

Redundante Neuverlegung Riedleitung Süd-Teil (R2S)

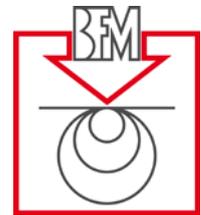
Antrag auf Planfeststellung

Teil 2 Technische Planung

2.3. Baugrund Bericht Vorgutachen

Hessenwasser GmbH & Co. KG

Taunusstraße 100 | 64521 Groß-Gerau
Telefon +49 69 25490-0 | Telefax +49 69 25490-1009
www.hessenwasser.de | info@hessenwasser.de



VORGUTACHTEN

Bauvorhaben: Redundanter Ausbau der Riedleitung Süd-Teil
Bauwerk 16 bis zum Wasserwerk Allmendfeld

Gegenstand: Baugrundvoruntersuchungen, geotechnische
Beratung sowie orientierende umwelttechnische
Untersuchungen

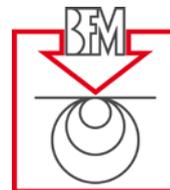
Auftraggeber: ARGE Ausbau Riedleitung Süd-Teil
c/o Dahlem Beratende Ingenieure
GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG
Bonsiepen 7, 45136 Essen

Datum: 10. September 2020

Textseiten: 53

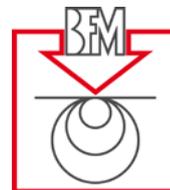
Anlagen: 4

Projektnummer: 15367 (bei Schriftwechsel bitte angeben)

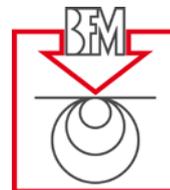


INHALTSVERZEICHNIS

1	Vorgang	6
2	Unterlagen	7
2.1	Projektbezogene Unterlagen	7
2.2	Fremdgutachten	7
2.3	Normen, Richtlinien	8
2.4	Literatur, Kartenwerke	8
3	Bauvorhaben und örtliche Verhältnisse	9
3.1	Örtliche Verhältnisse	9
3.2	Geplante Baumaßnahme	9
4	Durchgeführte Untersuchungen	12
5	Baugrund- und Grundwasserverhältnisse	14
5.1	Geologie, allgemein	14
5.2	Baugrundsichtung, Sondierergebnisse	14
5.2.1	Auffüllungen und Ackerboden	14
5.2.2	Quartäre Schluffe (Deckschicht)	15
5.2.3	Quartäre Sande (Grundwasserleiter)	16
6	Grundwasser, Wasserbeanspruchung der Bauwerke	17
6.1	Grundwasserleiter	17
6.2	Grundwasserstände	17
6.3	Grundwasserqualität	23
6.3.1	GWS-VwV mit Ergänzung der TrinkwV	24
6.3.2	Beton- und Stahlaggressivität	25
6.4	Wasserbeanspruchung der Schachtbauwerke und Rohrleitung	26
7	Bodenmechanische Laborversuche	26
8	Bodenklassifikation und erdstatische Rechenwerte	29
8.1	Auffüllung	30
8.1.1	Nichtbindige Auffüllungen	30
8.1.2	Bindige Auffüllungen	30
8.2	Ackerboden/Mutterboden	30
8.3	Quartäre Schluffe	31
8.4	Quartäre Sande	31
8.5	Quartäre Torf- / organogene Zwischenlagen (wurden nicht aufgeschlossen)	32
9	Erdbebennachweise	33
10	Versickerung von Niederschlagswasser	33
11	Gründung der Schachtbauwerke	34



12	Sicherung der Schachtbauwerke gegen Auftrieb	35
13	Bauwerksabdichtung der Schachtbauwerke	36
14	Gründung der hochliegenden Leitungsbereiche	36
15	Baugruben	38
15.1	Sicherung der Baugruben	38
15.2	Trockenhaltung der Baugruben	39
16	Empfehlungen zum geplanten Rohrvortrieb	40
16.1	Allgemeines	40
16.2	Start- und Zielgrube, Rohrvortrieb	42
16.3	Beweissicherung	43
16.4	Messtechnische Überwachung im Zuge des Rohrvortriebs	43
16.5	Maßnahmenkatalog und Havariekonzept	44
16.6	Sonstige Hinweise	44
16.7	Abschätzung der zu erwartenden Senkungen an der Gelände- oberfläche	45
16.7.1	Allgemeines	45
16.7.2	Abschätzung der zu erwartenden Senkungen	46
17	Orientierende abfalltechnische Einstufung	47
18	Schlussbemerkung	53



ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1 Lagepläne

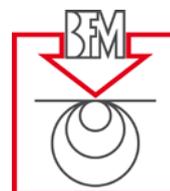
- Anlage 1.1 Lageplanausschnitt Station km 0+000 bis km 2+300**
- Anlage 1.2 Lageplanausschnitt Station km 2+100 bis km 3+400**
- Anlage 1.3 Lageplanausschnitt Station km 3+200 bis km 4+600**
- Anlage 1.4 Lageplanausschnitt Station km 4+500 bis km 6+600**
- Anlage 1.5 Lageplanausschnitt Station km 6+100 bis km 8+000**
- Anlage 1.6 Lageplanausschnitt Station km 8+000 bis km 10+300**
- Anlage 1.7 Lageplanausschnitt Station km 10+100 bis km 11+100**
- Anlage 1.8 Lageplanausschnitt Station km 11+100 bis km 13+500**
- Anlage 1.9 Lageplanausschnitt Station km 12+500 bis km 15+200**
- Anlage 1.10 Lageplanausschnitt Station km 14+500 bis km 16+798.764**

Anlage 2 Längsschnitt mit Sondierergebnissen

- Anlage 2.1 Teillängsschnitt Station km 0+000 bis km 5+620**
- Anlage 2.2 Teillängsschnitt Station km 5+600 bis km 11+140**
- Anlage 2.3 Teillängsschnitt Station km 11+100 bis km 16+798.764**
- Anlage 2.4 Einzelblattdarstellung der Sondierprofile und Pegelausbauten
(65 Seiten)**

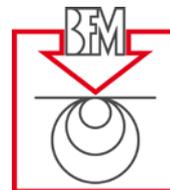
Anlage 3 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

- Anlage 3.1 Bestimmung Körnungslinie nach DIN 17892-4**
- Anlage 3.2 Bestimmung Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1**
- Anlage 3.3 Bestimmung Konsistenzgrenzen nach DIN 18122**
- Anlage 3.4 Bestimmung Glühverlust nach DIN 18128**



Anlage 4 CAL-Untersuchungsberichte

- Anlage 4.1 Untersuchungsbericht Nr. 201910841 vom 24.01.2020 (GFS nach GWS-VwV)**
- Anlage 4.2 Untersuchungsbericht Nr. 202006360 vom 21.07.2020 (GFS nach GWS-VwV)**
- Anlage 4.3 Untersuchungsbericht Nr. 201910841-A vom 27.01.2020 (TrinkwV + Pestizide)**
- Anlage 4.4 Untersuchungsbericht Nr. 202006360-A vom 23.07.2020 (TrinkwV + Pestizide)**
- Anlage 4.5 Untersuchungsbericht Nr. 201910841-B vom 29.01.2020 (Beton- und Stahlaggressivität)**
- Anlage 4.6 Untersuchungsbericht Nr. 202006360-B vom 20.07.2020 (Beton- und Stahlaggressivität)**
- Anlage 4.7 Untersuchungsbericht Nr. 202000169 vom 21.01.2020 (Boden)**
- Anlage 4.8 Untersuchungsbericht Nr. 202000170 vom 21.01.2020 (Boden)**
- Anlage 4.9 Untersuchungsbericht Nr. 202000171 vom 21.01.2020 (Boden)**
- Anlage 4.10 Untersuchungsbericht Nr. 202005577 vom 26.07.2020 (Boden)**



1 Vorgang

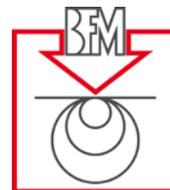
Im Auftrag der Hessenwasser GmbH & Co. KG plant die ARGE Ausbau Riedleitung Süd-Teil den Neubau einer rd. 17 km langen Trinkwasserverbundleitung die sog. "Redundante Riedleitung Süd" zwischen dem Bauwerk 16 bei Wolfskehlen im Hessischen Ried bis zum Wasserwerk Allmendfeld bei Gernsheim (WW ALLM).

Die Hessenwasser beabsichtigt eine Gesamtredundanz ihres Trinkwasserverbundnetzes, welche bis zur Druckerhöhungsanlage Haßloch bei Rüsselsheim (DE HASS) reicht. Das Gesamtsystem stellt die Versorgung des Ballungsraumes Frankfurt mit Trinkwasser aus dem Hessischem Ried sicher.

Die Baugrundinstitut Franke-Meißner und Partner GmbH (BFM) wurde von der ARGE Ausbau Riedleitung Süd-Teil mit der Durchführung der Baugrundvoruntersuchungen, der geotechnischen Beratung sowie der orientierenden umwelttechnischen Untersuchungen als erster Teil einer zweistufigen Baugrunderkundung beauftragt.

Im vorliegenden Vorgutachten werden die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse sowie vorläufige Empfehlungen zu Bauwerksgründungen an den verschiedenen Streckenabschnitten erläutert.

Für das Kreuzungs-Bauwerk DB-Strecke 4010 liegt mit [7] ein separates Vorgutachten vor.



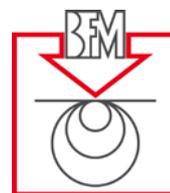
2 Unterlagen

2.1 Projektbezogene Unterlagen

- [1] Detaillagepläne der ARGE Ausbau Riedleitung Süd-Teil, Vorabzug, vom 20.04.2020.
- [2] Längsschnitte der ARGE Ausbau Riedleitung Süd-Teil, Vorabzug, vom 25.05.2020.
- [3] Übersichtsplan redundante Riedleitung Süd mit Schutzgebieten und Überschwemmungsgebieten, Trinkwasserverbundleitung DN 1000 BW16-WWALLM der H. P. Gauff Ingenieure & Co. KG, vom 17.10.2017.
- [4] Absteckungsskizze des Ingenieurbüros Dr.-Ing. Jürgen Riehl, Hochheim am Main, vom 27.09.2019, 25.10.2019 und 26.05.2020.
- [5] Parameter der Vollanalysen mit Höchstwerten für die Versickerung der Hessenwasser GmbH und Co. KG, TrinkwV, GrwV, GFS-Wert nach GWS-VwV.
- [6] Trassenbeschreibung der H. P. Gauff Ingenieure GmbH & Co. KG, Potsdam, Trinkwasserverbundleitung DN 1000 BW 16 – WWALLM Redundante Riedleitung Süd vom November 2017, erstattet im Auftrag der Hessenwasser GmbH & Co. KG, Groß-Gerau.
- [7] Baugrundinstitut Franke-Meißner und Partner GmbH, Redundanter Ausbau der Riedleitung Süd-Teil, Kreuzung DB-Strecke 4010, Baugrundvoruntersuchungen und geotechnische Beratung sowie orientierende umwelttechnische Untersuchungen, Vorgutachten vom 20.08.2020.

2.2 Fremdgutachten

- [8] Bericht der Schnittstelle Boden Ingenieurbüro für Boden- und Grundwasserschutz: Bestandsaufnahme des Bodens für das Vorhaben Errichtung einer Trinkwasserleitung vom Wasserwerk Allmendfeld bis Wolfskehlen mit Datum vom 04.12.2017, erstattet im Auftrag der Hessenwasser GmbH & Co. KG.
- [9] Konzept der Hessenwasser GmbH und Co. KG, Groß-Gerau: Grundwasserhaltungen bei Baumaßnahmen der Hessenwasser – Grundlagen und Handlungsoptionen zur qualitativen Überwachung einer Gewässereinleitung, Stand April 2017.
- [10] BGS Umwelt, Bemessungsgrundwasserstände für Bauwerksabdichtungen im Versorgungsgebiet der HSE (Hessisches Ried), Gleichenplan Bemessungsgrundwasserstände (Maßstab 1 : 100.000), Stand September 2004.



2.3 Normen, Richtlinien

- [11] Handbuch Eurocode 7 – Geotechnische Bemessung, Band 1: Allgemeine Regeln, herausgegeben vom Deutschen Institut für Normung e. V., 2. Auflage, Beuth Verlag Berlin, Wien, Zürich, 2015.
- [12] Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben", EAB. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), 5. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012.
- [13] Regierungspräsidium Darmstadt, Gießen, Kassel, Abt. Staatliche Umweltämter, Merkblatt "Entsorgung von Bauabfällen", Stand 01.09.2018.
- [14] Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009, Teil I, Nr. 22, Bonn, 29.04.2009, Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts vom 27.04.2009, sog. DepV.
- [15] Gemeinschaftsveröffentlichung DIN EN 12889, "Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und Kanälen" und DWA-A 125, "Rohrvortrieb und verwandte Verfahren", Beuth Verlag, 2009, Berlin.
- [16] DB Mobility Networks Logistics, Verlegung von Leitungen auf Gelände der Deutschen Bahn, Checkliste, Stand: 13.02.2017.

2.4 Literatur, Kartenwerke

- [17] Geologische Karte von Hessen, Maßstab 1:25.000, hrsg. Vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung, Messtischblatt 6116 Oppenheim, mit Erläuterungen und Beiblättern 1 – 3.
- [18] Geologische Karte von Hessen, Maßstab 1:25.000, hrsg. Vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung, Messtischblatt 6117 Darmstadt West, mit Erläuterungen und Beiblättern 1 – 3.
- [19] Geologische Karte von Hessen, Maßstab 1:25.000, hrsg. Vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung 1972, Messtischblatt 6217 Zwingenberg a. d. Bergstraße, mit Erläuterungen und Beiblättern 1 – 3.
- [20] Hydrologische Kartenwerke: Hessische Rhein- und Mainebene. Grundwasserhöhen gleichen für die Jahre 2000 bis 2015. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie 2015.
- [21] SCHERLE, M. (1977): Rohrvortrieb, Band 1, Technik – Maschinen – Geräte, Band 2, Statik – Planung – Ausführung, Berlin.
- [22] HERMANN SCHAD, TOBIAS BRÄUTIGAM, STEFFEN BRAMM: Rohrvortrieb – Durchpressungen begehrbarer Leitungen, Bauingenieur-Praxis, 2003, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.



3 Bauvorhaben und örtliche Verhältnisse

3.1 Örtliche Verhältnisse

Die geplante rd. 17 km lange Riedleitung Süd verläuft durch das Hessische Ried westlich von Darmstadt beginnend bei Gernsheim im Süden bis Riedstadt-Wolfskehlen im Norden. Westlich des Projektgebietes fließt der Rhein. Mit dem geplanten Leitungsabschnitt entsteht eine redundante Leitung zum Südabschnitt der bestehenden Riedleitung DN 1000/1300 (TL RIED), welche westlich von Crumstadt und Goddelau verläuft.

Der geplante Neubauabschnitt beginnt beim Wasserwerk Allmendfeld östlich von Gernsheim und führt anschließend linksseitig entlang der BAB A 67 Richtung Norden bis kurz vor Eschollbrücken. Weiter Richtung Nordwesten verlaufend endet die Riedleitung Südwestlich von Riedstadt-Wolfskehlen. Eine etwa 700 m lange Stichleitung sorgt für eine zusätzliche zweite Anbindung des Wasserwerkes Eschollbrücken an die TL RIED. Ebenso wird die Einspeisung des Wasserwerkes Pfungstadt ermöglicht.

Die Geländeoberfläche ist lokal überwiegend eben und weist entlang der Trasse ein leichtes Gefälle von Süd nach Nord bzw. zum Rhein hin auf. Im Süden der Trasse liegt die Geländeoberfläche bei rd. 92 m NHN und im Norden bei 89 m NHN.

Die Leitungstrasse verläuft über weite Teile über unbefestigte Feldwege und Ackerflächen. Etwa 70 % der Strecke liegt im Trinkwasserschutzgebiet der Zonen II und III zwischen Allmendfeld und Eschollbrücken. Der Streckenabschnitt westlich Darmstadt-Griesheim liegt innerhalb des potentiellen Überschwemmungsgebietes bei einem Hochwasser HQ 1000 [3].

3.2 Geplante Baumaßnahme

Die Riedleitung Süd wird streckenweise in einer Tiefe von rd. 3 m unter GOK verlegt. In Teilbereichen wird die Trasse vorhandene Wege, Straßen und Gewässer kreuzen. Südlich von Wolfkehlen liegt die Bahntrasse (Riedbahn) der Deutschen Bahn, die ebenfalls gequert wird. An diesen etwa 15 Kreuzungspunkten sind jeweils zwei Schachtbauwerke vorgesehen für eine Press- und eine Zielgrube, deren Baugrubensohlen deutlich tiefer unter Gelände liegen als die Riedleitung. Auf der Strecke sind weiterhin mehrere Regelschächte und Zwischenschächte geplant. In der nachfolgenden Tabelle sind die geplanten Bauwerke mit der jeweiligen Angabe der Tiefe unter GOK aufgelistet.

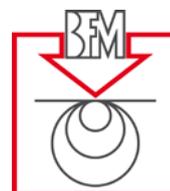
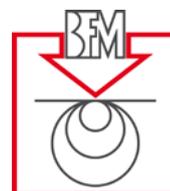
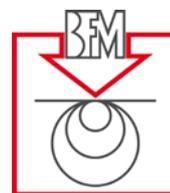


Tabelle: Geplante Bauwerke mit Angabe der Baugrubentiefe

Baukilometer [km]	Bauwerksart	Kreuzung	GOK [m NHN]	Tiefe Baugrube [m]
0+025	MID	Anschluss WW-Allmendfeld	90,80	4,0
0+480	HP	Schachtbauwerk	91,30	4,0
0+980	Baugrube	namenloses Gewässer - Startgrube	90,88	7,3
1+008	Schutzrohr	namenloses Gewässer	-	0,00
1+035	TP	namenloses Gewässer - Zielgrube	90,56	7,00
1+111	Streckenbauwerk	Berleweg, A67 - Startgrube	90,32	6,30
1+157	Schutzrohr	Berleweg, A67	-	0,00
1+211	Baugrube	Berleweg, A67 - Zielgrube	90,18	5,80
1+277	Schutzrohr	Graben, namenlos	89,3	0,00
1+569	HP	Fanggraben	90,80	4,00
1+579	TP	Fanggraben - Startgrube	90,90	8,50
1+608	Schutzrohr	Fanggraben - Rohr	-	0,00
1+639	Baugrube	Fanggraben - Zielgrube	90,95	7,20
1+744	Schutzrohr	Graben	89,60	0,00
2+526	HP	Rotgraben	91,39	4,00
2+536	TP	Rotgraben - Startgrube	91,38	8,90
2+555	Schutzrohr	Rotgraben - Rohr	-	0,00
2+572	HP	Rotgraben - Zielgrube	91,41	7,20
2+877	TP	Neuer Gernsheimer Weg - Startgrube	91,15	5,50
2+907	Schutzrohr	Neuer Gernsheimer Weg - Rohr	-	0,00
2+937	Baugrube	Neuer Gernsheimer Weg - Zielgrube	91,10	5,40
4+033	HP	Modau	93,42	4,60
4+043	TP	Modau - Zielgrube	93,70	8,30
4+076	Schutzrohr	Modau - Rohr	-	0,00
4+108	HP	Modau - Startgrube	93,40	6,10
4+785	Baugrube	Rheinstraße, A67 - Startgrube	92,40	5,10
4+825	Schutzrohr	Rheinstraße, A67 - Rohr	-	0,00
4+864	TP	Rheinstraße, A67 - Zielgrube	92,15	4,80
5+209	HP	Schachtbauwerk	93,70	4,00
6+081	TP	Eicher Straße (K149) - Startgrube	92,65	5,70
6+108	Schutzrohr	Eicher Straße (K149) - Rohr	-	0,00
6+134	HP	Eicher Straße (K149) - Zielgrube	92,90	5,40
6+781	Baugrube	B426 - Startgrube	91,39	6,90
6+810	Schutzrohr	B426 - Rohr	-	0,00
6+840	TP	B426 - Startgrube	91,44	8,30
6+850	HP	B426	91,41	4,00
7+210	Schutzrohr	Graben, namenlos	90,10	0,00
7+377	TP	Schachtbauwerk	91,05	5,40



Baukilometer [km]	Bauwerksart	Kreuzung	GOK [m NHN]	Tiefe Bau-grube [m]
8+125	HP	Crumstädter Straße (K150)	90,65	4,00
8+135	TP	Crumstädter Straße (K150) - Startgrube	90,61	10,70
8+170	Schutzrohr	Crumstädter Straße (K150) - Rohr	-	0,00
8+204	Baugrube	Crumstädter Straße (K150) - Zielgrube	90,22	8,70
8+330	Schutzrohr	Graben, namenlos	88,82	0,00
9+698	HP	Sandbach	91,05	4,00
9+708	TP	Sandbach - Startgrube	91,17	8,00
9+751	Schutzrohr	Sandbach - Rohr	-	0,00
9+794	HP	Sandbach - Zielgrube	91,06	6,50
10+231	Anschlusschacht	Anschluss WW Eschollbrücken	89,86	5,60
10+815	Schutzrohr	Graben, namenlos	89,38	0,00
11+298	TP	Schachtbauwerk	89,40	5,40
12+636	HP	Schachtbauwerk	89,08	4,00
13+369	TP	Schachtbauwerk	88,75	4,80
13+951	HP	Schachtbauwerk	89,47	4,00
14+599	TP	Starkenburger Str. (K158) - Startgrube	89,27	5,80
14+621	Schutzrohr	Starkenburger Str. (K158) - Rohr	-	0,00
14+642	Baugrube	Starkenburger Str. (K158) - Zielgrube	89,29	5,80
14+911	HP	Schachtbauwerk	89,61	4,00
15+423	Baugrube	Scheidgraben - Zielgrube	86,28	6,30
15+443	Schutzrohr	Scheidgraben - Rohr	-	0,00
15+463	TP	Scheidgraben - Startgrube	86,30	6,40
15+732	HP	DB-Trasse	89,76	4,60
15+742	TP	DB-Trasse - Startgrube	89,78	9,60
15+768	Schutzrohr	DB-Trasse - Rohr	-	0,00
15+795	HP	DB-Trasse - Zielgrube	88,68	6,60
16+665	TP	B44 - Startgrube	87,79	6,20
16+724	Schutzrohr	B44 - Rohr	-	0,00
16+783	Baugrube	B44 - Zielgrube	87,52	5,80
16+798	Anschlussbauwerk	Anschluss DN1300 Ried Bestand	87,60	8,90
Anschluss Station 10+231 bis WW Eschollbrücken				
0+000	TP	K17 Landgraben/Küchlergraben	94,41	
1+421	HP	L3303 - Zielgrube	-	6,00
1+436	Schutzrohr	L3303 - Rohr	94,40	0,00



4 Durchgeführte Untersuchungen

Kampfmittelsondierungen

Zum Freimessen der einzelnen Aufschlusspunkte wurde durch KMS – Kampfmittelsondierung Maximilian Becker, Idar-Oberstein, jeweils bis 5 m unter GOK mit einer Hohlschnecke vorgebohrt und dann mit einer entsprechenden Sonde im Bohrloch gemessen. Danach erfolgte die Freigabe im Radius von 1 m um das Bohrloch für die Durchführung entsprechender geotechnischer Feldversuche.

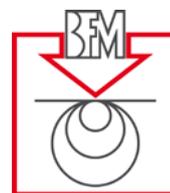
Aufschlussarbeiten

Zur Untersuchung der anstehenden Baugrund- und Grundwasserverhältnisse entlang der geplanten Riedleitung wurden im September und Oktober 2019 durch BFM insgesamt 60 Kleinrammbohrungen (RKS 1 bis RKS 70B) mit Aufschlusstiefen von bis zu 8,0 m unter GOK ausgeführt. Dabei orientierten sich die geplanten Sondiertiefen an den Bauwerkstiefen. Zahlreiche Sondierlöcher fielen wiederholt durch das einströmende Grundwasser mit dem erosionsanfälligen Baugrund zu. Bereichsweise war zum Zeitpunkt der Erkundungsarbeiten eine geringere Verlegetiefe gem. den Vorabzugsplänen mit Stand vom 12.07.2019 (erhalten am 29.08.2019) vorgesehen, sodass hier eine Erkundungstiefe von 3,0 m als ausreichend erachtet werden konnte.

Zum Einmessen der Ruhewasserstände wurden rd. die Hälfte der ausgeführten Kleinrammbohrungen zu Rammpegel mit einem Durchmesser von 1¼“ ausgebaut. Im November 2019 - nach den Sondierarbeiten wurden die Ruhewasserspiegel eingemessen.

Während der Planungsphase wurde eine Modifizierung der Streckenführung westlich von Eschollbrücken über eine Länge von rd. 2 km vorgenommen, die zu einer Verschiebung der ursprünglichen Trasse um rd. 100 m in Richtung Westen führte. Aufgrund dessen wurden zusätzlich fünf weitere Kleinrammbohrungen (RKS 37 V bis RKS 42 V) durchgeführt.

Die Lage der Sondieransatzpunkte ist den Anlagen 1 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Rammsondierungen und der Pegelausbau sind in den Anlagen 2.1 bis 2.3 als Teillängsschnitte und in der Anlage 2.4 als Einzelblätter dargestellt.



Lage- und Höheneinmessung

Die Absteckung und Vermessung der Sondieransatzpunkte wurde bauseits durch das Vermessungsbüro Dr.-Ing. Jürgen Riehl vorgenommen [4].

Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Zur Klassifizierung und Bestätigung der im Feld vorgenommenen Bodenansprache wurden in unserem institutseigenem Labor Versuche an den gestörten Bodenproben hinsichtlich der Korngrößenverteilung nach DIN 17892-4, der Fließ- und Ausrollgrenze nach DIN 18122 sowie des Glühverlustes nach DIN 18128 durchgeführt. Dies betrifft im Wesentlichen die quaritären Schluffe und Sande sowie die bindigen Zwischenlagen.

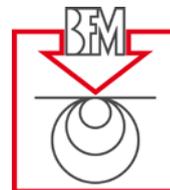
Die detaillierte Darstellung der Versuchsergebnisse ist jeweils der Anlage 3 zu entnehmen.

Umwelttechnische Untersuchungen

Im Sinne einer orientierenden umwelttechnischen Untersuchung zum Zwecke einer vorläufigen abfalltechnischen Einstufung wurden Proben aus dem mittels Rammkernsonden gewonnenen Auffüllmaterial und tiefenbasiert aus dem gewachsenen Boden abfalltechnisch gemäß [13] analysiert.

Des Weiteren wurden Grundwasserproben aus den Rammpegeln entnommen und auf Grundwasserverunreinigungen (GWS-VwV) sowie in Trinkwasserschutzgebieten zusätzlich auf die Parameter der Trinkwasserverordnung und auf Stahl- und Betonaggressivität untersucht.

Die Untersuchungsergebnisse (Laborberichte) der Chemisch Analytisches Laboratorium GmbH Co. KG, Darmstadt (CAL) liegen als Anlagen 4 bei und werden in Kapitel 17 näher erläutert und bewertet.



5 Baugrund- und Grundwasserverhältnisse

5.1 Geologie, allgemein

Entsprechend der Geologischen Karten [17], [18] und [19] ist aufgrund der Lage in ehemaligen Auen und alten Flussläufen des Neckars und des Rheins im Trassenbereich unterhalb von teils aufgefüllten Böden und Ackerböden mit Auensedimenten (Lehme und Sande) zu rechnen. Bei Eschollbrücken verläuft die Trasse im Überschwemmungsgebiet von Bächen; hier finden sich kalkhaltige Tone und Lehme des Rheins und des Neckars. Bei Pfungstadt-Hahn kommen Torflagen im Boden aufgrund von Moorbildungen in den alten Neckarbetten vor. Die Mächtigkeit der holozänen und pleistozänen Sedimente kann mehrere Dezimeter erreichen.

Unterhalb der quartären Auensedimente befindet sich bis in eine Tiefe von rd. 100 m pleistozäne Sande. Von der Genese handelt es sich dabei um jüngere und ältere Flugsande, Sandlöss, Löss und Schuttkegelsande.

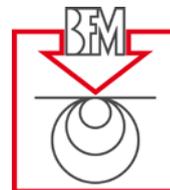
5.2 Baugrundsichtung, Sondierergebnisse

5.2.1 Auffüllungen und Ackerböden

Mit den Baugrundaufschlusssondierungen wurden ab der GOK überwiegend **Mutter- bzw. Ackerböden** erbohrt. Dieser weist Dicken zwischen minimal etwa 0,1 m (RKS 10) und maximal etwa 1,2 m (RKS 47) auf.

Der Mutterboden besteht nach Feldansprache der aufgeschlossenen Böden aus schwach sandigen bis sandigen, tonigen, kiesigen Schluffen von steifer Konsistenz. Der Boden wird von Wurzel- und Pflanzenresten durchzogen.

Im Bereich zwischen dem Wasserwerk Allmendfeld bis zum Landgraben entlang der BAB 67 (RKS 1 bis RKS 5) folgen unterhalb der Geländeoberfläche (GOK ca. 91 m NHN) **Auffüllungen** mit einer Mächtigkeit von rd. 1,75 m. Diese setzen sich aus sandigen und kiesigen Schluffen in steifer bis halbfester und bereichsweise halbfester Konsistenz sowie aus schluffigen, kiesigen Sanden zusammen. Als Fremdbestandteile wurden in den Auffüllungen Pflanzen- und Wurzelreste, Ziegel-, Schlacke- und Betonbruch sowie Schotter festgestellt.



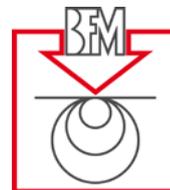
Nördlich von Pfungstadt-Hahn entlang der B 426, westlich an Pfungstadt-Eich und Pfungstadt-Eschollbrücken vorbei (RKS 29 bis RKS 45) folgen unterhalb der Geländeoberfläche (GOK ca. 90,9 m NHN) Auffüllungen in einer Mächtigkeit von rd. 1,5 m. Die Auffüllungen bestehen aus stark schluffigen, kiesigen Sanden und aus sandigen, kiesigen Schluffen überwiegend von halbfester Konsistenz. Als künstliche Beimengungen wurden neben Pflanzen- und Wurzelresten, Ziegel- und Betonbruch, Schotter, Kohle und Metall festgestellt.

Im Trassenabschnitt zwischen dem Solarpark Griesheim Richtung Goddelau und weiter entlang der Südumgehung B 26 von Wolfskehlen bis zum Bauwerk 16 bei Wolfskehlen (RKS 52 bis RKS 70B) steht unter Gelände (rd. 88 m NHN) bzw. unter einer Asphaltdecke mit Schotterunterbau ebenfalls Auffüllmaterial an. Die Mächtigkeit beträgt bis zu 1 m. Die Auffüllungen bestehen überwiegend aus sandigen, kiesigen Schluffen von steifer bis halbfester Konsistenz. Als Fremdbestandteile wurden Wurzelreste, Ziegel, Beton, Kohle und Schlacke vorgefunden.

5.2.2 Quartäre Schluffe (Deckschicht)

Unterhalb der Auffüllungen bzw. dem Ackerboden folgen **quartäre Schluffe** holozänen und pleistozänen Alters, bestehend aus übergeordnet Schluffen sowie untergeordnet Tonen und Sanden, die tw. feingliedrig als Wechsellagerung vorliegen. Die Mächtigkeit der hier erbohrten quartären Deckschicht beträgt minimal etwa 0,7 m und maximal etwa 3,6 m. Die Unterkante liegt auf Höhenkoten zwischen 85,5 m NHN und 90,8 m NHN, bereichsweise auch auf 92,0 m NHN. Häufig ist der Übergang zum im Liegenden folgenden Schichtglied, bestehend aus feinkörnigen Sanden, nicht eindeutig festzustellen.

Granulometrisch wurden die holozänen und pleistozänen Sedimente als sandige, tonige und kiesige Schluffe von steifer, steifer bis halbfester und bereichsweise auch weicher bis steifer Konsistenz anzusprechen. Neben den Schluffen kommen schluffige, sandige und kiesige Tone von steifer, halbfester und lokal auch weicher bis steifer Konsistenz vor. Grobkörnige Sedimente bestehend aus schluffigen, tonigen Sanden wurden ebenfalls angetroffen. Innerhalb der quartären Sedimente, die in Auengebieten, alten Flussläufen, Überschwemmungsgebieten und vereinzelt auch Mooren gebildet wurden, wurden Reste von Wurzelresten, Kohle, Kalkbröckchen, Muschelschalen und Lösskindl angesprochen. Die Sedimente sind kalkhaltig bis stark kalkhaltig.



Im Projektgebiet südlich von Hahn (Moorgebiet gemäß [18] und [19]) und westlich von Eschollbrücken wurden in den Bodenproben organisches Material erbohrt. Hier befinden sich die Modau und der Lohrraingraben, der im ehemaligen Flussbett fließt. Ferner wurde organisches Material im Nahbereich des Scheidgrabens südlich von Wolfskehlen dokumentiert, der entlang des ehemaligen Flusslaufes verläuft.

Die quartären Schluffe wurden nach der Bohrsprache in die Bodengruppen SI, SE, SU/SU*, TA, TM, UL, UA, UM und OU nach DIN 18196 eingeordnet, wobei die bindigen Bodengruppen überwiegen.

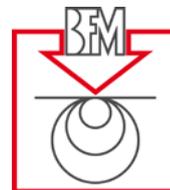
Die Deckschicht besitzt eine relativ geringe Tragfähigkeit und eine hohe Kompressibilität. Die quartären Schluffe sind als baupraktisch gering wasserdurchlässig anzusehen.

5.2.3 Quartäre Sande (Grundwasserleiter)

Unterhalb der quartären Schluffe folgen bis zu den Endteufen bei rd. 80,7 m NHN (RKS 70B) **quartäre Sande**. Das Material liegt homogen vor. Die Mächtigkeit dieser Schicht kann laut Geologischer Karte bis zu 100 m erreichen.

Granulometrisch wurden die quartären Sande als schwach schluffige, schwach kiesige Sande mit einem hohen Kalkgehalt angesprochen. Überwiegend liegen die Sande als Fein- bis Mittelsande vor. Während des Sondiervorganges viel beim Ziehen des Sondiergestänges das Bohrloch häufig mit dem erosionsanfälligen anstehenden Sand bei Wasserandrang zu, weswegen die planmäßige Endtiefe nicht erreicht werden konnte (vgl. Kap. 4).

Die quartären Sande wurden nach manuellem Befund in die Bodengruppen SE, SI und SU nach DIN 18196 eingeordnet.



6 Grundwasser, Wasserbeanspruchung der Bauwerke

6.1 Grundwasserleiter

Der Grundwasserleiter im Projektgebiet liegt innerhalb der quartären Sande. Diese werden von gering durchlässigen bis grundwasserstauenden quartären Schluffen (Deckschicht) überlagert, so dass bei hohem Grundwasserstand von gespannten bzw. halbgespannten Grundwasserverhältnissen in den quartären Sanden ausgegangen werden kann. Bei normalem Grundwasserstand des Rheins handelt es sich bei den quartären Sanden dagegen überwiegend um einen freien Grundwasserleiter.

Für die Planung der Grundwasserhaltung im Bereich der Schachtbauwerke und entlang der ins Grundwasser einbindenden Streckenabschnitte wird die Wasserdurchlässigkeit der quartären Sande in einer Bandbreite von etwa

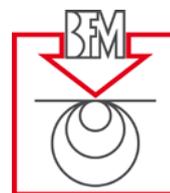
$$6,5 \times 10^{-5} \text{ m/s} \leq k_f \leq 7,3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

in Anlehnung an die Korrelationen aus den Kornverteilungskurven abgeschätzt. Dabei hängt die tatsächliche Wasserdurchlässigkeit des Schichtpakets, z. B. zur Ermittlung des Zulaufs von Pumpensämpfen oder Absenkbrunnen, stark vom lokalen Feinkornanteil des Baugrundes bzw. der örtlichen Feinschichtung ab. Generell kann in Auensedimenten von einer Anisotropie der Schichtdurchlässigkeit ausgegangen werden, d. h. die horizontale Durchlässigkeit kann ein bis zwei 10er Potenzen größer sein als die vertikale Durchlässigkeit, bedingt durch die horizontale Wechsellagerung zwischen gröberen und feineren Sanden.

Für die Berechnung von Förderwassermengen einer bauzeitlichen Grundwasserhaltung wird ein rechnerischer Durchlässigkeitsbeiwert der quartären Sande von $k = 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ empfohlen.

6.2 Grundwasserstände

Nach den unserem Institut vorliegenden Informationen und Unterlagen [20] kann generell davon ausgegangen werden, dass die Grundwasserfließrichtung im oberen Grundwasserleiter etwa nach Westen bzw. zum Rhein gerichtet ist.

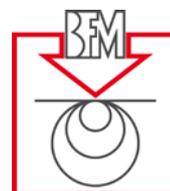


Im Rahmen der aktuellen Baugrunderkundung wurden insgesamt 26 temporäre Grundwassermessstellen ausgebaut. In 16 Messstellen konnte im November 2019 Grundwasser gemessen werden; die restlichen Messstellen waren trocken.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Wasserstandmessungen direkt nach der Sondierung im Oktober 2019 (angebohrter oder teileingespiegelter Grundwasserstand) und nach Ausbau zum GW-Pegel (Ruhewasserstand) aufgeführt. Nach Ausbau der Rammkernsondierungen zu Grundwassermessstellen wurden die Grundwasserstände im November 2019 nochmals gemessen (Ruhewasserstand). Zudem sind in der Tabelle auch die durch die Trassenverschiebung im Jahre 2020 zusätzlich eingerichteten Messstellen aufgelistet.

Tabelle: Grundwassermessungen im Streckenverlauf

Aufschluss (RKS)	Geländehöhe [m NHN]	angebohrter GW-Stand unter GOK	GW-Oberfläche [m NHN]	teileingespiegelter GW-Stand unter POK	GW-Oberfläche [m NHN]	Ruhewasserstand unter POK	GW-Oberfläche [m NHN]
3	91,702	4,00	87,702 30.09.2019			3,82	87,902 06.11.2019
5	91,374	4,05	87,324 01.10.2019			4,79	87,434 06.11.2019
9	90,590	3,42	87,170 02.10.2019			3,45	88,140 ^{*1)} 06.11.2019
15	91,395	3,95	87,445 01.10.2019			4,44	87,555 06.11.2019
17	90,874	3,30	87,574 09.10.2019			4,78	87,644 06.11.2019
31	92,522	5,18	87,342 16.10.2019	5,98	87,342 16.10.2019	5,91	87,412 07.11.2019
34	91,415	4,17	87,245 17.10.2019			5,42	87,295 07.11.2019
35	90,070	2,92	87,150 23.10.2019			-	
37	90,132	3,20	86,932 24.10.2019			3,42	87,212 07.11.2019
38	90,598	3,70	86,898 24.10.2019			4,66	86,938 07.11.2019
38 VA	90,663	3,26	87,403 17.06.2020	4,35	87,403 17.06.2020	3,36	88,393 ^{*2)} 14.07.2020
40 V	90,627	3,45	87,177 17.06.2020	4,65	87,177 17.06.2020	4,71	87,117 ^{*2)} 14.07.2020
41	90,499					3,72	86,779 07.11.2019
41 V	90,354	3,20	87,154 17.06.2020				



Aufschluss (RKS)	Geländehöhe [m NHN]	angebohrter GW-Stand unter GOK	GW-Oberfläche [m NHN]	teileingespiegelter GW-Stand unter POK	GW-Oberfläche [m NHN]	teileingespiegelter GW-Stand unter POK	GW-Oberfläche [m NHN]
42 V	89,742			2,90	86,842 17.06.2020		
52	89,159	2,62	86,539 27.10.2019			3,59	86,569 07.11.2019
58	89,612	3,72	85,892 29.10.2019	4,30	85,892 29.10.2019	4,24	85,952 07.11.2019
62	89,471	4,05	85,421 29.10.2019	4,41	85,421 29.10.2019	4,35	85,481 08.11.2019
64	86,908	1,53	85,378 28.10.2019	2,03	85,378 28.10.2019	2,01	85,398 08.11.2019
65	86,322	0,60	85,722 20.10.2019				
66	89,726	4,85	84,876 28.10.2019	5,25	84,976 28.10.2019	5,21	85,016 08.11.2019
70B	87,778	3,45	84,328 28.10.2019	3,95	84,328 28.10.2019	3,94	84,338 08.11.2019

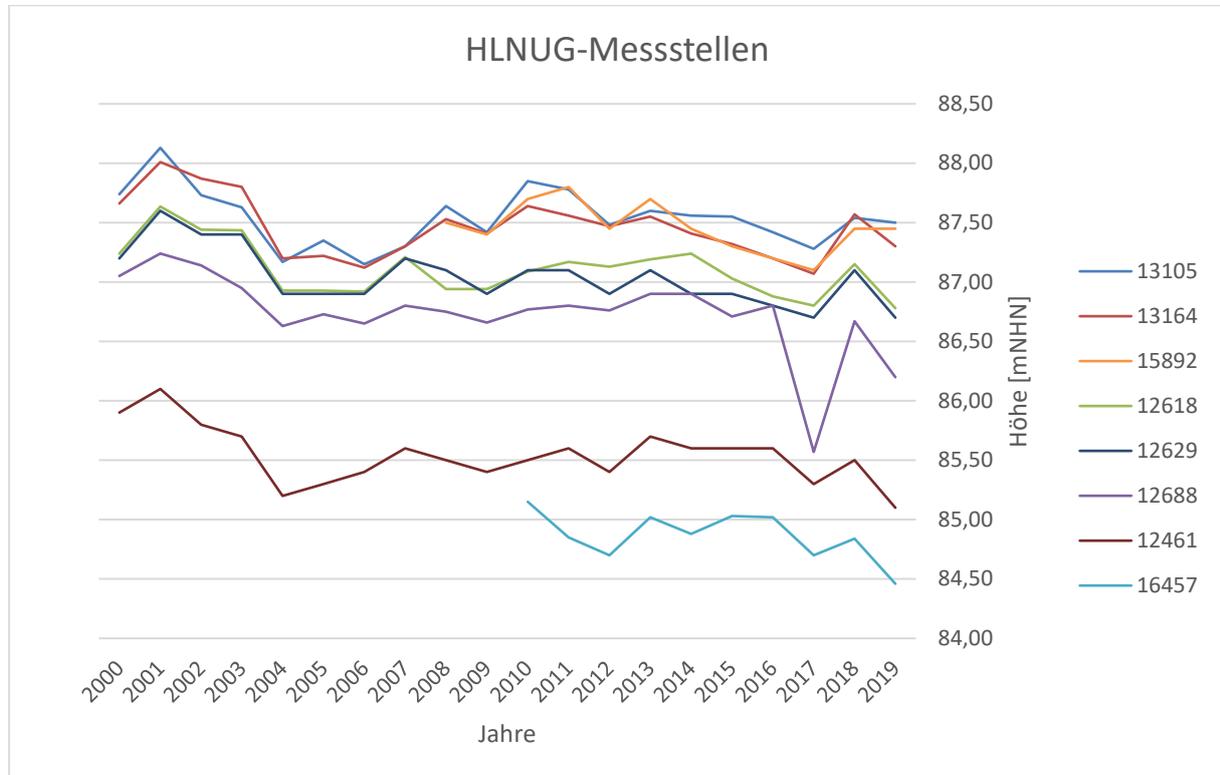
*1) Messung unplausibel, evtl. Messfehler

*2) Messung im Sommer 2020

Zur Abschätzung der Grundwasserschwankungen wurden die der Trasse am nächsten gelegenen dauerhaften Messstellen, die durch das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) betrieben und verwaltet werden, ausgewertet. Dazu wurden die gemessenen Grundwasserstandwerte der folgenden Messstellen näher betrachtet: 13105, 13164, 15892, 12618, 12629, 12688, 12461 und 16457. Für die Auswertung wurde jeweils der Jahresmittelwert für die Jahre 2000 bis 2019 dargestellt.



Diagramm: Jahresmittelwerte der HLNUG-Messstellen

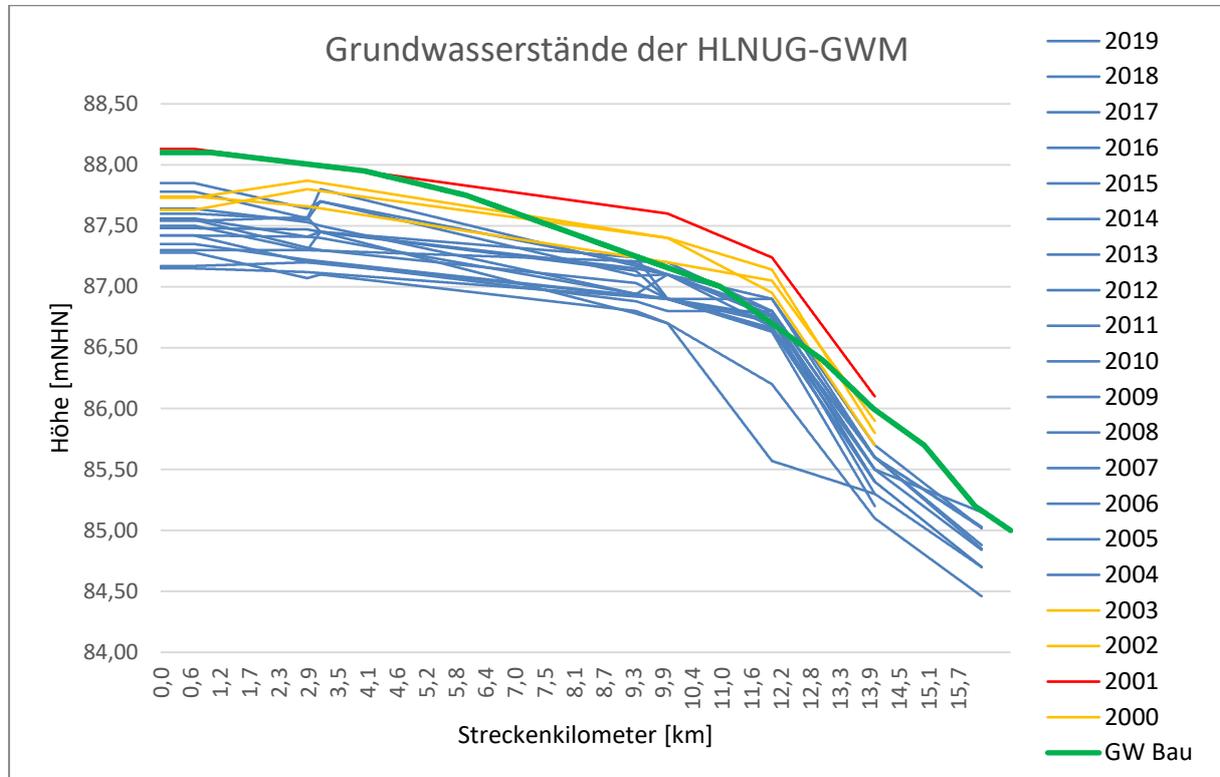


Die von der Jahreszeit abhängige Grundwasserschwankung kann einige Dezimeter bis rd. 0,8 m betragen. In den vergangenen 20 Jahren wurden insbesondere im Jahr 2001 aufgrund hoher Niederschläge und einem damit verbundenen hohen Rhein-Hochwasser hohe Grundwasserstände gemessen. In den vergangenen 5 Jahren war dann die Jahresmittelwerte i. M. 0,8 m niedriger als zu Beginn der 2000er.

Im Hinblick auf die Planung der bauzeitlichen Grundwasserhaltung wurden die Grundwasserstände der HLNUG-Messstellen, die in der Nähe der geplanten Trasse gelegen sind, aus den Jahren 2000 bis 2019 auf die Strecke interpoliert und aufgrund der vorgenannten Messungen und Auswertungen unter Inkaufnahme eines Restrisikos bzgl. eines Rheinhochwassers in der maßgeblichen Bauzeit ein **bauzeitlicher Grundwasserstand GW_{Bau}** abgeschätzt.



Diagramm: Jahresmittelwerte der HLNUG-Messstellen und GW_{Bau}

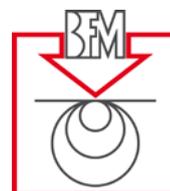


Die langfristig für den Nachweis der Auftriebssicherheit der Schachtbauwerke und die Planung der Bauwerksabdichtung anzunehmenden **Bemessungs-Grundwasserstände GW_{max}** sind gemäß der Karte über die Bemessungsgrundwasserstände im Versorgungsgebiet der HSE (Hessisches Ried) [10] anzusetzen.

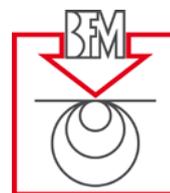
In der nachfolgenden Tabelle sind die Bemessungs-Grundwasserstände GW_{max} und die bauzeitlichen Grundwasserstände GW_{Bau} für die jeweiligen Bauwerke dargestellt.

Tabelle: Bemessungs-Grundwasserstände GW_{max} und bauzeitliche Grundwasserstände GW_{Bau} für die jeweiligen Bauwerke

Baukilometer [km]	Bauwerksart	Kreuzung	GW _{Bau} [m NHN]	GW _{max} [m NHN]
0+025	MID	Anschluss WW-Allmendfeld	88,1	90,0
0+480	HP	Schachtbauwerk	88,1	90,25
0+980	Baugrube	namenloses Gewässer - Startgrube	88,1	90,3
1+008	Schutzrohr	namenloses Gewässer	88,1	90,3
1+035	TP	namenloses Gewässer - Zielgrube	88,1	90,3
1+111	Streckenbauwerk	Berleweg, A67 - Startgrube	88,1	90,3
Baukilometer	Bauwerksart	Kreuzung	GW _{Bau}	GW _{max}



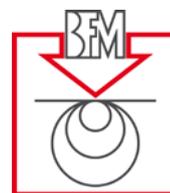
[km]			[m NHN]	[m NHN]
1+157	Schutzrohr	Berleweg, A67	88,1	90,3
1+211	Baugrube	Berleweg, A67 - Zielgrube	88,1	90,3
1+277	Schutzrohr	Graben, namenlos	88,1	90,3
1+569	HP	Fanggraben	88,1	90,4
1+579	TP	Fanggraben - Startgrube	88,1	90,4
1+608	Schutzrohr	Fanggraben - Rohr	88,1	90,4
1+639	Baugrube	Fanggraben - Zielgrube	88,1	90,4
1+744	Schutzrohr	Graben	88,1	90,5
2+526	HP	Rotgraben	88,0	90,6
2+536	TP	Rotgraben - Startgrube	88,0	90,6
2+555	Schutzrohr	Rotgraben - Rohr	88,0	90,6
2+572	HP	Rotgraben - Zielgrube	88,0	90,6
2+877	TP	Neuer Gernsheimer Weg - Startgrube	88,0	90,7
2+907	Schutzrohr	Neuer Gernsheimer Weg - Rohr	88,0	90,7
2+937	Baugrube	Neuer Gernsheimer Weg - Zielgrube	88,0	90,7
4+033	HP	Modau	88,0	91,0
4+043	TP	Modau - Zielgrube	88,0	91,0
4+076	Schutzrohr	Modau - Rohr	88,0	91,0
4+108	HP	Modau - Startgrube	88,0	91,0
4+785	Baugrube	Rheinstraße, A67 - Startgrube	87,9	91,5
4+825	Schutzrohr	Rheinstraße, A67 - Rohr	87,9	91,5
4+864	TP	Rheinstraße, A67 - Zielgrube	87,9	91,5
5+209	HP	Schachtbauwerk	87,8	91,6
6+081	TP	Eicher Straße (K149) - Startgrube	87,7	91,1
6+108	Schutzrohr	Eicher Straße (K149) - Rohr	87,7	91,1
6+134	HP	Eicher Straße (K149) - Zielgrube	87,7	91,1
6+781	Baugrube	B426 - Startgrube	87,6	90,1
6+810	Schutzrohr	B426 - Rohr	87,6	91,1
6+840	TP	B426 - Startgrube	87,6	91,1
6+850	HP	B426	87,6	91,1
7+210	Schutzrohr	Graben, namenlos	87,6	90,0
7+377	TP	Schachtbauwerk	87,6	90,0
8+125	HP	Crumstädter Straße (K150)	87,4	89,9
8+135	TP	Crumstädter Straße (K150) - Startgrube	87,4	89,9
8+170	Schutzrohr	Crumstädter Straße (K150) - Rohr	87,4	89,9
8+204	Baugrube	Crumstädter Straße (K150) - Zielgrube	87,4	89,9
8+330	Schutzrohr	Graben, namenlos	87,4	89,8
9+698	HP	Sandbach	87,2	90,2
9+708	TP	Sandbach - Startgrube	87,2	90,2
9+751	Schutzrohr	Sandbach - Rohr	87,2	90,2
9+794	HP	Sandbach - Zielgrube	87,2	90,2
10+231	Anschlusschacht	Anschluss WW Eschollbrücken	87,1	89,7
10+815	Schutzrohr	Graben, namenlos	87,0	89,4



Baukilometer [km]	Bauwerksart	Kreuzung	GW _{Bau} [m NHN]	GW _{max} [m NHN]
11+298	TP	Schachtbauwerk	86,9	89,4
12+636	HP	Schachtbauwerk	86,5	88,4
13+369	TP	Schachtbauwerk	86,3	87,8
13+951	HP	Schachtbauwerk	86,0	87,7
14+599	TP	Starkenburger Str. (K158) - Startgrube	85,8	87,4
14+621	Schutzrohr	Starkenburger Str. (K158) - Rohr	85,8	87,4
14+642	Baugrube	Starkenburger Str. (K158) - Zielgrube	85,8	87,4
14+911	HP	Schachtbauwerk	85,7	87,3
15+423	Baugrube	Scheidgraben - Zielgrube	85,5	87,2
15+443	Schutzrohr	Scheidgraben - Rohr	85,5	87,2
15+463	TP	Scheidgraben - Startgrube	85,5	87,2
15+732	HP	DB-Trasse	85,4	87,1
15+742	TP	DB-Trasse - Startgrube	85,5	87,1
15+768	Schutzrohr	DB-Trasse - Rohr	85,4	87,1
15+795	HP	DB-Trasse - Zielgrube	85,4	87,1
16+665	TP	B44 - Startgrube	85,0	86,8
16+724	Schutzrohr	B44 - Rohr	85,0	86,8
16+783	Baugrube	B44 - Zielgrube	85,0	86,8
16+798	Anschlussbauwerk	Anschluss DN1300 Ried Bestand	85,0	86,7
Anschluss Station 10+231 bis WW Eschollbrücken				
0+000	TP	K17 Landgraben/Küchlergraben	87,2	89,7
1+421	HP	L3303 - Zielgrube	85,7	92,5
1+436	Schutzrohr	L3303 - Rohr	85,7	92,5

6.3 Grundwasserqualität

Aufgrund der erforderlichen Grundwasserhaltungsmaßnahmen in Teilen der Strecke und den damit verbundenen Antrag zur wasserrechtlichen Erlaubnis wurden Grundwasseranalysen durchgeführt. Dazu wurden uns vom Auftraggeber eine Liste mit Parametergrenzwerten [5] übergeben, die bei Grundwasserversickerungen in Fließgewässer innerhalb von Wasserschutzgebieten im Hessischen Ried eingehalten werden müssen. Die Parameterliste umfasst die Verwaltungsvorschrift zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen (**GWS-VwV**), Stand 17.10.2016, Anlage 1: Geringfügigkeitsschwellenwerte für örtlich begrenzte Grundwasserverunreinigungen. Innerhalb von Trinkwasserschutzgebieten – wie hier der Fall zwischen der Anschlussstelle WWALLM und Bau-km 11+000 – wurden ergänzend zur GWS-VwV die Parameter der **TrinkwV** untersucht. Neben den Vor-Ort-Parametern wurden auch Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte analysiert sowie für die in das Grundwasser einbindenden Bauwerke die **Beton- und Stahlaggressivität** analysiert.



In der nachfolgenden Tabelle sind die durchgeführten Analysen an den im Grundwasser liegenden Bauwerken aufgelistet.

Tabelle: Durchgeführte Grundwasseranalysen

Bauwerk	Messstelle	Beton- und Stahlaggressivität (Anlagen 4.5, 4.6)	GWS-VwV+TrinkwV (Anlagen 4.3, 4.4)	GWS-VwV (Anlagen 4.1, 4.2)
003 BG	RKS 5	X	X	
Entwässerungsgraben	RKS 9	X	X	
010 S-HP	RKS 15	X	X	
012 BG	RKS 17	X	X	
021 S-HP/TP	RKS 34	X	X	
023 S-TP	RKS 38	X	X	
023 S-TP	RKS 38 VA	X	X	
Strecke	RKS 40 V	X	X	
038 BG	RKS 64	X		X
040 S-HP/TP	RKS 66	X		X
042 S-TP	RKS 70B	X		X

Die Ergebnisse der Wasseranalysen liegen dem Gutachten mit den Anlagen 4.1 bis 4.6 bei.

6.3.1 GWS-VwV mit Ergänzung der TrinkwV

Die Grundwasserproben aus den Grundwassermessstellen, wo das geplante Bauwerk mindestens 1 m ins Grundwasser hineinreicht, wurden auf den Parameterumfang nach [5] gemäß der Geringfügigkeitsschwellenwerte nach GWS-VwV und dort wo die Riedleitung im Trinkwasserschutzgebiet verläuft, ergänzend um die Parameter der TrinkwV analysiert.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Messwerte aufgelistet, die die jeweiligen Geringfügigkeitsschwellenwerte überschreiten.

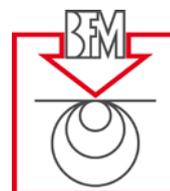


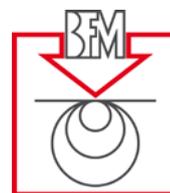
Tabelle: Ergebnisse der GWS-VwV und TrinkwV (bei Grenzwertüberschreitung)

Messstelle	Parameter	Messwert	Grenzwert
RKS 5	Nitrat	110 mg/L	50 mg/L
	AOX	0,076 mg/L	0,025 mg/L
RKS 9	Zink	0,489 mg/L	0,058 mg/L
	Sulfat	264 mg/L	250 mg/L
	AOX	0,058 mg/L	0,025 mg/L
RKS 15	Mangan	0,178 mg/L	0,050 mg/L
RKS 17	Mangan	0,454 mg/L	0,050 mg/L
	AOX	0,045 mg/L	0,025 mg/L
RKS 34	Selen	0,049 mg/L	0,01 mg/L
	Mangan	0,457 mg/L	0,050 mg/L
	Nitrat	89,7 mg/L	50 mg/L
	Nitrit	1,21 mg/L	0,5 mg/L
	Uran	0,026 mg/L	0,010 mg/L
RKS 38	Selen	0,024 mg/L	0,01 mg/L
	Nitrat	123 mg/L	50 mg/L
	Nitrit	6,87 mg/L	0,5 mg/L
	Uran	0,0775 mg/L	0,010 mg/L
	AOX	0,040 mg/L	0,025 mg/L
RKS 38 VA	Trübung	169 NTU	1 NTU
	Färbung	4,7 1/m	0,5 1/m
	Ammonium	0,711 mg/L	0,5 mg/L
	Mangan	0,365 mg/L	0,050 mg/L
	Nitrat	99,9 mg/L	50 mg/L
	Uran	0,0921 mg/L	0,010 mg/L
	AOX	0,046 mg/L	0,025 mg/L
RKS 40 V	Trübung	89,4 NTU	1 NTU
	Färbung	2,2 1/m	0,5 1/m
	Mangan	0,534 mg/L	0,050 mg/L
	Uran	0,0166 mg/L	0,010 mg/L
RKS 64	el. Leitfähigkeit bei 25 °C	2920 µS/cm	2790 µS/cm

6.3.2 Beton- und Stahlaggressivität

Die Analyse auf Betonaggressivität gemäß DIN 4030 für alle 11 untersuchten Proben ergab jeweils keinen Hinweis auf mögliche betonaggressive Inhaltsstoffe des Grundwassers. Es wird hier dennoch rein vorsorglich empfohlen, bei der Festlegung der Betonrezeptur vorläufig von einer **Explosionsklasse XA1** auszugehen.

Die Untersuchung auf Stahlaggressivität gemäß DIN 50929 ergab ebenfalls keine Auffälligkeiten der untersuchten Grundwasserproben. Die Analyseergebnisse zeigen insgesamt **sehr geringe Korrosionswahrscheinlichkeiten** von unlegierten und niedriglegierten Stählen.



Die Analyseergebnisse der RKS 38 VA und der RKS 40 V ergaben hingegen eine **geringe Korrosionswahrscheinlichkeit** von unlegierten und niedriglegierten Stählen.

Bei der Beurteilung von Deckschichten auf Schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe zeigen die Analyseergebnisse eine **sehr gute Güte**.

6.4 Wasserbeanspruchung der Schachtbauwerke und Rohrleitung

Bei einem Teil der geplanten Riedleitung handelt es sich um eine Beanspruchung der **Wassereinwirkungsklasse W1.1-E** bzw. „Bodenfeuchte und nichtdrückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden“ nach DIN 18533-1. Bei sonstigen Strecke gilt die **Wassereinwirkungsklasse W2.1-E** bzw. „Mäßige Einwirkung von drückendem Wasser \leq 3 m Eintauchtiefe“.

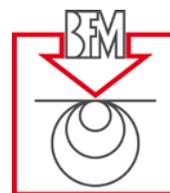
Dort wo vor allem die Schachtbauwerke über 3 m ins Grundwasser eintauchen (rd. 17 %), gilt die **Wassereinwirkungsklasse W2.2-E** bzw. „Hohe Einwirkung von drückendem Wasser $>$ 3 m Eintauchtiefe“ nach DIN 18533-1.

7 Bodenmechanische Laborversuche

Zur stichprobenartigen Überprüfung der im bergfrischen Zustand vorgenommenen ingenieur-geologischen Ansprache wurden aus dem Bodenmaterial der Kleinrammbohrungen verschiedene gestörte Proben entnommen.

An den gestörten Proben wurden für verschiedene Proben die sog. Atterberg'schen Grenzen nach DIN EN ISO 17892-12:2018-10 bzw. die Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17892-4:2017-04 bestimmt. Zudem wurde an Proben mit auffälligen Anteilen an organischen Beimengungen der Glühverlust nach DIN 18128:2002-12 ermittelt. Ferner wurde der Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1:2015-03 an einigen Proben bestimmt.

Die Ergebnisse der Bestimmung der Atterberg'schen Grenzen, der Kornverteilungsanalysen und des Glühverlustes sind in der Anlage 3 dargestellt.

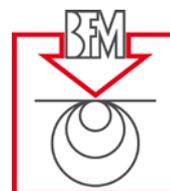


Die ermittelten Versuchsergebnisse wurden sowohl bei der zeichnerischen Darstellung der Bohrprofile in der Anlage 2 als auch bei der Festlegung der sog. erdstatischen Rechenwerte im nachfolgenden Kapitel berücksichtigt.

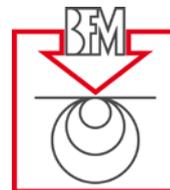
Nachstehend sind die Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche tabellarisch aufgelistet.

Tabelle: Zusammenstellung der bodenmechanischen Laborergebnisse

Probe	Entnahmetiefe [m]	Bodenart	I_c [-]	I_p [%]	Konsistenz	Boden- gruppe	k_f -Wert [m/s]	Glühverlust [%]
RKS 1, GP 2	2,25 – 3,0	S, u´	-	-	-	SE	2,357E-4	
RKS 2, CP 2	0,5 – 1,2	S, u, t	0,72	16,2	weich	TL	-	
RKS 3, GP 1	1,2 – 1,9	S, t´, u´, g´	-	-	-	SU*	-	
RKS 5, GP 2	3,6 – 6,5	S, g´, u´	-	-	-	SE	2,025E-4	
RKS 5, CP 3	0,35 – 1,2	T, u*, s´	1,12	33,4	halb- fest	TA	-	
RKS 8, GP 1+2	1,1 – 6,0	S, g´, t´, u´	-	-	-	SU	3,862E-4	
RKS 9, GP 1	0,7 – 2,0	T, u*, s´, g´	0,99	15,0	steif	TM	-	
RKS 10, GP2+3	2,6 – 6,0	S, g´, u´	-	-	-	SE	7,275E-4	
RKS 13, GP 1	0,9 – 2,1	U, s*, t, g´	-	-	-	-	-	
RKS 13, GP 2	2,1 – 2,8	T, u, s´, g´	0,84	20,9	steif	TM	-	
RKS 16, GP 1	1,5 – 2,25	T, u, s´, g´	0,87	14,8	steif	TL	-	
RKS 16, GP 3	4,3 – 6,0	S, u´	-	-	-	SU	1,141E-4	
RKS 18, GP 3	2,7 – 3,8	S, u	-	-	-	SU	-	
RKS 19, GP 2	1,8 – 2,25	T, u*, s´						8,4/mäßig or- ganisch
RKS 20, GP 1	1,5 – 2,	T, u*, s´						3,9/mäßig or- ganisch
RKS 20, GP 3	3,1 – 3,5	T, u*, s´	0,82	26,5	steif	TM	-	
RKS 21, GP 3	3,2 – 3,8	U, s, t						3,6/schwach organisch
RKS 21, GP 4	3,8 – 6,0	S, u´	-	-	-	SU	1,113E-4	
RKS 22, GP 2	1,9 – 2,6	U, s, t´	0,78	19,4	steif	TM	-	
RKS 27, GP 4-6	2,8 – 6,0	S, u´, g´	-	-	-	SE	7,078E-5	



Probe	Entnahmetiefe [m]	Bodenart	I_c [-]	I_p [%]	Konsistenz	Boden-gruppe	k_r -Wert [m/s]	Glühverlust [%]
RKS 29, GP 3	2,2 – 3,5	S, u´	-	-	-	SE	6,487E-5	
RKS 31, GP 1	1,25 – 1,9	S, t, u´	-	-	-	SU*	-	
RKS 31, GP 4	4,6 – 6,0	S, g´, u´	-	-	-	SE	1,696E-4	
RKS 34, GP 3	1,8 – 2,5	U, s, t						26,3/stark organisch
RKS 34, GP 6	4,0 – 7,0	S, u´, g´	-	-	-	SE	2,101E-4	
RKS 36, CP 3	0,7 – 1,5	U, s, t´						17,4/mäßig organisch
RKS 37, GP 1	1,0 – 3,3	U, t*, s´	0,57	24,4	weich	TA	-	
RKS 38, GP 4	3,1 – 6,0	S, u´	-	-	-	SE	2,215E-4	
RKS 38 VA, GP 2	3,4 – 5,5	S, u´	-	-	-	SE	2,88E-4	
RKS 40, GP 1	1,1 – 2,0	U, s*, t, g´	-	-	-	-	-	
RKS 40, GP 2	2,0 – 3,0	U, t*, s´	0,74	25,4	weich	TM	-	
RKS 40 V, GP 2	3,1 – 5,0	S, u´, g´	-	-	-	SU	2,182E-4	
RKS 41, GP 3	3,0 – 6,0	S, u´, g´	-	-	-	SE	2,061E-4	
RKS 42 V, GP 3	3,9 – 5,0	S, u´, g´	-	-	-	SE	3,082E-4	
RKS 45, GP 4	2,0 – 3,0	T, u*, s´	0,70	28,2	weich	TA	-	
RKS 45, GP 5	3,0 – 4,0	S, u	-	-	-	SU*	-	
RKS 50, GP 2	1,9 – 3,0	S, u	-	-	-	SU*	-	
RKS 52, GP 1	0,9 – 1,4							3,2/schwach organisch
RKS 55, GP 2	1,45 – 2,0	U, t*, s´, g´	0,77	14,4	steif	TL	-	
RKS 55, GP 4	2,6 – 3,0	S, u´	-	-	-	SU	7,533E-5	
RKS 56, GP 3	2,0 – 4,0	S, g´, u´	-	-	-	SE	1,750E-4	
RKS 57, GP 2	1,5 – 3,0	T, u*, s´	1,02	19,5	halb-fest	TM	-	
RKS 58, GP2+3	2,0 – 4,0	S, u´, g´	-	-	-	SU	-	
RKS 59, GP 3	2,0 – 3,2	T, u*, s´, g´	0,95	21,2	steif	TM	-	
RKS 61A, GP3+4	3,0 – 7,0	S, u´	-	-	-	SE	1,567E-4	
RKS 62, GP 1	1,2 – 2,0	S, u, t´, g´	-	-	-	SU*	-	
RKS 64, GP 1	1,0 – 2,5	S, u´, g´						0,6



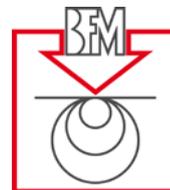
Probe	Entnahmetiefe [m]	Bodenart	I _c [-]	I _p [%]	Konsistenz	Boden-gruppe	k _r -Wert [m/s]	Glühverlust [%]
RKS 64, GP2+3	4,5 – 6,0	S, g´, u´	-	-	-	SE	4,005E-4	
RKS 65, CP 2	0,55 – 1,05	U, s, t´						14,7/mäßig organisch
RKS 66, GP 3	3,3 – 3,6	U, t, s´, g´	0,85	9,8	steif	ST	-	
RKS 67, GP 3	2,4 – 3,2	U, t, s´	1,02	11,7	halb-fest	TL		
RKS 67, GP 4	3,2 – 6,0	S, u, g´	-	-	-	SU*		
RKS 69B, CP 5	0,7 – 1,0	U, t*, s´	0,98	28,9	steif	TA	-	
RKS 69B, GP 1	1,0 – 1,5	U, s, t, g´	-	-	-	-	-	
RKS 70B, GP 1	3,3 – 7,0	S, u´	-	-	-	SE	2,546E-4	

8 Bodenklassifikation und erdstatische Rechenwerte

Vorbemerkung:

Mit Novellierung der VOB/C im September 2015 sind anstelle der bisher üblichen Bodenklassen nach DIN 18300 und DIN 18301 sog. "Homogenbereiche", die den Baugrund hinsichtlich seiner bodenmechanischen und bauverfahrenstechnisch kennzeichnenden Eigenschaften beschreiben sollen, anzugeben. Die Angabe solcher Homogenbereiche ist u. E. in der Praxis bisher nach wie vor nicht ausreichend erprobt und wird in der Fachwelt außerdem uneinheitlich gehandhabt. Es werden daher – wie bisher üblich – nachfolgend die Bodenklassen nach DIN 18300 und DIN 18301 angegeben (VOB/C, Stand 2012). Soweit im Zuge der Fortführung der Planung "Homogenbereiche" definiert werden sollen, kann deren Festlegung dann ggf. in Zusammenarbeit mit den Planern erfolgen.

Aus den aktuellen Erkundungsmaßnahmen und den Ergebnissen der bodenmechanischen Laborversuche, eigenen Erfahrungswerten aus Projekten in vergleichbaren Baugrundverhältnissen im Hessischen Ried sowie entsprechenden Angaben in der Fachliteratur werden die für das Bauvorhaben erforderlichen charakteristischen Kennwerte wie folgt angegeben:



8.1 Auffüllung

8.1.1 Nichtbindige Auffüllungen

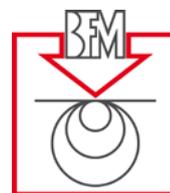
Bodengruppe nach DIN 18196	[GI], [GW], [SI], [SE], [SW], [SU], [GU]
Bodenklasse nach DIN 18300 (VOB/C, Stand 2012) bei Steinen und Blöcken möglich	3 6 und 7
Bodenklasse nach DIN 18301 (VOB/C, Stand 2012)	BN 1
Feuchtwichte	$\gamma = 16 - 19 \text{ kN/m}^3$
Wichte unter Auftrieb	$\gamma' = 10 - 11 \text{ kN/m}^3$
Ersatzreibungswinkel	$\varphi_{E,k} = 27,5 - 32,5^\circ$

8.1.2 Bindige Auffüllungen

Bodengruppe nach DIN 18196	[GU*], [UL], [UM], [UA], [SU*]
Bodenklasse nach DIN 18300 (VOB/C, Stand 2012) bei Wasserzutritt und/oder mechanischer Beanspruchung	4 2
Bodenklasse nach DIN 18301 (VOB/C, Stand 2012)	BB 1 – 3, BN 2
Feuchtwichte	$\gamma = 17 - 19 \text{ kN/m}^3$
Wichte unter Auftrieb	$\gamma' = 10 - 11 \text{ kN/m}^3$
Ersatzreibungswinkel	$\varphi_{E,k} = 25^\circ - 30^\circ$

8.2 Ackerboden/Mutterboden

Bodengruppe nach DIN 18196	[UL], [UM], [UA], [SU*], [SU], [OU], [OT]
Bodenklasse nach DIN 18300 (VOB/C, Stand 2012) bei Wasserzutritt und/oder mechanischer Beanspruchung	1 2
Feuchtwichte	$\gamma = 16 - 18 \text{ kN/m}^3$
Wichte unter Auftrieb	$\gamma' = 8 - 10 \text{ kN/m}^3$

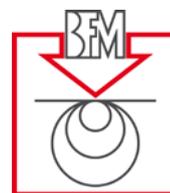


8.3 Quartäre Schluffe

Bodengruppe nach DIN 18196	UL, UM, SU*, ST, TL, TM und TA; untergeordnet SU und SE
Bodenklasse nach DIN 18300 (VOB/C, Stand 2012) bei Wasserzutritt und/oder mechanischer Beanspruchung	3 – 5 2
Bodenklasse nach DIN 18301 (VOB/C, Stand 2012)	BB 2, BB 3 (BB 1 mögl.); untergeordnet BN 1, BN 2,
Bodenklasse nach DIN 18319 (VOB/C, Stand 2012)	LBM 1 und LBM 2 + P1, P2; LNE 1, LNE 2, LNW 1, LNW 2
Feuchtwichte	$\gamma = 18 - 20 \text{ kN/m}^3$
Wichte unter Auftrieb	$\gamma' = 9 - 10 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi'_k = 22,5^\circ - 27,5^\circ$
Kohäsion	$c'_k = 0 - 10 \text{ kN/m}^2$
Steifemodul, mind. steife Konsistenz	$E_{s,k} = 3 - 15 \text{ MN/m}^2$

8.4 Quartäre Sande

Bodengruppe nach DIN 18196	SE, SW, SU; untergeordnet SU*
Bodenklasse nach DIN 18300 (VOB/C, Stand 2012)	3, (4 mögl.)
Bodenklasse nach DIN 18301 (VOB/C, Stand 2012)	BN 1, (BS 1, BB 2, BB3 mögl.)
Bodenklasse nach DIN 18319 (VOB/C, Stand 2012)	LNE 1, LNE 2, LNW 1, LNW 2; (LNE 3 und LNW 3 sowie LBM 1 und LBM 2 mögl.); S 1 mögl.
Feuchtwichte	$\gamma = 17 - 19 \text{ kN/m}^3$
Wichte unter Auftrieb	$\gamma' = 9 - 11 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi'_k = 30^\circ - 35^\circ$
Steifemodul	$E_{s,k} = 20 - 80 \text{ MN/m}^2$



8.5 Quartäre Torf- / organogene Zwischenlagen (wurden nicht aufgeschlossen)

Bodengruppe nach DIN 18196	OT, OU, OH, HZ, HN
Bodenklasse nach DIN 18300 (VOB/C, Stand 2012)	1 – 3
Bodenklasse nach DIN 18301 (VOB/C, Stand 2012)	BO 1, BO 2
Bodenklasse nach DIN 18319 (VOB/C, Stand 2012)	LBO 1 – LBO 3, LO + P1, P2
Feuchtwichte	$\gamma = 11 – 17 \text{ kN/m}^3$
Wichte unter Auftrieb	$\gamma' = 4 – 7 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi'_k = 15^\circ – 20^\circ$
Kohäsion	$c'_k = 0 – 5 \text{ kN/m}^2$
bei gering zersetztem Torf mit vorhandener Fa- serkohäsion	$c'_{k,Fas.} = 5 – 15 \text{ kN/m}^2$
Steifemodul, mind. steife Konsistenz	$E_{s,k} = 0,5 – 4 \text{ MN/m}^2$

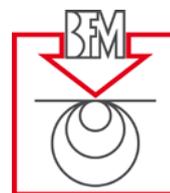
Frostempfindlichkeit der Böden

Einstufung der im relevanten Tiefenbereich anstehenden Böden in die Frostempfindlichkeitsklassen gemäß ZTVE-StB 17:

Auffüllungen	F1 bis F3
Quartäre Schluffe	F3
Quartäre Sande	F1, F2 mögl.
Quartäre Torf- / organogene Zwischenlagen	F3

Eignung der Böden für den Wiedereinbau

Die beim Aushub voraussichtlich überwiegend anfallenden bindigen Bodenmaterialien bzw. quartären Schluffe sind für einen Wiedereinbau vor Ort, z. B. als Arbeitsraumverfüllung, nur eingeschränkt und z. T. auch nicht geeignet. Sie sind somit der Verdichtbarkeitsklassen V3 und untergeordnet V2 nach ZTVA-StB 97 zuzuordnen. Für einen qualifizierten, setzungsarmen Wiedereinbau müssen solche Materialien erfahrungsgemäß mit Bindemitteln verbessert bzw. stabilisiert werden. Andernfalls treten mittel- / langfristig Setzungen und Sackungen im Bereich der Rückverfüllungen auf, die Schäden an Oberflächenbefestigungen nach sich ziehen können.



Die quartären Sande sind dagegen für den Wiedereinbau gut geeignet bzw. können überwiegend der Verdichtbarkeitsklassen V1, teilweise V2 nach ZTVA-StB 97 zugeordnet werden.

9 Erdbebennachweise

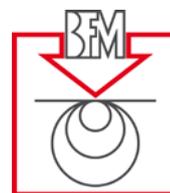
Gemäß DIN 1998-1/NA liegt der Projektstandort in der Erdbebenzone 1 und ist der Untergrundklasse S gemäß der Planungskarte zur DIN 4149:2005-09 des Hessischen Landesamts für Umwelt und Geologie zuzuordnen.

10 Versickerung von Niederschlagswasser

Nach dem Ergebnis der Baugrunderkundung sowie unseren Erfahrungen in dem umliegenden Gebiet sind die Standortvoraussetzungen für den Bau von Versickerungseinrichtungen, wie z. B. Schluckbrunnen, im Sinne des DVGW-Arbeitsblatts A 138 grundsätzlich geeignet. Im vorliegenden Fall kommen dafür die quartären Sande unterhalb der quartären Schluffe ab rd. 3 m bis 4 m Tiefe in Frage. Durch die vereinzelt geringen Flurabstände entlang der geplanten Trassenvarianten und durch die häufig vorhandene bindige, gering durchlässige Deckschicht ist die flächenhafte Versickerungsfähigkeit des oberflächennahen Bodens jedoch bereichsweise nicht gegeben.

Im Zuge einer entsprechenden Planung müsste aufgrund ggf. vorhandener in den Baugrund einbindende Nachbargebäude zunächst geprüft werden, ob z. B. die Anordnung von Versickerungseinrichtungen möglich ist, ohne fremde bauliche Einrichtungen unzulässig zu beeinträchtigen. Ist dies der Fall, dann ist zunächst gem. WHG unter Vorlage der notwendigen Planungsunterlagen einschließlich der erforderlichen Bemessung ein entsprechender Antrag bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde einzureichen. Die Versickerungszone ist ausreichend tief bis unterhalb umliegender Bestandskeller zu führen.

Bei der hier geplanten Maßnahme kann für die bauzeitliche Grundwasserhaltung eine Reinfiltrierung des geförderten Grundwassers über sog. Schluckbrunnen erfolgen. Dabei können vorher oder nachher die Förderbrunnen auch als Schluckbrunnen verwendet werden. Die Reinfiltrierung hat dabei in einem genügend großen Abstand zum jeweiligen Bauabschnitt zu



erfolgen, um einen hydraulischen Kurzschluss zu vermeiden. Zur Abschätzung des jeweils erforderlichen Abstands kann die mindestens doppelte Reichweite nach Sichard, $R = 3000 \times s \times \text{Wurzel}(k_f)$ unter Zugrundelegung einer rechnerischen Durchlässigkeit von $5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (vgl. mit Kap. 6.1) verwendet werden. Die Ergiebigkeit der Schluckbrunnen ist dabei erfahrungsgemäß 2x bis 3x kleiner als der Förderbrunnen, d. h. bei Infiltration mit Schwerkraft werden etwa 2x bis 3x so viele Brunnen benötigt, wie Förderbrunnen. Für entsprechende bauzeitliche Versickerungsmaßnahmen mittels Schluckbrunnen kann vorläufig auf der sicheren Seite liegend von einer Durchlässigkeit der quartären Sande von

$$k_f = 3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

ausgegangen werden (vgl. Bandbreite der Durchlässigkeit in Kap. 6.1).

Eine Optimierung der Schluckbrunnenanzahl kann durch tw. in der Baupraxis angewendete Verfahren, bei denen das Wasser in den Schluckbrunnen aktiv in den Grundwasserleiter eingepresst bzw. injiziert wird, vorgesehen werden. So kann z. B. das Düsensauginfiltrationssystem (DSI) der Hölscher Wasserbau GmbH Typ "Glindow" verwendet werden. Eine Alternative bietet die DSI-Einheit Typ "Brandenburg", bei der mit der selben Lanze weiter oben gefördert und tiefer injiziert wird.

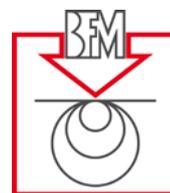
Für die Dimensionierung sonstiger Versickerungsanlagen kann vorläufig von einer Durchlässigkeit der quartären Sande von

$$k_f = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

ausgegangen werden.

11 Gründung der Schachtbauwerke

Nach den Ergebnissen der Felduntersuchungen werden die Gründungssohlen der Schachtbauwerke überwiegend in den quartären Sanden liegen, die nach unseren allgemeinen geologischen Kenntnissen zur Abtragung der Bauwerkslasten geeignet sind. Weniger als mitteldicht gelagerte quartäre Sande in den Gründungssohlen sind sorgfältig nachzuverdichten. Gegebenenfalls vorhandene Reste der nur mäßig bis wenig tragfähigen quartären Schluffe in den Gründungssohlen der Hochpunktschächte sind zu durchgründen. Die Durchgründung kann mit den im Zuge an anderer Stelle gewonnenen quartären Sande erfolgen oder alternativ mit Magerbeton.



Das ggf. erforderliche Bodenaustauschmaterial ist in Schüttlagen von maximal 0,3 m lagenweise einzubauen und mit einem geeigneten Verdichtungsgerät durch mehrere, sich gegenseitig überlappende Übergänge auf $D_{Pr} \geq 100\%$ der einfachen Proctordichte zu verdichten. Der Verdichtungserfolg kann durch statische Plattendruckversuche gemäß DIN 18134 oder in Abhängigkeit von den örtlichen Verhältnissen mit Plattendruckversuche mit der dynamischen Fallplatte überprüft werden.

Es wird davon ausgegangen, dass die Bauwerkslasten über Stahlbetonfundamentplatten in den Untergrund eingeleitet werden. Für deren Vorbemessung kann bei einer vorläufig geschätzten mittleren Bodenpressung von rd. 20 kN/m² bis 60 kN/m² ein Bettungsmodul von

$$k_{s,k} = 4 \text{ MN/m}^3$$

angesetzt werden.

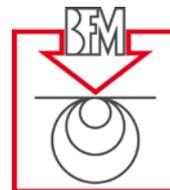
Die wahrscheinlichen und möglichen Setzungen der Schachtbauwerke werden voraussichtlich unter 1 cm liegen, zumal die Bauwerke aufgrund der Grundwasserstände nach Fertigstellung teilweise unter Auftrieb stehen werden (Hochpunktschächte ggf. nur zeitweise).

Die vorgenannten Angaben sind nach Durchführung der 2. Erkundungskampagne, bei welcher auch schwere Rammsondierungen (DPH) zur Ermittlung der Lagerungsdichte des Bauwerks und qualitativ hochwertigere maschinelle Kernbohrungen größeren Durchmessers durchgeführt werden und nach Vorlage der jeweiligen Bauwerkspläne, zu überprüfen. Die hier gemachten Angaben haben lediglich einen vorläufigen Informationsgehalt.

12 Sicherung der Schachtbauwerke gegen Auftrieb

Die Schachtbauwerke binden überwiegend in das bauzeitliche und das maximale Grundwasser gemäß unseren Angaben in Kapitel 6.2 teilweise um mehrere Meter ein. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Auftriebssicherheit im Endzustand allein durch das Eigengewicht des jeweiligen Bauwerks nicht erreicht wird und im Bauzustand zusätzliche auftriebssichernde Maßnahmen zumindest bei den tiefliegenden Schächten erforderlich werden.

Generell können die nachfolgend aufgeführten zusätzlichen Maßnahmen zur Gewährleistung der Auftriebssicherheit ergriffen werden:



- Erweiterung der Bodenplatte über die Außenwände der Bauwerke und Ansatz des Bodens in diesem Bereich als Auflast.
- Erhöhung des Eigengewichts der Bauwerke durch Verstärkung der Bodenplatte.
- Rückverankerung der Bodenplatte bzw. einer bauzeitlichen Unterwasserbetonsohle durch Verpresspfähle, sog. Mikro-Pfähle.

Für die Bemessung der verpressten Mikro-Pfähle kann vorläufig unter der Voraussetzung einer einwandfreien, ggf. mehrmaligen Nachverpressung der folgende charakteristische Wert für die Pfahlmantelreibung angesetzt werden:

$$q_{s,k} = 0,09 \text{ MN/m}^2$$

Bei der Bemessung sind die entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte gemäß EC 7 zu beachten.

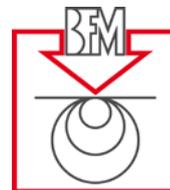
13 Bauwerksabdichtung der Schachtbauwerke

Für die Schachtbauwerke sind wasserabdichtende Maßnahmen erforderlich. Es wird empfohlen, die Schächte in WU-Beton bzw. als "Weiße Wanne" nach der aktuellen DAfStb-Richtlinie zum Bau wasserundurchlässiger Bauwerke aus Beton bzw. der WU-Richtlinie auszubilden oder alternativ erdberührten Außenwände und die Bodenplatte gemäß DIN 18533, gegen Einwirkung von drückendem Wasser abzudichten. Bei der Ausbildung der Schächte als "Weiße Wanne" kann auf die Anordnung einer kapillarbrechenden Schicht unter der Bodenplatte verzichtet werden.

Das Prinzip der "Weißen Wanne" schließt mit ein, dass die Wanddurchbrüche druckwasserdicht ausgebildet werden.

14 Gründung der hochliegenden Leitungsbereiche

Nach dem derzeitigen Planungsstand und den Ergebnissen der Felduntersuchungen werden die Sohlen der hochliegenden Wasserleitungen in den quartären Schluffen oder den quartären Sanden sowie vereinzelt in den Auffüllungen zu liegen kommen.



Überall dort, wo auf Höhe der Rohrsohle bindige Böden mit einer Konsistenz geringer als steif oder Auffüllungen vorliegen, sind diese in Abhängigkeit von der Mächtigkeit bis max. 0,5 m unter die geplante Wasserleitungssohle auszukoffern oder bei $\leq 0,5$ m Restdicke der quartären Schluffe sind diese zu durchgründen. Als Austauschmaterial bzw. Bodenpolstermaterial können die im Zuge der Erdarbeiten anfallenden quartären Sande verwendet werden.

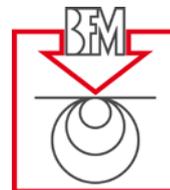
Sollte hingegen Fremdmaterial verwendet werden, so darf dies nur Naturschotter sein. Es wird dann empfohlen, Naturschotter der Körnung 0/45 mm und 0/56 mm mit einem Feinkornanteil ($\leq 0,063$ mm) ≤ 5 Gew.-% und $U \geq 7$ zu verwenden. Die Verwendung von Recycling-Material ist gemäß der aktuell gültigen LAGA nicht zulässig, da dieses dann im Grundwasserschwankungsbereich liegen würde. In diesem Fall wird empfohlen, von der mit den Arbeiten beauftragten Firma für das zum Einsatz vorgesehene Bodenaustauschmaterial rechtzeitig vor Baubeginn eine Korngrößenverteilungskurve sowie den Nachweis der umwelttechnischen Unbedenklichkeit (nicht älter als 3 Monate) zur Prüfung und Freigabe vorlegen zu lassen.

Der Verfüllboden für den Leitungsgraben ist mit einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 97$ % der einfachen Proctordichte einzubauen und nachzuweisen. Hierfür kann ebenfalls der beim Aushub gewonnene quartäre Sand verwendet werden. Die zum Teil innerhalb der quartären eingelagerten bindigen Böden sind nur dann zum Wiedereinbau geeignet, wenn deren Konsistenz mindestens steif ist.

In jedem Fall sind die zum Wiedereinbau vorgesehenen Böden während ihrer Bereitstellung durch geeignete Maßnahmen vor Witterungseinflüssen zu schützen.

Das Schüttmaterial ist grundsätzlich in Schüttlagen von max. 0,3 m einzubauen und mit einem geeigneten Verdichtungsgerät durch mehrere sich gegenseitig überlappende Übergänge auf den o. g. Verdichtungsgrad zu verdichten.

Der Verdichtungserfolg ist baubegleitend durch Dichtebestimmungen gemäß DIN 18125 in Verbindung mit Wassergehaltsbestimmungen gemäß DIN EN ISO 17892-1 und Proctorversuchen gemäß DIN 18127 oder alternativ durch Rammsondierungen, sog. Künzelungen, gemäß DIN 4094 überprüfen zu lassen.



15 Baugruben

15.1 Sicherung der Baugruben

Tiefliegende Schachtbauwerke

Da die tiefliegenden Schachtbauwerke deutlich in den bauzeitlichen Grundwasserstand hineinragen, wird ein senkrechter wasserdichter Baugrubenverbau, z. B. in Form eines Spundwandkastens, erforderlich. Aufgrund allgemeiner geologischer Kenntnisse kann nicht davon ausgegangen werden, dass in erreichbaren Rammtiefen ein wasserundurchlässiger Horizont zur vertikalen Abdichtung des Baugrubentroges erreicht wird. Die vertikale Abdichtung kann mittels einer Unterwasserbetonsohle ggf. mit zusätzlicher Auftriebssicherung durch die in Kapitel 12 beschriebenen Mikro-Pfähle gesichert werden. Im Hinblick auf das Einbringen der Spundbohlen in den Untergrund wird auf die z. T. möglicherweise dicht gelagerten quartären Sande und nach jetzigem Kenntnisstand nicht auszuschließenden weiteren Rammhindernissen hingewiesen. Bereichsweise ist mit größeren Gesteinseinlagerungen, Geröllen und Blöcken und sog. Driftblöcken zu rechnen. Daher wird empfohlen, in der Ausschreibung auf Ramm- / Rüttelhindernisse hinzuweisen und es sind Ramm- / Rüttelhilfen, z. B. durch Vorbohren/Austauschbohrungen, vorzusehen.

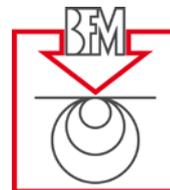
Dort, wo es aufgrund der angrenzenden Bauwerke, insbesondere der DB-Trasse notwendig ist, horizontale Verformungen des Verbaus zu begrenzen, wird empfohlen, diesen auf erhöhten aktiven Erddruck zu bemessen, konkret mindestens $E = E_A \times 0,5 + E_0 \times 0,5$.

Hochliegende Leitungsbereiche und Hochpunktschächte

Dort, wo aufgrund der örtlichen Gegebenheiten eine Abböschung des Leitungsgrabens für die hochliegenden Leitungsbereiche und Hochpunktschächte nicht möglich ist, kann ein sog. Systemverbau (z. B. Kanaldielen und/oder Krings-Verbau) oder gleichwertiges vorgesehen werden.

Unabhängig von dem gewählten Verbaukonzept ist dessen Standsicherheit statisch nachzuweisen. Zum Standsicherheitsnachweis für den Verbau wird auf die Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben (EAB)" verwiesen.

Beim Ziehen bzw. beim Rückbau des Verbaus ist darauf zu achten, dass keine Setzungsschäden auftreten.



Für alle Bereiche

Es wird empfohlen, an der entlang der geplanten Trassen vorhandenen Bebauung während der Verbau-, Erd- und Verdichtungsarbeiten Erschütterungsmessungen und im Vorfeld der Maßnahme ein Beweissicherungsverfahren durchführen zu lassen.

15.2 Trockenhaltung der Baugruben

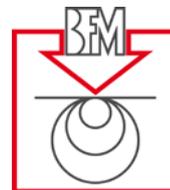
Tiefliegende Schachtbauwerke

Für den Bereich der tiefliegenden Schachtbauwerke sind Maßnahmen zur Trockenhaltung der Baugrube erforderlich. Wenn die Baugrube wie in Abschnitt 15.1 beschrieben durch einen Spundwandkasten in Kombination mit einer Unterwasserbetonsohle oder gleichwertig gesichert wird, kann der Innenwasserspiegel gemäß technischem Erfordernis mittels Schwerkraftbrunnen in Kombination mit einer offenen Wasserhaltung soweit abgesenkt werden, dass die Baugrubensohle baupraktisch ausreichend trocken ist. Dies ist i. d. R. dann gewährleistet, wenn der Grundwasserspiegel bis 0,5 m unter die planmäßige Baugrubensohle abgesenkt wird.

Über die Bauzeit ist dann lediglich noch eine sog. Restwasserhaltung zu betreiben, die sich auf die folgenden weiteren Maßnahmen beschränkt:

- Fassen und Abführen der Restwassermengen, die über die Systemdurchlässigkeit in der Baugrubenwand in die Baugrube eindringen,
- Ableitung von Niederschlagswasser.

Zum Fassen und Abführen von Restwassermengen sowie von Niederschlagswasser ist entlang der Baugrubenwand eine filterstabil auszuführende Ringdränage mit Sickerrohr und Filterkies anzuordnen.



Hochliegende Leitungsbereiche und Hochpunktschächte

Unter Zugrundelegung der Ausführungen in Kapitel 15.1 sind bei der Verlegung der hochliegenden Leitungen und Hochpunktschächte zusätzlich zum Fassen von Schicht- und/oder Stauwasser sowie von Tagwasser Maßnahmen zur Trockenhaltung der Baugruben erforderlich. Bei einer Absenkung des Grundwassers von bis zu ca. 1 m kann dies i. d. R. über filterstabil ausgebildete Drainagegräben gefasst, in filterstabil ausgebildete Pumpensümpfe und von dort über ein ausreichend dimensioniertes Absetzbecken in den Vorfluter eingeleitet werden. Bei einer Absenkung des Grundwassers um mehr als 1 m muss dagegen davon ausgegangen werden, dass aufgrund der zu erwartenden Durchlässigkeit der quartären Sande dies mit einer offenen Grundwasserhaltung nicht mehr möglich ist bzw. technisch an seine Grenzen stößt. In diesem Fall sind die Maßnahmen zur Trockenhaltung der Leitungsgräben bzw. der Schachtbaugruben auf das Konzept des Grabenverbaus abzustimmen. Das Grundwasser kann über die Anordnung von filterstabil angeordneten Brunnen oder auch über eine Vakuum-Entwässerung abgesenkt werden. Alternativ können die in Kap. 10 angefertigten Düsensauginfiltrationssystem (DSI) ausgeführt werden.

Für alle Bereiche

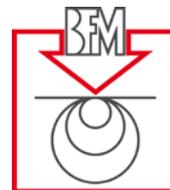
Bei anstehenden bindigen oder organogenen Böden sowie bei Torflagen im Bereich der Aushubsohlen werden ggf. erweiterte Wasserhaltungsmaßnahmen, z. B. Vakuumentwässerungen etc. erforderlich.

Im Vorfeld der Maßnahme ist bei der Oberen Wasserbehörde ein Antrag auf Genehmigung der Maßnahmen der Trockenhaltung der Baugruben zu stellen.

16 Empfehlungen zum geplanten Rohrvortrieb

16.1 Allgemeines

Die Anwendung eines Rohrvortriebs gemäß [15] ist als grabenloses Bauverfahren im untersuchten Baugrundbereich grundsätzlich möglich, jedoch sind dabei nachstehende Hinweise unbedingt zu beachten.



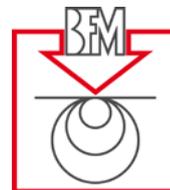
Nach den Ergebnissen der Felduntersuchungen sind vom Rohrvortrieb in den Trassenabschnitten zwischen den jeweiligen Start- und Zielbaugruben überwiegend quartäre Sande unterschiedlicher Lagerungsdichte von sehr locker bis dicht zu durchörtern, ggf. auch quartäre Schluffe mit einer Konsistenz von weich bis halbfest. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass innerhalb der fluviatilen Ablagerung quartären Alters auch Geröllkomponenten in Stein- bis Blockgröße oder organogene Böden sowie Torflagen vorkommen können.

Bei der Wahl des geeigneten Vortriebsverfahrens sind die zu erwartenden wechselnden geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse entlang der geplanten Trasse zu berücksichtigen.

Die Rohrvortriebsabschnitte befinden sich i. d. R. unterhalb des bauzeitlichen Bemessungswasserstandes GW_{Bau} und sind demnach mit einem geschlossenen Schild oder mit einer Kombination aus offenem Schild und einer Grundwasserhaltung auszuführen. Wir empfehlen die Variante mit geschlossenem Schild. Die Mindestmaße der jeweiligen Überdeckungshöhen sind einzuhalten einzuhalten.

Dort, wo Torfböden im Bereich von Rohrvortriebsarbeiten anstehen, sind erweiterte Maßnahmen zur Vermeidung von unverträglichen Verformungen an der Oberfläche zu ergreifen. Mögliche kompensierende Maßnahmen sind hier z. B. eine kontinuierliche Injektion in den Ringspalt (z. B. mit Bentonitsuspension) während des Vortriebs oder die Herstellung eines vorlaufenden Injektionsschirmes. Insbesondere hochsensible Verkehrsfläche wie die Verkehrsstrassen bei denen Torf- und/oder organogene Böden anstehen werden ggf. unter Zuhilfenahme solcher Zusatzmaßnahmen ausgeführt werden müssen. Nach den bisherigen Erkundungsergebnissen, können solche konkreten Abschnitte nicht benannt werden. Im Rahmen der Planung sollten aufgrund der allgemeinen geologischen Kenntnisse diese Arbeiten bedarfsweise eingeplant werden. Ggf. konkretisiert sich dies mit der 2. Erkundungskampagne.

Gemäß DIN 18319 "Rohrvortriebsarbeiten" ist die Wahl des Vortriebsverfahrens und des Bauablaufs sowie die Wahl und der Einsatz der Baugeräte Sache des beauftragten Unternehmers. Der Inhalt des vorliegenden Gutachtens ist dem zu beauftragenden Unternehmer deshalb rechtzeitig zur Kenntnis zu bringen und sollte unbedingt auch Vertragsbestandteil werden.



Neben der DWA-A125 und der DIN 12889 sind auch die einschlägigen, die Rohrvortriebsarbeiten und die damit zusammenhängenden Bauausführungen (z.B. Start- und Zielbaugrube) betreffenden Normen und Richtlinien zu beachten. In den erforderlichen Nachweisen nach DWA-A161 (Statische Berechnungen von Vortriebsrohren) können die im Kapitel 8 angegebenen Bodenkennwerte verwendet werden.

Vor der endgültigen Vergabe empfehlen wir, die Größenordnung der infolge Überschnitt, Bodenverlust und allgemeiner Auflockerung zu erwartenden Setzungen vor dem Abschluss des Bauvertrags vom ausführenden Unternehmen überprüfen und für das letztendlich ausgewählte Vortriebsverfahren garantieren zu lassen.

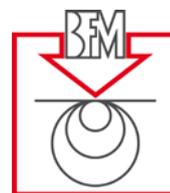
Der im Zuge des Vortriebs erforderliche Überschnitt und der daraus resultierende Ringspalt während des Rohrvortriebs ist mit Bentonitsuspension zu stützen. Nach Abschluss des Vortriebs ist der verbleibende Ringspalt unverzüglich mit Zementsuspension bzw. geeignetem Füller dauerhaft kraftschlüssig zu verpressen bzw. zu verschließen.

Von der ausführenden Firma ist frühzeitig vor Beginn der Baumaßnahme ein Alarm- bzw. Havarieplan aufzustellen und zur Prüfung vorzulegen, in dem Alarm- und Grenzwerte festzulegen sind und Art und Umfang der dann jeweils vorgesehenen bzw. einzuleitenden Maßnahmen beschrieben und soweit als möglich im Voraus festgelegt werden.

16.2 Start- und Zielgrube, Rohrvortrieb

Die Start- und Zielbaugrube ist in ihren Dimensionen dem gewählten Vortriebsverfahren anzupassen und aufgrund der im Bereich des projektierten Rohrvortriebs aufgeschlossenen Grundwasserverhältnisse im Schutze eines wasserdichten Verbaus, wie z.B. Spundwände herzustellen. Nähere Angaben zur wasserdichten Ausführung sind in Kap. 15 beschrieben. Dabei ist zwingend zu beachten, dass die erforderliche Aus- bzw. Einfahröffnung des Rohrvortriebs aus der Startbaugrube und in die Zielbaugrube mit einem entsprechenden Dichtsystem (Aus- bzw. Einfahrdichtung) auszubilden ist!

Die Wahl des Vortriebsverfahrens und des Bauablaufs sowie die Wahl und der Einsatz der Baugeräte ist – wie zuvor beschrieben – nach DIN 18319 „Rohrvortriebsarbeiten“ Sache des beauftragten Unternehmers und somit auch die der Baugrubenkonstruktion.



16.3 Beweissicherung

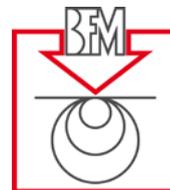
Es wird empfohlen, für die bebauten Querungsbereiche der geplanten Rohrvortriebe vor Beginn der Arbeiten zum Rohrvortrieb detaillierte Beweissicherungen zum aktuellen Zustand der im entsprechenden Einflussbereich vorhandenen baulichen Infrastruktur ausführen zu lassen, um für den Fall von vortriebsbedingten Bodenverformungen und dadurch gegebenenfalls bedingten Auswirkungen auf die vorhandene bauliche Infrastruktur eine Abgrenzung zu vorher bereits vorhandenen Schadenszuständen vornehmen zu können.

Nach Abschluss der Arbeiten zum Rohrvortrieb wird die Wiederholung der entsprechenden Beweissicherung als Abschlussdokumentation empfohlen. Der Umfang und die Detailtreue einer entsprechenden Beweissicherung sollten zwischen den beteiligten Stellen abgestimmt sein.

Bezüglich der Beweislage von möglicherweise eintretenden Schäden wird empfohlen, die geotechnisch relevanten Vortriebsdaten (Pressendruck, Verfülldruck Bentonitsuspension, Vortriebsleistungen, Pressenkräfte, Stillstandszeiten usw.) regelmäßig detailliert aufzuzeichnen. Auch das Volumen und die Art des gefördertem Ausbruchsmaterials sollte dabei dokumentiert und eine kontinuierliche Massenbilanz zwischen theoretischem Ausbruchsvolumen und tatsächlich erfolgtem Ausbruchsvolumen ausgeführt werden, um so ggf. über das zu erwartende Maß hinausgehende Senkungspotentiale vorausschauend erkennen zu können.

16.4 Messtechnische Überwachung im Zuge des Rohrvortriebs

Es wird empfohlen, die Kontrolle der Lage und den Zustand der betroffenen Unterquerungsbereiche für die Zeitdauer des Rohrvortriebs und – sofern messbare Verformungen der Geländeoberfläche zu verzeichnen sind – auch über die Dauer des Rohrvortriebs hinaus bis zum Abklingen entsprechender Verformungen auszuführen. Die Genauigkeit der Messverfahren ist auf die Größenordnung zu erwartender maximalen Gesamtsenkungen abzustimmen, um eine ausreichend genaue Auflösung der im Zuge des Rohrvortriebs zu erwartenden Senkungseignisse zu ermöglichen.



Bezüglich der jeweiligen Überbauungen sind dabei die jeweiligen Messpunkte an geeigneten Stellen auf der Oberfläche sowohl in der Höhe als auch in der Lage zu überwachen. Auf der Basis der jeweils festgestellten Senkungsmaße kann entschieden werden, ob bezüglich der gequerten Überbauung im Nachgang zum Rohrvortrieb eine Instandsetzung oder Nachbesserung erforderlich wird.

Die Messergebnisse sind dauerhaft aufzuzeichnen und zu dokumentieren. Der Umfang und die Messintervalle der messtechnischen Überwachung sind mit den jeweils zuständigen Stellen abzustimmen.

Hinweis: Ggf. sind automatisierte Messverfahren einzusetzen, um Gefährdungen von Personen im Bereich der Verkehrsstrasse auszuschließen.

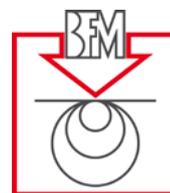
16.5 Maßnahmenkatalog und Havariekonzept

Im Hinblick auf zu erwartende Senkungen infolge Querung Rohrvortrieb – Eisenbahnstrecken wird die vorausgehende Erstellung eines Havarie- und Alarmplanes empfohlen. Gegenstand eines solchen Havarie- und Alarmplanes sollten insbesondere vorbereitende Maßnahmen und Abstimmungen, z. B. Abstimmung Vortriebsstände und Nutzungseinschränkung Verkehrsweg, z. B. Langsamfahrstrecke, als auch die Benennung von Ansprechpartnern und Zuständigkeiten im unvorhergesehenen Havarie- bzw. Schadensfall sein.

Bezüglich der im geplanten Vortriebsbereich zu erwartenden Baugrundverhältnisse wird empfohlen, die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der ausgeführten Baugrundaufschlüsse und dem während des Rohrvortriebs gefördertem Bodenmaterial durch einen geotechnischen Sachverständigen im Zuge des Rohrvortriebs baubegleitend überprüfen zu lassen.

16.6 Sonstige Hinweise

Sollten alternativ zu den vorgeschlagenen Stahlbetonvortriebsrohren andere Rohrwerkstoffe als Vortriebsrohre in Betracht gezogen werden, sind ggf. die erforderlichen Nachweise nach DWA-A161 bzw. DVGW-GW 312 – Statische Berechnungen von Vortriebsrohren – zu führen.



16.7 Abschätzung der zu erwartenden Senkungen an der Geländeoberfläche

16.7.1 Allgemeines

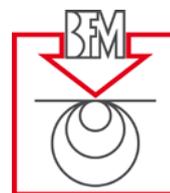
Nach Stein, D. (2003) "Grabenloser Leitungsbau" sind im Zusammenhang mit möglichen Bodenverformungen infolge Rohrvortrieb folgende Begriffe definiert:

- **Bodenverformungen** sind horizontale oder vertikale Lageänderungen der Bodenoberfläche oder von Punkten im Inneren des Bodens. Vertikale Bodenverformungen in Richtung zur Oberfläche hin werden als Hebungen und in entgegengesetzter Richtung als Senkungen, Sackungen und Setzungen bezeichnet.
- **Senkungen** sind vertikal nach unten gerichtete Verschiebungen ganzer Bodenschichten infolge Materialentzugs in der Tiefe, wobei in der Regel die Größenordnung der daraus resultierenden Verschiebungen an der Geländeoberfläche, nicht aber deren zeitlicher Verlauf abgeschätzt werden kann.
- **Sackungen** entstehen bei körnigen Böden durch plötzliche Kornumlagerung, in der Regel verursacht durch Wasserzugabe. Bei locker gelagerten Böden können diese Sackungen bis zu ca. 5 % der Schichtdicke betragen, bei dicht gelagerten Sanden noch ca. 1 % bis 2 % der Schichtdicke.
- **Setzungen** entstehen infolge vertikaler Verschiebung einzelner Bodenelemente oder der Bodenoberfläche durch entsprechend geartete Erhöhung der einwirkenden Spannungen.

Die hier betrachteten Senkungen stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Rohrvortrieb. Sie sind orts- und zeitabhängig und können nach ihrer Position relativ zur Lage der Ortsbrust unterschieden werden in:

- vorlaufende Senkungen (ggf. auch Hebungen) im Bereich vor der Vortriebs-/Schildmaschine,
- Senkungen im Bereich über der Vortriebs-/Schildmaschine,
- nachlaufende Senkungen im Bereich hinter der Vortriebs-/Schildmaschine.

Durch vortriebsbedingte Senkungen in der Folge des Rohrvortriebs entsteht an der Geländeoberfläche ein dreidimensionales Verformungsbild, die sogenannte Senkungsmulde. Die Größe der resultierenden Bodensenkungen wird durch die verfahrenstechnischen, geometrischen und geotechnischen Randbedingungen maßgeblich beeinflusst.



Zu den verfahrenstechnischen Randbedingungen gehört z. B. die Art der Stützung der Ortsbrust, die Art und Kontrolle der Bodenentnahme und die Schmierung bzw. Verpressung des Ringspaltes infolge Überschnitt. Dazu zählen aber auch Vortriebsunterbrechungen, die erfahrungsgemäß zu erhöhten Bodenverformungen führen können.

Die kontinuierliche Injektion des Ringspaltes (z. B. mit Bentonitsuspension) während des Vortriebs reduziert in der Regel nicht nur die erforderlichen Pressenkräfte, sondern trägt auch unmittelbar zur Reduzierung der zu erwartenden Senkungen bei. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn die Suspensionsverluste gering sind und der Suspensionsdruck im Ringspalt ständig aufrechterhalten werden kann. Der Ringspalt sollte praktisch unmittelbar nach Beendigung des Vortriebs mit einer Zementsuspension druckgesteuert und volumenkontrolliert kraftschlüssig verpresst werden, um so dauerhaft durch den Überschnitt bedingte Senkungen ausschließen bzw. auf ein Minimum reduzieren zu können.

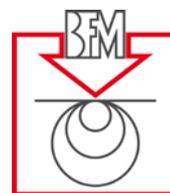
Zu den geometrischen Einflussgrößen zählen der Rohrdurchmesser und die Überdeckungshöhe bzw. das Verhältnis Überdeckungshöhe zu Durchmesser Vortriebsrohr ($h_{\bar{u}}/D_a$). Dieses Verhältnis bestimmt wesentlich die Ausdehnung der Senkungsmulde in Richtung quer zur Vortriebsachse. Je größer das Verhältnis ($h_{\bar{u}}/D_a$) ist, umso größer ist auch die Ausdehnung der entsprechenden Senkungsmulde anzunehmen.

Zu den geotechnischen Einflüssen zählen insbesondere die Bodenart, die Lagerungsdichte des Bodens und das Vorhandensein von Grundwasser. Während Bodenart und Lagerungsdichte in der Regel maßgeblich die Form und Ausdehnung der Senkungsmulde beeinflussen, können Grundwassereinflüsse auch die Größe der Maximalsenkungen relevant beeinflussen.

16.7.2 Abschätzung der zu erwartenden Senkungen

Gemäß SCHERLE [21] und STEIN [22] können die durch Überschnitt, Bodenverlust und allgemeine Auflockerung des anstehenden Bodens beim Rohrvortrieb an der Geländeoberfläche zu erwartenden Senkungen s überschlägig nach folgender Formel ermittelt werden:

$$s \approx \frac{D_a}{1 + \frac{1}{2} \cdot (h_{\bar{u}}/D_a)} \cdot B_k$$



mit: s = Senkungsbetrag [cm]
 D_a = Außendurchmesser Vortriebsrohr [m]
 $h_{\bar{u}}$ = Überdeckungshöhe [m]
 B_k = Bodenkennziffer [-]

(Überschlägiges Verfahren zur Bestimmung von Senkungen infolge Rohrvortrieb (Überschnitt, Bodenverlust und Auflockerung) nach SCHERLE [21].

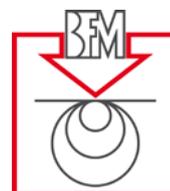
Die Setzungen können erst nach Vorlage der konkreten Planunterlagen der jeweiligen Querungen abgeschätzt werden.

17 Orientierende abfalltechnische Einstufung

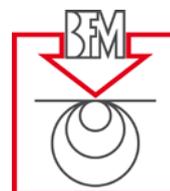
Es wurde Bodenmaterial aus dem Auffüllbereich über die gesamte Strecke und zusätzlich an den Kreuzungsbauwerken aus den darunter liegenden Schichten exemplarisch umwelttechnisch auf den Parameterumfang gemäß [13] untersucht. Hierbei wurden die Proben aus den Sondierungen zu Mischproben zusammengefasst (siehe CAL-Untersuchungsberichte, Anlagen 4.7 bis 4.10). Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle: Probenzusammensetzung, Übersicht zu den Analyseergebnissen

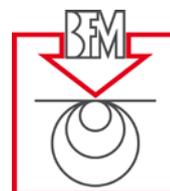
Probe	Tiefe [m]	Auffällige Parameter		Ein- stufung	Gesamtein- stufung
MP 1 A: RKS 1, CP1+2	0,0 – 1,2	Kupfer [mg/kg]	20,9	Z 0*	Z 0*
RKS 2 A: RKS 2, CP1	0,0 – 0,5	Arsen [mg/L]	0,014	Z 1.2	Z 1.2
RKS 3 A: RKS 3, CP1	0,0 – 0,7	TOC [Masse%]	0,76	Z 0 ¹⁾	Z 0
MP 4 A: RKS 4, CP1+CP2+CP3	0,0 – 1,75	Nickel [mg/kg] TOC [Masse%]	20,2 1,13	Z 0* Z 1	Z 1
RKS 5 A: RKS 5, CP2	0,1 – 0,35	Arsen [mg/kg] Blei [mg/kg] Chrom [mg/kg] Kupfer [mg/kg] Nickel [mg/kg] TOC [Masse%]	11,6 49,0 31,1 31,8 30,6 8,6	Z 0* Z 0* Z 0* Z 0* Z 0* > Z 2	> Z 2
RKS 5 S: RKS 5, GP1	1,2 – 3,6	-	-	Z 0	Z 0
MP 8 U: RKS 8, CP1+CP2+CP3	0,0 – 1,1	TOC [Masse%]	0,73	Z 0 ¹⁾	Z 0
MP 8 S: RKS 8, GP1+GP2	1,1 – 6,0	-	-	Z 0	Z 0
MP 10 U: RKS 10, CP2+CP3+GP1	0,1 – 2,6	-	-	Z 0	Z 0
MP 10 S: RKS 10, GP2+GP3	2,6 – 6,0	-	-	Z 0	Z 0
MP 15 U: RKS 15, CP1+GP1+GP2	0,0 – 3,6	-	-	Z 0	Z 0
RKS 15 S: RKS 15, GP3	3,6 – 5,5	Quecksilber [mg/kg]	0,15	Z 0*	Z 0*
MP 16 U: RKS 16, CP2+CP3	0,15 – 1,5	TOC [Masse%]	0,88	Z 0 ¹⁾	Z 0
RKS 16 S: RKS 16, GP2	2,25 – 4,3	-	-	Z 0	Z 0
MP 21 S: RKS 21, CP 1+CP2	0,0 – 1,8	TOC [Masse%]	0,86	Z 0 ¹⁾	Z 0
MP 21 U: RKS 21, GP1+GP2+GP3	1,8 – 3,8	TOC [Masse%]	0,62	Z 0 ¹⁾	Z 0
RKS 22 S: RKS 22, GP4	3,45 – 6,0	-	-	Z 0	Z 0



Probe	Tiefe [m]	Auffällige Parameter		Einstufung	Gesamteinstufung
RKS 23 A: RKS 23, CP2	0,3 – 1,0	Nickel [mg/kg] TOC [Masse%]	21,6 0,92	Z 0* Z 0 ¹⁾	Z 0*
MP 27 U: RKS 27, CP2+GP1+GP2	0,3 – 1,8	TOC [Masse%]	0,59	Z 0 ¹⁾	Z 0
MP 27 S: RKS 27, GP4+GP5+GP6	1,8 – 6,0	-	-	Z 0	Z 0
RKS 29 A: RKS 29, CP2	0,15 – 1,1	TOC [Masse%]	0,69	Z 0 ¹⁾	Z 0
RKS 31 A: RKS 31, CP1	0,0 – 0,7	Nickel [mg/kg] TOC [Masse%]	19,5 1,1	Z 0* Z 1	Z 1
RKS 31 U: RKS 31, GP1	1,25 – 1,9	-	-	Z 0	Z 0
MP 31 S: RKS 31, GP2+GP3+GP4	1,9 – 6,0	-	-	Z 0	Z 0
MP 34 S1: RKS 34, GP1+GP2	0,7 – 1,8	-	-	Z 0	Z 0
MP 34 U: RKS 34, GP3+GP4	1,8 – 3,1	TOC [Masse%]	24,2	> Z 2	> Z 2
MP 34 S2: RKS 34, GP5+GP6	3,1 – 7,0	-	-	Z 0	Z 0
MP 35 A: RKS 35, CP1+CP2+CP3+CP4	0,0 – 1,25	Nickel [mg/kg] TOC [Masse%]	15,9 4,96	Z 0* Z 2	Z 2
RKS 36 A: RKS 36, CP1	0,0 – 0,3	Nickel [mg/kg] TOC [Masse%]	17,8 4,96	Z 0* Z 2	Z 2
RKS 37 A: RKS 37, CP1	0,0 – 0,7	Cadmium [mg/kg] TOC [Masse%]	0,8 4,95	Z 0* Z 2	Z 2
MP 38 S1: RKS 38, CP2+GP1	0,5 – 1,45	-	-	Z 0	Z 0
RKS 38 U: RKS 38, GP2	1,45 – 2,0	-	-	Z 0	Z 0
MP 38 S2: RKS 38, GP3+GP4	2,0 – 6,0	-	-	Z 0	Z 0
MP 38 VA: RKS 38 VA, CP1 – CP3	0,0 – 1,6	-	-	Z 0	Z 0
MP 41 A: RKS 41, CP2+CP3	0,08 – 1,5	Blei [mg/kg] Cadmium [mg/kg] Kupfer [mg/kg] Nickel [mg/kg] Zink [mg/kg]	62,3 1,0 36,6 18,8 1960	Z 0* Z 0* Z 0* Z 0* > Z 2	> Z 2

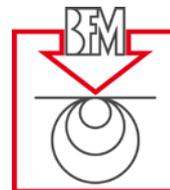


Probe	Tiefe [m]	Auffällige Parameter		Ein- stufung	Gesamtein- stufung
		TOC [Masse%] Sulfat [mg/L]	0,56 76,1	Z 0 ¹⁾ Z 1.2	
MP 41 V S: RKS 41 V, GP13	3,2 – 6,0	-	-	Z 0	Z 0
MP 42 A: RKS 42, CP1+CP2	0,0 – 0,95	TOC [Masse%]	2,97	Z 2	Z 2
MP 42 V U: RKS 42 V, GP1+GP2	1,9 – 3,9	TOC [Masse%] Sulfat [mg/L]	1,24 85,1	Z 1 Z 1.2	Z 1.2
RKS 43 A: RKS 43, CP1	0,0 – 0,45	Cadmium [mg/kg] Zink [mg/kg] TOC [Masse%]	1,1 76,2 0,91	Z 1 Z 0* Z 0 ¹⁾	Z 1
MP 43 S: RKS 43, CP2+GP1	0,45 – 1,6	-	-	Z 0	Z 0
RKS 43 U: RKS 43, GP2	1,6 – 2,7	-	-	Z 0	Z 0
RKS 45 A: RKS 45, CP1	0,0 – 0,45	Cadmium [mg/kg] TOC [Masse%] Arsen [mg/L] pH-Wert	0,5 1,13 0,014 10,81	Z 0* Z 1 Z 1.2 Z 1.2	Z 1.2
RKS 48 A: RKS 48, CP2	0,06 – 0,66	Cadmium [mg/kg] Kupfer [mg/kg] Nickel [mg/kg]	1,0 29,5 29,5	Z 0* Z 0* Z 0*	Z 0*
MP 49A S: RKS 49A, CP3+GP1+GP2+GP3+GP4	0,4 – 7,0	-	-	Z 0	Z 0
RKS 52 A: RKS 52, CP1	0,0 – 0,9	Arsen [mg/kg] Cadmium [mg/kg] Nickel [mg/kg] TOC [Masse%]	30,9 2,0 19,5 4,61	Z 1 Z 1 Z 0* Z 2	Z 2
MP 53 A: RKS 53, CP1+CP2	0,0 – 0,7	Cadmium [mg/kg] TOC [Masse%] Summe EPA-PAK Benzo-(a)-pyren Arsen [mg/L] pH-Wert	0,5 1,43 7,39 0,419 0,014 10,07	Z 0* Z 1 Z 1 Z 0* Z 1.2 Z 1.2	Z 1.2
MP 54 A: RKS 54, CP1+CP2+CP3	0,0 – 0,7	Cadmium [mg/kg] Nickel [mg/kg] TOC [Masse%] Arsen [mg/L] Sulfat [mg/L]	0,7 15,7 2,1 0,012 61,2	Z 0* Z 0* Z 1 Z 1.2 Z 1.2	Z 1.2



Probe	Tiefe [m]	Auffällige Parameter		Ein- stufung	Gesamtein- stufung
		pH-Wert	9,87	Z 1.2	
MP 56 A: RKS 56, CP2+CP3	0,13 – 0,4	Chrom [mg/L] Sulfat [mg/L] pH-Wert	0,024 70,7 11,18	Z 1.1 Z 1.2 Z 1.2	Z 1.2
RKS 57 A: RKS 57, CP2	0,07 – 0,35	Cadmium [mg/kg] Chrom [mg/kg] Kupfer [mg/kg] Nickel [mg/kg] pH-Wert	1,2 93,1 49,3 94,9 9,76	Z 1 Z 0* Z 0* Z 0* Z 1.2	Z 1.2
MP 61 A: RKS 61, CP1+CP2 + RKS 61A, CP1+CP2	0,0 – 1,0 0,0 – 1,0	Cadmium [mg/kg] TOC [Masse%]	0,5 0,9	Z 0* Z 0 ¹⁾	Z 0*
MP 61A S: RKS 61A, GP1+GP2+GP3+GP4	0,8 – 7,0	-	-	Z 0	Z 0
RKS 64 A: RKS 64, CP1	0,0 – 0,35	TOC [Masse%]	2,99	Z 2	Z 2
MP 65 S: RKS 65, GP1+GP2+GP3	1,05 – 6,0	TOC [Masse%] Sulfat [mg/L]	0,88 81,4	Z 0 ¹⁾ Z 1.2	Z 1.2
MP 66 U: RKS 66, CP2+GP2	0,3 – 3,3	-	-	Z 0	Z 0
MP 66 S: RKS 66, GP4+GP5+GP6	3,6 – 6,4	-	-	Z 0	Z 0
RKS 68B A: RKS 68B, CP3	0,27 – 0,4	pH-Wert	9,49	Z 1.2	Z 1.2
RKS 69B A: RKS 69B, CP3	0,25 – 0,5	pH-Wert	9,62	Z 1.2	Z 1.2
RKS 70B A: RKS 70B, CP1	0,0 – 0,4	Arsen [mg/kg] Cadmium [mg/kg] Kupfer [mg/kg] Nickel [mg/kg] TOC [Masse%]	19,6 1,3 20,2 18,1 1,62	Z 1 Z 1 Z 0* Z 0* Z 2	Z 2
MP 70B U: RKS 70B, CP2+CP3	0,4 – 1,1	TOC [Masse%]	0,65	Z 0 ¹⁾	Z 0
MP 70B S: RKS 70B, GP1+GP2+GP3+GP4+GP5	1,1 – 7,0	-	-	Z 0	Z 0

¹⁾ Bezüglich der Zuordnungswerte für Z 0 und Z 0* für TOC bei einem C:N-Verhältnis > 25 beträgt der Zuordnungswert 1 Masse-%.



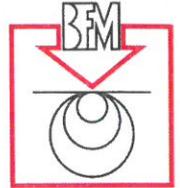
Nach den vorliegenden Analysedaten liegen in der Auffüllung verschiedene Parameter vor, die aufgrund erhöhter Werte zu den Einstufungsklassen Z 0/Z 0*, Z 1, Z 1.1, Z 1.2 und Z 2/> Z 2 führen.

Häufig wird das Auffüllmaterial wegen erhöhter TOC-Gehalte in die LAGA-Kategorie Z 2/> Z 2 eingestuft. In der RKS 41 führt der Zinkgehalt zu einer LAGA-Kategorie > Z 2. Weiterhin sind die Parameter Cadmium im Feststoff, Arsen, Sulfat und der pH-Wert im Eluat leicht erhöht, sodass sich daraus eine Einstufung in die LAGA-Kategorie Z 1.1 bzw. Z 1.2 ergibt.

Die Analyseergebnisse aus dem grobkörnigen gewachsenen Boden führt überwiegend zur Einstufung in die LAGA-Kategorie Z 0. In der RKS 65 wurde ein erhöhter Sulfatgehalt festgestellt, der zur LAGA-Kategorie Z 1.2 zugeordnet wird.

Die schluffigen Bereiche konnten ebenfalls hauptsächlich in die LAGA-Kategorie Z 0 zugeordnet werden. Eine Ausnahme bildet die Bodenproben aus der RKS 34, die aufgrund eines zu hohen TOC-Gehaltes in die LAGA-Kategorie > Z 2 eingestuft wird.

Die Entnahme von Proben aus dem Bohrgut von Kleinrammbohrungen liefert verfahrensbedingt zu wenig Probenmaterial für eine statistisch abgesicherte Probenahme (siehe Deponeieverordnung). Zur endgültigen Aushubdeklaration und der anschließenden Entsorgung ist es erforderlich, das Aushubmaterial getrennt nach Auffüllung und gewachsenem Bodenmaterial seitlich aufzuhalten und anschließend abfalltechnisch zu beproben (sog. Haufwerksbeprobung). Das aufgeschlossene Material wird entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen und Vorschriften des Abfallrechts analysiert und eingestuft.



18 Schlussbemerkung

Mit dem hier vorliegenden Vorgutachten werden wesentliche geotechnische, hydrogeologische und umwelttechnische Standortvoraussetzungen beschrieben und es werden daraus vorläufige Angaben zur Gründung und zur Bauausführung abgeleitet.

Nach der Vorlage fortgeschriebener Planunterlagen und Durchführung der 2. Erkundungskampagne muss abschließend ein Hauptgutachten u. a. zur Gründungsbemessung, Trockenhaltung der Baugrube und Bemessungsangaben zur Baugrubensicherung erstattet werden (geotechnisches Hauptgutachten).

i. A. 

M. Sc. Wirnharter

ppa.



Dr.-Ing. Anthogalidis

ppa.

gez.

Dipl.-Geol. Sachtleben

