

Ortsumfahrung St2315 mit Hochwasserschutz, Stadt Stadtprozelten

Geotechnischer Bericht

Ort: Stadt Stadtprozelten
Auftraggeber: Stadt Stadtprozelten
Hauptstraße 132
97909 Stadtprozelten
Projektleiterin: M. Sc. B. H. La
GMP-Projektnr.: 222281\g1 La/fr
Datum: 12.12.2023

GMP - Geotechnik GmbH & Co. KG Beratende Ingenieure und Geologen | Hedanstraße 17 | 97084 Würzburg
Telefon: 0931 61 44-0 | Fax: 0931 61 44-200 | mail: mail@gmp-geo.de | web: www.gmp-geo.de

GMP - Geotechnik GmbH & Co. KG
Beratende Ingenieure und Geologen
Würzburg,
Amtsgericht Würzburg, HRA 6477

Pers. haft. Gesellschafterin:
GMP Ingenieurbeteiligungsgesellschaft mbH
Würzburg,
Amtsgericht Würzburg, HRB 10485

Geschäftsführer:
Dr.-Ing. Hans-Jörg Franke
Dipl.-Ing. Hubert Hansel
Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Johannsen
Dr. Verena Herrmann

Akkreditiertes Prüflabor
nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018
DAkS-Akkreditierungsnr.
D-PL-14479-01-00

Unterlagen: Regierungsbaumeister Schlegel GmbH & Co. KG

- /1/ Lagepläne West, Mitte, Ost, Maßstab 1:1000,
Stand: 10.09.2022
- /2/ Querschnitte Damm und Bauwerke 1:100/1:50,
Stand 10.10.2022
- /3/ Statische Berechnung Nr. 2501.01_3_04 Entwurfsstatik
Durchfahrt Judenthor, Stand 18.04.2016
- /4/ Statische Berechnung Nr. 2501.01._3_08 Entwurfsstatik
Durchfahrt Oberthor, Stand 21.04.2016
- /5/ Geotechnischer Bericht EÜ Judenthor, Stand 01.12.2021
- /6/ Geotechnischer Bericht EÜ Oberthor, Stand 08.02.2022

ISK Ingenieurgesellschaft für Bau- und Geotechnik mbH

- /7/ Hochwasserschutz der Stadt Stadtprozelten, Geotechnische Stellungnahme zu Baugrund und zum Hochwasserschutz sowie Umwelt-/Abfalltechnische Einstufung der im Bereich der Hochwasserverteidigungslinie anstehenden Auffüllungen, Stand 13.05.2009

IBES Baugrundinstitut GmbH

- /8/ Ergänzendes orientierendes Baugrund- und Gründungsgutachten, Stand: 23.08.2016

Länderübergreifende Regelungen für die abfalltechnische Bewertung:

- /9/ „Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung)“ vom 09.07.2021
- /10/ Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV) vom 27.04.2009, zuletzt geändert am 09.07.2021

Länderspezifische Regelungen für die abfalltechnische Bewertung:

- /11/ Bayerisches Landesamt für Umwelt: Merkblatt „Umgang mit Bodenmaterial“, Stand: Juli 2022

- Anlagen:**
1. Übersichtslageplan, M = 1:25.000
 2. Lageplan der Aufschlüsse, M = 1:1000
 3. Schnitte mit Tiefenprofilen und Rammogrammen
M = 1:500/1:100
 4. Bilddokumentation Ansatzpunkte der Aufschlüsse
 5. Bilddokumentation Schürfe
 6. Bilddokumentation Aufschlussbohrungen
 7. Bilddokumentation Bohrkern Schwarzdecke
 8. Tabelle Bodenproben Geotechnik
 9. Tabelle Bodenproben Umwelttechnik
 10. Zusammenstellung der Laborversuche
 11. Bestimmung des Wassergehaltes nach EN ISO 17892-1
 12. Bestimmung der Dichte nach EN ISO 17892-2
 13. Kornverteilung nach DIN EN ISO 17892-4
 14. Konsistenzgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12
 15. Kompressionsversuch nach DIN EN ISO 17892-5
 16. Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18141-1
 17. CERCHAR Abrasivitätsindex nach NF P 94-430-1
 18. Bestimmung der Koeffizienten der Abrasivität und Mahlbarkeit
nach NF P 18-579
 19. Bestimmung des Glühverlustes nach DIN 18128
 20. Körnungsbänder

- Anhang:**
- CLG - Chemisches Labor Dr. Graser:
- Prüfbericht 22/12/2246625 vom 21.12.2023
 - Prüfbericht 2311056 vom 30.03.2023
 - Prüfbericht 2310266 vom 18.04.2023
 - Prüfbericht 2312660 vom 21.04.2023
 - Prüfbericht 2313047 vom 26.04.2023
 - Prüfbericht 2313048 vom 26.04.2023
 - Prüfbericht 2314282 vom 04.05.2023
 - Prüfbericht 2315611 vom 05.05.2023
 - Prüfbericht 2315999 vom 22.05.2023
 - Prüfbericht 2316788 vom 24.05.2023
 - Prüfbericht 2317728 vom 08.06.2023

AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg

Auftrag	Prüfbericht	Datum
3442784	119805	07.08.2023
	119871	
	119872	
	119873	
	119874	
	119875	
	119876	
	119877	
	119878	
	119879	
	119880	
119881		
3445173 / 2	129078	11.09.2023
	129083	
	129101	
	129102	
	129103	
	129104	
	129106	
	129107	
	129109	
	129110	
	129174	
	129197	
	129201	
	129204	
	129209	
	129211	
129218		
129223		
129228		
3443267	121710	16.08.2023
	121721	
	121722	
	121723	

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
1. Vorgang	8
2. Örtliche Verhältnisse und geplante Baumaßnahme	8
2.1 Geplante Baumaßnahme	8
2.2 Geotechnische Kategorie	10
2.3 Erdbebenzone	10
2.4 Frosteinwirkung.....	10
2.5 Schutzgebiete.....	10
3. Untergrunderkundung	10
3.1 Einmessung der Aufschlusspunkte.....	12
4. Probenahme	13
4.1 Geotechnische Probenahme	13
4.2 Umwelttechnische Untersuchung	13
5. Untergrundverhältnisse	14
5.1 Baugrundmodell	14
5.2 Oberboden (Mu).....	15
5.3 Oberflächenbefestigungen / Auffüllungen (A)	15
5.4 Quartäre Lehme (q).....	17
5.5 Quartäre Kiese und Sande (q)	17
5.6 Unterer Buntsandstein.....	18
6. Hydrogeologische Verhältnisse	19
7. Geotechnische Laborversuche	26
8. Orientierende abfalltechnische Untersuchungen	27
8.1 Bewertungsgrundlage	27
8.2 Durchgeführte Untersuchungen	27
8.3 Analysenergebnisse	28
9. Geotechnische Bodenkennwerte	34
10. Geotechnische Empfehlungen Streckenbau	34
10.1 Herstellung des Straßendamms sowie Auffüllungen im Bereich Bau-km 1+050 – 1+325	34
10.1.1 Allgemeines	34
10.1.2 Empfehlungen Dammaufstandsflächen.....	35
10.1.3 Durchführung der Auffüllung	36
10.1.4 Anschüttung an den bestehenden Bahndamm.....	37

10.2	Prognostizierte Setzungen aus Aufschüttung.....	37
10.2.1	Dammsetzungen	37
10.2.2	Mitnahmesetzung des Bahndamms	40
10.3	Herstellung der Verkehrsflächen.....	40
10.3.1	Beurteilung Erdplanum.....	40
10.3.2	Beurteilung Frostsicherheit.....	41
10.4	Angaben zu Bindemittelstabilisierung.....	42
11.	Geotechnische Empfehlungen Brücken	43
11.1	Hinweise zum Bauablauf	43
11.2	Herstellen der Baugruben.....	44
11.3	Maßnahmen gegen Wasser	45
11.4	Bemessungskennwerte Brückenbauwerke	46
11.4.1	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW01	48
11.4.2	Wellblechdurchlass BW02.....	48
11.4.3	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW03	49
11.4.4	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW04	50
11.4.5	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW05	50
11.4.6	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW06	50
11.4.7	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW07	51
11.4.8	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW08	51
11.4.9	Wellenblechdurchlass BW09	52
11.4.10	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW10	52
11.5	Hinterfüllung der Widerlager	53
12.	Geotechnische Empfehlungen Stützbauwerke	54
12.1	Bemessungskennwerte Stützbauwerke	54
12.2	Ansatz Negative Mantelreibung	56
12.2.1	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW11	56
12.2.2	BW12	57
12.2.3	BW13	58
12.2.4	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW14	59
12.2.5	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW15	61
12.2.6	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW16	62
12.2.7	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW17	63
12.2.8	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW18	64
12.2.9	Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW19	65
13.	Empfehlungen Bohrpfahlherstellung	66
13.1.1	Pfahlherstellung.....	66
13.1.2	Probebelastung	67
13.1.3	Besondere Maßnahmen.....	67
14.	Empfehlungen zum Injektionsschleier/Dichtwand	68
15.	Empfehlungen zur Gabionenwand.....	70
16.	Geotechnische Empfehlungen Retentionsflächen.....	70

17.	Versickerungsfähigkeit/Entwässerungsfähigkeit	70
18.	Bewertung orientierende abfalltechnische Untersuchungen	71
19.	Geotechnische Klassifizierung	72
19.1	Schichteinteilung	72
19.2	Zahlenwerte Homogenbereiche DIN 18320	74
19.3	Zahlenwerte Homogenbereiche DIN 18300	74
19.3.1	Boden.....	75
19.3.2	Fels.....	76
19.4	Zahlenwerte Homogenbereiche DIN 18301	77
19.4.1	Boden.....	77
19.4.2	Fels.....	78
20.	Zusammenfassung und weitergehende Empfehlungen	79
20.1	Zusammenfassung	79
20.2	Empfehlungen zur weiteren Erkundung	80
20.3	Planungsempfehlungen	80
20.4	Hinweise für Planung, Ausschreibung und Durchführung der Entsorgungsmaßnahmen	82
20.5	Empfehlungen zur geotechnischen Überwachung	83
20.6	Empfehlungen zur umwelttechnischen Überwachung	84

1. Vorgang

Das staatliche Bauamt Aschaffenburg plant auf einer Länge von ca. 3.000 m (Station 0+000 bis 3+000) die Verlegung der Staatsstraße 2315 in Stadtprozelten. Die neue Lage befindet sich zwischen Main und der bestehenden Bahnlinie Miltenberg-Wertheim. Im Zuge dieses Straßenneubaus sind der Neubau einer Hochwasserschutzwand und eines Hochwasserschutzdammes zwischen Main und neuer Straße, der Bau von Anbindungs- und Überführungsbauwerken an die bestehende Staatsstraße und der Neubau mehrerer Personenunterführungen erforderlich.

Die GMP - Geotechnik GmbH & Co. KG wurde mit Datum vom 13.02.2023 auf der Basis des Angebotes vom 29.07.2022 mit der Planung der Erkundung und der Erstellung eines geotechnischen Berichts beauftragt.

2. Örtliche Verhältnisse und geplante Baumaßnahme

2.1 Geplante Baumaßnahme

Das staatliche Bauamt Aschaffenburg plant auf einer Länge von ca. 3.000 m (Station 0+000 bis 3+000) die Verlegung der Staatsstraße 2315 in Stadtprozelten.

Die bestehende Staatsstraße verläuft durch das Stadtgebiet. Parallel zur Verbesserung des Hochwasserschutzes soll diese auf die Mainwiese verlegt werden.

Die neue Lage befindet sich zwischen Main und der bestehenden Bahnlinie Miltenberg-Wertheim. Im Zuge dieses Straßenneubaus sind der Neubau einer Hochwasserschutzwand und eines Hochwasserschutzdammes zwischen Main und neuer Straße, der Bau von Anbindungs- und Überführungsbauwerken an die bestehende Staatsstraße und der Neubau mehrerer Personenunterführungen erforderlich.

Eine Übersicht über die in diesem Bereich geplanten Bauwerke können der Tabelle 1 entnommen werden. Die Anschüttung des Dammes wird hierbei nicht gesondert erwähnt.

Tabelle 1: Überblick über geplante Maßnahmen

Bauwerk	Stationierung [Bau-km]	Übersicht Maßnahmen
BW01	0+107	Brücke St 2315 über DB östlich Dorfprozelten, LW / LH = 7,60 m / ≥ 4,90 m, KrW = 41,85 gon
BW02	0+291	Brücke St 2315 über GRW und Sellbach, LW / LH ≥ 2,50 m / ≥ 2,50 m, KrW = 110,00 gon
BW03	0+754	Brücke St 2315 über Ortsstraße „Weg am Lohbrunnen“ LW / LH = 6,00 m / 3,10 m, KrW = 100,00 gon
BW04	1+063,51	Brücke St 2315 über Durchgang „Weg zum Forsthaus / Wolztor“ LW / LH = 3,00 m / ≥ 2,50 m, KrW = 96,20 gon
BW05	1+336,55	Brücke St 2315 über Ortsstraße „Mittelthor“ LW / LH = 6,50 / 3,50 m, KrW = 100,00 gon
BW06	1+450,22	Brücke St 2315 über Ortsstraße „Judenthor“ LW / LH = 6,00 m / 3,80 m, KrW = 100,00 gon
BW07	1+575,18	Brücke St 2315 über Durchfahrt „Oberthor“ L'W / LH = 6,10 m / 3,90 m, KrW = 100,00 gon
BW08	2+711	Brücke St 2315 über DB und Ortsstraße „Zum Sportplatz“ östlich Stadtprozelten LW / LH = 37,90 m / ≥ 4,90 m, KrW = 48,02 gon
BW09	2+793	Brücke St 2315 über GRW östlich Stadtprozelten LW / LH ≥ 2,50 m / ≥ 2,50 m, KrW = 95,00 gon, L ~ 24,00 m
BW10	1+340	Brücke St 2315 über Pumpwerk am „Mittelthor“
BW11	ca. 0+840 bis 1+061	Stützwand rechts, unten (Hochwasserschutz), Länge = 221,00 m, h = 2,00 m – 4,00 m, Bohrpfahlgründung
BW12	ca. 1+065 bis 1+135	Stützwand rechts, unten (Hochwasserschutz), Länge = 70,00 m, h = 0,50 m – 2,00 m, Flachgründung, Dichtwand
BW13	ca. 1+160 bis 1+310	Stützwand rechts, unten (Hochwasserschutz), Länge = 150,00 m, h = 0,50 m bis 2,00 m, Flachgründung, Dichtwand
BW14	ca. 1+310 bis 1+332	Stützwand rechts, unten (Hochwasserschutz), Länge = 22,00 m, h = 5,00 m bis 6,00 m, Bohrpfahlgründung
BW15	ca. 1+355 bis 1+395	Brücke St 2315 über Mainarkaden, Länge 40,00 m, h = 4,50 m bis 5,50 m, Bohrpfahlgründung
BW16	1+395 bis 1+447	Stützwand rechts, unten (Hochwasserschutz), Länge = 52,00 m, h = 4,50 m bis 5,50 m, Bohrpfahlgründung
BW17	ca. 1+454 bis 1+572	Stützwand rechts, unten (Hochwasserschutz), Länge = 118,00 m, h = 5,50 m bis 6,50 m, Bohrpfahlgründung
BW18	ca. 1+579 bis 1+825	Stützwand rechts, unten (Hochwasserschutz), Länge = 246,00 m, h = 5,00 m, Bohrpfahlgründung
BW19	ca. 1+825 bis 2+020	Gabionenwand rechts, unten Länge = 195,00 m, h = 5,00 m, Tiefgründung

2.2 Geotechnische Kategorie

Nach DIN 1054 und DIN 4020 gehört die Baumaßnahme der geotechnischen Kategorie GK 2 an.

2.3 Erdbebenzone

Nach DIN 1998-NA liegt die Baumaßnahme in keiner Erdbebenzone.

2.4 Frosteinwirkung

Laut Karte der Frosteinwirkungszonen der RStO 12 liegt die geplante Baumaßnahme in der Frostzone I. Nach dem Frostindizes der Jahre 1962/63 ist eine Frosteindringtiefe von 80 cm zu erwarten.

2.5 Schutzgebiete

Die Baumaßnahme befindet sich außerhalb von Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebieten, jedoch im festgesetzten Überschwemmungsgebiet des Main für ein HQ100.

Als Bemessungswasserstand ist das HQ100 des Mains anzusetzen.

3. Untergrunderkundung

Im Jahr 2009 wurde durch das Büro ISK eine „Geotechnische Stellungnahme zu Baugrund und zum Hochwasserschutz“ (Unterlagen /7/) für den Abschnitt Station 1+155.00 bis Station 1+840.00 angefertigt. Der Baugrund wurde in diesem Bereich mit 8 Kernbohrungen zwischen 10,0 m und 13,5 m Tiefe sowie mit 4 schweren Rammsondierungen aufgeschlossen. Anhand von bodenmechanischen Laborversuchen wurden die entsprechenden Bodenkennwerte festgelegt. Zwei der Baugrundbohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut.

Im Jahr 2016 folgte durch das Büro IBES ein „Ergänzendes orientierendes Baugrund- und Gründungsgutachten“ (Unterlagen /8/) für den Abschnitt Station 0+800 und 1+840. Der Baugrund wurde in diesem Bereich mit 5 Kernbohrungen zwischen 12,00 m und 15,60 m Tiefe, eine Bohrschlitzsondierung bis 3,20 m u. GOK (BS 6) sowie 4 schweren Rammsondierungen aufgeschlossen. Anschließend wurde die BK1 sowie BK5 als Grundwassermessstellen (GWM 1 und GWM 5) ausgebaut. Eine Messung mit Hilfe von Datenloggern und Ablesung nach der Baugrunderkundung erfolgte auftragsgemäß nicht.

Die Ergebnisse aus den Unterlagen /5/ und /6/ fließen in die in diesem Gutachten genannten Beurteilungen und Empfehlungen mit ein.

Zudem wurden von GMP über die gesamte Baumaßnahme Baugrunduntersuchungen durchgeführt.

In Abstimmung mit der Stadt Stadtprozelten wurde eine Erkundungsplanung mit insgesamt 73 Aufschlussbohrungen mit Endteufen von 10,00 m bis 15,00 m geplant.

Im Bereich der geplanten Damm- und Versickerungsflächen waren insgesamt 44 Schürfe vorgesehen.

Aufgrund der Lage im Bereich von Versorgungsleitungen und dem bereichsweise engen Aufschlussraster konnten die Aufschlüsse BK24, BK28 und BK47 nicht durchgeführt werden. Die Aufschlüsse BK58, BK61 und BK 64 wurden als schwere Rammsondierung durchgeführt.

Die relative Tragfähigkeit wurde durch Sondierungen mit der mittelschweren und schweren Rammsonde bestimmt (DPM/DPH). Bis auf BK31 (Lage im Bereich des Gleiskörpers), wurde zu jedem Aufschluss eine Rammsondierung durchgeführt.

Die Grunderkundung wurde mit Datum vom 17.10.2022 vom LRA Miltenberg angezeigt und mit Datum vom 02.11.2022 genehmigt. Die Auflagen wurden eingehalten.

Die Ansatzpunkte der Aufschlüsse sind im Lageplan der Anlage 2 im Maßstab 1:1000 eingetragen.

Eine Bilddokumentation der Ansatzpunkte, der Schürfe, der Aufschlussbohrungen sowie entnommenen Schwarzdeckenkerne sind in den Anlagen 4 bis 7 beigefügt.

Die Ergebnisse der Aufschlüsse sind in Form von höhenorientierten Tiefenprofilen in den ingenieurgeologischen Längsschnitten der Anlage 3 mit Tiefenprofilen und Rammdiagrammen aufgetragen. Die Ergebnisse von ISK und IBES wurden zeichnerisch übertragen und in den Anlagen aufgenommen.

Rechts neben den Tiefenprofilen sind die angetroffenen Boden- und Felsarten mit Kurzzeichen nach DIN 4023 beschrieben. Angegeben sind außerdem die Farben der Böden und die geologischen Kennzeichnungen.

Links neben den Aufschlüssen sind die Kategorien der Proben (ungestört/gestört), die Entnahmetiefen, sofern vorhanden, die Grund- und Schichtwasserverhältnisse neben den Tiefenprofilen eingezeichnet. Dort sind außerdem die Nummern und Tiefen der entnommenen Bodenproben angegeben.

Die Anzahl der Schläge, die erforderlich ist, um die mittel/schwere Rammsonde nach DIN EN ISO 22476-2:2012 (DPM/DPH) 10 cm in den Boden einzurammen, ist in den Anlagen 3.1 bis 3.20 in den Rammdiagrammen aufgetragen.

3.1 Einmessung der Aufschlusspunkte

Alle Erkundungspunkte wurden satellitengestützt mit dem Korrektursystem SAPOS HEPS eingemessen. Die Lage der Messpunkte wird als ETRS89-Koordinaten X und Y bestimmt und die Höhen im Bezugssystem DHHN2016 (Deutsches Haupthöhennetz 2016) in m NHN (Höhen über Normalhöhen-Null) gemessen. Zum ursprünglichen Gauß-Krüger und DHHN12-System ergeben sich Abweichungen, die regional unterschiedlich in einer Größenordnung von wenigen Zentimetern liegen.

Bei der Darstellung der Erkundungsergebnisse wird auf eine Umrechnung in andere Höhensystem (z.B. mNN) verzichtet. Dies ist bei der Planung und Festlegungen zu berücksichtigen.

4. Probenahme

4.1 Geotechnische Probenahme

Zur Bestimmung wichtiger bodenphysikalischer Kennwerte wurden aus den Aufschlüssen Proben entnommen, die tabellarisch in der Anlage 8 zusammengestellt sind. Die Nummern und Tiefen der entnommenen Bodenproben sind außerdem neben den Tiefenprofilen der Anlage 3 angegeben.

Nach Sichtung und Beurteilung wurden an ausgewählten Proben Versuche im bodenmechanischen Labor von GMP durchgeführt (siehe Anlage 8). Die Ergebnisse der Laborversuche sind in Anlage 10 zusammengestellt. Die übrigen Proben werden rückgestellt und bei GMP eingelagert. Die Rückstellproben werden bis drei Monate nach Abgabe des Gutachtens aufbewahrt und anschließend fachgerecht entsorgt soweit keine längere Aufbewahrung durch den Auftraggeber gefordert wird.

4.2 Umwelttechnische Untersuchung

Aus den Aufschlüssen wurden Asphaltdeckenkerne sowie Boden-/Materialproben für orientierende abfalltechnische Untersuchungen entnommen, im GMP-Labor gesichtet und abfalltechnisch beurteilt. An den Asphaltdeckenkernen wurden keine organoleptischen Auffälligkeiten festgestellt.

Bodenfremde Bestandteile wurden an folgenden Aufschlüssen angetroffen:

- BK 1 – RKS 1, BK 13, 14, 16, 26, 34, 36, 37, 40, BK 48 – RKS 15, BK 49, BK 51 – RKS 17, BK 60, BK 67 – RKS 21, BK 71, Sch 1, 6, 9, 10, 38 (Ziegelreste)
- BK 3, BK 4, BK 5 (Gleisschotter)
- BK 12, BK 35 – RKS 10 (Betonreste)
- BK 23, 41 (Asphalt, Ziegelreste)
- BK 27 (Ziegel, Schlacke, Asche)
- BK 29 (Mörtel, Beton)
- BK 30 – RKS 9 (Schlacke, Ziegelreste, Kohle)
- BK 31, 66 (Asphalt)
- BK 32 (Asphalt, Beton, Ziegel, Zement)
- BK 33, 39, 50 (Ziegel, Asphalt, Mörtel)
- BK 42 (Asphalt, Ziegel, Keramik)

- BK 43 (Holz, Mörtelreste)
- BK 46 – RKS 13 (Asphalt, Beton)
- BK 70 (Mörtel)
- Sch 4 (Plastik, Metall).

Zum Zeitpunkt der Probenahme wurden keine geruchlichen Auffälligkeiten festgestellt.

Die entnommenen Asphaltdeckenkerne sind in Tabelle 1 der Anlage 9 aufgeführt. Es wurden keine laboranalytischen Untersuchungen durchgeführt.

In der Tabelle 2 der Anlage 9 sind die für orientierende abfalltechnische Untersuchungen entnommenen Boden-/Materialproben mit der Angabe der Verwendung für die Mischprobenerstellung sowie der durchgeführten Analytik zusammengestellt.

5. Untergrundverhältnisse

5.1 Baugrundmodell

Nach der Geologischen Karte von Bayern steht im Untergrund das Festgestein des Unteren Buntsandstein der Miltenberg-Formation an. Nach dem Ergebnis der Baugrunduntersuchungen wird das Festgestein von quartären Schichten und Auffüllungen überlagert. Bereichsweise wurde Oberboden oder die Oberflächenbefestigung als geländeabschließende Schicht erkundet. Aus geotechnischer Sicht kann der Untergrund vereinfacht in fünf Schichten dargestellt werden:

1. Oberboden (Mu)
2. Oberflächenbefestigungen / Auffüllungen (A)
3. Quartäre Lehme (q)
4. Quartäre Kiese und Sande (q)
5. Unterer Buntsandstein (su)

5.2 Oberboden (Mu)

Fast alle Aufschlüsse wurden im Bereich von Grün- bzw. landwirtschaftlich genutzten Flächen ausgeführt, so dass zunächst bis in einer Tiefe von 0,02 m – 0,50 m Oberboden angetroffen wurde. Mutterboden wird nach DIN 4020 mit dem Kurzzeichen Mu gekennzeichnet.

5.3 Oberflächenbefestigungen / Auffüllungen (A)

Bereich wurde wurden die Aufschlüsse im Bereich versiegelter Flächen ausgeführt, hierbei wurde folgender Aufbau festgestellt.

Tabelle 2: Schichtdicken Oberflächenbefestigungen

Aufschluss	Gesamtdicke [cm]	Schichtstärke [cm]	Sensorik	Bemerkung
BK10-RKS4	80,0	6,0 Deckschicht 12,0 Tragschicht 62,0 S, g'	unauffällig	---
BK23	55,0	3,0 Deckschicht 14,0 Tragschicht 38,0 Rollierung	unauffällig	---
BK29	70,0	18,0 Beton 52,0 X, g, s	unauffällig	geschätzt 5 % Mörtelreste in den Auffüllungen
BK31	75,0	7,5 Deckschicht 5,5 Tragschicht 17,0 gG, x, mg, s 8,0 alte Schwarzdecke 37,0 G, s, alter Unter- bau	unauffällig	---
BK32	30,0	6,0 Deckschicht 5,0 Tragschicht 19,0 Rollierung	unauffällig	---
BK33	60,0	4,0 Deckschicht 19,0 Tragschicht 17,0 Schotter 20,0 Rollierung	unauffällig	---
BK34	45,0	3,0 Deckschicht 8,0 Tragschicht 29,0 Schotter 5,0 Rollierung	unauffällig	---
BK40	35,0	5,0 Deckschicht 15,0 gG, Sst 15,0 Rollierung	unauffällig	---
BK41	35,0	6,0 Deckschicht 29,0 Rollierung	unauffällig	---
BK42	30,0	7,0 Deckschicht 8,0 mS, gs, fs 15,0 Rollierung	unauffällig	Sandauffüllung mit ge- schätzt 10 % Asphaltresten
BK43	35,0	4,0 Deckschicht 11,0 gG, mg, fg, s 20,0 Rollierung	unauffällig	---
BK46	50,0	5,0 Beton-Pflaster 45,0 Schotter	unauffällig	---

Unterhalb der Auffüllungen aus dem Straßenoberbau wurden weitere Auffüllungen erkundet. Besonders im Bereich von ca. der BK32 – BK43 wurden in bis zu 6,00 m u. GOK (BK40/BK41) noch Auffüllungen erkundet. Diese bestehen überwiegend aus schluffig-sandig-steinigen Grobkiesen (Kurzzeichen: gG, u, s, x) die in zunehmender Tiefe höhere Steinanteile aufweisen. In den Auffüllungen wurden organische Beimengungen geschätzt von bis zu 3 % erkundet. An anthropogenen Fremdbestandteile (Ziegel, Keramik, Asche, Kunststoffreste etc.) wurden geschätzt bis zu 5 % erkundet.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde erreichten Werte von $N_{10,DPH} = 1 - 60$ und sind bereichsweise auch mehrere Dezimeter durchgefallen. Im Mittel liegen die Schlagzahlen bei $N_{10,DPH} < 5$ und lassen auf eine lockere Lagerung bzw. weiche/steife Konsistenz der Auffüllungen schließen. Allgemein ist in den Auffüllungen sehr inhomogenen Zusammensetzungen sowie Tragfähigkeiten zu erwarten.

Die Oberkante der Auffüllungen wurde in 125,24 m NHN – 138,59 m NHN erkundet. Es wurden Mächtigkeiten absolut von 0,35 m – 6,00 m und im Mittel von ca. 2,00 m festgestellt.

5.4 Quartäre Lehme (q)

Unterhalb des Mutterbodens bzw. der Auffüllung wurden unterschiedlich mächtige Lehme (U), bereichsweise mit Sandlinsen (S) erkundet. Die Schichten weisen unterschiedliche Anteile an Schluff (u), Sand (s), Kies (g), bereichsweise auch Steinen (x) auf.

In den Aufschlüssen BK3 – BK11 (Bereich geplanter Kreisverkehr) sowie mit Ausnahme der BK38, BK 32 – BK40 (Bereich Bauwerke BW05, BW10, BW06) wurden keine quartären Lehme angetroffen.

Die Bodenansprache ergab für die Lehme eine steife, im Bereich von Wasser eine steife bis weiche, teilweise auch weiche bis breiige Konsistenz. Bereichsweise wurden in den quartären Schichten auch organische Beimengungen aufgenommen. Allgemein ist in den Lehmen mit einer hohen Struktur- und Wasserempfindlichkeit zu rechnen.

In Anlehnung an den Schlagzahlen der schweren Rammsonde mit $N_{10,DPH} = 1 - 5$ kann die Konsistenzansprachen vor Ort in den Lehmen bestätigt werden .

Die Oberkante der quartären Lehme wurde in 128,22 m NHN – 139,80 m NHN erkundet. Es wurden Mächtigkeiten absolut von 0,15 m – 6,00 m und im Mittel von ca. 3,00 m festgestellt.

5.5 Quartäre Kiese und Sande (q)

Unterlagert werden die Lehme bzw. Auffüllungen von Verwitterungsschutt/Verwitterungssand, welcher als sandig-steiniger-schluffiger Kies (G, s, x, u) oder schluffig-kiesiger Sand (S, u, g) mit vereinzelt Ton- und Sandsteinmaterial ausgebildet sind.

Die Verwitterungsschichten liegen im Übergangsbereich zu den Festgesteinen. Die Schichtgrenze in dem vollständig verwitterten Fels verläuft mehr oder minder fließend.

In den Sanden kann eine überwiegend lockere, mit zunehmender Tiefe mitteldichte Lagerung abgeleitet werden ($N_{10,DPH} = 2 - 5$). Bereichsweise wurde im Bereich der RKS 1 - RKS 3 auch dichte Sande erkundet. Es wurden mit der schweren Rammsonde Schlagzahlen von bis zu $N_{10,DPH} = 35$ erreicht.

In den Kiesen wurden Schlagzahlen von $N_{10,DPH} = 1 - > 100$ erreicht. Im Mittel liegen sie bei ca. $N_{10,DPH} = 25$. Erfahrungsgemäß entspricht dies einer dichten bis sehr dichten Lagerung. Bereichsweise ist die Sonde bereits festgekommen.

Die Oberkante der quartären Kiese wurde in 125,16 m NHN – 141,07 m NHN erkundet. Es wurden Mächtigkeiten absolut von 0,50 m – 13,80 m und im Mittel von ca. 3,60 m festgestellt.

5.6 Unterer Buntsandstein

Im Untersuchungsbereich steht der Fels des Unteren Buntsandsteins aus der Miltenberg-Formation an. Teilweise wurde bis 118,78 m NHN – 130,36 m NHN noch mäßig – schwach verwitterte Festgesteine mit Mächtigkeiten von 3,20 m - 17,20 m und im Mittel ca. 10,50 m erkundet, bis unverwitterter, teils klüftiger Sandstein erbohrt wurde. Dieser ist dick bis dünnbankig, mit vereinzelt Ton- und Schluffsteinlagen (max. Lagen: BK32 0,65 m/BK 1 (GWM) 1,80 m), welche sehr dünn – engständig ausgebildet sind.

Die Sondierungen mit der schweren Rammsonde kamen unmittelbar auf den Festgesteinen fest.

Die Oberkante der Unteren Buntsandsteinschichten wurde in 123,61 m NHN – 132,30 m NHN erkundet. Die Schichtunterkante wurde in den bis zu 22 m abgeteuften Bohrungen nicht angetroffen.

6. Hydrogeologische Verhältnisse

Am Tag der Baugrunduntersuchung wurde vereinzelt in den Aufschlüssen Wasser angetroffen. Generell sind nach längeren Nässeperioden oder Niederschlagsereignissen Stauhohizonte auf den Lehmen zu erwarten bzw. im Festgestein ist mit der Ausbildung von schwebenden Grundwasserspiegeln zu rechnen. Zur Stärke und Tiefenlage von Wasserzutritten sind hierbei keine Angaben möglich.

Tabelle 3: Gemessene Grundwasserstände

Aufschluss	Ansatz- höhe	Grundwasser				Bemerkungen
		eingespiegelt		angebohrt		
		m u. GOK	mNN	m u. GOK	mNN	
BK1-RKS1	141,57	-	-	-	-	Kein Wasser
BK2-RKS2	140,67	-	-	-	-	Kein Wasser
BK3	138,06	9,15	128,91	-	-	Gemessen am 09.05.2023
BK4	138,13	9,21	128,92	-	-	Gemessen am 11.05.2023
BK5	137,91	9,19	128,72	-	-	Gemessen am 11.05.2023
BK6	139,22	8,68	130,54	-	-	Gemessen am 06.04.2023
BK7	139,35	8,98	130,37	-	-	Gemessen am 23.03.2023
BK8	139,66	8,95	130,71	-	-	Gemessen am 23.03.2023
BK9-RKS3	139,80	-	-	-	-	Kein Wasser
BK10-RKS4	136,61	4,20	132,41		136,61	Gemessen am 21.02.2023
BK11	137,90	7,61	130,29		137,90	Gemessen am 30.03.2023
BK12	132,56	-	-	2,80	129,76	WSP Sellbach 132,22 m NHN 21.04.23, Sickerwas- ser am 17.03.23 von 4,70 m auf 2,80 m u. GOK gestie- gen
BK13	132,61	1,66	130,95	4,50	128,11	WSP Sellbach 132,22 m NHN 21.04.23, WSP An- stieg am 21.03.23 von 4,50 m - 1,66 m u. GOK
BK14	132,79	0,92	131,87	4,60	128,19	WSP Sellbach 132,22 m NHN am 23.04.23, WSP An- stieg vom 30.03.23 4,60m - 0,92 m am 27.03.23

Aufschluss	Ansatz- höhe	Grundwasser				Bemerkungen
		eingespiegelt		angebohrt		
		m u. GOK	mNN	m u. GOK	mNN	
BK15	132,02	1,62	130,40	4,20	127,82	WSP Anstieg (angebohrt/eingespiegelt) am 20.03.23 von 2,10 m - 1,86 m und von 4,20 m - 1,62 m u. GOK
BK16	132,31	2,16	130,15	4,70	127,61	WSP Anstieg am 20.03.23 von 4,70 m - 2,16 m u. GOK
BK17-RKS5	134,37	2,40	131,97	-	-	21.02.2023
BK18	132,12	0,98	131,14	3,90	128,22	WSP Anstieg am 30.03.23 von 3,90 m - 0,98 m u. GOK
BK19-RKS6	132,49	1,65	130,84	-	-	Gemessen am 19.01.23
BK20-RKS7	132,48	1,90	130,58	-	-	Gemessen am 19.01.2023
BK21-RKS8	132,85	2,06	130,79	-	-	Gemessen am 19.01.2023
BK22	132,10	0,59	131,51	4,90	127,20	WSP Anstieg am 06.04.23 von 4,90 m - 0,59 m u. GOK
BK23	131,95	0,05	131,90	7,00	124,95	WSP Anstieg am 09.05.23 von 7,00 m - 0,05 m u. GOK (2.-GW-Stockwerk), sowie 5,00 m - 3,50 m (1.-GW-Stockwerk), WSP Main 129,27 m NHN am 30.04.11, 129,52 m NHN am 26.05.23
BK24	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
BK25	132,15	0,02	132,13	7,70	124,45	WSP Anstieg am 11.05.23 von 7,70 m - 0,02 m u. GOK (2.-GW-Stockwerk) und 5,00 m - 2,70 m u. GOK (1.-GW-Stockwerk)
BK26	136,11	6,40	129,71	8,60	127,51	WSP Anstieg am 20.04.23 von 8,60 m - 6,40 m u. GOK
BK27	133,13	3,30	129,83	6,00	127,13	WSP Anstieg am 20.04.23 von 6,00 m - 3,30 m u. GOK
BK28	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
BK29	133,14	3,80	129,34	5,80	127,34	WSP Anstieg am 18.04.23 von 5,80 m - 3,80 m u. GOK
BK30-RKS9	133,21	3,52	129,69	-	-	22.02.2023, WSP Main 128,85 m NHN am 30.04.2011 und 129,93 m NHN 19.04.23

Aufschluss	Ansatz- höhe	Grundwasser				Bemerkungen
		eingespiegelt		angebohrt		
		m u. GOK	mNN	m u. GOK	mNN	
BK31	131,63	-	-	-	-	Aufschlussendtiefe 0,75 m u. GOK
BK32	131,50	2,10	129,40	-	-	05.05.2023, WSP Main 129,39 m NHN 24.05.23
BK33	131,43	2,00	129,43	2,50	128,93	03.05.23, bei 2,50 m geringer Sickerwasserzutritt
BK34	131,52	2,20	129,32	-	-	03.05.2023, WSP Main 129,39 m NHN 24.05.23
BK35-RKS10	131,37	1,30	130,07	-	-	Gemessen am 19.01.2023
BK36	131,32	1,50	129,82	-	-	Gemessen am 27.04.2023
BK37	131,23	1,60	129,63	-	-	Gemessen am 27.05.2023, WSP Main am 30.04.2011 129,35
BK38	131,26	1,50	129,76	-	-	Gemessen am 25.04.2023, WSP Main am 17.05.2023 bei 129,39 m NHN
BK39	131,11	1,50	129,74	-	-	Gemessen am 25.04.2023
BK40	131,28	1,50	129,78	-	-	Gemessen am 09.05.2023
BK41	131,24	1,50	129,74	-	-	Gemessen am 05.05.2023
BK42	131,17	1,30	129,87	-	-	Gemessen am 17.05.2023
BK43	131,16	1,40	129,76	-	-	Gemessen am 17.05.2023
BK44-BS1	133,38	3,95	129,43	-	-	Gemessen am 25.05.2023
BK45-BS2	133,56	-	-	-	-	Kein Wasser
BK46-RKS13	137,16	3,95	133,21	-	-	Gemessen am 25.05.2023
BK47	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
BK48-RKS15	130,66	0,80	129,86	1,85	128,81	WSP Anstieg von 1,85 m - 0,80 m u. GOK am 20.02.23, WSP Main 129,30 m NHN am 30.04.11
BK49	131,43	1,40	130,03	-	-	Gemessen am 17.05.2023
BK50	131,76	0,80	130,96	-	-	Gemessen am 17.05.23, sehr geringer Zutritt
BK51-RKS16	132,03	1,00	131,03	-	-	Gemessen am 25.01.2023
BK52-RKS17	132,22	0,40	131,82	1,00	131,22	WSP Anstieg am 25.01.23 von 1,00 m - 0,40 m u. GOK

Aufschluss	Ansatz- höhe	Grundwasser				Bemerkungen
		eingespiegelt		angebohrt		
		m u. GOK	mNN	m u. GOK	mNN	
BK53- RKS18	132,95	0,30	132,65	1,00	131,95	WSP Anstieg am 24.01.23 von 1,00 m - 0,30 m u. GOK
BK54- RKS19	132,70	1,47	131,23	2,00	130,70	Gemessen am 24.01.2023
BK55- RKS20	132,95	1,58	131,37	2,00	130,95	WSP Anstieg am 19.01.23 von 2,00 m - 1,58 m u. GOK
BK56	133,38	5,50	127,88	6,40	126,98	WSP Anstieg am 27.04.23 von 6,40 m - 5,50 m u. GOK
BK57	133,69	1,60	132,09	4,00	129,69	WSP Anstieg am 06.04.23 von 4,00 m - 1,60 m u. GOK
BK58	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
BK59	133,74	1,60	132,14	4,00	129,74	WSP Anstieg am 06.04.23 von 4,00 m - 1,60 m u. GOK
BK60	134,01	1,68	132,33	4,30	129,71	Gemessen am 23.03.2023
BK61	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
BK62	134,12	1,60	132,52	4,20	129,92	WSP Anstieg am 04.04.23 von 4,20 m - 1,60 m u. GOK
BK63	134,95	4,51	130,44	-	-	Gemessen am 25.04.2023
BK64	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
BK65	135,02	4,55	130,47	5,00	130,02	WSP Anstieg am 27.04.23 von 5,00 m - 4,55 m u. GOK
BK66	137,13	2,25	134,88	3,20	133,93	WSP Anstieg am 23.03.23 von 3,20 m - 2,25 m u. GOK
BK67- RKS21	136,66	-	-	-	-	Kein Wasser
BK68	139,05	3,50	135,55	6,50	132,55	WSP Anstieg am 31.03.23 von 6,50 m - 3,50 m u. GOK
BK69	139,47	3,45	136,02	-	-	Gemessen am 21.03.2023
BK70	138,94	3,35	135,59	-	-	Gemessen am 23.03.2023
BK71	138,38	3,70	134,68	-	-	Gemessen am 23.03.2023
BK72- RKS22	136,59	-	-	-	-	Kein Wasser
BK73- RKS23	136,65	-	-	-	-	Kein Wasser
SCH7	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
SCH8	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
SCH11	132,92	2,25	130,67	-	-	Gemessen am 07.12.2022
SCH12	133,16	-	-	2,30	130,86	Gemessen am 08.12.2022
SCH14	132,70	3,00	129,70	-	-	Gemessen am 08.12.2022
SCH16	132,37	2,40	129,97	-	-	Gemessen am 08.12.2022

Aufschluss	Ansatz- höhe	Grundwasser				Bemerkungen
		eingespiegelt		angebohrt		
		m u. GOK	mNN	m u. GOK	mNN	
SCH17	131,89	-	-	3,10	128,79	Zutritt an der Sohle, Gemessen am 07.12.2022
SCH18	131,83	2,30	129,53	-	-	Gemessen am 07.12.2022
SCH20	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
SCH21	132,14	2,80	129,34	-	-	Gemessen am 07.12.2022
SCH23	132,44	-	-	2,20	130,24	Gemessen am 08.12.2022
SCH24	132,98	3,50	129,48	-	-	Gemessen am 12.12.2022
SCH29	132,72	2,85	129,87	-	-	Gemessen am 12.12.2022
SCH30	132,39	-	-	1,30	131,09	Gemessen am 12.12.2022
SCH31	132,54	-	-	1,70	130,84	Gemessen am 12.12.2022
SCH32	132,45	3,00	129,45	2,10	130,35	Gemessen am 13.12.2022
SCH35	133,70	-	-	2,50	131,20	Gemessen am 13.12.2022
SCH36	134,16	-	-	1,30	132,86	Gemessen am 13.12.2022
SCH37	133,92	-	-	1,50	132,42	Gemessen am 13.12.2022
SCH38	134,36	-	-	1,80	132,56	Gemessen am 14.12.2022, ab 3,00 m u. GOK nach 3 min. starker Wasserzutritt
SCH39	134,13	-	-	1,20	132,93	Gemessen am 14.12.2022
SCH40	133,36	2,70	130,66	-	-	Gemessen am 14.12.2022
SCH41	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
SCH42	133,93	1,95	131,98	-	-	Gemessen am 14.12.2022
SCH43	-	-	-	-	-	Nicht ausgeführt
SCH44	134,79	-	-	1,70	133,09	Gemessen am 14.12.2022
BK 1 (GWM)	135,96	4,31	131,65	8,10	127,86	Gemessen am 20.04.2018 und 21.04.2018
BK 2 (DPH2)	132,32	2,96	129,36	3,10	129,22	WSP Anstieg am 22.04.16 von 3,10 m u. GOK - 2,96 m u. GOK
BK6/08	135,47	6,00	129,47	8,40	127,07	WSP Anstieg am 25.06.08 von 8,40 m u. GOK - 6,52 m u. GOK., WSP am 03.07.08 bei 6,00 m u. GOK

Aufschluss	Ansatz- höhe	Grundwasser				Bemerkungen
		eingespiegelt		angebohrt		
		m u. GOK	mNN	m u. GOK	mNN	
BK 1/08	131,19	2,12	129,07	2,70	128,49	WSP Anstieg am 18.06.08 von 2,70 m u. GOK - 2,43 m u. GOK, WSP am 19.06.08 2,12 m u. GOK, Sickerwasser am 18.06.08 bei 1,20 m u. GOK, 129,30 m NHN am 30.04.11
BK5 GWM	137,30	6,56	130,74	7,00	130,30	WSP Anstieg von 7,00 m 21.04.16 auf 6,56 m am 22.04.16
BK4 (DPH4)	135,83	5,93	129,90	8,30	127,53	20.04.16, 5,93 m u. GOK WSP nicht eingependelt, Bohrprofil aus externem Gutachten

In den Schürfen, die nicht in Tabelle 3 aufgeführt sind, wurde kein Wasser angetroffen.

Aus dem Schurf Sch14 sowie den Aufschlussbohrungen BK6, BK12, BK 15, BK 22, BK29, BK33, BK 37, BK 40, BK 42, BK62 und BK 69 wurden Grundwasserproben entnommen und die Inhaltsstoffe nach DIN 4030 analysiert.

Die Ergebnisse sind in den Prüfberichten im Anhang beigelegt und in der nachfolgenden Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Untersuchungsergebnisse Grundwasseranalysen

Aufschluss	Probenahmetiefe [m u. GOK]	Prüfbericht	Betonangriff nach DIN 4030	ursächlicher Parameter
Sch14	3,00	22/12/2246625	stark betonangreifend	56,0 mg/l CO ₂
BK15	2,10	2311056	stark betonangreifend	84,0 mg/l CO ₂
BK69	3,60	2311056	stark betonangreifend	88,0 mg/l CO ₂
BK12	3,00	2310266	nicht betonangreifend	-
BK62	1,60	2312660	nicht betonangreifend	-
BK6	8,70	2313047	nicht betonangreifend	-
BK22	1,00	2313048	schwach betonangreifend	50,0 mg/l CO ₂
BK29	4,00	2314282	nicht betonangreifend	-
BK37	1,90	2315611	nicht betonangreifend	-
BK33	2,10	2315999	nicht betonangreifend	-
BK40	1,70	2316788	nicht betonangreifend	-
BK42	1,40	2317728	nicht betonangreifend	-

7. Geotechnische Laborversuche

Zur Bestimmung wichtiger bodenphysikalischer Eigenschaften wurden an repräsentativ ausgewählten Bodenproben im geotechnischen Labor Versuche entsprechend folgender Normen ausgeführt:

Tabelle 5: Normung Laborversuche

Art	Versuch	Norm	Ausgabe	Anzahl	Anlage
Boden	Bestimmung des Wassergehalts	DIN EN ISO 17892 - 1	08-2022	105	11
	Bestimmung der Dichte	DIN EN ISO 17892 - 2	03-2015	37	12
	Bestimmung der Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17892 - 4	04-2017	65	13
	Ödometerversuch mit stufenweiser Belastung	DIN EN ISO 17892 - 5	08-2017	4	15
	Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen	DIN EN ISO 17892 - 12	10-2018	33	14
	Konsistenz und Plastizität	DIN EN ISO 14688 - 2	11-2020	33	14
	Bestimmung des Glühverlustes	DIN 18128	12-2002	7	19
	Bestimmung der Koeffizienten der Abrasivität und Mahlbarkeit (LCPC)	NF P 18-579	02-2018	36	18
	Klassifizierung	DIN 18196	05-2011	91	10
Fels	Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit	DIN 18141 - 1	05-2014	34	16
	CERCHAR Abrasivitätsindex - CAI	NF P 94-430-1 und DGGT Merkblatt Nr. 23	10-2000	34	17
Wasser	Betonaggressivität	DIN 4030-1	06-2008	12	Anhang

Die Ergebnisse der Laborversuche sind in Anlage 10 zusammengefasst. Die Dokumentation der jeweiligen Versuche ist in den Anlagen 11 bis 19 beigefügt

8. Orientierende abfalltechnische Untersuchungen

8.1 Bewertungsgrundlage

Zur orientierenden umwelttechnischen Bewertung werden folgende Bewertungsgrundlagen herangezogen:

- „Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung)“ vom 09.07.2021 /9/
Nachfolgend: EBV
- Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV) vom 27.04.2009, zuletzt geändert am 09.07.2021 /10/
Nachfolgend: DepV
- Bayerisches Landesamt für Umwelt: Merkblatt „Umgang mit Bodenmaterial“, Stand: Juli 2022 /11/

8.2 Durchgeführte Untersuchungen

Zur Erhöhung der Planungssicherheit und für die Ausschreibung der Baumaßnahme wurden orientierende abfalltechnische Untersuchungen an Einzel- und Mischproben durchgeführt. Die Mischproben wurden anhand der Erkenntnisse aus der Probensichtung aller Einzelproben aufgrund ähnlicher Materialbeschaffenheit (z.B. Fremdbestandteile) sowie deren räumlichen Bezug zueinander zusammengestellt. Die für die Herstellung der Mischproben verwendeten Einzelproben sind in Tabelle 2 der Anlage 9 aufgeführt.

Die Mischproben aus den Auffüllungen wurden von dem nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Labor AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg auf den Parameterumfang der EBV für BM-0* laboranalytisch untersucht. Eine Materialprobe wurde aufgrund der geringen Menge an Probenmaterial nur auf die Parameter TOC, PAK, Schwermetalle und Mineralölkohlenwasserstoffe im Feststoff untersucht.

Die Aufschlüsse wurden in Abständen von ca. 25 - 50 m niedergebracht.

Die Misch- bzw. Einzelproben werden für einen Zeitraum von sechs Wochen nach Datum des Prüfberichtes (Laborproben) bzw. drei Monaten nach Erstellung des Gutachtens (Rückstellproben GMP) zurückgestellt. Die Rückstellfristen können gegebenenfalls nach vorheriger Anmeldung verlängert werden.

8.3 Analysenergebnisse

EBV

Die Prüfergebnisse der laboranalytischen Untersuchungen der Boden-/Materialproben aus den Auffüllungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. In der Tabelle werden der Bauwerksbereich, die Entnahmetiefe, die Materialbeschreibung, die orientierende abfalltechnische Einstufung gemäß EBV sowie die für die Einstufung maßgeblichen Parameter angegeben.

Tabelle 6: Orientierende abfalltechnische Einstufung von Aushubmaterialien

Bauwerk / Abschnitt	Probe (Entnahmetiefe)	Material	Orientierende abfalltechnische Einstufung	
			EBV	maßgebl. Parameter
BW01	MP 1 BK 3 – 5 (0,02 – 1,1 m)	Auffüllung: Kies, sandig, sehr schwach schluffig, schwach humos (Gleisschotter abseits der Strecke) Fremdbestandteile: 1-3% Humus	BM-0* Bzw. GS-0	Nickel 21 mg/kg
BW02	MP 3 BK 13+14+16 (0,0 – 2,0 m)	Auffüllung: Sand, schluffig, schwach kiesig, schwach humos Fremdbestandteile: <1% Ziegelreste, <1% Asphalt	BM-0*	Blei 41 mg/kg Nickel 19 mg/kg
	MP 5 BK 10+17 (0,0 – 0,8 m)	Auffüllung: Kies, stark sandig, schwach schluffig, sehr schwach steinig Fremdbestandteile: <1% Betonreste	BM-0	(ELF 673 µS/cm) ¹

Bauwerk / Abschnitt	Probe (Entnahmetiefe)	Material	Orientierende abfalltechnische Einstufung	
			EBV	maßgebl. Parameter
BW03	MP 6 BK 23 (0,17 – 0,55 m)	Auffüllung: Kies, steinig, mit Blöcken sehr schwach schluffig und sandig Fremdbestandteile: 1-2% Asphalt, 1% Ziegel- reste	BM-F0*	Nickel 23 mg/kg (PAK 0,99 µg/l)
	MP 7 BK 22+25 (0,05 – 0,45 m)	Auffüllung: Kies, sandig, stark schluffig Fremdbestandteile: 1% Humus	BM-0*	Chrom 33 mg/kg Nickel 24 mg/kg Quecksilber 0,23 mg/kg Zink 65 mg/kg (TOC 1,03%)
BW04	MP 9 BK 26 (0,05 – 0,25 m)	Auffüllung: Kies, sandig Fremdbestandteile: 1% Ziegel, 1% Humus, <1% Wurzeln	BM-0*	PAK 4,4 mg/kg BAP 0,37 mg/kg PAK 0,48 µg/l TOC 1,93%
	MP 10 BK 26 (0,25 – 3,9 m)	Auffüllung: Kies, stark sandig, schwach steinig, schwach schluffig, sehr schwach humos Fremdbestandteile: <1% Ziegel, 1% Humus	BM-0*	Quecksilber 0,11 µg/l <0,05 mg/kg
	MP 11 BK 27+29 (0,0 – 1,15 m)	Auffüllung: Kies, stark sandig, steinig, schwach schluffig, schwach humos Fremdbestandteile: 2% Ziegel, 2% Mörtel, 1% Schlacke, je <1% Asche, Humus	BM-F3	PAK 15 mg/kg TOC 1,75%
	MP 12 BK 27 (1,0 – 3,0 m)	Auffüllung: Schluff, sandig, schwach kiesig, sehr schwach tonig Fremdbestandteile: <1% Ziegelreste	BM-0 Lehm/Schluff	Nickel 19 mg/kg

Bauwerk / Abschnitt	Probe (Entnahmetiefe)	Material	Orientierende abfalltechnische Einstufung	
			EBV	maßgebli. Parameter
BW05	MP 14 BK 31+32+34 (0,15 – 1,5 m)	Auffüllung: Kies, sandig, schwach schluffig Fremdbestandteile: <1% Asphaltreste	>BM-F3	PAK 31 mg/kg 1,3 µg/l
	MP 15 BK 32 (1,6 – 2,4 m)	Auffüllung: Kies, steinig, sandig Fremdbestandteile: 10% Beton, 2% Ziegel, 2% Zement	BM-F1	PAK 0,42 µg/l (ELF 1550 µS/cm) ¹
	MP 16 BK 32+33+34 (0,6 – 5,3 m)	Auffüllung: Kies, sandig, schluffig, schwach steinig Fremdbestandteile: Je <1% Ziegelreste, Betonreste, Mörtelreste, 1-2% Humus,	BM-0*	Blei 140 mg/kg Nickel 17 mg/kg (Arsen 9,1 µg/l bei TOC <0,5%)
BW06	MP 17 BK 40+41 (0,1 – 2,4 m)	Auffüllung: Kies, sandig, steinig, schwach schluffig Fremdbestandteile: <1% Ziegel, <1% Asphalt	BM-0	(Arsen 15 µg/l pH (E) 9,6)
	MP 18 BK 40+41 (2,3 – 5,8 m)	Auffüllung: Kies, sandig, schluffig, steinig Fremdbestandteile: 1-2% Ziegel, 1-2% Humus	BM-0*	Blei 140 mg/kg Nickel 18 mg/kg Quecksilber 0,26 mg/kg
BW07	MP 19 BK 42+43 (0,04 – 0,8 m)	Auffüllung: Sand, stark kiesig, sehr schwach schluffig, sehr schwach steinig Fremdbestandteile: 1-2% Asphaltreste, <1% Ziegel	BM-0	--
	MP 20 BK 42+43 (0,9 – 4,8 m)	Auffüllung: Kies, stark schluffig, steinig, sandig Fremdbestandteile: Je <1% Keramik, Organik/Humus, Mörtelreste, Holz	BM-0	(PAK 0,55 µg/l <1,0 mg/kg)

Bauwerk / Abschnitt	Probe (Entnahmetiefe)	Material	Orientierende abfalltechnische Einstufung	
			EBV	maßgebl. Parameter
BW08	MP 21 BK 57+59 (0,1 – 0,7 m)	Auffüllung: Schluff, feinsandig, schwach tonig, schwach humos Fremdbestandteile: 3% Humus	BM-0	Nickel 1,12% (TOC 1,12%)
	MP 22 BK 60+62 (0,05 – 0,4 m)	Auffüllung: Kies, sandig, humos, sehr schwach schluffig Fremdbestandteile: ohne	BM-0	(TOC 1,42 %)
	MP 23 BK 60+63+65 (0,3 – 1,7 m)	Auffüllung: Schluff, stark sandig, humos, sehr schwach tonig Fremdbestandteile: <1% Wurzelreste	BM-0	Nickel 17 mg/kg
BW09	MP 24 BK 68+70+71 (0,1 – 0,8 m)	Auffüllung: Sand, schwach schluffig, sehr schwach kiesig Fremdbestandteile: Je <1% Humus, Mörtel, Ziegel	BM-0	(Cadmium 33 µg/l Kupfer 31 µg/l Quecksilber 0,28 µg/l)
BW10	MP 25 BK 35+36 (0,1 – 6,0 m)	Auffüllung: Kies, steinig, sandig, schwach schluffig, sehr schwach tonig, schwach organisch Fremdbestandteile: <1% Ziegelreste	BM-0*	Blei 45 mg/kg (Arsen 10 µg/l ELF 450 µS/cm)
BW12	MP 26 BK 30 (0,0 – 1,1 m)	Auffüllung: Schluff, kiesig, schwach tonig Fremdbestandteile: 1% Schlacke, je <1% Wurzel-/Pflanzenreste, Ziegel, Kohle	BM-0*	Kupfer 46 mg/kg (TOC 7,12%)

Bauwerk / Abschnitt	Probe (Entnahmetiefe)	Material	Orientierende abfalltechnische Einstufung	
			EBV	maßgebl. Parameter
BW15	MP 27 BK 39 (0,1 – 1,3 m)	Auffüllung: Steine, kiesig, stark sandig, sehr schwach schluffig Fremdbestandteile: 1-2% Mörtel, 1-2% Asphalt, <1% Ziegel, 1% Humus	>BM-F3	PAK 34 mg/kg 0,76 µg/l
	MP 28 BK 37+38+39 (0,05 – 5,9 m)	Auffüllung: Kies, sandig, steinig, schwach schluffig, sehr schwach tonig, sehr schwach organisch Fremdbestandteile: Je <1% Ziegel, Keramik, Organik	BM-0	--
BW 18	MP 29 BK 46 – RKS 13 (0,05 – 4,0 m)	Auffüllung: Kies, steinig, sandig, schluffig, sehr schwach tonig Fremdbestandteile: 1-2% Asphalt, <1% Humus, <1% Beton	BM-F3	PAK 10 mg/kg 7,6 µg/l
BW 19	MP 30 BK 48 – RKS 15 (0,3 – 0,8 m)	Auffüllung: Schluff, feinsandig, humos, schwach tonig, schwach kiesig Fremdbestandteile: 1% Ziegelreste	BM-0*	Kupfer 56 mg/kg Quecksilber 0,35 mg/kg Zink 210 mg/kg PAK 4,6 mg/kg BAP 0,36 mg/kg (ELF 403 µS/ck Kupfer 27 µg/l)
GVS G203 KVP Ost	MP 31 BK 66 (0,3 – 0,6 m)	Auffüllung: Feinsand, schwach mittel- sandig, schwach kiesig Fremdbestandteile: 1% Asphaltreste	BM-0	(PAK 0,62 µg/l)
	MP 32 BK 72 – RKS 22 (0,2 – 0,58 m)	Auffüllung: Kies, schluffig, schwach sandig Fremdbestand- teile: ohne	BM-0*	Nickel 26 mg/kg (PAK 0,38 µg/l)
Strecke BW02 – BW03	MP 33 BK 21 – RKS 8 (0,1 – 0,6 m)	Auffüllung: Schluff, feinsandig, tonig, kiesig, humos Fremdbestandteile: ohne	BM-0* (Analytik nur TOC, PAK, SM und MKW im Feststoff)	PAK 5,6 mg/kg BAP 0,52 mg/kg (Analytik nur TOC, PAK, SM und MKW im Feststoff)

Bauwerk / Abschnitt	Probe (Entnahmetiefe)	Material	Orientierende abfalltechnische Einstufung	
			EBV	maßgebl. Parameter
Strecke	MP 34 BK 49+50+52 (0,15 – 1,0 m)	Auffüllung: Schluff, sandig, tonig, kiesig, schwach humos Fremdbestandteile: je <1% Asphalt, Mörtel, Ziegel, Eisen, Kunststoff	BM-0*	Quecksilber 0,4 mg/kg 0,097 µg/l (TOC 1,31%)
Retention F12 A-B	MP 35 Sch 1 – 6 (0,0 – 1,8 m)	Auffüllung: Kies, stark sandig, schluffig, sehr schwach organisch Fremdbestandteile: Je <1% Ziegelreste, Eisen, Plastikreste	BM-0	--
	MP 36 Sch 1+2+6 (0,4 – 2,0 m)	Auffüllung: Kies, sandig, schluffig Fremdbestandteile: ohne	BM-0	(ELF 2150 µS/cm pH (Eluat) 11,8) ¹
Retention F11 A	MP 37 Sch 9 (0,0 – 1,0 m)	Auffüllung: Sand, stark schluffig, kiesig, schwach organisch, sehr schwach tonig Fremdbestandteile: <1% Ziegelreste	BM-0*	Nickel 16 mg/kg Zink 61 mg/kg
Retention F8 A-B	MP 38 Sch 38 (0,4 – 1,3 m)	Auffüllung: Schluff, sandig, tonig, schwach kiesig Fremdbestandteile: <1% Ziegelreste	BM-0	Nickel 17 mg/kg (Quecksilber 0,2 µg/l)
Retention F4	MP 39 Sch 40+42 (0,3 – 1,0 m)	Auffüllung: Schluff, stark sandig, tonig, schwach kiesig Fremdbestandteile: ohne	BM-0	(Blei 28 µg/l Kupfer 42 µg/l Quecksilber 0,30 µg/l)

EBV: „Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung)“ vom 09.07.2021

ELF: elektrische Leitfähigkeit; **PAK:** Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe; **TOC:** Total organic carbon (organischer Kohlenstoff)

PAK: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (Summenparameter); **BAP:** Benzo(a)pyren (PAK-Einzelstoff)

SM: Schwermetalle (gemäß EBV), **MKW:** Mineralölkohlenwasserstoffe (Summenparameter gem. EBV)

^{1:} Erhöhte pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten allein stellen nach EBV kein Ausschlusskriterium dar.

9. Geotechnische Bodenkennwerte

Nach den Ergebnissen der Aufschlüsse und Laborversuche sowie den Erfahrungen des Gutachters können für erdstatische Berechnungen die nachfolgenden charakteristischen Bodenkennwerte angesetzt werden.

Tabelle 7: Charakteristische Bodenkennwerte

Baugrund	Wichte $\gamma_k (\gamma'_k)$ [kN/m ³]	Reibungs- winkel φ'_k [°]	Kohäsion		Steifemodul ¹⁾ (min - max) E_s [MN/m ²]	Hydr. Durch- lässigkeit k_f [m/s]
			c_u [kN/m ²]	c'_k [kN/m ²]		
Auffüllungen	19,0 (9,0)	27,5	10,0	5,0	4,0 – 10,0	10 ⁻⁸ bis 10 ⁻⁶
Quartäre Lehme weich	20,0 (10,0)	27,5	50,0	5,0	2,0 – 4,0	unter 10 ⁻⁸
Quartäre Lehme steif - halbfest	20,0 (10,0)	27,5	150,0	5,0	10,0 – 12,5	unter 10 ⁻⁸
Quartäre Sande/Kiese lo- cker - mitteldicht	21,0 (11,0)	30,0	-	2,5	20,0 – 25,0	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴
Verwitterter Sandstein	22,0 (12,0)	32,5	-	30,0	60,0 – 70,0	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴
Sandstein	22,0 (12,0)	35,0	-	50,0	150,0 – 200,0	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁶

¹⁾ in Abhängigkeit vom Spannungsbereich (150 – 300 kN/m²)

10. Geotechnische Empfehlungen Streckenbau

10.1 Herstellung des Straßendamms sowie Auffüllungen im Bereich Bau-km 1+050 – 1+325

10.1.1 Allgemeines

Der Straßendamm wird im Hochwasserfall teilweise beidseitig eingestaut und teilweise auch zur Sicherstellung des HW-Schutzes von Stadtprozelten genutzt. Daher sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, damit der Damm auch bei einer längeren Einwirkung des Hochwassers standsicher bleibt.

Im Bereich der Auffüllungen von ca. Bau-km 1+050 – 1+325 sind vorhandener Oberboden und Auffüllungen komplett abzuziehen und qualifiziert aufzufüllen.

10.1.2 Empfehlungen Dammaufstandsflächen

Auf Höhe des Planums sind nach abschieben des Oberbodens Auffüllungen, quartäre Lehme bzw. Sande und Kiese zu erwarten. Wir empfehlen auf der Dammaufstandsfläche ein E_{v2} -Wert von 45 MN/m² als Beurteilungsgrundlage anzusetzen.

Da es sich um einen HW-Beeinflussten Bereich handelt, empfehlen wir den Damm auf einen Reibungsfuß zu setzen, damit der vollständig gesättigte Damm nicht aufspreizt. Als Material eignet sich z. B. die Körnung 0/120 mm. Es können auch ähnliche Materialien benutzt werden. Der Feinanteil $d < 0,063$ mm muss nach dem Verdichten $< 5\%$ bleiben. Wir empfehlen eine Höhe im verdichteten Zustand von mindestens 0,50 m. Da der Reibungsfuß ein präferentieller Fließweg für das Wasser ist, muss dieser seitlich abgedichtet werden. Dies geschieht über eine mineralische Abdichtung aus bindigem Material mit einer Stärke von 0,50 m und einer hydraulischen Durchlässigkeit $k_f \leq 10^{-8}$ m/s.

Damit der Reibungsfuß eingebaut und verdichtet werden kann, ist die Dammaufstandsfläche zu ertüchtigen. Im Bereich steifplastischer Lehme und locker/mitteldichten Sanden wird eine Stabilisierung in einer Mächtigkeit von ca. 0,30 m - 0,40 m erforderlich. Bei weicheren Schichten muss die Mächtigkeit auf ca. 0,50 m – 0,60 m verstärkt werden. Nach den Ergebnissen der Baugrunderkundungen werden folgende Maßnahmen auf den Streckenabschnitten nötig:

Tabelle 8: Geschätzte E_{v2} -Werte Dammaufstandsfläche/Auffüllung und erf. Maßnahmen

von – bis [km]	Zu erwartender Untergrund Dammaufstandsfläche	Geschätzter E_{v2} -Wert [MN/m ²]	Voraussichtliche min. Stabilisierungsmächtigkeit [m]
Kreisverkehr West	lockere Sande/Kiese	~ 20,0	0,20 – 0,30
St2315 0+000 – 0+0100	lockere Sande	~ 15,0	0,30 – 0,40
St2315 0+0100 – 1+140	weiche Auffüllung / weiche Schwemmlerhne	~ 10,0	0,50 – 0,60
St2315 1+140 – 1+880	dichte Auffüllung	~ 20,0	0,20 – 0,30
St2315 1+800 – 2+700	weiche Auffüllung / weiche Schwemmlerhne	~ 10,0	0,50 – 0,60
St2315 2+700 - Ende	steife Auffüllung / steife Schwemmlerhne	~ 15,0	0,30 – 0,40
Kreisverkehr Ost	steife Auffüllung / steife Schwemmlerhne	~ 15,0	0,30 – 0,40
Auffüllungen im Bereich Bau-km 1+050 – 1+325	Auffüllungen komplett abziehen – erwartender Untergrund weiche Schwemmlerhne	~ 10,0	0,50 – 0,60

Die Stabilisierung muss nur im Bereich der Lastausbreitung (Neigung 1:1,5) eingebracht werden. Außerhalb dieses Bereiches sind keine Stabilisierungsmaßnahmen erforderlich.

Zur filterstabilen Trennung zwischen Bodenaustausch und Untergrund empfehlen wir ein Vlies (GRK III, $m \geq 250 \text{ g/m}^2$) zu verlegen.

10.1.3 Durchführung der Auffüllung

Die Stärke der Einbaulagen sind abhängig vom gewählten Verdichtungsgerät und sind an das Liefermaterial anzupassen. Nachfolgend wird von 25 cm – 30 cm Lagen ausgegangen.

Die einzelnen Lagen werden mit Höhen von 25 cm - 30 cm geschüttet und lagenweise nach ZTVE-StB verdichtet. Die Neigung der Böschung darf ohne Nachweis nicht steiler 1:1,5 ausgebildet werden.

Je Lage gelten die folgenden Anforderungen:

$$D_{pr} \geq 0,97$$

$$E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Für den Luftporengehalt sind die Werte der Tabelle 9 einzuhalten:

Tabelle 9: Zielwerte Luftporengehalt

Untergrund	Bodengruppe n. DIN 18196.	Luftporengehalt n_a
Grobkörnige Böden	GW, GI, GE, SW, SE, SI	$\leq 12\%$
Gemischtkörnige Böden	GU, GT, SU, ST, GU*, GT*, SU*, ST*	$\leq 8\%$
Feinkörnige Böden	TL, TM, TA	$\leq 8\%$
Veränderlich feste Gesteine	Ton-, Schluff-, Mergelstein	$\leq 6\%$

Als Schüttmaterial sind alle gemischt- und grobkörnigen Bodenarten geeignet, die die o.g. Anforderungen erfüllen. Sollten feinkörnige Materialien zum Einsatz kommen ist u.U. eine Verbesserung erforderlich. Genaue Angaben hierzu sind materialabhängig und können erst bei der Bauausführung erfolgen.

Der Auftragnehmer hat vor Ausführung durch mind. 2 Probefelder nachzuweisen, dass er die o.g. Anforderungen erfüllt.

Soll der Erdaushub aus den Retentionsflächen für die Dammaufschüttung verwendet werden, sind diese nur unter Aufbereitung mit Bindemittel und nach den Ergebnissen der Umweltanalysen möglich, Angaben hierzu können aus dem Kapitel 8.3 und 10.4 entnommen werden.

10.1.4 Anschüttung an den bestehenden Bahndamm

Es sind grundsätzlich die Anforderungen nach Kapitel 10.1.3 einzuhalten.

Auf dem bestehenden Damm wächst Buschwerk und ist bereichsweise mit Oberflächenbefestigung befestigt. Die organischen durchwachsenen Schichten und die Oberflächenbefestigung sind vollständig zurückzubauen. Um einen kraftschlüssigen Übergang zwischen Bestand und Neubau herzustellen ist der Neubau mit dem Bestand zu verzahnen. Die Abtreppung muss mit der vorhandenen Neigung von ca. 1:1,5 erfolgen (Abtreppung ($h = 0,30 \text{ m}$, $b = 0,45 \text{ m}$)).

10.2 Prognostizierte Setzungen aus Aufschüttung

10.2.1 Dammsetzungen

Infolge der Dammschüttung werden Setzungen auftreten. Diese betragen prognostiziert 10 cm – 20 cm. Bei hohen Bauwerken wie z.B. BW 8 und Schütthöhen von 10 m werden Setzungen in einer Größenordnung von bis zu 30 cm – 40 cm auftreten. Vermutlich sind ca. 40% der Setzungen als Sofortsetzungen zu betrachten, der Rest sind Konsolidierungssetzungen.

Die Tabelle 10 fasst die Ergebnisse der überschlägigen Setzungsberechnung zusammen.

Tabelle 10: Prognostizierte Dammsetzungen

Von – bis [km]	geplante mittlere Dammhöhe [m]	Prognostizierte Setzung in Dammachse [cm]
0+000 – 0+100	3,5	10,0 – 12,0
BW01 (0+ 107)	7,0	20,0 – 25,0
0+120 – 0+240	7,5	24,0 – 30,0
BW02 (0+291)	6,0	19,0 – 25,0
0+320 – 0+600	3,0	9,0 – 11,0
BW03 (0+754)	5,0	19,0 – 25,0
BW11 (0+840 – 1+061)	3,0	9,0 – 12,0
BW04 (1+063,51)	3,0	10,0 – 12,0
BW12 (1+065 – 1+135)	2,5	10,0 – 12,0
BW05 (1+336,55)	5,0	13,0 – 18,0
BW10 (1+340)	6,0	19,0 – 25,0
BW06 (1+450,22)	5,0	13,0 – 18,0
BW15 (1+355 bis 1+395)	5,0	15,0 – 23,0
BW07 (1+575,18)	5,0	13,0 – 18,0
BW18 (1+579 – 1+825)	5,0	13,0 – 18,0
BW18 (1+579 bis 1+825)	5,5	13,0 – 18,0
BW19 (1+825 – 2+020)	5,5	13,0 – 18,0
2+000 – 2+500	4,0	12,0 – 15,0
BW08 (2+711)	10,0	30,0 – 40,0
BW09 (2+793)	5,0	15,0 – 18,0

Die Konsolidierungszeit ist ohne FE-Berechnungen nicht abzuschätzen, üblich sind in der Regel 6 Monate. Wir empfehlen besonders im Bereich der Brückenbauwerke eine ca. 1,00 m hohe Überschüttung, um zum einen die Setzungen in diesem Bereich zu beschleunigen und zum anderen Setzungen aus der Verkehrslast vorweg zu nehmen.

Für eine präzisere Setzungsermittlung empfehlen wir die Berechnung mit Hilfe von der Finite-Element-Methode. Mit diesem Vorgehen kann die Interaktion Bauwerk-Baugrund über einen Zeitraum detaillierter prognostiziert werden. Besonders im Bereich des Bauwerks 8 liegen aufgrund der mächtigen Weichschichten komplexe Verhältnisse vor, die untersucht werden sollten.

Sollen weitere Berechnungen durchgeführt werden, sind zusätzliche Bodenkennwerte nötig (undrainierte Scherfestigkeit). Hierfür werden Laborversuche und ggf. weitere Erkundungen erforderlich.

Vor Ausführung der Aufschüttungen sind Setzungspegel zu setzen und der Setzungsverlauf zu beobachten. Erst nach abklingen der Setzungen kann der Bau der Bauwerke beginnen.

Um die Setzungen zu beschleunigen könnten Vertikaldrains eingesetzt werden. Um den Setzungsbetrag zu mindern könnten Ertüchtigungen mit einer Rüttelstopfverdichtung erfolgreich sein. Angaben dazu können nach einer entsprechenden Berechnung durchgeführt werden.

10.2.2 Mitnahmesetzung des Bahndamms

Wir schätzen die Mitnahmesetzungen des bestehenden Eisenbahndammes durch die Anschüttung auf ca. 0,5 cm – 4,0 cm ein. Die nachfolgende Tabelle fasst die prognostizierten Mitnahmesetzungen auf dem Bahndamm zusammen.

Tabelle 11: Prognostizierte Mitnahmesetzungen auf dem Bahndamm

von – bis [km]	geplante mittlere Dammhöhe [m]	Prognostizierte Mitnahmesetzungen auf Bahndamm [cm]
BW03 (0+754)	5,0	1,0 – 2,0
BW04 (1+063,51)	3,0	0,5 – 2,0
BW05 (1+336,55)	5,0	1,0 – 2,0
BW06 (1+450,22)	5,0	2,0 – 4,0
BW07 (1+575,18)	5,0	2,0 – 4,0
BW10 (1+340)	6,0	2,0 – 3,0
BW11 (0+840 – 1+061)	3,0	1,0 – 2,0
BW12 (1+065 – 1+135)	2,5	1,0 – 2,0
BW15 (1+355 bis 1+395)	5,0	2,0 – 4,0
BW18 (1+579 bis 1+825)	5,5	1,0 – 2,0
BW19 (1+825 bis 2+020)	5,5	1,0 – 2,0

Es ist mit der DB Netz AG abzustimmen welche Maßnahmen erforderlich werden.

10.3 Herstellung der Verkehrsflächen

10.3.1 Beurteilung Erdplanum

Gemäß ZTVE-StB bzw. RStO muss auf Höhe des Straßenplanums eine Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ gewährleistet werden. Wird die Dammschüttung wie in Kapitel 10.1.3 ausgeführt, ist im Bereich der Aufschüttung bereits eine ausreichende Tragfähigkeit gegeben.

Im Bereich der Kreisverkehrsarme (West/Ost) sowie dem Mainradwanderweg ist planerisch zu prüfen, dass bei einer Dammschüttung unter 0,40 m Höhe Stabilisierungsmaßnahmen erforderlich werden, um die erforderliche Tragfähigkeit auf Straßenplanum zu erreichen. Insgesamt ist eine zu stabilisierende Mächtigkeit analog den unten genannten Anforderungen nötig (ca. 0,30 m – 0,40 m). Dabei kann die Dammhöhe zum Aufbau hinzugerechnet werden.

Zur filterstabilen Trennung zwischen Bodenaustausch und Untergrund empfehlen wir ein Vlies (GRK III, $m \geq 250 \text{ g/m}^2$) zu verlegen.

Außerhalb der Dammschüttungen stehen im Planum Auffüllungen und quartäre Lehme, Sande und Kiese an. Wir schätzen, dass diese einen E_{v2} -Wert $\leq 15,0 \text{ MN/m}^2$ aufweisen. Daher ist ein Bodenaustausch erforderlich, um auf OK Planum $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ zu erreichen. Zur filterstabilen Trennung zwischen Bodenaustausch und Untergrund empfehlen wir ein Vlies (GRK III, $m \geq 250 \text{ g/m}^2$) zu verlegen. Wir schätzen die Mächtigkeit des Bodenaustausches im Bereich der Lehme und Sande auf $0,30 \text{ m} - 0,40 \text{ m}$ und im Bereich der Kiese auf $0,20 \text{ m} - 0,30 \text{ m}$ ein. Die real erforderliche Mächtigkeit kann nur vor Ort zum Zeitpunkt der Bauausführung durch Versuche bestimmt werden.

Alternativ zu einem Bodenaustausch kann die Stabilisierung auch durch Einfräsen von Bindemittel erfolgen. Angaben zu Bindemittelart und -menge können aus Kapitel 10.4 entnommen werden.

Auf das Erdplanum mit $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ kann die Frostschutzschicht eingebaut werden. Die erforderliche Mächtigkeit und Tragfähigkeit auf OK Frostschutz ergibt sich in Abhängigkeit von Bauart und Bauklasse gemäß RStO.

10.3.2 Beurteilung Frostsicherheit

Grundsätzlich ist von F3 Böden in der Aufstandsfläche auszugehen.

Im Bereich der Dammschüttung bzw. in den Bereichen, in denen eine Stabilisierung des Planums erforderlich wird, ist die Mächtigkeit der Frostschutzschicht abhängig von der Mächtigkeit und der Frostempfindlichkeit des Dammschüttmaterials bzw. der stabilisierten Schicht. Bei einem Bodenaustausch kann bei einer Mächtigkeit von mehr als $0,30 \text{ m}$ und bei Verwendung von geeignetem frostsicherem Material die Frostschutzschicht nach Klasse F 2 ausgelegt werden.

Eine Bodenverbesserung mit Bindemittel hat nur einen geringen Einfluss auf die Frostempfindlichkeit, so dass in diesem Fall die Frostschutzschicht nach der Klasse F3 ausgelegt werden muss. Eine Einstufung in Frostempfindlichkeitsklasse F2 ist nur bei Ausführung einer qualifizierten Bodenverbesserung nach dem „Merkblatt über Bodenverfestigung und Bodenverbesserung mit Bindemittel“ und einem entsprechend höherem Bindemittelgehalt möglich.

10.4 Angaben zu Bindemittelstabilisierung

Beim Aushub der Retentionsflächen sind überwiegend steife Lehme vorhanden, die nicht ausreichend verdichtbar/tragfähig sind.

Soll das Material für die Dammaufschüttung verwendet werden, muss eine Aufbereitung mit Bindemittel erfolgen, ebenso wie zur Verbesserung der Tragfähigkeit auf Höhe des Planums. Steine und Blöcke mit einer Kantenlänge von > 10 cm sind generell zu separieren oder aufzubrechen.

Für die Bindemittelstabilisierung sind ausschließlich genormte Bindemittel gem. gültiger ZTV E-StB zu verwenden. Die genaue Bindemittelart und -menge ist abhängig vom Wassergehalt während der Bauzeit und kann daher je nach Jahreszeit und Witterungsverhältnissen variieren.

Bei den vorhandenen örtlichen Verhältnissen wird ein Mischbindemittel empfohlen, wobei auch das Mischverhältnis Kalk/Zement erst im Rahmen der Bauausführung vor Ort endgültig festgelegt werden kann.

Nach den Ergebnissen der Laboruntersuchungen kann bei dem zum Zeitpunkt der Baugrunduntersuchung festgestellten Verhältnissen von folgenden Bindemittelarten und -mengen ausgegangen werden:

Tabelle 12: Bindemittelart und -menge bei Dammaufschüttung/Stabilisierung

Bereich	Bindemittelart	Mischverhältnis Kalk/Zement	Bindemittelmenge	
			[%]	[kg/m³]
ab 0,5 m unter Planum	Mischbindemittel	50/50	2 – 3	35 – 55
Planum	Mischbindemittel	30/70	3 – 4	55 – 75

Bei zu trockenen Böden muss dem Material Wasser zugegeben werden, damit genügend Feuchtigkeit für die Hydratation des Bindemittels vorhanden ist. Eine Wasserzugabe von z.B. 2% entspricht einer Wassermenge von ca. 35 l/m³. Empfohlen wird, dem Boden so viel Wasser zuzugeben, dass anschließend der Wassergehalt oberhalb des Optimums liegt. Anschließend kann durch Zugabe von Bindemittel der Boden so eingestellt werden, dass der optimal verdichtbar ist. Die Bindemittelzugabe hat den Vorteil, dass der eingebaute Boden besser tragfähig wird und eine geringere Wasser-/Witterungsempfindlichkeit aufweist. Die Zugabemenge von Wasser und Bindemittel ist abhängig von der Einbauebene bezogen auf das Planum sowie der Art des Bindemittels.

Soll eine qualifizierte Bodenverbesserung auf Höhe des Planums zur Verringerung der Frostempfindlichkeit erfolgen, müsste der Bindemittelanteil entsprechend erhöht werden. Die Anforderungen an die Bindemittelmenge, die Festigkeit und an die Ausführung ergeben sich z.B. entsprechend der ZTV E-StB. Im Vorfeld der Maßnahme sind entsprechende Eignungsprüfungen durchzuführen.

Bei einer Stabilisierung mit Bindemitteln ist eine Staubemission nicht vermeidbar. Es ist zu prüfen, ob diese Emission im Bereich der vorhandenen Wohngebiete akzeptiert werden kann.

11. Geotechnische Empfehlungen Brücken

11.1 Hinweise zum Bauablauf

Damit die notwendigen Großgeräte auf die Baustelle können, ist ein Arbeitsplanum erforderlich. Da die Ausführung geräteabhängig ist, empfehlen wir dieses Arbeitsplanum durch den Auftragnehmer zu planen und ausführen zu lassen. Aus geotechnischer Sicht wäre auf den angetroffenen Auffüllungen und Quartären Schichten eine Mindeststärke von 0,40 m bei Verwendung von Material der Körnung 0/56 nach TL SoB-StB (2020) und ein Geotextil (GRK IV, $m \geq 250 \text{ gm}^2$) zwischen Bodenaustausch und Untergrund vorzusehen.

Die Bohrpfähle sind unter dem Grundwasserspiegel herzustellen, auf die ordnungsgemäße Ausführung nach DIN EN 1536 wird verwiesen. Wir weisen zusätzlich darauf hin, dass beim Kelly-Bohrverfahren auf jeden Fall mit Wasserauflast gebohrt werden muss. Es wird weiterhin verwiesen, dass dann besondere Maßnahmen erforderlich sind (z.B. Absetzzeiten, Wasseraustausch), um einen ordnungsgemäßen Pfahl herzustellen. Das anfallende Bohrgut ist stark durchnässt und muss vor Entsorgung in einem Zwischenlager getrocknet werden.

Aus den Aufschlussbohrungen (siehe Tabelle 4) wurden Grundwasseranalysen durchgeführt. Diese ergaben, dass das Grundwasser bereichsweise stark betonangreifend wirkt. Da nicht auszuschließen ist, dass die kalklösende Kohlensäure auch in anderen Bereichen auftritt, empfehlen wir den Pfahlbeton grundsätzlich auf einen kalklösenden Kohlensäureangriff XA 2 auszulegen.

Bereichsweise wurden Weichschichten angetroffen, welche maßgebend für die zu erwartenden Setzungen aus der Dammschüttung sind. Die prognostizierten Setzungen können aus der Tabelle 10 entnommen werden. Diese Setzungen werden erst nach mehreren Monaten abgeklungen sein. Dies ist bei der weiteren Planung zu berücksichtigen.

Die Anforderungen der jeweiligen Bauwerke sind in Kapitel 11.4 ff. näher erläutert.

Weitere Empfehlungen zur Pfahlherstellung können aus dem Kapitel 13 entnommen werden.

11.2 Herstellen der Baugruben

Da die neuen Bauwerke unmittelbar an den Bestand (BW03 – BW07) anschließen, müssen die Flügelbauwerke des Bestands vor dem Abteufen der Bohrpfähle zurückgebaut werden. Dies kann nur im Schutz eines Verbaus erfolgen.

Nach den Unterlagen /2/ ist hier von einer Höhe von bis zu ca. 9,0 m auszugehen. Die Tabelle 13 fasst die Verbauhöhen zusammen.

Tabelle 13: Voraussichtliche geschätzte Verbauhöhe

Bauwerk	Stationierung [Bau-km]	Vorauss. Geschätzte Verbauhöhe [m]	Bemerkung
BW03	0+754	7,00	---
BW04	1+063,51	5,00	---
BW05	1+336,55	9,00	Nordost Technikraum Verbauhöhe ca. 9,00 m, Südwest Verbauhöhe ca. 6,00 m
BW06	1+450,22	7,00	---
BW07	1+575,18	7,00	---

Diese Verbauhöhen können vermutlich nur mit einem rückverankerten Verbau ausgeführt werden. Als Verbaukonzept könnte eine überschnittene Bohrpfahlwand oder Spundwand ausgeführt werden. Mit diesen Ausführungen werden die Risiken für Sackungen ausgeschlossen.

Zur Dimensionierung der Pfähle auf Vertikallasten können die Zahlenwerte Tabelle 14 herangezogen werden. Die Mindesteinbindung in den verwitterten Sandstein nach Tabelle 15 muss eingehalten werden.

Die äußere Tragfähigkeit der Verpressanker bei Lage in den Auffüllungen des Bahndammes kann mit

$$q_{s,K, \text{ Damm}} \leq 90,0 \text{ kN/m}^2$$

bemessen werden. Falls die Verpresskörper im verwitterten Sandstein liegen sollten, können diese mit:

$$q_{s,K, \text{ Sandstein}} \leq 500,0 \text{ kN/m}^2$$

bemessen werden.

Beide Angaben gelten bei einfacher Nachverpressung. Im Grundwasser wurde kalklösende Kohlensäure mit Gehalten bis zu 88 mg/l gemessen. Daueranker sind nur mit besonderen zusätzlichen Maßnahmen möglich und bedürfen einer besonderen Zulassung.

11.3 Maßnahmen gegen Wasser

Das Grundwasser steht in der Nähe der Gründungssohle an.

Bei den Bauwerken BW2, BW3, BW5, BW6, BW7 BW10 ist damit zu rechnen, dass dauerhaft über die Gründungssohle Wasser Zutritt. Während der Bauzeit ist das Wasser temporär zu fassen und seitlich abzuleiten. Eine offene Wasserhaltung mit Drainagegräben und Pumpensümpfen ist ausreichend. Keinesfalls darf das Wasser über die Gründungssohle geleitet werden, da ansonsten die Gründungssohle stark gestört wird.

Es ist damit zu rechnen, dass die Fundamente in allen Bauwerken (BW1-BW19) dauerhaft im Wasser stehen.

11.4 Bemessungskennwerte Brückenbauwerke

Seitens der Planung werden Flachgründungen für die Erweiterung der Bestandsbauwerke ausgeschlossen. Für die Gutachtenerstellung werden deshalb Tiefgründungen mittels Ortbetonbohrpfähle betrachtet.

Zur Bemessung der Pfahlgründung gelten die folgenden Kennwerte für Einzelpfähle ($a < 2,5 \times D$):

Tabelle 14: Kennwerte zur Bemessung auf Vertikalkräfte

Schichteinheit	$R_{b,k}$ [MN/m ²]	$R_{s,k}$ [MN/m ²]
Verwitterter Sandstein	2,5	0,150
Sandstein	6,0	0,450

Zur Aktivierung der in Tabelle 14 genannten Kennwerte sind die in Tabelle 15 dargestellten Mindestsohltiefen einzuhalten. Die Verformung des Untergrunds bei voller Ausnutzung kann zur Vorbemessung einer Federsteifigkeit mit ca. 1,0 cm angesetzt werden.

Tabelle 15: Mindestsohltiefen für Bohrpfähle

Bauwerk	m u. GOK	m NHN
BW01	15,70 (BK 3)	122,36
BW02	Wellblechdurchlass	
BW03	10,00 (BK23)	121,95
BW04	10,70 (BK 29)	122,44
BW05	9,10 (BK32)	122,40
BW06	10,20 (BK40)	121,08
BW07	8,70 (BK43)	122,46
BW08 – Achse 1/2	12,40 (BK60)	121,61
BW08 – Achse 3	10,70 (BK63)	124,25
BW09	Wellblechdurchlass	
BW10	8,80 (BK36)	122,43

Bei den genannten Mindestsohltiefen ist eine Mindesteinbindung in den verwitterten Sandsteinen/Ton- und Mergelsteinen von 2,0 m enthalten, um die Werte für Mantelreibung und Spitzendruck zu aktivieren. In den festen Sandsteinen ist zur Aktivierung der Kennwerte für Mantelreibung und Spitzendruck eine Einbindung von 1,0 m erforderlich.

Zur horizontalen Bettung der Pfähle kann von folgenden Kennwerten ausgegangen werden:

Tabelle 16: Kennwerte zur Bemessung auf horizontale Bettung

Schichteinheit	$E_{s,h,min}$ [MN/m ²]	$E_{s,h,max}$ [MN/m ²]	$E_{s,h,wahrsch}$ [MN/m ²]
Auffüllungen	2,5	10,0	5,0
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	5,0	20,0	10,0
Verwitterter Sandstein	100	200,0	150,0
Sandstein	200,0	300,0	250,0

Zur Bemessung der Pfähle auf horizontalen Lasten kann von einem Bettungsansatz

$$k_{s,h} = E_{s,h} / d, d \leq 1,0 \text{ m}$$

ausgegangen werden.

Im Bereich von weichen/breiigen quartären Schichten, in denen die Auffüllung nach Fertigstellung der Bauwerke erfolgt, müssen die Bohrpfähle auf negative Mantelreibung bemessen werden. Angaben hierzu können aus dem Kapitel 12.2 entnommen werden.

Empfehlungen zur Pfahlherstellung können aus dem Kapitel 13 entnommen werden.

Die nachfolgenden Kapitel fassen die maßgebenden Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung der einzelnen Bauwerke zusammen. Eine gesonderte Listung der Auffüllungen erfolgte nur bei Bauwerken, an denen die Zusammensetzung der Auffüllungen Auswirkungen auf besondere Maßnahmen für die Pfahlherstellung (Hüllrohre) haben. Zur Bemessung der einzelnen Pfähle sind die Bohrprofile aller einzelnen Bauwerke auf die Auffüllmächtigkeit zu kontrollieren und die Oberkante der Schichten ggf. auf GOK zu setzen.

11.4.1 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW01

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 17: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW01

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]		Bemerkung
	Achse BK8-7-6	Achse BK3-4-5	
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	139,26 (BK8)	136,96 (BK3)	-
Verwitterter Sandstein	125,46 (BK8)	124,71 (BK3)	-
Sandstein	123,56 (BK8)	123,06 (BK3)	BK3: vereinzelt Tonsteinlagen im Fels, bei 15,60 m - 16,10 m Kluft 80°-90°, BK8: bei 17,70 m - 17,90 m Kluft 70°

11.4.2 Wellblechdurchlass BW02

Das Unterführungsbauwerk soll aus Wellstahl vorgesehen werden. Bei der Ausführung sind die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) 2021, Teil 9, Abschnitt 4: Wellstahlbauwerke“ der Bundesanstalt für Straßenwesen und die „Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 20/1997 und Nr. 12/1998 – Bedingungen für die Anwendung von Wellstahlrohren“ des Bund/Länder-Fachausschuss Brücken und Ingenieurbau zu beachten.

Üblicherweise ist auf dem Planum ein Steifemodul $E_s = 30 \text{ MN/m}^2$ erforderlich. Dieser Wert wird durch den vorhandenen Untergrund nicht erreicht, daher sind Bodenaustauschmaßnahmen erforderlich. Bei einer frostfreien Gründung von 0,80 m unter GOK ist noch ein Bodenaustausch von rd. 0,70 m erforderlich. Aufgeweichte Teilbereiche sind gegebenenfalls durch eine verstärkte Stabilisierungsschicht auszutauschen.

Unmittelbar unter dem Planum bis mindestens 20 cm unterhalb des Planums ist ein Material 0/32 nach TL SoB-StB (2020) erforderlich. In tieferen Bereichen kann als Austauschmaterial ein Material 0/56 mm nach TL SoB-StB (2020) eingesetzt werden.

Das Material ist in Lagen $d < 30$ cm einzubauen und zu verdichten. Je Lage sind folgende Verdichtungsnachweise erforderlich:

$$D_{pr} \geq 1,0$$

$$E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{v2}/E_{v1} \leq 2,3$$

Die 60% Regel nach ZTVE-StB 17 ist nicht anwendbar.

Dieser aufbereitete Untergrund kann mit einem Bemessungswert des Sohlwiderstands von

$$\sigma_{R,d} \leq 420 \text{ kN/m}^2$$

belastet werden. Bei voller Ausnutzung der Sohlspannung werden Setzungen zwischen 2,0 und 3,0 cm prognostiziert.

Die angegebenen Bodenpressungen gelten wiederum für die reduzierte Fläche nach DIN 1054.

11.4.3 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW03

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 18: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW03

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	Bemerkung
	-	
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	131,70 (BK25)	BK22: weiche Lehme, BK23: weiche bis breiige Lehme BK25: weiche Lehme
Verwitterter Sandstein	124,65 (BK25)	-
Sandstein	122,55 (BK25)	bei 9,90 – 10,0 m Kluft 80°

11.4.4 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW04

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 19: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW04

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	Bemerkung
	-	
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	131,99 (BK29)	BK26, BK27, BK29 und BK4 (DPH4) weiche Lehme
Verwitterter Sandstein	124,44 (BK29)	-
Sandstein	123,59 (BK29)	BK27: ab 8,0 m Spülbohrung 100 % KV bis 9,90 m, ab 10,65 m Tongallen

11.4.5 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW05

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 20: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW05

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	Bemerkung
	-	
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	126,60 (BK32)	-
Verwitterter Sandstein	-	-
Sandstein	124,40 (BK32)	BK32: von 9,00 m - 9,70 m schwach verwittert, bei 8,40 m Klufft 45°, bei 9,20 m Tongallen, ab 9,70 m Wechsellagerung Sand-/Tonstein BK33: bei 10,65 m - 10,85 m Klufft 60°-70°

11.4.6 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW06

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 21: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW06

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	Bemerkung
	-	
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	125,28 (BK40)	-
Verwitterter Sandstein	123,68 (BK40)	-
Sandstein	118,78 (BK40)	BK40: bei 9,85 m - 12,15 m Spalte 90° Öffnungsweite 40 mm, bei 12,15 m Kluff 90°

11.4.7 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW07

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 22: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW07

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	Bemerkung
	-	
Auffüllungen	GOK	Bis zu 4,6 m mächtige Auffüllungen mit bis 10 % Fremdbestandteile, bereichsweise organisch und weich
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	127,16 (BK43)	-
Verwitterter Sandstein	-	-
Sandstein	124,46 (BK43)	BK42: bei 7,30 m Kluff 40°, bei 8,70 m Kluff 50°-60°, bei 9,20 m Kluff 70°, bei 9,60 m - 9,90 m Kluff 90°, bei 10,75 m - 10,85 m Tonsteinlagen, bei 10,20 m - 10,60 m Kluff 80°-90° BK43: bei 10,70 m - 10,90 m 70 % KV, bei 11,20 m - 11,30 m Kluff 90°

11.4.8 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW08

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 23: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW08

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	Oberkante [m NHN]	Bemerkung
	Achse 1/2	Achse 3	
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	132,31 (BK60)	133,45 (BK63)	Weiche bis breiige Lehme
Verwitterter Sandstein	123,61 (BK60)	126,95 (BK63)	-
Sandstein	123,41 (BK60)	123,35 (BK63)	Wechsellagen von Ton- und Sandstein, bereichsweise 100 % KV, klüftig

Ertüchtigungsmaßnahmen für die weichen bis breiigen Lehme können aus dem Kapitel 10.2.1 entnommen werden.

11.4.9 Wellenblechdurchlass BW09

Das Unterführungsbauwerk soll aus Wellstahl vorgesehen werden. Es gelten die Empfehlungen und Bedingungen aus Kapitel 11.4.2.

11.4.10 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW10

Tabelle 24: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW10

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	Bemerkung
	-	
Auffüllungen	GOK	Bis zu 6,0 m mächtige Auffüllungen bis mit bis 3 % Fremdbestandteile, bereichsweise organisch, 2008 in BK 5/08 von 2,80 m – 3,20 m weiche Auffüllungen angetroffen
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	125,32 (BK36)	-
Verwitterter Sandstein	124,72 (BK36)	-
Sandstein	124,32 (BK36)	BK36: bei 8,40 m - 8,60 m Tonsteinschicht mit Klüft 80° - 90°, bei 9,70 m - 14,45 m Tongallen

Der Bemessungswasserstand für das Pumpwerk ist auf das HQ100 des Main auszulegen.

11.5 Hinterfüllung der Widerlager

Im Bereich der Dammaufstandsfläche sind die zusätzlichen Stabilisierungsmaßnahmen aus Kapitel 10.1.2 auszuführen und einzuhalten. Die Stabilisierung muss nur im Bereich der Lastausbreitung (Neigung 1:1,5) eingebracht werden. Außerhalb dieses Bereiches sind keine Stabilisierungsmaßnahmen erforderlich.

Die Hinterfüllung der Widerlager und der Arbeitsräume sollte mit Material in Trag-schichtqualität gemäß TL SoB-StB 20 (z.B. Mineralgemisch 0/56 mm nach TL SoB-StB (2020)) verfüllt werden, damit Setzungen weitestgehend minimiert werden. Das Material sollte in Lagen von 25 - 30 cm eingebracht und lagenweise bis 100 % der einfachen Proctordichte verdichtet werden. Ein Lastausbreitungswinkel von 45° ist zu berücksichtigen.

Die beim Aushub der Retentionsflächen anfallenden Auffüllungen und quartären Lehme, Sande und Kiese sind nach dem Ergebnis der Baugrunduntersuchung nur bedingt verdichtbar und sollten daher für die Hinterfüllung nicht verwendet werden. Eine Hinterfüllung mit dem Aushubmaterial kann nur unter Zugabe von Bindemitteln nach Kapitel 10.4 erfolgen.

Folgende Qualitätsmerkmale bis 1,0 m unter UK Planum sind je Lage einzuhalten:

$$\begin{aligned}D_{pr} &\geq 1,0 \\E_{v2} &\geq 60 \text{ MN/m}^2 \\E_{v2}/E_{v1} &\leq 2,30\end{aligned}$$

Im Bereich bis zum Planum sind je Lage folgende Werte einzuhalten:

$$\begin{aligned}D_{pr} &\geq 1,03 \\E_{v2} &\geq 120 \text{ MN/m}^2 \\E_{v2}/E_{v1} &\leq 2,1\end{aligned}$$

Für den Luftporengehalt sind die folgenden Werte einzuhalten:

Tabelle 25: Zielwerte Luftporengehalt

Untergrund	Bodengruppe n. DIN 18196.	Luftporengehalt n_a
Grobkörnige Böden	GW, GI, GE, SW, SE, SI	$\leq 12\%$
Gemischtkörnige Böden	GU, GT, SU, ST, GU*, GT*, SU*, ST*	$\leq 8\%$
Feinkörnige Böden	TL, TM, TA	$\leq 8\%$
Veränderlich feste Gesteine	Ton-, Schluff-, Mergelstein	$\leq 6\%$

Als Schüttmaterial sind alle gemischt- und grobkörnigen Bodenarten geeignet, die die o.g. Anforderungen erfüllen. Sollten feinkörnige Materialien zum Einsatz kommen ist u.U. eine qualifizierte Verbesserung erforderlich. Angaben hierzu sind materialabhängig und können erst bei der Bauausführung erfolgen.

Der Auftragnehmer hat vor Ausführung durch mind. 2 Probefelder nachzuweisen, dass er die o.g. Anforderungen erfüllt.

12. Geotechnische Empfehlungen Stützbauwerke

12.1 Bemessungskennwerte Stützbauwerke

Seitens der Planung werden Flachgründungen für die Stützbauwerke überwiegend ausgeschlossen. Für die Gutachtenerstellung werden deshalb nach Tabelle 1 aufgeführten vorgesehenen Gründungen betrachtet.

Zur Bemessung der Pfahlgründung gelten die folgenden Kennwerte für Einzelpfähle ($a < 2,5 \times D$):

Tabelle 26: Kennwerte zur Bemessung auf Vertikalkräfte

Schichteinheit	$R_{b,k}$ [MN/m ²]	$R_{s,k}$ [MN/m ²]
Verwitterter Sandstein	2,5	0,150
Sandstein	6,0	0,450

Zur Aktivierung der in Tabelle 26 genannten Kennwerte sind die in Tabelle 27 dargestellten Mindestsohliefen einzuhalten. Die Verformung des Untergrunds bei voller

Ausnutzung kann zur Vorbemessung einer Federsteifigkeit mit ca. 1,0 cm angesetzt werden.

Tabelle 27: Voraussichtliche Mindestsohltiefen für Bohrpfähle Stützbauwerke

Bauwerk	m u. GOK	mNHN
BW11	-	122,44 (BK29)
BW12	Flachgründung vorgesehen	
BW13	Flachgründung vorgesehen	
BW14	-	123,53 (BK33)
BW15	-	122,11 (BK39)
BW16	-	122,11 (BK39)
BW17	-	122,33 (BK40)
BW18	-	123,63 (BK2/08)
BW19	-	123,78 (BK49)

Bei den genannten Mindestsohltiefen ist eine Mindesteinbindung in den verwitterten Sandsteinen/Ton- und Mergelsteinen von 2,0 m enthalten, um die Werte für Mantelreibung und Spitzendruck zu aktivieren. In den festen Sandsteinen ist zur Aktivierung der Kennwerte für Mantelreibung und Spitzendruck eine Einbindung von 1,0 m erforderlich.

Die durchgeführten Aufschlüsse decken den Bereich der Linienbauwerke nicht genügend ab. An den Bauwerken BW11, BW16 – BW19 sind ergänzende Aufschlussbohrungen nötig, um genaue Aussagen zur Mindestsohltiefen der jeweiligen Bauwerke angeben zu können.

Zur horizontalen Bettung der Pfähle kann von folgenden Kennwerten ausgegangen werden:

Tabelle 28: Kennwerte zur Bemessung auf horizontale Bettung

Schichteinheit	$E_{s,h,min}$ [MN/m ²]	$E_{s,h,max}$ [MN/m ²]	$E_{s,h,wahrsch}$ [MN/m ²]
Auffüllungen	2,5	10,0	5,0
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	5,0	20,0	10,0
Verwitterter Sandstein	100	200,0	150,0
Sandstein	200,0	300,0	250,0

Zur Bemessung der Pfähle auf horizontalen Lasten kann von einem Bettungsansatz

$$k_{s,h} = E_{s,h} / d, d \leq 1,0 \text{ m}$$

ausgegangen werden.

12.2 Ansatz Negative Mantelreibung

Im Bereich von weichen/breiigen quartären Schichten, in denen die Auffüllung nach Fertigstellung der Bauwerke erfolgt, müssen die Bohrpfähle nach DIN EN 1536 auf negative Mantelreibung bemessen werden.

Bei Schüttung des Straßendamms nach Herstellung der Bauwerke verformt sich im Bereich von weichen/breiigen Schichten der Baugrund und es treten vertikale Relativverschiebungen zwischen Pfahlgründung und Umgebung auf, dadurch wird eine negative Mantelreibung aktiviert. Durch die negative Mantelreibung und den Erddruck auf das Widerlager werden die Pfähle zusätzlich belastet.

Die Baugrunduntersuchung stellte Weichschichten in den Bauwerken BW03, BW04, BW07, BW08, BW11, BW15, BW16 und BW18 fest. Die detaillierten Höhenkoten der Weichschichten können aus der Tabelle 43 entnommen werden. Für die negative Mantelreibung ist $\tau_{n,k} = 17,5 \text{ kN/m}^2$ anzusetzen.

Die Weichschichten haben einen Einfluss auf die Pfahlherstellung. Empfehlungen zur Pfahlherstellung sind im Kapitel 13 genannt.

12.2.1 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW11

Das Bauwerk 11 ist als Stützwand mit Bohrpfahlgründung von ca. 0+840 bis 1+061 Bau-km vorgesehen. Die nachfolgenden Bohrungen liegen im vorher genannten Bau Abschnitt.

Tabelle 29: Maßgebende Bohrungen BW11

Bohrung	Oberkante [m NHN]			Bemerkung
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese	Verwitterter Sandstein	Sandstein	
BK1 (GWM) ca. 0+845	131,66	126,86	-	weiche Auffüllungen und Lehme
BK 2 (DPH 2) ca. 0+850	132,32	124,52	-	von 1,30 m - 5,00 m weiche Schichten
BK 3 (DPH 3) ca. 0+950	131,92	124,52	-	von 3,20 m - 3,60 m weiche Tone, bis 4,50 m hohe Organic mit bis zu 7,63 % Glühverlust
BK 4 (DPH 4) ca. 1+050	132,13	124,83	-	weiche Lehme
BK 26 ca. 1+055	132,16	125,06	-	weiche Lehme
BK 29 ca. 1+060	131,99	124,44	123,59	weiche Lehme

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 30: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW11

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese
Verwitterter Sandstein	124,44 (BK29)
Sandstein	-

Angaben zum Injektionsschleier können aus Kapitel 14 entnommen werden.

12.2.2 BW12

Das Bauwerk 12 ist als Stützwand (Dichtwand) mit einer Flachgründung von ca. 1+065 bis 1+135 Bau-km vorgesehen.

Eine Ausführbarkeit einer Flachgründung ist von den auftretenden Lasten und Setzungsbegrenzungen abhängig. Die geplante Winkelstützmauer liegt derzeit über Geländeoberkante mit einer geplanten Einbindetiefe von ca. 1,00 m und einer Spornbreite von 1,80 m.

Nach derzeitigem Planstand gründet das Bauwerk 12 im Bereich der Auffüllungen. Werden die Auffüllungen nach Kapitel 10.1.3 ausgeführt, kann ein Bemessungswert des Sohlwiderstandes nach DIN 1054 von

$$\sigma_{R,d} = 250,0 \text{ kN/m}^2$$

angenommen werden.

Die angegebenen Bodenpressungen gelten wiederum für die reduzierte Fläche nach DIN 1054.

Bei Erhöhung der Verdichtungsanforderung je Lage auf:

$$\begin{aligned} D_{pr} &\geq 1,0 \\ E_{v2} &\geq 80 \text{ MN/m}^2 \\ E_{v2}/E_{v1} &\leq 2,3 \end{aligned}$$

Kann ein Bemessungswert des Sohlwiderstandes von

$$\sigma_{R,d} = 350,0 \text{ kN/m}^2$$

angenommen werden.

Die angegebenen Bodenpressungen gelten wiederum für die reduzierte Fläche nach DIN 1054.

Es ist zu prüfen, ob durch die Dichtwand/Dichtschleier eine Unstetigkeit der Gründung entsteht (Linienlagerung).

Empfehlungen zur Dichtwand/Dichtschleier können aus Kapitel 14 entnommen werden.

12.2.3 BW13

Das Bauwerk 13 ist als Stützwand (Dichtwand) mit einer Flachgründung von ca. 1+160 bis 1+310 Bau-km vorgesehen.

Eine Ausführbarkeit einer Flachgründung ist von den auftretenden Lasten und Setzungsbegrenzungen abhängig.

Nach derzeitigem Planstand gründet das Bauwerk 13 im Bereich der vorhandenen Auffüllungen. Diese bestehen nach dem Ergebnis der Baugrunduntersuchung aus gemischtkörnige Böden und sind nicht zur Gründung geeignet.

Es muss auf den gewachsenen Lehmen/Sanden gegründet werden. Dies kann z. B. mit Hilfe einer Tieferführung aus Unterbeton (C12/15) ausgeführt werden. Die Auffüllungen sind kurzzeitig standsicher (Dauer < 0,5 h). Somit ist es möglich, den Unterbeton gegen Erdwände einzubringen.

Theoretisch ist es ausreichend, den Unterbeton in den statisch erforderlichen Abmessungen des Fundamentes einzubringen. Durch Nachbruch bzw. technische Randbedingungen (z.B. Grabkurve des Baggers) kann ein jedoch Mehraushub und damit ein Mehrverbrauch an Unterbeton entstehen.

Wenn so vorgegangen wird, kann für die Dimensionierung der Fundamente ein Bemessungswert des Sohlwiderstandes von

$$\sigma_{R,d} = 220,0 \text{ kN/m}^2$$

angenommen werden.

Die angegebenen Bodenpressungen gelten wiederum für die reduzierte Fläche nach DIN 1054.

Es ist zu prüfen, ob durch die Dichtwand/Dichtschleier eine Unstetigkeit der Gründung entsteht (Linienlagerung).

Empfehlungen zur Dichtwand/Dichtschleier können aus Kapitel 14 entnommen werden.

12.2.4 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW14

Das Bauwerk 14 ist als Stützwand mit Bohrpfehlgründung von ca. 1+310 bis 1+332 Bau-km vorgesehen. Die nachfolgenden Bohrungen liegen im vorher genannten Bau Abschnitt.

Tabelle 31: Maßgebende Bohrungen BW14

Bohrung	Oberkante [m NHN]			Bemerkung
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese	Verwitterter Sandstein	Sandstein	
BK33 ca. 1+330	126,13	-	124,53	bei 10,65 m - 10,85 m Kluft 60°-70° sowie schwach verwittert
BK34 ca. 1+340	126,02	-	124,57	Auffüllungen mit bis zu geschätzt 3 % Ziegel, bereichsweise organisch, bei 8,95 m Tongallen, ab 12,80 m schichtweise schwach verwittert

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 32: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW14

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	126,02 (BK34)
Verwitterter Sandstein	-
Sandstein	124,53 (BK33)

12.2.5 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW15

Das Bauwerk 15 ist als Stützwand/Unterführung mit Bohrfahlgründung von ca. 1+355 bis 1+395 Bau-km vorgesehen. Die nachfolgenden Bohrungen liegen im vorher genannten Bau Abschnitt.

Tabelle 33: Maßgebende Bohrungen BW15

Bohrung	Oberkante [m NHN]			Bemerkung
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese	Verwitterter Sandstein	Sandstein	
BK36 ca. 1+353	125,32	124,72	120,67	bei 9,70 m – 14,45 m Tst mit Klufft 80° – 90°
BK37 ca. 1+355 - SO	126,23	-	124,83	8,40 m – 8,60 m Klufft 80° – 90° bei 9,70 m – 14,45 m Tongallen
BK38 ca. 1+387	130,06	124,11	122,06	breiige Lehme
BK39 ca. 1+386 - SO	125,16	124,11	121,36	Weiche bis breiige Auffüllungen

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 34: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW15

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	125,16 (BK39)
Verwitterter Sandstein	124,11 (BK39)
Sandstein	121,36 (BK39)

12.2.6 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW16

Das Bauwerk 16 ist als Stützwand mit Bohrpfehlgründung von ca. 1+395 bis 1+447 Bau-km vorgesehen. Die nachfolgenden Bohrungen liegen im vorher genannten Bau Abschnitt.

Tabelle 35: Maßgebende Bohrungen BW16

Bohrung	Oberkante [m NHN]			Bemerkung
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese	Verwitterter Sandstein	Sandstein	
BK38 ca. 1+387	130,06	124,11	122,06	breiige Lehme
BK39 ca. 1+386 – SO	125,16	124,11	121,36	Weiche bis breiige Auffüllungen
BK40 ca. 1+448 - SO	125,28	124,33	118,78	Auffüllungen bis 6,0 m Mächtigkeit mit bis zu 5 % Fremdbestandteile, bereichsweise organisch, von 9,10 m - 9,85 m frischer Fels, bei 9,85 m - 12,15 m Spalte 90° Öffnungsweite 40 mm, bei 12,15 m Kluft 90°
BK41 ca. 1+452	125,24	124,34	121,04	Auffüllungen bis 6,0 m Mächtigkeit mit bis zu 5 % Fremdbestandteile, bereichsweise organisch, von 6,90 m - 10,20 m wechsellagernd schwach und frischer Fels

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 36: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW16

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese
Verwitterter Sandstein	124,11 (BK39)
Sandstein	120,00 (geschätzt)

12.2.7 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW17

Das Bauwerk 17 ist als Stützwand mit Bohrpfahlgründung von ca. 1+454 bis 1+572 Bau-km vorgesehen. Die nachfolgenden Bohrungen liegen im vorher genannten Bau Abschnitt.

Tabelle 37: Maßgebende Bohrungen BW17

Bohrung	Oberkante [m NHN]			Bemerkung
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese	Verwitterter Sandstein	Sandstein	
BK40 ca. 1+448 - SO	125,28	124,33	118,78	bei 9,85 m - 12,15 m Spalte 90° Öffnungsweite 40 mm, bei 12,15 m Kluft 90°
BK41 ca. 1+452	125,24	124,34	121,04	von 6,90 m - 10,20 m wechsellagernd schwach und frischer Fels
BK42 ca. 1+573 - SO	126,32	-	124,97	bei 7,30 m Kluft 40°, bei 8,70 m Kluft 50°-60°, bei 9,20 m Kluft 70°, bei 9,60 m - 9,90 m Kluft 90°, bei 10,75 m - 10,85 m Tonsteinlagen, bei 10,20 m - 10,60 m Kluft 80°-90°

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 38: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW17

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	125,24 (BK41)
Verwitterter Sandstein	124,33 (BK40)
Sandstein	120,00 (geschätzt)

12.2.8 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW18

Das Bauwerk 18 ist als Stützwand mit Bohrpfahlgründung von ca. 1+579 bis 1+825 Bau-km vorgesehen. Die nachfolgenden Bohrungen liegen im vorher genannten Bau Abschnitt.

Tabelle 39: Maßgebende Bohrungen BW18

Bohrung	Oberkante [m NHN]			Bemerkung
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese	Verwitterter Sandstein	Sandstein	
BK43 ca. 1+580	127,16	-	124,46	Weiche Auffüllungen, bei 10,70 m - 10,90 m 70 % KV, bei 11,20 m - 11,30 m Klufft 90°,
BK 2/08 ca. 1+692	128,93	125,63	-	-
BK1/08 1+813	129,99	126,49	-	Steife bis weiche Auffüllungen, weiche bis breiige Lehme, Spülverlust ab 6,80 m, klüftig bis stark klüftig

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 40: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW18

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	
	Bau-km 1+580 – 1+692	Bau-km 1+692 – 1+813
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	127,16 (BK43)	128,93 (BK2/08)
Verwitterter Sandstein	125,63 (BK2/08)	125,63 (BK2/08)
Sandstein	122,40 (geschätzt)	-

Angaben zum Injektionsschleier können aus Kapitel 13 entnommen werden.

12.2.9 Höhenkoten maßgebende Schichteinheiten BW19

Das Bauwerk 19 ist als Stützwand mit Bohrpfahlgründung von ca. 1+825 bis 2+020 Bau-km vorgesehen. Die nachfolgenden Bohrungen liegen im vorher genannten Bau Abschnitt.

Tabelle 41: Maßgebende Bohrungen BW19

Bohrung	Oberkante [m NHN]			Bemerkung
	Quartäre Lehme, Sande und Kiese	Verwitterter Sandstein	Sandstein	
BK1/08 1+813	129,99	126,49	-	Spülverlust ab 6,80 m, klüftig bis stark klüftig
BK49 ca. 1+945	130,63	125,78	125,18	von 14,10 m - 14,40 m u. GOK Tst
BK50 2+050	130,76	-	127,26	-

Zur Bemessung sind an den einzelnen Achsen die Höhenkoten für die Schichten zur Bemessung wie folgt anzusetzen:

Tabelle 42: Maßgebende Höhenkoten der Schichteinheiten zur Bemessung BW19

Schichteinheit	Oberkante [m NHN]	
	Bau-km 1+813 – 1+945	Bau-km 1+945 – 2+050
Quartäre Lehme, Sande und Kiese	129,99 (BK1/08)	130,63 (BK49)
Verwitterter Sandstein	125,78 (BK49)	125,78 (BK49)
Sandstein	123,00 (geschätzt)	125,18 (BK49)

13. Empfehlungen Bohrpfahlherstellung

13.1.1 Pfahlherstellung

Bei Pfahlsohlen unterhalb des Grundwasserspiegels ist ab dem Grundwasserspiegel mit Wasserauflast zu bohren. Hinsichtlich der Anforderungen an die Ausführung ist die DIN EN 1536 maßgebend.

Die Bohrpfahlwände dienen gleichzeitig als Dichtelement. Deshalb empfehlen wir zur Sicherstellung der Dichtigkeit der Wand eine Fuß- und Mantelverpressung im Fels.

Wie bereits im Kapitel 12.2 erläutert, werden die Bohrpfähle bereichsweise mit einer negativen Mantelreibung belastet.

Bei den Bauwerken in Tabelle 43 empfehlen wir an den jeweiligen Achsen Hüllrohre zur Stützung der Betonsäule in den Weichschichten einzusetzen da sich der c_u -Wert vermutlich im Grenzbereich zu 15 kN/m^2 befindet. Aus geotechnischer Sicht ist es erforderlich, dass die Hüllrohre mindestens $0,50 \text{ m}$ über den hier erkundeten Bereich der Weichschichten hinausgehen.

An den Stützbauwerken ist aufgrund des großen Erkundungsabstandes keine Aussagen zu benötigten Hüllrohren auf der gesamten Strecke möglich. Es wird empfohlen in diesen Bereichen nachzuerkunden.

Tabelle 43: Benötigte Hüllrohre für Pfahlherstellung je Bauwerk

Bauwerk	Achse	Oberkante [mNHN]	Unterkante [mNHN]
BW03	-	GOK	126,15 (BK23)
BW04	-	132,66 (BK26)	126,63 (BK27)
BW07	-	130,36 (BK43)	128,21 (BK43)
BW08	1/2	GOK	127,64 (BK59)
	3	133,77 (BK65)	128,05 (BK63)
BW10	Unklar, BK 5/08 weist weiche Schichten auf, Nacherkundung empfohlen	k. A.	k. A.
BW11	-	k. A.	k. A.
BW15	1+386 – 1+387	130,56 (BK38)	125,36 (BK39)
	Restliches BW	k.A.	k.A.
BW16	1+386 – 1+387	130,56 (BK38)	125,36 (BK39)
	Restliches BW	k.A.	k.A.
BW18	1+580	130,36 (BK43)	128,21 (BK43)
	1+813	130,89 (BK1/08)	127,99 (BK1/08)
	Restliches BW	k.A.	k.A.

13.1.2 Probelastung

Falls Zugpfähle erforderlich werden, können diese mit 75 % der Werten aus Tabelle 7, Tabelle 14 und Tabelle 26 vorbemessen werden. Bei dauerhaft auf Zug beanspruchte Pfähle ist eine Probelastung unerlässlich.

13.1.3 Besondere Maßnahmen

Die in der Gründungssohle anstehende Lehme sind sehr wasserempfindlich, d.h. bei geringen Wassergehaltsänderungen können diese Schichten von einer halbfesten Konsistenz in eine weiche Konsistenz wechseln. Daher ist die Gründungssohle sofort nach dem Aushub vor Wasserzutritte zu schützen, d.h. die Sauberkeitsschicht ist sofort aufzubringen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Lehme, besonders die Weichschichten beim Bohrvorgang soweit aufweichen, dass das Bohrgut behandelt werden muss. Der anfallende Schlamm kann in Schlammmulden getrocknet werden. Die Schlammmulden müssen einen Mindestgrundwasserabstand von 1,00 m einhalten.

14. Empfehlungen zum Injektionsschleier/Dichtwand

Von geschätzt Bau-km 0+840 bis km 1+825 soll der Untergrund mit einem Dichtungselement gegen Grundwasserzutritt versehen werden. Bislang sind aus den Unterlagen folgende Maßnahmen zu erkennen:

Tabelle 44: Baubereiche Dichtelemente

Beginn	Ende	Gepl. Maßnahme
0+840	0+840	Injektionsschleier Bahnquerung
0+840	1+061	BW 11 Bohrpfahlwand
1+065	1+135	BW 12 Dichtwand
1+160	1+310	BW 13 Dichtwand
1+310	1+332	BW 14 Bohrpfahlwand
1+355	1+395	BW 10, BW 15 Bohrpfahlwand
1+395	1+447	BW 16 Bohrpfahlwand
1+454	1+572	BW 17 Bohrpfahlwand
1+579	1+825	BW 18 Bohrpfahlwand
1+825	1+825	Injektionsschleier Bahnquerung

Um den dichten Abschluss zu gewährleisten sind die Dichtungselemente immer bis auf OK Fels zu ziehen. Bei der Bohrpfahlwand ist das durch die Gründung im Buntsandstein mit einer Fuß- und Mantelverpressung gegeben. Für die Gründung ist eine Mindesteinbindung von 2,0 m in den Buntsandstein vorgesehen, damit wird eine sichere Abdichtung des Quartärs erzielt.

Injektionsschleier sind unverrohrte Bohrungen, die mit Niederdruckinjektionen, Manschettenrohren und einer Dichtungssuspension (z.B.) Zement verfüllt bzw. verpresst werden. Dies kann mit entsprechender Bohrtechnik auch im Fels erfolgen. Zur sicheren Abdichtung sind die o.g. 2,0 m Einbindung auch für die Injektionen erforderlich.

Eine Erfolgskontrolle ist bei Niederdruckinjektionen nicht möglich, d.h. es kann nicht sichergestellt werden, dass Lücken im Injektionsschleier verbleiben. Durch einen mehrlagigen Schleier, kann dieses Ausführungsrisiko zwar verringert, aber systembedingt nicht ausgeschlossen werden, da die Ausbreitungswege des Injektionsgutes im Untergrund unbekannt sind.

Eine hohe Ausführungssicherheit bieten konstruktive Bauelemente die in der Ausführung sicher hergestellt werden können (z.B. überschnittene Bohrpfahlwand mit Fuß- und Mantelverpressung, Spundwand mit Fußverpressung). Alternativ können auch Hochdruckinjektionen mit vorhergehender Reichweitenmessung eingesetzt werden. Deren Ausführungsrisiko liegt höher als die o.g. konstruktiven Bauteile, jedoch wesentlich niedriger als die Niederdruckinjektionen.

Der Untergrund ist in seiner Zusammensetzung sehr heterogen. Die Reichweite von Niederdruckinjektionen in Auffüllungen kann nicht abgeschätzt werden. Bindige Bereiche sind per se gering durchlässig, jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass in den bindigen Decklehmen im Bereich der Niederdruckinjektion Sandlinsen vorhanden sind, welche ein horizontales hydraulisches Fenster darstellen. Dass diese Linsen vorhanden sind, wurde z.B. an BK 38 und BK 49 nachgewiesen. Ob diese Sandlinsen mit den Manschettenrohren wirklich erfasst und verfüllt werden, ist aus geotechnischer Sicht zweifelhaft. Dazu müssten die Injektionsöffnungen in den Manschettenrohren in sehr geringen vertikalen Abständen angeordnet werden.

Aus geotechnischer Sicht ist zudem nicht eindeutig, wie beurteilt werden soll, dass genügend Injektionsgut je Öffnung verpresst wurde und dass damit die geplante Abdichtung erzielt wurde. Es ist durch den Planer festzulegen, welche hydraulische Durchlässigkeit dem Element zuzuordnen ist. Üblicherweise werden bei Dichtwänden im Deponiebau k_f Werte $< 10^{-9}$ gefordert. Ob hier eine höhere Durchlässigkeit möglich ist, muss durch den Objektplaner festgelegt werden.

Eine Erfolgskontrolle ist bei solchen Abdichtungsmaßnahmen erst im Belastungsfall (Hochwasser) möglich. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass bei unerkannten Lücken im System sich sehr starke hydraulische Gradienten ausbilden können, die dann unerwünschte Effekte wie z.B. Piping, rückschreitende Erosion und letztendlich einen hydraulischen Grundbruch zur Folge haben.

Wir empfehlen deshalb Dichtungselemente zu wählen die eine hohe Ausführungssicherheit haben.

15. Empfehlungen zur Gabionenwand

Im Bereich von ca. Bau-km 1+050 – 1+150 ist eine Gabionenwand zur Stützung des Dammes vorgesehen. Die mittlere Stützhöhe beträgt ca. 2,50 m.

Bei der Planung und Ausführung der Gabionenwand ist das „Merkblatt über Stütz- und Lärmschutzkonstruktionen aus Betonelemente, Blockschichtungen oder Gabionen“ M Gab (2014) und die „Technischen Lieferbedingungen für Gabionen im Straßenbau“ TL Gab-StB (16/23) zu beachten.

Demnach ist auf dem Planum/der Gründungssohle mindestens ein E_{v2} -Wert von 45 MN/m² einzuhalten. Das Verfüllmaterial muss frost- und witterungsbeständig sein. Für das Hinterfüllmaterial gelten die Anforderungen gemäß ZTV E-Stb bzw. das „Merkblatt über den Einfluss der Hinterfüllung auf Bauwerke“.

Gem. den Untersuchungen ist nicht zu erwarten, dass diese Werte erreicht werden. Es ist daher analog dem Straßenbau vorzugehen.

16. Geotechnische Empfehlungen Retentionsflächen

Um eine ausreichende Standsicherheit auch im Falle eines Hochwasserfalles und Absenkung der Retentionsflächen zu gewährleisten, sind die Böschungen in den Lehmen 1:2 und in den Sanden 1:4 auszuführen.

17. Versickerungsfähigkeit/Entwässerungsfähigkeit

Die hydraulische Durchlässigkeit der verschiedenen Schichten kann aus der Tabelle 7 sowie Tabelle 45 entnommen werden.

Nach DIN 18130 kann in Abhängigkeit des Durchlässigkeitsbeiwertes folgende Durchlässigkeit abgeleitet werden.

Tabelle 45: Versickerungsfähigkeit/Entwässerungsfähigkeit der Schichten

Baugrund	Hydr. Durchlässigkeit k_r [m/s]	Bereich nach DIN 18130	Entwässerungsfähigkeit
Auffüllungen	10^{-8} bis 10^{-6}	schwach durchlässig	gering
Quartäre Lehme weich	unter 10^{-8}	sehr schwach durchlässig	sehr gering
Quartäre Lehme steif - halbfest	unter 10^{-8}	sehr schwach durchlässig	sehr gering
Quartäre Sande/Kiese locker - mitteldicht	10^{-6} bis 10^{-4}	durchlässig	moderat
Verwitterter Sandstein	10^{-6} bis 10^{-4}	durchlässig	moderat
Sandstein	10^{-8} bis 10^{-6}	schwach durchlässig	gering

18. Bewertung orientierende abfalltechnische Untersuchungen

Auffüllungen EBV

In der Tabelle 6 sind die Klassen der Ersatzbaustoffe aufgeführt. Bodenmaterial der Klasse BM-0 kann in technischen Bauwerken uneingeschränkt verwertet werden. Für die Baustoffe der Klassen BM-0* bis BM-F3 sind in den Tabellen 5 bis 8 der EBV, Anlage 2 die Verwertungsmöglichkeiten aufgeführt. Dabei wird nur die umwelttechnische, nicht die bautechnische Eignung bewertet.

Die Mischprobe MP 1 BK 3 – 5 (0,02 – 1,1 m) charakterisiert Gleisschotter. Aufgrund der gleisfernen Lage unter einer geschlossenen Grasnarbe wurden keine Untersuchungen auf Herbizide nach EBV durchgeführt. Reiner Gleisschotter ist gemäß EBV nicht als Ersatzbaustoff Bodenmaterial, sondern als GS (Gleisschotter) zu verwerten. Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen hält das Material die Grenzwerte für GS-0 ein. Verwertungsmöglichkeiten ergeben sich aus der Tabelle 9 der EBV, Anlage 2. Bauzeitlich müssen Gleisschottermaterialien auf den Parameterumfang der EBV für den Baustoff GS inkl. Herbizide analysiert werden.

An der Mischprobe MP 14BK 31+32+34 (0,15 – 1,5 m) aus Auffüllungen mit Asphaltresten wurde ein PAK-Gehalt größer dem Grenzwert für BM-F3 gemäß EBV festgestellt. Orientierend auf Grundlage der Analytik nach EBV in der Feinfraktion < 2 mm ist das Material als DKI gemäß DepV einzustufen. **Für eine endgültige Deklaration sind die Parameter der DepV in der Gesamtfraction laboranalytisch zu untersuchen.**

19. Geotechnische Klassifizierung

Nach der aktuellen Norm (VOB/C, September 2016) sind die bekannten Bodenklassen (z.B. DIN 18300 u. a.) durch Homogenbereiche ersetzt worden. Homogenbereiche sind z. B. in DIN 18300 definiert als:

„[...] ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für Erdarbeiten vergleichbare Eigenschaften aufweist.“

Für das geplante Bauvorhaben wird davon ausgegangen, dass nur Homogenbereiche für das/die folgenden Gewerke anzugeben sind:

- ATV DIN 18320 „Landschaftsbauarbeiten“
- ATV DIN 18300 „Erdarbeiten“
- ATV DIN 18301 „Bohrarbeiten“
- ATV DIN 18303 „Verbauarbeiten“ (siehe ATV DIN 18300)

19.1 Schichteinteilung

Bei der Festlegung der Homogenbereiche wird die in nachfolgender Tabelle zusammengestellte Schichteinteilung verwendet. Der Aufbruch von Verkehrsflächen ist in einer gesonderten Position auszuschreiben.

Tabelle 46: Schichteinteilung

Schicht-Nr.	Bodenschichtung	Einstufung	
		Boden	Fels
1	Oberboden	x	
2	Auffüllungen	x	
3	Quartäre Lehme	x	
4	Quartäre Kiese und Sande	x	
5	Unterer Buntsandstein		x

Die Homogenbereiche werden wie folgt definiert:

Tabelle 47: Festlegung Homogenbereiche

Schicht-Nr.	Homogenbereich nach DIN 18320	Homogenbereich nach DIN 18300	Homogenbereich nach DIN 18301
1	HOB1		
2	-	HEB1	HBB1
3	-	HEB2	HBB2
4	-	HEB3	HBB3
5	-	HEF1	HBF1

Da es sich bei Schicht 2 um Auffüllungen handelt, sind diese gesondert zu behandeln (siehe hierzu Kapitel 9.3).

Die endgültigen Homogenbereiche sowie ggf. erforderliche Homogenbereiche für weitere Gewerke sind im weiteren Verlauf der Planungen in enger Abstimmung zwischen den Fachprojektanten und GMP festzulegen.

Die angegebenen Grenzwerte der nachfolgenden Tabellen ergeben sich aus den Ergebnissen der Laborversuche sowie der Auswertung von zahlreichen Versuchen in vergleichbaren geologischen Verhältnissen. Unter Berücksichtigung der Entstehungsgeschichte sowie durch äußere Einflüsse (z.B. Witterungsverhältnisse) können Abweichungen nach oben wie unten nicht ausgeschlossen werden.

19.2 Zahlenwerte Homogenbereiche DIN 18320

Oberboden wird hinsichtlich der Bearbeitbarkeit nach DIN 18915 in Oberbodengruppen eingeteilt. Die Ausschreibung erfolgt nach DIN 18320.

Tabelle 48: Homogenbereiche Boden entsprechend VOB DIN 18320

Homogenbereich	HOB 1	
Schicht-Nr.	1	
Eigenschaft / Kennwert	von	bis
Ortsübliche Bezeichnung	Oberboden	
Bodengruppe (DIN 18196)	OU/OH	
Bodengruppe (DIN 18915)	4, 5	
Massenanteil Steine, D > 63 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	0	nb
Massenanteil Blöcke, D > 200 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	0	nb
Masseanteil große Blöcke, D > 630 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	nb	

nb: nicht bestimmt, nicht bestimmbar

kursiv: Erfahrungswert, Schätzwert, oder indirekt bestimmt

19.3 Zahlenwerte Homogenbereiche DIN 18300

Infolge der Abhängigkeit der Homogenbereiche von den Bauverfahren können diese nur soweit eingeteilt werden, als sie zum Zeitpunkt der Baugrunduntersuchung und Gutachtenerstellung bekannt sind.

Bei der vorgenommenen Einteilung der Homogenbereiche werden folgendes Vorgehen und folgende Planungsgrundlagen vorausgesetzt:

- Einsatz eines Kettenbaggers von ca. 20 bis 30 t Betriebsgewicht (z.B. Liebherr R 920)
- Ausreichend Flächen zur Zwischenlagerung des Aushubs sind vorhanden.
- Kontinuierliche geotechnische Fachbetreuung zur Separation des Aushubs.
- Fräse, z.B. Stehr Fräse SBF 24-2
- Anbaufräse, z.B. MTS-Bodenrecycler B180-3

19.3.1 Boden

Tabelle 49: Homogenbereiche Boden entsprechend VOB DIN 18300

Homogenbereich	HEB 1		HEB 2		HEB3	
	2		3		4	
Schicht-Nr.						
Eigenschaft / Kennwert	von	bis	von	bis	von	bis
Ortsübliche Bezeichnung	Auffüllungen		Quartäre Lehme		Quartäre Kiese und Sande	
Bodengruppe (DIN 18196)	Alle grob-, gemischt- und feinkörnigen Böden nach DIN 18196		TM, TL, TA		SU*/ST*, GU/GT, SU/ST, GU*/GT*, SE, GW, GI	
Korngrößenverteilung (DIN 17892)	Körnungsband 1 (siehe Anlage 20.1)		Körnungsband 2 (siehe Anlage 20.2)		Körnungsband 3 (siehe Anlage 20.3)	
Massenanteil Steine, D > 63 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	0	60	0	0	0	70
Massenanteil Blöcke, D > 200 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	0	40	0	0	0	60
Masseanteil große Blöcke, D > 630 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	nb		nb		nb	
Dichte [g/cm³] (DIN 18125-2)	1,7	1,9	1,8	2,1	1,8	2,1
undrainierte Scherfestigkeit [kN/m²] (DIN 4094-4)	nb		30	300	nb	
Wassergehalt [-] (DIN EN ISO 17892-1)	0,10	0,35	0,15	0,60	0,01	0,25
Plastizitätszahl [-] (DIN EN ISO 17892-12)	nb		0,05	0,45	nb	
Konsistenzzahl [-] (DIN EN ISO 17892-12)	nb		0,20	1,25	nb	
Lagerungsdichte ¹⁾ [-] (DIN EN ISO 14688-2)	locker	sehr dicht	---		m.dicht	dicht
Organischer Anteil [Gew. %] (DIN 18128)	0	5	0	10	0	3

¹⁾ indirekt bestimmt über Rammsondierungen

nb: nicht bestimmt, nicht bestimmbar

kursiv: Erfahrungswert, Schätzwert, oder indirekt bestimmt

19.3.2 Fels

Tabelle 50: Homogenbereiche Fels entsprechend VOB DIN 18300

Homogenbereich	HEF 1	
Schicht Nr.	5	
Eigenschaft/Kennwert	von	bis
Ortsübliche Bezeichnung	Unterer Buntsandstein	
Benennung von Fels (DIN EN ISO 14689)	Sandstein, Tonstein, Sedimentgestein, klassisch, ferritisch, quarzitisches gebunden, Tonminerale	
Dichte (DIN EN ISO 17892-1) [g/cm³]	2,1	2,45
Verwitterung und Veränderung, (DIN 14689)	frisch	angewittert
Veränderlichkeit (DIN 14689)	stark veränderlich (Tonstein)	nicht veränderlich (Sandstein)
einaxiale Druckfestigkeit (DIN 18141-1) [N/mm²]	5,0	100,0
Trennflächenrichtung ¹⁾ (DIN EN ISO 14689) [°]	0	30
Trennflächenabstand (DIN EN ISO 14689) - Schichtflächenabstand - Klufflächenabstand	fein laminiert sehr engständig	dick Sehr weitständig
Gesteinskörperform (DIN EN ISO 14689)	tafelförmig	gleichmäßig

¹⁾ Klufflächenabstand mit den durchgeführten Aufschlüssen nicht bestimmbar

nb: nicht bestimmt, nicht bestimmbar

kursiv: Erfahrungswert, Schätzwert, oder indirekt bestimmt

19.4 Zahlenwerte Homogenbereiche DIN 18301

19.4.1 Boden

Tabelle 51: Homogenbereiche Boden entsprechend VOB DIN 18301

Homogenbereich	HBB 1		HBB 2		HBB3	
	2		3		4	
Schicht-Nr.						
Eigenschaft / Kennwert	von	bis	von	bis	von	bis
Ortsübliche Bezeichnung	Auffüllungen		Quartäre Lehme		Quartäre Kiese und Sande	
Bodengruppe (DIN 18196)	Alle grob-, gemischt- und feinkörnigen Böden nach DIN 18196		TM, TL, TA		SU*/ST*, GU/GT, SU/ST, GU*/GT*, SE, GW,	
Korngrößenverteilung (DIN 18123)	Körnungsband 1 (siehe Anlage 20.1)		Körnungsband 2 (siehe Anlage 20.2)		Körnungsband 3 (siehe Anlage 20.3)	
Massenanteil Steine, D > 63 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	0	60	0	0	0	70
Massenanteil Blöcke, D > 200 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	0	40	0	0	0	60
Masseanteil große Blöcke, D > 630 mm [Gew. %] (DIN EN ISO 14688-1)	nb		nb		nb	
Kohäsion [kN/m ²] (DIN 18137)	nb		2,5	50	0	5,0
undrainierte Scherfestigkeit [kN/m ²] (DIN 4094-4)	nb		30	300	nb	
Wassergehalt [-] (DIN EN ISO 17892-1)	0,10	0,35	0,15	0,60	0,01	0,25
Plastizitätszahl [-] (DIN EN ISO 17892-12)	nb		0,05	0,45	nb	
Konsistenzzahl [-] (DIN EN ISO 17892-12)	nb		0,20	1,25	nb	
Lagerungsdichte ¹⁾ [-] (DIN EN ISO 14688-2)	locker	sehr dicht	---		m.dicht	dicht
Abrasivität (NF-P 18-579)	Schwach	Stark	Kaum	Schwach	Schwach	Extrem ab- rasiv

¹⁾ indirekt bestimmt über Rammsondierungen

nb: nicht bestimmt, nicht bestimmbar

kursiv: Erfahrungswert, Schätzwert, oder indirekt bestimmt

19.4.2 Fels

Tabelle 52: Homogenbereiche Fels entsprechend VOB DIN 18301

Homogenbereich	HBF 1	
Schicht Nr.	5	
Eigenschaft/Kennwert	von	bis
Ortsübliche Bezeichnung	Unterer Buntsandstein	
Benennung von Fels (DIN EN ISO 14689)	Sandstein, Tonstein, Sedimentgestein, klas- tisch, ferritisch, quarzitisches gebunden, Ton- minerale	
Verwitterung und Veränderung, (DIN 14689)	frisch	angewittert
Veränderlichkeit (DIN 14689)	stark veränderlich (Tonstein)	nicht veränderlich (Sandstein)
einaxiale Druckfestigkeit [N/mm ²] (DIN 18141-1)	5,0	100,0
Trennflächenrichtung ³⁾ [°] (DIN EN ISO 14689)	0	30
Trennflächenabstand (DIN EN ISO 14689) - Schichtflächenabstand - Klufflächenabstand	fein laminiert sehr engständig	dick Sehr weitständig
Gesteinskörperform (DIN EN ISO 14689)	tafelförmig	gleichmäßig
Abrasivität ⁵⁾ (NF P94-430-1)	schwach abrasiv	stark abrasiv

¹⁾ atmosphärisch

²⁾ unter Wasserabdeckung

³⁾ Klufflächenabstand mit den durchgeführten Aufschlüssen nicht bestimmbar

⁴⁾ K/S Hauptklüftung/Schichtflächen, nur Fallwinkel, Fallrichtung nicht bestimmbar

K/K: Hauptklüftung/Nebenklüftung, nur Fallwinkel, Fallrichtung nicht bestimmbar

⁵⁾ Klassifizierung gem. Empfehlung Nr. 23 des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der DGGT

nb: nicht bestimmt, nicht bestimmbar

kursiv: Erfahrungswert, Schätzwert, oder indirekt bestimmt

20. Zusammenfassung und weitergehende Empfehlungen

20.1 Zusammenfassung

Das staatliche Bauamt Aschaffenburg plant auf einer Länge von ca. 3.000 m (Station 0+000 bis 3+000) die Verlegung der Staatsstraße 2315 in Stadtprozelten auf das Mainvorland.

Die neue Lage befindet sich zwischen Main und der bestehenden Bahnlinie Miltenberg-Wertheim. Im Zuge dieses Straßenneubaus sind der Neubau einer Hochwasserschutzwand und eines Hochwasserschutzdammes zwischen Main und neuer Straße, der Bau von Anbindungs- und Überführungsbauwerken an die bestehende Staatsstraße und der Neubau mehrerer Personenunterführungen erforderlich.

Nach der Geologischen Karte von Bayern steht im Untergrund das Festgestein des Unteren Buntsandstein der Miltenberg-Formation an. Nach dem Ergebnis der Baugrunduntersuchungen wird das Festgestein von quartären Schichten und Auffüllungen überlagert. Bereichsweise wurde Oberboden oder die Oberflächenbefestigung als geländeabschließende Schicht erkundet.

Seitens der Planung werden Flachgründungen für die Erweiterung der Bestandsbauwerke oder Stützbauwerke überwiegend ausgeschlossen. Für die Gutachtenerstellung werden deshalb Tiefgründungen mittels Ortbetonbohrpfähle betrachtet.

Für die vorgesehenen Gründungsvarianten der Bauwerke wurden die notwendigen geotechnischen Kennwerte und Hinweise gegeben.

Planungsempfehlungen können aus dem Kapitel 20.3 entnommen werden.

20.2 Empfehlungen zur weiteren Erkundung

Für endgültige Empfehlungen zu den Stützbauwerken sind an den Bauwerken BW11 und BW16 – BW19 ergänzende Aufschlussbohrungen erforderlich. Die vorhandenen Aufschlüsse decken die Linienbauwerke nicht ausreichend ab um Aussagen zu der Ausbildung der Felsschichten und zu erwartenden Höhenkoten machen zu können. Felsprünge können nicht ausgeschlossen werden.

Im Bereich BW 10 wurden bei den Erkundungen im Jahr 2008 in den Auffüllungen Weichschichten angetroffen, die mit den neueren Erkundungen nicht bestätigt wurden. Wir empfehlen in diesem Bereich eine genauere Erkundung durchzuführen um diesen Widerspruch aufzuklären.

Zusätzlich müssen die Abdichtungsabschnitte im Bereich der Gleisquerung vollständig erkundet werden.

20.3 Planungsempfehlungen

Es werden Mitnahmesetzungen infolge der Aufschüttung auf den Bahndamm erwartet. Da die Anforderungen der DB für eine zulässige Größe der Mitnahmesetzungen nicht bekannt ist, wurden deshalb auch keine Maßnahmen zur Reduzierung der Setzungsbeträge genannt. Es ist mit der DB Netz AG abzustimmen welche Setzungsbeträge zulässig sind und welche Maßnahmen daraus resultieren.

Bislang wurden die Setzungsberechnungen nach sehr vereinfachten Methoden durchgeführt wie sie für übliche Anwendungen ausreichend sind. Falls im Bereich der Anschüttung genauere Vorgaben (z.B. Konsolidierungszeiten, abschnittsweises Schütten usw.) erforderlich sind um Baukosten für Ertüchtigungsmaßnahmen einzusparen oder zu begründen sind, empfehlen wir Berechnungen mit Hilfe von der Finite-Element-Methode. Mit diesem Vorgehen kann die Interaktion Bauwerk-Baugrund über einen Zeitraum detaillierter prognostiziert werden. Besonders im Bereich des Bauwerks 8 liegen aufgrund der mächtigen Weichschichten komplexe Verhältnisse vor, die untersucht werden müssen.

Sollen weitere Berechnungen durchgeführt werden, sind zusätzliche Bodenkennwerte nötig (undrainierte Scherfestigkeit). Hierfür werden Laborversuche und ggf. weitere Erkundungen erforderlich.

Allgemein sind die Weichschichten maßgebend für die zu erwartenden Setzungen aus der Dammschüttung. Diese Setzungen werden erst nach mehreren Monaten abgeklungen sein. Dies ist bei der weiteren Planung zu berücksichtigen.

Vor Ausführung der Aufschüttungen sind Setzungspegel zu setzen und der Setzungsverlauf zu beobachten. Erst nach Abklingen der Setzungen kann der Bau der Bauwerke beginnen.

Daueranker sind aufgrund der kalklösenden Kohlensäureangriffs XA2 nicht zulässig.

Im Bereich von weichen/breiigen quartären Schichten, in denen die Auffüllung nach Fertigstellung der Bauwerke erfolgt, müssen die Bohrpfähle nach DIN EN 1536 auf negative Mantelreibung bemessen werden.

Die Bohrpfahlwände dienen gleichzeitig als Dichtelement. Deshalb empfehlen wir zur Sicherstellung der Dichtigkeit der Wand eine Fuß- und Mantelverpressung im Fels.

Eine Erfolgskontrolle des Injektionsschleiers/Dichtwand ist erst im Belastungsfall (Hochwasser) möglich. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass bei unerkannten Lücken im System sich sehr starke hydraulische Gradienten ausbilden können, die dann unerwünschte Effekte wie z.B. Piping, rückschreitende Erosion und letztendlich einen hydraulischen Grundbruch zur Folge haben. Wir empfehlen deshalb Dichtungselemente zu wählen die eine hohe Ausführungssicherheit haben.

Es wurden bislang die Homogenbereiche für Erdarbeiten (DIN 18300) und Bohrarbeiten (DIN 18301) angegeben, da aus der Planung bislang nur diese Arbeiten ersichtlich sind. Falls andere Bauverfahren geplant werden, ist eventuell die Angabe von weiteren Homogenbereichen erforderlich.

20.4 Hinweise für Planung, Ausschreibung und Durchführung der Entsorgungsmaßnahmen

Hinsichtlich der Planung, Ausschreibung und Durchführung der Aushubmaßnahme empfehlen wir folgende Vorgehensweise:

- Hinweis auf den orientierenden Charakter der durchgeführten abfalltechnischen Untersuchungen und die Beschränkung auf die untersuchten Materialien
- Berücksichtigen von Entsorgungspositionen für Ausbauasphalt ohne Verunreinigungen gem. LfU-Merkblatt 3.4/1, gering verunreinigten Straßenaufbruch gem. LfU-Merkblatt 3.4/1, pechhaltiger Straßenaufbruch gem. LfU-Merkblatt 3.4/1, als gefährlicher Abfall einzustufender pechhaltiger Straßenaufbruch gem. LfU-Merkblatt 3.4/1, für Materialien der Klassen BM-0, BM-0*, BM-F0* sowie BM-F1 bis BM-F3 gemäß EBV, sowie für Materialien der Deponieklassen DK0 und DK1 gemäß DepV bei der Ausschreibung
- Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse der orientierenden abfalltechnischen Einstufung bei der Gewichtung der Aushubmassen je Entsorgungsposition
- Angabe der geplanten Entsorgungswege für sämtliche Zuordnungs- bzw. Deponieklassen durch die Bieter bereits bei der Angebotsabgabe
- Für alle im Entsorgungskonzept genannten Entsorgungsstellen sollten zur Überprüfung der Zulässigkeit des Entsorgungsweges folgende Unterlagen beigelegt sein:
 - Bezeichnung der Entsorgungsstelle mit Anschrift
 - Art der geplanten Entsorgung (z.B. Entsorgung auf einer Deponie, Verwertung als Deponieersatzbaustoff usw.)
 - Vollständiger Genehmigungsbescheid mit dem Positivkatalog der zugelassenen Abfallarten, Annahmekriterien der Entsorgungsstelle sowie gegebenenfalls Einzelfallentscheidungen der zuständigen Behörden
 - Annahmeerklärung des Entsorgers für die im Leistungsverzeichnis genannten Abfälle
- Prüfung der Zulässigkeit der Entsorgungswege bis spätestens zur Auftragserteilung
- Entsorgung/Verwertung der Aushubmaterialien durch einen zertifizierten Entsorgungsfachbetrieb gemäß § 52 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG).
- Aushubüberwachung durch eine verantwortliche Person zur Gewährleistung einer gleichbleibenden Zusammensetzung der Aushubmaterialien.

- Abstimmung mit Betreiber der geplanten Entsorgungsstelle und gegebenenfalls mit der zuständigen Fachbehörde ob für die abfalltechnische Einstufung der Aushubmaterialien die vorliegenden in-situ-Untersuchungen zumindest in Teilbereichen ausreichend sind.
- Verbindliche abfalltechnische Deklaration der Aushubmaterialien über Haufwerksuntersuchung (empfohlenes Mietenvolumen maximal 500 m³), wenn von der geplanten Entsorgungsstelle die vorliegenden in-situ Ergebnisse nicht anerkannt werden, oder eine Untersuchung behördlich im Einzelfall gefordert wird.

In Auffüllungsmaterialien wurden teilweise bodenfremde Bestandteile (Fremdbestandteile) festgestellt. Allein das Vorhandensein bestimmter Fremdbestandteile (z.B. Asphaltdeckenreste) kann zu einer schlechteren abfalltechnischen Einstufung oder einem anderen Entsorgungsweg führen. Dies ist im Zweifelsfall mit der konkreten Entsorgungsstelle im Vorfeld der Aushubmaßnahme abzuklären.

Die Untersuchungen erfolgten unter den im Bericht genannten Bedingungen auf Grundlage der zum Zeitpunkt der Untersuchung geltenden Kenntnisse, Vorschriften und Normen. Trotz sorgfältiger Vorgehensweise kann das Vorhandensein weiterer schadstoffhaltiger Materialien nicht ausgeschlossen werden. Eine Haftung aufgrund nicht identifizierter schadstoffhaltiger Materialien wird ausgeschlossen.

Ergeben sich im Zuge der Erdbauarbeiten Hinweise auf weitere Schadstoffbefunde wird empfohlen, GMP hinzuziehen.

20.5 Empfehlungen zur geotechnischen Überwachung

Bei der umfangreichen und komplexen Baumaßnahme sollte der Baugrundgutachter bei der weiteren Planung mit eingeschaltet werden.

In der Bauphase muss der Baugrundgutachter zur Festlegung von Pfahl-tiefen und Gründungssohlen mit herangezogen werden. Die Untergrundverhältnisse, die im Geotechnischen Bericht angenommen wurden, sind bei der Bauausführung zu bestätigen.

Der Gutachter ist zur Überprüfung der Tragfähigkeit des Planums und der Frostschutzschicht und zur genauen Angabe von notwendigen Stabilisierungsmaßnahmen mit heranzuziehen. Die Überprüfung muss durch Plattendruckversuche erfolgen, die an repräsentativ ausgewählten Stellen auszuführen sind. Zusätzlich ist das Planum mit beladenen Lkw abzufahren (proof-rolling), um gegebenenfalls vorhandene Schwachstellen bzw. Bereiche unterschiedlicher Tragfähigkeit eingrenzen zu können.

20.6 Empfehlungen zur umwelttechnischen Überwachung

Die Aushubmaßnahme ist durch eine verantwortliche Person fachtechnisch zu begleiten, um eine ordnungsgemäße Verwertung der Aushubmaterialien zu gewährleisten.

Die abfalltechnischen Empfehlungen in Kapitel 20.4 sind zu beachten. Für Aushubmaterialien ist im Vorfeld mit der geplanten Entsorgungsstelle und gegebenenfalls der zuständigen Fachbehörde abzustimmen, ob die vorliegenden in-situ-Ergebnisse zumindest in Teilbereichen für eine abfalltechnische Einstufung ausreichend sind.

Bei Nichtbeachtung der abfalltechnischen Empfehlungen kann es zu Bauverzögerungen und Kostenmehrungen kommen.

Bei der Beprobung über Haufwerke ist bei der Planung der Baustellenlogistik zu berücksichtigen, dass für die chemische Analytik ein Zeitaufwand von sechs bis sieben Werktagen benötigt wird. Bis zum Vorliegen der Analyseergebnisse darf dann das Haufwerk nicht mehr durch weitere Anschüttungen oder Abgrabungen verändert werden.

Die Untersuchungen erfolgten unter den im Bericht genannten Bedingungen auf Grundlage der zum Zeitpunkt der Untersuchung geltenden Kenntnisse, Vorschriften und Normen. Trotz sorgfältiger Vorgehensweise kann das Vorhandensein weiterer schadstoffhaltiger Materialien nicht ausgeschlossen werden. Eine Haftung aufgrund nicht identifizierter schadstoffhaltiger Materialien wird ausgeschlossen.

Ergeben sich im Zuge der Erdbauarbeiten Hinweise auf weitere Schadstoffbefunde wird empfohlen, GMP hinzuziehen.



Dr.-Ing. H.-J. Franke
(Geschäftsführer)



M.Sc. B. H. La
(Projektleiterin Geotechnik)



M. Sc. Geoökol. S. Weber
(Projektleiter Umwelttechnik)

Verteiler:

Stadt Stadtprozelten (2x Schriftform, 1x digital)
IB Schlegel (1x digital)