



IP Elsbachtal - Jüchen: B 59, AS Elsbachtal

Gutachten
über die Baugrundverhältnisse



Projektbezeichnung: IP Elsbachtal - Jüchen: B 59, AS Elsbachtal
Gutachten über die Baugrundverhältnisse

Auftraggeber: RWE Power AG
Gebirgs- und Bodenmechanik
Zum Gut Bohlendorf
50126 Bergheim

Ansprechpartner: Herr Steinbusch, Herr Jansen

Rahmenbestellung Nr. 4900083308-R4-564

Bestelldatum: -

Auftragnehmer: Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH
Neuenhofstraße 112
52078 Aachen

Projektbearbeiter: Dipl.-Geol. S. Krings

Projektnummer: 20.104

Berichtsdatum: 26.06.2023

Berichtsumfang: 25 Seiten (einschließlich Deckblatt und Inhaltsverzeichnis)
7 Anlagen



Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1
1.1	Vorgang, Aufgabenstellung	1
1.2	Bauvorhaben	1
1.3	Verwendete Unterlagen	1
2	Durchgeführte Untersuchungen.....	2
3	Baugrund	3
3.1	Morphologie.....	3
3.2	Geologie	3
3.3	Erdbebeneinwirkungen, aktive Störungen	4
3.4	Grundwasser	6
3.5	Bodenfestigkeit, Tragfähigkeit	8
3.6	Bodenklassifizierung, Wasser- und Frostempfindlichkeit	8
3.7	Mittlere Bodenkennwerte	9
3.8	Homogenbereiche	9
3.9	Ramm- und Bohrbarkeit	10
4	Gründung der Brücke	11
4.1	Geplante Gründungstiefen, Gründungsboden.....	11
4.2	Empfehlung zur Gründung	11
4.3	Setzungen	12
5	Hinweise für die Bauausführung.....	13
5.1	Anlage der Straße	13
5.2	Wasserhaltung	15
5.3	Baugrubenböschungen / Verbau	15
5.4	Erdarbeiten / Aushubsohle / Wiederverwendbarkeit des Aushubs.....	15
5.5	Chemische Beschaffenheit des Bodenaushubs	16
5.6	Hinterfüllung	17
5.7	Dammschüttungen	18
5.8	Standsicherheit von Böschungen, zulässige Neigungen.....	19
5.9	Versickerung von Niederschlagswässern	20
6	Allgemeine Hinweise	20



Anlagenverzeichnis

Anl. 1	Lageplan M. 1 : 2.500 mit Eintragung aller Bodenaufschlüsse und Schnittführungen
Anl. 2	Geologische Schnitte durch den Baugrund
Anl. 2.1	Schnitt 1, M.d.L. 1 : 1.000; M.d.H. 1 : 100
Anl. 2.2	Schnitte 2 und 3, M.d.L. 1 : 200; M.d.H. 1 : 100
Anl. 3.1 - 3.12	Bohrprofile der Kleinrammbohrungen
Anl. 4.1 - 4.8	Dokumentation Drucksondierungen
Anl. 5	Versickerungsversuche in Bohrlöchern
Anl. 6.1 - 6.4	Kornverteilungskurven
Anl. 7	Dokumentation der chemischen Analysen nach Ersatzbaustoffverordnung



1 Allgemeines

1.1 Vorgang, Aufgabenstellung

Für den geplanten Industriepark Elsachtal in Jüchen und Grevenbroich ist der Neubau einer Ausfahrt von der B 59 (ehem. A 540) geplant (Lage s. Anl. 1). In dem Zuge sind ein Brückenbauwerk zur Unterführung unter die B 59 sowie eine Versickerungsmulde vorgesehen.

Das Geotechnische Büro wurde von der RWE Power AG mit Untersuchungen hierfür beauftragt.

Im vorliegenden Bericht werden folgende Punkte bearbeitet:

- Auswertung und Darstellung der Baugrunderkundungen,
- Angabe der Bodenklassen gemäß DIN 18300 (2012) und Bodengruppen nach DIN 18196,
- Angabe der Homogenbereiche nach DIN 18300 (08/2015),
- Angabe der maßgebenden bodenmechanischen Kennwerte (Rechenwerte),
- Angaben zur hydrogeologischen Situation,
- Angaben zur Wiederverwendbarkeit / Entsorgung des Bodenaushubs,
- Empfehlungen zur Gründung,
- Angaben zur Versickerungsfähigkeit der oberflächennahen Bodenschichten,
- Hinweise zur Bauausführung.

1.2 Bauvorhaben

Zum Brückenbauwerk „Unterführung unter die B 59“ (Variante 2) liegt noch keine konkrete Planung vor. Es kreuzt die B 59 senkrecht. Die B 59 verläuft in Dammlage.

Die Variante 1 „Überführung über die B 59“ wird von RWE als unwahrscheinlich angesehen und wird hier nur am Rand mit betrachtet.

Die Nutzbreite der Brückenplatte zwischen den Geländern beträgt ca. 20 m, die lichte Weite zwischen den Widerlagern 14 m, die lichte Höhe mind. 4,7 m.

1.3 Verwendete Unterlagen

- Lageplan 1 : 2.500 und Höhenplan Achse 100 (RWE Power AG),



- Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH (2020): Industriepark Elsbachtal, Jüchen / Grevenbroich - Orientierende Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung,
- Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH (2021): Industriepark Elsbachtal in Jüchen und Grevenbroich: Untersuchung der oberflächennah anstehenden Bodenschichten hinsichtlich der Möglichkeit zur Versickerung von Niederschlagswässern,
- Geologische Karte NRW 1 : 100.000 (GK 100), Blatt C 5102 Mönchengladbach,
- DWA-Arbeitsblatt A 138 (2005): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser,
- DWA-Merkblatt M 153 (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser.
- Archiv des Geotechnischen Büros.

2 Durchgeführte Untersuchungen

In der 18. KW 2023 wurden folgende Untersuchungen ausgeführt:

- 12 Kleinrammbohrungen (KRB), Einzelteufen zwischen 6 und 10 m, Σ 104 m, s. Anl. 3,
- 4 Versickerungsversuche (mehrere Einzelversuche bis nach Erreichen der Wassersättigung des Bodens = Stabilisierung der Versickerungsmenge/Zeiteinheit) in KRB V1 bis KRB V4 (Bohrlochtest nach EARTH-MANUAL) zur Ermittlung der Durchlässigkeit der oberflächennahen Bodenschichten (s. Anl. 5).

In der 23. KW 2023 wurden von der Fa. GTC Nord GmbH & Co. KG, Hannover, folgende Geländearbeiten ausgeführt:

- 8 Drucksondierungen (CPT) mit Eindringtiefen zwischen 10 m und 35 m, Σ 125 m, s. Anl. 4.

Die Lage der Sondieransatzpunkte ist der Anl. 1 zu entnehmen. Die Absteckung und Einmessung der Punkte erfolgte durch die RWE Power AG.

Die Ergebnisse der Bodenaufschlüsse wurden unter Berücksichtigung von DIN 4022, DIN 4023 und DIN EN ISO 22476-1 in Anl. 3 und 4 dargestellt.

Im Baugrundlabor des Geotechnischen Büros wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- 4 Stück Bestimmungen der Kornverteilung (Anl. 6).



Von der Eurofins Umwelt West GmbH, Wesseling, wurden folgende Untersuchungen ausgeführt:

- 4 Untersuchungen an Bodenmischproben auf die Parameter nach ErsatzbaustoffV Anl. 1, Tab. 3: Boden/Baggergut, Feststoff aus Original und Eluat 2:1 (Anl. 7).

3 Baugrund

3.1 Morphologie

Das Gelände im Bereich des Bauvorhabens ist rel. eben mit Höhen um 83 bis 88 m ü. NHN. Die Fläche wird dztg. als Acker genutzt.

3.2 Geologie

Das geplante Industrie- und Gewerbegebiet liegt im Bereich des ehemaligen Tagebaus Garzweiler I und wird somit auf Kippenböden errichtet. Die Mächtigkeit der Kippe beträgt bis zu ca. 110 m.

Der Bodenaufbau im Bereich der Ausfahrt Elsachtal ist wie folgt (s. auch Anl. 2):

Die oberflächennah aufgebrachte **Rekultivierungsschicht** setzt sich aus feinsandigen, schwach tonigen Schluffen (umgelagerter Lößlehm, Löß) zusammen (TL gem. DIN 18196) und weist eine weiche oder weiche bis steife Konsistenz auf. Die Rekultivierungsschicht im Bereich des BV ist i.d.R. etwa 2,6 m bis 3,9 m stark.

Im Liegenden folgen **Kippenböden**, die sich aus einem heterogenen Gemisch von Aushubböden des Tertiärs und Quartärs (Mischböden) zusammensetzen. Die Hauptbestandteile im Bereich des BV bilden dabei schwach schluffige (selten schluffige) (schwach) kiesige Sande, eng gestufte Fein- und Mittelsande, daneben sandige Schluffe, die abwechselnd in unterschiedlichen Mächtigkeiten und Zusammensetzungen ausgebildet sind. In den Böden können braunkohlehaltige Ton- und Schluffbänder eingelagert sein. Ein einheitliches Schichtensystem innerhalb der aufgefüllten Kippenböden zeigt sich erwartungsgemäß nicht.

Im Kornverteilungsband der 4 untersuchten Proben der Kippenböden zeigt sich deren heterogene Zusammensetzung (Abb. 1). Der bindige Anteil in den untersuchten Proben beträgt im Mittel etwa 10,8 %. In der Versickerungsuntersuchung 2021 lag der bindige Anteil i.M. ähnlich hoch bei 8 %, in der Baugrunderkundung 2020 deutlich höher bei im Mittel 20 %.

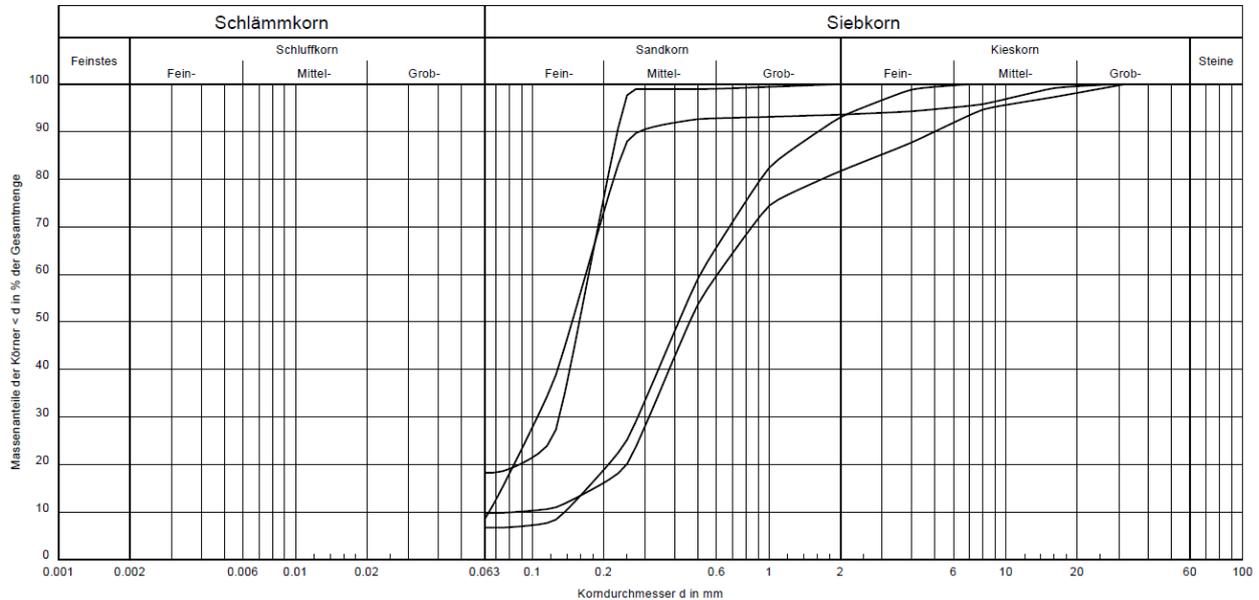


Abb. 1: Kornverteilungskurven der aufgefüllten Kippenböden (n = 4)

3.3 Erdbebeneinwirkungen, aktive Störungen

Der Standort liegt nach der (alten) **DIN EN 1998-1 (01/2011)** in der Erdbebenzone 2. Die maximale Bodenbeschleunigung (Bemessungswert) für das hierfür zugeordnete Intensitätsintervall $7 \leq I < 7,5$ kann mit $a_g = 0,6 \text{ m/s}^2$ angegeben werden.

Der Standort ist nach DIN EN 1998-1 in die Untergrundklasse¹ S (Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung) und in die Baugrundklasse² C (grobkörnige (rollige) bzw. gemischt-körnige Lockergesteine in mitteldichter Lagerung bzw. in mindestens steifer Konsistenz)

Für das Projektgebiet ist somit das Normspektrum C-S der DIN EN 1998-1 (dort Tabelle NA.4) heranzuziehen:

Untergrundverhältnisse	S	T_B s	T_C s	T_D s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

¹ ab etwa 20 m Tiefe

² oberflächennahe Schicht des Untergrunds mit einer Tiefe von 3 m bis etwa 20 m



Nach der bauaufsichtlich noch nicht zugelassenen **DIN EN 1998-1-NA (Juli 2021)** sind die gleichen Untergrund- und Baugrundklassen wie oben angegeben maßgeblich.

In Bezug auf die Baugrundeigenschaften wurden in der DIN folgende Änderungen vorgenommen:

- *die Referenz-Gefährdungskenngröße wurde neu definiert,*
- *Eingangsgrößen zur Beschreibung der seismischen Einwirkungen in Form des elastischen Antwortspektrums wurden für die Untergrundverhältnisse neu festgelegt,*
- *die Gefährdungszonenkarte der Bemessungsbeschleunigung wurde durch eine neue (in den Konturen veränderte) Karte der spektralen Antwortbeschleunigung (Fels mit $v_s = 800$ m/s) ersetzt; gleichzeitig wurde eine neue Definition eingeführt für Fälle sehr geringer Seismität, bei denen die Regelungen der Normenreihe EN 1998 in der Regel nicht berücksichtigt werden müssen.³*

Der maßgebliche Gefährdungsparameter ist die spektrale Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ im Plateaubereich des Antwortspektrums für das Untergrundverhältnis A-R. Die räumliche Verteilung der spektralen Antwortbeschleunigung im Plateaubereich $S_{aP,R}$ des Antwortspektrums ist in der Norm nur für die Referenz-Wiederkehrperiode $T_{NCR} = 475$ Jahre kartografisch in Abb. NA.1 der Norm wiedergegeben. Für die anderen Wiederkehrperioden (975 Jahre und 2475 Jahre) wird auf den Normtext verwiesen.

Für das Projektgebiet ergibt sich eine spektrale Antwortbeschleunigung in Höhe von

$$S_{aP,R} = 1,7357 \text{ m/s}^2$$

und ein Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung von

$$a_{gR} = 0,746 \text{ m/s}^2.$$

Für die horizontalen elastischen Antwortspektren gelten die in den folgenden beiden Tabellen aufgeführten Parameter.

DIN EN 1998 Tabelle NA.1: Kontrollperioden zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums ($T_{NCR} = 475$ Jahre)

³ der kursive Text wurde aus der Norm zitiert



Untergrundverhältnis	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A-R	0,10	0,20	2,00
B-R	0,10	0,25	2,00
C-R	0,10	0,30	2,00
B-T	0,10	0,25	2,00
C-T	0,10	0,40	2,00
B-S	0,10	0,40	2,00
C-S	0,10	0,50	2,00

DIN EN 1998 Tabelle NA.2: Bodenparameter S zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums

Spektralbeschleunigung S_{aPR} m/s ²	Bodenparameter S^a					
	Untergrundverhältnis					
	A-R	B-R	C-R	B-T	C-T	C-S
$S_{aPR} \leq 1,0$	1,00	1,25	1,50	1,05	1,45	1,30
$1,0 < S_{aPR} \leq 2,0$	1,00	1,20	1,30	1,00	1,25	1,15
$S_{aPR} > 2,0$	1,00	1,20	1,15	1,00	1,10	0,95

^a Für das Untergrundverhältnis B-S darf der Bodenparameter S wie bei C-S angenommen werden.

Für die vertikalen elastischen Antwortspektren gelten die Parameterwerte nach DIN EN 1998 Tabelle NA.3:

Relation a_{vg}/a_g	Bodenparameter S	Kontrollperioden		
		T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
0,70	1,0	0,05	0,20	1,20

Aktive Störungszonen

Nach der Geol. Kt. 1 : 100.000 sind im Untergrund keine heute noch aktiven Störungszonen vorhanden.

3.4 Grundwasser

Grundwasseroberfläche

In den Sondierungen wurde kein Grundwasser angetroffen.



Durch die Nähe des Projektgebietes zum Tagebau Garzweiler II ist der Grundwasserstand durch die betriebenen Sumpfungsmaßnahmen der RWE Power AG beeinflusst. Nach Auslaufen des Tagebaus Garzweiler und Abschluss der Sumpfungsmaßnahmen wird mit der anschließend geplanten Tagebauseeverfüllung in den nachfolgenden Jahrzehnten der Grundwasserspiegel wieder ansteigen. Für den stationären Endzustand kann im Projektgebiet nach Angaben von RWE von mittleren Grundwasserständen von bis zu 60 m ü.NHN ausgegangen werden. Darüber hinaus sind natürliche Schwankungen zu berücksichtigen, die in der Größenordnung von 1 bis 2 m liegen können.

Durchlässigkeiten

Den Durchlässigkeiten der Böden der **Rekultivierungsschicht** können nach der Bodenansprache Durchlässigkeitsbeiwerte von $K < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s zugeordnet werden.

Für die **Kippenböden** wurden in 4 Versickerungsversuchen (open-end-test (stationär); nach einer Vorsättigung der grundwasserfreien Böden vor Beginn der eigentlichen Messungen durch Wasserzugabe über eine Dauer von jeweils mind. 5 Minuten) Werte von $K = 1,1$ bis $9,0 \cdot 10^{-5}$ m/s, im geometrischen Mittel $K = 5,0 \cdot 10^{-5}$ m/s festgestellt (s. Anl. 5). Mit dem Korrekturfaktor 2 für diese Versuchsart nach DWA A 138 beträgt der Mittelwert $K = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Für die rolligen Kippenböden wurden die Durchlässigkeiten zusätzlich anhand von Kenngrößen der Kornverteilungen nach BEYER ermittelt. Für die 3 der 4 Proben wurden mit Berücksichtigung eines Korrekturfaktors von 0,2 nach DWA A 138 Durchlässigkeiten von $K = 8,5 \cdot 10^{-6}$ bis $3,6 \cdot 10^{-5}$ m/s, im geometrischen Mittel $K = 1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s errechnet (s. Tab. 1).

Tab. 1: Durchlässigkeiten der rolligen Kippenböden (aus Kenngrößen der Kornverteilung nach BEYER berechnet)

KRB-Nr.	Tiefe (m u.GOK)	d ₁₀ (mm)	d ₆₀ (mm)	U (-)	K-Wert (m/s)	
					mitteldichte Lagerung	mit Korrekturfaktor 0,2 nach DWA A 138
KRB V1	2,9 - 3,9	0,07	0,16	2,5	4,3E-05	8,5E-06
KRB V2	3,4 - 4,4	0,14	0,52	3,7	1,8E-04	3,6E-05
KRB V3	3,8 - 4,6	< 0,063	0,18		-	-
KRB V4	3,7 - 4,8	0,08	0,61	7,6	5,1E-05	1,0E-05
Geometrischer Mittelwert						1,5E-05



Den örtlich vorhandenen schluffigen Sanden (z.B. in KRB V3) kann nach Erfahrungswerten ein mittlerer Wert um $K = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s zugeordnet werden.

Wasserwirtschaft

Das Projektgebiet liegt nicht in einem ausgewiesenen oder geplanten Trinkwasserschutzgebiet.

3.5 Bodenfestigkeit, Tragfähigkeit

Nach den Ergebnissen der durchgeführten Drucksondierungen, der Bodenansprache sowie Erfahrungswerten wird die aufgeschlossene Schichtenfolge wie folgt beurteilt:

Auffüllungen

Für die oberflächennah aufgebrachte **Rekultivierungsschicht** ist aus den Spitzenwiderständen der Drucksondierungen eine überwiegend weiche, nur örtlich eine steife Konsistenz abzuleiten. Die Böden sind damit nur eingeschränkt tragfähig.

Die Konsistenz der Rekultivierungsschicht kann oberflächennah saisonal unterschiedlich sein: im wasserwirtschaftlichen Winterhalbjahr mit ausgeprägter Grundwasserneubildung ist mit wassergesättigten Böden und weicher Konsistenz zu rechnen, gegen Mitte/Ende des Sommerhalbjahres mit i.d.R. erdfeuchten Böden und mit eher steifer Konsistenz.

Die (überwiegend rolligen) **Kippenböden** sind v.a. bis in Tiefen von ca. 10 m überwiegend nur locker gelagert, darunter über größere Teufenbereiche mitteldicht, örtlich, vermutlich in ehem. Absetzebenen (z.B. im Niveau ca. 70 m ü. NHN), auch dicht gelagert. Auch in Tiefen > 10 m sind locker gelagerte Bereiche vorhanden.

3.6 Bodenklassifizierung, Wasser- und Frostepfindlichkeit

Für die im Baubereich anstehenden Bodenarten lassen sich die in Tab. 2 aufgeführten Bodengruppen (DIN 18196) und Bodenklassen (2012) (DIN 18300 und DIN 18301) angeben. Ferner werden die einzelnen Bodenschichten nach ihrer Frostepfindlichkeit (ZTVE-StB 17) beurteilt.



Tab. 2: Bodengruppen, alte Bodenklassen und Frostempfindlichkeit der anstehenden Bodenarten

Schicht	Bodengruppe DIN 18196	Bodenklasse DIN 18300 (2012)	Bodenklasse DIN 18301 (2012)	Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 17
Rekultivierungsboden	A [TL, (TM, UL)]	4	BB 2, (BB 1)	sehr frostempfindlich (F 3)
Kippenböden	A [SW, SU, SE, (GW, GU, TL, TM)]	3, (4)	BN 1, BN 2, (BB 2)	nicht – sehr frostempfindlich (F 1 - F 3)

() in Spalten 2 - 4 = örtlich, untergeordnet

Die Schluffe der Auffüllungen sind wasserempfindlich, d.h. sie weichen bei Wasserzutritt und/oder dynamischer Beanspruchung unter Festigkeitsverlust auf und können in einen Boden mit Fließigenschaften übergehen.

3.7 Mittlere Bodenkennwerte

Nach den Ergebnissen der Materialansprache und der Drucksondierungen können den im Gründungsbereich anstehenden Böden folgende mittlere charakteristische Bodenkennwerte (Erfahrungswerte sowie nach DIN 1055, T2) zugeordnet werden:

Tab. 3: Mittlere charakteristische Bodenkennwerte

Schicht	Wichte γ_k [KN/m ³]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [KN/m ²]
Rekultivierungsboden	i.M. 19	i.M. 5	22,5 – 27,5 i.M. 25	i.M. 5
Kippenböden	17 – 20, i.M. 19	10 - 80 bis 10 m: i.M. 15 > 10 m: i.M. 30	i.M. 32,5	0

3.8 Homogenbereiche

Die Kennwerte und Eigenschaften aller Schichten sind in Tab. 4 zusammengestellt.



Tab. 4: Kennwerte und Eigenschaften der Schichten

Eigenschaften / Kennwerte	Norm	Rekultivierungsboden	Kippenböden
Tonmassenanteil [%]	DIN 18123	5 - 20	0 - 10 (70)
Schluffmassenanteil [%]	DIN 18123	65 - 90	2 - 20 (60)
Sandmassenanteil [%]	DIN 18123	2 - 20	10 - 90
Kiesmassenanteil [%]	DIN 18123	0 - 2	0 - 70
Massenanteil an Steinen [%]	DIN EN ISO 14688-2	0	0 - 5
Massenanteil Blöcke [%]		0	0
Massenanteil große Blöcke [%]		0	0
Wichte, feucht [KN/m ³]	DIN 18125-2	19 - 20,5	18 - 21
Wichte, unter Auftrieb [KN/m ³]		9 - 10,5	10 - 13
Kohäsion [KN/m ²]	DIN 18121	0 - 5	0 (-10)
undränierte Scherfestigkeit [KN/m ²]	DIN 18136	0 - 50	-
Wassergehalt [%]	DIN EN ISO 17892-1	5 - 25	8 - 15
Konsistenz	DIN EN ISO 14688-1	sehr weich bis steif	(weich bis halbfest)
Konsistenzzahl [1]	DIN 18122-1	0,2 - 1	(0,5 - 1,25)
Plastizität	DIN EN ISO 14688-1	gering	(gering - mittel)
Plastizitätszahl [1]	DIN 18122-1	0,05 - 0,2	(0,05 - 0,5)
Lagerungsdichte	DIN 18126	-	locker - dicht
Organischer Anteil [%]	DIN 18128	0 - 3	0 - 5
Abrasivität	NF P18-579	schwach	mittel bis stark
Bodengruppe	DIN 18196	TL, (UL, TM)	SW, SU, SE, (GW, GU, TL, TM)

in Klammern: untergeordnet

Die hier relevanten Schichten werden je nach DIN-Norm zu verschiedenen Homogenbereichen nach VOB/C (2016) zusammengefasst (s. Tab. 5). Bei der Festlegung der Homogenbereiche wurde von dem Einsatz leistungsfähiger Großgeräte ausgegangen.

3.9 Ramm- und Bohrbarkeit

Die Bohr- und Rammbarkeit ist nach vorliegenden Erfahrungswerten in allen Schichten grundsätzlich gegeben. In den Kippenböden können die Rammwiderstände lokal (in den ehemaligen Absetzebenen) deutlich zunehmen, sodass Rammhilfen oder Lockerungsbohrungen erforderlich werden. In Auffüllungen sind Steine als Rammhindernisse grundsätzlich nicht ganz auszuschließen.



Tab. 5: Homogenbereiche für DIN 18 300 - Erdbau, Lösen (GK 2, GK 3), DIN 18 301 - Bohrarbeiten und DIN 18 304 - Ramm-, Rüttel-, Verpressarbeiten

Schicht	Homogenbereiche		
	DIN 18300 Erdarbeiten-Lösen	DIN 18301 Bohrarbeiten	DIN 18304 Ramm-, Rüttel-, Verpressarbeiten
Rekultivierungsboden	LÖS - I	BOHR - I	RRP - I
Kippenböden			RRP - II

4 Gründung der Brücke

4.1 Geplante Gründungstiefen, Gründungsboden

Angaben zum Bauwerk und zur geplanten Gründung liegen noch nicht vor.

Die Gradienten im Bereich der Brücke (nach Höhenplan ca. 81 m ü.NHN für Variante 2) liegt im Nordosten in den Kippenböden, im Südwesten im Rekultivierungsboden.

4.2 Empfehlung zur Gründung

Aufgrund der örtlich bis in größere Tiefen geringen sowie lateral und horizontal wechselnden Tragfähigkeit der im Gründungsniveau anstehenden Schichten ist eine normale Flachgründung nicht möglich.

Zur Bodenverbesserung wird die Ausführung einer Rüttelstopfverdichtung empfohlen.

Bei der Rüttelstopfverdichtung werden von der Geländeoberfläche aus Kies- oder Schottersäulen in den Untergrund eingerüttelt. Über diese Säulen wird ein Teil der Bauwerkslasten in den tieferen Untergrund eingeleitet. Die Verdrängung des Bodenmaterials führt außerdem zu einer Tragfähigkeitsverbesserung des die Säulen umgebenden Bodenmaterials. Das Verfahren ist in feinkörnigen und gemischtkörnigen Böden einsetzbar.

Die Säulen werden rasterförmig angeordnet, wobei sich Ihre Einflussbereiche überschneiden sollen. In der Regel werden die Rüttelstopfsäulen in Abständen von 1 m bis 2,5 m und mit Durchmessern von 60 cm bis 100 cm ausgeführt.



Die Säulen werden i.d.R. bis zur tragfähigen Bodenschicht eingerüttelt. Hier bietet sich die ehem. Absetzerebene in einer Tiefe von ca. 11 – 12 m unter Gradiente bzw. ca. 70 m ü.NHN an. Diese verdichtete Zone wurde auch in den benachbarten Drucksondierungen der Orientierenden Bau- grunduntersuchung 2020 angetroffen und ist somit sehr wahrscheinlich im Nahebereich des BV flächendeckend ausgeprägt.

Auf OK Bodenverbesserung kann eine Sohlpressung von mind.

$$\sigma_{zul} = 200 \text{ kN/m}^2$$

bzw. ein Bemessungswert des Sohlwiderstandes gem. DIN 1054 (04/2021)

$$\sigma_{R,d} = 280 \text{ kN/m}^2$$

zugelassen werden.

Der Durchmesser und die Anordnung der Verdichtungspunkte werden von der ausführenden Firma (z.B. GKN Keller) angegeben.

Für den Rüttler ist eine Arbeitsebene aus lagenweise verdichtet einzubauendem Material der Gruppen SW, GW, GU in einer Gesamtstärke von ca. 50 cm bis 80 cm herzustellen. Diese kann im Anschluß als verdichtete Ausgleichsschicht (Polster) zur Verteilung der Lasten genutzt werden.

4.3 Setzungen

Setzungen aus der Bauwerkslast

Setzungsberechnungen sind nach Vorliegen einer konkreten Planung nachzuholen. Hierbei kann eine Aushubentlastung berücksichtigt werden.

Setzungen verfüllter Tagebaue

Hinsichtlich der speziellen möglichen Setzungen verfüllter Tagebaue wird auf den Bericht des Geotechnischen Büros (2020) verwiesen.

Die Kippenmächtigkeit im Bereich des BV und die daraus resultierenden möglichen Setzungen durch den Grundwasserwiederanstieg sind noch zu prüfen.



5 Hinweise für die Bauausführung

5.1 Anlage der Straße

Die humose Oberbodenschicht sowie Böden mit nur weicher Konsistenz sind aus der Planumsfläche abzuschleppen.

Die Gradiente der Vorzugsvariante 2 verläuft südwestlich der B 59 überwiegend in Dammlage (h bis 1 m). Im weiteren östlichen Verlauf liegt sie im Einschnitt mit Tiefen bis knapp 7 m.

Unter der aufgefüllten Oberbodenschicht ist abgesehen von den Tragschichten von Wirtschaftswegen durchgehend mit Lehmen der Rekultivierungsschicht zu rechnen. Die Gradiente liegt überwiegend in der Rekultivierungsschicht, nur örtlich im Kippenboden.

Die Trasse liegt durchgängig um > 10 m oberhalb der höchsten Grundwasseroberfläche.

Die im Planum anstehenden Lehme der Rekultivierungsschicht weisen überwiegend keine ausreichende Tragfähigkeit auf. Zur Gewährleistung von tragfähigen und einheitlichen Baugrundeigenschaften im Planum der geplanten Trasse wird die Durchführung eines Bodenaustausches mit geeigneten verdichtungsfähigen Böden (Bodengruppen SW, GW gem. DIN 18196) empfohlen. Dies kann durch eine Vergrößerung der Mächtigkeit der Frostschutzschicht bzw. ungebundenen Tragschicht erfolgen.

Weiterhin ist der Lehm frostempfindlich. Daher ist im gesamten Trassenverlauf ein frostsicherer Straßenunterbau ($D > 60$ cm unter Fahrbahnoberkante) herzustellen.

Auch im oberen Bereich der Dämme ist ein frostsicherer Aufbau von min. 0,6 m zu gewährleisten. Vorgaben der ZTVE-StB 17 für die Tragfähigkeit des Dammuntergrundes bestehen nicht. Allerdings muss gewährleistet sein, dass die entsprechend den Vorgaben der ZTVE-StB 17 für das Dammbaumaterial erforderlichen Verdichtungsgrade erreicht werden.

Die Stärke des Bodenaustausches ist nur grob abzuschätzen, sie ist auf der Grundlage von Plattendruckversuchen in einem Probefeld vor Beginn der Arbeiten festzulegen. Nach Erfahrungswerten an anderen Standorten ist auf dem weichen Lehmplanum von einem $E_{v2} < 20$ MN/m² auszugehen. Die Stärke der ungebundenen Tragschicht kann in Abhängigkeit von diesem Wert und nach Erfordernis für den nach RStO geforderten Wert auf der ungebundenen Tragschicht aus dem folgenden Diagramm (Abb. 2) abgegriffen werden. Bei weicher Konsistenz des anstehenden Bodens wird empfohlen, eine Packlage aus einem gut verzahnenden, groben Schotter- bzw. mit Zustimmung der Behörde RCL-Gemisch (z.B. Körnung 45/X) in den weichen Untergrund einzuwalzen.

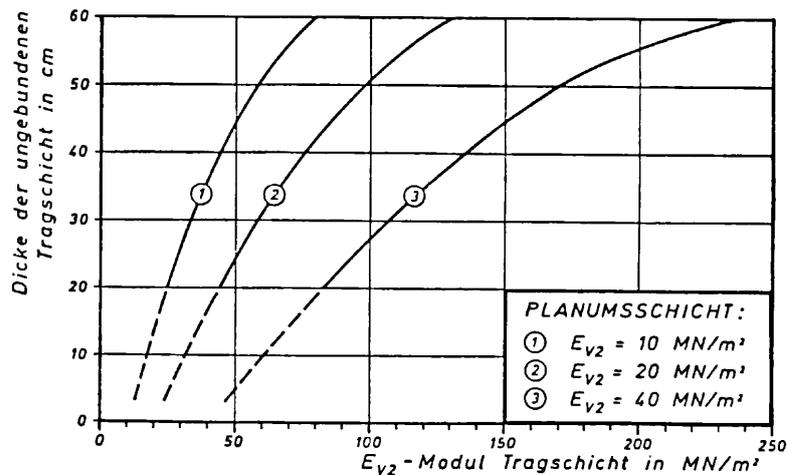


Abb. 2: Stärke der ungebundenen Tragschicht in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit des Erdplanums und des nach RStO erforderlichen Wertes

Nach der ZTVE StB 17 ergeben sich für die verschiedenen Bodenarten und die unterschiedlichen Tiefen unter dem Planum die Anforderungen nach Tab. 6.

Tab. 6: Anforderungen an das 10%-Mindestquantil⁴ für den Verdichtungsgrad D_{Pr} bzw. an das 10%-Höchstquantil für den Luftporenanteil n_a

	Bereich	Bodengruppen	D_{Pr} in %	n_a in Vol-%
1	Planum bis 1,0 m Tiefe bei Dämmen und bis 0,5 m bei Einschnitten	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100	-
2	1,0 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	98	-
3	Planum bis Dammsohle und bis 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GÜ, GT, SÜ, ST U, T, OU, OT	97	12 ¹⁾

¹⁾ bzw. 8 Vol-% bei Einbau nicht verfestigter bzw. nicht qualifiziert verbesserter wasserempfindlicher o.g. Böden, bzw. 6 Vol-% bei Einbau von veränderlich festen Gesteinen

Wird der E_{v2} -Modul auf einer frostsicheren Planumsschicht nachgewiesen, so ist auch der Verhältniswert der Verformungsmoduln E_{v2}/E_{v1} zu überprüfen. Als Kriterium gilt:

⁴⁾ Das Mindestquantil ist das kleinste zugelassene Quantil (früher: Fraktile), unter dem nicht mehr als der vorgegebene Anteil von Merkmalswerten (z.B. für den Verdichtungsgrad) der Verteilung zugelassen ist.



$$E_{V2}/E_{V1} \leq 2,2 \quad \text{für } D_{Pr} \geq 103 \% \\ \leq 2,5 \quad \text{für } 100 < D_{Pr} < 103 \%$$

Der Einbau des Materials und die erzielte Verdichtung sind laufend zu überprüfen. Auf die Abhängigkeit der Erdarbeiten von der Witterung wird besonders hingewiesen.

5.2 Wasserhaltung

Für den Bedarfsfall ist eine offene Wasserhaltung vorzuhalten, da Niederschlagswasser nicht schnell genug versickert. Oberflächenwasser aus dem Umfeld ist von Baugruben fernzuhalten.

5.3 Baugrubenböschungen / Verbau

Die anstehenden Böden (der Straßendamm der B 59 wurde bisher jedoch nicht untersucht) sind bis zu einer Höhe von 5 m ohne rechnerischen Nachweis gem. DIN 4124 unter 45° standsicher. Dies gilt jedoch nur für nicht belastete Böschungsschultern. Bei den vorliegenden Böschungshöhen von bis zu ca. 7 m ist eine Zwischenberme (Breite mind. 1,5 m) einzuziehen.

Bei längeren Standzeiten sind die Böschungen mit Baufolien gegen Niederschläge zu schützen.

Bei beengten Platzverhältnissen ist ein senkrechter voller oder teilweiser Verbau über Spundwände oder Trägerbohlwände zu setzen. Auf den kraftschlüssigen Anschluß von Verbau und anstehendem Boden ist besonders zu achten.

5.4 Erdarbeiten / Aushubsohle / Wiederverwendbarkeit des Aushubs

Für die Ausführung der Erdarbeiten sind die Vorschriften der ZTVE-StB 17 maßgebend. Der Einbau des Materials und die erzielte Verdichtung sind laufend zu überprüfen.

Auf die Abhängigkeit der Erdarbeiten von der Witterung wird besonders hingewiesen.

Evtl. organische Oberböden sind vor dem Aufbringen der Tragschichten vollständig abzuschleifen.

Der Bodenaushub sollte erst unmittelbar vor Baubeginn, möglichst bei trockener Witterung, erfolgen. Der Aushub ist rückschreitend mit einer zahnlosen Baggerschaufel so vorzunehmen, dass das



Planum nicht mehr befahren und in seiner Struktur nicht beeinträchtigt wird. Aufgrund der Wasserempfindlichkeit der Böden wird die Anlage eines Gefälles von 3 % zur Entwässerung der Planumschichten empfohlen.

Durch Niederschläge aufgeweichte Böden sind auszutauschen.

Freigelegte Flächen auf bindigen Böden sind umgehend mit einer Polsterschicht zu ballastieren und vor dem Aufweichen durch Niederschläge zu schützen.

Wo das Gelände befahren werden muss (Zufahrten, Materiallagerplatz) müssen Baustraßen angelegt werden.

Der Reku-Boden (umgelagerter Lößlehm) und die bindigen Böden in der Abraumkippe kommen aufgrund der Wasser- und Frostempfindlichkeit für den Wiedereinbau im Arbeitsraum oder für den Wiedereinbau direkt unter den Verkehrsflächen nicht in Betracht. Stattdessen kann das Material z.B. zur Profilierung der Geländeoberfläche in Bereichen verwendet werden, in denen keine größeren Lasten zu erwarten sind (z.B. seitliche Aufwallungen entlang von Wegen und Grundstücken). Die Wiederverwendbarkeit der rolligen Kippenböden ist aus bodenmechanischer Sicht grundsätzlich gegeben. Bei möglichen Schluffgehalten über 5 % sind sie jedoch nicht frostsicher.

5.5 Chemische Beschaffenheit des Bodenaushubs

Von den Auffüllungen wurden je 2 Mischproben des Rekultivierungsbodens und der Kippenböden auf die Parameter nach ErsatzbaustoffV, Anl. 1, Tab. 3 untersucht:

Rekultivierungsboden

MP 1: Mischprobe aus Proben 2/1+3/1+V1/1+V3/1+V4/1

MP 2: Mischprobe aus Proben 6/1+6/2+7/1+7/2+8/2

Kippenböden

MP 3: Mischprobe aus Proben V1/3+V2/3+V2/4+V3/2+V4/2

MP 4: Mischprobe aus Proben 5/4+6/3+6/4+7/3+8/3

Die Zahl vor dem Schrägstrich bezeichnet die KRB-Nr., die Zahl danach die Probennummer. Die Entnahmetiefen der Proben sind der Anl. 3 zu entnehmen.



Die Untersuchungsergebnisse werden hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit nach ErsatzbaustoffV beurteilt. Die Analysen sind in der Anl. 7 dokumentiert.

Rekultivierungsboden: Beide Mischproben sind als BM-0 Sand einzustufen.

Kippenboden: Eine Mischprobe ist als BM-0 Sand, die andere alleine aufgrund des pH-Wertes zunächst als über BM-F3 einzustufen. Die Grenzwerte u.a. des pH-Wertes sind nach der Fußnote in der ErsatzbaustoffV als stoffspezifische Orientierungswerte angesehen, bei Abweichungen ist die Ursache zu prüfen. Möglicherweise spielt hier Pyritoxidation eine Rolle.

Nach den vorliegenden Untersuchungen sind die Auffüllungen dem Abfallschlüssel 17 05 04 (Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen) zuzuordnen (Abfallschlüssel gemäß der Verordnung über das europäische Abfallverzeichnis - Abfallverzeichnisordnung (AVV) vom 10.12.2001).

Da Kleinrammbohrungen nur punktuelle Bodenaufschlüsse sind, sind bei in Baugrunduntersuchungen üblichen Aufschlussabständen insbesondere hinsichtlich der Verbreitung, Ausbildung und Mächtigkeit von Auffüllungen sowie deren chemischer Beschaffenheit Abweichungen zu den nicht untersuchten Bereichen möglich und wahrscheinlich.

5.6 Hinterfüllung

Die Hinterfüllung der Brückenwiderlager ist mit vorzugsweise rolligem, verdichtungsbegabtem Material der Gruppen SW, GW (z.B. Grubenkies oder mit Zustimmung der Behörde inertes RCL-Material) vorzunehmen, lagenweise einzubringen und zu verdichten ($D_{Pr} \geq 98\%$). Für diese Böden können in der Erddruckberechnung Reibungswinkel von $\varphi = 35^\circ$ angesetzt werden. Der Wandreibungswinkel ist entsprechend der Wandrauigkeit anzusetzen. Die Wichte der verdichteten Hinterfüllung kann auf der sicheren Seite liegend mit $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ angesetzt werden.

Die Hinterfüllungen der Brückenwiderlager sind mit Dränagen zu versehen.

Es wird auf die ZTVE StB-17 sowie das "Merkblatt über den Einfluß der Hinterfüllung auf Bauwerke" der Forschungsanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (1994) und "Merkblatt für die Bodenverdichtung im Straßenbau" hingewiesen.



Der erzielte Verdichtungsgrad ist im Rahmen der Eigen- und Kontrollprüfungen nachzuweisen (ZTVE-StB 17).

5.7 Dammschüttungen

Die Standsicherheit des Dammbauwerkes (max. Höhe Vorzugsvariante 2 ca. 1 m, Variante 1 ca. 11 m) erfordert eine gründliche Vorbereitung des Dammauflagers. Es ist sorgfältig zu beräumen und zu entwässern, hinsichtlich der Tragfähigkeit zu überprüfen und ggfs. zu verbessern und zu profilieren (mind. 3 % Quergefälle). Ungeeignete weiche und/oder organische Böden sind auszuheben und lagenweise in Erdbauweise durch Sand-Kiesgemische (SW, GW) zu ersetzen.

Die Gewährleistung der Standsicherheit der **hohen Böschung der Var. 1** im Endzustand erfordert eine sorgfältige Vorbereitung des Böschungsaufagers. Es wird in der Aufstandsfläche ein Bodenaustausch (Polsterschicht) mit einer Mächtigkeit von 1,0 m empfohlen.

Die Böschung ist lagenweise aufzubauen. Dabei ist eine stufenförmige Verzahnung mit der Bestandsböschung der B 59 zu gewährleisten. Die Stärke der Einbaulagen ist an das Gewicht und Leistungsvermögen des eingesetzten Verdichtungsgerätes anzupassen. Der Stützkörper sollte gleichzeitig in ganzer Breite lagenweise hochgezogen und verdichtet werden.

Die einzelnen Lagen sind zur Entwässerung mit einem Quergefälle nach außen einzubauen und zu verdichten. Einbau und Verdichtung sind den Witterungsverhältnissen anzupassen. Durch Niederschlag und Befahren aufgeweichter Boden ist auszutauschen und darf nicht überbaut werden. Die ordnungsgemäße Verdichtung ist nachzuweisen ($D_{pr} \geq 98\%$).

Das Material zum Aufbau der neuen Böschung sollte sowohl reibungsbehaftet sein, als auch eine Kohäsion aufweisen. Es wird hierfür die Verwendung eines gemischtkörnigen Bodens (Boden-Gruppe nach DIN 18196: GU, GU*) empfohlen.

Die einzuhaltenden Scherparameter für das Material zum Aufbau der Böschung mit einer Neigung von 1:1,5 betragen:

Reibungswinkel: $\varphi_k' \geq 32,5^\circ$

Kohäsion: $c_k' \geq 5 \text{ kN/m}^2$

Hinsichtlich Einbau und Verdichtung gelten die Vorgaben der ZTVE-StB 17. Insbesondere wird auf die Verdichtung der Böschungsflächen bzw. Böschungsrandbereiche hingewiesen. Die Verdichtung der Dammschüttung auf die in der ZTVE-STB 17 angegebenen Verdichtungsgrade ist durch Eigenprüfungen und unabhängige Kontrollprüfungen nachzuweisen.



Bei bevorzugter Verwendung von weitgestuften grobkörnigen Böden oder gemischtkörnigen Böden und unter der Voraussetzung einer ordnungsgemäßen Verdichtung können die Randböschungen mit einer Neigung von 1 : 1,5 (bis 5 m Böschungshöhe) ausgeführt werden.

Im Falle der Variante 1 mit großen Böschungshöhen von bis 11 m ist die Standsicherheit der Erdkörper für das gewählte Einbaumaterial nachzuweisen.

Eine Reduzierung der Setzungen im Falle großer Böschungshöhen der Var. 1 kann durch vorzeitiges Aufbringen des Dammes mit einer Überschüttung erfolgen. Dadurch werden die Setzungen aus Dammeigengewicht und Verkehrslasten weitgehend vorweggenommen. Die Überschüttung muss so hoch sein, dass sie mindestens der Summe der Lasten aus Oberbau und Verkehr entspricht. Wirkungsvoller ist jedoch eine weitere Überhöhung der Schüttung einschließlich der Böschungen. Im Regelfall beträgt die Überschüttung das 0,5 bis 1-fache der geplanten Dammhöhe. Für die Einwirkdauer sind mehrere Monate anzusetzen. Für die Kontrolle des Zeitsetzungsverhaltens und zur Festlegung der erforderlichen Liegezeiten sollten Setzungsmessungen an 2 bis 3 auf dem Planum aufstehenden Setzungspegeln durchgeführt werden. Hierbei ist auch der Bereich vor dem Dammfuß zu erfassen, um eventuelle Hebungen der Geländeoberfläche durch horizontale Schubverformungen frühzeitig erkennen zu können.

Nach Ablauf der Liegezeit der Überschüttung wird der überschüssige Boden abgetragen.

5.8 Standsicherheit von Böschungen, zulässige Neigungen

Die Einschnittböschungen von maximal 6 m bis 7 m Höhe liegen im Rekultivierungsboden oder örtlich auch im Kippenboden. Nach den Empfehlungen der DGGT und den Vorschriften für Erdbauwerke der Deutschen Bundesbahn ergeben sich in den nicht immer homogenen Böden vorläufige Böschungsneigungen von 1 : 1,6 (bis 6 m Höhe) bzw. von 1 : 1,8 (bis 9 m Höhe). Die Standsicherheit ist jedoch nach Vorliegen der konkreten Planung unter Berücksichtigung des Lastfalls BS-E (Erdbeben) noch nachzuweisen.

Die Böschungen sind mit Oberboden in einer Stärke von mindestens 20 cm abzudecken und möglichst schnell zu begrünen. Aus Gründen des Erosionsschutzes in der Anfangsphase mit noch nicht dichtem Bewuchs kann nach RAS-LG 3 insbesondere bei größeren Böschungshöhen die Sicherung des Oberbodens durch Einbau von Stangen, Schwarten, Flechtwerke aus lebendem oder totem Pflanzenmaterial oder Erosionsschutzgewebe (z.B. Naturkokosgewebe) etc. sinnvoll werden.



5.9 Versickerung von Niederschlagswässern

Die Durchlässigkeiten der Böden der **Rekultivierungsschicht** liegen deutlich unterhalb des im DWA-Arbeitsblatt A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ empfohlenen Minimalwertes von $K = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Nach dem DWA-Merkblatt M 153 (2007) „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“ sollte für zentrale Versickerungsanlagen ein K-Wert von $K > 1 \cdot 10^{-5}$ m/s nicht unterschritten werden. Eine Versickerung kommt in diesen Böden nicht in Betracht.

Die Durchlässigkeiten in den **Kippenböden** im untersuchten Teufenbereich (5 m bis 6 m u. GOK) liegen nach den Versickerungsversuchen deutlich, die aus Kenngrößen der Kornverteilungen errechneten Werte etwas über dem o.g. Wert $K > 1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Da die naturgemäß heterogen zusammengesetzten Kippenböden auch Böden mit höheren bindigen Anteilen enthalten können, kann die Durchlässigkeit jedoch örtlich auch von den Ergebnissen in den Untersuchungspunkten (nach unten) abweichen. Grundsätzlich ist eine Beseitigung des Niederschlagswassers in den Kippenböden an der untersuchten Stelle aber möglich.

Bei Flurabständen nach Ende der Sümpfung um 20 m wird der einzuhaltende Abstand der Sohle des Versickerungsbauwerkes zur mittleren höchsten Grundwasseroberfläche von 1 m sicher eingehalten.

Eine uneinheitliche Nachsetzung der locker gelagerten Kippenböden infolge einer langfristigen Infiltration größerer Wassermengen kann nicht ganz ausgeschlossen werden. Dies ist bei der weiteren Planung der Versickerungsanlage und der Festlegung von Mindestabständen zu geplanten Bauwerken zu berücksichtigen.

6 Allgemeine Hinweise

Die Beschreibung der Baugrundverhältnisse beruht auf punktuellen Aufschlüssen, zwischen denen linear interpoliert wurde. Abweichungen zwischen Aufschlüssen sind insbesondere in Auffüllungen möglich.



Der Straßendamm der B 59 wurde bisher nicht untersucht. Über das Material, die Lagerungsdichte und Rammpbarkeit liegen damit keine Informationen vor und sind im Zuge der weiteren Planung ggf. nachzuuntersuchen.

Dipl.-Geol. S. Krings

Dr.-Ing. M. Nendza