zu rund 1,3 m mächtigen Oberen Grauen Mergel, gefolgt vom Anoplophora-Dolomit. Die Mächtigkeit des Anoplophora-Dolomits beträgt bis zu knapp 2,8 m. Unter dem Anoplophora-Dolomit folgen die sog. Unteren Grauen Mergel, welche den Anoplophora-Dolomit von der unterlagernden, rund 0,4 m mächtigen Anthrakonit-Bank trennt. Die Unteren Grauen Mergel erreichen Mächtigkeiten von rund 1,5 m bis 1,7 m im Osten. Die älteste erschlossene stratigraphische Einheit sind die sog. Sandigen Pflanzenschiefer.
In den Kleinbohrungen war eine eindeutige Grenzziehung zwischen den Grundgipsschichten und den Grünen Mergeln zumeist nicht möglich. Die Schichtgrenzen wurden hier in Bezug auf die Ergebnisse der Kernbohrungen festgelegt.
Die Oberfläche des Lettenkeupers bildet eine flache Rinne und fällt von rund 304,6 mNN im Westen und rund 301 mNN auf knapp über 300 mNN in Rinnenachse ab.Die Schichten des Lettenkeupers setzen sich noch rund 14 m bis 18 m zur Tiefe hin fort und lagern dort dem Oberen Muschelkalk auf.

## 5 Grundwasser

Die aktuellen Bohrungen wurden bis zum Erreichen der Festgesteinszone in Tiefen von 2,8 m (300,92 mNN) bis 6,7 m u. Gel. (302,31 mNN), die früheren Kernbohrungen bis in Tiefen von 15 m u. Gel. (295,85 mNN), trocken gebohrt. Bis zu diesen Tiefen wurden keine Wasserzutritte festgestellt. Mit Erreichen der Festgesteinszone wurde auf das Rotationskernbohrverfahren mit Wasserspülung umgestellt, so dass verfahrensbedingt keine Wasserzutritte mehr festgestellt werden konnten. Nach Bohrende wurde das Spülwasser aus den Bohrlöchern zweimal ausgeblasen und die Wasserstände beobachtet. Nach einer kurzen Wartezeit stellten sich in allen Bohrungen Wasserstände ein. In nachfolgender Tabelle 2 sind die während der Erkundungen gemessenen Grundwasserstände aufgeführt:

| | West | | | | | | Ost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bohrung** | **BK 1** | **BK 3** | **BK 4** | **BK 5** | **BK 6** | **BS 2** | **BK 2** |
| Ansatzhöhe (mNN) | 315,97 | 309,01 | 306,36 | 303,72 | 303,00 | 303,21 | 310,85 |
| Datum | 04.12.19 | 08.07.21 | 12.07.21 | 14.07.21 | 06.07.21 | 13.01.20 | 21.11.19 |
| Wasserstand | | | | | | | |
| [m u. Gel.] | 19,45 | 10,9 | 7,4 | 4,5 | 10,9 | 2,6 | 11,85 |
| mNN | 296,52 | 298,11 | 298,96 | 299,22 | 292,10 | 300,61 | 299,0 |

Tabelle 2: Grundwasserstände während den Erkundungen

Die Grundwasserstände in BK 6 sowie der früheren Bohrung BK 1 liegen im Vergleich zu den übrigen Bohrungen um rund 3,5 m und 8 m tiefer. Hier reichte die kurze Wartezeit nach Ausblasen der Bohrlöcher bis zum Einmessen der Wasserstände für das Einstellen eines Ruhewasserspiegels vermutlich nicht aus.

Grundwasserleiter sind die Dolomitsteinbänke des Lettenkeupers.

In beiden Erkundungskampagnen fiel der Grundwasserspiegel von Osten nach Westen ein. Zu beachten ist dabei, dass den Grundwasserbeobachtungen nur geringe Wartezeiten zu Grunde lagen und die Zeit dafür nicht ausreichte, dass sich Ruhewasserspiegel einstellen konnte. Auf Grund des ursprünglichen Geländeverlaufs sowie Interpolation der Grundwassergleichenkarte von Ludwigsburg ist von einem entgegengesetzten Grundwassergefälle von West nach Ost auszugehen. Der Grundwasserspiegel dürfte demnach bei knapp über 300 mNN im Westen und etwa 297 mNN bis 299 mNN im Osten liegen.

**Chemische Analysen:** Dem Grundwasser wurde im Zuge der ersten Erkundungskampagne eine Probe (BK 2) entnommen und vom Labor Analytik-Team GmbH, Fellbach, chemisch auf die Stoffe nach DIN 4030 untersucht.

Danach ist das Grundwasser der untersuchten Probe chemisch nicht betonangreifend (XA 0). Da jedoch der Sulfatgehalt in den Grundgipsschichten erfahrungsgemäß höher liegen kann, empfehlen wir für ins Grundwasser einbindende Beton-Bauteile die Expositionsklasse XA 1 nach DIN EN 206-1 zu wählen.

Ergänzend wurde die entnommene Wasserprobe auf Empfehlung und nach weiterer telefonischer Abstimmung mit dem Landratsamt Ludwigsburg auf die Parameter des Grundmessprogramms G sowie auf die ergänzenden Parameter des Zusatzmessprogramms Z untersucht. Die Ergebnisse sind insgesamt unauffällig. Detaillierte Ergebnisse sind dem Prüfbericht in Anlage 4 zu entnehmen.

Als **Bemessungswasserstand** an der Westseite (Achse 10) wird ein Wasserstand bei 301 mNN und an der Ostseite (Achse 60) ein Wasserstand bei 300 mNN vorgeschlagen.

## 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 durchgeführt:

- **Feldversuche** (Abschnitt 6.1): Borehole Dynamic Probing (BDP).
- **Laborversuche** (Abschnitt 6.2): Bestimmungen des **natürlichen Wassergehalts**, der **Fließ- und Ausrollgrenzen,** von **Punktlastversuchen**, **Einaxialen Druckversuchen** sowie **Abrasionsversuche** an ausgewählten Bodenproben bzw. Felsproben.

Die Versuche erlauben, qualitative und quantitative Unterschiede der Baugrundeigenschaften zu erfassen. Zur Darstellung der Tiefenabhängigkeit sind sie teilweise in die Schichtenprofile (Anlage 2) und die geologischen Geländeschnitte (Anlage 3) eingearbeitet.
Die Klassifikationen und charakteristischen Kennwerte sind in Abschnitt 6.3 zusammengestellt.

### 6.1 Ergebnisse der Feldversuche

Während der Erkundung 2019 wurden in zwei Bohrungen sechs **Bohrlochrammsondierungen (BDP)**, Sondierungen mit geschlossener Spitze durchgeführt. Sie erlauben, ähnlich wie die Rammsondierungen, bodenmechanische Kennwerte abzuleiten und punktuell tiefenabhängige Unterschiede im Baugrund zu erkennen. Die Ergebnisse der BDP-Versuche sind unter den Bohrprofilen der Bohrungen BK 1 und BK 2 (Anlagen 2.1.1 und 2.1.2) als drei Schlagzahlen $N_{15}$ für je 15 cm Eindringung angegeben. Die Schlagzahl für die Eindringung von 15 cm bis 45 cm heißt $N_{30}$ und ist neben den Bohrprofilen in der Tiefenlage des Versuchs angegeben.

Von den sechs Bohrlochrammsondierung wurden vier im Lösslehm (BK 1 und BK 2) durchgeführt. Die Schlagzahlen $N_{30}$ lagen hier zwischen 20 und 33, im Mittel bei 25, was einer überwiegend halbfesten Konsistenz entspricht. Dies bestätigt auch die Ansprache im Feld.

Eine Sondierung wurde im Hanglehm (BK 1) mit einer Schlagzahl $N_{30} = 43$ durchgeführt. Sie bestätigt somit die Ansprache im Feld mit einer mindestens halbfesten Konsistenz.

Eine weitere Bohrlochrammsondierung wurde in der BK 2 in den Grundgipsschichten durchgeführt. Die Schlagzahl $N_{30}$ von 17 weist auf eine steif bis halbfeste Konsistenz hin.

Bei der Erkundung 2021 wurden die Bohrungen überwiegend im Festgestein abgeteuft, auf zusätzliche BDP-Versuche wurde daher verzichtet.

### 6.2 Ergebnisse der Laborversuche

Der **Lösslehm** wies bei drei Proben eine Ausrollgrenze zwischen 15,6 % und 19,9 % im Mittel von etwa 17,3 % und eine Fließgrenze zwischen 30,3 % und 45,6 % im Mittel von 36,5 % auf. Sie sind damit nach DIN 18 196 als leicht- bis mittelplastischer Ton (TL/TM) einzustufen.
Bei 12 Bestimmungen variierten die natürlichen Wassergehalte zwischen 13,2 % und 25,9 % und lagen im Mittel bei 21,2 %. Damit hat der Lösslehm eine überwiegend steife bis halbfeste Konsistenz.
Die Laborergebnisse bestätigen damit die manuelle Ansprache der Proben im Feld nach DIN EN ISO 14 688.
Die natürlichen Wassergehalte sind in Anlage 2, rechts neben den Bohrprofilen aufgeführt.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Laborversuche und den Schlagzahlen $N_{30}$ lässt sich mit den Korrelationen aus DIN 4094 der Steifemodul für den Lösslehm zu $E_s$ = 12,5 MN/m² bis 15 MN/m² ableiten.

In den lokal auftretenden **Talablagerungen** wurde ein natürlicher Wassergehalt von 19,6 % festgestellt. Dieser liegt in einer gängigen Bandbreite für bindige Böden mit einer steifen Konsistenz.

Aus den Schichten des **Hanglehms** wurden acht Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts durchgeführt. Sie lagen zwischen 13,6 % und 22,5 %, im Mittel bei 18,2 %. Sie liegen somit ebenfalls in einer gängigen Bandbreite für einen gemischtkörnigen Boden mit einer mindestens steifen, überwiegend halbfesten Konsistenz und bestätigen somit die Ansprache im Feld.

An einer Probe aus den **Grundgipsschichten** wurden die Zustandsgrenzen bestimmt. Die Probe BK 4/2,5 hat eine Ausrollgrenze von 17,9 % und eine Fließgrenze von 51,1 %. Sie sind damit nach DIN 18 196 als ausgeprägt plastischer Ton (TA) einzustufen.
Bei 10 Bestimmungen variierten die natürlichen Wassergehalte der Grundgipsschichten zwischen 13,1 % und 19,9 % und lagen im Mittel bei 17,5 %.
Sie liegen somit in der gängigen Bandbreite für einen zum Teil zu Schluff verwitterten

Schluff-/ Tonstein mit einer steifen bis halbfesten Konsistenz bzw. Tonsteinen der Verwitterungsstufen VS3 und VS4. Es kann von einer außerordentlich geringen bis geringen einaxialen Druckfestigkeit ausgegangen werden.

In den Schichten des **Lettenkeupers** wurden 20 Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts durchgeführt. Sie lagen zwischen 4,7 % und 20,8 %, im Mittel bei 11,1 %.
Sie liegen somit in der gängigen Bandbreite für einen zum Teil zu Schluff verwitterten Schluff-/ Tonstein mit einer halbfesten Konsistenz bzw. Tonsteinen der Verwitterungsstufen VS2 und VS3. Es kann für die Schluff-/ Tonsteine des Lettenkeupers von einer außerordentlich geringen bis geringen Druckfestigkeit ausgegangen werden.

Bei der Felsklassifikation werden die in Tabelle 3 und Tabelle 4 wiedergegebenen Abstufungen für die Festigkeit verwendet. Maßgebend für die Bemessung der Gründung Tabelle 3, Tabelle 4 wird zur Beschreibung im Feld und zur Einstufung des Fels in die Homogenbereiche verwendet.

| Bezeichnung der Gesteinsfestigkeit | Einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit $q_{u,k}$ [MN/m$^2$] |
|---|---|
| sehr mürb | < 1,25 |
| mürb | 1,25 - 5 |
| mäßig mürb | 5 - 12,5 |
| mäßig hart | 12,5 - 50 |
| Hart | > 50 |

Tabelle 3: Felsklassifikation entsprechend der Gesteinsdruckfestigkeit gemäß DIN 1054: 2010-12

| Bezeichnung | Feldversuch | Einaxiale Druckfestigkeit $q_{u,k}$ [MN/m²] |
|---|---|---|
| außerordentlich gering[1)] | mit Fingernagel leicht ritzbar | < 1 |
| sehr gering | mit Messer ritzbar; durch feste Aufschläge mit der Spitze des Geologenhammers zu zerbröckeln | 1 - 5 |
| gering | mit Messer nur schwer ritzbar; durch feste Aufschläge mit der Spitze des Geologenhammers schwach einkerbbar | 5 - 25 |
| mäßig hoch | mit Messer nicht mehr ritzbar, durch einen einzigen festen Schlag mit dem Geologenhammer zu zerbrechen | 25 - 50 |
| hoch | nur durch mehrere Schläge mit dem Geologenhammer zu zerbrechen | 50 - 100 |
| sehr hoch | nur durch sehr viele Schläge mit dem Geologenhammer zu zerbrechen | 100 - 250 |
| außerordentlich hoch | durch Schläge mit dem Geologenhammer lösen sich nur Splitter | > 250 |

[1)] Manche sehr weiche Gesteine verhalten sich wie Boden und sollten daher auch als solche nach ISO 14 688-1 beschrieben werden.

Tabelle 4: Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit von Gestein im Feld nach DIN EN ISO 14 689-1:2011-06

Die einaxialen Druckversuche ergaben Werte zwischen 48,2 N/mm² bis 131,4 N/mm², im Mittel 90,2 N/mm² für den Linguladolomit und 42,3 N/mm² für die Grünen Mergel.

An 44 Kernstücken aus dem Lettenkeuper (26 Dolomitsteine, 11 Sandsteine und 7 Schluff-/Tonsteine) wurden Punktlastversuche sowohl in axialer als auch in diametraler Richtung ausgeführt.
Der Versuch ist ein Indexversuch zur Schätzung der Gesteinsdruckfestigkeit $q_{u,k}$ und ähnelt einem Spaltzugversuch, bei dem ein Festgesteinsstück in einem hydraulischen Prüfgerät zwischen zwei abgestumpften Kegelspitzen bis zum Trennbruch belastet wird. Durch eine empirische Beziehung zwischen Bruchlast und Bruchfläche ergibt sich daraus ein Näherungswert der einaxialen Druckfestigkeit.

Um aus dem ermittelten Punktlastindex $i_{s(50)}$ die einaxiale Druckfestigkeit $\sigma_u$ abzuleiten, ist der Umrechnungsfaktor c gesteinsspezifisch zu ermitteln:

$$\sigma_u = c \cdot i_{s(50)}$$

Der Umrechnungsfaktor kann über Vergleichsversuche ermittelt werden. Die durchgeführten vergleichenden Versuche zeigen einen Umrechnungsfaktor von c = 15 – 27, im Mittel bei

c = 22. Dieser wird im Folgenden zur Bewertung der Punktlastversuche angesetzt, liegt jedoch deutlich über dem aus der Literatur entnommenen Wert aus unserem Gutachten vom 31.08.2020.

Die Punktlastversuche an den 28 **Dolomitsteinproben** ergaben als Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit damit Werte zwischen 28,6 N/mm² bis 203,2 N/mm², im Mittel 89,5 N/mm², bei den 11 **Sandsteinproben** Werte zwischen 18,1 N/mm² bis 181,2 N/mm², im Mittel 78,1 N/mm² sowie bei den 8 **Schlufftonsteinen** Werte zwischen 9,1 N/mm² bis 88,7 N/mm², im Mittel 41,9 N/mm². Eine signifikante transversale Isotropie ist in den Versuchen nicht zu erkennen. Durch Klüfte und verheilte Klüfte streuen die Werte aller Gesteine allerdings stark.

Gemäß Tabelle 3 entsprechen diese Werte einer mäßig mürben bis harten Gesteinsdruckfestigkeit bzw. für die Feldansprache nach Tabelle 4 einer geringen bis sehr hohen einaxialen Druckfestigkeit.

An zwei Felsproben wurden Abrasivitätsversuche nach Cerchar durchgeführt. Danach ergaben sich für den Linguladolomit ein Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) von 1,7, für die grünen Mergel ein CAI von 1,6. Beide Werte weisen somit eine niedrige Abrasivität der Gesteine aus.

### 6.3 Klassifikation und charakteristische Kennwerte

Anhand der Bodenansprache im Gelände, der diskutierten Ergebnisse der Feld- und Laborversuche sowie unseren Erfahrungen mit bodenmechanisch bzw. felsmechanisch gleichartigen Böden und Fels kann der angetroffene Baugrund in Anlehnung an bautechnische Regelwerke klassifiziert und durch charakteristische Kennwerte für statische Untersuchungen beschrieben werden (Tabelle 5).

| geol. Bezeichnung | Auffüllungen | Lösslehm, Talablagerungen, Hanglehm | Grundgips-schichten | Lettenkeuper |
|---|---|---|---|---|
| Konsistenz (vorherrschend) | steif, halbfest | steif bis halbfest | - | - |
| Lagerungsdichte | - | - | - | - |
| Gesteinsfestigkeit (DIN 1054) | - | - | mürb bis mäßig hart | mäßig hart bis hart |
| Trennflächenabstand (DIN 1054) | - | - | außerordentlich engständig | außerordentlich engständig bis engständig |
| Verwitterungsstufe (DIN EN ISO 14 689-1) | - | - | VS2-VS5 | VS1-VS4 |
| **Klassifikationen** | | | | |
| Bodengruppe (DIN 18 196) | A[TL,TM,GT, GU,GU*,GW,GI] (Kst,Ziegel, Beton] | TL,TM,GT | UTst | Sst,Dst,UTst |
| Bodenklasse (DIN 18 300) | 3,4,5,6,7 | 3,4 | 5,6,7 | 6,7 |
| Bodenklasse (DIN 18 301) | BN2,BB2, BB3,BS1,BS2 | BB2-BB4 | BB3,BB4, FV1,FV2,FD1,FD2 | BB3,BB4, FV1-FV5,FD1-FD3 |
| Felsgruppe (DIN EN 1997-1) | - | - | 4 | 1,4 |
| Frostempfindlichkeit | nicht bis sehr | mittel bis sehr | sehr | nicht bis sehr |
| Klasse nach ZTV E-StB 17 | F1-F3 | F2-F3 | F3 | F1-F3 |
| Schrumpfgefahr | gering bis mittel | gering bis mittel | sehr gering bis mittel | sehr gering bis gering |
| Sackungsgefahr | mittel | mittel | keine | keine |
| **charakt. Kennwerte** | | | | |
| Wichte $\gamma$ [kN/m$^3$] | 19 | 20 | 21 | 22 |
| unter Auftrieb $\gamma'$ [kN/m$^3$] | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Reibungswinkel $\varphi'$ [°] | 25,0 - 27,5 | 25 | 25 | 25 |
| Kohäsion c' [kN/m$^2$] | 0 - 2,5 | 15 | 30 | 50 |
| Steifemodul $E_s$ [MN/m$^2$] für Setzungsberechnungen | | | | |
| - Erstbelastung $E_{S1}$ | - | 12 | 30 | 50 (>500)[1)] |
| - Wiederbelastung $E_{S2}$ | - | 20 | 60 | 100 (>800)[1)] |

[1)] gilt für die Dolomitsteinschichten des Lettenkeupers (Lingula Dolomit, Anoplophora Dolomit)

Tabelle 5: Klassifikationen und charakteristische Kennwerte

Das Baugrundstück liegt nach der derzeit noch in Baden-Württemberg maßgebenden DIN 4149:2005-04 und der entsprechenden regionalen Karte der Erdbebenzonen, hier für

Baden-Württemberg, in Erdbebenzone 0.
Da auch Standorte außerhalb der der Zone 1 ein seismisches Gefährdungspotential besitzen, wird die Zone 0 - im Gegensatz zu gar keiner Zonierung - als seismogene Randzone betrachtet.
Es wird demzufolge vom Normenausschuss bzw. in der Literatur empfohlen, unter bestimmten Randbedingungen und in Absprache mit der Bauherrschaft, den Planern und dem Prüfingenieur z. B. bei Bauwerken der Bedeutungskategorien III und IV den Regeln und Festlegungen für Zone 1 zu folgen.

In den Nachweisen ist der Untergrundparameter *S* unter Berücksichtigung der Untergrundklasse R und der Baugrundklasse B zu berücksichtigen. Dieser ergibt sich damit zu *S* = 1,25.

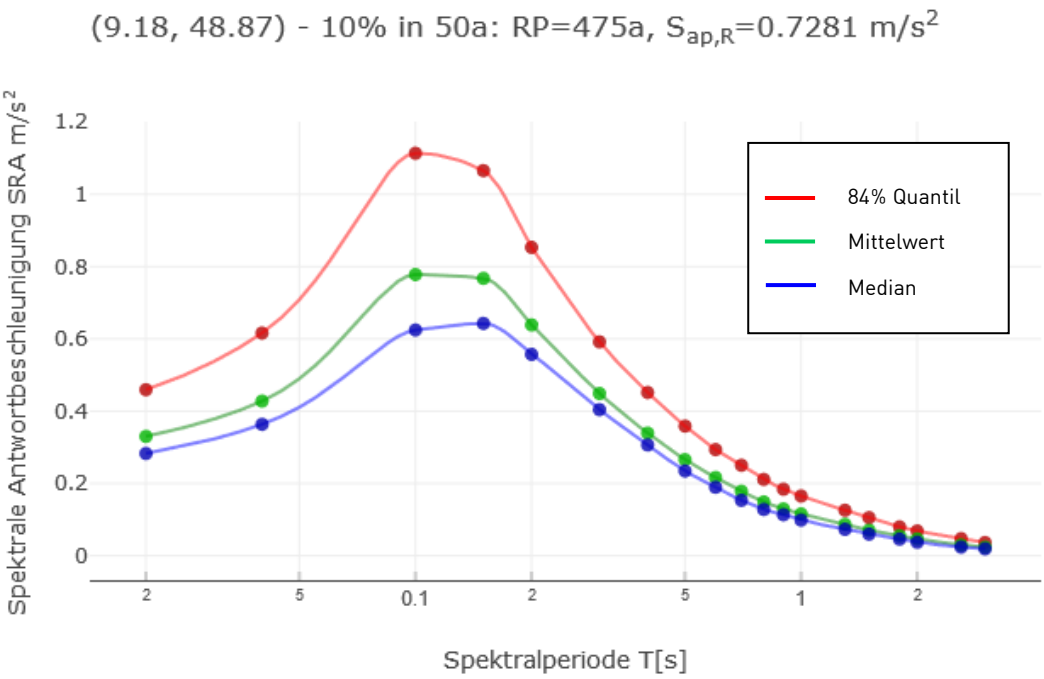



Abbildung 1: Spektrale Antwortbeschleunigungen am Projektstandort
(Quelle:http://www-app5.gfz-potsdam.de/d-eqhaz16/)

Der nationale Anhang zum Eurocode EC 8 (E DIN EN 1998-1/NA) liegt bereits mit Stand Juli 2021 vor. Nach Einführung wird die DIN EN 1998-1/NA die DIN 4149:2005-04 mit den regionalen Karten der Erdbebenzonen für Baden-Württemberg ersetzen.

Wir haben daher den Einfluss der Vorgaben der DIN EN 1998 einschl. des zugehörigen nationalen Anwendungsdokuments für die Dimensionierung im Lastfall Erdbeben geprüft.

In E DIN EN 1998-1/NA:2021-07 erfolgt eine Neueinschätzung der Erdbebengefährdung in Deutschland und somit auch am Projektstandort Kornwestheim. Maßgebend bleibt die Untergrundklasse R.

Entsprechend der interaktiven Darstellung zur Erdbebengefährdung am Projektstandort (http://www-app5.gfz-potsdam.de/d-eqhaz16/) liegt am Projektstandort (Lat: 9,18, Lon: 48,87) eine spektrale Antwortbeschleunigung von $S_{ap,r}$ = 0,7281 m/s² vor. Die spektralen Antwortbeschleunigungen sind in Abbildung 1 dargestellt. Damit können nach E DIN EN 1998-1 die elastischen Antwortspektren unter Berücksichtigung des vom Tragwerksplaner festzulegenden Bedeutungsbeiwerts $\gamma_I$ und des Untergrundparameters; also *S* = 1,25 (für die hier herrschenden Untergrundverhältnisse = B-R) bestimmt werden.

Die **Bemessungs-Bodenbeschleunigung $a_g$** lässt sich für die weiterhin unverändert anzunehmende Untergrundklasse R und Baugrundklasse B abhängig vom Bedeutungsbeiwert wie folgt berechnen:

$a_g = a_{gR} \times S \times \gamma_I = S_{ap,R}/2{,}5 \times S \times \gamma_I$ = 0,7281/2,5 x *1,25 x* 1,0 bzw. 1,2 = 0,36 m/s² bzw. 0,44 m/s²

mit

- $a_{gR}$: Referenz – Spitzenbeschleunigung auf der Oberfläche des Felses = $S_{ap,R}/2{,}5$
- *S:* Bodenparameter *S* für Untergrundklasse R und Baugrundklasse B ergibt sich nach Tabelle NA.4 aus DIN EN 1998-1/NA: 2018-10 zu *S* = 1,25
- $\gamma_I$: Bedeutungsbeiwert nach Tabelle NA.7 aus DIN EN 1998-1/NA: 2018-10 ergibt sich zu
  - $\gamma_I$ = 1,0 für Gebäude der Bedeutungskategorie II und
  - $\gamma_I$ = 1,2 für Gebäude der Bedeutungskategorie III

Darüber hinaus regelt das Nationale Anwendungsdokument (DIN EN 1998-1/NA: 2021-07), dass in Fällen sehr geringer Seismizität die Regelungen der Normenreihe EN 1998 in der Regel nicht berücksichtigt werden müssen. Eine sehr geringe Seismizität darf angenommen werden, wenn die **Bemessungs-Bodenbeschleunigung $a_g$** unter $a_g < 0{,}5$ m/s² liegt.

Somit wäre gemäß DIN EN 1998-1/NA: 2021-07 keine Nachweisführung erforderlich. Ob bei einer Einstufung der Brücke in die Bedeutungskategorie III oder IV ein Erdbebennachweis nach DIN 4149 erforderlich ist, sollte daher mit den prüfenden Instanzen und dem Bauherrn abgestimmt werden.

### 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:

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

Zur Vereinfachung von Ausschreibung, Aufmaß und Abrechnung werden die Homogenbereiche einheitlich für alle erwarteten Bauverfahren festgelegt. Die Homogenbereiche sind in nachfolgenden Tabellen anhand der Bandbreite ihrer Kennwerte definiert sowie tabellarisch und zeichnerisch in den Anlagen 3 dargestellt.

Die Homogenbereiche gelten für das Lösen, Laden, Fördern, Einbauen und Verdichten von Boden, Fels und sonstigen Stoffen, Bohrungen jeder Art und für das Einbringen und Ziehen von Bohlen, Pfählen, Trägern, Rohren, Lanzen und dergleichen durch Rammen, Rütteln oder Pressen. Die in nachstehender Tabelle 6 genannten Homogenbereiche sind im Zusammenhang mit der DIN 18 300, der DIN 18 301 und der DIN 18 304 zu verwenden.

| **Homogenbereiche Boden** | **H1** | **H2** |
|---|---|---|
| geol. Bezeichnung | **Auffüllungen** | **Lösslehm, Talablagerungen, Hanglehm** |
| Bodengruppe (DIN 18 196) | TL,TM,TA,GT,GU,GW,GI | TA,TM,TA,GT,GT*,GU |
| Korngrößenverteilung (DIN 18 123) [%] | T,U: 10–100, S: 0-50, G: 20-100 | T,U: 10–100, S: 0 -20, G: 0-50 |
| Stein- und Blockanteile (DIN EN ISO 14 688-1) | 0% < x < 40%, y < 20% | x < 10%, y < 5% |
| Lagerungsdichte (DIN 18 126) | - | - |
| Kohäsion c' [kN/m²] | 0 - 20 | 2,5 - 40 |
| Plastizitätszahl Ip (DIN 18 122-1) [%] | 0-50 | 5-50 |
| Konsistenzzahl Ic (DIN 18 122-1) [%] | 0, 5 – 1,25 | 0,5 – 1,5 |
| Wassergehalte [%] | 0 - 40 | 5 - 50 |
| undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m²] | 0 - 400 | 50 - 400 |
| Dichte ρ [t/m³] | 16 – 2,2 | 1,7 – 2,1 |
| organische Anteile, Glühverlust [%] (DIN 18 128) | < 5 | < 5 |
| Abrasivität LAK [g/t] (NF P18-579) | 0 - 1500 | 0 - 250 |

| Homogenbereiche Fels | H3 | H4 |
|---|---|---|
| geol. Bezeichnung | **Grundgipsschichten** | **Lettenkeuper** |
| Beschreibung (DIN EN ISO 14 689-1) siehe auch Abschnitt 4 | | |
| Benennung | UTst | Dst,UTst |
| Verwitterung | VS2-VS5 | VS0/1-VS5 |
| Veränderung | zersetzt bis verfärbt | zersetzt bis verfärbt |
| Veränderlichkeit | veränderlich bis stark veränderlich | nicht veränderlich bis stark veränderlich |
| Trennflächenrichtung | Bettungs-/ Lagerungsflächen söhlig | Bettungs-/ Lagerungsflächen söhlig |
| Trennflächenabstand | außerordentlich engständig bis engständig | außerordentlich engständig bis mittelständig |
| Gesteinskörperform | tafelförmig | tafelförmig, rhombisch |
| Einaxiale Druckfestigkeit [N/mm²] (DGGT-Empfehlung Nr. 1) | außerordentlich gering bis mäßig hoch (bis sehr hoch)[1)] | außerordentlich gering bis sehr hoch |
| Dichte ρ [t/m³] | 1,9 – 2,4 | 1,9 - 2,5 |
| Cerchar-Abrasivitäts-Index CAI [-] (NF P94-430-1) | 0 – 1,5 (0,5 – 2,5)[1)] | 0 - 2 |

1) gilt für Zellenkalke in den Grundgipsschichten

Tabelle 6: Homogenbereiche nach DIN 18 300 Erdarbeiten, DIN 18 301 Bohrarbeiten und DIN 18 304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten

Der im Bereich der Grünflächen vorhandene **Oberboden** ist nach ATV DIN 18 320, Landschaftsbauarbeiten, unabhängig von seinem Zustand vor dem Lösen ein eigener Homogenbereich "0".

## 7 Bautechnische Folgerungen

Für den angetroffenen und beschriebenen Baugrund können zur weiteren Planung und Herstellung des Gebäudes Empfehlungen und Hinweise

- zur Gründung Brücke 1 (Abschnitt 7.1),
- zur Gründung Brücke 2 (Abschnitt 7.2),
- zur Baugrubenherstellung (Abschnitte 7.2.2 und 7.2.3) und
- zu Hinterfüllung und Erddruck (Abschnitt 7.3)

gemacht werden.

### 7.1 Gründung Brücke 1 (A10 bis A40)

Aufgrund der oberflächennahen heterogenen Auffüllungen, der Restmächtigkeiten des Löss- und Hanglehms, der vergleichsweise hohen Einwirkungen und der eingeschränkten Platzverhältnisse durch die bestehenden Gleise empfehlen wir zur Vermeidung von großen bzw. ungleichmäßigen Setzungen für die Brücke 1 eine Tiefgründung im Lettenkeuper.

Bei den gegebenen Tiefen bis zum Erreichen des Lettenkeupers und den vorhandenen Randbedingungen eignen sich hier insbesondere verrohrt hergestellte **Bohrpfähle** nach DIN 1536. Sie müssen mit schwerem Gerät hergestellt werden. Daher ist ein temporäres Bohrplanum zweckmäßig.

Die Pfähle binden in den Grundwasserschwankungsbereich ein und sind damit im Rahmen eines Wasserrechtsverfahren genehmigungspflichtig. Auf den **Betonangriffsgrad** bzw. Beton-Festlegung wird in Abschnitt 5 verwiesen.

Da die Pfähle ins Grundwasser einbinden, empfehlen wir die Pfähle im Schutze einer Verrohrung herzustellen. Die Vorgaben der DIN 1536 zur Pfahlherstellung unter Grundwasser sind zu beachten.

Für die Vergabe von Bohrarbeiten sollte DIN-VOB 18 301 berücksichtigt werden.

Aufgrund der Ergebnisse der abfallrechtlichen Untersuchungen (siehe unser Schreiben vom 28.10.2021) empfehlen wir bei der Pfahlherstellung die oberen 2 m Pfahlaushub gesondert zu entsorgen.

Die Bohrpfähle müssen mindestens 2,5 m in die Schichten des Grünen Mergels oder bei Ansatz eines erhöhten Spitzenwiderstandes mindestens 1 m in den Lingula-Dolomit einbinden. Die Pfahlsohlen müssen, z. B. mit einem Bohreimer, sauber geräumt werden, um den vollständigen Kraftschluss verformungsarm sicherzustellen. Unter dieser Voraussetzung ist für das Brückenbauwerk mit Setzungen von 1 cm bis maximal 2 cm zu rechnen.

Die **charakteristischen Werte für Mantelreibung und Spitzendruck** zur Dimensionierung einer Bohrpfahlgründung sind auf der Grundlage der DIN EN 1997-1:2010-12 festzulegen. Nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054 können abweichend von den Bemessungswerten höhere Pfahltragfähigkeiten auf der Grundlage von Pfahlprobebelastungen festgelegt werden. Auf dieser Grundlage empfehlen wir, folgende charakteristische Widerstands-Werte für den Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ und Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ anzusetzen:

| | | |
|---|---|---|
| $q_{s,k}$ = | 50 kN/m² | im Lösslehm oder Hanglehm mit mindestens steifer Konsistenz |
| $q_{s,k}$ = | 120 kN/m² | in den Grundgipsschichten mit mindestens halbfester |

| | | |
|---|---|---|
| | | Konsistenz bzw. einer Verwitterungsstufe VS4 |
| $q_{s,k}$ = | 300 kN/m² | in den Grünen Mergel mit einer Verwitterungsstufe VS3 oder besser |
| $q_{b,k}$ = | 3.500 kN/m² | in den Grünen Mergel der zuletzt genannten Qualität |
| $q_{s,k}$ = | 400 kN/m² | im Lingula- und Anoplophora-Dolomit mit einer Verwitterungsstufe VS1 oder besser |
| $q_{b,k}$ = | 5.000 kN/m² | im Lingula- und Anoplophora-Dolomit der zuletzt genannten Qualität |

In den darüber liegenden Schichten (Auffüllung) darf eine Mantelreibung nicht zum Ansatz gebracht werden, da diese in den Auffüllungen nicht mobilisiert werden können. Die Ersatzfedersteifigkeiten für die Pfähle können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

| Bereich | Pfahllänge [m] | Pfahldurchmesser [m] | Fußeinbindung gemäß Baugrundmodell | charakteristische Einwirkungen bis zu [MN] | Vertikale Ersatzfedersteifigkeit $c_V$ [MN/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| Achse 10 Vorderreihe | 8,0 | 1,2 | Lingula-/Anoplophora-Dolomit | 3,75 | 300 - 750 |
| Achse 10 Hinter- und Mittelreihen | 6,0 | 1,2 | Grüne Mergel | 3,25 | 150 - 400 |
| Achse 20 | 7,0 | 1,2 | Grüne Mergel | 2,75 | 150 - 400 |
| Achse 30 | 5,0 | 1,2 | Grüne Mergel | 2,75 | 150 - 400 |
| Achse 40 Vorderreihe | 8,0 | 1,2 | Lingula-/Anoplophora-Dolomit | 5 | 300 - 750 |
| Achse 40 Mittelreihe | 7,5 | 1,2 | Lingula-/Anoplophora-Dolomit | 3 | 300 - 750 |
| Achse 40 Hinterreihe | 4,5 | 1,2 | Grüne Mergel | 1,5 | 150 - 400 |

Tabelle 7: gerundete charakteristische Einwirkungen auf die Pfahlgründung in den jeweiligen Achsen

Zum zulässigen Abstand von Einzelpfählen bzw. zur Reduzierung der Pfahllasten bei **engen Abständen** der Bohrpfähle empfehlen wir folgende Regelung: Bis zu Abständen der Pfahlachsen von 3 · D (D = Pfahldurchmesser) müssen keine Abminderungen vorgenommen werden.

Bei einer tangierenden Pfahlwand (Abstand 1 · D) verringert sich die Fläche, in der Mantelreibung übertragen werden kann, auf 64 % (=100·2/π) des Pfahlumfangs. Beim Spitzendruck ist zu berücksichtigen, dass mit abnehmendem Pfahlabstand der beim Einzelpfahl vorliegende dreidimensionale Spannungszustand in ein ebenes Problem übergeht. Die EA-Pfähle

beinhaltet Nomogramme zur Bewertung von Pfahlgruppen, zu deren Anwendung jedoch detaillierte Kenntnisse der Pfahleinbindung und des Verformungszustands erforderlich sind.

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 wiederholten engen Pfahlabständen. Falls nur zwei Pfähle zueinander geringe Abstände aufweisen, sind die Reduktionen geringer. Die Mantelfläche für zwei tangierende Pfähle reduziert sich auf das Verhältnis $(2 + \pi)/(2 \cdot \pi) = 0{,}82$, für die Abminderung des Spitzendrucks empfehlen wir in Anlehnung an die frühere DIN 4014 einen Faktor von 0,9. Auf dieser Grundlage geben wir für einzelne benachbarte Pfähle in engem Abstand folgende Abminderungsfaktoren bezogen auf den Widerstand eines Einzelpfahles an:

| Achsabstand von 2 Einzelpfählen | 1·D | 1,5·D | 2·D | 2,5·D | ≥ 3·D |
|---|---|---|---|---|---|
| Abminderungsfaktor | 0,85 | 0,89 | 0,93 | 0,96 | 1,0 |

Bei benachbarten Pfählen, bei denen sowohl hinsichtlich einer Reihung von Pfählen als auch zwischen unmittelbar benachbarten Pfählen unterschiedlich enge Abstände geplant sind, gilt der kleinere der genannten Abminderungsfaktoren. Bei Außenpfählen von Pfahlreihen kann das Einzelpfahlkriterium zur Anwendung kommen.

Hinsichtlich der **Tiefenabstufung** benachbarter Pfähle empfiehlt DIN 1054, eine möglichst gleichmäßige Gründungstiefe anzustreben. Wir empfehlen, Tiefenstaffelungen nicht steiler als unter einer 45°-Linie, bezogen auf die Pfahlachsen, auszuführen, da bei steileren Staffelungen weitere Abminderungen der Tragfähigkeiten erwartet werden müssen.

Über die Aktivierung des Erdwiderstands können **horizontale Lasten** abgetragen werden. Die Berechnung kann mit Hilfe des Bettungsmodulverfahrens erfolgen. In allen Schichten kann bei Pfahlabständen von a > 3D ein Bettungsmodul $k_s = E_s/D$ (Steifemodul dividiert durch den Pfahldurchmesser D) angesetzt werden. An keiner Stelle darf die Erdwiderstandsspannung $\sigma_h = K_{ph} \cdot \gamma \cdot z$ überschritten werden. Insgesamt sollte der Erdwiderstand nur zu 50 % genutzt werden, um die Verschiebungen zu begrenzen. Bei der Erdwiderstandsberechnung kann eine Ersatzbreite von 3·D angesetzt werden, um die Mitwirkung des Bodens seitlich

vom Pfahl zu erfassen. Die bodenmechanischen Rechenwerte für die Steifemoduln $E_s$ und die Scherfestigkeiten zur Ermittlung des Erdwiderstandsbeiwertes $K_{ph}$ sind in Abschnitt 6.3 vorgegeben.

### 7.2 Gründung Brücke 2 (A50 bis A60)

Für die Gründung der Widerlager der Brücke 2 (Achse 50 und 60) können analog zu den Empfehlungen und Hinweise aus Abschnitt 7.1 **Bohrpfähle** verwendet werden. Die Mindestlänge der Pfähle sollten in diesem Fall 4 m nicht unterschreiten.
Alternativ hierzu ist aufgrund der hier oberflächennah anstehenden Grünen Mergel des Lettenkeupers auch eine **Flachgründung** möglich.
Da es sich bei dieser Brücke um ein integrales Brückenbauwerk handelt, sind im Zuge der weiteren Planung nähere Setzungsberechnungen gemäß RE-ING Teil 2 erforderlich.

Gemäß der aktuellen Planung soll eine Flachgründung zur Ausführung kommen. Die Gründungssohle in Achse 50 liegt bei 301,35 mNN und somit in den Grundgipsschichten und in Achse 60 bei 300,60 mNN und demnach gerade im Übergang zu den Grünen Mergeln. Aufgrund der unterschiedlichen Last-Setzungsverhalten dieser Schichten, empfehlen wir eine einheitliche Gründung in den Grünen Mergeln des Lettenkeupers. Hierzu werden im Bereich der Achse 50 Tieferführungen von knapp 1 m und in Achse 60 eventuell wenigen Dezimetern erforderlich. Die Tieferführungen sollten mit unbewehrtem Beton erfolgen.

Die erforderlichen Fundamentabmessungen bei einer Flachgründung in den Grünen Mergeln können nach DIN EN 1997-1/NA:2010-12 entweder aus Tabellenwerten ermittelt oder – was zu wirtschaftlicheren Ergebnissen führt – mit Hilfe von Grundbruch- und Setzungsberechnungen für gegebene Einwirkungen berechnet werden. Dazu sind die bodenmechanischen charakteristischen Kennwerte aus Tabelle 5 zugrunde zu legen.

Wir haben derartige Berechnungen exemplarisch durchgeführt, wobei wir den in Abschnitt 4 beschriebenen Baugrundaufbau sowie den in Abschnitt 5 beschriebenen Grundwasserstand mit seinem Einfluss auf die Grundbruchsicherheit angenommen haben. Gegenseitige Beeinflussungen von benachbarten Fundamenten auf die Setzungen ebenso wie Verkantungen haben wir in erster Näherung außer Acht gelassen.
Wir weisen darauf hin, dass bei einer ausmittiger Belastung der Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung $\sigma_{E,d}$ unter Berücksichtigung der reduzierten Sohlfläche A‘ mit: $A' = (a_x - 2e_x) \times (b_y - 2e_y)$ und einer rechteckigen Verteilung im Grenzzustand GEO-2 zu bestimmen ist. Die so ermittelten Sohldruckspannungen können bei der Dimensionierung dem oben genannten Bemessungswert des Sohlwiderstandes gegenübergestellt werden, wobei

das Verhältnis der horizontalen zu vertikalen Einwirkungen H/V = 0,15 nicht übersteigen darf.

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) haben wir angenommen, dass eine Setzung der Fundamente von 2 cm für das Bauwerk verträglich ist. Der Bemessungswert des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ wurde daher so abgemindert, dass bei dem zugehörigen charakteristischen Sohldruckspannung $\sigma_0$ die Setzung auf 2 cm beschränkt wurde. Darüber hinaus liegt der Berechnung zugrunde, dass 80 % der charakteristischen Einwirkungen (ständige und veränderliche) setzungswirksam sind.

Die Berechnungsergebnisse für den Grenzzustand der Tragfähigkeit GEO-2 (ULS) und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) sind mit dem Bemessungswert des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ in Tabelle 8 zusammengefasst. Zur Ermittlung der Fundamentabmessungen wurde als Gründungssohle die Grünen Mergel mit einer mindestens halbfesten Konsistenz bzw. einer Verwitterungsstufe von mindestens VS3 berücksichtigt: Rechnerisch wurde eine Einbindetiefe der Fundamente von 1,0 m ab OK Gelände angenommen.

| Fundamentabmessung A'=a' x b' (reduzierte Fläche) | | charakterist. Grundbruch-widerstand | Bemessungs-wert des Sohldruck-widerstands | Ausnutzungs grad (ULS) | charakteristische Sohldruckspannung$_v$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| a' [m] | b' [m] | $R_{n,k}$ [kN] | $\sigma_{R,d}$ [kN/m²] | μ | s [mm] | $\sigma_0$ [kN/m²] |
| 12,0 | 4,0 | 55.047 | 770 | 0,94 | 20 | 550 |
| 12,0 | 5,0 | 76.048 | 679 | 0,75 | 20 | 485 |
| 12,0 | 6,0 | 103.488 | 616 | 0,60 | 20 | 440 |

Tabelle 8: charakteristischer Grundbruchwiderstand, Bemessungswert des Sohldruckwiderstands, Ausnutzungsgrad (ULS) und rechnerische Setzung mit zugehöriger charakteristischer Sohldruckspannung für Fundamente in den Grünen Mergel mit einer zwischengeschalteten Tragschicht

Sofern größere Setzungen bauwerksverträglich sind, können die o. g. Bemessungswerte des Sohldruckwiderstands $\sigma_{R,d}$ ab einer reduzierten Breite b' ≥ 5 m um 25 % erhöht werden. Die zugehörigen rechnerischen Setzungen liegen dann bei rund 3 cm.

Treten in den Fundamenten höhere Horizontallasten als die in unseren Berechnungen angenommenen auf, werden zusätzlichen Berechnungen zum Nachweis der Sicherheit gegen Grundbruch erforderlich.

Für die bei integralen Brückenbauwerken erforderlichen Grenzwertbetrachtungen für Fundamentverformungen nach RE-ING Teil 2 empfehlen wir wegen der Größe der geplanten

Fundamente das Bettungsmodulverfahren anzuwenden, da damit auch Fundamentverdrehungen mitberücksichtigt werden können.

In unserem Schreiben vom 02.09.20 wurden von uns Setzungsberechnungen für die gegebene Belastung der Fundamente durchgeführt. Die folgenden Aussagen ergeben sich aus einer Bewertung der Ergebnisse. Der nachfolgend angegebenen Bettungsmodul für den Plattenrand $k_{s,k,Rand}$darf zur Berücksichtigung eines räumlicher Lastabtrags umlaufend auf einer Breite von 1 m angenommen werden.

| Bereich | Bodenplattendicke [m] | Gründungssohle | Vertikale charakt. Einwirkung [kN/m²] | Horizontale charakt. Einwirkung [kN/m²] | Bettungsmodul vertikal $k_{s,v,flächig}$ [MN/m³] | Bettungsmodul vertikal $k_{s,v,Rand}$ [MN/m³] | Bettungsmodul horizontal $k_{s,h}$ [MN/m³] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Achse 50 | 2,0 | Grüne Mergel | 300 - 550 | 15 - 100 | 10 - 30 | 30 - 40 | 5 - 10 |
| Achse 60 | 1,5 | Grüne Mergel | 300 - 505 | 15 - 80 | 10 - 25 | 30 - 50 | 5 - 10 |

Die höheren Bettungsmodule in der Fläche sind in Verbindung mit den höheren Bettungsmodule am Rand zu verwenden. Dasselbe gilt für die unteren Bettungsmodule.

Tabelle 9: Bandbreiten für vertikales und horizontales Bettungsmodul

Entsprechend unseren Berechnungen ist für die uns übergebenen Einwirkungen mit rechnerischen Setzungen in einer Bandbreite von etwa 1 cm bis zu 3,0 cm zu rechnen. Ein Großteil der Setzung tritt bereits kurz nach Aufbringen der Last ein. Langanhaltende Setzungen sind nur in geringem Umfang zu erwarten. Die Setzungsdifferenz innerhalb der Widerlagergründung haben wir in der Größenordnung von 1,0 cm und 1,5 cm ermittelt. Die Setzungsdifferenzen zwischen den Achsen 50 und 60 können zu 0,5 cm bis 1,0 cm angenommen werden.

### 7.2.1 Aushub und Wiederverwendbarkeit von Böden

Beim Aushub der Baugrube werden hauptsächlich Auffüllungen, Lösslehm und Grundgipsschichten anfallen. Die Schluffton- sowie die Dolomitsteine der Grünen Mergel sind aller Voraussicht nach nur im Rahmen der Bohrpfahlarbeiten zu erwarten.

Die Bodenklassen der zu lösenden Böden sind in Tabelle 5 des Abschnittes 6.3 genannt. Falls der Ausschreibung Homogenbereiche gemäß DIN 18 300:2019-10 zugrunde gelegt werden sollen, gilt Tabelle 6.

Gemäß Baugesetzbuch ist Oberboden besonders zu schützen und einer Wiederverwendung zuzuführen.

Die Ergebnisse der orientierenden abfallrechtlichen Untersuchung können unserem Schreiben vom 28.10.2021 entnommen werden.
Das zum Teil anfallende Tragschichtmaterial kann vorbehaltlich einer Eignungsprüfung und der abfallrechtlichen Einstufung, eventuell für die erforderliche Tragschichtverstärkung bzw. Verfüllung von Arbeitsräumen wiederverwendet werden. Es sollte daher von bindigem Aushubmaterial getrennt und zwischengelagert werden.
Bindige Böden sowie die Schlufftonsteine der Grundgipsschichten sollten nur bei einem für die Verdichtung günstigen Wassergehalt zum Wiedereinbau kommen. Bei einer Wiederverwendung der bindigen Böden oder der Schlufftonsteine sind diese beim Zwischenlagern vor Witterungseinflüssen derart zu schützen, dass die Einbaufähigkeit erhalten bleibt. Dazu ist das Aushubmaterial geordnet zu deponieren, also mit Gefälle einzubauen und zu verdichten, außerdem abzudecken oder glatt abzuwalzen. Abfließendes Wasser soll zu einer Vorflut geführt werden.

Wir weisen auf die Frostgefährdung der anstehenden Böden hin, die bei Bauarbeiten im Winter Schutzmaßnahmen für Baugruben- bzw. Fundamentsohle und Böschungen erforderlich machen können.

### 7.2.2 Baugrubenböschungen

Ohne rechnerische Nachweise der Standsicherheit dürfen außerhalb des Einflussbereichs von Nachbargebäuden bei mindestens steifen bindigen Böden nach DIN 4124 bis zu 5 m tiefe Baugruben und Gräben mit Böschungsneigungen von bis zu 60° hergestellt werden. Die Mindestabstände von Einwirkungen zu den Böschungsoberkanten gemäß DIN 4124 sind zu beachten

Bei tieferen Geländesprüngen oder zusätzlichen Belastungen ist die Standsicherheit für die Bemessungssituation BS-T mit dem Nachweiseverfahren 3 ("GEO-3") nach DIN 1054:2010-12 nachzuweisen.

Ferner ist sicherzustellen, dass kein Oberflächenwasser über die Randböschungen fließt. Hierzu ist es zweckmäßig, sofern ein Gefälle zur Baugrube besteht, kleine Erdwälle auf den Böschungskronen anzulegen und für eine gezielte Ableitung von oberflächig zusammenfließendem Wasser zu sorgen.

### 7.2.3 Baugrubenverbau

Wegen der Gleisanlagen und den im Bereich der Widerlager vorhandenen Verkehrswege ist davon auszugehen, dass nur kleinere Geländesprünge durch freie Böschungen gesichert

werden können. Tiefere Baugruben, ins besondere an den Widerlagern sind daher durch einen Verbau zu sichern.

Für einen statisch wirksamen Verbau eignet sich hier ein **Trägerverbau**, ggfs. mit Verpressankern.

Der Verbau kann eingespannt oder rückverankert hergestellt werden. Sofern eine Nutzung der Nachbargrundstücke und des Straßenraums erlaubt ist, empfehlen wir aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Verformungsbegrenzung, den Verbau mit vorgespannten Verpressankern rückzuverankern.
Entwurf und Berechnung sollten gemäß der EAB (Empfehlung des Arbeitskreises Baugruben der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik) erfolgen. Dabei sind außer der Standsicherheit stets auch die erwarteten Verformungen des Verbaus nachzuweisen. Bei der Dimensionierung von Verbauten im Bereich der Gleisanlagen sind die einschlägigen Richtlinien der Deutschen Bahn zu berücksichtigen.
Außerdem weisen wir darauf hin, dass hinsichtlich der Anker der Baugrund außerhalb des eigentlichen Baugrundstücks nicht erkundet wurde (bzw. nicht erkundet werden konnte). Für die Aussagen zu den Ankern wurde der Baugrundaufbau aufgrund der Erkundungspunkte nach außen extrapoliert, womit ein Risiko für die Beurteilung besteht, auf das wir ausdrücklich hinweisen.

Im Einflussbereich von Bauwerken, Gleisanlagen und setzungsempfindlichen Leitungen empfehlen wir, einen erhöhten aktiven Erddruck $E_h = 0{,}5 \cdot E_{ah} + 0{,}5 \cdot E_0$ anzusetzen. Gleichzeitig sollte eine Ausfachung mit Spritzbeton gewählt werden, da sie mit kleineren Verformungen als eine Holzausfachung wirksam wird.

Die Verbauträger müssen aufgrund des vertikalen Erddruckanteils und schrägen Ankerzugs **Vertikalkräfte** abtragen. Für Betonplomben am Trägerfuß, die das Bohrloch vollständig ausfüllen und mindestens 0,5 m hoch sind, können bei einer Einbindetiefe von mindestens 2,5 m unter die Baugrubensohle folgende Widerstandswerte zum Ansatz gebracht werden:

| | | |
|---|---|---|
| $q_{b,k}$ = | 1.000 kN/m² | im Hanglehm mit mindestens steifer Konsistenz |
| $q_{s,k}$ = | 1.600 kN/m² | in den Grundgipsschichten mit mindestens halbfester Konsistenz bzw. einer Verwitterungsstufe VS4 |
| $q_{b,k}$ = | 2.500 kN/m² | im Lettenkeuper. Bei Einbindetiefe der Trägerfüße von > 3 m dürfen die in Abschnitt 7.1 gemachten Angaben verwendet werden. |

Unterhalb der statisch erforderlichen Einbindetiefe darf zusätzlich eine charakteristische Mantelreibung entsprechend den Angaben in Abschnitt 8.1 angenommen werden.

Für die Einbindung des Verbaus in das Grundwasser bzw. in den Grundwasserleiter ist ebenfalls ein Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis einzureichen.

Sofern die statische Berechnung und die Baugrubenplanung ergeben, dass der Verbau (ggf. bereichsweise) rückverankert werden muss, weisen wir darauf hin, dass die **Verpressanker** gemäß DIN EN 1997-1 und DIN 1054 zu dimensionieren und nach DIN EN 1537 bzw. DIN SPEC 18 537 herzustellen und zu prüfen sind. Für die Anker sind Eignungsprüfungen an mindestens 3 Ankern durchzuführen. Die Prüflast beträgt $P_P = 1{,}1\ E_d$. Auf diese kann verzichtet werden, wenn entsprechende Prüfergebnisse für unter gleichartigen Ausführungsbedingungen hergestellten Anker in gleichartigen Böden vorliegen.
Ebenso müssen für alle Anker Abnahmeprüfungen mit $P_P = 1{,}1\ E_d$ durchgeführt werden. Bei der Bemessung der Anker sind u.a. die für die Prüfungen festgelegten Grenzen zu den Stahlspannungen gemäß DIN EN 1997-1 zu beachten.
Je nach Höhenlage der Ankerlagen werden die Verpresskörper im Lösslehm bzw. Hanglehm oder in den Schlufftonsteinen der Grundgipsschichten bzw. im Lettenkeuper liegen.
Über Ankerkräfte (Ankerwiderstände) machen wir keine vertragsrelevanten Angaben, da sie im Wesentlichen von Bohrverfahren, Bohrdurchmesser, Länge des Verpresskörpers, Verpressdruck und der Anzahl der Nachverpressungen abhängen. Wir gehen aus Erfahrungen in der Umgebung davon aus, dass mit Verpresslängen von 5 m in dem mindestens steifen Lösslehm bzw. Hanglehm charakteristische Herausziehwiderstände von $R_{a,k}$ bis 350 kN und in den verwitterten Schlufftonsteinen von $R_{a,k}$ bis 500 kN bis 750 kN erreichbar sind, wobei wir mindestens eine Nachverpressung voraussetzen.

Im klüftigen Festgestein des Lettenkeupers kann ein hoher Verbrauch an Zementsuspension bei der Ankerherstellung auftreten. Wir empfehlen daher, in Abhängigkeit von der Ankerlänge und dem Bohrdurchmesser, eine planmäßige Füll- und Verpressmenge (in kg Zement je Anker als Mittelwert über alle Anker) in der Ausschreibung festzulegen und darüberhinausgehende Mehrmengen gesondert und zur Abrechnung auf Nachweis auszuschreiben. Nachverpressdrücke sollten auf 50 bis 60 bar begrenzt werden. Eventuell werden sogar Sonderverfahren der Ankerherstellung, z. B. Bohrlochvergütungen, erforderlich.

Ein von Bechert und Partner alternativ vorgeschlagener Verbau in Form einer Spundwand ist nur auf den oberen rund 5 m Metern im Lösslehm oder Hanglehm realisierbar. Gegebenenfalls sind hierfür Einbringhilfen wie z. B. Vorbohren erforderlich. Tiefere Einbindungen und auch ein Einbinden in die Grundgipsschichten oder in die Schichten des Lettekeupers sind ohne Einbringhilfen weitestgehend nicht möglich.

Als Alternative zum Trägerbohlverbau schlagen wir unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Lärmemissionen und die Platzverhältnisse eine **Vernagelung** vor.

Eine **Bodenvernagelung** (Spritzbetonschale mit gebohrten und vermörtelten Bodennägeln) im Lösslehm, Hanglehm, Grundgipsschichten und im Grünen Mergel kann temporär für die Bauzeit oder als dauerhafte Sicherung ausgebildet werden.
Hierbei müssen Bodenabtrag und Sicherung abschnittsweise erfolgen. Die Erd- und Sicherungsarbeiten müssen folglich aufeinander abgestimmt sein.

Diese Sicherungsvariante bietet die folgenden Vorteile:
- Es handelt sich um eine vergleichsweise flexible Verbaukonstruktion. Anpassungen an die geplante Baugrubengeometrie sowie lokale Erweiterungen der Baugrube sind möglich. Die Art der Sicherung kann an die Felsoberfläche angepasst werden.
- Die Bodenvernagelung kann bei dauerhafter Ausbildung auch der Sicherung des Geländes im Endzustand dienen. Die Spritzbetonschale kann hierfür verblendet werden, z. B. durch eine vorgesetzte Natursteinmauer.
- Im Vergleich zum Trägerbohlverbau ist zur Herstellung einer Bodenvernagelung ein kleineres Gerät erforderlich, welches merklich zu geringeren Lärmemissionen und Platzbedarf, was bei Arbeiten im Gleisbereich von Vorteil sein kann, führt.

Bei der Bodenvernagelung kann unter Umständen eine Mitnutzung von Nachbargrundstücken oder Straßen erforderlich werden. Hier sollte rechtzeitig die Zustimmung der betroffenen Grundstückseigentümer eingeholt werden, andernfalls werden komplizierte Absprießungen innerhalb der Baugrube erforderlich.

Mit einer Bodenvernagelung sind nahezu senkrechte Böschungen möglich, wobei wir im Bereich der Auffüllungen maximale Neigungen von 70° empfehlen.
Die Dimensionierung der Bodenvernagelung hinsichtlich Schalenstärke, Abstand und Länge der Nägel muss im Zuge einer statischen Berechnung vorgenommen werden. Standsicherheitsuntersuchungen zur Bestimmung der erforderlichen Nagellängen sollten mit ebenen Gleitfugen und ggfs. zusammengesetzten Gleitkörpern durchgeführt werden. Im Hinblick auf eine Kostenschätzung nennen wir nachfolgend erste Anhaltswerte für diese Größen: Es ist von einer Dicke der bewehrten Spritzbetonschale von rund 20 cm und einem Rasterabstand der Nägel von etwa 1 m bis 1,5 m auszugehen. Die Nagellängen werden voraussichtlich zwischen ca. 50 % und 70 % der jeweiligen (Teil-)Böschungshöhen betragen.

In Anlehnung an die Zulassungen verschiedener Hersteller von Bodenvernagelungen sind für die als Schwergewichtsmauern wirkenden Erdkörper u.a. folgende Nachweise zu führen:
- Gesamtstandsicherheit nach DIN EN 1997-1,
- Grundbruchsicherheit nach DIN EN 1997-1 und DIN 4017,
- Gleitsicherheit nach DIN EN 1997-1.

Im Weiteren gelten die Vorschriften des zum Bodenvernagelungssystem gehörigen Zulassungsbescheids. Das Bodenvernagelungssystem bei einer dauerhaften Sicherung bedarf einer entsprechenden Zulassung.

Für die Dimensionierung der Nägel können nach unseren Erfahrungen bei einer Nachverpressung die folgenden charakteristischen Verbundspannungen $\tau_{m,k}$ bzw. Verbundkräfte $R_{t,k}$ angesetzt werden. Ohne Nachverpressung gilt nur die Hälfte der angegebenen Werte.

- Auffüllung: $q_{s,k}$= 50 kN/m²;
  $R_{t,k}$ = 15 kN/m (bei ø 100 mm)
- Lösslehm und Hanglehm: $q_{s,k}$= 80 kN/m²;
  $R_{t,k}$ = 25 kN/m (bei ø 100 mm)
- Grundgipsschichten und Grünen Mergel: $q_{s,k}$ = 200 kN/m²;
  $R_{t,k}$ = 60 kN/m (bei ø 100 mm)

Das Erfordernis der Durchführung von Probebelastungen und die Anzahl der erforderlichen Probenägel richten sich nach den in den allgemein bauaufsichtlichen Zulassungen des verwendeten Nageltyps enthaltenen Forderungen. Üblicherweise sind an mindestens 3 % der Nägel bzw. an drei Nägeln je Bodenart Probebelastungen durchzuführen. Die Prüflast $P_p$ ist bei der Wahl des Stahlquerschnitts zu berücksichtigen.
Die Prüfnägel sind so vorzubereiten, dass sie am Nagelkopf auf einer Länge von ≥ 0,5 m keine Verbindung zur Spritzbetonschale haben, um einen Kraftkurzschluss zwischen dem verpressten Nagel und der Spritzbetonschale sicher auszuschließen.

Um einen Sickerwasseranstau zu vermeiden, müssen im Bereich der Deckschichten aus Auffüllungen und ggf. oberflächennah verwittertem Fels in die Spritzbetonschale Dränöffnungen, z. B. ø 80 mm bis 100 mm alle 4 m² bis 5 m², gebohrt werden. Das genaue Rastermaß ist auf der Baustelle an die örtlichen Gegebenheiten anzupassen. Eine Bemessung der Spritzbetonschale auf Wasserdruck ist damit nicht erforderlich.

Im Vorfeld der Bohrarbeiten müssen die Lage von evtl. Versorgungsleitungen und der ausreichende Abstand angrenzender Gebäude geklärt sein.

Wir weisen darauf hin, dass der Verbrauch an Spritzbeton durch geologisch bedingten Mehrausbruch ansteigen kann. Auch beim Verfüllen und Verpressen der Nägel ist ein Mehrverbrauch an Zementsuspension gegenüber dem Bohrlochvolumen möglich. Wir empfehlen deshalb, ein Grundvolumen pro lfdm Nagel vom AN abzufragen, z. B. 60 kg Zement/lfdm, und Mehrmengen zu vergüten. Insbesondere in der Nähe bestehender Fundamente sowie in den heterogenen Auffüllungen sollten die Nachverpressdrücke und -mengen begrenzt werden. Eventuell werden sogar Sonderverfahren der Nagelherstellung, z. B. Bohrlochvergütungen, erforderlich.

Die freigelegten Böschungen sollten so schnell wie möglich wieder zugespritzt werden, am besten noch am gleichen Tag: je kürzer die Standzeit und Abschnitte, je geringer die Entspannungen und Störungen im Gebirge und damit umso kleiner die Verformungen. In diesem Zusammenhang kann auch ein abschnittsweises Vorgehen in horizontaler Richtung vorteilhaft sein.

Des Weiteren weisen wir darauf hin, dass bei der Bemessung des Verbaus ggf. spätere Kranlasten zu berücksichtigen sind.

### 7.3 Hinterfüllung und Erddruck

Die Hinterfüllung der Widerlager, die Geländeauffüllung im Bereich zwischen Achse 40 und 50 sowie die Anschüttung der Fundamente sollte mit gut abgestuftem, grob- oder gemischtkörnigem Material erfolgen, bei dem der Feinkornanteil d ≤ 0,063 mm auf maximal 10 % begrenzt ist (Bodengruppen GW, GI, SW, SI, GT, GU gemäß DIN 18 196). Zur Vermeidung von Sackungen ist die Hinterfüllung lagenweise einzubauen und auf einen Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100$ % der einfachen Proctordichte zu verdichten. Der Verdichtungserfolg sollte durch Eigenüberwachungs- und Kontrollversuche überprüft werden. In Anlehnung an ZTV E-StB 17 und dem Merkblatt "Einfluss der Hinterfüllung auf Bauwerke" sollte der Hinterfüllbereich nicht steiler als 1:1 mit den oben genannten Materialanforderungen an das Erdbauwerk bzw. den anstehenden Untergrund angeschlossen werden.

Wir empfehlen, bei der Dimensionierung der Widerlager aufgrund des steifen Bauwerks den Erdruhedruck anzusetzen. Im oberflächennahen Bereich ist darüber hinaus ein Mindesterddruck von 25 kN/m$^2$ zur Berücksichtigung der Belastung aus Verdichtung anzusetzen, sofern sich nicht aus Erddruck infolge Eigengewicht und Verkehrslasten eine höhere Belastung ergibt.

Für das Hinterfüllmaterial kann bei Beachtung unserer o. g. Empfehlungen ein Reibungswinkel von $\varphi' = 35°$, einer Kohäsion von $c' = 0$ kN/m$^2$ und eine Wichte von $\gamma = 20$ kN/m$^3$ angesetzt werden.

Für die Nachweise der "äußeren Standsicherheit", also die Lage- und Gleitsicherheit, ist eine Beschränkung der Bewegung in Erddruckrichtung nicht zu beachten, so dass hier der aktive Erddruck angesetzt werden kann.

Die geplante Dammschüttung zwischen den beiden Widerlager A40 und A50 weist eine Höhe von knapp 10 m auf. Vor Beginn des Geländeauftrags sind Auffüllungen und weiche Böden

auszukoffern und durch qualifiziertes Material zu ersetzen. Wir empfehlen die Dammschüttung mit einer Regelböschungsneigung von 1:1,5 auszuführen.
Bei Einhaltung der Verdichtungsanforderungen sind erfahrungsgemäß mit Eigensetzungen der verdichteten Schüttungen in der Größenordnung etwa 0,2 % bis 0,5 % der Schütthöhe verbunden. Bei einer maximalen Schütthöhe von etwa 10 m also rund 2 cm bis 5 cm. Ein Teil dieser Setzungen wird bereits während der Bauphase eintreten.

Infolge der Erdauflast bei zunehmend ansteigender Einbauhöhe ist mit weiteren Setzungen infolge der Zusammendrückung des Untergrunds zu rechnen. Für die Schütthöhe von knapp 10 m ergeben sich rechnerische Setzungen bis zu 4 cm. Ein Großteil dieser Setzungen ist nach 6 Monaten abgeklungen. Wir empfehlen daher die Erdarbeiten frühzeitig auszuführen, um mögliche Setzungen nach Einbau des Oberbaus gering zu halten.

Zum **Trockenhalten der Widerlagerwände** empfehlen wir die Ausführung einer Entwässerung gemäß Richtzeichnung Was 7 der Bundesanstalt für Straßenwesen (bast). Das Entwässerungssystem soll ausschließlich zum Fassen von Sickerwasser im Boden genutzt werden. Oberflächenwasser muss in einem eigenen System abgeführt werden.

Für den über der Widerlagerhinterfüllung geplante Aufbau von Verkehrsflächen orientiert sich an den "Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen", Ausgabe 2012 (RStO 12).
Auf der Hinterfüllung der Widerlager kann bei Beachtung unserer o. g. Empfehlungen von einem Verformungsmodul von $E_{v2} \cong 80$ MN/m$^2$ ausgegangen und als Basiswert für die Dimensionierung der Frostschutz- und Tragschicht herangezogen werden.

## 8 Mitwirkung bei der Bauplanung und Ausführung

Das **geologische Modell des Baugrunds**, das Grundlage unserer bautechnischen Empfehlungen ist, resultiert aus punktuellen Aufschlüssen. Außerdem konnten die anstehenden Gesteine des Lettenkeupers mit den aus Zugänglichkeitsgründen genutzten Erkundungsverfahren nicht ausreichend tief erkundet werden. Im Zuge der Baustelleneinrichtung und damit einer verbesserten Zugänglichkeit des Gleisfeldes sind daher die Erkundungsergebnisse besonders im Bereich der geplanten Tiefgründungen zur Tiefe hin durch Kernbohrungen zu überprüfen und zu bestätigen.

Das Baugrundmodell kann den Baugrund daher nicht exakt beschreiben, und Abweichungen zwischen den Erkundungspunkten sind möglich. Über die dringend erforderliche zusätzliche

Baugrunderkundung ist eine **Baugrundüberprüfung** während der Erd- und Spezialtiefbauarbeiten ist zu empfehlen.

Die Angaben zur **Gründung** beruhen außer dem Baugrundmodell auch auf den uns vorliegenden Bauwerksunterlagen und Lastangaben. **Planerische oder konstruktive Änderungen** gegenüber den in Abschnitt 2 beschriebenen Abmessungen, Lasten und Einflüssen, die auf das Gründungskonzept Einfluss haben könnten, sind uns daher mitzuteilen.

Wir weisen darauf hin, dass durch die geplante Maßnahme ein wasserrechtlich relevanter Eingriff in Form von dauerhaftem Einbringen von Stoffen in den Grundwasserleiter vorliegt, der im Rahmen eines wasserrechtlichen Verfahrens mit der Unteren Wasserbehörde beantragt werden muss.

**Anlagen** Anlage

**Lagepläne der geplanten Brücke**

- Übersichtslageplan (M 1:25 000) 1.1
- Lageplan (M 1:750) der Erkundungspunkte und Verlauf des geologischen Schnittes (Anlage 3) 1.2

**Gelände-Erkundung (M 1:100)**

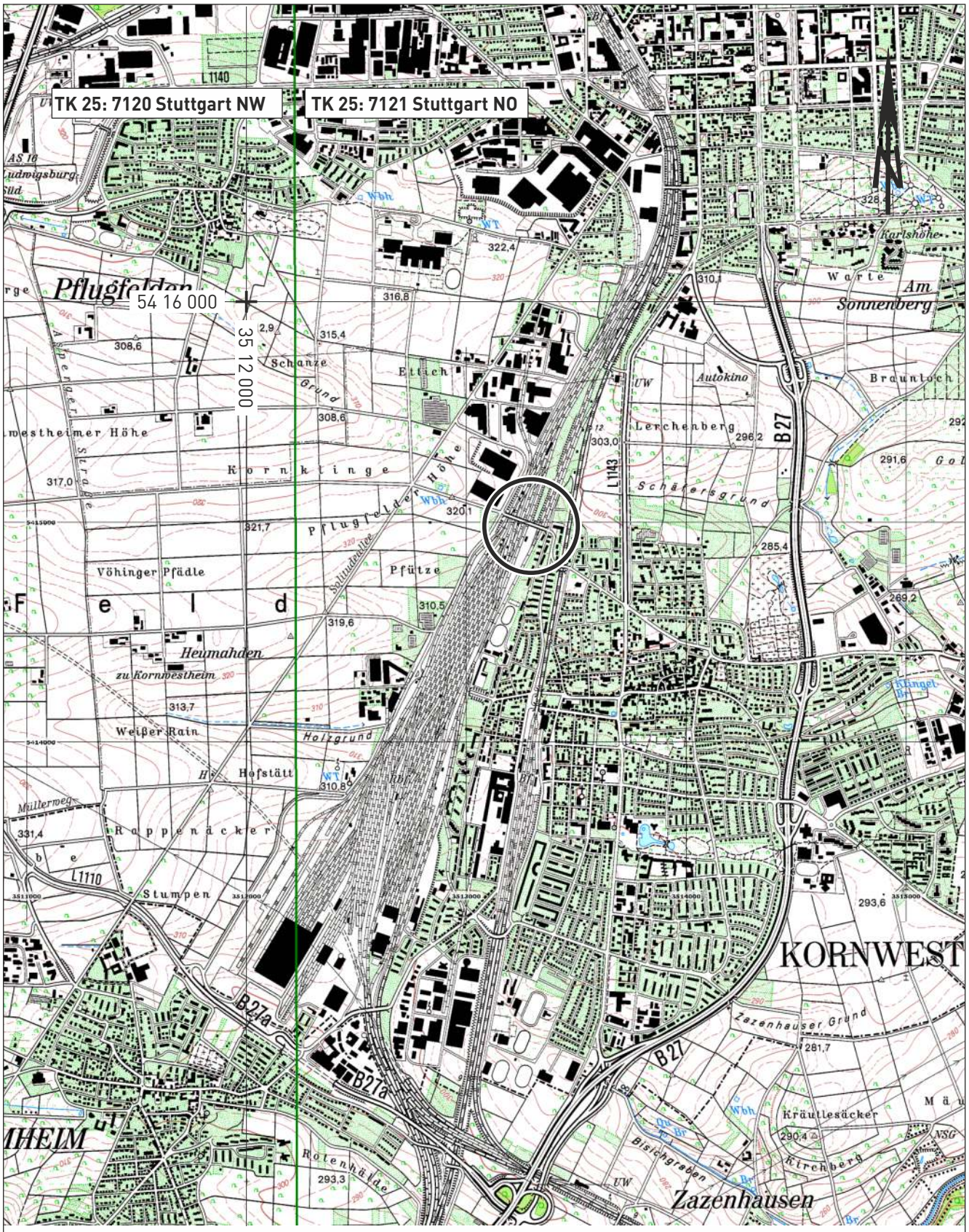
- Kurzzeichen und Abkürzungen 2.0
- Schichtenfolgen der Kernbohrungen
  - BK 3 2.1.1
  - BK 4 2.1.2
  - BK 5 2.1.3
  - BK 4 2.1.4
- Schichtenfolgen der Kernbohrungen von 2019
  - BK 1 2.2.1
  - BK 2 2.2.2
- Schichtenfolgen der Kleinbohrungen von 2020
  - BS 1 und BS 2 2.3.1
  - BS 3 und BS 4 2.3.2
  - BS 5 und BS 6 2.3.3

**Geologischer W-O Geländeschnitt (M 1:500/200)** parallel zur Längsachse des Brückenneubaus 3

**Grundwasserbeschaffenheit** nach DIN 4030, Grundmessprogramm G und Zusatzprogramm Z (4 Blatt) 4

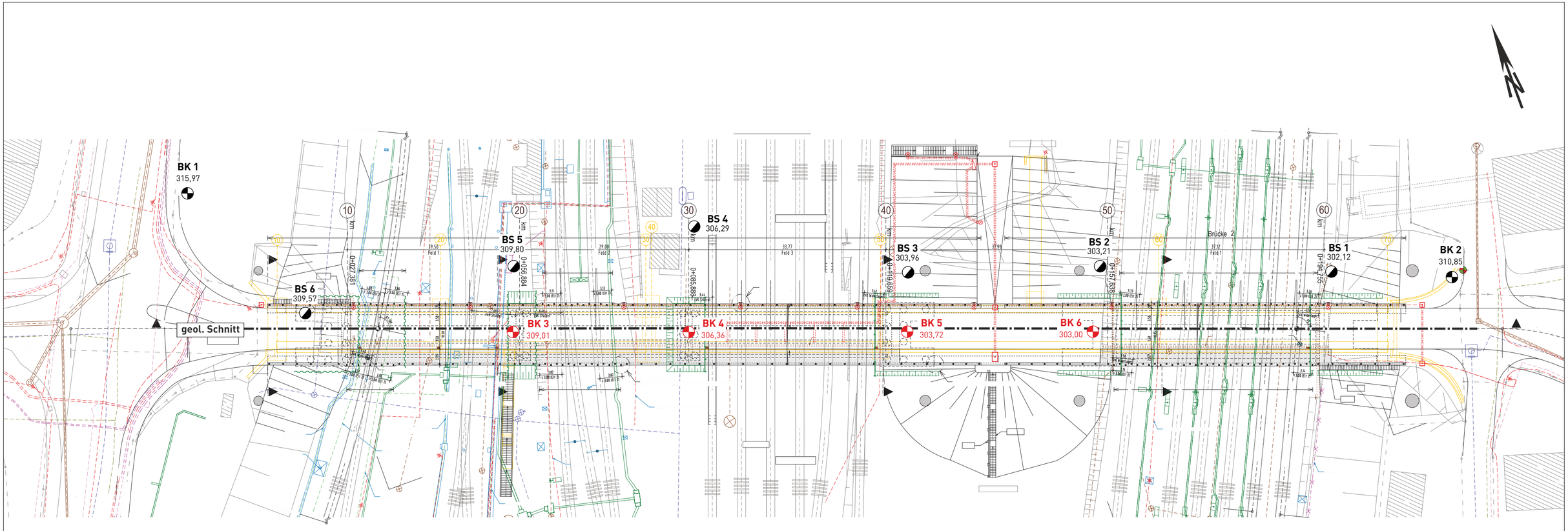
**Boden- und felsmechanische Untersuchungen**

- Zustandsgrenzen des Lösslehms und der Grundgipsschichten 5.1
- Gesteinsmechanische Untersuchungen HfT Stuttgart, 12.08.21, 19 Blatt 5.2




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

| | | |
|---|---|---|
| Übersichtslageplan mit Lage der Pflugfelder Brücke | gez. AJ<br>gepr. Sc | Maßstab<br>1:25 000 |




**Legende:**

- Kernbohrungen 2021
- Erkundung 2019
- Kleinbohrungen 2020

0 5 10 15 20 m

| | | |
|---|---|---|
| Lageplan mit Lage der Erkundungspunkte und Verlauf des geologischen Schnittes | gez. me<br>gepr. Sc | Maßstab<br>1:500 |

S&P

## Untersuchungsstellen

- SCH Schurf
- BK Kernbohrung
- BS Kleinbohrung

## Rammsondierung (Dynamic Probing)

| | | |
|---|---|---|
| DPL | leichte | Sonde (light) |
| DPM | mittelschwere | Sonde (medium) |
| DPH | schwere | Sonde (heavy) |

## Bodenproben

- Güteklasse 1
- Güteklasse 3
- Kernstück

## Bodenarten-Beschreibung

| | | | |
|---|---|---|---|
| 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 |

### Korngrößen

- f fein
- m mittel
- g grob

### grobkörnige Nebenanteile

(Massenanteile Körnungslinie)

- ' schwach (< 15%)
- – stark (> 30%)

### feinkörnige Nebenanteile

(Einfluss auf Verhalten des Bodens)

- ' schwach
- – stark

### Konsistenz

- breiig
- weich
- steif
- halbfest
- fest

### Kalkgehalt

(Aufbraus-Test: 10% HCl)

| | |
|---|---|
| Ca:0 | kalkfrei |
| Ca:+ | kalkhaltig |
| Ca:++ | stark kalkhaltig |

## Felsarten-Beschreibung

| | |
|---|---|
| Z | Fels allgemein |
| Zv | Fels verwittert |
| Ko, Br | Konglomerat, Brekzie |
| Sst | Sandstein |
| Utst, Tst | Schluffstein, Tonstein |
| Mst, Kst | Mergelstein, Kalkstein |
| Dst | Dolomitstein |
| Gyst | Gipsstein |
| Mem | Massige Metamorphite (z.B. Gneis) |
| Pl | Plutonite (z.B. Granit) |
| Vu | Vulkanite (z.B. Basalt) |

### Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit (Df) im Feld

| Bezeichnung | Feldversuch |
|---|---|
| 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 einkerbbar |
| 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 |

**Kalkgehalt** (s. Boden)

### Zerlegung

- klüftig

### Schichtflächenabstand

| Bezeichnung | Abstand [mm] |
|---|---|
| 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 |

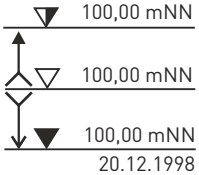
### Kluftflächenabstand

| Bezeichnung | Abstand [mm] |
|---|---|
| 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 |

| 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 | weniger als die Hälfte des Gesteins verwittert oder zersetzt | Verfärbung | möglicherweise leichte Verfärbung |
| | | | Gestein liegt als zusammenhängendes Steinskelett oder Steinkern vor. | | | |

## Grundwasser (Gw)

### Gw-Spiegel / Gw-Stand



- 100,00 mNN — undefiniert oder nach Bohrende
- Wasserspiegel, steigend
- 100,00 mNN — angebohrt
- Wasserspiegel, fallend
- 100,00 mNN — in Ruhe im ausgebauten Bohrloch
- 20.12.1998 — Datum
- Vernässung oberhalb des Gw

- Aufsatzrohr
- Ringraum-zementation
- Filterrohr
- Sumpfrohr
- Quellton
- Bohrendtiefe

**Normen:**
DIN EN ISO 14688, DIN EN ISO 14689-1
DIN 4022, DIN 4023

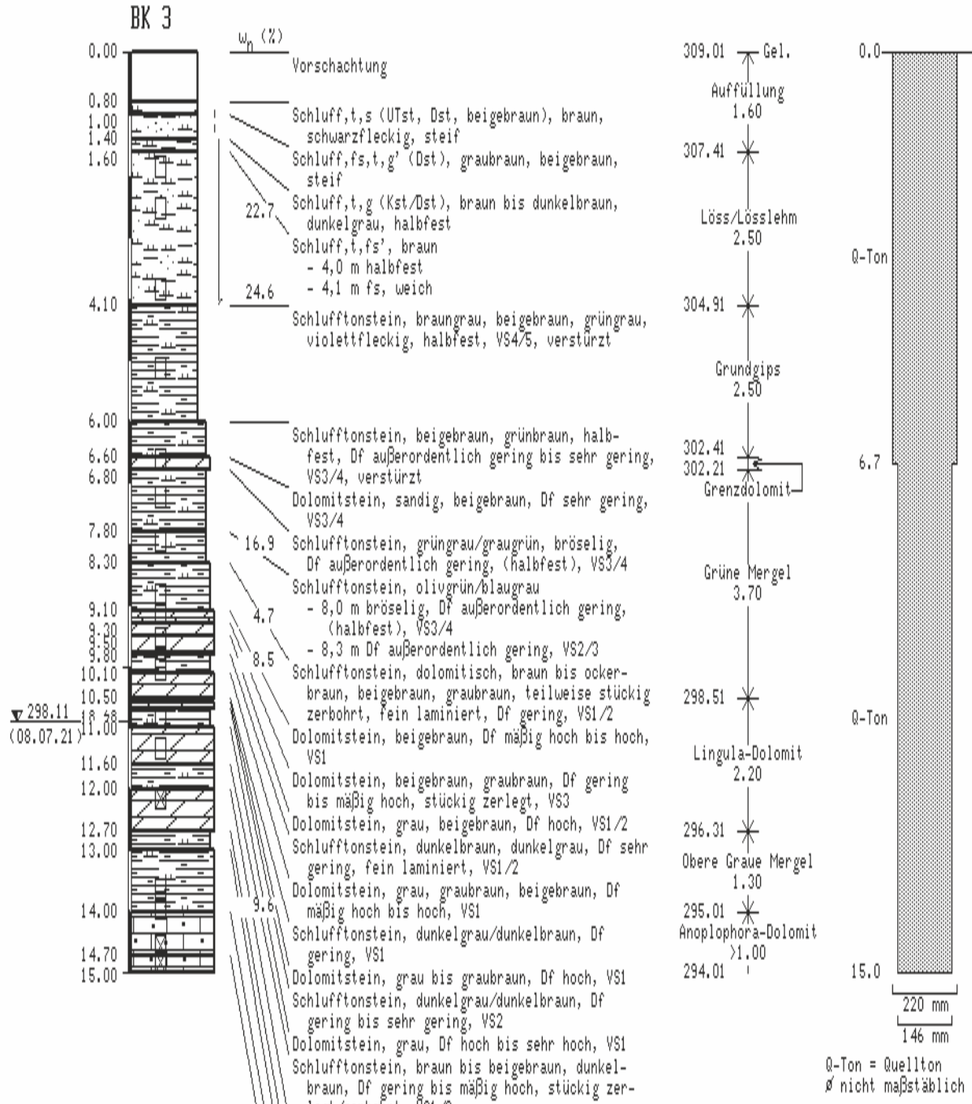
Beschreibung der Schichtenfolgen:
Kurzzeichen und Abkürzungen

gez. AJ
gepr. Sc

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≙ 35 13 214,16 / H ≙ 54 15 018,08
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 309.01 mNN (= Gel.)

gebohrt von: GEO-BOHRTECHNIK GmbH
am : 06.-08.07.21
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:`S&P`AUFTR19`19125`BK03.bpr; 21.10.2021

# BK 3




Bohrverfahren:
- 6,7 m Drehbohrung mit Drehschappe ø 178 mm
- 15,0 m Seilkernbohrung mit SK6L ø 146 mm
- 6,7 m Hilfsverrohrung ø 220 mm

Bodenproben: 2,0 m; 2,7 m; 4,0 m; 5,3 m; 6,8 m; 7,4 m; 8,1 m; 9,0 m; 9,3 m; 9,7 m; 10,0 m; 10,2 m; 11,0 m; 11,5 m; 13,8 m; 14,0 m; 14,1 m
Kernstücke: 12,0-12,3 m; 14,4-14,7 m; 14,7-15,0 m
Geruch unauffällig
Gw nach Bohrende und Ausblasen des Bohrlochs bei 10,9 m u. Gel.

Schichtenfolge der Kernbohrung
BK 3

gez. ks
gepr. Sc

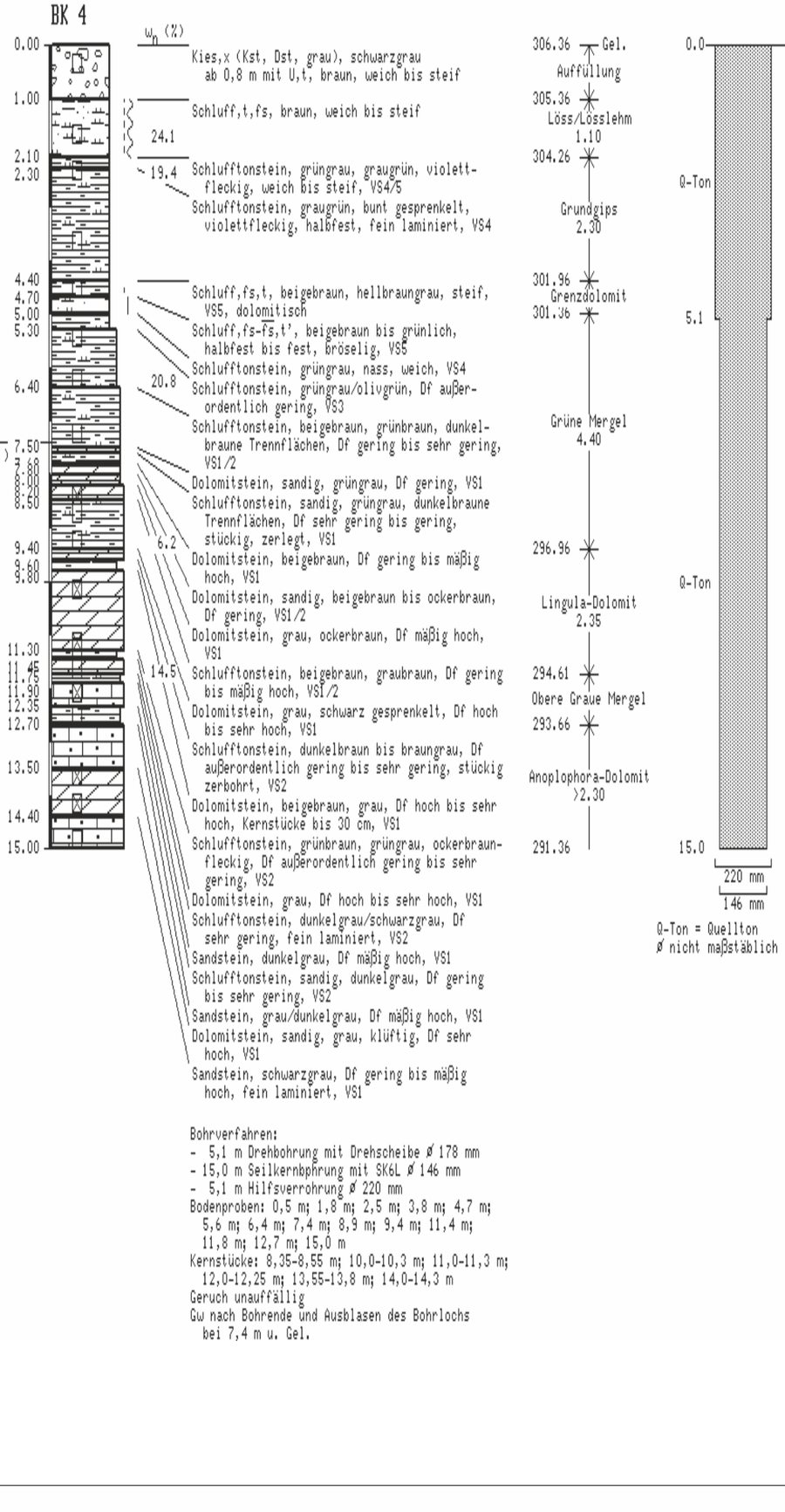
Maßstab 1:100

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≃ 35 13 242,47 / H ≃ 54 15 007,80
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 306.36 mNN (= Gel.)

gebohrt von: GEO-BOHRTECHNIK GmbH
am : 08.-12.07.21
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:`S&P`AUFTR19`19125`BK04.bpr; 21.10.2021

Verfüllung

# BK 4




Q-Ton = Quellton
ø nicht maßstäblich

Bohrverfahren:
- 5,1 m Drehbohrung mit Drehscheibe ø 178 mm
- 15,0 m Seilkernbohrung mit SK6L ø 146 mm
- 5,1 m Hilfsverrohrung ø 220 mm

Bodenproben: 0,5 m; 1,8 m; 2,5 m; 3,8 m; 4,7 m; 5,6 m; 6,4 m; 7,4 m; 8,9 m; 9,4 m; 11,4 m; 11,8 m; 12,7 m; 15,0 m

Kernstücke: 8,35-8,55 m; 10,0-10,3 m; 11,0-11,3 m; 12,0-12,25 m; 13,55-13,8 m; 14,0-14,3 m

Geruch unauffällig

Gw nach Bohrende und Ausblasen des Bohrlochs bei 7,4 m u. Gel.

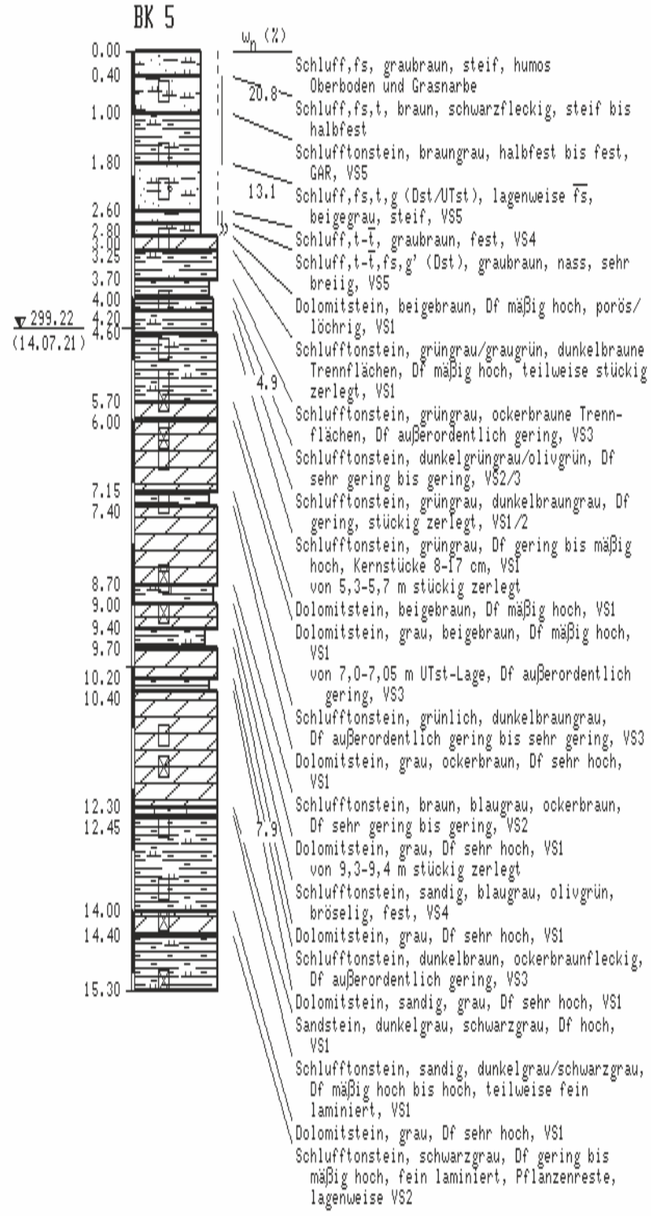
| Schichtenfolge der Kernbohrung BK 4 | gez. ks<br>gepr. Sc | Maßstab 1:100 |
|---|---|---|

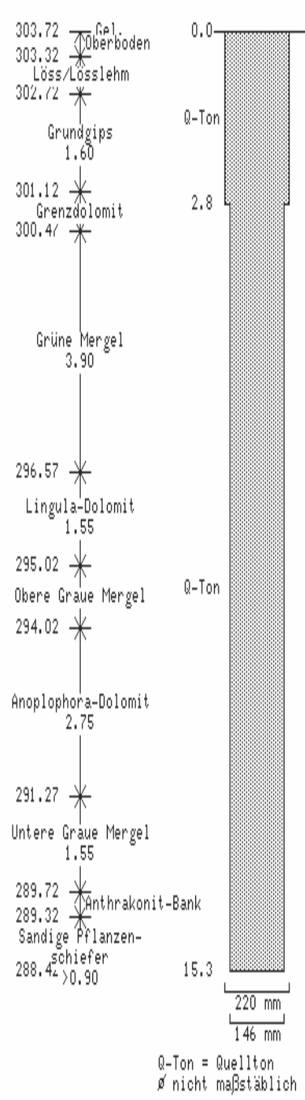
TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≈ 35 13 277,62 / H ≈ 54 14 995,01
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 303.72 mNN (= Gel.)

gebohrt von: GEO-BOHRTECHNIK GmbH
am : 13.-14.07.21
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:`S&P`AUFTR19`19125`BK05.bpr; 21.10.2021

Verfüllung

# BK 5




Bohrverfahren:
- 2,8 m Drehbohrung mit Drehschappe ø 178 mm
- 15,3 m Seilkernbohrung mit SK6L ø 146 mm
- 2,8 m Hilfsverrohrung ø 220 mm

Bodenproben: 0,8 m; 1,8 m; 2,4 m; 3,2 m; 4,2 m; 5,0 m; 5,5 m; 6,3 m; 6,8 m; 7,5 m; 8,8 m; 11,3 m; 12,8 m; 13,8 m
Kernstücke: 5,7-5,85 m; 6,3-6,45 m; 8,4-8,7 m; 9,0-9,3 m; 11,6-11,8 m; 14,0-14,3 m; 15,0-15,3 m
Geruch unauffällig
Gw nach Bohrende und Ausblasen des Bohrlochs bei 4,5 m u. Gel.

Schichtenfolge der Kernbohrung
BK 5

gez. ks
gepr. Sc

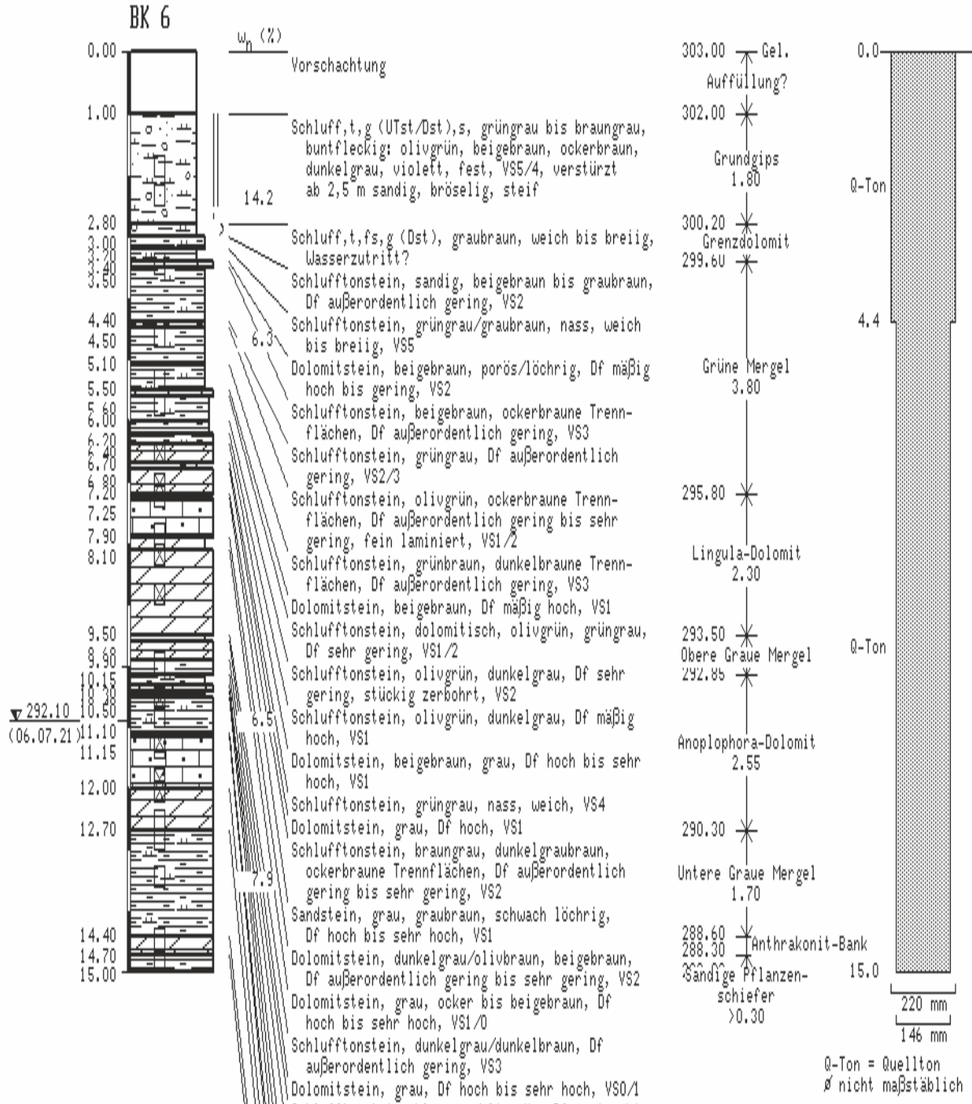
Maßstab 1:100

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≃ 35 13 307,50 / H ≃ 54 14 984,11
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 303.00 mNN (= Gel.)

gebohrt von: GEO-BOHRTECHNIK GmbH
am : 05.-06.07.21
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:\S&P\AUFTR19\19125\BK06.bpr; 21.10.2021

Verfüllung

# BK 6




Q-Ton = Quellton
ø nicht maßstäblich

Bohrverfahren:
- 4,4 m Drehbohrung mit Drehschappe ø 178 mm
- 15,0 m Seilkernbohrung mit SK6L ø 146 mm
- 4,4 m Hilfsverrohrung ø 220 mm

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

Kernstücke: 6,55-6,7 m; 7,0-7,2 m; 8,15-8,35 m; 8,6-9,0 m; 10,55-10,7 m; 11,3-11,4 m; 11,85-12,0 m; 12,0-12,2 m

Geruch unauffällig

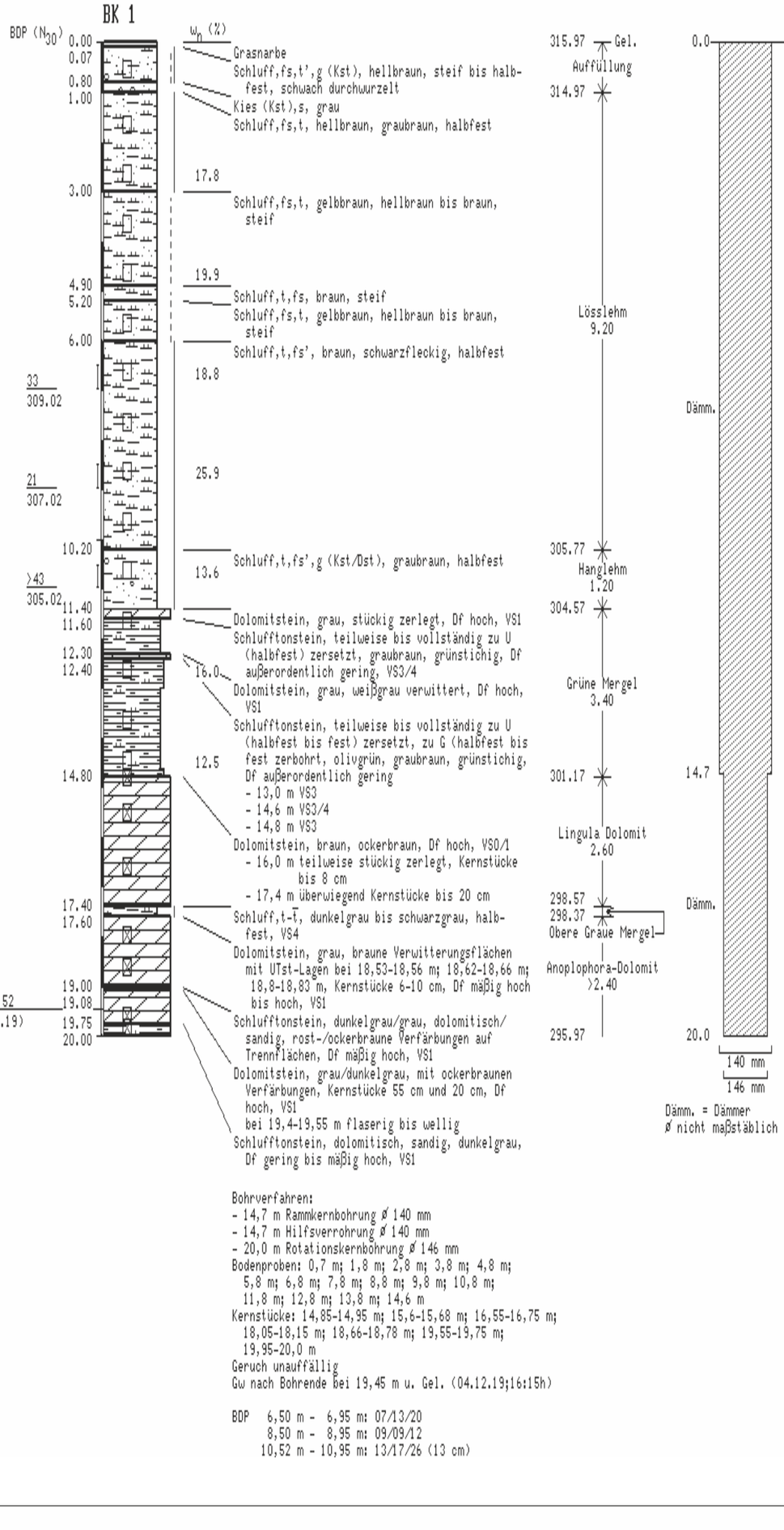
Gw nach Bohrende und Ausblasen des Bohrlochs und 2 Std. Wartezeit bei 10,9 m u. Gel.

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≈ 35 13 169 / H ≈ 54 15 061
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 315.97 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Terrasond GmbH
am : 04.12.19
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:`S&P`AUFTR19`19125`BK01.bpr; AJ; 06.08.2021

Verfüllung

# BK 1




Dämm. = Dämmer
ø nicht maßstäblich

Bohrverfahren:
- 14,7 m Rammkernbohrung ø 140 mm
- 14,7 m Hilfsverrohrung ø 140 mm
- 20,0 m Rotationskernbohrung ø 146 mm

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

Kernstücke: 14,85-14,95 m; 15,6-15,68 m; 16,55-16,75 m; 18,05-18,15 m; 18,66-18,78 m; 19,55-19,75 m; 19,95-20,0 m

Geruch unauffällig

Gw nach Bohrende bei 19,45 m u. Gel. (04.12.19;16:15h)

BDP 6,50 m - 6,95 m: 07/13/20
8,50 m - 8,95 m: 09/09/12
10,52 m - 10,95 m: 13/17/26 (13 cm)

Schichtenfolge der Kernbohrung von 2019
BK 1

gez. AJ
gepr. Sc

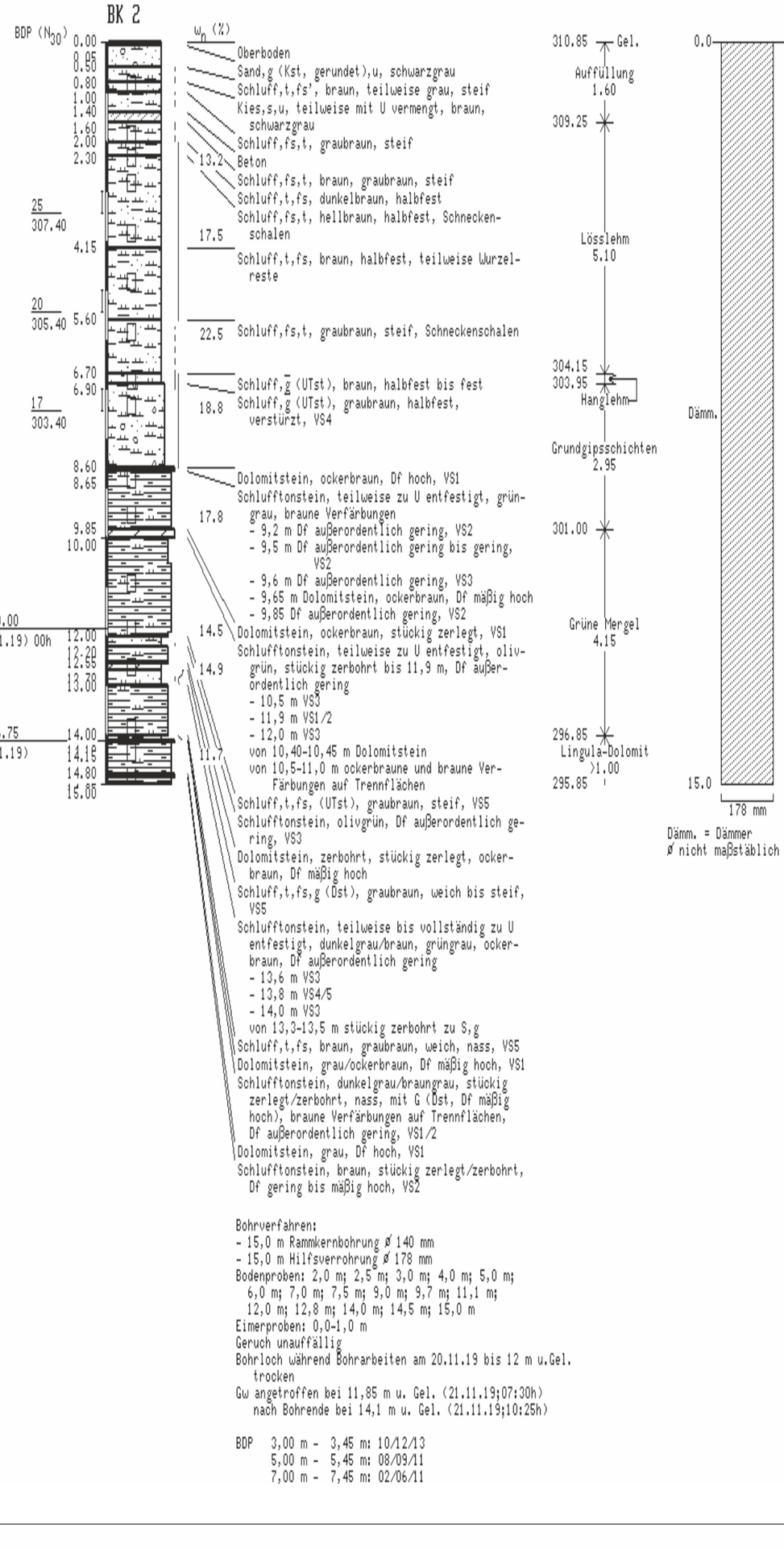
Maßstab 1:100

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≃ 35 13 371 / H ≃ 54 14 972
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 310.85 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Terrasond GmbH
am : 20.-21.11.19
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:\S&P\AUFTR19\19125\BK02.bpr; AJ; 06.08.2021

Verfüllung

# BK 2




Bohrverfahren:
- 15,0 m Rammkernbohrung ø 140 mm
- 15,0 m Hilfsverrohrung ø 178 mm

Bodenproben: 2,0 m; 2,5 m; 3,0 m; 4,0 m; 5,0 m; 6,0 m; 7,0 m; 7,5 m; 9,0 m; 9,7 m; 11,1 m; 12,0 m; 12,8 m; 14,0 m; 14,5 m; 15,0 m
Eimerproben: 0,0-1,0 m
Geruch unauffällig
Bohrloch während Bohrarbeiten am 20.11.19 bis 12 m u.Gel. trocken
Gw angetroffen bei 11,85 m u. Gel. (21.11.19;07:30h)
nach Bohrende bei 14,1 m u. Gel. (21.11.19;10:25h)

BDP 3,00 m - 3,45 m: 10/12/13
5,00 m - 5,45 m: 08/09/11
7,00 m - 7,45 m: 02/06/11

Dämm. = Dämmer
ø nicht maßstäblich

Schichtenfolge der Kernbohrung von 2019
BK 2

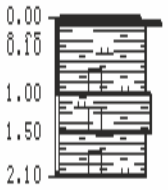
gez. AJ
gepr. Sc

Maßstab 1:100

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≈ 35 13 350 / H ≈ 54 14 979
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 302.12 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Maier/S&P
am : 13.01.20
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:`S&P`AUFTR19`19125`BS01.bpr; 06.08.2021

## BS 1




$w_n$ (%)

- Schluff,t,g (Kst), dunkelgrau und schwarzgrau, durchwurzelt
- 15.8 Dolomitstein, hellbraun, stückig zerbohrt, Df mäßig hoch, VS1
- 16.3 Schlufftonstein, grüngrau, oliv, lokal vernässt, Df außerordentlich gering, VS3/4
- 11.2 Schlufftonstein, grüngrau, oliv, blättrig, Df außerordentlich gering, VS3
- Schlufftonstein, ockerbraun, Df außerordentlich gering, VS3/4, vereinzelt Dst-Stücke

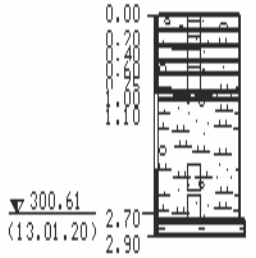
302.09 Oberboden
Grundgipsschichten
301.12 Grüne Mergel >1.10
300.02

kein weiterer Bohrfortschritt möglich
Bodenproben: 0,1-1,0 m; 1,0-1,5 m; 1,5-2,1 m
Geruch unauffällig
Gw nicht angetroffen

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≈ 35 13 313 / H ≈ 54 14 994
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 303.21 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Maier/S&P
am : 13.01.20
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:`S&P`AUFTR19`19125`BS02.bpr; 06.08.2021

## BS 2




$w_n$ (%)

- 18.2 Kies,x (Kst),s, schwarzgrau
- Schluff,fs,t, graubraun, halbfest
- 22.9 Schluff,fs,t, braun, halbfest
- Sand,u,g (Dst), hellbraun
- Ton,u,fs', oliv, grüngrau, braunfleckig, halbfest bis fest
- Schluff,s,g (Dst), hellbraun, weich bis steif
- 19.6 Schluff,fs,g, braungrau, beigegrau, steif
- Schlufftonstein, braungrau, halbfest, Df außerordentlich gering, VS3/4

303.21 Gel.
Auffüllung 1.10
302.11
Talablagerungen 1.60
300.51
300.21 Grüne Mergel >0.20

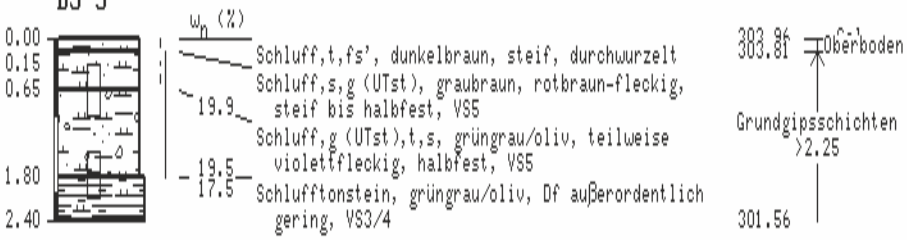
kein weiterer Bohrfortschritt möglich
Bodenproben: 0,1-0,2 m; 0,2-0,4 m; 0,4-0,6 m; 0,6-0,75 m; 0,75-1,0 m; 1,0-2,3 m; 2,3-2,7 m
Geruch unauffällig
Gw nach Bohrende bei 2,6 m u. Gel. (13.01.20)

| Schichtenfolgen der Kleinbohrungen von 2020<br>BS 1 und BS 2 | gez. AJ<br>gepr. Sc | Maßstab<br>1:100 |
|---|---|---|

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≈ 35 13 281 / H ≈ 54 15 004
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 303.96 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Maier/S&P
am : 13.01.20
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:`S&P`AUFTR19`19125`BS03.bpr; 06.08.2021

## BS 3

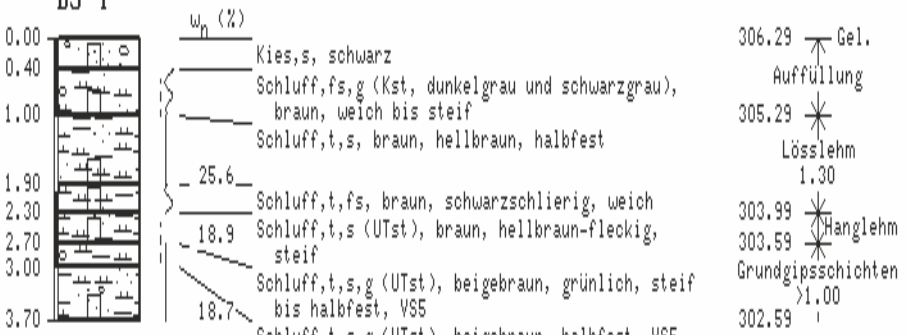



kein weiterer Bohrfortschritt möglich
Bodenproben: 0,0-0,65 m; 0,65-1,0 m; 1,0-1,8 m; 1,8-2,1 m
Geruch unauffällig
Gw nicht angetroffen

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≈ 35 13 250 / H ≈ 54 15 022
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 306.29 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Maier/S&P
am : 14.01.20
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:`S&P`AUFTR19`19125`BS04.bpr; 06.08.2021

## BS 4



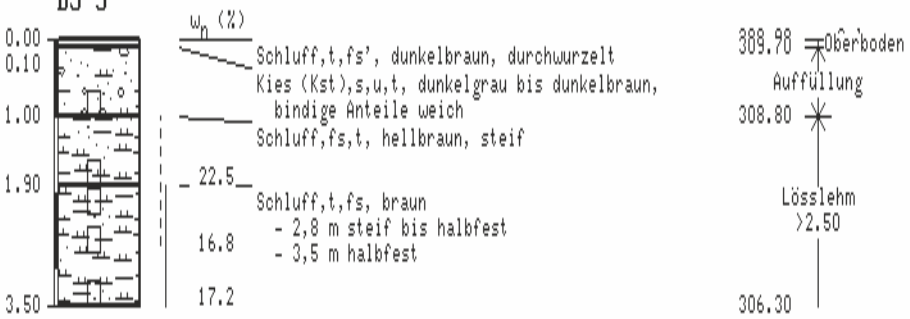

kein weiterer Bohrfortschritt möglich
Bodenproben: 0,1-0,4 m; 0,4-1,0 m; 1,0-1,9 m; 1,9-2,3 m; 2,3-2,7 m; 2,7-3,7 m
Geruch unauffällig
Gw nicht angetroffen

| Schichtenfolgen der Kleinbohrungen von 2020<br>BS 3 und BS 4 | gez. AJ<br>gepr. Sc | Maßstab<br>1:100 |
|---|---|---|

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≈ 35 13 218 / H ≈ 54 15 028
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 309.80 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Maier/S&P
am : 14.01.20
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:\S&P\AUFTR19\19125\BS05.bpr; 06.08.2021

## BS 5



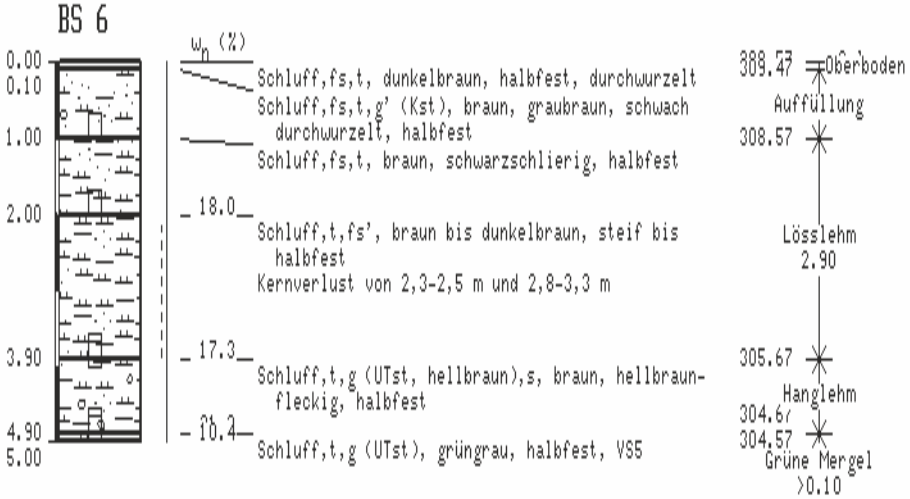

0.00–0.10 Schluff,t,fs', dunkelbraun, durchwurzelt
0.10–1.00 Kies (Kst),s,u,t, dunkelgrau bis dunkelbraun, bindige Anteile weich
1.00–1.90 Schluff,fs,t, hellbraun, steif
1.90–3.50 Schluff,t,fs, braun
- 2,8 m steif bis halbfest
- 3,5 m halbfest

kein weiterer Bohrfortschritt möglich
Bodenproben: 0,1-1,0 m; 1,0-1,9 m; 1,9-2,3 m; 2,3-2,8 m; 2,8-3,5 m
Geruch unauffällig
Gw nicht angetroffen

TK 25: 7121 Stuttgart-NO
R ≈ 35 13 182 / H ≈ 54 15 032
Lage siehe auch Anlage 1.2
Ansatzhöhe: 309.57 mNN (= Gel.)

gebohrt von: Maier/S&P
am : 14.01.20
aufgenommen: Dipl.-Geol. R. Schleifenheimer/S&P
G:\S&P\AUFTR19\19125\BS06.bpr; 06.08.2021

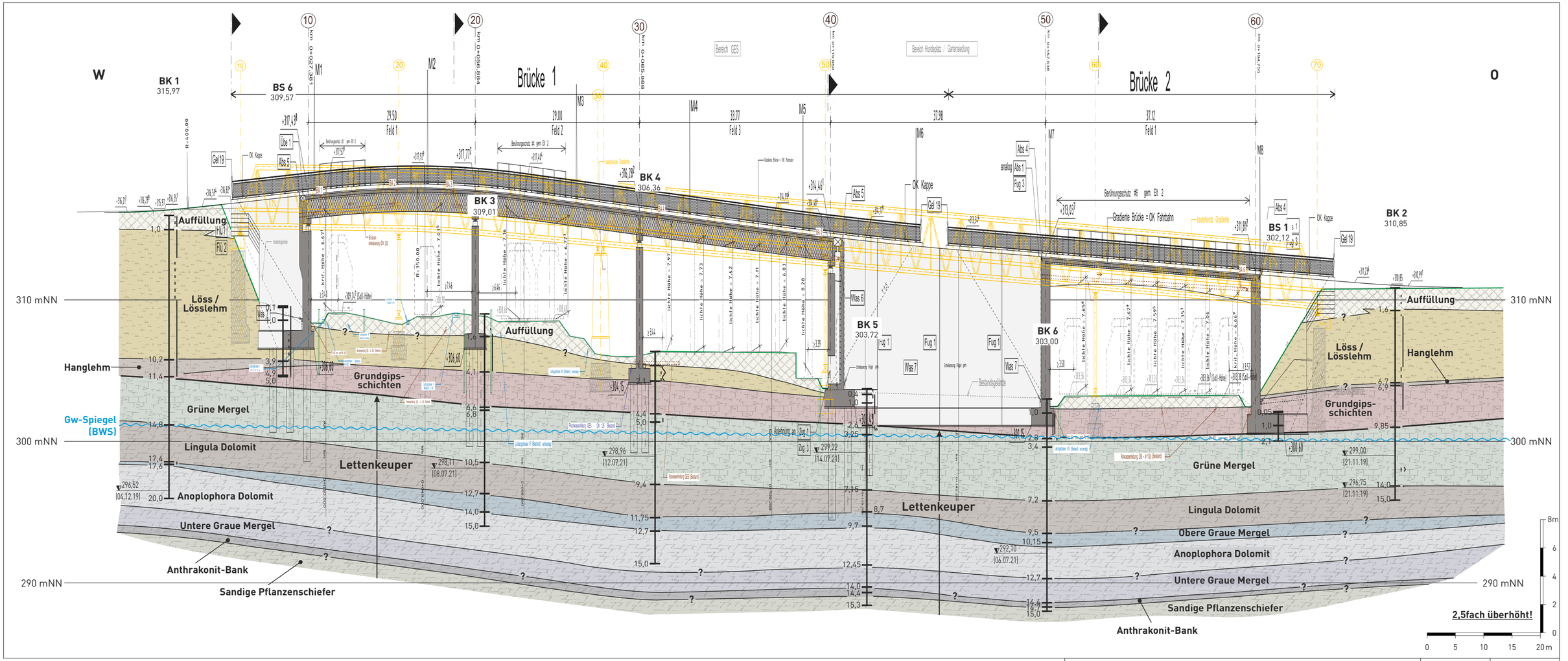
## BS 6




0.00–0.10 Schluff,fs,t, dunkelbraun, halbfest, durchwurzelt
0.10–1.00 Schluff,fs,t,g' (Kst), braun, graubraun, schwach durchwurzelt, halbfest
1.00–2.00 Schluff,fs,t, braun, schwarzschlierig, halbfest
2.00–3.90 Schluff,t,fs', braun bis dunkelbraun, steif bis halbfest
Kernverlust von 2,3-2,5 m und 2,8-3,3 m
3.90–4.90 Schluff,t,g (UTst, hellbraun),s, braun, hellbraun-fleckig, halbfest
4.90–5.00 Schluff,t,g (UTst), grüngrau, halbfest, VS5

kein weiterer Bohrfortschritt möglich
Bodenproben: 1,0 m; 2,0 m; 3,9 m; 4,0 m; 4,9 m; 5,0 m; 0,1-1,0 m; 1,0-2,0 m; 2,0-3,9 m; 3,9-4,0 m; 4,0-4,9 m; 4,9-5,0 m
Geruch unauffällig
Gw nicht angetroffen

| Schichtenfolgen der Kleinbohrungen von 2020<br>BS 5 und BS 6 | gez. AJ<br>gepr. Sc | Maßstab<br>1:100 |
|---|---|---|




| | | |
|---|---|---|
| Geologischer W-O-Geländeschnitt (Schnittführung s. Anlage 1.2) | gez. AJ<br>gepr. Sc | Maßstab 1:500/200 |

# Grundwasserbeschaffenheit
nach DIN 4030, Grundmessprogramm G und Zusatzprogramm Z

(4 Blatt)

gez. AJ
gepr. Sc

Probenahme
und
Erstellung
von
Analysen

auf den
Gebieten
Wasser, Boden,
Luft, Abfall,
Altlasten und
Klärschlamm

ANALYTIK-TEAM
GmbH

Daimler Str. 6
70736 Fellbach-
Oeffingen
Tel. 07 11/95 19 42-0
Fax 07 11/95 19 42-42
info@analytik-team.de
www.analytik-team.de

# Prüfbericht: 1911155

## Analytik im Wasser

**Auftraggeber:** Smoltczyk & Partner GmbH, Untere Waldplätze 14, 70569 Stuttgart
**Projekt:** 19-125 Kornwestheim, Pflugfelder Brücke: Neubau
**Projektbearbeiter:** Herr Schleifenheimer
**Probenahme:** durch Auftraggeber
**Bearbeitungszeitraum:** 22.11.- 03.12.2019

**Untersuchungsbefund:**

| Parameter | BK 2 | Dimension |
|---|---|---|
| Farbe | farblos | --- |
| Trübung | klar | --- |
| Geruch | geruchlos | --- |
| pH-Wert | 7,8 | --- |
| Temperatur | 16 | °C |
| elektr. Leitfähigkeit bei 25°C | 1600 | µS/cm |
| Sauerstoff | 5,4 | mg/l |
| SAK-254 | < 0,10 | $m^{-1}$ |
| SAK-436 | < 0,10 | $m^{-1}$ |
| Säurekapazität bis pH 4,3 | 6,2 | mmol/l |
| Basenkapazität bis pH 8,2 | 0,24 | mmol/l |
| Gesamthärte | 31 | °dH |
| Calcium | 140 | mg/l |
| Magnesium | 50 | mg/l |
| Natrium | 130 | mg/l |
| Kalium | 13 | mg/l |
| Eisen | < 0,025 | mg/l |
| Mangan | 0,11 | mg/l |
| Ammonium | < 0,050 | mg/l |
| Chlorid | 370 | mg/l |
| Nitrat | 15 | mg/l |
| Sulfat | 48 | mg/l |
| Nitrit | 0,26 | mg/l |
| Phosphat | 0,38 | mg/l |
| Bor | 0,13 | mg/l |
| AOX | < 0,010 | mg/l |
| DOC | 24 | mg/l |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Farbe | DIN EN ISO 7887 (C1) : 1994-12 | Trübung | DIN EN ISO 7027 (C2) : 2000-04 |
| Geruch | DEV B 1/2 : 1971 | pH-Wert: | DIN EN ISO 10523 : 2012-04 |
| Elektr. Leitfähigkeit | DIN EN 27888 : 1993-11 | Absetzbare Stoffe | DIN 38409 H 9 : 1980-07 |
| Sauerstoff: | DIN EN 25814 | SAK-254: | DIN 38404 C 3 : 2005-07 |
| SAK-436: | DIN EN ISO 7887 : 2012-04 | Säure-/Basenkapazität: | DIN 38409 H 7 : 2005-12 |
| Gesamthärte: | DIN 38409 H 6 : 1986-01 | Metalle | DIN EN ISO 11885 : 2009-09 |
| Ammonium: | DIN 38406-E 5-1 : 1983-10 | Chlorid/Nitrat/Sulfat: | DIN EN ISO 10304-1 : 2009-07 |
| Phosphat: | DIN EN ISO 6878 : 2004-09 | AOX: | DIN EN ISO 9562 : 2005-02 |
| DOC | DIN EN 1484 : 1997-08 | Nitrit: | DIN EN 26777 : 1993-04 |

Probenahme
und
Erstellung
von
Analysen

auf den
Gebieten
Wasser, Boden,
Luft, Abfall,
Altlasten und
Klärschlamm

ANALYTIK-TEAM
GmbH

Daimler Str. 6
70736 Fellbach-
Oeffingen
Tel. 07 11/95 19 42-0
Fax 07 11/95 19 42-42
info@analytik-team.de
www.analytik-team.de

# Prüfbericht: 1911155

Analytik gemäß DIN 4030

**Auftraggeber:** Smoltczyk & Partner GmbH, Untere Waldplätze 14, 70569 Stuttgart
**Projekt:** 19-125 Kornwestheim, Pflugfelder Brücke: Neubau
**Projektbearbeiter:** Herr Schleifenheimer
**Probenahme:** durch Auftraggeber
**Bearbeitungszeitraum:** 22.11.- 03.12.2019

**Untersuchungsbefund:**

| Parameter | BK 2 | Dimension |
|---|---|---|
| pH-Wert | 7,8 | --- |
| Temperatur | 16 | °C |
| $KMnO_4$-Verbrauch | 58 | mg/l |
| Ammonium | < 0,050 | mg/l |
| Calcium | 140 | mg/l |
| Magnesium | 50 | mg/l |
| Gesamthärte | 31 | °dH |
| Kalklösende Kohlensäure | < 15 | mg $CO_2$/l |
| Chlorid | 370 | mg/l |
| Sulfat | 48 | mg/l |
| Sulfid | < 0,10 | mg/l |
| **Beurteilung nach DIN 4030** | Nicht angreifend | --- |

| | | | |
|---|---|---|---|
| pH-Wert: | DIN EN ISO 10523 : 2012-04 | $KMnO_4$-Verbrauch: | DIN EN ISO 8467 : 1995-05 |
| Ammonium: | DIN 38406-E 5-1 : 1983-10 | Calcium/Magnesium: | DIN EN ISO 11885 : 2009-09 |
| Kalklösende Kohlensäure: | DIN 38404 C 10 : 2012-02 | Chlorid/Sulfat: | DIN EN ISO 10304-1 : 2009-07 |
| Sulfid: | DIN 38405 D 27 : 1992-07 | Gesamthärte: | DIN 38409 H 6 : 1986-01 |

Probenahme
und
Erstellung
von
Analysen

auf den
Gebieten
Wasser, Boden,
Luft, Abfall,
Altlasten und
Klärschlamm

ANALYTIK-TEAM
GmbH

Daimler Str. 6
70736 Fellbach-
Oeffingen
Tel. 07 11/95 19 42-0
Fax 07 11/95 19 42-42
info@analytik-team.de
www.analytik-team.de

# Prüfbericht: 1911155

Analytik im Wasser

**Auftraggeber:** Smoltczyk & Partner GmbH, Untere Waldplätze 14, 70569 Stuttgart
**Projekt:** 19-125 Kornwestheim, Pflugfelder Brücke: Neubau
**Projektbearbeiter:** Herr Schleifenheimer
**Probenahme:** durch Auftraggeber
**Bearbeitungszeitraum:** 22.11.- 03.12.2019

**Untersuchungsbefund:**

| Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe / DIN 38407- F 39 : 2011-09 / [µg/l] | |
|---|---|
| **Probenbezeichnung** | BK 2 |
| Naphthalin | 0,07 |
| Acenaphthylen | 0,02 |
| Acenaphthen | 0,01 |
| Fluoren | 0,01 |
| Phenanthren | 0,01 |
| Anthracen | 0,01 |
| Fluoranthen | < 0,01 |
| Pyren | 0,01 |
| Benzo(a)anthracen | < 0,01 |
| Chrysen | < 0,01 |
| Benzo(b/k)fluoranthen | < 0,01 |
| Benzo(a)pyren | < 0,01 |
| Dibenzo(ah)anthracen | < 0,01 |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren | < 0,01 |
| Benzo(ghi)perylen | < 0,01 |
| **Summe PAK 15*** (ohne Naphthalin) | **0,07** |

* Die Komponenten unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden bei der Summenbildung nicht berücksichtigt.

| Organochlorpestizide / DIN 38407-F2: 1993-02 / [ µg/l ] | |
|---|---|
| **Probenbezeichnung** | BK 2 |
| α-HCH | < 0,05 |
| β-HCH | < 0,05 |
| γ-HCH | < 0,05 |
| op´-DDE | < 0,05 |
| pp´-DDE | < 0,05 |
| op´-DDD | < 0,05 |
| pp´-DDD | < 0,05 |
| op´-DDT | < 0,05 |
| pp´-DDT | < 0,05 |
| Aldrin | < 0,05 |
| Hexachlorbenzol | < 0,05 |

| Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe / DIN EN ISO 10301 : 1997 / [mg/l] | |
|---|---|
| **Probenbezeichnung** | BK 2 |
| Trichlormethan | < 0,001 |
| Trichlorethen | < 0,001 |
| Tetrachlorethen | < 0,001 |
| 1,2-Dichlorethan | < 0,010 |

Probenahme
und
Erstellung
von
Analysen

auf den
Gebieten
Wasser, Boden,
Luft, Abfall,
Altlasten und
Klärschlamm

ANALYTIK-TEAM
GmbH

Daimler Str. 6
70736 Fellbach-
Oeffingen
Tel. 07 11/95 19 42-0
Fax 07 11/95 19 42-42
info@analytik-team.de
www.analytik-team.de

# Prüfbericht: 1911155

Analytik im Wasser

**Auftraggeber:** Smoltczyk & Partner GmbH, Untere Waldplätze 14, 70569 Stuttgart
**Projekt:** 19-125 Kornwestheim, Pflugfelder Brücke: Neubau
**Projektbearbeiter:** Herr Schleifenheimer
**Probenahme:** durch Auftraggeber
**Bearbeitungszeitraum:** 22.11.- 03.12.2019

**Untersuchungsbefund:**

| Aromatische Kohlenwasserstoffe / DIN 38407-9 : 1991-05 / [mg/l] | |
|---|---|
| **Probenbezeichnung** | BK 2 |
| Benzol | < 0,001 |

| Fluorid / DIN EN ISO 10304-1 : 2009-07/ [mg/l] | |
|---|---|
| **Probenbezeichnung** | BK 2 |
| Fluorid | 0,57 |

| Schwermetalle / DIN EN ISO 11885 : 2009-09 / [mg/l]<br>Quecksilber / DIN EN ISO 12846 : 2012-08 / [mg/l] | | |
|---|---|---|
| **Probenbezeichnung** | | BK 2 |
| Arsen | **As** | < 0,0030 |
| Blei | **Pb** | < 0,0040 |
| Cadmium | **Cd** | < 0,0010 |
| Chrom, ges. | **Cr** | < 0,0020 |
| Kupfer | **Cu** | < 0,0050 |
| Nickel | **Ni** | < 0,0030 |
| Quecksilber | **Hg** | < 0,00005 |
| Antimon | **Sb** | < 0,0030 |
| Selen | **Se** | < 0,0030 |

**Probeninformationen:**

| | |
|---|---|
| Probenbezeichnung: | BK 2 |
| Labornummer: | 1911155 |
| Matrix: | Wasser |
| Probenbehälter: | 2 x 1L Glasflasche + 3 x 1l PE-flasche |
| Probenmenge: | 5,0l |

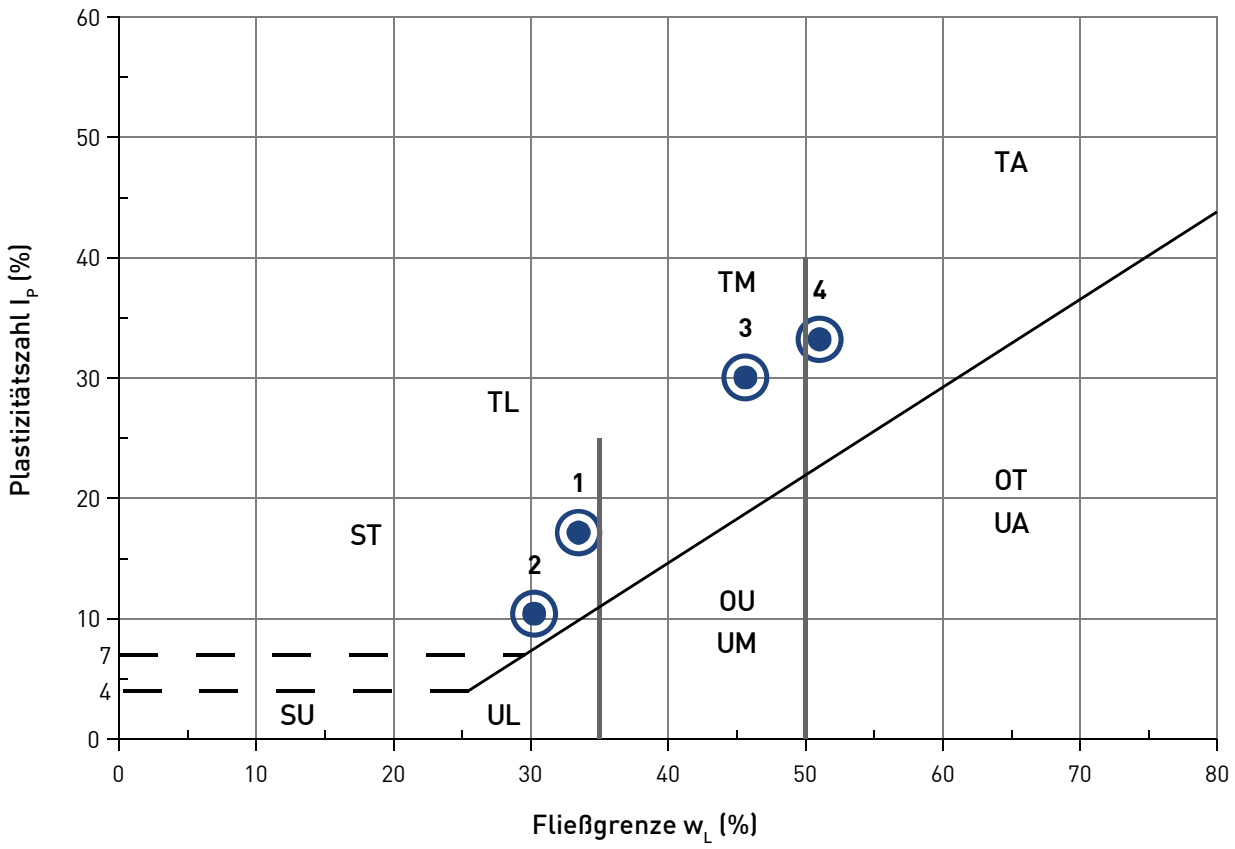
Anmerkung: Die im Prüfbericht aufgeführten Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Die auszugsweise Vervielfältigung, ohne unsere schriftliche Genehmigung, ist nicht zulässig. Prüfberichte berücksichtigen die aktuellen Normforderungen der DIN EN ISO 17025:2005.

Fellbach, den 3. Dezember 2019
Analytik-Team GmbH
i.V.

DAkkS
Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14414-01-00

*Dieses Dokument wurde elektronisch erstellt und ist auch ohne Unterschrift gültig.*

## Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12




| Probe Nr. | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aufschluss | | | BK 1 | BK 2 | BS 6 | BK 4 |
| Entnahmetiefe | (m u.Gel.) | | 4,8 | 4,0m | 3,9m | 2,5 |
| Bodenart<br>Geologie | | | U,t,s<br>Löss/-<br>Lösslehm | U,t<br>Löss/-<br>Lösslehm | U,t<br>Lösslehm | U,t,fg'<br>Grund-<br>gipsschicht |
| Natürl. Wassergehalt | $w_n$ | (%) | 19,9 | 17,5 | 17,3 | 19,4 |
| Überkorn | ü | (%) | 1,1 | 1,3 | 11,7 | 0,0 |
| Wassergehalt Matrix | $w_{<0.4}$ | (%) | 20,2 | 17,7 | 19,6 | 19,4 |
| Fließgrenze | $w_L$ | (%) | 33,5 | 30,3 | 45,6 | 51,1 |
| Ausrollgrenze | $w_P$ | (%) | 16,4 | 19,9 | 15,6 | 17,9 |
| Plastizitätszahl | $I_P$ | (%) | 17,1 | 10,4 | 30,0 | 33,2 |
| Konsistenzzahl | $I_C$ | (-) | 0,78 | 1,20 | 0,87 | 0,96 |
| Konsistenz | | | steif | halbfest | steif | steif |

Bodenklassifikation nach DIN 18196:

SU Sand-Schluff-Gemisch
ST Sand-Ton-Gemisch

TL Ton, leichtplastisch
TM Ton, mittelplastisch
TA Ton, ausgeprägt plastisch

OU Schluffe mit organischen Beimengungen oder organogene Schluffe

UL Schluff, leichtplastisch
UM Schluff, mittelplastisch
UA Schluff, ausgeprägt zusammendrückbar

OT Tone mit organischen Beimengungen oder organogene Tone

# Boden- und felsmechanische Untersuchungen

Gesteinsmechanische Untersuchungen HfT Stuttgart, 12.08.21

(19 Blatt)

gez. AJ
gepr. Sc

## 1. Probeneingang

Tabelle 1: Übersicht der Proben und durchgeführten Untersuchungen

| Probennummer intern | Proben-bezeichnung | Projekt | Versuche/ Parameter |
|---|---|---|---|
| 047_2021 | BK5 5,70-5,85m | SuP Pflugfelder Brücke | Punktlastindex |
| 048_2021 | BK5 6,31-6,45m | | Punktlastindex, einaxiale Druckfestigkeit |
| 049_2021 | BK6 7,01-7,20m | | Punktlastindex |
| 050_2021 | BK6 8,15-8,35m | | CAI, Punktlastindex, einaxiale Druckfestigkeit |
| 051_2021 | BK6 8,61-9,00m | | Punktlastindex |
| 052_2021 | BK5 15,0-15,3m | | Punktlastindex, einaxiale Druckfestigkeit |
| 053_2021 | BK6 6,56-6,70m | | CAI, Punktlastindex, einaxiale Druckfestigkeit |

Bemerkungen:

Projekt 19-125 Kornwestheim, Pflugfelder Brücke: Neubau - Vorgang 797373

Die restlichen Proben werden zwei Monate nach Abgabe des Protokolls entsorgt bzw. zu Schulungszwecken genutzt.

## 1. Veranlassung

Die Hochschule für Technik Stuttgart wurde am 05.08.2021 von der Smoltczyk und Partner GmbH beauftragt, die einaxiale Druckfestigkeit von vier angelieferten Gesteinsproben zu bestimmen. Weiterhin sollte der jeweilige Cerchar Abrasivitätsindex (CAI) an zwei Proben und der Punktlastindex $i_s$ an sieben Proben bestimmt werden.

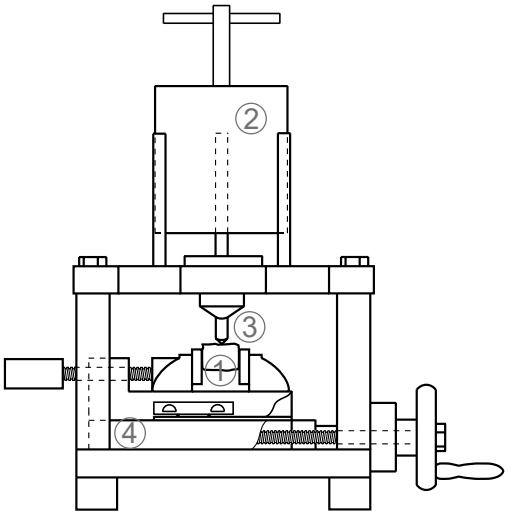
## 2. Probenvorbereitung

Die gelieferten Bohrkerne hatten den Durchmesser von 100 mm und verschieden Längen, aber teilweiße von nur 120 bis 140 mm. Gemäß den Empfehlungen der DGGT für die Gewinnung von Proben für einaxiale Druckversuche sollen die Probenkörper ein Verhältnis von L(änge) zu D(urchmesser) von ungefähr 2 aufweisen. Aus diesem Grund wurden aus den angelieferten Probekörpern (048_2021, 050_2021 und 053_2021) Probenzylinder mit Durchmesser 36 mm durch Bohren unter Wasserspülung hergestellt. Die Endflächen der Zylinder wurden plan gesägt und geschliffen; die Proben wurden bei Raumlufttemperatur getrocknet. Die Bestimmung der CAI und Punktlastindizes erfolgte an den Reststücken bzw. an Teilstücken. Die Abmessung der geprüften Probenkörper sind Anlage 2 zu entnehmen.

## 3. Versuchsdurchführungen und Auswertungen

### 3.1 Cerchar-Abrasivitäts-Index

Die Beurteilung der Abrasivität erfolgte mittels Cerchar Abrasivitäts Index Test (CAI) mit dem Prüfgerät nach West (vgl. Abbildung rechts; Quelle: Empfehlung Nr. 23 des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der DGGT). In diesem Gerät wird der Prüfkörper (1) auf einem Schlitten (2) unter einem mit der Kraft 70 N (3) belasteten Prüfstift (4) vorgegebener Geometrie (Kegelwinkel 90° ± 1°) und Stahlhärte (HRC 55 ± 1) gleichmäßig um 10 mm bewegt. Der Cerchar Absasivitäts Index (CAI) berechnet sich aus dem Materialabtrag des Prüfstifts, welche unter einem Mikroskop mit mindestens 30-facher Vergrößerung gemessen wird. Der Versuch wird an jedem zu prüfenden Gestein 5-mal durchgeführt.




Im vorliegenden Fall wurden die Versuche an sägerauen Oberflächen durchgeführt und die Ergebnisse mit dem Korrekturfaktor $f_s$ = 1,1 beaufschlagt. Die Gesteinsabrasivität wird dann gemäß nebenstehender Tabelle (Quelle: Empfehlung Nr. 23 des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der DGGT) klassifiziert.

| 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 |
| ≥ 5,0 | extrem hoch |

### 3.2 Einaxialer Druckversuch

Die Beurteilung der einaxialen Druckfestigkeit erfolgte an zylindrischen Gesteinsprüfkörpern in einer Universalprüfmaschine der Güteklasse 1 mit Höchstkraft 600 kN in stehender Zweisäulenbauweise. Die Prüfmaschine besitzt einem elektro-hydraulischen Hybridantrieb und wird mit einer Steuerung der Firma Zwick (testControll II) mit einer Frequenz von 100Hz betrieben. Die Versuchsgeschwindigkeit betrug 0,2 mm/min.
Für die Probe 052_2021 wurde die größere Prüfpresse verwendet, da die Erreichung der Maximallast bei dem Durchmesser von 100mm als möglich erschien. Die Höchstkraft dieser Presse entspricht 6000 kN und es wurde mit einer Versuchsgeschwindigkeit von 0,4 mm/min gefahren.

### 3.3 Punktlastversuch

Die Reststücke vom Ausbohren, wie in der Probenvorbereitung beschrieben wurden zum Teil nochmals zu passenden Handstücke (Kreisringstücke) zurecht gesägt und zwischen zwei Lasteinleitungsspitzen mit einer konzentriert eingeleiteten Kraft bis zum Bruch belastet. Bei nicht empfehlungsgerechtem Bruchbild wurde der Versuch wiederholt. Bei gerechtem Bruchbild wurde es ausgemessen und zusammen mit der Bruchkraft zur Auswertung dokumentiert.

## 4. Ergebnisse

### 4.1.Cerchar-Abrasivitäts-Index

| Probennummer | CAI | Klassifikation |
|---|---|---|
| 050_2021 | 1,7 | niedrig |
| 053_2021 | 1,6 | niedrig |

### 4.2 Einaxialer Druckversuch

| Probennummer | Dichte [g/cm³] | $\sigma_u$ [MPa] |
|---|---|---|
| 048_2021 | 2,641 | **91,1** |
| 050_2021 | 2,724 | **131,4** |
| 052_2021 | 2,556 | **48,2** |
| 053_2021 | 2,556 | **42,3** |

## 4.3 Punktlastversuch

| Probe | Gestein | Punktlastindex $i_s=F_B/A$ [MN/mm²] | Punktlastindex (Größenkorrektur) $i_{s(50)}=(A/2500)^{0,225} * i_s$ [MN/mm²] |
|---|---|---|---|
| 047_2021 | Lingula Dolomit | 2,41 | 3,12 |
| 048_2021 | Lingula Dolomit | 5,05 | 4,10 |
| 049_2021 | Lingula Dolomit | 1,00 | 1,30 |
| 050_2021 | Lingula Dolomit | 5,96 | 4,86 |
| 051_2021 | Lingula Dolomit | 7,07 | 7,94 |
| 052_2021 | Lingula Dolomit | 1,39 | 1,80 |
| 053_2021 | Grünen Mergel | 3,56 | 2,88 |

## 5. Literatur und Vorschriften

- Empfehlung Nr. 1 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: „Einaxiale Druckversuche an zylindrischen Gesteinsprüfkörpern“.
- Empfehlung Nr. 5 „Punktlastversuche an Gesteinsproben“ des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik.
- 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“.

# Anlagen

## 1. Cerchar-Abrasivitäts-Index

## 2. Einaxialer Druckversuch

## 3. Punktlastversuch

# Anlage 1. Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) nach „Empfehlung Nr. 23 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.“

## Anlage 1.1 Erläuterung

Es handelt sich bei allen Prüfkörpern um eine sägeraue Prüfoberfläche.

Die Prüfstifte wurden an 4 Stellen vermessen (jeweils ca. 90°-Drehung bei 35-facher Vergrößerung).

## Anlage 1.2 Übersicht Ergebnisse

| **Probennummer** | **050_2021** | | | | | **053_2020** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Prüfstiftnummer | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Ablesung $d_1$ [mm] | 0,09 | 0,17 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,19 | 0,12 | 0,17 | 0,11 | 0,14 |
| Ablesung $d_2$ [mm] | 0,09 | 0,17 | 0,17 | 0,12 | 0,17 | 0,19 | 0,14 | 0,16 | 0,09 | 0,14 |
| Ablesung $d_3$ [mm] | 0,09 | 0,15 | 0,15 | 0,22 | 0,19 | 0,20 | 0,14 | 0,14 | 0,09 | 0,12 |
| Ablesung $d_4$ [mm] | 0,11 | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,17 | 0,22 | 0,14 | 0,12 | 0,12 | 0,09 |
| | | | | | | | | | | |
| Prüfstiftabnutzung $D_j$ [mm] | 0,10 | 0,17 | 0,16 | 0,17 | 0,16 | 0,20 | 0,14 | 0,15 | 0,10 | 0,12 |
| | | | | | | | | | | |
| mittlere Prüfstiftabnutzung $D_m$ [mm] | 0,15 | | | | | 0,14 | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| $D_m$ korrigiert (sägeraue Oberfläche) | ja | | | | | ja | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| **Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) [ ]** | **1,7** | | | | | **1,6** | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| **Klassifizierung** | **niedrig** | | | | | **niedrig** | | | | |

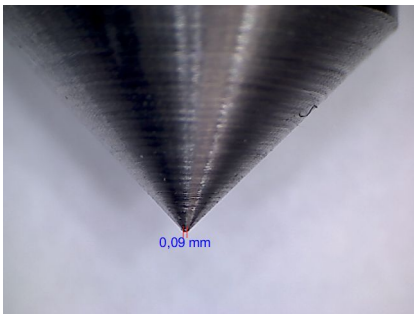
## Anlage 1.3 Fotodokumentation

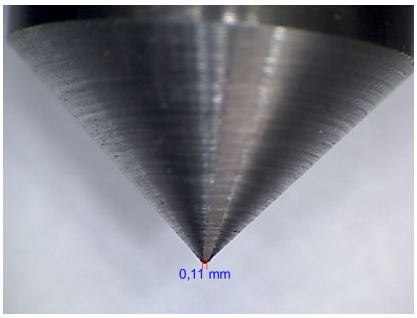
Probe 050_2021

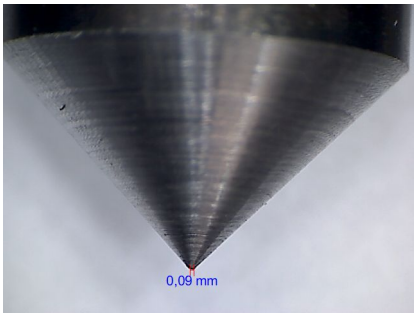
Probe 053_2021

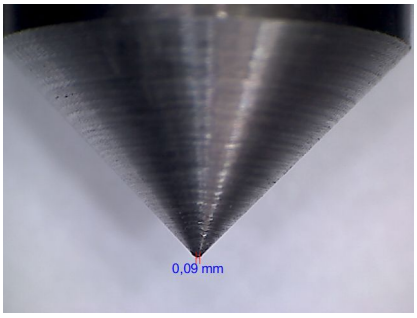
# Stahlspitzen Chersar Versuch

## Probe 050_2021 Spitze 1

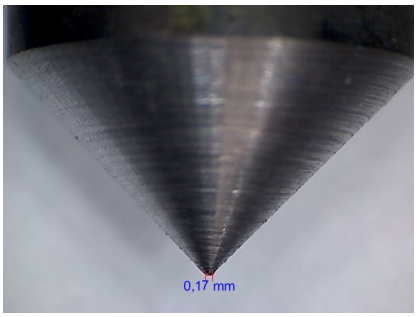


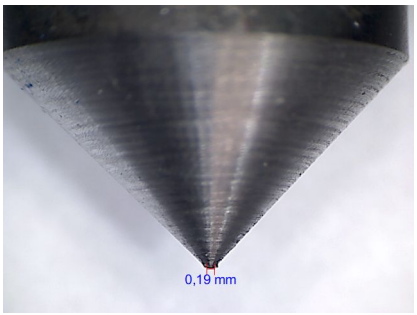



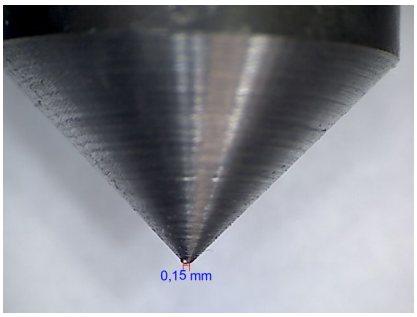



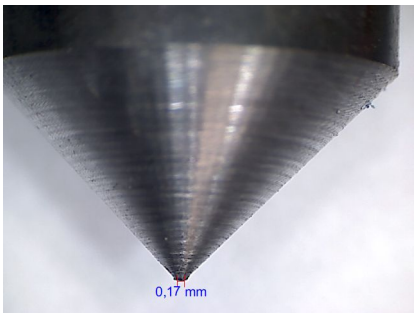




## Probe 050_2021 Spitze 2

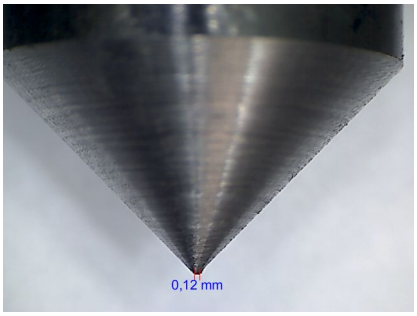


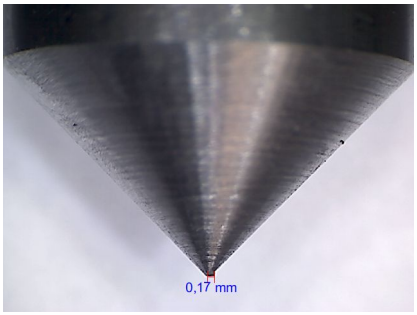



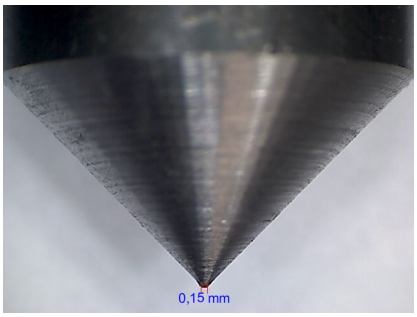



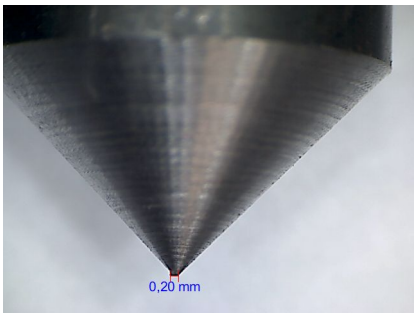



## Probe 050_2021 Spitze 3

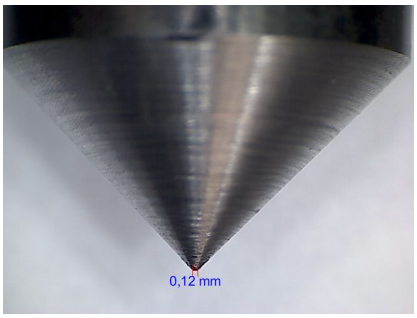


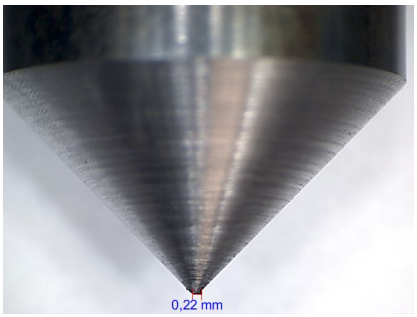



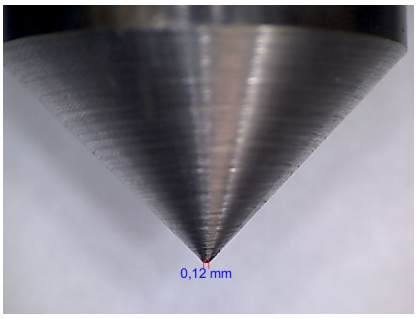



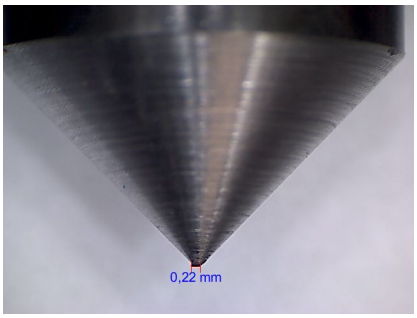




## Probe 050_2021 Spitze 4

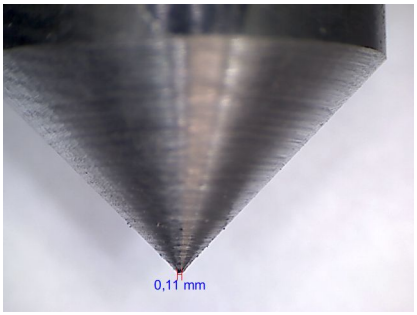


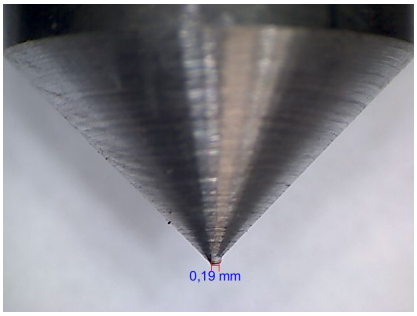



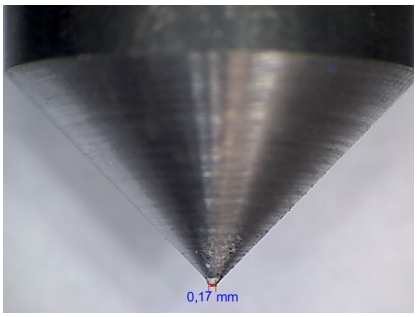



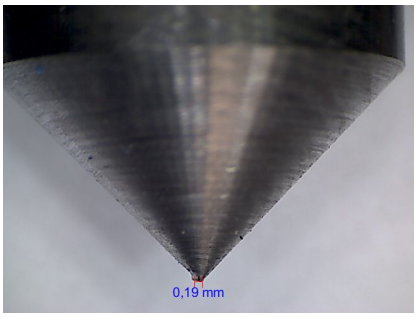



## Probe 050_2021 Spitze 5

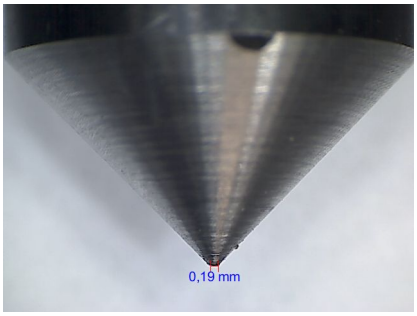


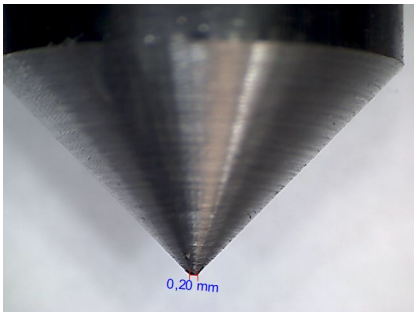



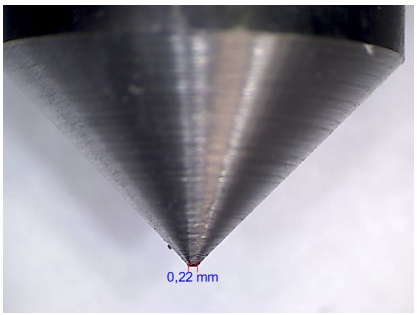



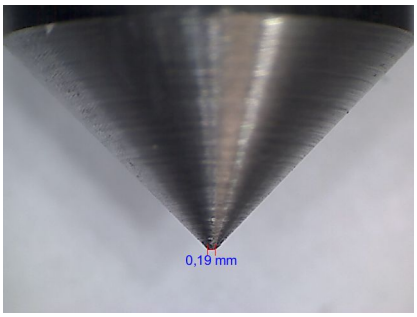



## Probe 053_2021 Spitze 6

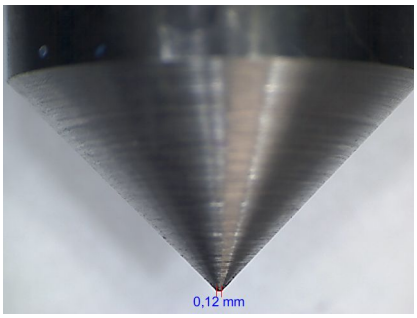


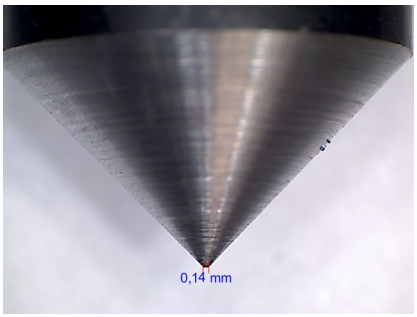



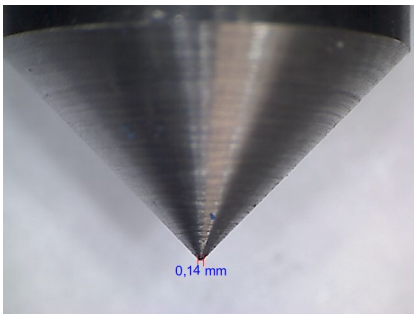



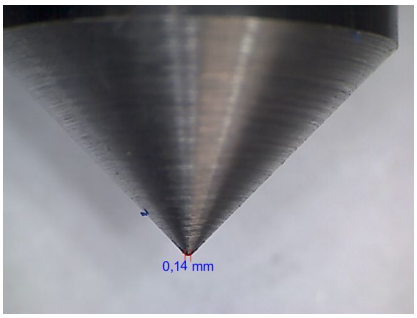




## Probe 053_2021 Spitze 7

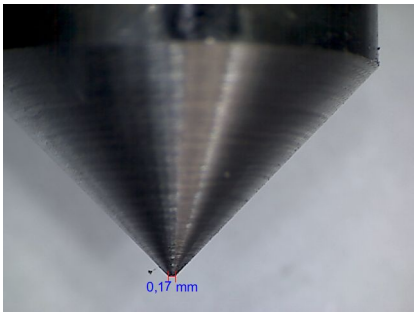


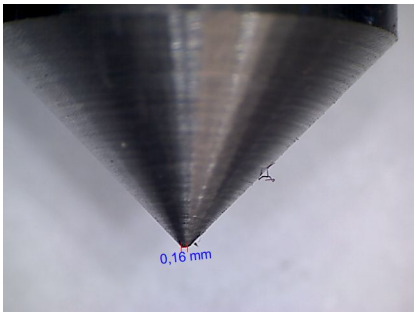



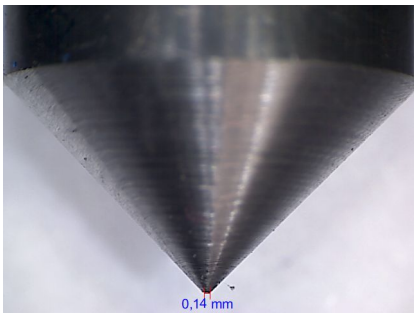



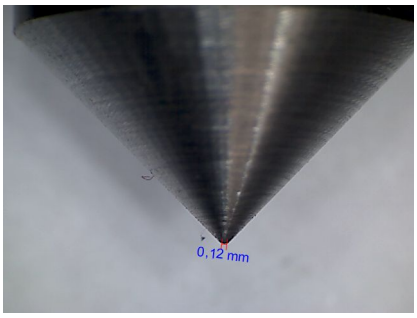



## Probe 053_2021 Spitze 8

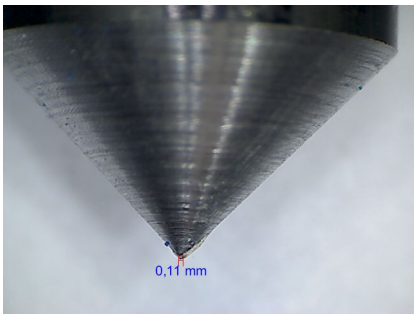


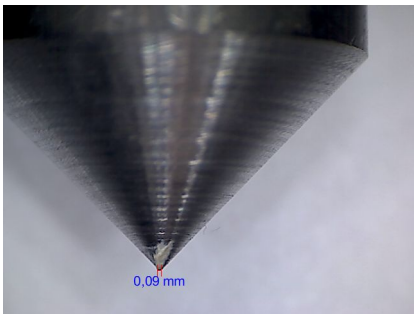



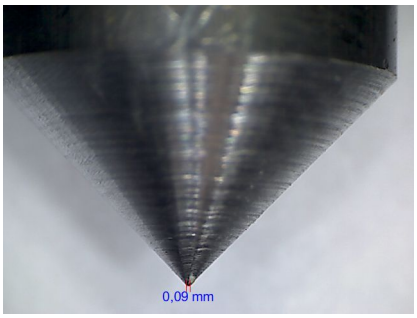



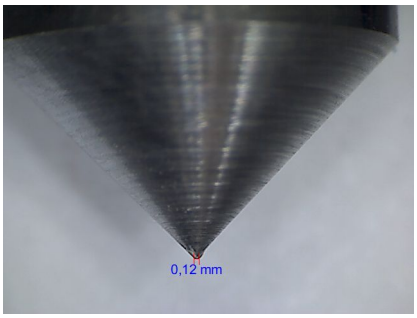




## Probe 053_2021 Spitze 9

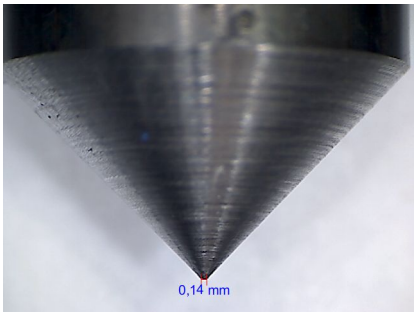


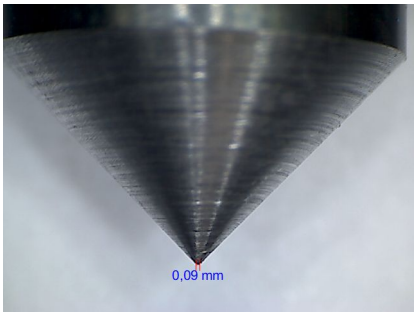



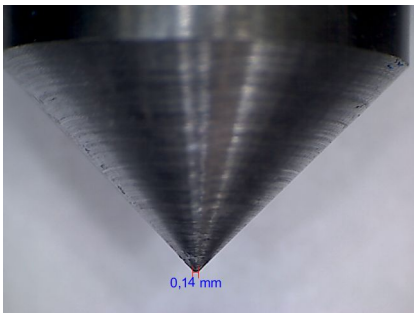



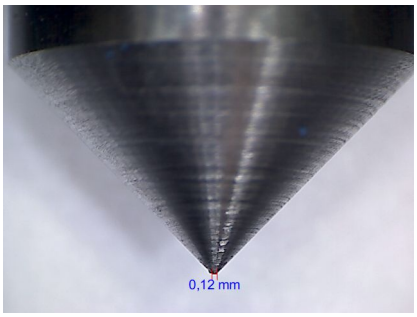



## Probe 053_2021 Spitze 10



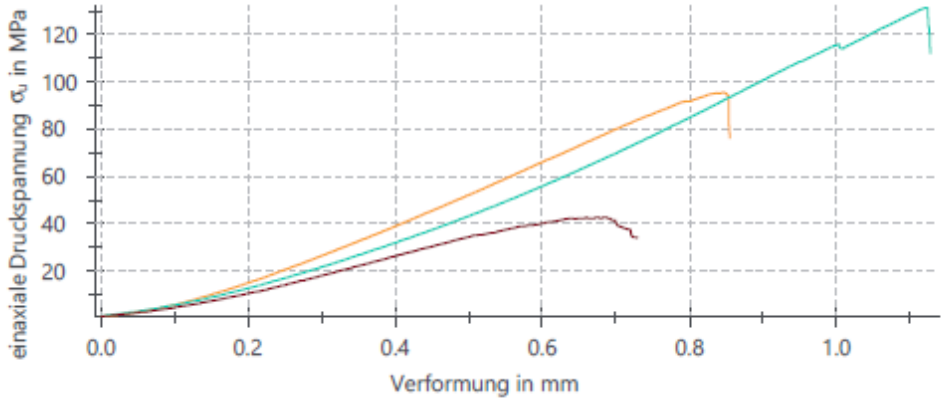



## Anlage 2 Einaxialer Druckversuchan Felsbohrkernen nach Empfehlung Nr. 1 der DGGT
## Anlage 2.1 Übersicht Ergebnisse

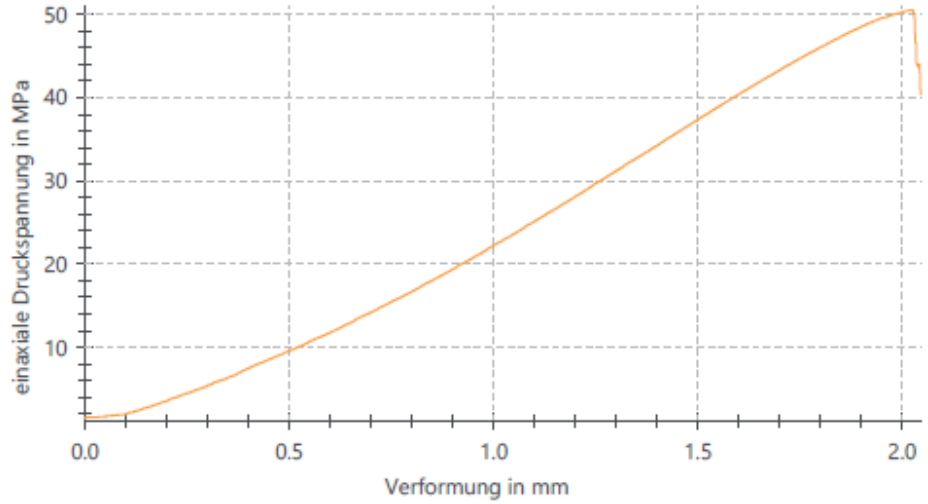
Versuchsdurchführung : 05.08.2021
Auftraggeber : Smoltczyk & Partner GmbH
Bauvorhaben : große Pflugfelder Brücke, Kornwestheim
Vorbereitung : Die Druckflächen wurden geschliffen, Bohrkerne ausgebohrt
Prüfgeschwindigkeit : 0,2 mm/min

| Legende | Probe | Masse | d | l | l/d | $F_{max}$ | Rohdichte | $\sigma_u$ | $\sigma_{u2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | g | mm | mm | | kN | g/cm³ | MPa | MPa |
| | 048_2021 | 132,3 | 35,4 | 50,9 | 1,44 | 94,1 | 2,641 | 95,6 | 91,1 |
| | 050_2021 | 191,7 | 35,5 | 71,1 | 2,00 | 130,1 | 2,724 | 131,4 | 131,4 |
| | 053_2021 | 170,8 | 35,5 | 67,7 | 1,91 | 42,0 | 2,556 | 42,6 | 42,3 |




Prüfgeschwindigkeit : 0,4 mm/min

| Legende | Probe | Masse | $d_0$ | $h_0$ | l/d | $F_{max}$ | $\rho_{Bet}$ | $\sigma_u$ | $\sigma_{u2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | g | mm | mm | | kN | g/cm³ | MPa | MPa |
| | 052_2021 | 2775,1 | 100,5 | 145,6 | 1,45 | 400,7 | 2,403 | 50,5 | 48,2 |

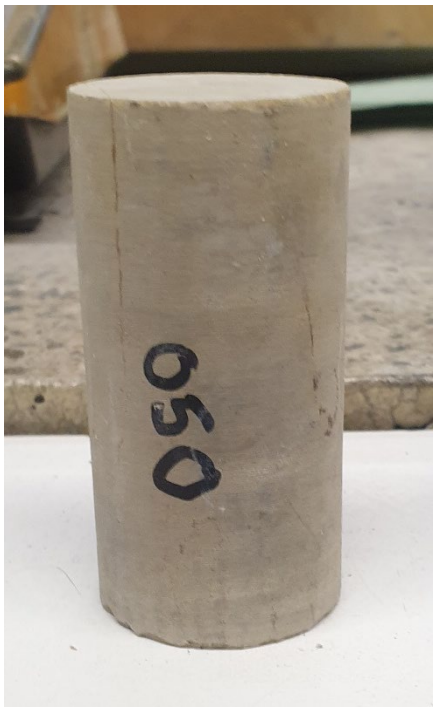



$\sigma_{u2}$ entspricht der korrigierte Druckfestigkeit für Abmessungen l/d<2 gemäß *Empfehlung Nr. 1 der DGGT*

## Anlage 2.2 Fotodokumentation

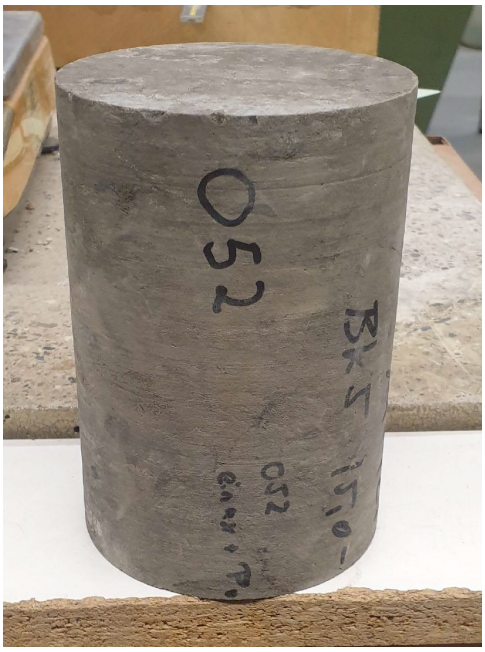
Probe 048_2021

Probe 048_2021




Probe 050_2021

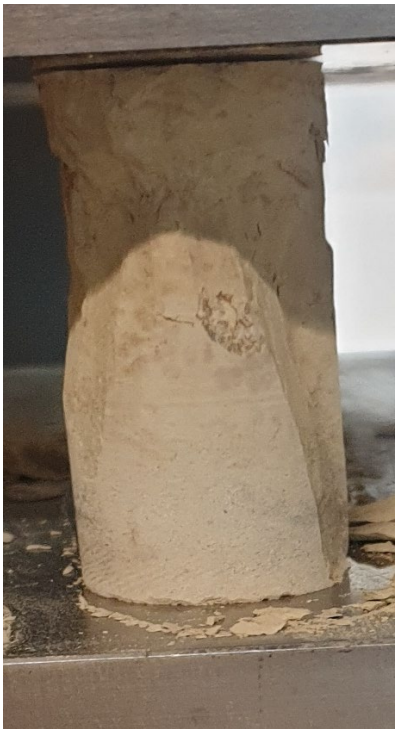
Probe 050_2021




Probe 052_2021

Probe 052_2021

Probe 053_2021



Probe 053_2021

## Anlage 3 Punktlastversuch nach Empfehlung Nr. 5 nach DGGT

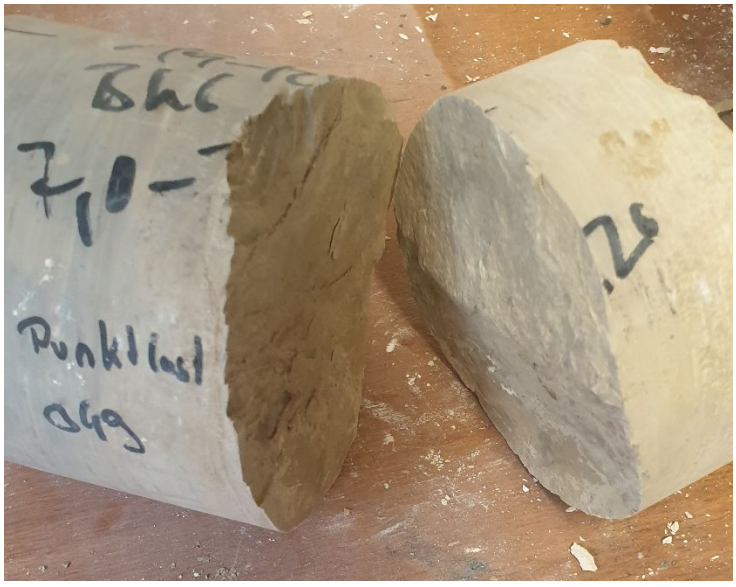
## Anlage 3.1 Übersicht Ergebnisse

| Probe | Gestein | Probekörper Form 1=Zyl. lieg. 2=Zyl. steh. 3=Quader 4=Handstück | Lastpunkt - abstand l [mm] | Probekörper - abmessung b bzw. d [mm] | Probekörper - bruchfläche A [mm²] | Bruchkraft $F_B$ [kN] | Punktlastindex $i_s=F_B/A$ [MN/mm²] | Punktlastindex (Größenkorrektur) $i_{s(50)}= (A/2500)^{0,225} * i_s$ [MN/mm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 047_2021 | Lingula Dolomit | **1** | 100,1 | --- | 7869,70 | 19 | 2,41 | 3,12 |
| 048_2021 | Lingula Dolomit | **1** | 35,5 | --- | 989,80 | 5 | 5,05 | 4,10 |
| 049_2021 | Lingula Dolomit | **1** | 101 | --- | 8011,85 | 8 | 1,00 | 1,30 |
| 050_2021 | Lingula Dolomit | **1** | 35,8 | --- | 1006,60 | 6 | 5,96 | 4,86 |
| 051_2021 | Lingula Dolomit | **2** | 41,3 | 101 | 4171,30 | 29,5 | 7,07 | 7,94 |
| 052_2021 | Lingula Dolomit | **1** | 100,5 | --- | 7932,72 | 11,0 | 1,39 | 1,80 |
| 053_2021 | Grünen Mergel | **1** | 35,4 | --- | 984,23 | 3,5 | 3,56 | 2,88 |

## 3.2 Fotodokumentation

Probe 047_2021

048_2021




Probe 049_2021

Probe 050_2021

051_2021

052_2021

053_2021