



Teilbericht Querung ‚Mikrotunnel M-02‘

Geotechnischer Bericht

Mikrotunnel M-02 / Lokation Q100_neu und Q101_neu

km 31,49 – km 31,56 (inkl. Start- und Zielgrube)

362-19-016-36 03 | 17 June 2022

N.V. Nederlandse Gasunie



Dokumentenkontrolle

Dokumenteninformation

Projektbezeichnung	BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"
Dokumententitel	Teilbericht Querung „Mikrotunnel M-02“
Fugro Projekt-Nr.	362-19-016
Fugro Dokument-Nr.	362-19-016-36
Version-Nr.	03
Status	Revision 03

Auftraggeberinformation

Auftraggeber	N.V. Nederlandse Gasunie
Adresse Auftraggeber	Concourslaan 17, 9727 KC Gronigen, Nederland
Kontakt Auftraggeber	Marc Klotz (GME)
Auftraggeber Dokumenten-Nr.	ausstehend

Revisionshistorie

Version	Datum	Status	Kommentar	Erstellt durch	Checked durch	Genehmigt durch
00	26.03.21	Entwurf		RZ	FU	KG
01	20.04.21	rev01		RZ	FU	KG
02	02.06.21	rev02		RZ	FU	KG
03	17.06.22	rev03		RZ	FU	KG

Projektteam

Initialen	Name	Rolle
CP	Christian Peter	Projektleiter
RZ	Ralf Zielasko	Senior Ingenieur Geotechnischer Bericht
FU	Falk Ulbricht	Senior Ingenieur Geotechnischer Bericht
JE	Jana Enghardt	Datenmanagement, GIS

Contents

Dokumentenkontrolle	ii
Dokumenteninformation	ii
Auftraggeberinformation	ii
Revisionshistorie	ii
Projektteam	ii
Contents	1
Tabellen	2
1. Veranlassung und Aufgabenstellung	3
2. Grundlagen	3
2.1 Allgemeine vertragsspezifische Unterlagen	3
2.2 Objektspezifische fachtechnische Grundlagen	3
3. Beschreibung zum Bauvorhaben	5
3.1 Standortsituation und Morphologie	5
4. Durchgeführte Untersuchungen	5
4.1 Geländeuntersuchungen	5
4.1.1 Direkte Aufschlüsse	5
4.1.2 Indirekte Aufschlüsse	5
4.2 Bodenmechanische Laboruntersuchungen	6
4.3 Chemische Laboruntersuchungen	6
5. Untersuchungsergebnisse	6
5.1 Regionalgeologische Situation	6
5.2 Untergrundaufbau	7
5.3 Bodenmechanische Feld- und Laboruntersuchungen	7
5.4 Organoleptische Ansprache und chemische Analytik	8
5.5 Grundwasser	8
6. Bewertung der Untersuchungsergebnisse	9
6.1 Baugrundmodell / Homogenbereiche	9
6.1.1 Wassergehalt und Konsistenz	9
6.1.2 Korngrößenverteilung und Kornform	9
6.1.3 Sulfatgehalt, Betonangriff und Stahlkorrosivität	10
6.2 Zusammenstellung der Bodenmechanischen Kennwerte	11
6.3 Bautechnische Klassifizierung (Homogenbereiche)	12
7. Folgerungen und Bautechnische Empfehlungen	15
7.1 Rohrvortrieb	15
7.1.1 Allgemeine Angaben und Annahmen	15

7.1.2	Verfahren	16
7.1.3	Setzungsprognose infolge Rohrvortrieb	18
7.2	Beweissicherung	19
7.3	Fremdleitungen	19
7.4	Press- und Zielgrube	20
7.4.1	Grubenverbau	20
7.4.2	Baugrubensohle und Wasserhaltungsmaßnahmen	22
7.4.3	Bodenaushub (Lösbarkeit und Wiederverwendbarkeit)	22
7.4.4	Baugrubenverfüllung	23
8.	Bemerkungen	25
Anlage A	Aufschlussdokumentation	0
A.0	Erläuterungen der Abkürzungen und Symbole	1
A.1	Aufschlussdokumentation	1
A.1.1	Rammkernsondierprofile	1
A.1.2	Drucksondierungsprofile	1
A.1.3	Kornformbestimmung nach DIN EN ISO 14688-1:2020-11	1
A.2	Geologischer Schnitt	1

Tabellen

Tabelle 5-1	Erkundungsaktuelle Grundwasserstände (GW)	8
Tabelle 6-1	Wassergehalt und Konsistenz nach DIN EN ISO 17892-1:2015-03 / DIN EN ISO 17892-12:2020-07	9
Tabelle 6-2	Bodenklassifikation und Bodenmechanische Kennwerte	11
Tabelle 6-3	Bautechnische Klassifikation der Schichtenfolgen	12
Tabelle 6-4:	Homogenbereich LBO (Rohrvortrieb nach ATV DIN 18319:2012-09)	12
Tabelle 6-5:	Homogenbereich LO (Rohrvortrieb nach ATV DIN 18319:2012-09)	13
Tabelle 6-6	Homogenbereich LNE (Rohrvortrieb nach ATV DIN 18319:2012-09)	14
Tabelle 7-1:	Mögliche Verfahren des Rohrvortriebes nach DWA-A 125	16
Tabelle 7-2:	Zuordnung Bodenkennziffer Bk	18
Tabelle 7-3:	Setzungsprognose für 5,4 m / 9,8 m Überdeckungshöhe (Üh)	19

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die N.V. Nederlandse Gasunie plant den Neubau der Gashochdruckleitung ETL 180 von Brunsbüttel nach Hetlingen. Im Zuge dieses Bauvorhabens sind insgesamt 36 Haupt-Querungen von Gewässern erster und zweiter Ordnung, wichtigen Haupt- bzw. Nebenverkehrsstraßen sowie von Bahnstrecken unter Einsatz des HDD-Verfahrens nach ATV DIN 18324:2016-09 und im Preßbohrverfahren nach ATV DIN 18319:2019-09 geplant. Des Weiteren werden im Trassenverlauf 56 Querungen in offener Verlegung mit und ohne Düker vorgesehen.

Ziel des vorliegenden geotechnischen Berichtes ist die Aufklärung der Untergrundverhältnisse einschließlich der bodenmechanischen Eigenschaften für die unterirdische Querung ‚M-02‘ mittels dem Rohrvortrieb im Mikrotunnelbau-Verfahren als einer steuerbaren Variante des Preßbohrverfahrens.

Mit Hilfe des Rohrvortriebes soll an der geplanten Mikrotunnel-Querung ‚M-02‘ ein Stahlrohr mit einem Nennquerschnitt von 800 mm unter der Landstraße L168 mit nebenliegendem Landwirtschaftsweg und Drainagegraben verlegt werden. Die Grundlage für die Entscheidung zum Grabenlosen Rohrvortrieb bildet das neue Paket mit Trasseninformationen und shape-files, zur Verfügung gestellt von GME per e-mail vom 05.03.2021 (ETL180_Trasse_210305.dwg und 180_2_03_09_Übersicht Querungen_20210305.xlsx) sowie vom 10.03.2021 im Zuge der Tabelle der Wasserhaltungsabschnitte (180_2_05_07_Bauwasserhaltungsabschnitte_10032021_rev03.xlsx).

Die geplante Lage der Mikrotunnel-Querung ‚M-02‘ ist dem Übersichtslageplan der Anlage A.1.1 zum Geotechnischen Basisstreckenbericht zum BV ‚Neubau der Gashochdruckleitung ETL 180 Brunsbüttel – Hetlingen‘, FUGRO Germany Land GmbH /U1/ zu entnehmen.

2. Grundlagen

2.1 Allgemeine vertragsspezifische Unterlagen

Die allgemeinen vertragsspezifischen Unterlagen sind in Teil 1 des Geotechnischen Basisstreckenberichts zur Baugrunduntersuchung zum BV ‚Neubau der Gashochdruckleitung ETL 180 Brunsbüttel – Hetlingen‘ im Abschnitt 1.2.1 aufgelistet.

2.2 Objektspezifische fachtechnische Grundlagen

Zur Bearbeitung wurden folgen fachtechnische Unterlagen als Grundlagen herangezogen:

- /U1/ Geotechnischer Basisstreckenbericht zum BV ‚Neubau der Gashochdruckleitung ETL 180 Brunsbüttel – Hetlingen‘, FUGRO Germany Land GmbH
- /U2/ Digitale morphologische und geologische Kartenangaben (Google Earth .kmz-files) im Raum Brunsbüttel – Hamburg
- /U3/ Arbeitsblatt DWA-A 125 Rohrvortrieb und verwandte Verfahren, DWA Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Dezember 2008

- /U4/ Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW G 463 (A), DVGW Regelwerk, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Juli 2016
- /U5/ VdTÜV-Merkblatt – Rohrfernleitungen 1063 05.78, Technische Richtlinie zur statischen Berechnung eingeredeter Stahlrohre
- /U6/ RIL 836.4501 bis 836.4505 Querungen, Richtlinie der Deutschen Bahn AG
- /U7/ ATV DIN 18300: 2019-09 – Erdarbeiten
- /U8/ ATV DIN 18301: 2019-09 – Bohrarbeiten
- /U9/ ATV DIN 18304: 2019-09 – Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten
- /U10/ ATV DIN 18311: 2019-09 - Nassbaggerarbeiten
- /U11/ ATV DIN 18319: 2019-09 – Rohrvortriebsarbeiten
- /U12/ ATV DIN 18324: 2019-09 – Horizontalspülbohrarbeiten
- /U13/ Dietrich Stein, Grabenloser Leitungsbau, Verlag Ernst & Sohn, Ausgabe 2003
- /U14/ Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, FGSV Verlag, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe März 2010
- /U15/ H. Schad, T. Bräutigam, S. Bramm, Rohrvortrieb – Durchpressung begehrbarer Leitungen, Bauingenieur-Praxis, Verlag Ernst & Sohn, 2. Auflage 2008
- /U16/ Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW 463 (A) Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Errichtung, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Juli 2016
- /U17/ H. Schad, C. Vogt-Breyer, H.-J. Bayer: Horizontalbohrungen und Rohrvortrieb, GBTB, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 8. Auflage, Abschnitt 2.7, S. 505 – 558
- /U18/ Aktualisierte Planung der Querungen, mitgeteilt von GME per e-mail vom 05.03.2021 (ETL180_Trasse_210305.dwg und 180_2_03_09_Übersicht Querungen_20210305.xlsx) sowie vom 10.03.2021 (180_2_05_07_Bauwasserhaltungsabschnitte_10032021_rev03.xlsx).
- /U19/ Gas- und Wasserleitungskreuzungsrichtlinien 2012, Ausgabe 2017, der Deutschen Bahn AG (DB) in Vereinbarung mit dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW)
- /U20/ ETL180_Vermessungspunkte_201218.dxf (Geländehöhen inkl. Dammhöhen von Straßen und Bahnstrecken sowie von Grabensohlen), zur Verfügung gestellt von GME per e-mail vom 19.03.2021

3. Beschreibung zum Bauvorhaben

3.1 Standortsituation und Morphologie

Das Gelände im Bereich der Querung ‚M-02‘ ist flach und weist gemäß Einmessung der Aufschlussansatzpunkte Q100_neu und Q101_neu Geländehöhen von ca. +0,15 bis +0,78 m NHN auf. Der Querungsabschnitt befindet sich nach den vorliegenden digitalen morphologischen und geologischen Kartenangaben (Google Earth .kmz-files /U2/) im Bereich der ‚Dwogmarsch‘ ca. 2 km westlich des Altenmoores.

4. Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Geländeuntersuchungen

Die Geländeuntersuchungen zur geplanten Querung umfassen die Herstellung der nachfolgend beschriebenen direkten und indirekten Untergrundaufschlüsse. Die Feldarbeiten erfolgten im Zeitraum vom 08.-17.12.2020. Zusätzlich zum direkten Aufschluss wurden an den Lokationen noch jeweils indirekte Aufschlüsse mittels Drucksondierungen abgeteuft. In den direkten Aufschlüssen wurden ferner Proben für bodenmechanische Laboruntersuchungen genommen.

Anzumerken ist, daß ca. 200 m westlich vom aktuellen Standort der Querung ‚M-02‘ entsprechend des ursprünglichen Trassenverlaufes am zuvor geplanten Querungsstandort bereits die Aufschlüsse Q100_V_H und Q101_V_H im Zeitraum vom 26.03.-29.10.2020 niedergebracht wurden.

4.1.1 Direkte Aufschlüsse

Bei den direkten Untergrundaufschlüssen handelt es sich um Rammkernsondierungen ($\varnothing$ 80 - 40 mm), die am aktuellen Querungsstandort an den 2 Lokationen Q100_neu und Q101_neu bis auf Endteufen von 10 m bzw. 9,50 m unter OKG niedergebracht wurden. Am zuvor geplanten, ca. 200 m westlich liegenden Querungsstandort wurden an den Lokationen Q100_V_H und Q101_V_H Kernbohrungen (Bohr- $\varnothing$ 285 mm, Liner- $\varnothing$ 105 mm) bis auf Endteufen von jeweils 15 m unter OKG niedergebracht.

Die Steuerung der Bohr- und Sondierarbeiten, die bodenmechanische Ansprache des Bohrgutes und die Entnahme von Bodenproben wurden von Fugro kontinuierlich vor Ort vorgenommen. Der in den Aufschlüssen angetroffene Schichtenaufbau ist in Form von Bohr- bzw. Rammkernsondierprofilen sowie CPT-Drucksondierprofilen und Schichtenverzeichnissen in Anlage A.1 zusammengestellt.

4.1.2 Indirekte Aufschlüsse

Zur Erkundung der Lagerungsdichte bzw. der Konsistenz der Bodenschichten wurden neben den direkten Aufschlüssen an den Lokationen Q100_neu und Q101_neu Drucksondierungen (CPT nach DIN EN ISO 22476-1:2013-10) bis auf jeweils 10 m unter OKG und an den zuvor geplanten Lokationen

Q100_V_H und Q101_V_H Drucksondierungen bis auf jeweils 15 m unter OKG als indirekte Erkundungen durchgeführt.

4.2 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Zur bodenmechanischen Charakterisierung, zur bautechnischen Klassifizierung sowie zur Festlegung bodenphysikalischer Kennwerte wurden bodenmechanische Laboruntersuchungen durchgeführt, um in Zusammenhang mit den Messwerten aus den Drucksondierungen (CPT) Bodenkennwerte abzuleiten. Diese bilden die Grundlage für die Festlegung der Bodenklassen und Homogenbereiche nach DIN 18300:2019-09, DIN 18301:2019-09, DIN 18304:2019-09, DIN 18319:2012-09 (alte Norm mit Bodenklassifikation konform zu DWA – A125), DIN 18324:2016-09 sowie für die Bodengruppen nach DIN 18196:2011-05.

Durchgeführt wurden an Proben aus den Kernbohrungen Q100_V_H und Q101_V_H des ursprünglich geplanten, ca. 200 m westlich liegenden Querungsstandortes:

- 2 Bestimmungen der Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12:2020-07
- 2 Bestimmungen des Wassergehaltes nach DIN EN ISO 17892-1:2015-03
- 4 Bestimmungen der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17892-4:2017-04
(2 kombinierte Sieb- und Schlämmanalysen sowie 2 Naßsiebungen)
- 2 Bestimmungen der Kornform nach DIN EN ISO 14688-1:2020-11

Aus den Rammkernsondierungen Q100_neu und Q101_neu des aktuellen Standortes wurden keine weiteren Proben bodenmechanisch untersucht, da auf Grund der relativ geringen örtlichen Entfernung von ca. 200 m und analogen geologischen Verhältnisse von ähnlichen bis nur gering variierenden bodenmechanischen Bedingungen am ursprünglich geplanten und aktuellen Standort der Querung ‚M-02‘ ausgegangen werden kann.

4.3 Chemische Laboruntersuchungen

Am ursprünglich geplanten, ca. 200 m westlich liegenden Standort der Querung ‚M-02‘ wurde eine Grundwasserprobe aus der Kernbohrung Q101 für eine bauchemische Grundwasseranalyse auf Betonaggressivität nach DIN 4030-1:2008-06 und Stahlkorrosivität nach DIN 50929-3:2018-03 entnommen. Weiterführende Angaben s. Abschnitt 6.1.3.

5. Untersuchungsergebnisse

5.1 Regionalgeologische Situation

Die regionalgeologische Situation kann dem Geotechnischen Basisstreckenbericht zur Baugrunduntersuchung zum BV ‚Neubau der Gashochdruckleitung ETL 180 Brunsbüttel – Hetlingen‘ /U1/ entnommen werden.

5.2 Untergrundaufbau

Gemäß den in Anlage A.1 zusammengestellten Aufschlussprofilen werden nachfolgend die in den Bohrungen und Sondierungen angetroffenen Sedimente bzw. Bodenschichten aufgeführt und deren wesentlichen Merkmale beschrieben. Die Aufschlussprofile wurden in Schichten unterteilt und nach DIN 18196:2011-05 klassifiziert.

Die angetroffenen Sedimente sind größtenteils holozänen Alters und einerseits im Bereich der Marschen als marin - brackische Wattenmeerablagerungen (unter Gezeiteneinfluß) sowie im Bereich des küstennahen Geestrandes als limnische Moorablagerungen entstanden. Ab Geländeteufen von circa $\geq 8 - 9,5$ m unter OKG stehen pleistozäne Sande an. Auf Basis der ausgeführten Labor- und Felduntersuchungen kann folgendes vereinfachtes Baugrundmodell der Geologischen Einheiten (Schichtenfolgen) angegeben werden:

- | | |
|------------|--|
| Einheit 0: | Mutterboden (Oberboden) |
| Einheit 1: | Marsch / Klei – Wattenmeerablagerungen (Holozän)
Ton-Schluff-Feinsand-Gemische, vorwiegend schwach organisch
Bodengruppen nach DIN 18196:2011-05: TM, TA, OT, OU, SE, SU, SU* |
| Einheit 2: | Mudde – limnische, organisch-mineralische Moorablagerungen (Holozän),
Ton, schluffig, schwach sandig, organisch (Faulschlamm)
Bodengruppen nach DIN 18196:2011-05: F, OU, OT |
| Einheit 3: | Torf – limnische Moorbildung fossiler Hölzer (Holozän)
zersetzt sowie gering bis unzersetzt, teilweise eingebettet in die Mudden der Einheit 2
oder diesen auf- bzw. unterlagernd
Bodengruppen nach DIN 18196:2011-05: HZ, HN |
| Einheit 4: | Sande (Pleistozän)
Fein- bis Grobsande, $\pm$ kiesig, $\pm$ schluffig
Bodengruppen nach DIN 18196:2011-05: SE, SU, SU* |

Aus historisch – geologischer Sicht treten häufig Zyklen und Verzahnungen der drei holozänen Einheiten auf, so daß während des Holozäns seit ca. 10.000 Jahren (etwaiges Ende Pleistozän) in Zeiträumen eines erhöhten Meerwasserspiegels und flutreichen Perioden einerseits marin - brackische Kleie gebildet wurden und andererseits in ‚Trockenperioden‘ die Moore des Geestrandes vordrangen und darüber Mudden und Torfe bildeten, worauf in darauffolgenden Flutperioden wieder Kleie sedimentiert wurden, dabei relativ flachgründig in den ‚Dwogmarschen‘ und tiefgründiger in den ‚Kleimarschen‘ der Flußeinschnitte.

5.3 Bodenmechanische Feld- und Laboruntersuchungen

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen sind in unserem Geotechnischen Basisstreckenbericht 362-19-016 ,BGU zum BV ‚Neubau ETL 180 Brunsbüttel – Hetlingen‘ /U1/ in Anlage A.4 zusammengestellt.

5.4 Organoleptische Ansprache und chemische Analytik

Sämtliche Bodenproben wurden organoleptisch begutachtet. Im Ergebnis der Begutachtung ist festzustellen, dass keine Auffälligkeiten vorlagen. Dementsprechend wurden keine chemischen Untersuchungen auf Schadstoffe gemäß LAGA ausgeführt.

5.5 Grundwasser

Während der Aufschlußarbeiten wurde in den Bohr- und Sondierlöchern Grundwasser in folgenden Tiefen gem. Tabelle 5-1 angetroffen.

Die Grundwasserstände am ursprünglich geplanten Querungsstandort werden aufgrund der relativ geringen örtlichen Entfernung von ca. 200 m zum aktuellen Standort der Querung ‚M-02‘ mit berücksichtigt. Bei deren Vergleich kann von analogen hydrogeologischen Verhältnissen beider Querungsstandorte ausgegangen werden.

Tabelle 5-1 Erkundungsaktuelle Grundwasserstände (GW)

Aufschluß BH = Kernbohrung (Bore Hole) RKS = Rammkernsondierung Ansatzhöhe	BH Q100_V_H -0,37 m NHN	BH Q101_V_H +0,07 m NHN	RKS Q100_neu ^{*)} +0,15 m NHN	RKS Q101_neu ^{*)} +0,78 m NHN
GW, angebohrt t [m]	1,10	1,90	1,80	2,80
GW, angebohrt [m NHN]	-1,47	-1,81	-1,65	-2,02
Ruhe-GW t [m]	1,10	1,90	1,80	2,80
Ruhe-GW [m NHN]	-1,47	-1,81	-1,65	-2,02
Datum	07.10.2020	26.03.2020	08.12.2020	09.12.2020

^{*)} Aufschlüsse am aktuellen Querungsstandort

Gemäß Tabelle 5-1 liegt am aktuellen Querungsstandort ein sich in ca. -1,6...-2,0 m NHN einpegelndes Ruhe – Grundwasserniveau bei leicht gespannten Grundwasserverhältnissen vor.

In der Folge von Starkregenfällen muss ferner mit erheblichen Schwankungen der Grundwasserstände gerechnet werden. Die Grundwasserstände können bis auf Geländeoberkante (OKG) und darüber hinaus ansteigen.

6. Bewertung der Untersuchungsergebnisse

6.1 Baugrundmodell / Homogenbereiche

Neben einer bodenmechanischen Klassifizierung bzw. Einordnung der Schichten im Baugrundmodell nach DIN 18196:2011-05 wurden auch bautechnische Homogenbereiche zugewiesen, um den Untergrund nach ATV DIN 18300:2019-09 für Erdarbeiten zu charakterisieren.

Die Probenentnahme für die nachfolgend aufgeführten bodenmechanischen Laborversuche erfolgte jedoch aus den Kernbohrungen Q100_V_H und Q101_V_H des ursprünglich geplanten, ca. 200 m westlich liegenden Querungsstandortes, die aufgrund der analogen Baugrundsichtung am aktuellen Querungsstandort auch für diesen als repräsentativ angesehen werden können.

6.1.1 Wassergehalt und Konsistenz

An jeweils einer Klei- und 1 Mudde-Bodenprobe wurden der Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1:2015-03 und die Konsistenz nach DIN EN ISO 17892-12:2020-07 bestimmt. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 6-1 zusammengestellt.

Tabelle 6-1 Wassergehalt und Konsistenz nach DIN EN ISO 17892-1:2015-03 / DIN EN ISO 17892-12:2020-07

Aufschluß	Tiefe (m)	Bodengruppe (Bodenart)	Wassergehalt (%)	Konsistenz I _c
Q100_V_H	1,0	TM (Klei)	30,9	0,72 weich
Q101_V_H	8,0	OT-F (Mudde)	124,9	0,43 breiig

6.1.2 Korngrößenverteilung und Kornform

Zur Ermittlung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17892-4:2017-04 wurden aus der Kernbohrung Q101_V_H an 1 Klei-Probe (t = 1,0 m unter OKG) und an 1 Mudde-Probe (t = 8,0 m unter OKG) jeweils eine kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse sind dem Anlagenkomplex A.4.1 zum Geotechnischen Basisstreckenbericht zum BV „Neubau der Gashochdruckleitung ETL 180 Brunsbüttel – Hetlingen“, FUGRO Germany Land GmbH /U1/ zu entnehmen.

Danach handelt es sich beim Klei um

- Ton, stark schluffig, fein- bis mittelsandig, schwach organisch der Bodengruppe TM nach DIN 18196:2011-05

Bei der Mudde handelt es sich um

- Ton, stark schluffig, schwach fein- bis mittelsandig, organisch der Bodengruppe OT-F nach DIN 18196:2011-05

Bei den pleistozänen Sanden, die mittels 2 Sandproben aus der Kernbohrung Q101_V_H ($t = 11,0$ m und $14,0$ m unter OKG) beprobt wurden, handelt es sich um eng gestufte Sande, die als

- Fein- bis Mittelsande (mit teilweise geringen Grobsandanteilen)
jeweils der Bodengruppe SE nach DIN 18196:2011-05

analysiert wurden.

Kiese, Steine oder Gerölle wurden bis zu den Erkundungsendteufen der Aufschlüsse Q100_V_H und Q101_V_H in max. 15 m unter OKG (Kernbohrungen am ursprünglichen Querungsstandort) sowie Q100_neu und Q101_neu in max. 10 m unter OKG (Rammkernsondierungen am aktuellen Querungsstandort) nicht angetroffen, jedoch ist deren Existenz im weiteren Teufenverlauf nicht auszuschließen.

Ferner wurden die Kornform von 2 pleistozänen Sandproben nach DIN EN ISO 14688-1:2020-11 anhand von Vergleichsbildern nach KRUMBEIN & SLOSS bestimmt. Die Ergebnisse sind der Anlage A.1.3 zu entnehmen und wie folgt einzuschätzen:

- aus BQ Q101_V_H $t = 11,0$ m Fein- bis Mittelsand (fS, ms) der Bodengruppe SE
Sphärizität: 0,7 – 0,9 mittelsphärisch bis sphärisch
Rundung: 0,5 – 0,7 mittel bis stark kantengerundet
- aus BQ Q101_V_H $t = 14,0$ m Fein- bis Mittelsand (mS, fs*, gs') der Bodengruppe SE
Sphärizität: 0,7 – 0,9 mittelsphärisch bis sphärisch
Rundung: 0,5 – 0,7 mittel bis stark kantengerundet

6.1.3 Sulfatgehalt, Betonangriff und Stahlkorrosivität

Aus der Kernbohrung Q101_V_H am ursprünglich geplanten, ca. 200 m westlich liegenden Querungsstandort wurde eine Grundwasserprobe hinsichtlich der Bestimmung der Betonaggressivität nach DIN 4030-1:2008-06 und Stahlaggressivität nach DIN 50929-3:2018-03, die den Sulfatgehalt, pH-Wert, kalkangreifendes CO_2 , Ammonium, Magnesium und weitere Inhaltsstoffe beinhalten, entnommen.

Aufgrund der örtlichen Nähe und analogen hydrogeologischen Situation kann diese Analyse auch für den aktuellen Standort der Querung ‚M-02‘ als repräsentativ angesehen werden.

In Sichtung der bauchemischen Analysenwerte ist das Grundwasser hinsichtlich Betonangriff in die Kategorie ‚<XA1 nicht angreifend‘ und bezüglich Stahlangriff als ‚sehr gering angreifend‘ in Bezug auf Mulden-/Lochkorrosion und Flächenkorrosion, sowohl im Unterwasserbereich als auch an der Wasser/Luft-Grenze, einzustufen.

6.2 Zusammenstellung der Bodenmechanischen Kennwerte

Nachfolgend werden die in Feld- und Laborversuchen des Untersuchungsgebietes und aus Erfahrungswerten ermittelten bodenmechanischen Kennwerte tabellarisch zusammengestellt.

Tabelle 6-2 Bodenklassifikation und Bodenmechanische Kennwerte

Geologische Einheit (Schicht)	Boden- gruppe (DIN 18196)	Boden- klasse bis 08/2015 (DIN 18300)	Wichte γ [kN/m ³]	Wichte unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	Effek- tiver Reibun- gswink el φ' [°]	Effektive Kohäsion c' [kN/m ²]	UndrÄnierte Scherfestig- keit c_u [kN/m ²]	Steife- zahl E_s [MN/m ²]	Durch- lässig- keits- beiwert k_f [m/s]
1 - Marsch / Klei (Holozän)	TM, TA, OT, OU, SE, SU, SU*	4, 2	15 - 17	6 - 8	18 - 20	2 - 5	20 - 50 ¹⁾ 5 - $\leq$ 20 ²⁾	2 - 5 ¹⁾ 0,5 - 2 ²⁾	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁸
2 - Mudde (Holozän)	F, OU, OT	2	13,5-15,5	5 - 7	15 - 18	0 - 1	5 - $\leq$ 20 ²⁾	0,5 - 2	10 ⁻⁸ - 10 ⁻¹⁰
3 - Torf (Holozän)	HZ, HN	2, 3 ³⁾	11 - 13	1 - 3	10 - 15	0	$\approx$ 0 $\approx$ (15 - 25) ⁴⁾	0 - 0,5	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁹
Unterhalb ca. 8 - 9,5 m Teufe unter OKG: 4 - Sande (Pleistozän)	SE, SU, SU*	3, 4	20 - 22	10 - 12	28 - 33	0 - 1	keine c_u - Angabe, hier relevant: Lage- rungsichte: locker ($I_D \leq 0,35$) bis mitteldicht ($0,35 < I_D \leq 0,65$)	10 - 40 ⁵⁾	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶

¹⁾ oberhalb des Grundwasserspiegels bei weicher – steifer Konsistenz und $c_u \geq 20 \text{ kN/m}^2$

²⁾ unterhalb des Grundwasserspiegels bei flüssiger bis breiiger Konsistenz und $c_u \leq 20 \text{ kN/m}^2$

³⁾ beim Ausheben standfest bleibende Torfe der Gruppe HN mit geringem Wassergehalt

⁴⁾ abgeschätzte undrÄnierte Scherfestigkeit für bautechnische Zwecke aus dem CPT-Spitzendruck abgeleitet

Bei Torfen kann es infolge der nicht zersetzten bzw. nur teilweise zersetzten Pflanzenfasern und Holzstücke zu einer erhöhten Scherfestigkeit kommen, die sich nicht aus der Bodenmatrix sondern aus der Bewehrungswirkung durch die Pflanzenfasern und Holzstücke ergibt.

⁵⁾ vorherrschend körniges Material mit in der Regel $\leq 15\%$ (untergeordnet 15-40%) Feinanteilen und lockerer ($I_D \leq 0,35$) bis mitteldichter ($0,35 < I_D \leq 0,65$) Lagerung

6.3 Bautechnische Klassifizierung (Homogenbereiche)

Die bautechnische Klassifizierung im Rahmen der ATV DIN 18300:2019-09, ATV DIN 18301:2019-09, ATV DIN 18304:2019-09, ATV DIN 18311:2019-09, ATV DIN 18319:2012-09 und ATV DIN 18324:2016-09 ist der nachfolgenden Tabelle 6-3 zu entnehmen:

Tabelle 6-3 Bautechnische Klassifikation der Schichtenfolgen

Geologische Einheit	Boden- gruppe DIN 18196	ATV DIN 18300 "Erda- beiten"	ATV DIN 18301 "Bohr- arbeiten"	ATV DIN 18311 "Nassbagger- arbeiten"	ATV DIN 18304 "Pfählvortrieb (Ramm-, Rüttel- und Verpreß- arbeiten)"	ATV DIN 18324 "Horizontal- spülbohr- arbeiten"	ATV DIN 18319 Rohrvortrieb (2012-09)
Mutterboden (Oberboden)	-	HBE 0	-	-	-	-	-
1 - Marsch / Klei (Holozän)	vorwieg. TM, TA, OT, OU	HBE 1	HBB 2 ¹⁾ – HBB 1 ²⁾	HBNB 2 ¹⁾ – HBNB 1 ²⁾	HBR 2 ¹⁾ – HBR 1 ²⁾	HBHD 2 ¹⁾ – HBHD 1 ²⁾	LBO 2 ¹⁾ – LBO 1 ²⁾
2 - Mudde (Holozän)	F, OU, OT	HBE 2	HBB 2 ¹⁾ – HBB 1 ²⁾	HBNB 2 ¹⁾ – HBNB 1 ²⁾	HBR 2 ¹⁾ – HBR 1 ²⁾	HBHD 2 ¹⁾ – HBHD 1 ²⁾	LBO 2 ¹⁾ – LBO 1 ²⁾
3 - Torf (Holozän)	HZ, HN	HBE 3	HBBO 1 (HZ) HBBO 2 (HN)	HBNB-O1 (HZ) HBNB-O1 (HN)	HBR-O1(HZ) HBR-O2 (HN)	HBHD-O1 (HZ) HBHD-O2 (HN)	LO
Unterhalb ca. 8 - 9,5 m Teufe unter OKG: 4 - Sande (Pleistozän)	SE, SU, SU*	HBE 4	HBB 3 ³⁾	HBNB 3 ⁴⁾ HBNB 4 ⁵⁾	HBR 3 ³⁾	HBHD 3 ³⁾	LNE1 – LNE2 ³⁾

¹⁾ bei weicher – steifer Konsistenz und $c_u > 20 \text{ kN/m}^2$

²⁾ bei flüssiger bis breiiger Konsistenz und $c_u \leq 20 \text{ kN/m}^2$

³⁾ vorherrschend körniges Material mit in der Regel $\leq 15\%$ (untergeordnet 15-40%) Feinanteilen und lockerer ($I_D \leq 0,35$) bis mitteldichter ($0,35 < I_D \leq 0,65$) Lagerung

⁴⁾ HBNB 3 bei Kiesanteil $\leq 10\%$ sowie Feinkornanteilen ($\leq 0,063 \text{ mm}$) $\leq 15\%$

⁵⁾ HBNB 4 bei Kiesanteil $\leq 10\%$ sowie Feinkornanteilen ($\leq 0,063 \text{ mm}$) $> 15\%$

Da sich die Literatur zu Vortriebsarbeiten sowie die noch immer aktuellen Arbeitsblätter der DWA-A 125 auf die Klassifizierung der vor August 2015 gültigen ATV DIN 18319:2012-09 beziehen, werden in Tabelle 6-3 auch die alten Klassen als grobe Gliederung für den Rohrvortrieb verwendet und in den Tabellen 6-4 bis 6-6 mit Bandbreiten für Bodenparameter unterlegt.

Tabelle 6-4: Homogenbereich LBO (Rohrvortrieb nach ATV DIN 18319:2012-09)

Nr.	Eigenschaften / Kennwerte	Homogenbereich LBO 1 - LBO 2
1	Ortsübliche Bezeichnung	Klei bzw. Mudde (Holozän)
2	Kornverteilung	siehe Körnungsband für HBE 2 im Basisstreckenbericht
3	Bodengruppe	vorw. TM, TA-OT, F-OT
4	Anteil Steine und Blöcke (geschätzt) / mineralogische Zusammensetzung	~ 0 % für Steine ~ 0 % für Blöcke

Nr.	Eigenschaften / Kennwerte	Homogenbereich LBO 1 - LBO 2
5	Lagerungsdichte I_D [%] aus Drucksondierung korreliert	nicht anwendbar
6	Dichte $[g/cm^3]$ im natürlichen Zustand	1,35 – 1,55
7	Wassergehalt [%]	42 – 171
8	Konsistenz, Konsistenzzahl I_c [-] nach DIN EN ISO 17892-12:2020-07	LBO 1: breiig - sehr weich; $I_c < 0,50$ LBO 2: weich - steif; $0,50 \leq I_c < 1,00$ (oberhalb GW)
9	Plastizität und Plastizitätszahl I_p [%] nach DIN EN ISO 17892-12:2020-07	Mudde (breiig – weich): $I_p = 55 - 95$; $W_L = 95 - 145$; $W_P = 36 - 56$ Mudde (weich – steif): $I_p = 72 - 78$; $W_L = 112 - 115$; $W_P = 34 - 43$
10	Undrained Scherfestigkeit c_u [kPa] mit $c_u \approx (q_t - \sigma'_{vo})/N_k$ ($15 \leq N_k \leq 20$)	LBO 1: $c_u \leq 20$, i.d.R. $5 - \leq 20$ (breiig – weich unterhalb GW) LBO 2: $c_u \approx 20 - 50$ (weich - steif oberhalb GW)
11	Organischer Anteil [%]	allgemein: 5,6 – 12,6 speziell: 14,5 – 24,0 (bei torfigen Mudden)
12	Reibungswinkel $[\phi]$ Kohäsion $[kN/m^2]$	$\phi' = 15 - 18$ $c' = 0 - 1$
13	Kalkgehalt [%]	0 – 4,4
14	Durchlässigkeit $[m/s]$	$\approx 10^{-7} \dots 10^{-10}$
16	Abrasivität	vernachlässigbar
17	Sensitivität [-] nach DIN EN ISO 14688-2:2020-11	niedrig (< 8) für organogene Böden bis mittel ($> 8 - < 30$) für organische Böden (Sensitivität abgeschätzt nach Bjerrum (1954) aus Liquiditätszahl I_L)

Tabelle 6-5: Homogenbereich LO (Rohrvortrieb nach ATV DIN 18319:2012-09)

Nr.	Eigenschaften / Kennwerte	Homogenbereich LO
1	Ortsübliche Bezeichnung	Torf (Holozän)
2	Kornverteilung	nicht anwendbar
3	Bodengruppe	HN, HZ
4	Anteil Steine und Blöcke (geschätzt) / mineralogische Zusammensetzung	~ 0 % für Steine ~ 0 % für Blöcke
5	Lagerungsdichte I_D [%] aus Drucksondierung korreliert	nicht anwendbar
6	Dichte $[g/cm^3]$ im natürlichen Zustand	1,1 – 1,3
7	Wassergehalt [%]	HN: 53 – 104 HZ: 190 - 460
8	Konsistenz, Konsistenzzahl I_c [-] nach DIN EN ISO 17892-12:2020-07	nicht anwendbar
9	Plastizität und Plastizitätszahl I_p [%] nach DIN EN ISO 17892-12:2020-07	nicht anwendbar
10	Undrained Scherfestigkeit c_u [kPa] mit $c_u \approx (q_t - \sigma'_{vo})/N_k$ ($15 \leq N_k \leq 20$)	$c_u \approx 0$ (aus Bodenmatrix) $15 \leq c_u \leq 25$ für bautechnische Zwecke Bei Torfen kann es infolge der nicht zersetzten bzw. nur teilweise zersetzten Pflanzenfasern und Holzstücke zu einer erhöhten Scherfestigkeit kommen, die sich nicht aus der Bodenmatrix sondern aus der Bewehrungswirkung durch die Pflanzenfasern und Holzstücke ergibt.
11	Organischer Anteil [%]	HN: 29,3 – 90,9 HZ: 59,4 – 83,6

Nr.	Eigenschaften / Kennwerte	Homogenbereich LO
12	Reibungswinkel [°] Kohäsion [kN/m²]	$\varphi' = 10 - 15$ $c' \approx 0$
13	Kalkgehalt [%]	-
14	Durchlässigkeit [m/s]	$\approx 10^{-5} \dots 10^{-8}$
16	Abrasivität	vernachlässigbar
17	Sensitivität [-] nach DIN EN ISO 14688-2:2020-11	nicht anwendbar
18	Benennung und Beschreibung	organischer Boden aus zersetztem (HZ) bis nicht zersetztem Torf (HN)

Tabelle 6-6 Homogenbereich LNE (Rohrvortrieb nach ATV DIN 18319:2012-09)

Nr.	Eigenschaften / Kennwerte	Homogenbereich LNE 1 – LNE 2
1	Ortsübliche Bezeichnung	Sande (Pleistozän)
2	Kornverteilung	siehe Körnungsband für HBE 4 im Basisstreckenbericht
3	Bodengruppe	SE, SU, SU*
4	Anteil Steine und Blöcke (geschätzt) / mineralogische Zusammensetzung	< 5 %
5	Lagerungsdichte I_D [%] aus Drucksondierung korreliert	$\approx 20 - 60$ locker bis mitteldicht
6	Dichte [g/cm³]	1,70 – 2,10
7	Wassergehalt [%]	-
8	Konsistenz, Konsistenzzahl I_c [-] nach DIN EN ISO 17892-12:2020-07	nicht relevant
9	Plastizität und Plastizitätszahl I_p [%] nach DIN EN ISO 17892-12:2020-07	nicht relevant
10	Undrained Scherfestigkeit c_u [kN/m²] nach Drucksondierung	nicht relevant
11	Organischer Anteil [%]	$\leq 2,2$
12	Reibungswinkel [°] Kohäsion [kN/m²]	27 – 30 0 – 1
13	Kalkgehalt [%]	-
14	Durchlässigkeit [m/s]	$10^{-4} \dots 10^{-6}$
16	Abrasivität	nicht relevant
17	Sensitivität	nicht relevant

7. Folgerungen und Bautechnische Empfehlungen

7.1 Rohrvortrieb

Grundsätzlich ist der erkundete Baugrund für die Verlegung der Hochdruckgasleitung in geschlossener Bauweise geeignet. Auf Grundlage der direkten und indirekten Aufschlüsse werden die relevanten Schichten im möglichen Bereich des Rohrvortriebes gemäß DWA-A 125 und ATV DIN 18319:2012-09 (alte Norm) mit LBO 1 sowie LO für die bis in Teufen von ca. 8,0 – 9,5 m unter OKG anstehenden breiigen bis sehr weichen Kleie und Mudden der Bodengruppen TM-TA und F-OT sowie Torfe der Bodengruppen HN-HZ klassifiziert. Die Bandbreiten der Bodenkennwerte dieser geologischen Einheiten 1 bis 3 sind in Abschnitt 6.3 (Tabelle 6-2) zusammengestellt.

In diesen breiigen bis sehr weichen Kleien und Mudden der geologischen Einheiten 1 bis 3 sind gemäß DWA-A 125 nur die nichtsteuerbaren Verfahren (Horizontalramme/-presse mit offenem Rohr bzw. Horizontal-Pressbohrgerät) durchführbar.

In den größtenteils breiigen bis sehr weichen Kleiböden und Mudden (Homogenbereich LBO 1) sowie Torfen (Homogenbereich LO) unterhalb des Grundwasserspiegels zwischen ca. -2,0 m NHN bis ca. -8,0 m (...max. -8,7 m) NHN wird aus den Ergebnissen der Drucksonden für die Kleie und Mudden (LBO 1) eine undränierete Scherfestigkeit $c_u \approx 5 - \leq 20$ kPa abgeschätzt, da in diesen Einheiten 1 und 2 kein nennenswerter Spitzenwiderstand ($q_c \leq 0,5$ MPa) und keine nennenswerte Mantelreibung ($f_s \leq 0,03$ MPa) festgestellt wurden. Im Torf (LO) werden leicht höhere Spitzendruckwerte ($q_c \leq 0,8$ MPa) und Mantelreibungen ($f_s \leq 0,08$ MPa) erreicht, die eine Korrelation zur undränierten Scherfestigkeit $c_u \approx 15 - \leq 25$ kPa zulassen.

Darunter stehen ab ca. -8,0 m (...max. -8,7 m) NHN die pleistozänen Sande der geologischen Einheit 4 (Bodengruppe SE bei vorwiegend lockerer bis mitteldichter Lagerung, klassifiziert zu LNE 1 – LNE 2) an, die für den geplanten Rohrvortrieb im Mikrotunnelbau-Verfahren als steuerbarem Verfahren gemäß DWA-A 125 und ATV DIN 18319 (alte Norm) geeignet sind.

7.1.1 Allgemeine Angaben und Annahmen

An der Querung ‚M-02‘ soll das Stahlrohr der ETL 180 mit einem Nennquerschnitt von 800 mm im Abstand von ca. ≥ 4 m unter der Landstraße L168 mit nebenliegendem Landwirtschaftsweg und Drainagegraben im Preßbohrverfahren nach ATV DIN 18319:2019-09 verlegt werden.

Während der Baugrunderkundung im Zeitraum vom 08.-09.12.2020 wurde Grundwasser in den Aufschlüssen Q100_neu und Q101_neu in ca. 1,8...2,8 m unter OKG (entspricht ca. -1,6...-2,0 m NHN) angetroffen. In niederschlagsreichen Zeiten ist ein weiterer Anstieg bis zur Geländeoberkante (OKG) möglich bzw. nicht auszuschließen.

Unter Beachtung der Mindestüberdeckung nach DWA – A 125 von $1,5 \times D_a$ beim Pressen mit offenem Stahlrohr bzw. mit Horizontal-Pressbohrgerät liegt die Oberkante des beim nicht

steuerbaren Rohrvortrieb zur Verpressung möglichen Produktrohres DN 800 bei ca. -4,6 m NHN, wenn man die südlich neben der Landstraße L168 liegende tiefe Grabensohle in ca. -3,35 m NHN /U19/ als Bezugshöhe annimmt.¹⁾

In diesem Fall würde das Vortriebsrohr in den geologischen Einheiten 1 bis 3 (Klei, Mudde und Torf) verlaufen (s. geologischer Schnitt in Anlage A2).

Soll das steuerbare Mikrotunnelbau-Verfahren wie geplant zur Anwendung kommen, ist eine weitaus tiefere Verlagerung der Vortriebsstrecke in die pleistozänen Sande mit Rohroberkante des in diesem Falle vorzusehenden Produktrohres (z.B. DN 800 mit $D_a = 813$ mm) in ca. -9,2 m NHN erforderlich.

¹⁾Hinweis: Bei direkter Einbringung des Produktrohres DN 800, wird parallel in einem horizontalen Abstand (Rohrachsen) von ca. 4,0 m zur Hauptleitung (DN 800), die Verlegung eines trassenbegleitenden LWL-Kabels vorgesehen. Dazu ist eine zweite Bohrung notwendig. Diese soll mittels HDD-Verfahren durchgeführt werden. In den Bohrkanaal wird ein HDPE-Kabelleerrohr ($D_a = 225$ mm) eingezogen. In das Innere des Kabelleerrohres werden zwei weitere entsprechend kleiner dimensionierte Kabelleerrohre ($D_a = 50$ mm) eingebracht.

7.1.2 Verfahren

Vorschläge zu geeigneten Rohrvortriebsverfahren erfolgen auf der Grundlage des Anhanges B des Arbeitsblattes DWA-A 125 /U3/ sowie den Angaben in /U13/. Nach der Tabelle im Anhang B wird der Einsatz von Mikrotunnelbau (DWA-A 125 Abschnitt 6.1.3.1) in breiigen bis weichen Böden (LBM 1 und LBO 1) im und oberhalb des Grundwassers als kritisch eingeschätzt. Nach den Angaben in /U13/ werden breiige bis weiche Böden mit Konsistenzzahlen $I_c < 0,5$ in die Klasse S4 eingeordnet, die als ‚nicht steuerbar‘ gilt. Das heißt, steuerbare Verfahren (DWA-A 125 Abschnitt 6.1.3.1) sollten innerhalb der geologischen Einheit 1, 2 und 3 nach /U13/ nicht zum Einsatz kommen.

In Böden mit breiiger bis weicher Konsistenz der geologischen Einheiten 1 – 3 können auf Grundlage der Erfahrungswerte in Anhang B des Arbeitsblattes DWA-A 125 demnach nur die unter Abschnitt 6.1.2 der DWA aufgelisteten nicht steuerbaren Verfahren zum Einsatz kommen.

Innerhalb der geologischen Einheit 4 (pleistozäne Sande) können hingegen die unter Abschnitt 6.1.3 der DWA-A125 aufgelisteten steuerbaren Verfahren eingesetzt werden, wobei im Zuge des Planungsfortschritts der Mikrotunnelbau priorisiert wurde. Zur Lage der Vortriebsstrecke in den pleistozänen Sanden müßte die OK.Vortriebsrohr (hier: Produktrohr DN 800, z.B. $D_a = 813$ mm bzw. 820 mm) etwa in 9,2 m unter OKG (ca. -9,2 m NHN) angeordnet werden.

Tabelle 7-1: Mögliche Verfahren des Rohrvortriebes nach DWA-A 125

Abschnitt nach DWA-A 125	Verfahren	Rohr außen- durchmesser D_a (mm)	Vortriebslänge für homogene Böden (m)	Mindestüberdeckung nach DWA-A125 (GW 304)
6.1.2.2.1 9.5	Horizontalramme/- presse mit offenem Rohr	≤ 2000	$(D_a \text{ in mm})/10$	$1,5 \times D_a = 1,25$ m unter Grabensohle in -3,35 m NHN, OK.Rohr in -4,6 m NHN

Abschnitt nach DWA-A 125	Verfahren	Rohr außen- durchmesser D_a (mm)	Vortriebslänge für homogene Böden (m)	Mindestüberdeckung nach DWA-A125 (GW 304)
				(ohne Schutzrohr für DN 800 mit $D_a = 0,813$ m bzw. 0,82 m)
6.1.2.2.2 9.5	Horizontal- Pressbohrgerät	≤ 1600	$(D_a \text{ in mm})/10$	$1,5 \times D_a = 1,25$ m unter Grabensohle in -3,35 m NHN, OK.Rohr in -4,6 m NHN (ohne Schutzrohr für DN 800 mit $D_a = 0,813$ m bzw. 0,82 m)
6.1.3.1.2	Mikrotunnelbau mit Schneckenförderung	≤ 1100	80 - 100	5,5 m unter Grabensohle in -3,35 m NHN, OK.Rohr in ca. -9,0 m NHN für gesteuerte Verfahren für gesteuerte Verfahren mit Schutzrohr in den pleistozänen Sanden
6.1.3.1.3	Mikrotunnelbau mit Spülförderung	≤ 2500	80 - 600	5,5 m unter Grabensohle in -3,35 m NHN, OK.Rohr in ca. -9,0 m NHN für gesteuerte Verfahren mit Schutzrohr in den pleistozänen Sanden
6.1.3.2.2	Pilotrohr-Vortrieb mit Bodenverdrängung	≤ 1200	60 - 100	5,5 m unter Grabensohle in -3,35 m NHN, OK.Rohr in ca. -9,0 m NHN für gesteuerte Verfahren mit Schutzrohr in den pleistozänen Sanden
6.1.3.2.3	Pilotrohr-Vortrieb mit Bodenentnahme	≤ 1200	60 - 100	5,5 m unter Grabensohle in -3,35 m NHN, OK.Rohr in ca. -9,0 m NHN für gesteuerte Verfahren mit Schutzrohr in den pleistozänen Sanden

Bei der durchgeführten Baugrunderkundung wurden innerhalb der geologischen Einheiten 1 bis 4 keine Steine und Blöcke bzw. Bohrhindernisse angetroffen, die jedoch nicht vollkommen ausgeschlossen werden können.

Bei der Auswahl des Rohrmaterials und Bohrverfahrens sind die Höhe des Grundwassers, der Einfluss des hydrostatischen Drucks auf das Rohr und die Spundwände am Start- und Zielschacht zu berücksichtigen und entsprechende erforderliche statische Nachweise zu erbringen.

Ergibt sich während der Ausführung die Gefahr von Ausfließen von Boden, Wassereintritten, Vortriebshebungen, Schäden an Vortriebsrohren oder baulichen Anlagen, hat der Auftragnehmer unverzüglich die notwendigen Maßnahmen zur Verhütung von Schäden zu treffen und die Gefährdung sowie bereits eingetretene Schäden dem Auftraggeber unverzüglich mitzuteilen.

7.1.3 Setzungsprognose infolge Rohrvortrieb

Im Rahmen der Planung von Rohrvortrieben ist die Prognose von Setzungen des Baugrunds oberhalb der Leitung und eine daraus abgeleitete Bewertung möglicher konstruktiver Schäden von Bestandbebauung und Versorgungsleitungen sowie Sicherungsmaßnahmen zu ermitteln.

Die zu erwartenden Setzungen im Bereich der Untersuchungsstrasse infolge der geplanten Durchörterung ergeben sich aus dem Verhältnis des Rohrdurchmessers zur Überdeckungshöhe in Abhängigkeit des anstehenden Bodens. Für eine überschlägige Berechnung der Setzungen infolge von Durchörterungen wird der Ansatz nach SCHERLE verwendet, der sich im Vergleich zu Analytischen Verfahren als überschlägliche Methode bewährt hat. Der Ansatz nach Scherle ist in /U13/ beschrieben.

Hierbei handelt es sich um eine vereinfachte Setzungsprognose in homogenem Baugrund auf Grundlage von Überschnitt, Bodenmehrentnahme und allgemeiner Auflockerung. Die maximale Setzungsamplitude im Mittelpunkt der Setzungsmulde ergibt sich wie folgt:

$$S_{max}(cm) = \frac{D_a}{1 + \frac{h}{2D_a}} \cdot B_K$$

$$L(m) = D_a + h$$

mit:

D_a = Rohraußendurchmesser (m)

B_K = Bodenkennziffer (-)

h = Überdeckungshöhe (m)

L = Länge bzw. Einflussbreite der Setzungsmulde (m)

Die Zuordnung der Bodenkennziffer kann Tabelle 7-2 entnommen werden.

Tabelle 7-2: Zuordnung Bodenkennziffer B_K

Lagerungsdichte Konsistenz	sehr dicht	dicht	locker	sehr locker	halbfest	steif	weich	breiig
B_K	1,5	2	3	4	2	3	4	6

Anhand einer vorwiegend breiigen bis weichen Konsistenz im Überdeckungsbereich des Rohrvortriebes sowie einer angenommenen Überdeckungshöhe von 5,4 m unter der Landstraße L168 (für nicht steuerbare Verfahren) bzw. 9,8 m unter der Landstraße L168 (für steuerbare Verfahren) werden die maximale Setzung im Mittelpunkt der Setzungsmulde zu jeweils ca. 1,0 – 1,5 cm (siehe Tabelle 7-3) abgeschätzt. Anzumerken ist, daß gemäß der vorstehenden Setzungsformel von Scherle bei zunehmender Tiefe rechnerisch eine Setzungsminderung eintritt, die jedoch durch den größeren Schutzrohrdurchmesser beim steuerbaren Microtunneling-Verfahren rechnerisch wieder ausgeglichen wird, so daß bei

beiden Verfahren gem. Tabelle 7-3 etwa dieselben Setzungsbeträge von ca. 1,0 – 1,5 cm zu erwarten sind.

Tabelle 7-3: Setzungsprognose für 5,4 m / 9,8 m Überdeckungshöhe (Üh)

Rohrdurchmesser	Rohrvortrieb	Setzungsprognose (cm)	Länge der Setzungsmulde (m)
DN 800 / D _a = 0,813...0,82 m	Nicht steuerbar Üh = 5,4 m unter OK.Straße L168	1,0 – 1,5	6,2
DN 800 / D _a = 0,813...0,82 m	Steuerbar Üh = 9,8 m unter OK.Straße L168	1,0 – 1,5	11,0

Die Setzungsprognose kann nur dann eingehalten bzw. unterschritten werden, wenn der Rohrvortrieb mit entsprechend geeigneter Technik und einer gewissenhaften Bauausführung erfolgt. Es wird darauf hingewiesen, dass im Zuge der Durchörterung vorlaufende Hebungen in der Größenordnung der möglichen Setzungen auftreten können.

7.2 Beweissicherung

Aus geotechnischer Sicht wird im entsprechenden Einflussbereich eine Beweissicherung durch Fotos und geodätische Einmessung der Geländeoberfläche an den Press- und Zielgruben beidseitig des Grabens vor und nach der Bauausführung empfohlen. Die Bauarbeiten sind so zu planen und auszuführen, dass Schäden (Hebungen oder Setzungen) im Einflussbereich des Straßendamms und des nebenliegenden Drainagegrabens vermieden werden. Der Einflussbereich einschließlich eines geeigneten Sicherheitszuschlages wird mit jeweils 50,0 m in beiden Richtungen von der projizierten Mittelachse der geplanten Querung ‚M-02‘ empfohlen. Insgesamt sollen ca. 100,0 m Profillänge beidseitig des Verkehrsdammes der Landstraße, ausgehend von den Press- bzw. Zielgruben sowie mit Erfassung des Landwirtschaftsweges und der Grabenufer, geodätisch in Lage und Höhe vor und nach der Baumaßnahme eingemessen werden.

7.3 Fremdleitungen

Die genaue Lage der Fremdleitungen muss bei der Planung des Verlaufs und der Tiefe unter OKG sowie der Lage von Start- und Zielschacht recherchiert und beachtet werden. Der lichte Abstand zwischen Fremdleitungen und der Gashochdruckleitung ETL 180 im Kreuzungspunkt muss mit den Fremdleitungsbetreibern abgestimmt werden.

In /U13/ werden zu sich kreuzenden Gasleitungen keine spezifischen Hinweise gegeben, da die aus der Kreuzung ergebenden Probleme und Schwierigkeiten in der Regel immer speziell besprochen werden müssen.

Laut /U16/ darf für Kreuzungen von Rohrleitungen ein Mindestabstand von 0,2 m nicht unterschritten werden.

7.4 Press- und Zielgrube

Die Errichtung der Start- bzw. Press- und Zielgrube hat unter Beachtung der Angaben in DIN 4124:2012-01 und DIN 4123:2013-04 zu erfolgen. Unter Beachtung der Lage- und Höhensituation des in ca. +0,2...+0,8 m NHN liegenden Geländes, des Straßendamms, des unmittelbar nördlich liegenden Landwirtschaftsweges und des unmittelbar südlich davon liegenden Drainagegrabens wird eine Presslänge von ca. 50 m abgeschätzt.

Die genaue Lage von Fremdleitungen muss mit den jeweiligen Betreibern im Vorfeld der Baumaßnahme genau erörtert werden und die Lage des geplanten Rohrvortriebs der ETL 180 ggf. angepasst werden.

Im Bereich der Start- und Zielgrube stehen grundwasserführende breiig bis weiche bzw. teilweise weich bis steife bindige Böden an. Aus diesem Grund werden Spundwandkästen zur Ausbildung von Start- und Zielgrube empfohlen. Basierend auf den im geologischen Schnitt angegebenen Daten kann bei Variante 1 („nicht steuerbarer Rohrvortrieb“) von einer Grubentiefe von ca. -6,0 m NHN und von einer hydrostatischen Wassersäule auf dem Niveau der angenommenen Grubensohle von bis zu ca. 5,5 m ausgegangen werden.

Bei Variante 2 („steuerbarer Rohrvortrieb“ im Mikrotunnelbau-Verfahren) sind tiefere Grubensohlen bis ca. - 11 m NHN und eine entspr. höhere hydrostatische Wassersäule bis zu ca. 10,5 m einzukalkulieren.

Während der Baugrunderkundung am 08.+09.12.2020 wurde Grundwasser in den Aufschlüssen Q100_neu und Q101_neu in 1,8 m bis 2,8 m unter OKG (entspr. ca. -1,6...-2,0 m NHN) angetroffen. In niederschlagsreichen Zeiten ist ein weiterer Anstieg bis zur Geländeoberkante (OKG) möglich bzw. nicht auszuschließen. Für hydrostatische Bemessungszwecke sollte ein erhöhter Grundwasserstand in ca. -0,5 m NHN angenommen werden.

Die in Abschnitt 6 und in /U1/ klassifizierten Böden sind leicht bis mittelschwer rammbar und die Wahrscheinlichkeit, dass Rammhindernisse angetroffen werden, ist aus geologischen Gesichtspunkten eher gering. Dennoch können Rammhindernisse, wie Steine und Blöcke, nicht völlig ausgeschlossen werden.

7.4.1 Grubenverbau

Beispiele für Baugrubengrößen in Abhängigkeit des äußeren Pressrohrdurchmessers D_a sind in im Arbeitsblatt DWA-A 125 /U3/ gegeben. Danach kann unter der Annahme von DN 800 die Mindest-Abmessung der Startgrube mit ca. 5,8 m x 4,0 m und die die Mindest-Abmessung der Zielgrube mit ca. 4,5 m x (2,5 m bis 3,0 m) angenommen werden.

Planungsseitig betragen die Grundriss - Abmessungen gemäß /U18/:

- Startgrube (Pressgrube) 16 m x 4 m
- Zielgrube 8 m x 4 m

Es werden aus oben genannten Gründen dichte Spundwandkästen empfohlen.

In den Rammkernsondierungen Q100_neu und Q101_neu wurden bis **ca. 5,5 – 7,2 m** unter OKG breiige bis weiche **Kleiböden und Mudden** angetroffen, gefolgt von **Torfen** bis **ca. 8,0 m unter OKG in Q100_neu** und bis **ca. 9,5 m unter OKG in Q101_neu**, die in Hinblick auf die Einbindung der Spundwände als nicht tragfähig angesehen werden. Nach dem Ergebnis der **Drucksondierung Q101_neu _CPT** setzen jedoch ab **ca. 9,5 m unter OKG (entspr. ca. -8,7 m NHN) die pleistozänen Sande der geologischen Einheit 4** ein, in die die Spundwände eingebunden werden müssen.

Die Spundwände können demnach in die ab ca. 8,0 m unter OKG (s. Q100_neu_RKS/CPT) bis ca. 9,5 m unter OKG (s. Q101_neu_RKS/CPT) anstehenden pleistozänen Sande standsicher eingebunden werden.

Die für eine Pressengrube notwendige horizontale Steifigkeit zur Aufnahme der notwendigen Vortriebskraft im Pressenwiderlager/Widerlagerwand wird bei Variante 1 (nicht steuerbarer Rohrvortrieb im Klei, bzw. Mudde und Torf) nicht ohne zusätzliche Maßnahmen erreicht, da der Boden hinter der Widerlagerwand als breiig bis weich angenommen werden muss. Wie in Tabelle 6-3 angegeben, wird die Steifigkeit der geologischen

- Einheiten 1 und 2 (Klei bzw. Mudde) mit $E_s = 0,5 - 2 \text{ MN/m}^2$

eingeschätzt.

Nach dem in /U15/ angegebenen Diagramm (nach SIA 195) zur Vordimensionierung des Pressenwiderlagers, wird unter Annahme einer mittleren Steifezahl $E_s \approx 1,0 \text{ MN/m}^2$, einer Grubentiefe von OKG bis $h \approx 5,2...5,8 \text{ m}$ Tiefe unter OKG (entspr. ca. -5,0 m NHN) (hauptsächlich in den Einheiten 1 (Klei) und 2 (Mudde) liegend) und einer Breite des Widerlagers $b_{\text{wid}} \approx 3,0 \text{ m}$ eine maximale Vortriebskraft in der Größenordnung von $V_{\text{zul}} \approx 250...300 \text{ kN}$ erreicht.

Bei Tieferlegung der Rohrvortriebsstrecke unterhalb ca. -9,0 m NHN werden hingegen in den pleistozänen Sanden (im untersten 2 m - Bereich in der Einheit 4 der pleistozänen Sande liegend bei einer Breite des quadratischen Widerlagers $b_{\text{wid}} \approx 2 \text{ m}$) unter Ansatz einer mittleren Steifezahl von $E_{s,m} \approx 20 \text{ MN/m}^2$ folglich Vortriebskräfte von

- $V_{\text{zul}} \approx 800 \text{ kN}$ (bei Begrenzung der Horizontalverschiebungen auf $s \approx 2 \text{ cm}$)
bis
- $V_{\text{zul}} \approx 2000 \text{ kN}$ (bei Begrenzung der Horizontalverschiebungen auf $s \approx 5 \text{ cm}$)

möglich.

Maßnahmen zur Erhöhung der zulässigen Vortriebskraft werden nur in den Einheiten 1 (Klei) und 2 (Mudde) und 3 (Torf) als erforderlich erachtet. Eine Möglichkeit wäre die konstruktive Aussteifung des Spundwandkastens durch weitere quer zum Spundwandkasten angeordnete Spundbohlen bzw. die Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens hinter der Widerlagerwand.

Infolge des hohen hydrostatischen Wasserdrucks wird empfohlen, die Seite der Grube an der eingefahren wird mit einer sogenannten Brillenwand abzudichten. Zusätzlich sollte der breiige bis weiche Boden im Einfahrbereich hinter der Brillenwand ggf. verbessert bzw. die Scherfestigkeit erhöht werden, um ein ausfließen zu erschweren. Nach Starkregenereignissen kann der Wasserdruck auch höher liegen.

7.4.2 Baugrubensohle und Wasserhaltungsmaßnahmen

Um den Einfluss einer Grundwasserabsenkung lokal zu begrenzen wird empfohlen, das Grundwasser nur innerhalb des dichten Spundwandkastens abzusenken. Aufgrund der geländenahen setzungsempfindlichen Schichten (Klei, Mudde und Torf der geologischen Einheiten 1 – 3) ist großräumige Wasserhaltung zu vermeiden.

Dazu sind innerhalb der Spundwandkästen der Press- und Zielgruben geeignete Sohlstabilisierungs- und Entwässerungsmaßnahmen vorzusehen.

Zur Sohlstabilisierung und Wasserhaltung sollte eine $\geq 0,5$ m dicke Auflastfilter-Kiesschicht (GW/GI) mit Pumpensumpfausbau (zum Beispiel aus perforierten Brunnenschachtringen $\varnothing 1,0$ m) und Entwässerung zur Vorflut vorgesehen werden. Ergänzend können KleinfILTERbrunnen, bestehend aus Filterlanzen 2" bis 2½" (DN 50...65) mit filterstabiler Feinkies-Sandummantelung (0-4 mm) in 5"-Bohrlöchern (DN 125) vorgesehen werden, die außen im Abstand von ca. 1 m um die Start- und Zielgruben-Spundwände herum bei ca. 2 – 3 m Filterlanzen-Abstand angeordnet werden. Der trichterförmig um die Filterlanzen entstehende Unterdruck saugt das Wasser aus dem Boden und leitet es zu einer Vakuum-Baupumpe, von wo es über die Wasserpumpe abgeführt wird.

Alternativ können eine Düsenstrahlsohle durch Injektion von Zementsuspension oder eine Unterwasserbetonsohle als Trag- und Sperrschicht hergestellt werden, um einen Wideranstieg des Wassers nach dem Leerpumpen zu verhindern. Die Mächtigkeit der Düsenstrahl- bzw. Unterwasserbetonsohle (WU-Sohle) muss den statischen Erfordernissen während der Pressarbeiten entsprechen. Ggf. kann die Düsenstrahl-/WU-Sohle mit dem Spundwandkasten verankert werden. Das Einbringen von pastösen Stoffen muss bei der unteren Wasserbehörde angezeigt werden.

In die Düsenstrahl-/WU-Sohle sollten sowohl bei der Press- als auch der Zielgrube jeweils Brunnenschachtringe (zum Beispiel $\varnothing 1,0$ m) als Pumpensümpfe mit Entwässerung zur Vorflut integriert werden, um eine Entspannung gegen hydraulische Drücke zu bewirken.

Der Widerstand gegen hydraulische Drücke sowie die Tragfähigkeit der Baugrubensohle muss nachgewiesen werden.

7.4.3 Bodenaushub (Lösbarkeit und Wiederverwendbarkeit)

Für die Erschließung der Start- und Zielgrube müssen folgende Aushubmaterialien ausgebaut, gelagert, wiedereingebaut bzw. entsorgt werden:

- Kulturboden (geologische Einheit 0)

- Klei (geologische Einheit 1)
- Mudde (geologische Einheit 2)
- Torf (geologische Einheit 3)

sowie

- Sand (geologische Einheit 4) bei Ausführung des steuerbaren Microtunneling in den pleistozänen Sanden

Der Kulturboden ist separat zu lagern, vor Verdichtung und Austrocknung zu schützen und wird nach Beendigung der Bauarbeiten wieder als Kulturboden aufgebracht.

In jedem Fall müssen die Mudden der geologischen Einheit 2 und die Torfe der geologischen Einheit 3 und vor ihrer Verwertung auf Grundlage der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) geprüft werden. Auf Grundlage des Organikgehalts werden die Mudden und Torfe nach LAGA in Z2 eingestuft und dürfen auf dieser Grundlage eigentlich nicht wiederverwendet werden. Es wird empfohlen schon vor Beginn der Baumaßnahme mit den zuständigen Behörden zu sprechen, um eine Lösung zur Verwertung zu erarbeiten. Liegt der TOC-Wert (Total Organic Content) oberhalb des entsprechenden Zuordnungswertes, muss das Bodenmaterial nicht zwangsläufig beseitigt werden. Häufig kann und sollte es unter bestimmten Bedingungen verwertet bzw. wiederverwendet werden. Die LAGA M20 sieht in solchen Fällen eine Einzelfallprüfung vor.

Hinsichtlich Lösbarkeit bzw. hinsichtlich der gewerksspezifischen ATV DIN 18300:2019-09 werden der Kulturboden der geologischen Einheit 0 dem Homogenbereich HBE 0, der Klei der geologischen Einheit 1 dem Homogenbereich HBE 1, die Mudde der geologischen Einheit 2 dem Homogenbereich HBE 2, der Torf der geologischen Einheit 3 dem Homogenbereich HBE 3 und die pleistozänen Sande dem Homogenbereich HBE 4 zugeordnet. Die Bandbreiten der Bodenparameter der Homogenbereiche HBE 0 bis HBE 4 sind im Basisstreckenbericht /U1/ enthalten.

7.4.4 Baugrubenverfüllung

Zunächst wird darauf hingewiesen, dass die stark zusammendrückbaren Kleiböden, Mudden und Torfe der geologischen Einheiten 1 bis 3 nicht bis nur gering, in jedem Falle ‚unzureichend‘ verdichtbar sind. Mit nachträglichen Setzungen und Sackungen wäre zu rechnen. Torfe sind generell unmittelbar nach dem Aushub auszusondern und dürfen nicht mit in die Haufwerke B oder C gelangen.

Im Hinblick auf die angestrebte setzungs- und verformungsarme Verfüllung der dem Straßendamm L168 und tiefen Drainagegraben relativ nahe liegenden Press- und Zielgruben sollten für die Haupt-Verfüllung bis zur Ebene von 0,60 m unter OKG verdichtungsfähige, nichtbindige Mineralbaustoffe aus

- weit- bis intermittierend gestuften, sandigen Kiesen bzw. Brechkorngemischen (Hartsteinschottern) der Bodengruppen [GW/GI] nach DIN 18196:2011-05 in den empfohlenen Sieblinienbereichen nach ZTVT StB95/2002 der Körnung 0/32...0/45

vorgesehen werden.

Alternativ zu dieser Haupt-Verfüllung der Baugruben mit nichtbindigen Mineralbaustoffen kann auch der Einbau von bindemittelstabilisiertem Aushubboden aus dem Haufwerk C bis zur Ebene von 0,60 m unter OKG erfolgen.

Als geeignete Stabilisierungsmethode wird in Anbetracht der im Haufwerk C gelagerten feinkörnigen Mudde- und Kleiböden eine

- Stabilisierung mit Mischbindemitteln als Kombination aus genormten hydraulischen Bindemitteln (z.B. CEM I, II, III) und Baukalken (z.B. CL 90, CL 80, DL 85, DL 80)

erachtet. Von einer reinen Kalkstabilisierung ist aus umwelt- und gesundheitsrelevanten Gesichtspunkten in Anbetracht der Nähe der Baumaßnahmen zu urbanen Siedlungsgebieten abzuraten.

Weitere Details zu den hierzu erforderlichen Eignungsprüfungen zur Ermittlung der optimalen Bindemittelart und -menge sind dem Geotechnischen Basisstreckenbericht zum BV ‚Neubau der Gashochdruckleitung ETL 180 Brunsbüttel – Hetlingen‘, Abschnitt 5.5.2.2, FUGRO Germany Land GmbH /U1/ zu entnehmen.

Mit diesen standsicheren und verformungsarmen Verfüllmaßnahmen wird sichergestellt, daß die Damm- und Grabenschultern nicht horizontal deformieren und keine Böschungsbruchgefährdungen provoziert werden.

Alle diesbezüglichen Wiederverfüllmaßnahmen sind in Schichtlagen von jeweils ca. 30 cm durchzuführen und lagenweise auf einen Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 100 \%$ mit geeigneten Verdichtungsgeräten zu verdichten.

Lediglich im geländeoberflächennahen Abschluß können bindige, weich- bis steifkonsistente Böden des Haufwerkes B von $t = 0,60 - 0,30$ m unter OKG und nachfolgend der Mutterboden des Haufwerkes A (geologische Einheit 0 – HBE 0) bis zur Geländeoberkante eingebaut werden, da die Press- und Zielgruben zwar in Damm- bzw. Grabennähe liegen, jedoch bereits in den jeweiligen Randbereichen der Agrarflächen.

8. Bemerkungen

Die durchgeführten geotechnischen Felduntersuchungen haben verfahrensbedingt einen stichprobenartigen Charakter. Sie lassen für zwischenliegende Bereiche nur Wahrscheinlichkeitsaussagen zu, so dass ein Baugrundrisiko verbleibt. Sollten sich im Verlauf der weitergehenden Bauarbeiten die Bodenverhältnisse örtlich anders darstellen als bis dato erkundet bzw. Unklarheit bestehen, so ist ein Mitarbeiter der Firma Fugro bezüglich der im vorliegenden Gutachten ausgearbeiteten Bewertungen und Empfehlungen hinzuzuziehen.

Für den Aushub und die Verwertung bzw. Entsorgung der anstehenden Böden ist es in Vorfeld der Baumaßnahme erforderlich ein Entsorgungskonzept mit der zuständigen Abfallbehörde abzustimmen.

Die richtige Verwendung der bodenmechanischen Kennwerte sowie deren Überprüfung vor Ort obliegt den mit der Planung und Durchführung betrauten Fachingenieuren und Planern unter entsprechender Würdigung und Interpretation aller Belange zur geplanten Bauausführung und der angetroffenen geologischen und hydrologischen Verhältnisse.

Anlage A

Aufschlussdokumentation

A.0 Erläuterungen der Abkürzungen und Symbole

A.1 Aufschlussdokumentation

A.1.1 Rammkernsondierprofile

A.1.2 Drucksondierungsprofile

A.1.3 Kornformbestimmung nach DIN EN ISO 14688-1:2020-11

A.2 Geologischer Schnitt

Anlage A.0

Erläuterungen der Abkürzungen und Symbole

A0 Erläuterungen der Abkürzungen und Symbole nach DIN 14688, DIN 4023 und DIN 18196

Symbole für Lockergestein

	Ton
	Schluff
	Sand
	Feinsand
	Mittelsand
	Grobsand
	Kies
	Feinkies
	Mittelkies
	Grobkies
	Steine
	Geröll
	Lehm
	Torf
	Aufschüttung
	Mutterboden
	Geschiebelehm
	Geschiebemergel
	Klei
	Mudde

Konsistenz / Lagerungsdichte

	breiig
	sehr weich / weich
	steif
	halbfest
	sehr locker / locker
	mitteldicht
	dicht
	sehr dicht
	nass

Laborergebnisse

×	Wassergehalt
○	Ausrollgrenze
●	Fließgrenze
○ ^{PI} ●	Plastizitätsindex
△	Feinanteil
☒	Kalkgehalt
■	Organischer Anteil

undrÄnierte Scherfestigkeit

△	Pocket penetrometer
○	Torvane
●	UU-triaxial

Grundwasser

▽	Grundwasserspiegel (angebohrt)
▼	Grundwasserspiegel (Ruhe)

Drucksondierung

	undrÄnierte Scherfestigkeit [kPa] (Nk=20)
	undrÄnierte Scherfestigkeit [kPa] (Nk=15)
	relative Lagerungsdichte [%] (K0=1)
	relative Lagerungsdichte [%] (K0=0,5)

Standard Penetration Test

x/x/x	Schlagzahl für 45 cm Eindringtiefe
x/x(x)	Abbruch - Schlagzahl (Eindringtiefe in cm)
R	Abbruch
i	ungültiger Test

	Bodenklasse nach DIN 18196
	Baugrundmodell / Schichtfolge

Anlage A.1

Aufschlussdokumentation

Anlage A.1.1

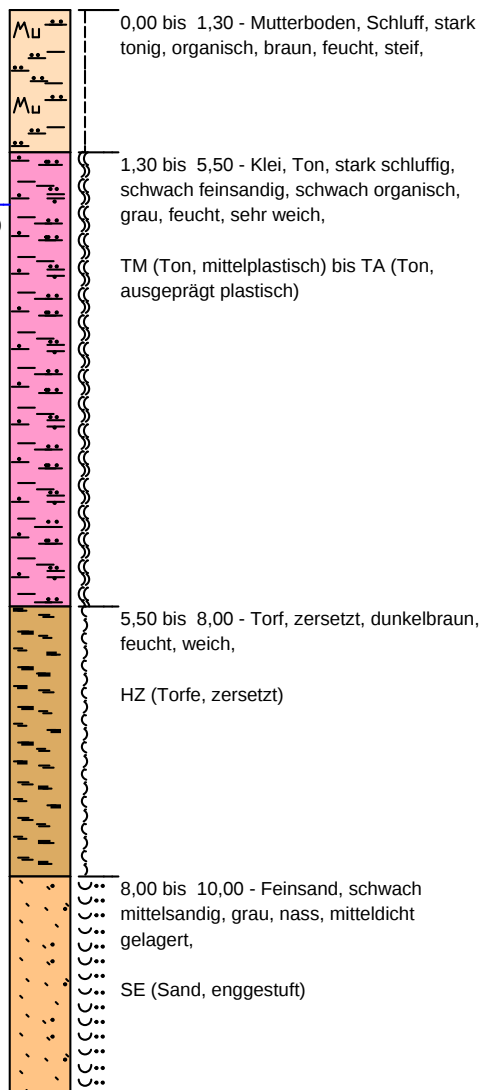
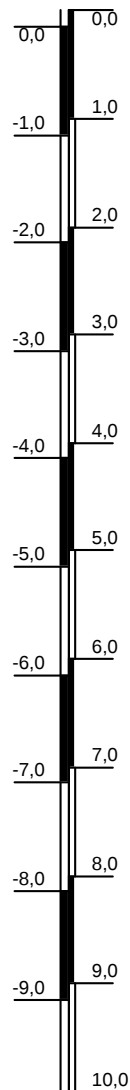
Bohrungen,

Rammkernsondierungen und

Leichte/Schwere

Rammsondierung

Ansatzhöhe
[m NHN]
Tiefe
[m u. GOK]



Rammkernsondierung Q100_neu

		HBE-0			
1,30					
	HBR-1	HBE-1	HBB-1	HBND-1	HBHD-1
5,50					
	HBR-O1	HBE-3	HBB-O1	HBND-O1	HBHD-O1
8,00					
	HBR-4	HBE-4	HBB-3	HBND-3	HBHD-4
10,00					

Legende:

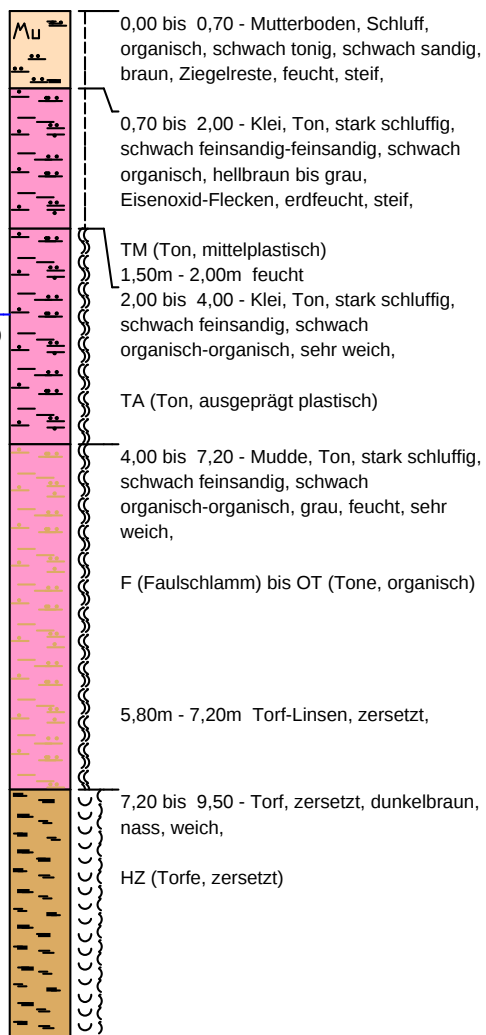
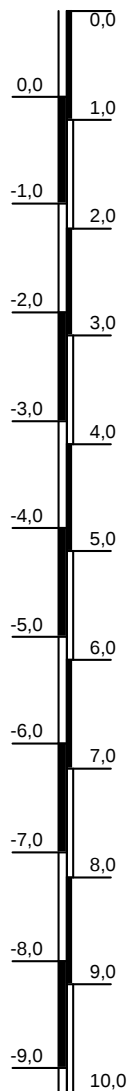
HBR	Homogenbereich Pfahlvortrieb	HBND	Homogenbereich Nassbaggerarbeiten
HBB	Homogenbereich Bohrarbeiten	HBHD	Homogenbereich Horizontalspülbohrarbeiten
HBE	Homogenbereich Erdarbeiten		

Höhenmaßstab: 1:70

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"	
Lokation: Q100_neu	Rechtswert: 536327
Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG	Hochwert: 5962761
Projektnummer: 362-19-016	Ansatzhöhe: 0,15 m NHN
Sondierdatum: 08.12.2020	Endtiefe: 10,00 m u. GOK



Ansatzhöhe
[m NHN]
Tiefe
[m u. GOK]



Rammkernsondierung Q101_neu

0,70		HBE-0			
	HBR-2	HBE-1	HBB-2	HBND-2	HBHD-2
2,00					
	HBR-1	HBE-1	HBB-1	HBND-1	HBHD-1
4,00					
	HBR-1	HBE-2	HBB-1	HBND-1	HBHD-1
7,20					
	HBR-O1	HBE-3	HBB-O1	HBND-O1	HBHD-O1
9,50					

Legende:

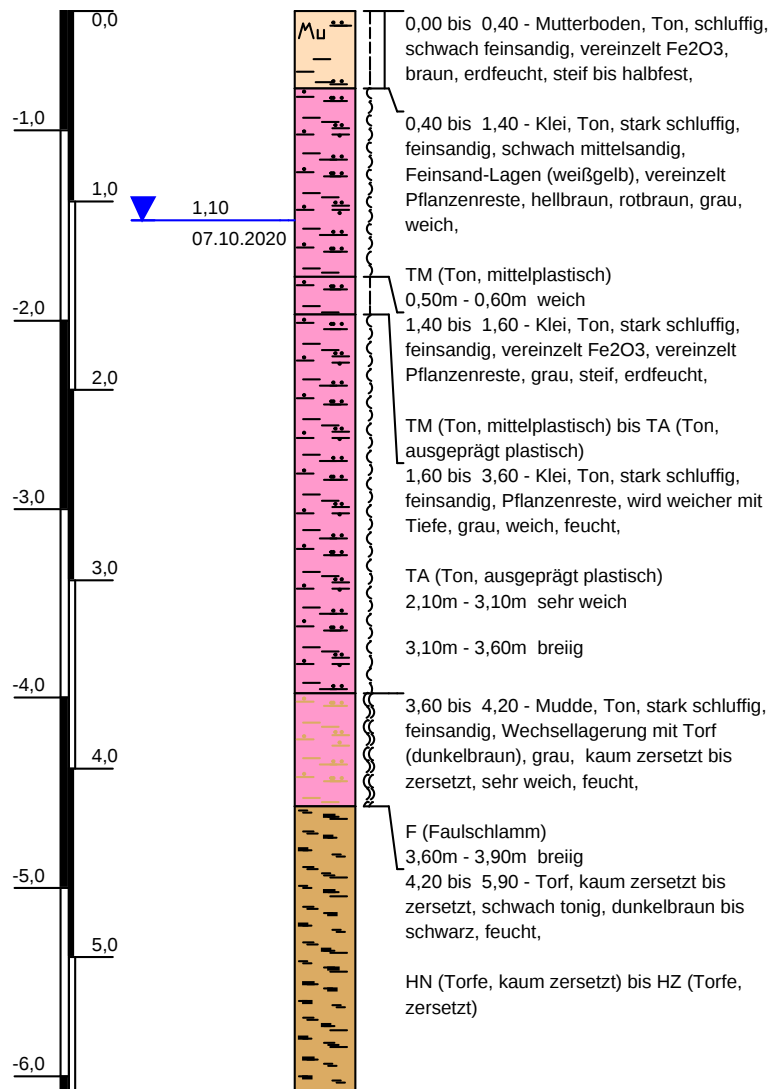
HBR	Homogenbereich Pfahlvortrieb	HBND	Homogenbereich Nassbaggerarbeiten
HBB	Homogenbereich Bohrarbeiten	HBHD	Homogenbereich Horizontalspülbohrarbeiten
HBE	Homogenbereich Erdarbeiten		

Höhenmaßstab: 1:70

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"	
Lokation: Q101 neu	Rechtswert: 536364
Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG	Hochwert: 5962719
Projektnummer: 362-19-016	Ansatzhöhe: 0,78 m NHN
Sondierdatum: 09.12.2020	Endtiefe: 9,50 m u. GOK



Ansatzhöhe
[m NHN]
Tiefe
[m u. GOK]



Bohrung Q100_V_H

0,40		HBE-0			
1,40	HBR-2	HBE-1	HBB-2	HBND-2	HBHD-2
1,60	HBR-2	HBE-1	HBB-2	HBND-2	HBHD-2
2,10	HBR-2	HBE-1	HBB-2	HBND-2	HBHD-2
3,60	HBR-1	HBE-1	HBB-1	HBND-1	HBHD-1
4,20	HBR-1	HBE-2	HBB-1	HBND-1	HBHD-1

Legende:

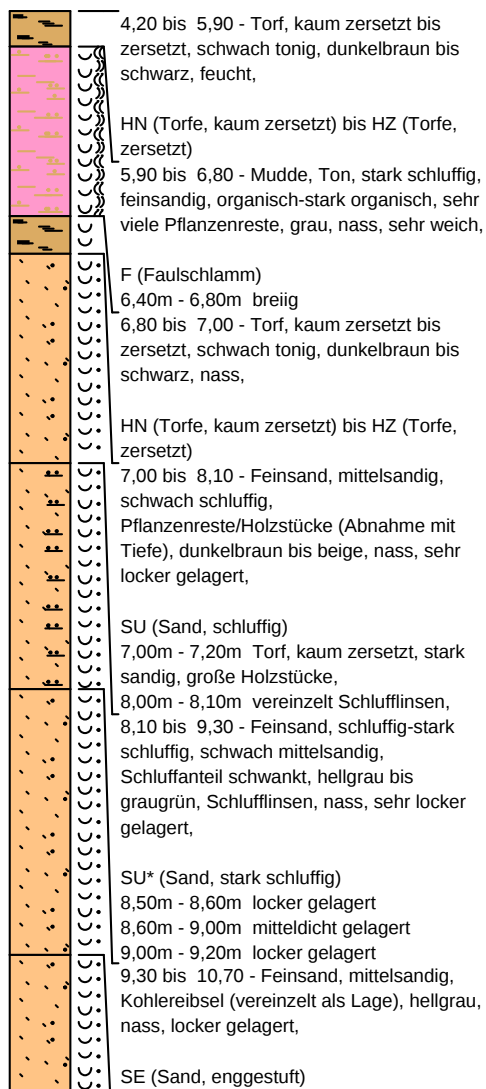
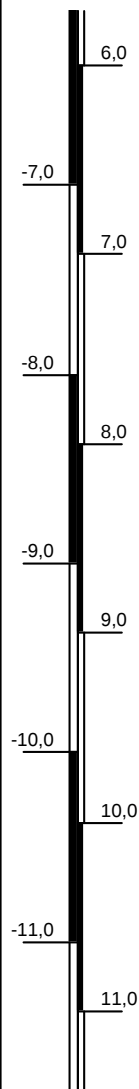
HBR	Homogenbereich Pfahlvortrieb	HBND	Homogenbereich Nassbaggerarbeiten
HBB	Homogenbereich Bohrarbeiten	HBHD	Homogenbereich Horizontalspülbohrarbeiten
HBE	Homogenbereich Erdarbeiten		

Höhenmaßstab: 1:40

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"	
Lokation: Q100_V_H	Rechtswert: 536126
Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG	Hochwert: 5962654
Projektnummer: 362-19-016	Ansatzhöhe: -0,37 m NHN
Sondierdatum: 06.10.2020	Endtiefe: 15,00 m u. GOK



Ansatzhöhe
[m NHN]
Tiefe
[m u. GOK]



4,20 bis 5,90 - Torf, kaum zersetzt bis zersetzt, schwach tonig, dunkelbraun bis schwarz, feucht,
HN (Torfe, kaum zersetzt) bis HZ (Torfe, zersetzt)
5,90 bis 6,80 - Mudde, Ton, stark schluffig, feinsandig, organisch-stark organisch, sehr viele Pflanzenreste, grau, nass, sehr weich,
F (Faulschlamm)
6,40m - 6,80m breiig
6,80 bis 7,00 - Torf, kaum zersetzt bis zersetzt, schwach tonig, dunkelbraun bis schwarz, nass,
HN (Torfe, kaum zersetzt) bis HZ (Torfe, zersetzt)
7,00 bis 8,10 - Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig,
Pflanzenreste/Holzstücke (Abnahme mit Tiefe), dunkelbraun bis beige, nass, sehr locker gelagert,
SU (Sand, schluffig)
7,00m - 7,20m Torf, kaum zersetzt, stark sandig, große Holzstücke,
8,00m - 8,10m vereinzelt Schlufflinsen,
8,10 bis 9,30 - Feinsand, schluffig-stark schluffig, schwach mittelsandig,
Schluffanteil schwankt, hellgrau bis graugrün, Schlufflinsen, nass, sehr locker gelagert,
SU* (Sand, stark schluffig)
8,50m - 8,60m locker gelagert
8,60m - 9,00m mitteldicht gelagert
9,00m - 9,20m locker gelagert
9,30 bis 10,70 - Feinsand, mittelsandig, Kohlereibsel (vereinzelt als Lage), hellgrau, nass, locker gelagert,
SE (Sand, enggestuft)
9,30m - 9,80m sehr locker gelagert
10,50m - 10,70m sehr locker gelagert
10,70 bis 12,70 - Feinsand, schwach mittelsandig, schwach schluffig-schluffig, vereinzelt Schlufflinsen, hellgrau bis graugrün, nass, sehr locker gelagert,

Legende:

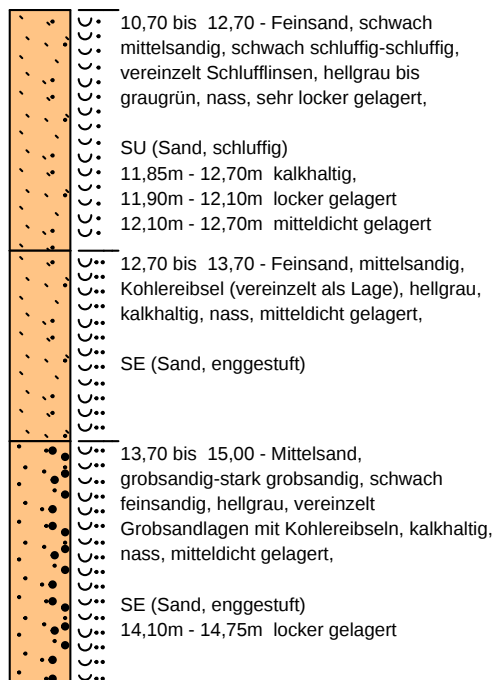
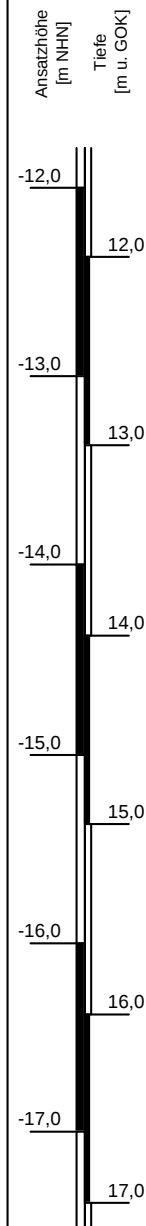
- HBR** Homogenbereich Bohrarbeiten
HBB Homogenbereich Bohrarbeiter
HBE Homogenbereich Erdarbeiten
HBNB Homogenbereich Nassbaggerarbeiten
HBHD Homogenbereich Horizontalspülbohrarbeiten
SU (Sand, schluffig)

Bohrung Q100_V_H

	HBR-O2	HBE-3	HBB-O2	HBNB-O2	HBHD-O2
5,90					
	HBR-1	HBE-2	HBB-1	HBNB-1	HBHD-1
6,80					
7,00	HBR-O2	HBE-3	HBB-O2	HBNB-O2	HBHD-O2
7,20	HBR-O2	HBE-3	HBB-O2	HBNB-O2	HBHD-O2
8,10					
	HBR-3	HBE-4	HBB-3	HBNB-3	HBHD-3
8,50					
8,60	HBR-3	HBE-4	HBB-4	HBNB-4	HBHD-3
9,00	HBR-4	HBE-4	HBB-4	HBNB-4	HBHD-4
9,20	HBR-3	HBE-4	HBB-4	HBNB-4	HBHD-3
10,70					

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"	
Lokation: Q100_V_H	Rechtswert: 536126
Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG	Hochwert: 5962654
Projektnummer: 362-19-016	Ansatzhöhe: -0,37 m NHN
Sondierdatum: 06.10.2020	Endtiefe: 15,00 m u. GOK





Bohrung Q100_V_H

	HBR-3	HBE-4	HBB-3	HBND-3	HBHD-3
12,10					
	HBR-4	HBE-4	HBB-3	HBND-3	HBHD-4
12,70					
	HBR-4	HBE-4	HBB-3	HBND-3	HBHD-4
13,70					
	HBR-4	HBE-4	HBB-3	HBND-3	HBHD-4
14,10					
	HBR-3	HBE-4	HBB-3	HBND-3	HBHD-3
14,75					
15,00	HBR-4	HBE-4	HBB-3	HBND-3	HBHD-4

Legende:

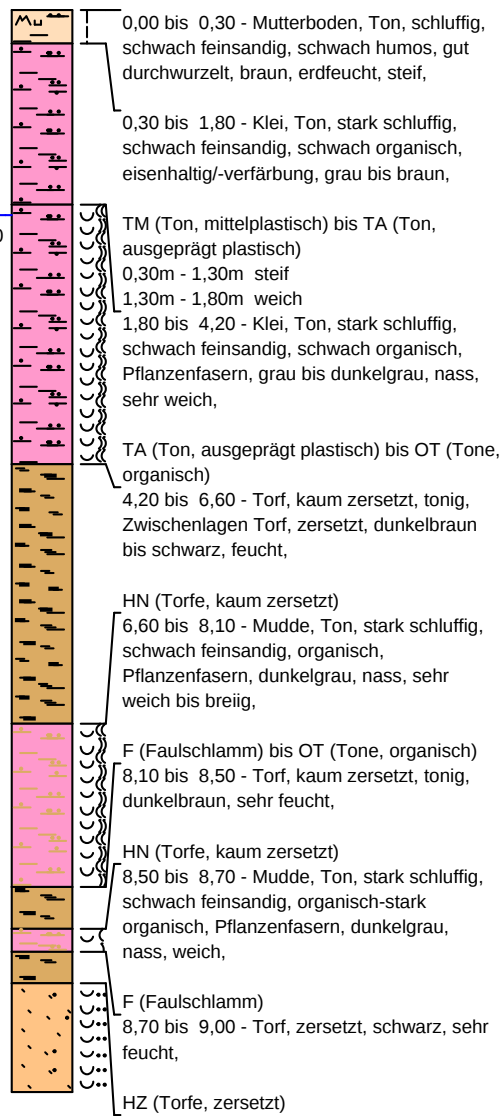
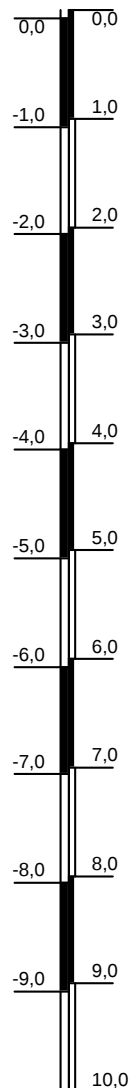
HBR	Homogenbereich Pfahlvortrieb	HBND	Homogenbereich Nassbaggerarbeiten
HBB	Homogenbereich Bohrarbeiten	HBHD	Homogenbereich Horizontalspülbohrarbeiten
HBE	Homogenbereich Erdarbeiten		

Höhenmaßstab: 1:40

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"	
Lokation: Q100_V_H	Rechtswert: 536126
Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG	Hochwert: 5962654
Projektnummer: 362-19-016	Ansatzhöhe: -0,37 m NHN
Sondierdatum: 06.10.2020	Endtiefe: 15,00 m u. GOK



Ansatzhöhe
[m NHN]
Tiefe
[m u. GOK]



Legende:

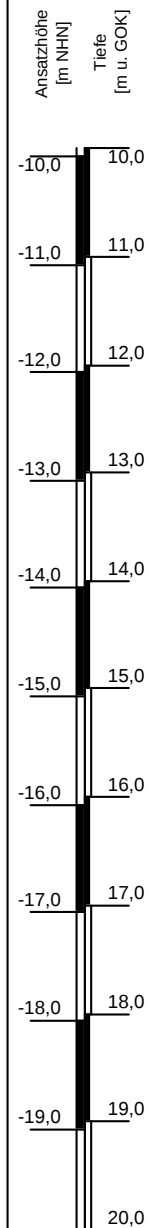
	Homogenbereich Pfahlvortriebe		Homogenbereich Nassbaggerarbeiten
	Homogenbereich Sandbaggerarbeiten		Homogenbereich Horizontalspülbohrarbeiten
	Homogenbereich Erdarbeiten		

Bohrung Q101_V_H

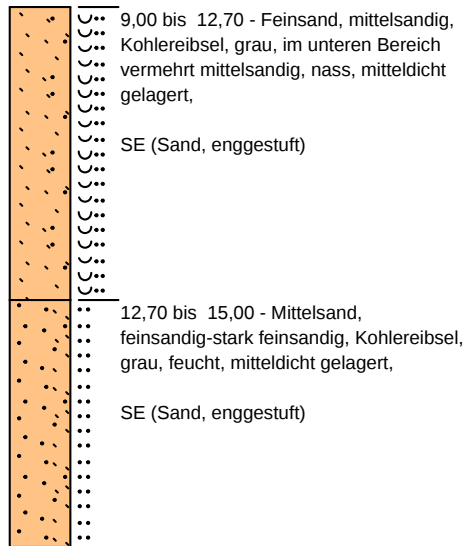
0,30		HBE-0			
	HBR-2	HBE-1	HBB-2	HBNB-2	HBHD-2
1,30					
1,80	HBR-2	HBE-1	HBB-2	HBNB-2	HBHD-2
	HBR-1	HBE-1	HBB-1	HBNB-1	HBHD-1
4,20					
	HBR-O2	HBE-3	HBB-O2	HBNB-O2	HBHD-O2
6,10					
	HBR-1	HBE-2	HBB-1	HBNB-1	HBHD-1
8,10					
8,50	HBR-O2	HBE-3	HBB-O2	HBNB-O2	HBHD-O2
8,70	HBR-2	HBE-2	HBB-2	HBNB-2	HBHD-2
9,00	HBR-O1	HBE-3	HBB-O1	HBNB-O1	HBHD-O1

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"	
Lokation: Q101_V_H	Rechtswert: 536196
Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG	Hochwert: 5962609
Projektnummer: 362-19-016	Ansatzhöhe: 0,07 m NHN
Sondierdatum: 26.03.2020	Endtiefe: 15,00 m u. GOK





Bohrung Q101_V_H



	HBR-4	HBE-4	HBB-3	HBNB-3	HBHD-4
12,70					
15,00	HBR-4	HBE-4	HBB-3	HBNB-3	HBHD-4

Legende:

HBR	Homogenbereich Pfahlvortrieb	HBNE	Homogenbereich Nassbaggerarbeiten
HBB	Homogenbereich Bohrarbeiten	HBHD	Homogenbereich Horizontalspülbohrarbeiten
HBE	Homogenbereich Erdarbeiten		

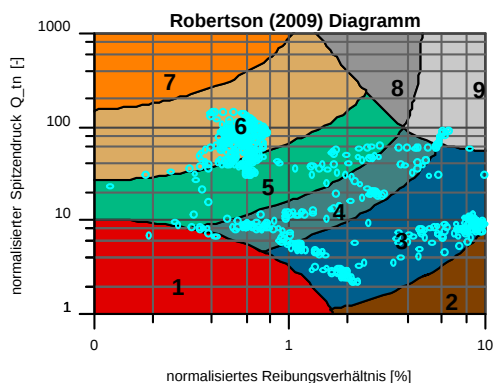
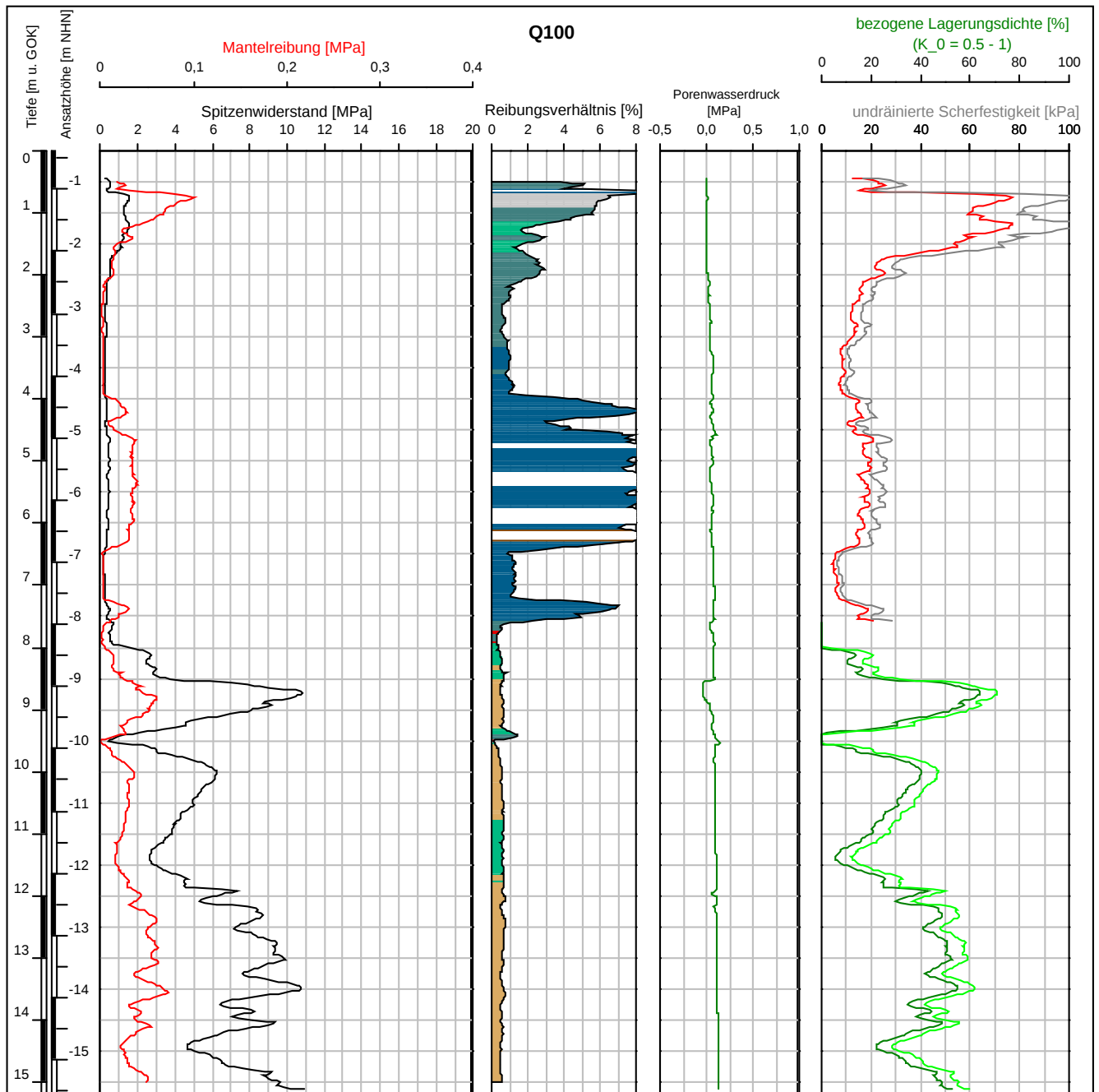
Höhenmaßstab: 1:70

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"	
Lokation: Q101_V_H	Rechtswert: 536196
Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG	Hochwert: 5962609
Projektnummer: 362-19-016	Ansatzhöhe: 0,07 m NHN
Sondierdatum: 26.03.2020	Endtiefe: 15,00 m u. GOK



Anlage A.1.2

Drucksondierungen



Legende (Farbgebung im Robertson (2009) Diagramm)

- 1 empfindlicher, feinkörniger Boden
- 2 organischer Boden - TORF
- 3 TON - Ton bis schluffiger Ton
- 4 Schluffgemische - toniger SCHLUFF bis schluffiger TON
- 5 Sandgemische schluffiger SAND bis sandiger SCHLUFF
- 6 SAND - reiner SAND bis schluffiger SAND
- 7 SAND - dichter Sand bis kieseliger Sand
- 8 sehr steifer sandiger TON bis toniger SAND*
- 9 sehr steifer feinkörniger Boden*

*überkonsolidiert oder zementiert

Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"

Bohrung: Q100

Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG

Rechtswert: 32536126 m

Bohrfirma: Fugro Germany Land GmbH

Hochwert: 5962654 m

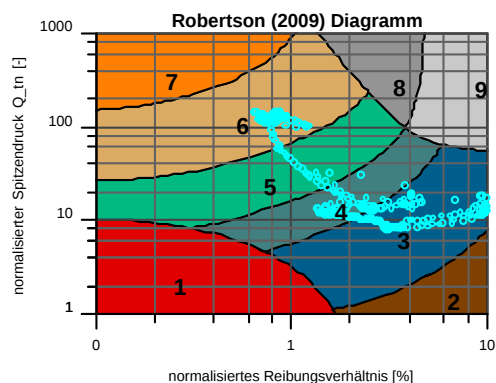
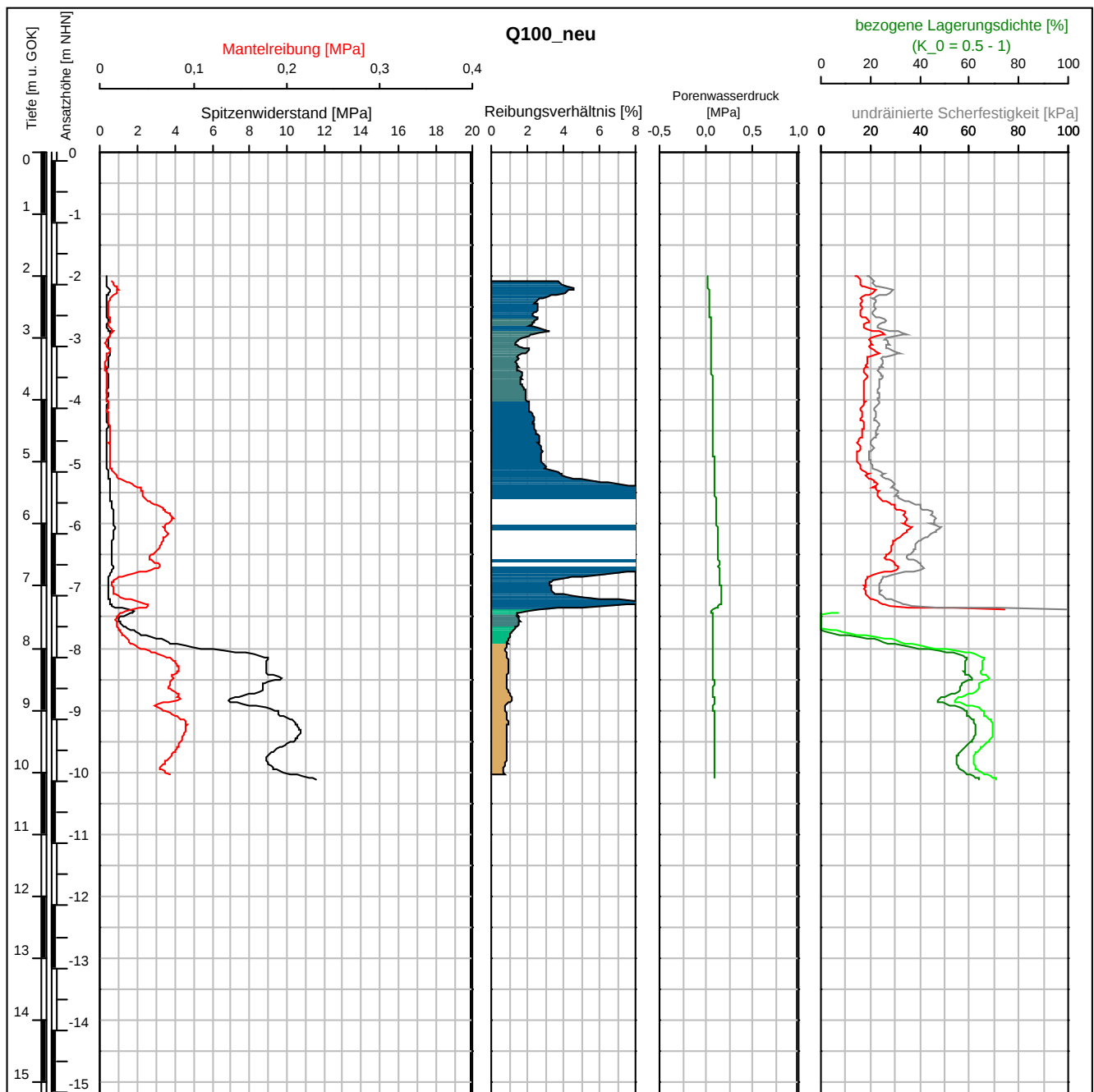
Bearbeiter: I.Brandt

Ansatzhöhe: -0,37 m NHN

Datum: 29.10.2020

Endtiefe: 15,11 m u. GOK





Legende (Farbgebung im Robertson (2009) Diagramm)

- 1 empfindlicher, feinkörniger Boden
- 2 organischer Boden - TORF
- 3 TON - Ton bis schluffiger Ton
- 4 Schluffgemische - toniger SCHLUFF bis schluffiger TON
- 5 Sandgemische schluffiger SAND bis sandiger SCHLUFF
- 6 SAND - reiner SAND bis schluffiger SAND
- 7 SAND - dichter Sand bis kieseliger Sand
- 8 sehr steifer sandiger TON bis toniger SAND*
- 9 sehr steifer feinkörniger Boden*

*überkonsolidiert oder zementiert

Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"

Bohrung: Q100_neu

Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG

Rechtswert: 536327 m

Bohrfirma: Fugro Germany Land GmbH

Hochwert: 5962761 m

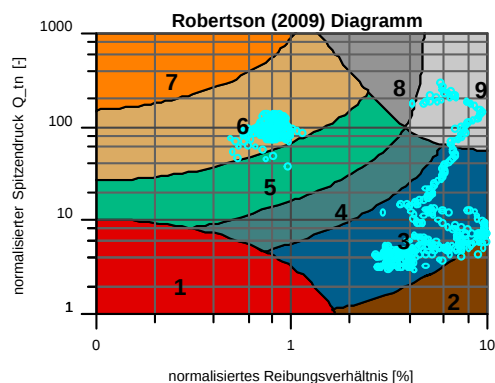
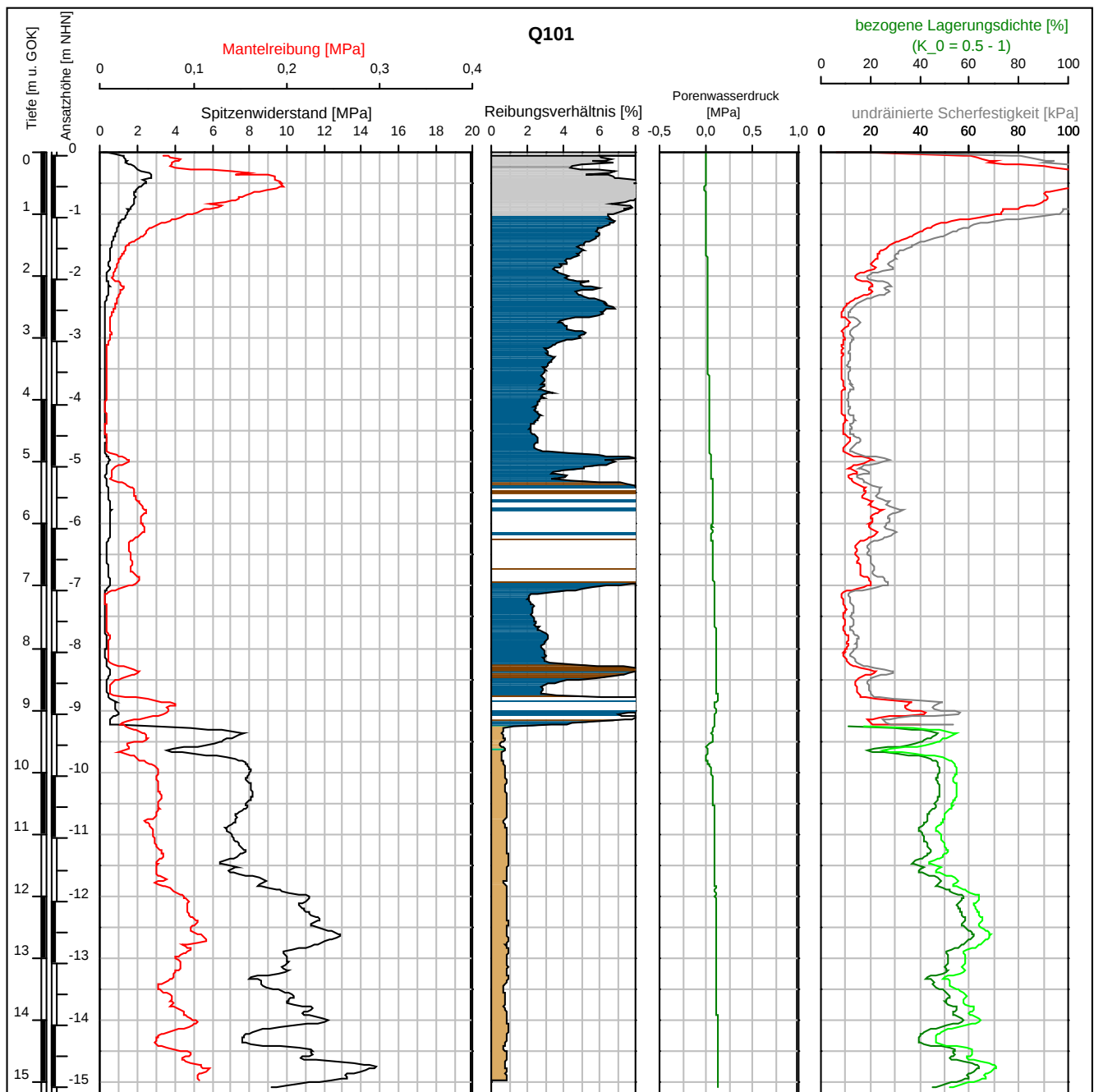
Bearbeiter: I. Brandt

Ansatzhöhe: 0,15 m NHN

Datum: 17.12.2020

Endtiefe: 10,11 m u. GOK





Legende (Farbgebung im Robertson (2009) Diagramm)

- 1 empfindlicher, feinkörniger Boden
- 2 organischer Boden - TORF
- 3 TON - Ton bis schluffiger Ton
- 4 Schluffgemische - toniger SCHLUFF bis schluffiger TON
- 5 Sandgemische schluffiger SAND bis sandiger SCHLUFF
- 6 SAND - reiner SAND bis schluffiger SAND
- 7 SAND - dichter Sand bis kieseliger Sand
- 8 sehr steifer sandiger TON bis toniger SAND*
- 9 sehr steifer feinkörniger Boden*

*überkonsolidiert oder zementiert

Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"

Bohrung: Q101

Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG

Rechtswert: 536196 m

Bohrfirma: Fugro Germany Land GmbH

Hochwert: 5962609 m

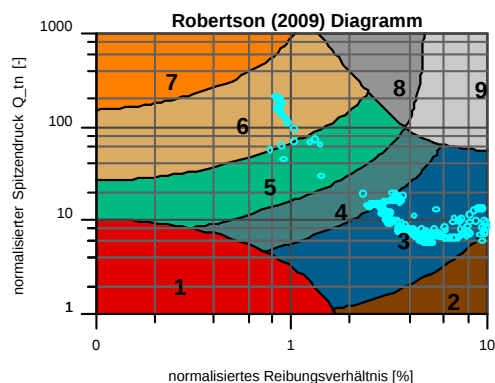
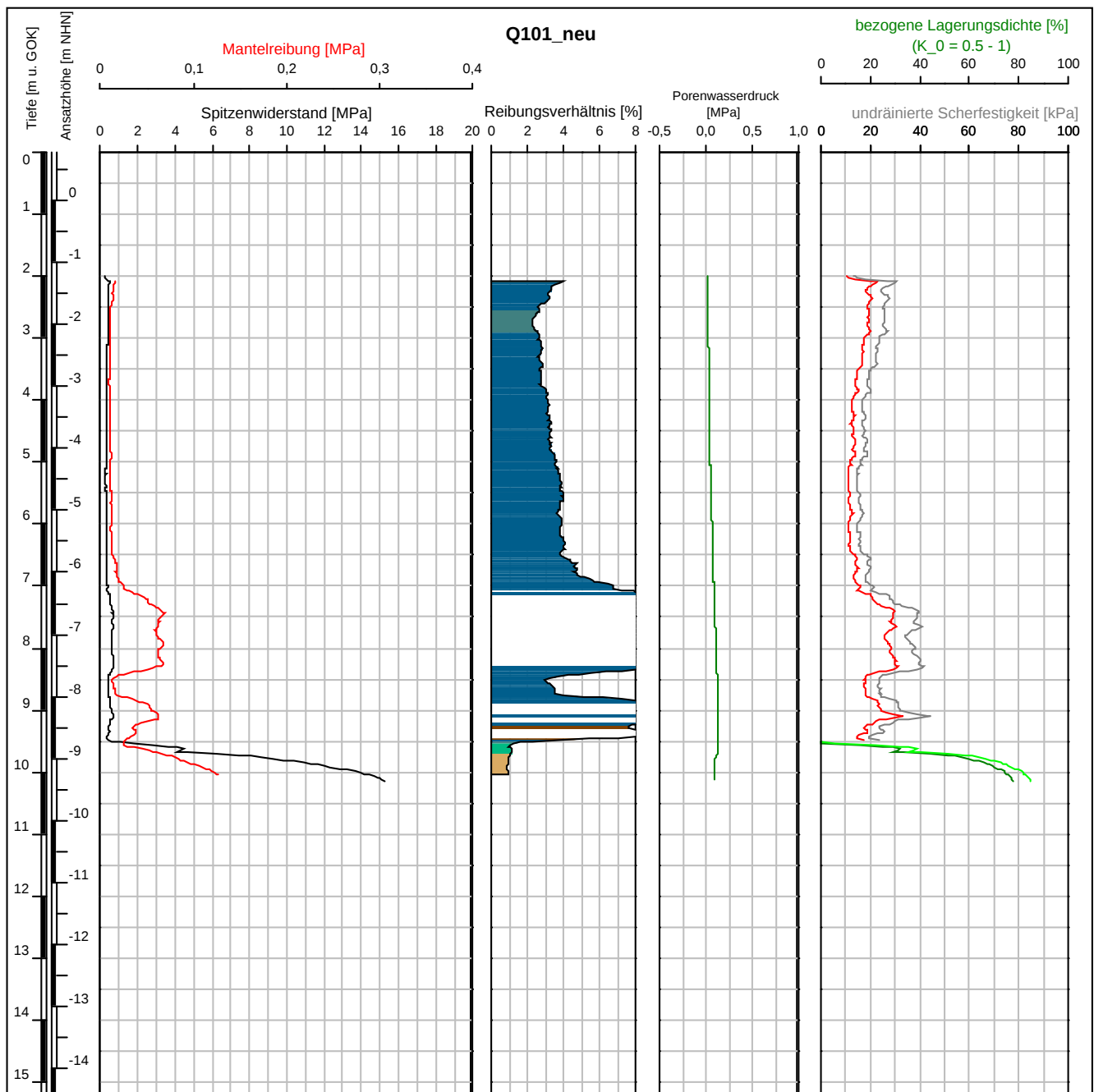
Bearbeiter: N.Güdel

Ansatzhöhe: 0,07 m NHN

Datum: 06.05.2020

Endtiefe: 15,00 m u. GOK

FUGRO



Legende (Farbgebung im Robertson (2009) Diagramm)

- 1 empfindlicher, feinkörniger Boden
- 2 organischer Boden - TORF
- 3 TON - Ton bis schluffiger Ton
- 4 Schluffgemische - toniger SCHLUFF bis schluffiger TON
- 5 Sandgemische schluffiger SAND bis sandiger SCHLUFF
- 6 SAND - reiner SAND bis schluffiger SAND
- 7 SAND - dichter Sand bis kieseliger Sand
- 8 sehr steifer sandiger TON bis toniger SAND*
- 9 sehr steifer feinkörniger Boden*

*überkonsolidiert oder zementiert

Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: BGU zum BV "Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen"

Bohrung: Q101_neu

Auftraggeber: Gasunie Deutschland GmbH & Co. KG

Rechtswert: 536364 m

Bohrfirma: Fugro Germany Land GmbH

Hochwert: 5962719 m

Bearbeiter: I. Brandt

Ansatzhöhe: 0,78 m NHN

Datum: 17.12.2020

Endtiefe: 10,14 m u. GOK

FUGRO

Anlage A.1.3

Kornformbestimmung

nach DIN EN ISO 14688-1

Fugro Germany Land GmbH

FB Labor
Carsdorfer Höhe 21
04523 Pegau

Tel: 034296 129 490
Fax: 034296 129 599
e-mail: nackermann@fugro.com

**Kornformbestimmung
nach DIN EN ISO 14688-1**

Projekt-Nr.: 362-19-016		
Bauvorhaben: Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen		
VH7		
Auftraggeber: Gasunie		
Entnahmedatum: 08.06.2020		
Eingang (LTAF): 10.06.2020		
Datum Vorbereitung: 11.06.2020	Bearb.:	AJ
ausgeführt: 12.06.2020	Bearb.:	AJ

Sphärizität und Rundung als Kornformkennwerte anhand von Vergleichsbildern nach KRUMBEIN & SLOSS

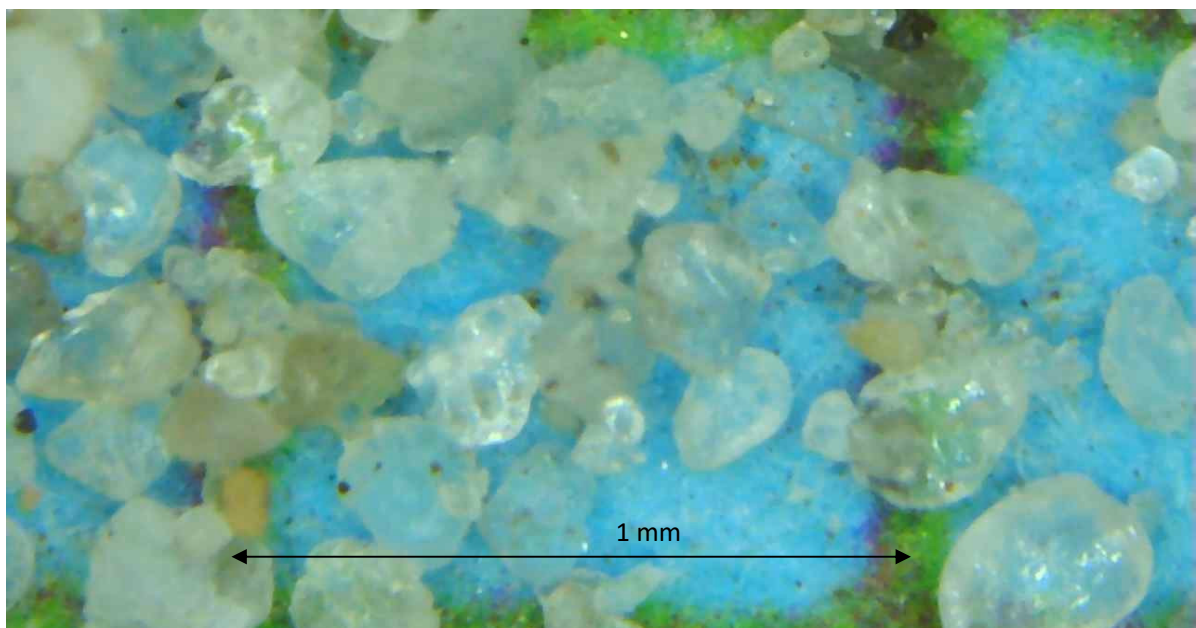
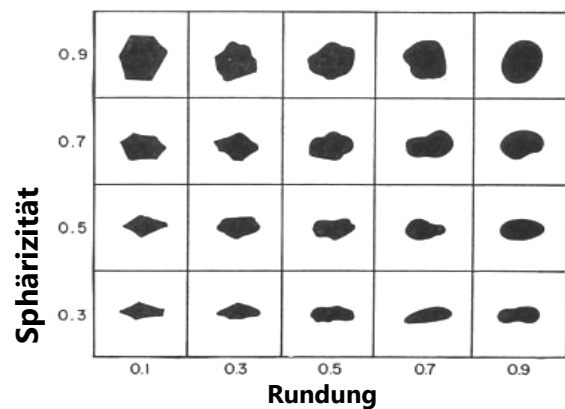
Aufschluss: Q101_V_H

Probe: B22

Tiefe [m]: 11,00

Sphärizität: 0,7 - 0,9

Rundung: 0,5 - 0,7



Fugro Germany Land GmbH

FB Labor
Carsdorfer Höhe 21
04523 Pegau

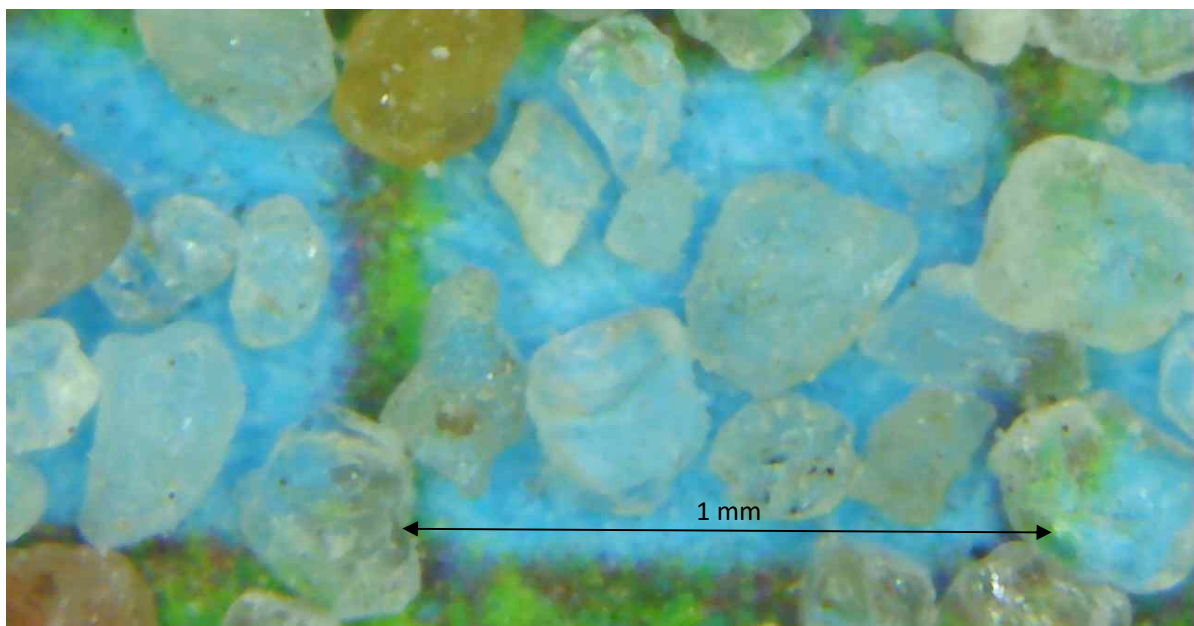
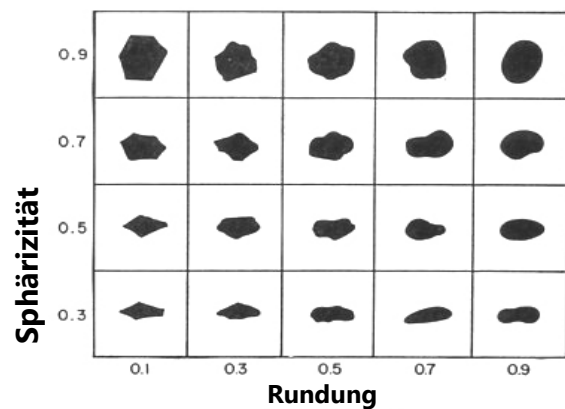
Tel: 034296 129 490
Fax: 034296 129 599
e-mail: nackermann@fugro.com

**Kornformbestimmung
nach DIN EN ISO 14688-1**

Projekt-Nr.: 362-19-016		
Bauvorhaben: Neubau ETL 180 Brunsbüttel - Hetlingen		
VH7		
Auftraggeber: Gasunie		
Entnahmedatum: 08.06.2020		
Eingang (LTAF): 10.06.2020		
Datum Vorbereitung: 11.06.2020	Bearb.:	AJ
ausgeführt: 12.06.2020	Bearb.:	AJ

Sphärizität und Rundung als Kornformkennwerte anhand von Vergleichsbildern nach KRUMBEIN & SLOSS

Aufschluss:	Q101
Probe:	B29
Tiefe [m]:	14,00
Sphärizität:	0,7 - 0,9
Rundung:	0,5 - 0,7



Anlage A.2

Profilschnitt

