



GRUNDBAULABOR BREMEN  
INGENIEURGESELLSCHAFT  
FÜR GEOTECHNIK MBH  
KLEINER ORT 2  
28357 BREMEN  
TELEFON (0421) 20770-0  
TELEFAX (0421) 27 42 55  
GLB@GRUNDBAULABOR.DE

Objekt-Nr.: 19 12350  
Datum: 21.06.2019  
Zeichen: Kru/Re  
Datei: O:\19\12350\GTB1.docx

## **Fernwärmeverbindungsleitung, Hochschulring (Kuhgrabenweg) bis Heizwerk Vahr (Richard-Boljahn-Allee), Bremen**

### **Geotechnischer Bericht Nr. 1**

### **Baugrundbeurteilung und Angaben zur Gründung und zum Verbau**

---

Bauherr: Wesernetz Bremen GmbH  
Theodor-Heuss-Allee 20  
28215 Bremen

Objektplanung: Fichtner Water & Transportation GmbH  
Hammerbrookstr. 47b  
20097 Hamburg

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Anlass der geotechnischen Untersuchungen</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Bauvorhaben (Anlagen 1.1 bis 1.2.5)</b>	<b>4</b>
2.1	Verwendete Unterlagen	4
2.2	Baugelände (Anlagen 1.1 und 1.2.1 bis 1.2.5)	5
2.3	Bauwerk (Anlagen 1.2.1 bis 1.2.5 / 2.1.1 bis 2.1.4)	6
<b>3</b>	<b>Baugrund (Anlagen 2.1.1 bis 3.7.35)</b>	<b>8</b>
3.1	Geologische und bautechnische Vorgeschichte	8
3.2	Baugrundaufschlüsse (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.4)	9
3.3	Baugrundverhältnisse (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.4)	10
3.3.1	Baugrundsichtung (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.4)	10
3.3.2	Baugrundfestigkeit	14
3.4	Umweltechnische Verhältnisse	15
3.4.1	Allgemeines zu Verunreinigungen des Baugrundes	15
3.4.1.1	Grundwasserverunreinigung	16
3.4.1.2	Altablagerungen	18
3.4.2	Verunreinigungen des Baugrundes	19
3.4.3	Hinweise zum Umgang mit Aushubböden, Bauschutt und Gemischen	20
3.4.4	Hinweise zum Umgang mit Mutterboden	22
3.4.5	Hinweise zum Umgang mit Straßenaufbruch	22
3.4.6	Hinweise zum Umgang mit potentiell sulfatsauren Böden	23
3.5	Grundwasserverhältnisse	24
3.5.1	Hauptgrundwasserstockwerk	24
3.5.2	Oberes Grundwasserstockwerk	25
3.6	Ergebnisse von Laborversuchen (Anlagen 3.1.1 bis 3.7.35)	27
3.6.1	Ergebnisse von bodenmechanischen Laborversuchen (Anlagen 3.1.1 bis 3.2.8)	27
3.6.2	Ergebnisse von chemischen Laboruntersuchungen (Anlagen 3.3.1 bis 3.5.56)	28
3.6.3	Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen (Anlagen 3.6 bis 3.7.35)	31

<b>4</b>	<b>Beurteilung des Baugrundes</b>	<b>34</b>
4.1	Baugrundmodell	34
4.2	Baugrundeigenschaften	35
4.3	Baugrundtragfähigkeit	36
4.4	Wiederverwendbarkeit für bautechnische Zwecke	37
4.5	Homogenbereiche - VOB 2016 (Anlagen 4.1 bis 4.5)	38
4.6	Bodenkennwerte	39
4.7	Beurteilung des Baugrundrisikos	40
<b>5</b>	<b>Angaben zur Gründung und dem Verbau</b>	<b>41</b>
5.1	Gründung der Leitungen	41
5.2	Tabellarische Zusammenfassung Gründungs- und Aushubsohlen	43
5.2.1	Kuhgrabenweg (Anlagen 1.2.1 bis 1.2.2 und 2.1.1)	44
5.2.2	Pferdewiese und Wendeschleife (Anlagen 1.2.3 und 2.1.2)	45
5.2.3	H.H.-Meier-Allee (Anlagen 1.2.3 bis 1.2.4 und 2.1.3)	46
5.2.4	Schwachhauser Ring (Anlagen 1.2.4 bis 1.2.5 und 2.1.4)	47
5.3	Baugrubenverbau	48
5.3.1	Offener Baugrubenverbau	48
5.3.2	Start- und Ziel-Baugruben zum Unterpressen	49
5.4	Grundwasserabsenkung (Anlage 5.1)	51
5.4.1	Grundwasserabsenkung "offene Bauweise" (Anlage 5.1)	51
5.4.2	Grundwasserabsenkung - Baugruben zur Unterpressung	53
5.4.3	Grundwasserabsenkung - Allgemeines	55
5.4.4	Auswirkungen durch Grundwasserabsenkung - offene Bauweise	57
5.5	Erdarbeiten	59
5.6	Überprüfung der Aushub- und Gründungssohlen	60
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>62</b>

## **1 Anlass der geotechnischen Untersuchungen**

Die Wesernetz Bremen GmbH plant die Verlegung einer Fernwärmeverbindungsleitung in Bremen vom im Nord-Osten gelegenen Hochschulring bis zum Heizwerk Vahr. Das Grundbaulabor Bremen wurde beauftragt, für die bevorstehende Maßnahme eine Baugrundbeurteilung einschließlich der Baugrundaufschlüsse und Laborversuche durchzuführen.

Die Baugrundaufschlüsse wurden von uns in Absprache mit der Wesernetz Bremen GmbH unter Berücksichtigung der Kenntnisse über die zu erwartenden Baugrundverhältnisse und des geplanten Bauwerkes festgelegt, wobei vorhandene bauliche Anlagen einschränkend berücksichtigt werden mussten.

Dieser Geotechnische Bericht 1 enthält die ersten Ergebnisse des aktuellen Erkundungsstands. Der Bericht umfasst die Baugrundaufschlüsse, die Feld- und Laborversuche sowie eine Beurteilung des Baugrundes einschließlich Angaben zur Gründung, dem Verbau und der Wasserhaltung.

## **2 Bauvorhaben (Anlagen 1.1 bis 1.2.5)**

### **2.1 Verwendete Unterlagen**

#### Fichtner Water & Transportation GmbH

- [ 1 ] Übersichtskarte - Lageplaneinteilung, Plan Nr.: 1.1, Maßstab 1 : 5.000. Leistungsphase: Vorplanung, Vorabzug Stand 12.04.2019.
- [ 2 ] Übersichtskarte, Plan Nr.: 1.0, Maßstab 1 : 5.000. Leistungsphase: Machbarkeitsstudie, Vorabzug Stand 27.11.2018.
- [ 3 ] Detailplan Standardbaugruben, Plan Nr.: 4.0, Maßstab 1 : 50. Leistungsphase: Vorplanung, Vorabzug Stand 22.02.2019.

## **2.2 Baugelände (Anlagen 1.1 und 1.2.1 bis 1.2.5)**

Der Trassenverlauf der Fernwärmeverbindungsleitung ist auf der Planunterlage [1] bzw. auf dem Übersichtslageplan im Maßstab 1 : 5.000 auf der Anlage 1.1 dargestellt.

Im Bereich der geplanten Leitungstrasse wurde im Vorfeld bzw. im Zuge der Baugrunderkundung eine Ortsbesichtigung durchgeführt. Dabei wurde Folgendes festgestellt:

Der Kuhgrabenweg ist ein asphaltierter Geh- und Radweg mit beidseitigem Grünstreifen und einseitig verlaufendem Graben (Kuhgraben). Der Sondierabschnitt ist auf den Anlagen 1.2.1 bis 1.2.2 dargestellt.

Die Pferdewiese ist eine Grünfläche, die derzeit von einem Verein überwiegend als Pferdeweide genutzt wird. Das Gelände weist ein Gefälle von Südwest nach Nordost auf. Der Sondierabschnitt ist auf der Anlagen 1.2.3 dargestellt.

Südlich an die Pferdewiese grenzt die Wendeschleife. Die Wendeschleife ist ein Grünflächenbereich innerhalb des Wendepunktes der Linie 6 der Straßenbahn AG. Die Wendeschleife wird von Strommasten umsäumt und liegt gegenüber der angrenzenden Pferdewiese um ca. 1,30 m höher. Der Sondierabschnitt ist auf der Anlagen 1.2.3 dargestellt.

Die H.-H.-Meier-Allee ist eine asphaltierte Straße, in deren Mitte die Straßenbahnlinie 6 verläuft, mit beidseitig gepflasterten Geh- und Radwegen und angrenzender Wohn- und Geschäftsbebauung. Der Sondierabschnitt ist auf den Anlagen 1.2.3 bis 1.2.4 dargestellt.

Der Schwachhauser Ring ist eine asphaltierte Straße. Die Nebenanlagen sind auf der nördlichen Seite mit einem Grünstreifen und einem gepflasterten Gehweg ausgebaut. Auf der anderen Seite sind neben dem Grünstreifen ein asphaltierter Radweg, ein weiterer Grünstreifen und ein gepflasterter Gehweg angelegt. Angrenzend befindet sich Wohnbebauung. Der Sondierabschnitt ist auf den Anlagen 1.2.4 bis 1.2.5 dargestellt.

### **2.3 Bauwerk (Anlagen 1.2.1 bis 1.2.5 / 2.1.1 bis 2.1.4)**

Die Objektplanung wird ausgeführt von der Fichtner Water & Transportation GmbH, Hamburg.

Die Fernwärmeverbindungsleitung soll die im Bremer Nord-Osten geplante Blockstation am Hochschulring, Ecke Kuhgrabenweg mit dem Heizwerk Vahr (Emil-Sommer-Straße) verbinden. Die Verbindungsleitung besteht aus zwei Kunststoffmantelrohren (DN 500), die über eine Länge von rd. 7,5 km durch das Stadtgebiet Bremen verlegt werden.

Angepasst an die räumliche und verkehrstechnische Situation wird die Leitung überwiegend in offener Bauweise oder im Unterpressungsverfahren verlegt.

In offener Bauweise soll die Verbindungsleitung in einer Tiefe von 2 m unter der jeweiligen Geländeoberkante [3] verlegt werden. Für die Querung von Gewässern, Straßenbahnstrecken und Verkehrsknotenpunkten werden Start- und Ziel-Baugruben hergestellt und die Leitung unterpresst. Die Tiefe der Baugruben variiert aufgrund von Sicherheitsabständen zu vorhandenen Leitungen zwischen ca. 5 m und 7,5 m [2] unter Geländeoberkante.

#### **Höhen**

Die m NHN-Höhen der Sondierpunkte wurden mit einem satellitengestützten Positionssystem via GNSS-Technik (GPS/GLONASS) eingemessen (Genauigkeit ca. horizontal = 1 bis 2 cm, vertikal = 1,5 bis 3 cm).

#### **Gelände und Baugrund:**

##### **Kuhgrabenweg (Anlagen 1.2.1 bis 1.2.2 und 2.1.1)**

Gelände, max.	(BS 35)	+	2,27 m NHN
Gelände, min.	(BS 41)	+	1,38 m NHN
Grundwasser	(BS 36: 06.05.2019)	+	0,30 m NHN
Grundwasser	(BS 44: 07.05.2019)	+	0,37 m NHN
Grundwasserhöchststand lt. GdFB (Nord)		ca. +	1,20 m NN
Grundwasserhöchststand lt. GdFB (Süd)		ca. +	1,10 m NN

Pferdewiese (Anlagen 1.2.3 und 2.1.2)

Gelände, max.	(BS 13)	+	1,35 m NHN
Gelände, min.	(BS 3)	+	1,11 m NHN
Grundwasser	(BS 9: 28.03.2019)	+	0,85 m NHN
Grundwasser	(BS 12: 29.03.2019)	+	0,78 m NHN
Grundwasserhöchststand lt. GDfB		ca. +	1,50 m NN

Wendescheife (Anlagen 1.2.3 und 2.1.2)

Gelände, max.	(BS 7)	+	2,66 m NHN
Gelände, min.	(BS 8)	+	2,63 m NHN
Grundwasserhöchststand lt. GDfB		ca. +	1,50 m NN

H.-H.-Meier-Allee (Anlagen 1.2.3 bis 1.2.4 und 2.1.3)

Gelände, max.	(BS 34)	+	4,10 m NHN
Gelände, min.	(BS 14)	+	2,39 m NHN
Grundwasser	(BS 17: 09.05.2019)	+	0,86 m NHN
Grundwasser	(BS 26: 13.05.2019)	+	0,77 m NHN
Grundwasser	(BS 29: 16.05.2019)	+	0,90 m NHN
Oberes Grundwasser	(BS 32: 20.05.2019)	+	1,55 m NHN
Grundwasserhöchststand lt. GDfB (Nord)		ca. +	1,50 m NN
Grundwasserhöchststand lt. GDfB (Süd)		ca. +	2,00 m NN

Schwachhauser Ring (Nebenanlagen) (Anlagen 1.2.4 bis 1.2.5 und 2.1.4)

Gelände, max.	(BS 50 und BS 51)	+	4,38 m NHN
Gelände, min.	(BS 47)	+	3,87 m NHN
Straßenhöhe	(Kanaldeckel 12084)	+	4,19 m NHN
Straßenhöhe	(Kanaldeckel 12211)	+	4,25 m NHN
Straßenhöhe	(Kanaldeckel 12196)	+	4,38 m NHN
Straßenhöhe	(Kanaldeckel 12197)	+	4,48 m NHN
Straßenhöhe	(Kanaldeckel 12194)	+	4,26 m NHN
Grundwasser	(BS 47: 27.05.2019)	+	0,69 m NHN
Grundwasser	(BS 51: 28.05.2019)	+	0,83 m NHN
Grundwasser	(BS 54: 29.05.2019)	+	0,94 m NHN
Grundwasserhöchststand lt. GDfB (West)		ca. +	2,00 m NN
Grundwasserhöchststand lt. GDfB (Ost)		ca. +	2,40 m NN

In den Bodenprofilanlagen sind die geplanten "Gründungssohlen" der Fernwärmeleitung sowie die geplante Tiefe der Baugruben gemäß Planunterlage [2] mit einem grünen Strich dargestellt.

### **3 Baugrund (Anlagen 2.1.1 bis 3.7.35)**

#### **3.1 Geologische und bautechnische Vorgeschichte**

Nach den geologischen Übersichtskarten, Blatt Bremen-Ost und Lilienthal, sind im Bereich der Baufläche bindige Bodenarten zu erwarten.

Nach der Baugrundkarte Bremen, Blatt Stadtmitte, wurde im Bereich der Baufläche das Bodenprofil 1 kartiert.

Nach dem Profil 1 sind bindige und organische Bodenarten (bis 10,00 m und mächtiger) mit weicher bis steifer Konsistenz über nichtbindigen Bodenarten zu erwarten. Es handelt sich dabei um Schluff und/oder Ton mit wechselnden Anteilen von Sand und/oder organischen Beimengungen, organischen Ablagerungen (z. B. Auelehm, Klei, Torf, Mudde) über Sand und Kies, gemischtkörnig, mit Anteilen bis Blockgröße (Talsande; überwiegend gespanntes Grundwasser).

Die Basis der holozänen Weichschichten (Auelehm, Klei, Torf und Mudde), die im Abstand von 2,00 m in der Baugrundkarte kartiert wurden, ist in den sondierten Bereichen in den nachfolgenden Tiefen zu erwarten:

<b>Abschnitt</b>	<b>Tiefe</b>
Kuhgrabenweg	ca. - 0,30 m NN bis - 1,10 m NN
Pferdewiese	ca. + 0,10 m NN bis - 0,80 m NN
Wendeschleife	ca. + 0,10 m NN
H.-H.-Meier-Alle	ca. + 0,30 m NN bis - 0,70 m NN
Schwachhauser Ring	ca. + 0,20 m NN bis - 0,80 m NN



Die Oberfläche der Lauenburger Schichten, die in der Baugrunderkarte Bremen Teil C als Linien gleicher Tiefenlage auf m NN bezogen in 5,00 m Abständen dargestellt wurde, ist in nachfolgenden Tiefen zu erwarten:

Abschnitt	Tiefe	Ausbildung der oberen 3 m
Kuhgrabenweg	ca. - 9 m NN bis - 15 m NN	bindig
Pferdewiese	ca. - 20 m NN bis - 31 m NN	bindig
Wendeschleife	ca. - 20 m NN	bindig
H.-H.-Meier-Alle	ca. - 17 m NN bis - 20 m NN	bindig
Schwachhauser Ring	ca. - 17,5 m NN bis - 22 m NN	bindig, ab BS 49 bis BS 54 sandig

### 3.2 Baugrundaufschlüsse (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.4)

Zur Erkundung des Baugrundes wurden von unserem Labor im März bis Mai 2019 folgende Baugrundaufschlüsse durchgeführt:

Direkte Baugrundaufschlüsse:

54 Kleinrammbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1, Durchmesser 45 mm bis 80 mm, t = 4 m bis 12 m.

Es ist zu beachten, dass bei dem Bohrverfahren, Kleinrammbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1 mit einem Durchmesser von 45 mm bis 80 mm, Steine > 63 mm nicht erkannt und gefördert werden können.

Indirekte Baugrundaufschlüsse:

18 Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde nach DIN EN ISO 22476-2 (DPH), t = 8 m bis 12 m.

Die Sondierbohrungen BS 1, BS 2 und BS 22 wurden vorerst ausgesetzt. Für die Durchführung der Sondierungen im Bereich der Punkte BS 1 und BS 2 müsste ausgeholt werden und im Bereich der BS 22 müsste erneut ein Parkverbot erwirkt werden. Aufgrund der umliegend ausgeführten Sondierbohrungen kann auf die Durchführung an diesen Punkten verzichtet werden.

Die Lage der Baugrundaufschlüsse ist auf den Anlagen 1.2.1 bis 1.2.5 dargestellt.

Das Ergebnis der Baugrundaufschlüsse, höhengerecht im Maßstab 1 : 100 als Bodenprofile mit den Sondierdiagrammen dargestellt, zeigen die Anlage 2.1.1 bis 2.1.4.

### **3.3 Baugrundverhältnisse (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.4)**

#### **3.3.1 Baugrundsichtung (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.4)**

Aus den direkten Baugrundaufschlüssen ist die nachstehende Schichtenfolge erkennbar:

##### Kuhgrabenweg (Anlage 2.1.1):

Unter einer Oberflächenbefestigung aus Asphalt stehen Tragschichten aus Mineralgemisch, Schotter und Sanden mit Mächtigkeiten von 0,25 m bis 1,10 m an. Darunter folgt eine Auffüllung aus Sanden, die z.T. schluffige Beimengungen und Bauschutt aufweisen. Unter der Auffüllung in einer Tiefe von 0,30 m bis 1,60 m = + 1,16 m NHN bis + 0,53 m NHN folgen größtenteils Schluff- und Torfschichten. Die tonigen, sandigen Schluffschichten mit humosen Beimengungen weisen eine weiche bis halbfeste Konsistenz auf. Die Torfschichten wurden mit Mächtigkeiten von 0,10 m bis 1,20 m erkundet. Unterhalb der holozänen Weichschichten stehen ab einer Tiefe von 1,50 m bis 3,10 m = + 0,09 m NHN bis - 1,62 m NHN fein- bis grobsandige Mittelsande an, die im Übergangsbereich teilweise schluffige Beimengungen aufweisen.

In der Sondierbohrung BS 36 wurden keine holozänen Weichschichten erkundet.

In den Sondierbohrungen BS 36, BS 38, BS 40, BS 42 und BS 44 wurde keine Oberflächenbefestigung aus Asphalt angetroffen. Die Oberflächen im Bereich der Sondierbohrungen BS 36 und BS 40 sind provisorisch mit Schotter befestigt. Die Sondierbohrungen BS 38, BS 42 und BS 44 wurden im Randbereich des Kuhgrabenweges ausgeführt, sodass gering mächtige Mutterbodenschichten anstehen.

Die Sande wurden in der Endtiefe der Sondierbohrungen nicht durchteuft. Sie stehen erfahrungsgemäß in einer größeren Mächtigkeit an und werden nach der Baugrunderkarte Bremen in ca. 10 m bis 17 m Tiefe von Lauenburger Schichten unterlagert.

#### Pferdewiese (Anlage 2.1.2):

Unter 0,20 m bis 0,35 m mächtigem Mutterboden stehen tonige, sandige Schluffschichten mit humosen Beimengungen in weicher bis steifer Konsistenz an. In einer Tiefe von 0,60 m bis 0,70 m Tiefe = + 0,51 m NHN bis + 2,55 m NHN folgen Torfschichten mit Mächtigkeiten von 0,40 m bis 1,10 m. Unterhalb der Torfe folgen z.T. sandige Schluffschichten mit Mächtigkeiten von 0,30 m bis 0,70 m. Ab einer Tiefe von 1,00 m bis 2,00 m = + 0,22 m NHN bis - 0,69 m NHN stehen fein- bis grobsandige, Mittelsande (überwiegend pleistozän) an, die im Übergangsbereich teilweise schluffige Beimengungen aufweisen.

Die Sande wurden in der Endtiefe der Sondierbohrungen nicht durchteuft. Sie stehen erfahrungsgemäß in einer größeren Mächtigkeit an und werden nach der Baugrunderkarte Bremen in ca. 21 m bis 34 m Tiefe von Lauenburger Schichten unterlagert.

#### Wendeschleife BS 7 und BS 8 (Anlage 2.1.2):

Unter einer 1,40 m bis 1,60 m mächtigen Auffüllung aus Bauschutt-Sand-Gemischen und Mineralgemisch stehen tonige Schluffschichten in weich bis steifer Konsistenz an. Ab einer Tiefe von 2,00 m = + 0,63 m NHN bis + 0,66 m NHN folgen 0,40 m bis 0,60 m mächtige Torfschichten. Ab einer Tiefe von 2,40 m bis 2,60 m = + 0,03 m NHN bis + 0,26 m NHN stehen pleistozäne Sande an, die im Übergangsbereich schluffige Beimengungen aufweisen.

Die Sande wurden in der Endtiefe der Sondierbohrungen nicht durchteuft. Sie stehen erfahrungsgemäß in einer größeren Mächtigkeit an und werden nach der Baugrunderkarte Bremen in ca. 23 m Tiefe von Lauenburger Schichten unterlagert.

#### H.-H.-Meier-Allee (2.1.3):

Unter einer Oberflächenbefestigung aus Asphalt stehen Tragschichten aus Mineralgemisch, Recyclingmaterial, Schotter und teilw. hydraulisch verfestigten Tragschichten (Sandzement) an. Unterhalb der Tragschichten ab einer Tiefe von 0,25 m bis 0,50 m steht eine mächtige Auffüllung aus Sanden und Sand-Schluff-Gemischen z.T. mit Bauschuttbeimengungen an. Unterhalb der Auffüllung ab einer Tiefe von 0,70 m bis 1,90 m = + 0,74 m NHN bis + 3,20 m NHN folgen sandige, tonige Schluffschichten mit z.T. humosen Beimengungen in überwiegend weich bis steifer teilweise steif bis halbfester Konsistenz. In die Schluffschichten sind vereinzelt holozäne Sande mit Mächtigkeiten von 0,15 m 1,40 m bis eingelagert. In einer Tiefe von 2,10 m bis 3,10 m = + 0,14 m NHN bis + 1,31 m NHN stehen Torfschichten mit Mächtigkeiten von 0,15 m bis 2,00 m an. Ab einer Tiefe von 2,00 m bis 5,10 m = - 1,45 m NHN bis + 1,40 m NHN folgen pleistozäne Sande, die im Übergangsbereich z.T. schluffige und humose Beimengungen aufweisen.

Die Weichschichten wurden in der Endtiefe der Sondierbohrungen BS 27, BS 31, BS 33 und BS 34 nicht durchteuft.

Die pleistozänen Sande wurden in der Endtiefe der Sondierbohrungen BS 14 bis BS 26, BS 28 bis BS 30 und BS 32 nicht durchteuft. Sie stehen erfahrungsgemäß in einer größeren Mächtigkeit an und werden nach der Baugrunderkarte Bremen in ca. 19 m bis 24 m Tiefe von Lauenburger Schichten unterlagert.

#### Schwachhauser Ring (Anlage 2.1.4):

Unter 0,30 m bis 0,50 m mächtigem Mutterboden, der überwiegend mit Bauschutt durchsetzt ist, steht überwiegend eine Auffüllung aus Sanden z.T. mit Bauschuttbeimengungen an. Unterhalb der Auffüllung bzw. des Mutterbodens folgen in einer Tiefe von 0,30 m bis 1,30 m = + 2,71 m NHN bis + 3,98 m NHN sandig, tonige Schluffschichten mit z.T. humosen Beimengungen mit weich bis steifer teilweise halbfester Konsistenz. Ab einer Tiefe von 0,70 m bis 2,00 m = + 1,87 m NHN bis + 3,38 m NHN stehen holozäne Sande mit z.T. schluffigen Beimengungen an. Darunter folgen in einer Tiefe von 2,60 m bis 3,00 m = + 0,97 m NHN bis + 1,64 m NHN holozäne Weichschichten. Die sandig, tonigen Schluffschichten z.T. mit humosen Beimengungen stehen in weich bis steifer Konsistenz an. Die Torfschichten, die Mächtigkeiten von 0,20 m bis 1,00 m aufweisen, stehen in einer Tiefe von 2,90 m bis 3,80 m = + 0,58 m NHN bis 1,44 m NHN an. Unterhalb der Weichschichten folgen ab einer Tiefe von 3,60 m bis 4,60 m = - 0,43 m NHN bis + 0,48 m NHN pleistozäne Sande, die im Übergangsbereich z.T. schluffige Beimengungen aufweisen.

In der Sondierbohrung BS 54 wurde oberhalb der Torfschichten in einer Tiefe von 2,60 m = + 1,48 m NHN eine 0,4 m starke Schicht aus altem Holz und Sand erkundet.

Die pleistozänen Sande wurden in der Endtiefe der Sondierbohrungen nicht durchteuft. Sie stehen erfahrungsgemäß in einer größeren Mächtigkeit an und werden nach der Baugrunderkarte Bremen in ca. 23 m Tiefe von Lauenburger Schichten unterlagert.

Die Sondierungen wurden nach Absprache in den Nebenanlagen ausgeführt. Zum Höhenvergleich wurden unter Abs. 2.3 die Kanaldeckelhöhen der Straße mit aufgeführt.

Die genaue Schichtenfolge und -mächtigkeit sowie weitere Angaben sind in den Bodenprofilen auf den Anlagen 2.1.1 bis 2.1.4 dargestellt.

### 3.3.2 Baugrundfestigkeit

Aus den Sondierwiderständen der schweren Rammsonde (DPH) nach DIN EN ISO 22476-2, kann bei nichtbindigen Böden unmittelbar auf die Baugrundfestigkeit geschlossen werden. Als Festigkeit ist hier die Eigenschaft eines nichtbindigen Bodens bezeichnet, die durch Lagerungsdichte, Korngröße und -rauigkeit gekennzeichnet ist und sich in der Größe des Steifemoduls  $E_S$  sowie des Winkels der inneren Reibung  $\varphi'$  äußert. Es kann von folgendem Zusammenhang zwischen den Schlagzahlen  $n_{10}$  und der Baugrundfestigkeit ausgegangen werden:

Schlagzahlen $n_{10}$		Benennung der Festigkeit	Lagerung
0	1	sehr gering	sehr locker
1	- 2	gering	locker
2	- 5	mittel	mitteldicht
5	- 10	groß	dicht
>	10	sehr groß	sehr dicht

In Bereichen von geplanten Start- und Ziel-Baugruben für die Unterpressung der Fernwärmeverbindungsleitung wurden ergänzend zu den Sondierbohrungen Rammsondierungen zur Bestimmung der Baugrundfestigkeit durchgeführt.

#### Wendeschleife (Anlage 2.1.2):

Die Rammsondierungen DPH 7 und DPH 8 zeigen in der Auffüllung mit Schlagzahlen von  $n_{10} = 1$  bis 10 geringe bis überwiegend mittlere Festigkeiten, z.T. große Festigkeiten. In den Schluff- und Torfschichten sind sehr geringe bis geringe Festigkeiten zu erwarten. Die darunter anstehenden pleistozänen Sande zeigen mit Schlagzahlen von  $n_{10} = 3$  bis 22 mittlere bis überwiegend große Festigkeiten, z.T. sehr große Festigkeiten.

#### H.-H.-Meier-Allee (Anlage 2.1.3):

Die Rammsondierungen zeigen in den Tragschichten große bis sehr große Festigkeiten. In der Auffüllung weisen die Schlagzahlen von  $n_{10} = 1$  bis  $> 20$  auf geringe bis überwiegend mittlere bis große Festigkeiten hin. In den Schluff- und Torfschichten sind sehr geringe bis geringe Festigkeiten zu erwarten. Die in den Weichschichten eingelagerten Sande weisen mit Schlagzahlen von  $n_{10} = 1$  bis 5 auf geringe bis mittlere Festigkeiten hin. Die unterhalb der Weichschichten anstehenden pleistozänen Sande zeigen mit Schlagzahlen von  $n_{10} = 2$  bis 30 überwiegend mittlere bis große Festigkeiten, z.T. sehr große Festigkeiten.

#### Schwachhauser Ring (2.1.4):

Die Rammsondierungen zeigen in der Auffüllung mittlere bis große Festigkeiten. In den oberen Schluffschichten sind geringe Festigkeiten zu erwarten. Die holozänen Sande weisen mit Schlagzahlen von  $n_{10} = 1$  bis 4 auf geringe bis mittlere Festigkeiten hin. In den unterlagernden Schluff- und Torfschichten sind sehr geringe bis geringe Festigkeiten zu erwarten. Die pleistozänen Sande zeigen mit Schlagzahlen von  $n_{10} = 3$  bis 17 mittlere bis große Festigkeiten, z.T. sehr große Festigkeiten.

In der Rammsondierung DPH 47 musste aufgrund von Leitungssuche bis in eine Tiefe von 0,80 m vorgegraben werden, sodass in der Auffüllung keine Festigkeiten festgestellt werden konnten.

### **3.4 Umwelttechnische Verhältnisse**

#### **3.4.1 Allgemeines zu Verunreinigungen des Baugrundes**

Der Wiedereinbau von Böden sowie die Anlieferung externer Böden sind neben bodenmechanischen Belangen auch aus umwelttechnischer Sicht zu prüfen.

Die festgestellten Verunreinigungen sind gemäß dem Bremischen Bodenschutzgesetz (BremBodSchG) beim Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (SUBV) - Referat Bodenschutz anzuzeigen. Danach wird von der Behörde die weitere Vorgehensweise festgelegt.

### 3.4.1.1 Grundwasserverunreinigung

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (SUBV) verfügt über ein Informationssystem bezüglich altlastenbedingter Grundwasserverunreinigungen. Gemäß der Detailkarte HB 4 liegt im Bereich des Schwachhauser Rings eine Grundwasserverunreinigung vor.

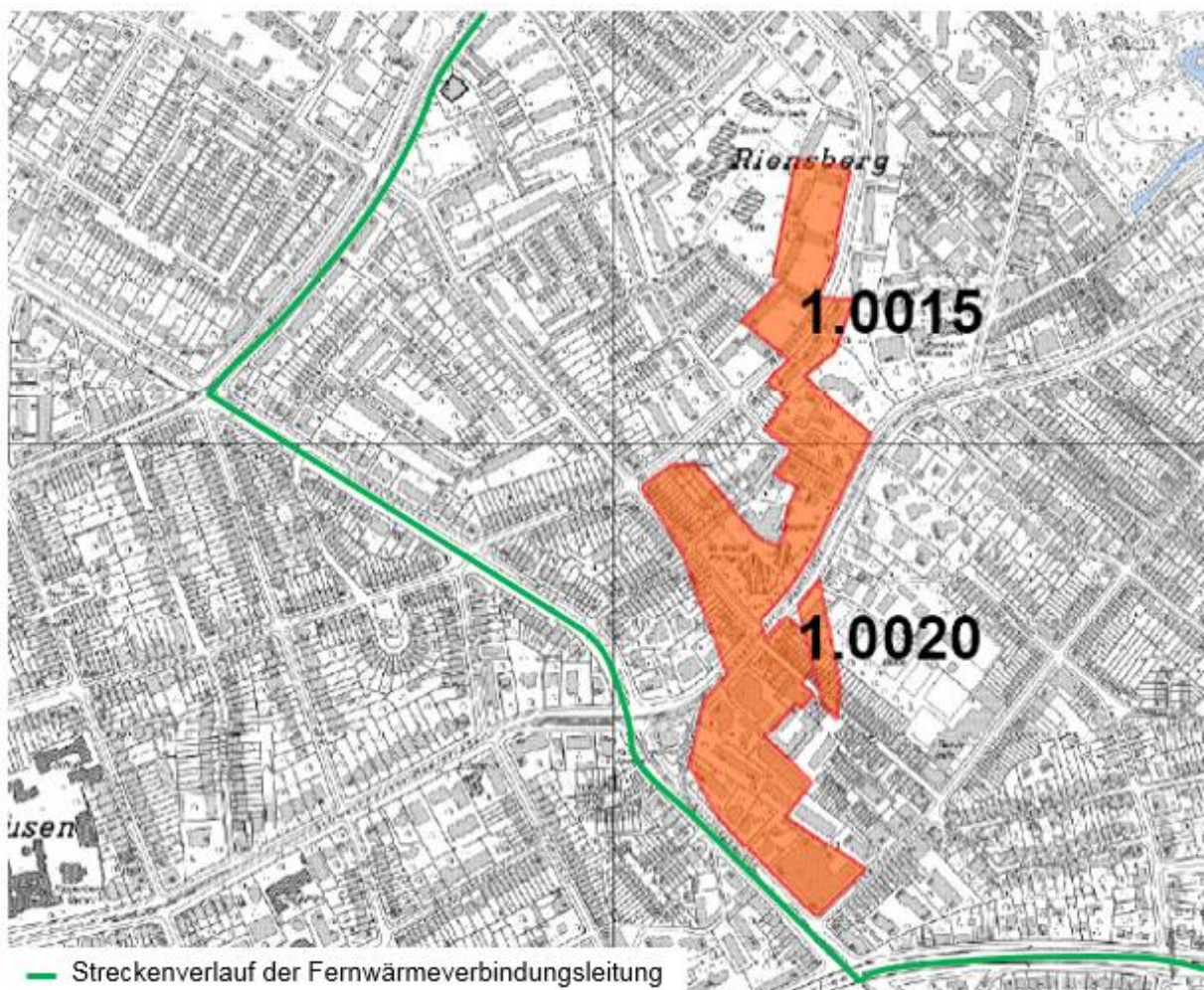


Abbildung 1: Ausschnitt aus Detailkarte HB 4 zu altlastenbedingten Grundwasserverunreinigungen (Quelle SUBV).



Für das Informationsgebiet 1.0015 „Grundwasseruntersuchungen auf den Grundstücken Schwachhauser Heerstraße, Klattenweg Az: 641-40-03/1 (536)“ wurde vom SUBV am, 04.10.2005 eine Grundwasserverunreinigung bekannt gegeben.

Es wurden erhöhte Werte an leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen (BTEX) festgestellt, die die Maßnahmenschwellenwertbereiche der LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) teilweise überschreiten. Des Weiteren wurden erhöhte LHKW/ LCKW (leichtflüchtige halogenierte/chlorierte Kohlenwasserstoffe) gemessen, teilweise über dem LAWA-Maßnahmenschwellenwertbereiches.

Eine Ursache für die festgestellte Grundwasserverunreinigung ist bisher nicht bekannt und die Quelle nicht eingegrenzt. Die Untersuchungen durch den SUBV werden fortgesetzt.

Die Nutzung des LCKW- bzw. BTEX-belasteten Grundwassers kann möglicherweise zu Gesundheitsbeeinträchtigungen führen.

Für das Informationsgebiet 1.0020 „Information zur Grundwasserproblematik im Bereich Buchenstraße“ (Stand 09.01.2007) ist ebenfalls eine Verunreinigung des Grundwassers durch BTEX ermittelt worden. Die festgestellte Grundwasserverunreinigung wurde durch eine Tankstelle in der Buchenstraße verursacht. Eine Grundwassersanierung wurde bis auf weiteres aufgrund der Untergrundverhältnisse ausgesetzt.

Weitere Angaben sind den Informationsschreiben zu den Informationsgebieten des SUBV zu entnehmen.

### 3.4.1.2 Altablagerungen

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (SUBV) erfasst für die Stadtgemeinde Bremen Altablagerungen (stillgelegte Deponien) und führt ein Überwachungsprogramm durch. Gemäß den Detailkarten liegt im Bereich des Trassenverlaufes direkt keine Altablagerung. Allerdings verläuft die Trasse sehr dicht an der Altablagerung A1.341.0001 (Detailkarte 09 Horn-Lehe) entlang.

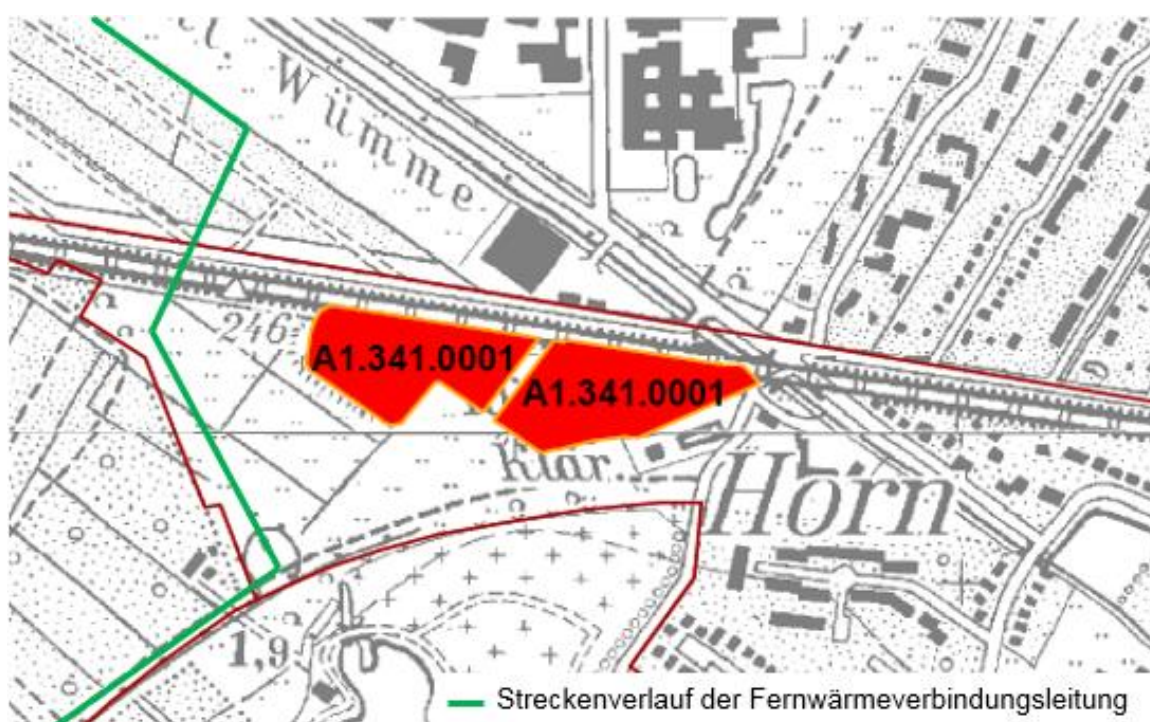


Abbildung 2: Ausschnitt aus der Detailkarte 09 Horn-Lehe zu Altablagerungen (Quelle SUBV).

Bei der gekennzeichneten Fläche handelt es sich um eine Deponie, auf der im Zeitraum von 1945 bis 1965 Haus- und Industriemüll abgelagert wurde. Die Fläche wurde gesichert und wird im Überwachungsprogramm für Altablagerungen in der Stadtgemeinde Bremen seit 1992 überwacht. Teile der Deponie wurden im Zuge des Baus der Straßenbahn „Linie 4“ 1997 abgetragen. Die Ergebnisse der Grundwasserüberwachung, der Bodenluftüberwachung und der aktiven Sicherungsmaßnahmen aus dem Altablagerungsüberwachungsprogramm im Zeitraum 2000 - 2005 gibt für die Fläche nur geringe altablagerungstypische Schadstoffe an. Toxikologisch relevante Schadstoffe in Form von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) wurden zeitweise angetroffen.

Die Werte für PAK überschreiten im Grundwasser z.T. den Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Der GFS bildet die Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung. Die Fläche befindet sich weiterhin im Altablagerungsüberwachungsprogramm und wird halbjährlich überwacht.

### 3.4.2 Verunreinigungen des Baugrundes

Nach den durchgeführten Sondierbohrungen, die natürlich nur "Nadelstiche" im Baugrund darstellen, sind nach der organoleptischen Ansprache teilweise Anzeichen von Verunreinigungen der Böden festgestellt worden. Die überwiegende Zahl der Schadstoffe ist jedoch organoleptisch nicht wahrnehmbar. Daher kann ohne chemische Analytik nicht ausgeschlossen werden, dass insbesondere auch in den dazwischen liegenden Bereichen Verunreinigungen vorhanden sind.

Die bei den Baugrundaufschlüssen entnommenen Bodenproben wurden vor Ort und ein zweites Mal im Labor organoleptisch angesprochen.

In den Kleinrammbohrungen im Kuhgrabenweg, in der Wendeschleife, der H.-H.-Meier-Allee und dem Schwachhauser Ring wurde festgestellt, dass in der Auffüllung bereichsweise Bauschuttbeimengungen vorhanden sind. Zur Abschätzung der Bauschuttanteile sind zusätzlich Schürfen erforderlich, damit die Erkenntnisse hieraus in der Ausschreibung berücksichtigt werden können.

Des Weiteren wurde in folgenden Schichten ein auffälliger Geruch festgestellt:

Sondierbohrung	Tiefe [m]	Material	Anl.
BS 26	0,14 - 0,30	Schlacke (Auffüllung)	2.1.3
BS 28	0,00 - 0,08	Asphalt (Oberflächenbefestigung)	2.1.3
BS 29	0,00 - 0,07	Asphalt (Oberflächenbefestigung)	2.1.3
BS 41	0,00 - 0,06	Asphalt (Oberflächenbefestigung)	2.1.1
BS 43	0,00 - 0,07	Asphalt (Oberflächenbefestigung)	2.1.1

### **3.4.3 Hinweise zum Umgang mit Aushubböden, Bauschutt und Gemischen**

Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall gibt mit der Mitteilung 20 die Vorgaben für einen ländereinheitlichen Vollzug des Abfallrechts heraus. In der M20 sind die „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen“ vorgegeben.

Bodenmaterial mit mineralischen Fremdbestandteilen (z. B. Bauschutt, Schlacke, Ziegelbruch) bis zu 10 Vol.-% wird gemäß der LAGA M 20 TR-Boden Stand 05.11.2004 analysiert und deklariert. Bodenmaterial mit mineralischen Fremdbestandteilen > 10 Vol.-% wird in den Technischen Regeln unter „Gemische“ behandelt und ebenso wie Bauschutt gemäß der LAGA TR Boden Stand 06.11.1997 untersucht und bewertet.

In Industrie- sowie Misch- und Gewerbegebieten oder Flächen, auf denen mit punktuellen oder flächenhaften Bodenbelastungen gerechnet werden müssen (z.B. Leckagen in Bauwerken und Rohrleitungen, Umgang mit umweltgefährdenden Stoffen, erhöhte Immissionsbelastung, längere Zwischenlagerung von Boden etc.), sowie Boden mit einem Anteil an Fremdbestandteilen > 10 Vol.-% oder schadstoffverdächtigen Inhaltsstoffen ist grundsätzlich eine analytische Untersuchung gemäß LAGA M 20 erforderlich.

Abhängig vom Ergebnis der chemischen Untersuchungen wird dem Boden bzw. Bauschutt oder Gemisch eine Einbauklasse gem. LAGA zugeordnet (Z-Klasse). Die Zuordnungswerte mit den Angaben zu der Verwertung bezogen auf die untersuchten Parameter sind nachfolgend aufgeführt:

- Z 0 uneingeschränkter Einbau Verwertung von Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen
- Z 0\* uneingeschränkter Einbau in bodenähnlichen Anwendungen bei hydrologisch günstigen Gebieten
- Z1 eingeschränkter offener Einbau
- Z 1.1 in günstigen und ungünstigen hydrogeologischen Gebieten
- Z 1.2 in günstigen hydrogeologischen Gebieten ansonsten Einbauklasse 2
- Z2 eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen
- > Z2 Einbau/Ablagerung in Deponien bzw. gesonderte Entsorgung/ Verwertung

Die Grenzwerte der Zuordnungsklassen sind der Mitteilung 20 der LAGA zu entnehmen. Des Weiteren sind die angegebenen Verwertungsanforderungen unter Berücksichtigung der Nutzung und der Standortverhältnisse bei der Verwertung zu beachten.

Für den Parameter polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in der Originalsubstanz wurden durch den Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (Hansestadt Bremen) von dem LAGA-Papier abweichende Grenzwerte (Z 1.1: 5 mg/kg, Z 1.2: 15 mg/kg, Z 2: 75 mg/kg) vorgegeben, die bei der Einstufung beachtet wurden.

Da es sich bei den Baugrundaufschlüssen um stichprobenartige punktuelle Untersuchungen handelt, können Änderungen in der Materialzusammensetzung und ggf. Schadstoffzusammensetzung sowie bisher unbekannte Verunreinigungen außerhalb der Sondierpunkte üblicherweise nicht ausgeschlossen werden.

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr hat mit dem Merkblatt „Einstufung der Gefährlichkeit von Abfällen in Bremen“ (Stand August 2017) festgelegt, dass Böden und andere mineralische Bauabfälle in der Regel als gefährlicher Abfall gelten, wenn sie einen der Feststoff- oder Eluat-Zuordnungswerte Z 2 des LAGA-Merkblatts 20 überschreiten, es sei denn, weitere, d.h. über die Z 2- Zuordnungswerte hinausgehende Schadstoffe führen zur Einstufung als gefährlicher Abfall.

Die durchgeführten Untersuchungen haben einen orientierenden Charakter. Liegt die anfallende Kubatur fest, sind ggf. verdichtende Untersuchungen gemäß LAGA PN 98 erforderlich.

Wiederverwendung ggf. Entsorgungswege sind mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Bei der Deponierung oder ggf. Wiederverwendung des Materials ist zu beachten, dass die beigefügten Prüfberichte nur eine begrenzte Gültigkeit besitzen. In der Regel werden die Analysen zwischen 3 bis 6 Monate teilweise bis ein Jahr von den Annahmestellen akzeptiert. Nach Ablauf dieser Zeit müssen unter Umständen erneute chemische Untersuchungen des Aushubmaterials vorgenommen werden.

#### **3.4.4 Hinweise zum Umgang mit Mutterboden**

Die Regelungen gemäß der LAGA M 20 gelten ausschließlich für die Verwertung von Bodenmaterial außerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht. Für das Auf- und Einbringen in oder auf eine durchwurzelbare Bodenschicht, bzw. für das Herstellen einer durchwurzelbaren Bodenschicht, ist die BBodSchV (siehe Vollzugshilfe der LABO zu § 12 BBodSchV) heranzuziehen.

Mutterboden gilt laut Bundesgesetzbuch als schützenswertes Gut und ist laut § 202 (BauGB) in nutzbarem Zustand zu halten und vor Vernichtung und Vergeudung zu schützen.

#### **3.4.5 Hinweise zum Umgang mit Straßenaufbruch**

Regelwerke für den Umgang mit Straßenaufbruch sind die „Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen“ und die „Verwertung von Ausbauasphalten im Straßenbau“ (RuVA-StB 01-2005). In Abhängigkeit vom PAK-Gehalt im Feststoff und vom Phenolindex im Eluat werden in den Richtlinien drei Verwertungsklassen festgelegt, denen jeweils Verwertungsverfahren und Einbaubedingungen zugeordnet sind. Teer-/pechtypische Ausbaustoffe liegen gemäß RuVA-StB 01-2005 bei einem Gehalt von > 25 mg/kg PAK im Feststoff vor.

Straßenbeläge aus Asphalt können Asbestminerale enthalten. Diese können in natürlichen Gesteinen vorkommen, die Bitumen als Splitt zugemischt werden. Nach § 16 Abs. 2 der Gefahrstoffverordnung ist die Gewinnung, Aufbereitung, Weiterverarbeitung und Wiederverwendung von natürlich vorkommenden mineralischen Rohstoffen und daraus hergestellten Zubereitungen und Erzeugnissen, die Asbest mit einem Massenanteil von mehr als 0,1 % enthalten, verboten.

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr hat mit dem Merkblatt „Einstufung der Gefährlichkeit von Abfällen in Bremen“ (Stand August 2017) festgelegt, dass für Straßenaufbruch die Grenze von ungefährlichem zu gefährlichem Abfall bei einem PAK-Wert von 25 mg/kg liegt.

### **3.4.6 Hinweise zum Umgang mit potentiell sulfatsauren Böden**

In Norddeutschland treten verbreitet Moor- und Marschböden auf, die teilweise sehr hohe Pyritgehalte aufweisen und bei Oxidation große Mengen an Säure und Sulfat freisetzen können. Diese relativ jungen Bildungen (< 10.000 Jahre, besonders Kleiböden und Auesedimente) werden als potentiell sulfatsaure Böden bezeichnet.

Bodenversauerungen können bei der Umlagerung von Böden aus dem sauerstoffarmen Grundwasserschwankungsbereich an die Geländeoberfläche auftreten. Durch den Kontakt mit dem Sauerstoff aus der Luft kommt es zur Oxidation des Schwefels, der im anaeroben Untergrund meist sulfidisch gebunden ist. Es entstehen schwefelige Säuren. Sehr stark niedrige pH-Werte und hohe Sulfatgehalte sind charakteristisch für versauerte Böden und führen zu abfallrechtlichen Problemen.

Da in der überwiegenden Anzahl der durchgeführten Sondierbohrungen Torfe angetroffen wurden, wurden diese stichprobenartig auf eine mögliche Versauerung analysiert.

Die Wiederverwendbarkeit von potentiell sulfatsauren Böden (Klei- und Torfböden) ist geregelt in der *Handlungsempfehlung zur Bewertung des Versauerungspotentials von Aushubmaterial durch reduzierte anorganische Schwefelverbindungen* der Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, sowie Geologischer Dienst für Bremen (GDfB), 03.11.2009.

### 3.5 Grundwasserverhältnisse

#### 3.5.1 Hauptgrundwasserstockwerk

Nach den durchgeführten Baugrundaufschlüssen sind die Sande unterhalb der Weichschichten der Grundwasserleiter des Hauptgrundwasserstockwerkes. Den Grundwassernichtleiter bilden die in größerer Tiefe anstehenden Lauenburger Schichten.

Aufgrund der z.T. sehr gering durchlässigen Weichschichten kann sich ein gespannter Grundwasserspiegel einstellen bzw. ist teilweise ein gespannter Grundwasserspiegel vorhanden.

Es wurden in ausgewählte Kleinrammbohrungen Peilfilter eingebaut, deren Filterstrecken in den Sanden des Hauptgrundwasserleiters liegen. Während der Sondierarbeiten wurden folgende Grundwasserspiegel eingemessen:

Sondierbohrung	Datum	Grundwasserstand in Ruhe		Anl.
		[m]	[m NHN]	
BS 9	28.03.2019	0,54	+ 0,85	2.1.2
BS 12	29.03.2019	0,42	+ 0,78	2.1.2
BS 17	09.05.2019	2,54	+ 0,86	2.1.3
BS 26	13.05.2019	2,97	+ 0,77	2.1.3
BS 29	16.05.2019	2,75	+ 0,90	2.1.3
BS 36	06.05.2019	1,16	+ 0,30	2.1.1
BS 44	07.05.2019	1,11	+ 0,37	2.1.1
BS 47	27.05.2019	3,05	+ 0,69	2.1.4
BS 51	28.05.2019	3,55	+ 0,83	2.1.4
BS 54	29.05.2019	3,14	+ 0,94	2.1.4

Vom Geologischen Dienst für Bremen (GDfB) wurden die Grundwasserverhältnisse des Hauptgrundwasserstockwerkes in einem umfangreichen Grundwassermessstellennetz im Zeitraum von Dezember 1962 bis Januar 2012 beobachtet.



Aus diesen Grundwasserbeobachtungen wurde die Hydrologische Karte für die Stadtgebiete Bremen und Bremerhaven erstellt, aus der die Grundwasserstände bezogen auf m NN abgelesen werden können. Danach sind im Bereich der Baufläche folgende Grundwasserstände des Hauptgrundwasserstockwerkes angegeben:

Abschnitt	Grundwasserstand (aufgerundet) [m NHN]		
	niedrigster	mittlerer	höchster
Kuhgrabenweg (Nord)	- 0,60	+ 0,30	+ 1,20
Kuhgrabenweg (Süd)	+ 0,20	+ 0,30	+ 1,10
Pferdewiese	± 0,00	+ 0,60	+ 1,40
Wendeschleife	± 0,00	+ 0,70	+ 1,50
H.-H.-Meier-Allee (Nord)	± 0,00	+ 0,70	+ 1,50
H.-H.-Meier-Allee (Süd)	+ 0,70	+ 1,00	+ 2,00
Schwachhauser Ring (West)	+ 0,70	+ 1,00	+ 2,00
Schwachhauser Ring (Ost)	+ 0,70	+ 1,00	+ 2,40

### 3.5.2 Oberes Grundwasserstockwerk

Nach den durchgeführten Baugrundaufschlüssen sind die Sande der Auffüllung bzw. die holozänen Sande der Grundwasserleiter des oberen Grundwasserstockwerkes. Den Grundwassernichtleiter bilden die anstehenden Weichschichten (Schluff- und Torfschichten).

Der Grundwasserspiegel des oberen Grundwasserstockwerkes wurde in den unverrohrten Sondierbohrungen angetroffen. Es ist jedoch zu beachten, dass in den unverrohrten Sondierbohrungen das Grundwasser nicht eindeutig eingemessen werden kann.

Sondierbohrung	Datum	Grundwasserstand (unverrohrt)		Anl.
		[m]	[m NHN]	
BS 8 (Wendeschleife)	04.04.2019	0,50	+ 2,13	2.1.2
BS 16	09.05.2019	1,10	+ 1,93	2.1.3
BS 18	14.05.2019	1,20	+ 2,32	2.1.3
BS 19	14.05.2019	1,10	+ 2,38	2.1.3
BS 20	15.05.2019	1,35	+ 2,07	2.1.3
BS 26	13.05.2019	1,40	+ 2,34	2.1.3
BS 29	16.05.2019	1,10	+ 2,55	2.1.3
BS 30	13.05.2019	1,70	+ 1,99	2.1.3
BS 32 (Filter) *	20.05.2019	2,41	+ 1,55	2.1.3
BS 35	06.05.2019	1,40	+ 0,87	2.1.1
BS 37	06.05.2019	1,10	+ 0,45	2.1.1
BS 47	27.05.2019	2,00	+ 1,87	2.1.4
BS 51	28.05.2019	2,50	+ 1,88	2.1.4
BS 52	29.05.2019	2,10	+ 2,24	2.1.4
BS 54	29.05.2019	2,00	+ 2,08	2.1.4

\* verrohrte Einmessung des Grundwasserstandes des oberen Grundwasserstockwerkes im Pegelrohr

Im Bereich der bindigen und humosen Deckschichten ist insbesondere bei sandigen Zwischenschichten oder darüber lagernden Auffüllungen mit stauendem Sickerwasser in Abhängigkeit von Niederschlägen zu rechnen. Bei lang anhaltenden Niederschlägen ist im ungünstigsten Fall davon auszugehen, dass sich Sickerwasser bis nahe zur Geländeoberkante bzw. auf der Geländeoberkante (Pferdewiese) anstaut.

### 3.6 Ergebnisse von Laborversuchen (Anlagen 3.1.1 bis 3.7.35)

#### 3.6.1 Ergebnisse von bodenmechanischen Laborversuchen (Anlagen 3.1.1 bis 3.2.8)

Von den gestörten Bodenproben wurden in unserem Labor folgende bodenmechanische Kennziffern ermittelt:

#### **Mutterboden** **[HB-A]**

---

Bodengruppe (DIN 18196) **OU/ UL/ UA**

Wassergehalt (DIN 18121)  $w_n = 30,6 - 60,1 \%$

#### **Auffüllung:**

**Sand, tlw. schluffig, tlw. mit Bauschuttbeimengungen,**

#### **Sand + Bauschutt** **[HB-B]**

---

Bodengruppe (DIN 18196) **SE - SU\***

Korngrößenverteilung (DIN 18123)

Schluffkorn  $d \leq 0,06$  mm = 1 %

Sandkorn  $d = 0,06 - 2,0$  mm = 96 %

Kieskorn  $d \geq 2,0$  mm = 3 %

Wassergehalt (DIN EN ISO 17892-1)  $w_n = 16,8 \%$

#### **Holozäne Weichschicht:**

#### **Schluff, humos, tonig, sandig, tlw. Schluff + Sand** **[HB-C1]**

---

Bodengruppe (DIN 18196) **UL-UA/ OU**

Korngrößenverteilung (DIN EN ISO 17892-4)

Wassergehalt (DIN EN ISO 17892-1)  $w_n = 7,8 - 130,7 \%$

Glühverlust (DIN 18128)  $V_{gl.} = 3,0 - 4,3 \%$

**Holozäne Weichschicht: Torf, tlw. Torf + Schluff****[HB-C2]**

Bodengruppe (DIN 18196)

**HZ**

Wassergehalt (DIN 18121)

 $w_n = 41,1 - 415,2 \%$ 

Glühverlust (DIN 18128)

 $V_{gl.} = 33,6 \%$ **Holozäne + pleistozäne Sande,****tlw. schw. schluffig bis stark schluffig, tlw. kiesig, z.T. Sand + Kies [HB-D]**

Bodengruppe (DIN 18196)

**SE - SU\*/ GI**

Korngrößenverteilung (DIN 18123)

Feinstes  $d \leq 0,002$  mm = 7 - 13 %Schluffkorn  $d \leq 0,06$  mm = 1 - 35 %Sandkorn  $d = 0,06 - 2,0$  mm = 47 - 99 %Kieskorn  $d \geq 2,0$  mm = 0 - 50 %Wassergehalt (DIN 18121)  $w_n = 15,5 - 69,1 \%$ **3.6.2 Ergebnisse von chemischen Laboruntersuchungen****(Anlagen 3.3.1 bis 3.5.56)**

Zur chemischen Analyse gemäß LAGA M 20 wurden folgende Proben an das Labor Dr. Döring gesandt:

Probenart	Entnahmestelle	Tiefe [m]	Bodenart	Untersuchungsumfang
Einzelprobe	BS 4	0,60 - 1,50	Torf	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 10	1,00 - 1,50	Schluff, sandig, humos	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 13	0,30 - 0,70	Schluff, stark tonig	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 16	0,40 - 1,00	Sand	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 26	2,00- 2,70	Schluff, tonig, schw. humos	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 29	2,90 - 4,00	Torf	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 36	0,90 - 1,60	Sand	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 43	0,35 - 1,20	Schluff, tonig, schw. humos	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 45	0,45 - 1,20	Schluff, stark sandig, schw. humos	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 7	1,00 - 1,40	Bauschutt, tlw. Asphalt	Bauschutt
Einzelprobe	BS 8	0,00 - 1,00	Bauschutt + Sand	Bauschutt
Mischprobe	BS 18	0,00 - 0,16	Bauschutt, Asphalt, Recycling	Bauschutt
	BS 18	0,16 - 0,49		
Mischprobe	BS 20	0,00 - 0,10	Bauschutt, Asphalt, Recycling	Bauschutt
	BS 20	0,10 - 0,32		
Einzelprobe	BS 26	0,14 - 0,30	Schlacke	Bauschutt
Einzelprobe	BS 38	0,20 - 0,80	Bauschutt, Sand, schluffig	Bauschutt
Einzelprobe	BS 40	0,00 - 0,90	Bauschutt, Sand, schluffig, tlw. Schlacke	Bauschutt
Einzelprobe	BS 48	0,70 - 1,70	Schluff, feinsandig, schw. tonig, schw. humos	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 51	0,60 - 1,40	Schluff, feinsandig, schw. humos	Boden Mindestumfang
Einzelprobe	BS 54	1,90 - 2,60	Sand	Boden Mindestumfang

Des Weiteren wurden zwei Proben der anstehenden Torfschichten auf ihr Potenzial zur Versauerung analysiert.

Probenart	Entnahmestelle	Tiefe [m]	Bodenart	Untersuchungsumfang
Einzelprobe	BS 4	0,60 - 1,50	Torf	Säure-Base-Bilanz
Einzelprobe	BS 29	2,90 - 4,00	Torf	Säure-Base-Bilanz
Einzelprobe	BS 47	3,10 - 3,80	Torf	Säure-Base-Bilanz

Die untersuchten Torfe sind potenziell sulfatsauer mit erhöhten Sulfatgehalten im Eluat. Deutlich erhöhte Sulfatkonzentrationen im Boden- bzw. im Sickerwasser können zur Überschreitung von Grenz-/Schwellenwerten der Grundwasserverordnung (GrwV) führen (Schwellenwert für Grundwasser nach GrwV beträgt 250 mg/l)

Die untersuchten Böden und Gemische sind teilweise gemäß der LAGA M 20 für den Wiedereinbau mit den für die jeweilige angegebene Zuordnungsklasse vorgegebenen technischen Sicherungsmaßnahmen geeignet. Einige der untersuchten Bodenproben überschreiten die Einbauklassen der LAGA und sind gemäß der Deponieverordnung zu verwerten.

Eine Übersicht der Ergebnisse der chemischen Analysen gemäß LAGA M 20 inklusive Deklaration und der Ergebnisse der Säure-Base-Bilanz ist auf den Anlagen 3.3.1 bis 3.3.2 dargestellt.

Die Ergebnisse der chemischen Analysen der Proben im Detail einschließlich der Deklaration sind auf den Anlagen 3.5.1 bis 3.5.56 dargestellt.

Es wurden folgende Proben der Oberflächenbefestigung aus Asphalt zur Analyse an das Labor Dr. Döring gesandt:

Entnahmestelle	Tiefe [m]	Material	Untersuchungsumfang
BS 16	0,00 - 0,08	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex
BS 21	0,00 - 0,10	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex
BS 24	0,00 - 0,10	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex
BS 28	0,00 - 0,08	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex
BS 29	0,00 - 0,07	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex
BS 32	0,00 - 0,13	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex
BS 35	0,00 – 0,30	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex
BS 41	0,00 – 0,06	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex
BS 43	0,00 – 0,07	Asphalt	PAK nach EPA, Phenolindex

Die untersuchten Oberflächenbefestigung sind gemäß den Vorgaben der RuVA-StB 01-2005 zu verwerten bzw. zu entsorgen.

Eine Übersicht der Ergebnisse der Asphaltanalysen inklusive Angabe des Abfallschlüssels und der Verwertungsklasse gemäß RuVA-StB 01-2005 ist auf der Anlage 3.4 dargestellt.

Die Ergebnisse der chemischen Analysen der Asphaltproben im Detail sind auf den Anlagen 3.5.27 bis 3.5.28 und 3.5.42 dargestellt.

### **3.6.3 Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen** **(Anlagen 3.6 bis 3.7.35)**

Während der Baugrunderkundungen wurde in Kleinrammbohrungen Peilfilter eingebaut und nach dem Klarpumpen eine Grundwasserprobe entnommen. Die chemische Analyse der Grundwasserprobe nach DIN 4030 durch das chemische Labor Dr. Döring, Bremen, hatte folgendes Ergebnis:

Entnahme- stelle	Entnahme- datum	Tiefe [m]	Expositions- klasse/ Angriffsgrad	Eisen [mg/l]	Leitfähigkeit µS/cm
BS 9	28.03.2019	2,00 - 4,00	XA1	7,2	734
BS 12	29.03.2019	2,00 - 4,00	XA1	15	857
BS 17	09.05.2019	3,00 - 5,00	XA1	6,6	929
BS 26	13.05.2019	3,50 - 4,70	XA1	13	864
BS 29	16.05.2019	5,00 - 7,00	XA1	24	721
BS 32	20.05.2019	1,50 - 2,50	< XA1	4,6	1430
BS 36	06.05.2019	2,00 - 4,00	XA1	7,3	879
BS 44	07.05.2019	3,00 - 4,00	XA1	14	729
BS 47	27.05.2019	4,00 - 6,00	XA1	7,6	798
BS 51	28.05.2019	4,00 - 6,00	XA2	46	970
BS 54	31.05.2019	4,00 - 6,00	XA1	< 0,05	2390

Nach den Ergebnissen der Grundwasseranalysen ist die untersuchte Grundwasserprobe aus Sondierbohrung BS 32 als nicht angreifend einzustufen, da die gemessenen Werte unterhalb der Grenzwerte für den Angriffsgrad XA1 liegen. Die Probe der Sondierbohrung BS 51 ist als mäßig angreifend infolge kalklösender Kohlensäure einzustufen und ist somit nach DIN 4030 der Expositionsklasse XA2 zuzuordnen. Die restlichen untersuchten Grundwasserproben sind schwach angreifend infolge kalklösender Kohlensäure und nach DIN 4030 der Expositionsklasse XA1 zuzuordnen.

Bei der Einleitung von Grundwasser ist für Eisen ein Grenzwert von 5 mg/l einzuhalten. Die Proben der Sondierbohrungen BS 32 und BS 54 halten den Grenzwert ein, alle anderen untersuchten überschreiten den Grenzwert teilweise um ein Vielfaches. Aufgrund der gemessenen Eisengehalte ist eine Enteisungsanlage vorzuhalten bzw. zu betreiben.

Der Grenzwert für Chlorid zur Einleitung von Grundwasser von 400 mg/l (Sommer) bzw. 1.500 mg/l (Winter) wurde bei den analysierten Proben eingehalten mit Ausnahme der Probe der Sondierbohrung BS 54. Der Grenzwert für die Leitfähigkeit zur Einleitung von Grundwasser von 2.200 µS/cm (Sommer) bzw. 5.000 µS/cm (Winter) wurde bei den analysierten Proben ebenfalls mit Ausnahme der Probe der Sondierbohrung BS 54 eingehalten.



Die Grundwasserprobe aus der Sondierbohrung BS 54 wurde zusätzlich gemäß den Einleitwerten von Grundwasser in Gewässer und in die Kanalisation, die durch den Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen, (Stand vom 21.11.2016) festgelegt wurden, untersucht. Die Grenzwerte für eine Wiedereinleitung in den Untergrund und in Oberflächengewässer bzw. Niederschlagswasserkanal wurden in den Parametern elektrische Leitfähigkeit und Chlorid überschritten. Die Grenzwerte für die Einleitung in Schmutz- bzw. Mischwasserkanal wurden eingehalten, sind allerdings im Einzelfall von der Behörde zu prüfen.

Die in den Anwohnerinformationsschreiben des SUBV für das Gebiet „Buchenstraße“ erhöhten Werte für BTEX und LHWK/ LCKW (s. Kapitel 3.4.1) wurden in der untersuchten Probe nicht angetroffen.

Eine Übersicht über die durchgeführten Grundwasseranalysen mit Angabe der ausschlaggebenden Parameter ist auf der Anlage 3.6 dargestellt.

Die Ergebnisse der chemischen Analysen der Proben im Detail einschließlich der Einstufung in eine Expositionsklasse nach DIN 4030 sind auf den Anlagen 3.7.1 bis 3.7.35 dargestellt.

Bei der Grundwasseranalyse ist zu beachten, dass es sich um Werte aus dem „ruhenden“ Grundwasserleiter handelt. Bei Grundwasserabsenkungen ist mit einer Veränderung der Werte durch zufließendes Grundwasser aus dem Absenktrichter und aus tieferen Schichten zu rechnen. Dadurch kann es zu einer Veränderung der Inhaltsstoffe kommen.

## **4 Beurteilung des Baugrundes**

### **4.1 Baugrundmodell**

Die ausgeführten Baugrundaufschlüsse geben eine exakte Aussage über die Baugrundsichtung nur für den jeweiligen Untersuchungspunkt. Für die dazwischen liegenden Bereiche sind nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich.

Für die nachfolgende Baugrundbeschreibung wurden neben den Baugrundaufschlüssen auch Informationen aus Baugrundkarten und geologischen Karten herangezogen. Weiterhin wurden die Erfahrungen aus geotechnischen Untersuchungen nahegelegener Bauvorhaben berücksichtigt. Unter Einbeziehung dieser Unterlagen und Erkenntnisse sind folgende Baugrundverhältnisse im Bereich der Baufläche zu erwarten:

Unter einer Mutterbodenschicht [Homogenbereich A] bzw. einer Oberflächenbefestigung aus Schotter oder Asphalt steht überwiegend eine Auffüllung aus Sanden z.T. Bauschuttbeimengungen, Sand-Schluff-Gemischen und Sand-Bauschutt-Gemischen [Homogenbereich B] an. Unterhalb der Auffüllung folgen holozäne Weichschichten aus Schluffen und Torfen [Homogenbereich C (C1 und C2)] in die bereichsweise holozäne Sande [Homogenbereich D] eingelagert sind. Unter den holozänen Weichschichten stehen pleistozäne Sande [Homogenbereich D] an, die z.T. schluffige und kiesige Beimengungen aufweisen.

Die Baugrundaufschlüsse zeigen insgesamt unregelmäßige Baugrundverhältnisse, die den allgemeinen Erwartungen mit den üblichen Schwankungsbereichen entsprechen.

## 4.2 Baugrundeigenschaften

Die angetroffenen Bodenarten weisen folgende Baugrundeigenschaften auf:

### **Auffüllung: Sand, tlw. Sand-Schluff-Gemisch,**

#### **z.T. mit Bauschuttbeimengungen, Sand + Bauschutt**

**[HB-B]**

Dichte:	locker bis dicht, z. T. sehr dicht
Scherfestigkeit:	gering bis groß
Zusammendrückbarkeit:	gering bis groß
Wasserempfindlichkeit:	gering bis groß
Wasserdurchlässigkeit:	schwach durchlässig bis stark durchlässig
Verdichtbarkeitsklasse:	V1 bis V3 nach ZTV A-StB 97/06
Ramm- und Rüttelbarkeit:	leicht bis schwer, z. T. sehr schwer
Frostempfindlichkeit:	F1 bis F3 nach ZTVE-StB 09

### **Holozäne Weichschicht:**

#### **Schluff, humos, tonig, sandig, tlw. Schluff + Sand**

**[HB-C1]**

Scherfestigkeit:	gering bis sehr gering
Zusammendrückbarkeit:	groß bis sehr groß
Wasserempfindlichkeit:	groß bis sehr groß
Wasserdurchlässigkeit:	schwach durchlässig bis durchlässig
Verdichtbarkeitsklasse:	V2 bis V3 nach ZTV A-StB 97/06
Ramm- und Rüttelbarkeit:	leicht bis mittel (BS 54 - Holzeinlagerung) sehr schwer
Frostempfindlichkeit:	F3 nach ZTVE-StB 09

### **Holozäne Weichschicht: Torf**

**[HB-C2]**

Scherfestigkeit:	sehr gering
Zusammendrückbarkeit:	groß bis sehr groß
Wasserempfindlichkeit:	groß bis sehr groß
Wasserdurchlässigkeit:	schwach bis sehr schwach durchlässig
Verdichtbarkeitsklasse:	Torf nicht verdichtbar
Ramm- und Rüttelbarkeit:	leicht bis schwer
Frostempfindlichkeit:	F 3 nach ZTVE-StB 09

**Holozäne Sande**

**[HB-D]**

Dichte:	locker bis mitteldicht
Scherfestigkeit:	mittel bis groß
Zusammendrückbarkeit:	gering
Wasserempfindlichkeit:	gering
Wasserdurchlässigkeit:	durchlässig bis stark durchlässig
Verdichtbarkeitsklasse:	V1 nach ZTV A-StB 97/06
Ramm- und Rüttelbarkeit:	leicht bis mittelschwer
Frostempfindlichkeit:	F 1 bis F 2 nach ZTVE-StB 09

**Pleistozäne Sande**

**[HB-D]**

Dichte:	mitteldicht bis dicht, z.T. sehr dicht
Scherfestigkeit:	groß
Zusammendrückbarkeit:	gering
Wasserempfindlichkeit:	gering
Wasserdurchlässigkeit:	durchlässig bis stark durchlässig
Verdichtbarkeitsklasse:	V1 nach ZTV A-StB 97/06
Ramm- und Rüttelbarkeit:	mittel bis schwer
Frostempfindlichkeit:	F 1 nach ZTVE-StB 09

**4.3 Baugrundtragfähigkeit**

Die angetroffenen Bodenarten können in ihrer Tragfähigkeit wie folgt eingestuft werden:

<b>Bodenart</b>	<b>Tragfähigkeit</b>
Auffüllung	gering bis gut tragfähig
Holozäne Weichschicht: Schluff	gering tragfähig
Holozäne Weichschicht: Torf	gering bis sehr gering tragfähig
Holozäne Sande	durchschnittlich bis gut tragfähig
Pleistozäne Sande	gut bis sehr gut tragfähig

#### **4.4 Wiederverwendbarkeit für bautechnische Zwecke**

Von den auszuhebenden Böden sind für bautechnische Zwecke wiederverwendbar:

Die holozänen und pleistozänen Sande können zur Auffüllung wieder verwandt werden. Sofern die schlufffreien Teile (Schluffkornanteil von  $\leq 6\%$ ) des Sandes separat gelagert werden, können diese als frostunempfindliches Material für die Wiederverfüllung unter den Verkehrsflächen eingebaut werden.

Die vorhandenen Schluff- und Torfschichten sind nicht verwendbar und sind abzuführen.

Der Geologische Dienst für Bremen (GDfB) stellt ein Kartenwerk über die Verbreitung von (potentiell) sulfatsauren Böden in Bremen und Bremerhaven zur Verfügung. Die Darstellung „sulfatsaure Böden 0 - 2 m“ und „sulfatsaure Böden des tieferen Untergrundes (2 - 15 m, bzw. Holozänbasis)“ wurden auf Basis vorhandener geologischer Karten und einer Auswertung der Bohrdatenbank des GDfB erstellt.

Der bisher erkundete Teil des Trassenverlaufes wird laut Angaben des GDfB durch die Über- und Unterlagerungen von Torf und Ton charakterisiert und ist in die Kategorie GR2.3 einzustufen. Die Gefährdungsklasse GR2.3 gibt ein mittleres bis z.T. hohes Potential für ausgeprägte Versauerung an. Die untersuchten Torfproben sind als potenziell sulfatsauer einzustufen und bestätigen somit die Angaben durch den GDfB.

Potenziell sulfatsaure Böden sollten möglichst wenig transportiert werden und es sollte ein rascher schichtenkonformer Wiedereinbau in den reduzierten Bereich des Untergrundes erfolgen. Bei der Umlagerung und dem Abtransport von potenziell sulfatsauren Böden sollten die „Ablagerungsstrategien von (potenziell) sulfatsaurem Bodenaushub“ der Geofakten 25 des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie beachtet werden.

Bei der Wiederverwendung bzw. Verwendung der Aushubböden an einem anderen Standort sind Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen gemäß den Technischen Regeln der Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20 zu berücksichtigen.

#### **4.5 Homogenbereiche - VOB 2016 (Anlagen 4.1 bis 4.5)**

In der VOB 2016 werden die jahrzehntelang geltenden Klassifizierungen in Boden- und Felsklassen durch Homogenbereiche vollständig ersetzt. Der Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für das jeweilige Gewerk vergleichbare Eigenschaften aufweist. Betrachtet werden die Eigenschaften im Zustand vor dem Lösen, also in durch die Baumaßnahme ungestörter Lagerung. Sind umweltrelevante Inhaltsstoffe zu beachten, sind diese bei der Einteilung in Homogenbereiche zu berücksichtigen. In der VOB 2016, sind die anzugebenden Eigenschaften und Kennwerte für den Erdbau und alle Spezialtiefbauarbeiten aufgeführt.

Einige Angaben werden auf Basis von Erfahrungen abgeschätzt. Bei größeren Baumaßnahmen oder zur engeren Erfassung von Schwankungsbreiten sind ggf. zusätzliche Baugrund- und Laboruntersuchungen erforderlich.

Nach den Vorgaben der aktuellen VOB 2016 werden die Eigenschaften/Kennwerte unter Berücksichtigung der festgelegten Homogenbereiche für die nachfolgenden Gewerke auf den Anlagen 4.1 bis 4.5 dargestellt:

DIN 18300	Erdarbeiten
DIN 18304	Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten

##### Homogenbereich

Anl. 4.1:	A	- Oberboden
Anl. 4.2:	B	- Auffüllung
Anl. 4.3:	C1	- Holozäne Weichschicht: Schluff, Schluff + Sand
Anl. 4.4:	C2	- Holozäne Weichschicht: Torf
Anl. 4.5:	D	- Holozäne und pleistozäne Sande

Die Schichtgrenzen der Homogenbereiche sind in den Bodenprofilen auf den Anlagen 2.1.1 bis 2.1.4 dargestellt.

#### 4.6 Bodenkennwerte

Aufgrund der Versuchsergebnisse der Labor- und Feldversuche und nach Erfahrungswerten mit vergleichbaren Bodenarten können für erdstatische Berechnungen folgende charakteristische Bodenkennwerte angesetzt werden:

Bodenart	BG n. DIN 18196	Wichte		Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Scherfestigkeit	
		$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'_k$		$\phi'_k$ [°]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Auffüllung	SE - SU*/ UL - UM/ GE - GW	17 - 20	8 - 11	3 - 30	25,0 - 35,0	0 - 5
Holozäne Sande	SE - SU*	18 - 19	10 - 11	10 - 50	32,5 - 35,0	0
Weichschicht: Schluff	UL - UA/ OU	17 - 20	7 - 10	2 - 5	22,5 - 27,5	5 - 10
Weichschicht :Torf	HN - HZ	11 - 13	1 - 3	0,2 - 1,0	15,0 - 20,0	2 - 5
Pleistozäne Sande	SE - SU*/ GE - GW	18 - 19	10 - 11	20 - 90	35,0 - 37,5	0

Die vorstehenden Werte gelten für die beschriebenen Bodenschichten im ungestörten Zustand. Bei baustellenbedingten Auflockerungen oder Verwässerungen der Bodenschichten muss mit entsprechenden Verschlechterungen gerechnet werden.

#### 4.7 Beurteilung des Baugrundrisikos

Da Bodenaufschlüsse immer nur eine exakte Aussage für den eigentlichen Untersuchungspunkt ergeben, sind für die dazwischen liegenden Bereiche nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich.

Die Wahrscheinlichkeit einer Aussage über den Aufbau oder bestimmte für die geotechnische Beurteilung maßgebliche Eigenschaften von Boden wächst mit dem Untersuchungsumfang, d.h., mit der Anzahl der Aufschlüsse und nimmt ab mit der Wechselhaftigkeit des Baugrundes. Es bleibt daher immer ein Risiko, dass im Baugrund Abweichungen von den zu erwartenden zu den tatsächlichen Baugrundverhältnissen vorhanden sind. Dieses Risiko wird als Baugrundrisiko bezeichnet.

Unter Baugrundrisiko versteht man auch die Gefahr, dass bei jeder Bebauung von Baugrund trotz vorhergehender, den Regeln der Technik entsprechender bestmöglicher Untersuchung und Beschreibung der Boden- und Wasserverhältnisse, unvorhersehbare Erschwernisse auftreten können.

Alles unerwartet im Baugrund Vorgefundene wird ebenfalls vom Begriff des „Baugrundrisikos“ generell ausgefüllt: so etwa Kellergewölbe, Fundamentreste, Holzpfähle, Findlinge, Geheimgänge, Wurzeln, Stollen, Bunker, Reste früherer Kulturen wie Gräber, Hafengebüstungen, alte Tanks, Kanäle, Versorgungsleitungen aller Art, mit Altlasten verunreinigte oder sonstige kontaminierte Bereiche, Einlagerungen aller Art, um nur einige Beispiele aus der Baupraxis und der Rechtsprechung anzuführen.



Ein restliches Baugrundrisiko kann daher auch durch eingehende geotechnische Untersuchungen nicht völlig ausgeschaltet werden, da kleinräumige Inhomogenitäten des Baugrundes nicht restlos zu erfassen sind. Ferner werden die bodenmechanischen Kennwerte an faustgroßen Proben ermittelt, die nicht immer repräsentativ für die gesamte Schicht sind. Die Werte der Baugrundparameter streuen in gewissen Bandbreiten und manche Eigenschaften des Baugrundes können mit angemessenem Aufwand nicht festgestellt werden.

Aufgabe der geotechnischen Untersuchungen von Boden als Baugrund ist es, das Baugrundrisiko im Hinblick auf die Aufgabenstellung des jeweiligen Projektes einzugrenzen.

Das Baugrundrisiko wird im vorliegenden Fall durch die Wasser- und Setzungsempfindlichkeit der Weichschichten sowie durch die unterschiedliche Mächtigkeit der Auffüllung und deren Zusammensetzung geprägt.

## **5 Angaben zur Gründung und dem Verbau**

### **5.1 Gründung der Leitungen**

Die Gründungssohle der Fernwärmeverbindungsleitung liegt in einer Tiefe von  $t = 2,0$  m unter der jeweiligen Geländeoberkante. Für die Gründung der Leitungen sind keine Belastungen aus geplanten Geländeauffüllungen zu erwarten.

Aufgrund der vorstehenden beschriebenen Randbedingungen sowie unter Berücksichtigung der DIN-EN 1610 wird folgender Gründungsvorschlag gemacht:

Die geplanten Gründungssohlen der Fernwärmeverbindungsleitung liegen im Bereich der Sondierbohrungen zum Teil in den Schluff- und Torfschichten und zum Teil in den anstehenden Sanden.

In den Bereichen, in denen die Leitungen oberhalb bzw. in den Weichschichten (Schluff und Torf) liegen, sollte für die bessere Verteilung und Aufnahme der neuen Auflasten (Wichteerhöhung durch verdichteten Füllsand), für die Verlegearbeiten und die ggf. erforderliche Entwässerung ein Teilbodenaustausch unterhalb der Gründungssohlen erfolgen.

Es wird folgender Teilbodenaustausch [TBA] über die gesamte Grabenbreite empfohlen, wenn die Gründungssohle der Fernwärmeverbindungsleitung liegt, in:

- |   |               |
|---|---------------|
| - Sand-Schluff-Gemisch (Schluffkorn > 15 %) | - TBA = 0,3 m |
| - Humosen Schluff                           | - TBA = 0,5 m |
| - Torf                                      | - TBA = 1,0 m |
| - Sand                                      | - TBA = 0,0 m |

In den Bereichen, in denen die Rohrsohle in den vorhandenen Sandschichten liegt, ist durch Schürfen sicherzustellen, dass eine Sandbettung von 0,5 m gewährleistet ist. Die Bettungsschicht sollte aus Füllsand mit einem Schluffkornanteil von  $\leq 10\%$  (Bodengruppe SE, SW oder SU nach DIN 18196) hergestellt werden.

Für die Verlegung der Leitung ist eine gleichmäßige Auflagerung zu gewährleisten. Die Auflagerzwickel der Rohre sind mit Sand auszustampfen und die seitlichen Arbeitsräume lagenweise zu verdichten. Es gelten die Anforderungen der DIN-EN 1610 sowie des Arbeitsblattes DWA-A 139.

Für die Bemessung der Rohre gem. ATV-DVWK-A127 können folgende charakteristische Steifemodule  $E_B$  herangezogen werden:

Überschüttung über dem Rohrscheitel ( $E_1$ )	nichtbindiger Boden	$E_B = 20$	MN/m <sup>2</sup>
Leitungszone seitlich des Rohres ( $E_2$ )	nichtbindiger Boden	$E_B = 20$	MN/m <sup>2</sup>
Anstehender Boden neben der Leitungszone ( $E_3$ )	bindiger Boden	$E_B = 2$	MN/m <sup>2</sup>
	nichtbindiger Boden	$E_B = 15$	MN/m <sup>2</sup>
Boden unter dem Rohr ( $E_4$ )	bindiger Boden	$E_B = 1,0$	MN/m <sup>2</sup>
	nichtbindiger Boden	$E_B = 20$	MN/m <sup>2</sup>

Zuordnung der Bodengruppen nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:

Bodenart	Bodengruppe
Auffüllung	[G1 bis G3]
Schluff, humos, sandig	[G3 und G4]
Sande	[G1 und G2]

## 5.2 Tabellarische Zusammenfassung Gründungs- und Aushubsohlen

Eine detaillierte Angabe der geplanten Gründungssohlen und der aufgrund der Baugrundsichtung erforderlichen Aushubsohlen ist in den nachfolgenden Tabellen dargestellt, sowie auf den Bodenprofilanlagen mit einem grünen (Gründungssohlen) und einem roten (Aushubsohlen) Strich dargestellt.

### 5.2.1 Kuhgrabenweg (Anlagen 1.2.1 bis 1.2.2 und 2.1.1)

Im Bereich des Kuhgrabenweges ist eine offene Bauweise geplant. Die Gründungssohle der Leitung liegt 2 m unter vorhandenem Gelände, zwischen - 0,62 m NHN bis + 0,27 m NHN.

Abschnitt	BS-Nr.	Ansatzhöhe Sondierbohrung [m NHN]	Gründungssohle (GS)		Aushubsohle (AS)	
			[m NHN]	Bodenart in t = 2 m	[m]	[m NHN]
Kuhgrabenweg	35	+ 2,27	+ 0,27	Schluff	3,1	- 0,85
	36	+ 1,46	- 0,54	Sand	2	- 0,55
	37	+ 1,55	- 0,45	Sand	2	- 0,45
	38	+ 1,59	- 0,41	Sand	2	- 0,41
	39	+ 1,89	- 0,11	Torf Übergang zu Sand	2,1	- 0,25
	40	+ 1,43	- 0,47	Sand	2	- 0,57
	41	+ 1,38	- 0,62	Torf	3	- 1,35
	42	+ 1,43	- 0,57	Torf	2,1	- 0,70
	43	+ 1,51	- 0,49	Sand, schluffig	2,5	- 0,80
	44	+ 1,48	- 0,47	Torf	2,6	- 1,15
	45	+ 1,61	- 0,39	Sand, schluffig	2	- 0,39

## 5.2.2 Pferdewiese und Wendeschleife (Anlagen 1.2.3 und 2.1.2)

Im Bereich der Pferdewiese und der Wendeschleife ist eine offene Bauweise geplant. Die Gründungssohle der Leitung liegt auf ca. 2 m unter Gelände bzw. zwischen - 0,89 m NHN bis + 1,25 m NHN.

Abschnitt	BS-Nr.	Ansatzhöhe Sondierbohrung [m NHN]	Gründungssohle (GS)		Aushubsohle (AS)	
			[m NHN]	Bodenart in t = 2 m	[m]	[m NHN]
Pferdewiese	3	+ 1,11	- 0,89	Sand	2	- 0,89
	4	+ 1,18	- 0,82	Sand	2	- 0,82
	5	+ 1,22	- 0,78	Sand	2	- 0,78
	6	+ 1,30	- 0,70	Sand, stark schluffig	2,3	- 1,00
Wendeschleife	7	+ 2,66	+ 0,66	Torf	2,6	+ 0,06
	8	+ 2,63	+ 0,63	Torf	2,6	+ 0,03
Pferdewiese	9	+ 1,39	- 0,61	Sand	2	- 0,61
	10	+ 3,25	+ 1,25	Sand	2	+ 1,25
	11	+ 1,31	- 0,69	Übergang Schluff zu Sand	2	- 0,69
	12	+ 1,20	- 0,80	Sand	2	- 0,80
	13	+ 1,35	- 0,65	Sand	2	- 0,65

### 5.2.3 H.H.-Meier-Allee (Anlagen 1.2.3 bis 1.2.4 und 2.1.3)

Im Bereich der H.-H.-Meier-Allee ist teilweise eine offene Bauweise geplant. Die Gründungssohle der Leitung liegt 2 m unter vorhandenem Gelände bzw. zwischen - 0,80 m NHN bis + 2,10 m NHN.

Abschnitt	BS-Nr.	Ansatzhöhe Sondierbohrung [m NHN]	Gründungssohle (GS)			Aushubsohle (AS)	
			[m NHN]	Bodenart in t = 2 m	Bodenart Baugrube	[m]	[m NHN]
H.-H.-Meier-Allee	14	+ 2,39	- 2,61	Schluff	Sand	5	- 2,61
	15	+ 2,74	- 2,26	Schluff	Sand	5	- 2,26
	16	+ 3,03	+ 1,03	Schluff/Torf		2,5	+ 0,53
	17	+ 3,40	- 3,10	Übergang Schluff zu Sand	Sand	6,5	- 3,10
	18	+ 3,52	- 2,98	Schluff	Sand	6,5	- 2,98
	19	+ 3,48	- 3,02	Schluff	Sand	6,5	- 3,02
	20	+ 3,42	- 3,08	Schluff	Sand	6,5	- 3,08
	21	+ 3,49	- 1,51	Schluff	Sand	5	- 1,51
	23	+ 3,21	- 1,79	Übergang Sand zu Schluff	Sand	5	- 1,79
	24	+ 3,34	- 1,66	Schluff	Sand	5	- 1,66
	25	+ 3,69	+ 1,69	Sand	Sand	2	+ 1,69
	26	+ 3,74	+ 1,74	Schluff		2,5	+ 1,24
	27	+ 3,85	+ 1,85	Schluff		2,5	+ 1,35
	28	+ 3,79	- 2,71	Übergang Sand zu Schluff	Sand	6,5	- 2,71
	29	+ 3,65	- 2,85	Schluff	Sand	6,5	- 2,85
	30	+ 3,69	+ 1,69	Schluff		2,2	+ 1,49
	31	+ 3,89	+ 1,89	Sand		2	+ 1,89
32	+ 3,96	+ 1,96	Sand		2,5	+ 1,46	
33	+ 3,94	+ 1,94	Sand		2,5	+ 1,44	
34	+ 4,10	+ 2,10	Schluff		2,5	+ 1,6	

#### 5.2.4 Schwachhauser Ring (Anlagen 1.2.4 bis 1.2.5 und 2.1.4)

Im Bereich "Schwachhauser Ring" ist überwiegend eine offene Bauweise (BS 48 bis BS 54) geplant. Die Gründungssohle der Leitung liegt 2 m unter vorhandenem Gelände bzw. zwischen - 0,80 m NHN bis + 2,10 m NHN.

Abschnitt	BS-Nr.	Ansatzhöhe Sondierbohrung [m NHN]	Gründungssohle (GS)			Aushubsohle (AS)	
			[m NHN]	Bodenart in t = 2 m	Bodenart Baugrube	[m]	[m NHN]
Schwachhauser Ring	46	+ 4,01	- 0,99		Sand	5	- 0,99
	47	+ 3,87	- 1,13		Sand	5	- 1,13
	48	+ 4,16	+ 2,16	Sand		2	+ 2,16
	49	+ 4,28	+ 2,28	Sand		2	+ 2,28
	50	+ 4,38	+ 2,38	Sand		2	+ 2,38
	51	+ 4,36	+ 2,36	Sand		2	+ 2,36
	52	+ 4,34	+ 2,34	Sand		2	+ 2,34
	53	+ 4,24	+ 2,24	Sand, schluffig		2	+ 2,24
	54	+ 4,08	+ 2,08	Sand		2	+ 2,08

## 5.3 Baugrubenverbau

### 5.3.1 Offener Baugrubenverbau

Die Verlegung der Fernwärmeleitung ist größtenteils in einer offenen Baugrube geplant. Die lichte Breite der Baugrube soll min.  $b = 3,14$  m betragen.

Aufgrund der geometrischen Randbedingungen und der zum Teil im Boden befindlichen Ver- und Entsorgungsleitungen wird für den Verbau empfohlen, einen Gleitschienenverbau (z. B. Kringsverbau) einzusetzen. Bei diesem Verbausystem werden strebengestützte Gleitschienenpaare in den Graben eingestellt und anschließend die Verbauplatten in die Gleitschienen eingesetzt, wobei die Verbauplatten mit dem Aushub fortschreitend von oben nach unten eingebracht werden. Der Einbau der Verbauplatten darf höchstens um 0,5 m hinter dem Aushub zurückliegen. Beim Rückbau ist sinngemäß zu verfahren.

Alternativ kann die Baugrubensicherung mittels eingepresster Spundwand ausgeführt werden, da auch bei dieser Variante keine Erschütterungen auftreten. Grundsätzlich ist das Einbringen der Spundwände auch mit einem Hochfrequenzrüttler, der über eine variable Steuerung von Frequenz und Amplitude verfügt, erschütterungsarm möglich. In diesem Fall ist jedoch vor Ausführung in Abhängigkeit der eingesetzten Geräte zu überprüfen, ob die dabei eingebrachten Erschütterungen negative Auswirkungen auf die angrenzende Nachbarbebauung haben.

Bei der Dimensionierung der Baugrubensicherung sind die Lasteinflüsse aus der angrenzenden Bebauung mit zu berücksichtigen.

Für die Verbaukonstruktion sollte der Erdruchdruck in Rechnung gestellt werden, um eine Verformung von Versorgungsleitungen und von angrenzenden Bebauungen zu vermeiden.

Für die Berechnung der Baugrubensicherung können die unteren Bodenkennwerte gemäß Abschnitt 4.6 (Bodenkennwerte) entsprechend der Baugrundsichtung angesetzt werden.



Für die Bemessung der Baugrubensicherung sind die Vorgaben der Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugrube“ (EAB- 5. Auflage) zu beachten.

### 5.3.2 Start- und Ziel-Baugruben zum Unterpressen

In Teilbereichen der geplanten Fernwärmeverbindungsleitung werden wegen verkehrstechnischer bzw. leitungstechnischer „heikler“ Bereiche die Leitungen unterpresst. Für die Unterpressungen müssen „tiefe“ Baugruben (Start- und Ziel-Baugruben) hergestellt werden.

An folgenden Untersuchungsstandorten sind Start- und Ziel-Baugruben mit folgenden Tiefen geplant:

(Baugrubensohle = UK Leitung - 1,0 m)

#### Tiefe Baugruben Abschnitt: H.-H.-Meier-Allee

BS-Nr.	GOK [m NHN]	GS Leitung [m NHN]	Baugrubensohle	
			[m u. GOK]	[m NHN]
14	+ 2,39	- 2,61	6,0	- 3,61
15	+ 2,74	- 2,26	6,0	- 3,26
17	+ 3,40	- 3,10	7,5	- 4,10
18	+ 3,52	- 2,98	7,5	- 3,98
19	+ 3,48	- 3,02	7,5	- 4,02
20	+ 3,42	- 3,08	7,5	- 4,08
21	+ 3,49	- 1,51	6,0	- 2,51
23	+ 3,21	- 1,79	6,0	- 2,79
24	+ 3,34	- 1,66	6,0	- 2,66
28	+ 3,79	- 2,71	7,5	- 3,71
29	+ 3,65	- 2,85	7,5	- 3,85

#### Tiefe Baugruben Abschnitt: Schwachhauser Ring

BS-Nr.	GOK [m NHN]	GS Leitung [m NHN]	Baugrubensohle	
			[m u. GOK]	[m NHN]
46	+ 4,01	- 0,99	6,0	- 1,99
47	+ 3,87	- 1,13	6,0	- 2,13

Aufgrund der geometrischen Randbedingungen kann eine freie Abböschung der Baugrube nicht mehr hergestellt werden, so dass eine Baugrubensicherung erforderlich ist. Bei einem freistehenden, elastisch im Boden eingespannten Verbau, der für den aktiven Erddruck bemessen wird, sind Verformungen unvermeidlich, die sich als Risse in dem dahinter liegenden Erdreich abzeichnen können. Es wird daher empfohlen, zur Reduzierung der Verformungen einen erhöhten aktiven Erddruck ( $0,5 \cdot E_a + 0,5 \cdot E_o$ ) in Rechnung zu stellen.

Falls verformungsempfindliche Ver- und Entsorgungsleitungen bzw. Bauwerke im Einflussbereich des Gleitkörpers liegen, muss eine Absteifung oder Rückverankerung erfolgen. Für diese Konstruktion ist der erhöhte aktive Erddruck ( $0,25 \cdot E_a + 0,75 \cdot E_o$ ) in Rechnung zu stellen. Für die Erddruckbelastungen können folgende charakteristische bodenmechanische Kennziffern in Rechnung gestellt werden:

Bodenart	Wichte $\gamma_w/\gamma'_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Reibungswinkel $\phi'_k$ [°]	Kohäsion $c'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Auffüllung (nicht bindig)	18/11	32,5	0
Auffüllung (bindig)	17/7	25,0	2,5
Schluff	16/6	22,5	5,0
Torf	11/1	15,0	2,0
Sande	19/11	35,0	0

Für die Bemessung der Baugrubensicherung sind die Vorgaben der Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugrube“ (EAB- 5. Auflage) zu beachten.

Für die Konstruktion der Baugrubenwand wird die eingepresste Spundwand vorgeschlagen, da dabei keine Erschütterungen auftreten. Grundsätzlich ist das Einbringen der Spundwände auch mit einem Hochfrequenzrüttler, der über eine variable Steuerung von Frequenz und Amplitude verfügt, erschütterungsarm möglich. In diesem Fall ist jedoch vor Ausführung in Abhängigkeit der eingesetzten Geräte zu überprüfen, ob die dabei eingebrachten Erschütterungen negative Auswirkungen auf die angrenzende Nachbarbebauung haben.

Für die Durchführung der Erd- und Gründungsarbeiten ist eine Grundwasserabsenkung erforderlich. Alternativ kann die Baugrube auch als grundwasserabsenkungsfreie Lösung hergestellt werden (s. Absch. 5.4)

## 5.4 Grundwasserabsenkung (Anlage 5.1)

### 5.4.1 Grundwasserabsenkung "offene Bauweise" (Anlage 5.1)

Für die Erd- und Gründungsarbeiten der Fernwärmeverbindungsleitung ist in Teilbereichen eine Grundwasserabsenkung des Hauptgrundwasserleiters notwendig.

Nach den vorliegenden Unterlagen sind gem. nachfolgender Tabelle folgende Grundwasserabsenkungen durchzuführen:

Abschnitt	GW-Absenkung gegenüber mittlerem GW (GDfB) [m]			
	GS - 0,3 m		AS	
	min.	max.	min.	max.
Kuhgrabenweg	0,33	1,22	0,69	1,65
Pferdewiese	1,51	1,79	1,21	1,49
Wendeschleife	0,34	0,37	0,40	0,65
H.-H.-Meier-Allee	0	0,27	0	0,2 bis 0,5
Schwachhauser Ring	0	0	0	0

Eine detaillierte Übersicht über die durchzuführenden Grundwasserabsenkungen ist auf der Anlage 5.1 dargestellt.

Es wird empfohlen, das Grundwasser mit Spülfiltern einer Vakuumanlage abzusenken. Die Kontrolle des Absenkzieles erfolgt durch Peilbrunnen in der Baugrube bzw. der tiefsten Absenkung. Zur Beweissicherung ist die Wassermenge durch eine Wasseruhr

täglich zu messen und die Absenkung auch außerhalb der Baugrube durch mindestens 2 Peilfilter je Haltung/Abschnitt zu kontrollieren. Es ist darauf zu achten, das Absenkziel auf das technisch erforderliche Maß zu beschränken, um die Gesamtfördermenge des Grundwassers zu minimieren.

Für die Grundwasserabsenkung des Teilbodenaustausches sind in Teilbereichen nur geringe GW-Absenkungen erforderlich. Beim Aushub in der jeweiligen Teilfläche muss das Grundwasser nur so weit abgesenkt werden, dass einwandfrei die Aushubsohle erkannt werden kann.

Zu Beginn der Erdarbeiten ist in einer Schürfe oder in einem Peilfilter die Höhe des Grundwasserstandes einzumessen. Bei der Durchführung der Schürfe ist ferner zu beobachten, wie schnell das Grundwasser in der Schürfe ansteigt. Aufgrund dieser Beobachtungen wird dann über das anzuwendende System für die Grundwasserabsenkung endgültig entschieden.

Für die Erd- und Gründungsarbeiten der Fernwärmeverbindungsleitung ist mit Stauwasser zu rechnen, das abzuführen ist. Es wird empfohlen, das Stauwasser mit einer offenen Wasserhaltung abzupumpen. Dafür ist zuerst ein Pumpensumpf herzustellen und anfallendes Grundwasser fortlaufend mit einer schwimmergeschalteten Tauchpumpe abzuführen. Mit den Aushubarbeiten ist fortschreitend von diesem Pumpensumpf aus eine Dränageleitung in der Bettung zu verlegen und erforderlichenfalls weitere Pumpensümpfe herzustellen. Das über die Dränagerohre gesammelte Grundwasser (Stauwasser) ist den Pumpensümpfen zuzuführen und mittels schwimmergeschalteten Tauchpumpen fortlaufend abzupumpen. Ist der Stauwasserandrang in den Sandzwischen-schichten zu groß sind zur Unterstützung Spülfilter einer Vakuumanlage einzubauen.

In Teilbereichen ist eine Grundwasserentspannung des Hauptgrundwasserstockwerks in den Sanden erforderlich. Die Grundwasserentspannung ist erforderlich, um eine ausreichende Auftriebssicherheit der Restschichtmächtigkeit der Weichschichten (Schluff und Torf) unterhalb der Leitungssohle zu erreichen. Es wird empfohlen, die Entspannung bis zur Aushubsohle vorzunehmen.

Zur Reduzierung der Kanaleinleitungsgebühren besteht die Möglichkeit, das abgepumpte Grundwasser über eine Reinfiltration in den Grundwasserleiter zu infiltrieren. Bei diesem Verfahren wird das abgepumpte Grundwasser gezielt über flexibel einsetzbare Spüllanzen zurück in den Baugrund infiltriert. Das Grundwasser sollte dabei mit möglichst großem Abstand von den Entnahmestellen innerhalb des Absenktrichters wieder eingeleitet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Bereich der Reinfiltration höhere Grundwasserstände auftreten können, als der maximal natürliche höchste Grundwasserstand. Es muss daher überprüft werden, dass keine Nachbarkeller verwässert werden.

Die Lanzen können dabei entsprechend der Bodenverhältnisse und des Baufortschrittes ohne erheblichen Aufwand umgesetzt werden. Die Bemessung des Absenk- und Reinfiltrationssystems ist von dem Auftragnehmer unter Berücksichtigung der Grundwasserstände und der geologischen Verhältnisse allein verantwortlich zu bemessen.

Bei der Durchführung der Reinfiltration ist ein Notüberlauf mit Anschluss an den Kanal herzustellen. Die Menge des eingeleiteten Grundwassers ist täglich über geeichte Wasseruhren zu protokollieren.

Aufgrund der Wechsellagerung von bindigen und nichtbindigen Böden müssen die Spülfilter in vorgebohrte Löcher eingebracht werden und auf ganzer Länge mit Filtersand, dessen Körnung auf den anstehenden Boden abzustimmen ist, umgeben werden. Aufgrund der geringen Durchlässigkeiten müssen in solchen Bereichen sehr kleine Filterabstände gewählt werden. Bei solchen Böden, die das Wasser nur sehr schwer abgeben, ist eine entsprechende Vorlaufzeit von mindestens 8 Tagen zur Erreichung einer ausreichenden Entwässerung des Baugrundes erforderlich.

#### **5.4.2 Grundwasserabsenkung - Baugruben zur Unterpressung**

Die für die Unterpressung notwendigen Start- und Ziel-Baugruben liegen z. T. mehrere Meter tief im Grundwasser. Folgende Absenktiefen gegenüber dem mittleren Grundwasserstand wären erforderlich:

Abschnitt	GW-Absenkung gegenüber mittlerem GW (GDfB) [m]	
	GS - 1 m	
	min.	max.
H.-H.-Meier-Allee	3,21	5,10
Schwachhauser Ring	2,99	3,13

Bei der Durchführung einer Grundwasserabsenkung bis in die angegebenen Tiefen ist mit einem übergroßen Einflussbereich der Absenkung und damit verbundenen hohen Risiko von Schäden an den umliegenden Bebauungen zu rechnen.

Ferner ist der Eingriff in den Grundwasserhaushalt so groß, dass mit erheblichen Auflagen durch die Wasserbehörde gerechnet werden muss.

Es wird empfohlen, die Baugruben in einer absenkungsarmen bzw. absenkungsfreien Lösung herzustellen.

Die für die Erd- und Gründungsarbeiten erforderliche Grundwasserabsenkung kann vermieden werden, wenn ein allseitig geschlossener wasserdichter Spundwandverbau mit Aussteifungen hergestellt wird und die Sohle innerhalb des Spundwandverbau durch eine auftriebssichere Unterwasserbetonsohle abgedichtet wird. Die Unterwasserbetonsohle kann ggf. auch rückverankert werden, um ggf. die Betonmächtigkeit zu reduzieren.

Für die Erd- und Gründungsarbeiten ist anschließend der Spundwandkasten durch einen Tiefbrunnen (Schwerkraftbrunnen) zu leeren und danach nur noch für eine Restwasserhaltung zu betreiben.

### **5.4.3 Grundwasserabsenkung - Allgemeines**

Die Grundwasserabsenkung ist gem. VOB Teil C (DIN 18305) Abschnitt 3.2.1 von dem Auftragnehmer auch unter Berücksichtigung des maximalen Grundwasserstandes alleinverantwortlich zu bemessen. Bei der Ausschreibung und Durchführung der Grundwasserabsenkung sind die ATV „Wasserhaltungsarbeiten“ DIN 18305 zu beachten. Es ist zu beachten, dass die Grundwasserabsenkung erlaubnispflichtig ist und bei der zuständigen Wasserbehörde beantragt werden muss.

Nach dem Bremischen Wassergesetz ist zu beachten, dass in der sogenannten vegetationsreichen Zeit vom 01.03. bis zum 30.09. eines jeden Jahres eine Wasserbehördliche Erlaubnis in der Regel nur mit Auflagen wegen der Auswirkung auf die Vegetation erteilt wird.

Für die Abführung des abgepumpten Grundwassers ist die Kapazität des Vorfluters bzw. Kanals mit den zulässigen Behörden abzuklären und eine entsprechende Genehmigung einzuholen. Dabei ist zu klären, in welchem Umfang Gebühren für die Einleitung des Grundwassers zu entrichten sind. Außerdem ist auch abzuklären, welche Auflagen hinsichtlich der Einleitung zu erwarten sind.

Vom Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen, sind folgende Einleitwerte von Grundwasser in Gewässer und in die Kanalisation angegeben (Stand vom 21.11.2016):

Parameter	Einheit	Wiedereinleitung in den Untergrund	Einleitung in Oberflächen-gewässer bzw. Niederschlagswasserkanal	Einleitung in Schmutz- bzw. Mischwasserkanal
Mineralöl-KW	µg/l	100	400	10.000
BTEX	µg/l	15	50	100
Benzol	µg/l	1	5	
LHKW <sub>Summe</sub>	µg/l	5	20	50
LHKW <sub>Einzel</sub>	µg/l	1	5	Bewertung im Einzelfall
PAK <sub>Summe EPA, ohne Naphthalin</sub>	µg/l	0,1	0,4	
Naphthalin	µg/l	1	4	
PAK <sub>Summe EPA, mit Naphthalin</sub>	µg/l			0,5 je Verbindung
AOX	µg/l		150	500
Cadmium	µg/l		5	Bewertung im Einzelfall
Arsen	µg/l		10	Bewertung im Einzelfall
Chrom/Kupfer/Nickel	µg/l		Je 50	Bewertung im Einzelfall
Blei	µg/l		40	Bewertung im Einzelfall
Zink	µg/l		300	Bewertung im Einzelfall
Ammonium (NH <sub>4</sub> -N)	mg/l		5	
Phosphor (P <sub>ges.</sub> )	mg/l		2	
CSB	mg/l		50	
Eisen	mg/l		5 <sup>1</sup>	
Chlorid	mg/l	400 <sup>2</sup>	400 <sup>1,3</sup> 01.11. - 15.03. 1.500 <sup>1,3</sup>	
Sulfat	mg/l	200 <sup>2</sup>	400 <sup>1,3</sup>	500
ph-Wert	mg/l	6,5 - 9,5 <sup>2</sup>	6,5 - 9,5	
Leitfähigkeit	µS/cm	2.000 <sup>2</sup>	2.200 <sup>1,4</sup> 01.11. - 15.03. 5.000 <sup>1,4</sup>	
Abfiltrierbare Stoffe	mg/l		100	

<sup>1</sup> Gilt nicht bei Einleitung in Weser, Lesum und Wümme.

<sup>2</sup> In Abhängigkeit von der Vorbelastung des anstehenden Grundwasserleiters (Wiedereinleitung < = Vorbelastung).

<sup>3</sup> Kann entfallen, wenn die Leitfähigkeit festgesetzt wird.

<sup>4</sup> Bei 25°C.

Nach den durchgeführten Grundwasseruntersuchungen (siehe Abschnitt 3.6.3 „Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen“) wurden im Grundwasser Eisengehalte von 0,05 mg/l bis 46 mg/l, und Leitfähigkeiten von 721 µS/cm bis 2390 µS/cm festgestellt.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich aufgrund der geringen entnommenen Grundwassermenge um einen „stationären“ Zustand handelt. Bei Entnahme größerer Grundwassermengen, wie sie durch die Grundwasserabsenkung erfolgt, kann es zu einer Veränderung der Grundwasserinhaltsstoffe kommen.



Bei der Planung und Ausführung der Grundwasserabsenkung sind besonders schluffige Sande zu berücksichtigen (Versandung von Filtermaterial und Pumpen).

#### **5.4.4 Auswirkungen durch Grundwasserabsenkung - offene Bauweise**

Bei der Beurteilung der Auswirkung von Grundwasserabsenkungen muss berücksichtigt werden, dass das Grundwasser keine konstante Höhe hat, sondern jahreszeitlichen und langjährigen Schwankungen je nach Zu- und Ablauf unterliegt. Eine Beeinträchtigung ist durch eine Grundwasserabsenkung immer erst dann gegeben, wenn durch die Grundwasserabsenkung Wasserstände erzeugt werden, die unterhalb des niedrigsten natürlichen Grundwasserstandes liegen.

Durch die Absenkung des Grundwassers verändern sich die Gewichts- und Druckverhältnisse in den entwässerten und den darunter liegenden Bodenschichten. Bei durchlässigem, nichtbindigem Baugrund, wie Sand und Kies, ist ein freier Grundwasserspiegel vorhanden.

Durch die Absenkung des Grundwassers im nichtbindigen Baugrund erhöhen sich die Bodenpressungen durch den Wegfall des Auftriebes um die Differenz des Raumbewichtes über und unter Grundwasser. Bei 1,00 m Grundwasserabsenkung beträgt die zusätzliche Bodenpressung aus der Grundwasserabsenkung  $\sigma = 8 \text{ kN/m}^2$ .

Dies ist im Verhältnis zu den zulässigen Bodenpressungen bei nichtbindigen Böden von  $\sigma = 250$  bis  $500 \text{ kN/m}^2$  ein sehr geringer Wert. Daher sind die Setzungen aus Grundwasserabsenkungen im nichtbindigen Baugrund im Allgemeinen auch sehr gering.

Bei einer genaueren Ermittlung der Setzungen muss von dem niedrigsten jemals vorgekommenen Grundwasserstand, auch infolge vorhergehender Grundwasserabsenkungen, ausgegangen werden, da die Setzungen bei nichtbindigen Böden als Sofortsetzungen auftreten.

Schäden an Gebäuden entstehen im Allgemeinen nur aus Setzungsdifferenzen, nicht jedoch aus absoluten Setzungen. Da die Absenkkurven einer Grundwasserabsenkung außerhalb der Baugrube im Allgemeinen sehr flach verlaufen, ergeben sich für Nachbarbauwerke gleichmäßige Erhöhungen der Bodenpressungen und somit bei homogenem Untergrund auch gleichmäßige Setzungen. Die Setzungsunterschiede werden daher bei Gebäuden auf nichtbindigem Baugrund im Absenkungsbereich gering bleiben.

Falls oberhalb von grundwasserführendem, durchlässigem Baugrund jedoch wasserundurchlässige Böden vorhanden sind, die tiefer reichen als die Grundwasseroberfläche, ist gespanntes Grundwasser vorhanden. Bei einer Absenkung des Grundwassers bis zur Grenzschicht zwischen undurchlässigem und durchlässigem Boden findet lediglich eine Entspannung, d. h. eine Druckverminderung statt. Die grundwasserführenden Sande bleiben nach wie vor vollständig grundwassergesättigt. Für den undurchlässigen Boden entsteht durch den Wegfall des Auftriebes eine zusätzliche Belastung dieser Bodenschichten von  $\sigma = 10 \text{ kN/m}^2$  je m Grundwasserabsenkung. Bei stark kompressiblen, bindigen oder humosen Böden ist eine Ermittlung der Setzungen anhand von Bodenkennwerten erforderlich.

Wenn durch die Grundwasserabsenkung die Unterseite der bindigen Schicht trockengelegt und die Absenkung über eine längere Zeit betrieben wird, können gegebenenfalls auch zusätzliche Setzungen bei einem stark zusammendrückbaren Boden aus Schrumpfungen auftreten.

Bei vorbelasteten bindigen Böden treten merkbare Setzungen nur ein, wenn die Vorbelastung durch die Auftriebsminderung überschritten wird. Da Grundwasserabsenkungen in der Regel nur kurze Laufzeiten haben, sind in diesen Fällen Auswirkungen erfahrungsgemäß nur von geringer Bedeutung. Vorsicht ist geboten bei jungen Klei-, Torf- oder Faulschlammschichten, insbesondere wenn diese unregelmäßig im Untergrund eingelagert sind.

Unter Berücksichtigung, dass für die Herstellung der vorhandenen Kanäle und Leitungen auch eine Grundwasserabsenkung durchgeführt wurde, die erneute Absenkung lokal und zeitlich begrenzt ist, sowie der vorgenannten Annahmen, wird das Risiko,

dass aus der Grundwasserabsenkung in den umliegenden Gebäuden Risse auftreten, als durchschnittlich eingeschätzt.

Es wird empfohlen, an den nächstgelegenen Bebauungen eine Beweissicherung ausführen zu lassen und eine Bauherrenhaftpflichtversicherung abzuschließen, die auch Schäden aus Grundwasserabsenkungen beinhaltet.

## **5.5 Erdarbeiten**

Bei der Ausschreibung und Durchführung der Erdarbeiten sind die ATV "Erdarbeiten" - DIN 18300 - zu beachten.

Im Zuge der Ausschreibung, spätestens jedoch vor der Vergabe der Erdarbeiten sind die Verbringungsmöglichkeiten für den Aushubboden zu klären. Hierfür sind mit dem Auftragnehmer für die Erd- und Gründungsarbeiten eindeutige vertragliche Regelungen, erforderlichenfalls auf der Grundlage vorliegender bzw. noch zu veranlassender Schadstoffuntersuchungen des Aushubbodens, zu treffen (s. Hinweise in Abschn. 3.4 und 3.6.2).

Die Baugruben sind im Schutze eines Verbaus herzustellen (siehe Abschnitt 5.2).

Der Bagger sollte eine gerade Schneide haben, um eine zusätzliche Auflockerung der Aushubsohle zu vermeiden. Die Aushubsohlen sind in den Bodenprofilen mit einem roten Strich gekennzeichnet.

Die verwendeten Füllsande sollten der Bodengruppe SE, SW oder SU nach DIN 18196 entsprechen (Schluffkorn  $d \leq 0,063 \text{ mm} \leq 10 \%$ ) und entsprechend den Vorgaben des Arbeitsblattes DWA-A 139 bzw. für die Rohrgrabenverfüllung im Straßenraum (Planum, Oberbau) der ZTVA-StB 12 verdichtet werden. Die Verdichtung der Rohrgrabenverfüllung ist als Fremdüberwachung zu überprüfen.

Die im Bereich der anstehenden holozänen Weichschichten ausgehobenen Flächen sind umgehend wieder zu verfüllen und zu verdichten, damit das Aufweichen der bindigen Schichten durch Sicker- und Niederschlagswasser vermieden wird.

## **5.6 Überprüfung der Aushub- und Gründungssohlen**

Bei der Bauausführung wird empfohlen, eine sorgfältige Überwachung der Erdarbeiten durchzuführen. Dabei ist besonders zu vergleichen, ob die angetroffenen Böden mit dem Ergebnis der Baugrunduntersuchung übereinstimmen, da Abweichungen des Baugrundes von den Baugrundaufschlüssen nicht auszuschließen sind (siehe auch Hinweise zum Baugrundrisiko).

In Zweifelsfällen bitten wir um unverzügliche Benachrichtigung durch die örtliche Bauleitung.

## 6 Zusammenfassung

Die Wesernetz Bremen GmbH plant die Neuverlegung der Fernwärmeverbindungsleitung vom Hochschulring bis zur Heizwerk Vahr in Bremen.

Der Baugrund besteht unter Mutterboden bzw. einer Oberflächenbefestigung mit Tragschichten aus einer Auffüllung aus Sanden tlw. mit Bauschuttbeimengungen. Darunter stehen teilweise holozäne Sande an, die von holozänen Weichschichten aus Schluff- und Torfschichten unterlagert werden. Bereichsweise stehen direkt unter dem Mutterboden bzw. dem Tragschichtenaufbau die Weichschichten an. Unterhalb der Weichschichten folgen pleistozäne Sande.

Die Verlegung Fernwärmeverbindungsleitung erfolgt überwiegend in offener Bauweise in einer Tiefe von 2 m unter der vorhandenen Geländeoberkante und muss durch einen Baugrubenverbau geschützt werden. Für die Erd- und Gründungsarbeiten ist eine Wasserhaltung für das Stauwasser und im oberen Hauptgrundwasserleiter erforderlich. In Teilbereichen müssen die Leitungen unterpresst werden, dafür werden tiefere Start- und Ziel-Baugruben in einer grundwasserabsenkungsfreien Lösung hergestellt. Angaben zur Gründung des Kanals sind im Bericht ausgeführt.

Bei einer wesentlichen Planungsänderung bitten wir um eine Information, damit überprüft werden kann, welche Auswirkungen sich ergeben.

Weitere Einzelheiten sowie die Ergebnisse der Feld- und Laborversuche sind im Bericht gegeben.



Dipl.-Ing. Jens Behnke  
Geschäftsführender Gesellschafter



i. A.  
M. Sc. Geow. Imke Krull

**Verteiler:**

Bauherr: Wesernetz Bremen GmbH  
Theodor-Heuss-Allee 20  
28215 Bremen 1 x + digital

Objektplanung: Fichtner Water & Transportation GmbH  
Hammerbrookstr. 47b  
20097 Hamburg 1 x + digital

**7 Anlagenverzeichnis**

I N H A L T	Anlage Nr.	
	von	bis
<b>1. Lageplan</b>		
1.1 Übersichtslageplan	1.1	
1.2 Lageplan - Kuhgrabenweg	1.2.1	1.2.2
Lageplan - Pferdewiese + Wendeschleife	1.2.3	
Lageplan - H.-H.-Meier-Allee	1.2.3	1.2.4
Lageplan - Schwachhauser Ring	1.2.4	1.2.5
<b>2. Felduntersuchungen</b>		
2.1 Bodenprofile aus Sondierbohrungen - Kuhgrabenweg	2.1.1	
Bodenprofile aus Sondierbohrungen und Rammsondierungsdiagramme: Pferdewiese + Wendeschleife	2.1.2	
H.-H.-Meier-Allee	2.1.3	
Schwachhauser Ring	2.1.4	
<b>3. Laboruntersuchungen</b>		
<b>Ergebnisse von bodenmechanischen Laborversuchen</b>		
3.1 Korngrößenverteilungen	3.1.1	3.1.5
3.2 Bodenmechanische Kennziffern	3.2.1	3.2.8
<b>Ergebnisse von chemischen Laborversuchen</b>		
3.3 Übersicht über die Ergebnisse der LAGA- Analysen inklusive Deklaration und der Säure-Base-Bilanz	3.3.1	3.3.2
3.4 Übersicht über die Ergebnisse der Asphalt- Analysen inklusive Abfallschlüssel	3.4	
3.5 Ergebnisse der chemischen Analysen im Detail	3.5.3	3.5.56
<b>Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen</b>		
3.6 Übersicht über die Ergebnisse der Grundwasseranalysen inklusive Angabe der ausschlaggebenden Parameter	3.6	
3.7 Ergebnisse der chemischen Analysen im Detail	3.7.1	3.7.35
<b>4. Gutachten</b>		
4.1 Homogenbereiche	4.1	4.5
<b>5. Grundwasserabsenkung</b>		
5.1 Angaben zur Grundwasserabsenkung	5.1	