



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

DB Netz AG
Regionalbereich West
Herr Felix Wiemers
Hansastraße 15
47058 Duisburg

Projekt-Nr.
41.7432

Datei
P7432B201130

Diktat
vZ/Lbg

Büro
Witten

Datum
30.11.2020

Neubau Oberleitungsmaste

DB-Strecke 2800

in Nachrodt, Altena, Meggen

- Baugrundgutachten -

Bestellung 0016 / UAV / 29648495

Auftrag vom 18.08.2020

Gesellschaft: HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, <https://www.dr-spang.de>
58453 Witten, Rosi-Wolfstein-Straße 6, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de

Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Christian Spang, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Spang

Niederlassungen: 73734 Esslingen/Neckar, Eberhard-Bauer-Str. 32, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de
60528 Frankfurt/Main, Lyoner Straße 12, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, frankfurt@dr-spang.de
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Straße 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, freiberg@dr-spang.de
21079 Hamburg, Harburger Schloßstraße 30, Tel. (040) 524 73 35-0, Fax 524 73 35-20, hamburg@dr-spang.de
06618 Naumburg, Wilhelm-Franke-Straße 11, Tel. (03445) 762-25, Fax 762-20, naumburg@dr-spang.de
90491 Nürnberg, Erlenstegenstraße 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de
14480 Potsdam, Großbeerenstraße 231, Haus III, Tel. (0331) 231 843-0, Fax 231 843-20, berlin@dr-spang.de

Banken: Deutsche Bank AG, Witten, IBAN: DE42 4307 0024 0813 9511 00, BIC: DEUTDE33HAN
Sparkasse Witten, IBAN: DE59 4525 0035 0000 0049 11, BIC: WELADED1WTN



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	4
1.1 Projekt	4
1.2 Auftrag	4
1.3 Unterlagen	4
1.4 Untersuchungen	6
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	8
2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung	8
2.2 Bodenaufbau	9
2.2.1 Geologische Verhältnisse	9
2.2.2 Baugrunderkundungen	10
2.3 Hydrogeologie / Grundwasser	16
2.4 Hydrochemie	18
2.5 Bodenmechanische Laborversuche	19
2.6 Umwelttechnische Untersuchungen	23
2.7 Geotechnische Besonderheiten	26
3. TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN UND KENNWERTE	27
3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	27
3.2 Bodenkennwerte	28
3.3 Felsmechanische Kennwerte	29
3.4 Homogenbereiche	29
3.4.1 Allgemeines	29
3.4.2 DIN 18 300 Erdarbeiten	31
3.4.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten	33
3.4.4 DIN 18 303 Verbauarbeiten	35
3.4.5 DIN 18 304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten	35
4. FOLGERUNGEN	36
4.1 Gründung	36
4.2 Baugrube	38
4.3 Grundwasserhaltung	40
4.4 Nachbarbebauung	40
4.5 Geotechnische Kategorie	40



5.	EMPFEHLUNGEN	41
5.1	Gründung	41
5.1.1	Flachgründung	41
5.1.2	Rammpfahlgründung	43
5.1.3	Horizontale Bettung von Pfahlgründungen	46
5.2	Baugruben	47
5.3	Verfüllung der Baugruben	50
5.4	Wasserhaltung	50
5.5	Nachbarbebauung	51
5.6	Sonstige Empfehlungen	51

6. ANLAGEN

Anlage 1:	Übersichtslagepläne (1)
Anlage 1.1:	Übersichtslageplan Nachrodt, M. = 1 : 25.000 (1)
Anlage 1.2:	Übersichtslageplan Altena, M. = 1 : 25.000 (1)
Anlage 1.3:	Übersichtslageplan Meggen, M. = 1 : 25.000 (1)
Anlage 2:	Lagepläne mit Aufschlusspunkten (1)
Anlage 2.1:	Lagepläne mit Aufschlusspunkten, Nachrodt, M. = 1 : 1.000 (2)
Anlage 2.2:	Lagepläne mit Aufschlusspunkten, Altena, M. = 1 : 1.000 (2)
Anlage 2.3:	Lagepläne mit Aufschlusspunkten, Meggen, M. = 1 : 1.000 (3)
Anlage 3:	(entfällt)
Anlage 4:	Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse (1)
Anlage 4.1:	Zeichenerläuterung Baugrunderkundung (2)
Anlage 4.2:	Bohrsondierungen (BS), M. = 1 : 50 (30)
Anlage 4.3:	Mittelschwere / Schwere Rammsondierung (DPM / DPH), M. = 1 : 50 (25)
Anlage 5:	Bodenmechanische Laborversuche (1)
Anlage 5.1:	Wassergehalt nach DIN EN ISO 17 892-1 (2)
Anlage 5.2:	Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17 892-12 (11)
Anlage 5.3:	Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4 (19)
Anlage 6:	Chemische Analytik (1)
Anlage 6.1:	Bewertung der Betonaggressivität nach DIN 4030 (10)
Anlage 6.2:	Bewertung der Stahlaggressivität nach DIN 50 929, Teil 3 (20)
Anlage 6.3:	Prüfbericht der UCL Umwelt Control Labor GmbH (23)
Anlage 6.4:	Auswertung nach Ril 880.4010 und Merkblatt Nr. 3.4/2 (15)
Anlage 6.5:	Fußnoten – Ril 880.4010 und Merkblatt Nr. 3.4/2 (1)
Anlage 6.6:	Prüfbericht des DB Umweltlabors (8)



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

Die DB Netz AG – Regionalbereich West plant den Neubau von Oberleitungsanlagen in Nachrodt, Altena und Meggen. Im Zuge dieser Maßnahme wird ein gleichzeitiger Rückbau von Oberleitungsanlagen durchgeführt. Für die Maßnahme ist eine Baugrunderkundung erforderlich, dessen Ergebnisse in diesem Gutachten zusammengefasst werden.

1.2 Auftrag

Mit der Bestellung 0016 / UAV / 29648495 wurde der Dr. Spang GmbH auf Basis der Leistungsanfrage Nr. 6941 vom 30.07.2020 der Auftrag erteilt, die entsprechenden Leistungen auszuführen.

1.3 Unterlagen

Seitens des Auftraggebers wurden uns folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- [U 1] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 AW, M. = 1 : 1.000;** freie Strecke Iserlohn Letmathe (Nachrodt) - Altena km 22,7 - km 24,7, Blatt 1/3, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 22,869 - km 23,729, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, Oktober 2019.
- [U 2] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 AX, M. = 1 : 1.000;** freie Strecke Iserlohn Letmathe (Nachrodt) - Altena km 22,7 - km 24,7, Blatt 2/3, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 23,729 - km 24,473, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, Oktober 2019.
- [U 3] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 AY, M. = 1 : 1.000;** freie Strecke Iserlohn Letmathe (Nachrodt) - Altena km 22,7 - km 24,7, Blatt 3/3, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 24,473- km 25,149, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, Oktober 2019.
- [U 4] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 BE, M. = 1 : 1.000;** BF Altena km 28,7 - km 31,2, Variante 1, Blatt 1/1, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 28,791 - km 29,686, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, September 2019.



- [U 5] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 BF, M. = 1 : 1.000;** BF Altena km 28,7 - km 31,2, Variante 1, Blatt 1/1, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 29,686 - km 30,491, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, September 2019.
- [U 6] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 BG-V1, M. = 1 : 1.000;** BF Altena km 28,7 - km 31,2, Variante 1, Blatt 1/1, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 30,491 - km 31,268, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, September 2019.
- [U 7] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 DN, M. = 1 : 1.000;** Bf Meggen km 70,2 - km 72,2, Blatt 1/4, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 69,612 - km 70,500, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, Oktober 2019.
- [U 8] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 DO, M. = 1 : 1.000;** Bf Meggen km 70,2 - km 72,2, Blatt 2/4, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 70,500 - km 70,938, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, Oktober 2019.
- [U 9] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 DP, M. = 1 : 1.000;** Bf Meggen km 70,2 - km 72,2, Blatt 3/4, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 70,938 - km 71,476, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, Oktober 2019.
- [U 10] Oberleitungslageplan, EbsL 2800 DQ, M. = 1 : 1.000;** Bf Meggen km 70,2 - km 72,2, Blatt 4/4, Hagen Hbf - Siegen Hbf (Strecke 2800), km 71,476 - km 72,216, Vössing Ingenieurgesellschaft mbH, Oktober 2019.

Des Weiteren wurden folgende Unterlagen herangezogen:

- [U 11] Geologische Karte 100 mit DGM, M. = 1 : 100.000;** Geoportal NRW, Ministerium des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen, aufgerufen im November 2020.
- [U 12] Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, M. = 1 : 25.000;** Blatt 4611, Hohenlimburg, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, Krefeld, 2005.
- [U 13] Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, M. = 1 : 25.000;** Blatt 4712, Altena, Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 1923.



- [U 14] **Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, M. = 1 : 25.000**; Blatt 4814, Lennestadt, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, 1973.
- [U 15] **Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, M. = 1 : 100.000**; Blatt C 4710, Dortmund, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, 1987.
- [U 16] **Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen, M. = 1 : 100.000**; Blatt C 5114, Siegen, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, 1984.
- [U 17] **Geoportale des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur-, Verbraucherschutz Nordrhein – Westfalen**; <http://www.elwasweb.nrw.de> & <http://www.uvo.nrw.de>, aufgerufen im November 2020.
- [U 18] **Gefährdungspotenziale des Untergrunds in Nordrhein-Westfalen**; Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Bezirksregierung Arnsberg: http://www.gdu.nrw.de/GDU_Buerger/Buerger.html, aufgerufen im November 2020.

1.4 Untersuchungen

Vom 31.08.2020 bis 05.10.2020 wurden durch Mitarbeiter der Dr. Spang GmbH **30 Kleinrammbohrungen** als Rammkernsondierungen bis in eine maximale Tiefe von 8,4 m nach DIN EN ISO 22 475-1 (Schappen-Ø 40 – 80 mm) abgeteuft. Zusätzlich wurden vom 31.08.2020 bis zum 05.10.2020 durch Mitarbeiter der Dr. Spang GmbH insgesamt **22 Schwere Rammsondierungen** (Spitzenquerschnitt 15 cm², Bärgewicht 50 kg, Fallhöhe 50 cm) und **3 Mittelschwere Rammsondierungen** (Spitzenquerschnitt 15 cm², Bärgewicht 30 kg, Fallhöhe 50 cm) nach DIN EN ISO 22 476-2 bis in eine maximale Tiefe von 10,0 m ausgeführt. Proben wurden entweder jeden Meter oder bei einem Schichtwechsel genommen.

Das Bohrgut wurde nach den Maßgaben der DIN EN ISO 14 688 geotechnisch aufgenommen und nach DIN 18 196 gruppiert sowie nach DIN 18 300: 2016 klassifiziert. Nach VOB/C (2016) wurden zusätzlich Homogenbereiche definiert. Die Ergebnisse der Bohrgutaufnahmen sind gemäß DIN 4023 in Anlage 4.2 dargestellt. Die Schweren Rammsondierungen sind gemäß DIN EN ISO 22 476-2 als Rammdiagramme in Anlage 4.3 enthalten.



Alle Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig eingemessen und sind der Anlage 2 und Tabelle 1.4-1 zu entnehmen.

Aufschluss- bezeichnung	Lage		Ansatzhöhe [m u. SOK]	Endteufe	
	Mast-Nr.	Bahn-km		[m u. SOK]	[m u. GOK]
Nachrodt					
BS / DPH 1	22-32n	22,997	-0,20	0,30	0,50
BS / DPH 2	23-2n	23,045	0,40	2,80	2,40
BS / DPH 3	23-6n	23,149	-0,30	7,10	7,40
BS / DPH 4	23-10n	23,259	0,05	7,35	7,30
BS / DPH 5	23-14n	23,369	-0,30	7,50	7,80
BS / DPH 6	23-18n	23,483	-0,30	3,00	3,30
BS / DPH 7	23-20n	23,552	-0,30	2,10	2,40
BS / DPH 8	23-32n	23,890	0,00	1,70	1,70
BS / DPM 9	23-34n	23,940	-1,20	1,20	2,40
BS / DPH 10	23-36n	23,980	-0,40	3,20	3,60
BS / DPH 11	24-6n	24,151	0,40	8,80	8,40
Altena					
BS / DPH 12	29-24n	29,473	0,15	7,85	7,70
BS 13	30-36an	30,836	-0,05	0,55	0,60
BS 14	30-37n	30,891	0,00	0,60	0,60
Meggen					
BS / DPM 15	70-29n	70,707	/	/	1,60
BS / DPH 16	70-31n	70,748	0,05	7,15	7,10
BS / DPH 17	70-34n	70,807	0,50	3,60	3,10
BS / DPH 18	70-39n	70,890	0,45	4,05	3,60
BS / DPH 19	70-41n	70,918	0,40	2,80	2,40
BS / DPH 20	70-44n	70,945	0,45	4,05	3,60
BS / DPH 21	71-3n	71,044	0,50	5,10	5,60
BS / DPH 22	71-7n	71,137	0,40	7,80	7,40
BS / DPH 23	71-15n	71,383	0,60	6,00	5,40
BS / DPH 24	71-19n	71,456	0,60	4,90	4,30
BS 25	71-25n	71,545	0,50	1,10	0,60
BS 26	71-28n	71,598	0,20	1,30	1,10
BS 27	71-31n	71,623	-0,30	0,30	0,60
BS / DPM 28	71-33n	71,663	/	/	3,70
BS / DPH 29	71-35n	71,705	-0,30	5,00	5,30
BS / DPH 30	71-38n	71,729	-0,10	3,80	3,90

Tabelle 1.4-1: Lage der Baugrundaufschlüsse und Höhen



Die Ansatzhöhen und Endteufen der Aufschlüsse sind den Darstellungen in Anlage 4 zu entnehmen. Als Bezugspunkt für die Höhenmessung diente für 28 Bohrsondierungen die Gleisoberkante und bei 2 Bohrsondierungen wurden die absolute Höhe und die Position der Ansatzpunkte mit einem GPS-Gerät eingemessen.

Im Zuge der Erkundungen wurden zur bodenmechanischen Bewertung der anstehenden Böden sowie zur Klassifizierung und Festlegung der Bodenkennwerte vom boden- und felsmechanischen Labor der Dr. Spang GmbH folgende Laborversuche durchgeführt:

- 24 x Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN 17 892-1,
- 11 x Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17 892-12,
- 19 x Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4.

Die bodenmechanischen Laborversuche werden in Kapitel 2.5 dargestellt und erläutert. Die Versuchsergebnisse sind im Einzelnen der Anlage 5 zu entnehmen. Die Ergebnisse werden bei der Bodenklassifizierung und zur Festlegung der Kennwerte herangezogen.

Weiter wurden insgesamt 10 Bohrlöcher **kurzzeitig zum Pegel** ausgebaut und jeweils eine Probe des im Pegel anstehenden Grundwassers entnommen. Die **Wasserproben** wurde zur chemischen Bewertung der **Beton- und Stahlaggressivität** an die UCL Umwelt Control Labor GmbH übergeben. Die Zusammenfassung der Ergebnisse können dem Kapitel 2.4 des vorliegenden Berichts entnommen werden. Die vollständigen Auswertungen liegen dem Bericht als Anlage 6.1 und Anlage 6.2 und der Prüfbericht als Anlage 6.3 bei.

Zur umwelttechnischen Analyse wurde an jeder Bohrsondierung eine, also insgesamt **30 Schottermischproben** gemäß Ril 880.4010 und TM 2012-049 genommen und vom DB Umweltlabor analysiert.

2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung

Die drei geplanten Bauabschnitte liegen in Nachrodt (Märkischer Kreis), Altena (Märkischer Kreis) und in Meggen (Kreis Olpe) auf der Strecke 2800. Der erste Abschnitt verläuft über eine Gesamt-



länge von ca. 1,2 km vom Bahn km 22,997 bis km 24,151, der zweite Abschnitt über eine Gesamtlänge von ca. 1,5 km von Bahn km 29,473 bis km 30,891 und der dritte Abschnitt über eine Gesamtlänge von ca. 1,1 km von Bahn km 70,707 bis km 71,729.

Die Bauabschnitte der Bahnstrecke verlaufen gemäß [U 11] von Norden aus gesehen durch folgende **naturräumlich Haupteinheiten**:

- **Märkisches Oberland** (Oberleitungslagepläne EbsL 2800 AW, AX, AY, M. = 1 : 1000; freie Strecke Iserlohn Letmathe (Nachrodt) - Altena km 22,7 - km 24,7 / Oberleitungslagepläne EbsL 2800 BE, BF, BG-V1, M. = 1 : 1000; BF Altena, km 28,7 - km 31,2)
- **Innersauerländer Senken** (Oberleitungslagepläne EbsL 2800 DN, DO, DP, M. = 1 : 1.000; Bf Meggen km 70,2 - km 72,2)
- **Südsauerländer Bergland** (Oberleitungslageplan EbsL 2800 DQ, M. = 1 : 1.000; Bf Meggen km 70,2 - km 72,2)

Die Vegetation besteht überwiegend aus niedrigwüchsiger Ruderalvegetation. Beide Seiten der Strecke sind stellenweise sehr dicht bewachsen (Baum und Buschwerk). Bautechnisch relevante Anzeichen (Böschungsinstabilität, Feuchteanzeiger) sind aus der vorhandenen Vegetation nicht abzuleiten.

Die Oberleitungsmaste befinden sich in den drei Bauabschnitten in unmittelbarer Nähe zu Wohngebäuden, Straßen, Brückenbauwerken und der Lenne.

2.2 Bodenaufbau

2.2.1 Geologische Verhältnisse

Nachrodt: Gemäß den **geologischen Karten** [U 12] und [U 15] stehen im südlichen Teil oberflächennah Bach- und Flussablagerungen in Form von tonigen bis feinsandigen und z.T. kiesigen und steinigen Schluffen (Auenlehm) an. Unterlagert werden die Ablagerungen von den Brandenberger-Schichten, die aus schluffigen Tonsteinen, tonigen Schluffsteinen oder tonigen Sandsteinen bestehen. Im nördlichen Teil lagert quartärer Hanglehm und Hangschutt, die in der Weichsel-Kaltzeit gebildet worden sind. Der Hanglehm und Hangschutt mit Mächtigkeiten von über 2 m kommen in



Form von tonig, sandigen und grusig bis steinigen Schluffen über älteren Gesteinen vor und in Mächtigkeiten von über 2 m. Der Hanglehm und Hangschutt wird von den unteren Honseler Schichten unterlagert, die aus sandigen bis schluffigen und z.T. geschieferten Tonsteinen besteht und teilweise Kalksteinlinsen enthalten.

Altena: Nach den **geologischen Karten** [U 12], [U 13] und [U 15] befinden sich im nördlichen Teil zuoberst quartäre aus der Weichsel-Kaltzeit entstandene Bach- und Flussablagerungen. Diese Ablagerungen bestehen aus Kies und Schotter in toniger bis schluffiger Grundmasse. Im südlichen Teil dieses Abschnittes lagern sandige Schiefer und Grauwackensandsteine. Unterlagert werden die Schichten aus den nördlichen und südlichen Teilen der Hobräcker-Schichten, welche aus sandigen, schluffigen und z.T. kalkhaltigen Tonsteinen besteht. Teilweise beinhalten die Hobräcker-Schichten Sand- und Schluffsteine sowie Kalksteinlinsen.

Meggen: Gemäß den **geologischen Karten** [U 14] und [U 16] lagern im gesamten Abschnitt quartäre Fluss- und Bachablagerungen. Diese fluviatilen Ablagerungen bestehen aus tonigen bis schluffigen Feinsanden (Auenlehm), die über Schotter lagern. Im nördlichen Abschnitt werden die fluviatilen Ablagerungen von den Meggen-Schichten und im südlichen Abschnitt die Äquivalente der Wissenbach-Schichten unterlagert. Die Meggen-Schichten bestehen aus schluffigen, sandigen und z.T. geschieferten Tonsteinen mit untergeordneten Sand-, Schluff- und Kalksteinen. Die Äquivalente der Wissenbach-Schichten kommt in Form von sandigen und z.T. geschieferten und kalkhaltigen Ton- und Schluffsteinen mit untergeordneten Sandsteinen vor.

2.2.2 Baugrunderkundungen

Es ist zu beachten, dass durch den seinerzeitigen Bau des bestehenden Bahnkörpers und dem dazugehörigen Wiedereinbau von tragfähigem Boden, Bodenumlagerungen stattgefunden haben und daher Auffüllungen angetroffen werden.

2.2.2.1 Nachrodt

Als oberste Schicht wurde der **Gleisschotter (Schicht 0)** angetroffen. Dabei handelt es sich bei der 0,2 m bis 0,9 mächtigen Schicht um rollige Böden, in Form von schwach sandige bis sandige, schwach tonige, schwach schluffige bis schluffige und z.T. schwach humose und kalkhaltige Kiese.



Die Farben der Kiese sind grau bis dunkelgrau und braun. Der Gleisschotter enthalten teilweise Wurzelreste, Flussschotter und Schlacke. Die Beschaffenheit der Kiese ist kantig.

Unterhalb der vorstehend beschriebenen oberflächennahen Schicht (Schicht 0) wurden größtenteils **Auffüllungen (Schicht 1)** erkundet. Die Auffüllung ist ca. 0,3 m bis 2,5 m mächtig und treten in Form von schwach schluffigen bis schluffigen, schwach tonigen und schwach sandigen bis sandigen Kiesen und schwach sandigen, stark schluffigen, kiesigen bis stark kiesigen und z.T. schwach feinsandigen, schwach feinkiesigen und schwach organischen Tonen vor. Die Farben variieren zwischen hell- bis dunkelbraun und grau. Die Tone besitzen eine sehr weiche bis steife Konsistenz (tlw. auch halbfest). Die Kiese sind kantig und bestehen aus Ton- und Sandsteinen sowie Flussschotter. Des Weiteren enthalten die Auffüllungen teilweise Schlacke.

Als unterste Schicht, mit der Erkundung aufgeschlossene Schicht stehen die 1,0 m bis 7,0 m mächtigen **fluviatilen Sedimente (Schicht 2)** in Form von schwach sandigen bis sandigen, schwach bis stark schluffigen, schwach tonigen bis tonigen und z.T. schwach feinsandigen und kalkhaltigen Kiese und schluffigen bis stark schluffigen, schwach bis stark kiesigen, schwach feinsandigen, sandigen bis stark sandigen und z.T. schwach humosen bis humosen Tonen an. Die Kiese sind kantig bis gerundet und bestehen aus Tonsteinen und Flussschotter. Des Weiteren enthalten die fluviatilen Sedimente Holz- und Wurzelreste. Die Farben der Kiese sind hellbraun bis braun, hellgrau bis grau und grün und die der Tone hellgrau bis grau, hellbraun und graubraun.

Die Schlagzahlen der zugehörigen **Schweren Rammsondierung** liegen innerhalb des Gleisschotter (Schicht 0) zwischen $N_{10} = 3$ und $N_{10} = 10$ und ist dementsprechend locker bis mitteldicht gelagert. Die Böden der Schicht 1 weisen Schlagzahlen zwischen $N_{10} = 4$ und $N_{10} = 11$ auf. Die Lagerung der Schicht 1 ist als mitteldicht zu bewerten. Lokal wurden innerhalb der Schicht 1 Schlagzahlen von bis zu $N_{10} = 32$ gemessen. Dies weist auf eine lokale dichte Lagerung hin. Innerhalb der Schicht 2 wurden Schlagzahlen zwischen $N_{10} = 7$ und $N_{10} = 75$ gemessen. Dementsprechend besitzen Lockergesteine der fluviatilen Sedimente (Schicht 2) eine mitteldichte bis sehr dichte Lagerung. Innerhalb der Auffüllungen (Schicht 1) und fluviatilen Sedimente (Schicht 2) steigen die Schlagzahlen schlagartig auf $N_{10} > 100$ an. Es ist dementsprechend mit größeren Einlagerungen / Härtlingen innerhalb der Schicht 1 und 2 zu rechnen.

In der nachfolgenden Tabelle 2.2.2.1-1 ist der generalisierte Baugrundaufbau dargestellt.



Schicht Nr.	Bezeich- nung	Schicht- mächtigkeit [m]	Bodenbeschreibung	
			Kornverteilung / Farbe	Konsistenz / Lagerungsdichte
0	Gleisschotter	0,2 - 0,9 ¹⁾	Kies, schwach sandig bis sandig, schwach tonig, schwach schluffig bis schluffig, schwach humos / grau bis dunkelgrau, braun	locker bis mitteldicht
1	Auffüllungen	0,3 - 2,5 ^{1) 2)}	Kies, schwach schluffig bis schluffig, schwach feinsandig, schwach tonig, schwach sandig bis sandig / grau, hell- braun Ton, schwach sandig, stark schluffig, kiesig bis stark kiesig, schwach fein- sandig, schwach feinkiesig, schwach organisch / hell- bis dunkelbraun, grau	mitteldicht, z.T. dicht weich bis steif z.T. halbfest
2	fluviatile Sedimente	1,0 - 7,0 ^{1) 2)}	Kies, schwach sandig bis sandig, schwach bis stark schluffig, schwach tonig bis tonig, schwach feinsandig / hellbraun bis braun, hellgrau bis grau, grün Ton, schluffig bis stark schluffig, schwach bis stark kiesig, schwach feinsandig, schwach humos bis hu- mos, schwach organisch, sandig bis stark sandig / hellgrau bis grau, hell- braun, graubraun	mitteldicht bis sehr dicht weich bis halbfest

1) nicht in allen Bohrungen erkundet

2) z.T. Schichtunterkante nicht erkundet

Tabelle 2.2.2.1-1: Baugrundaufbau in Nachrodt

2.2.2.2 Altena

Im Rahmen der Baugrunduntersuchung wurden an der Geländeoberfläche **Gleisschotter (Schicht 0)** in Form von schwach sandigen bis sandigen, schwach bis stark schluffigen, schwach steinigen, schwach blockigen, schwach humosen und z.T. schwach tonigen und schwach feinsandigen Kiesen angetroffen. Die Kiese sind kantig (tlw. auch gerundet) und bestehen aus Tonsteinen, Flusskiesen und Betonresten. Die Farben sind grau bis dunkelgrau und braun. Die humosen Anteile bestehen aus Wurzelresten.



Unterhalb des Gleisschotter stehen ca. 1,9 m mächtige **Auffüllungen (Schicht 1)** an. Diese setzen sich aus schwach schluffigen bis schluffigen, schwach sandigen und schwach tonigen Kiesen zusammen. Die Farbe des angetroffenen Bodenmaterials ist braun und grau. Die Auffüllungen sind kantig und enthalten Tonsteine.

Als unterste Schicht wurden die **fluviatilen Sedimente (Schicht 2)** mit einer Mächtigkeit von ca. 4,8 m erkundet. Diese kommen in Form von schwach schluffigen, schwach sandigen und schwach tonigen Kiesen und stark schluffigen, schwach feinsandigen und schwach kiesigen Tönen vor. Die Kiese bestehen aus Flussskiesen und sind gerundet. Die Konsistenz der Tone ist sehr weich bis steif. Die Farbe der Kiese ist braun und die der Tone ist hellgrau bis grau. Darunter folgt gesteinsfester Tonstein der **Hobräcker Schichten (Schicht 3a)**, der während der Baugrunderkundung nicht aufgeschlossen wurde. Das Gestein ist faserig, geschiefert und enthält z.T. Kalksteinlinsen sowie Sand- und Schluffsteine.

Die Schlagzahlen der zugehörigen **schweren Rammsondierung** liegen innerhalb des Lockergesteins der Auffüllungen (Schicht 1) zwischen $N_{10} = 2$ und $N_{10} = 8$. Dementsprechend besitzen die Auffüllungen eine lockere bis mitteldichte Lagerung. Der Boden der Schicht 2 weist Schlagzahlen zwischen $N_{10} = 11$ und $N_{10} = 35$ auf. Die Lagerung der Schicht 2 ist als mitteldicht bis sehr dicht zu bewerten. Innerhalb der fluviatilen Sedimente (Schicht 2) steigen die Schlagzahlen schlagartig auf $N_{10} > 100$ an. Es ist dementsprechend mit größeren Einlagerungen / Härtingen innerhalb der Schicht 2 zu rechnen.

In der nachfolgenden Tabelle 2.2.2.2-1 ist der generalisierte Baugrundaufbau dargestellt.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Schicht- mächtigkeit [m]	Bodenbeschreibung	
			Kornverteilung / Farbe	Konsistenz / Lagerungsdichte
0	Gleisschotter	0,6 - 1,0 ²⁾	Kies, schwach sandig bis sandig, schwach bis stark schluffig, schwach humos, schwach steinig, schwach blockig, schwach tonig, schwach feinsandig / grau bis dunkelgrau, braun	/
1	Auffüllungen	1,9 ¹⁾²⁾	Kies, schwach schluffig bis schluffig, schwach sandig, schwach tonig / braun, grau	locker bis mitteldicht



Schicht Nr.	Bezeich- nung	Schicht- mächtigkeit [m]	Bodenbeschreibung	
			Kornverteilung / Farbe	Konsistenz / Lagerungsdichte
2	fluviatile Sedimente	4,8 ^{1) 2)}	Kies, schwach schluffig, schwach sandig, schwach tonig / braun Ton, stark schluffig, schwach feinsandig, schwach kiesig / hellgrau bis grau	mitteldicht bis sehr dicht sehr weich bis steif
3a	Hobräcker Schichten	> 150	Tonstein, sandig, schluffig / grün, grau, blaugrau	/

1) nicht in allen Bohrungen erkundet

2) z.T. Schichtunterkante nicht erkundet

Tabelle 2.2.2.2-1: Baugrundaufbau in Altena

2.2.2.3 Meggen

Als oberste Schicht wurde in Meggen **Gleisschotter (Schicht 0)** mit Mächtigkeiten zwischen 0,1 m und 1,4 m angetroffen. Dieser besteht größtenteils aus schwach steinigen bis steinigen, schwach blockigen bis blockigen, schwach schluffigen bis schluffigen, schwach sandigen und z.T. schwach tonigen, schwach feinsandigen, schwach humosen und kalkhaltigen Kiesen und zum Teil aus schwach schluffigen und schwach sandigen Steinen und Blöcken. Die Farbe der Steine und Blöcke ist braun und die der Kiese hell- bis dunkelgrau, hell- bis dunkelbraun und rot. Die Kiese sind kantig und enthalten teilweise Splitt, Schlacke, Schotter, Flussschotter, Tonsteine sowie Beton- und Ziegelreste. Die angetroffenen Steine und Blöcke sind kantig und bestehen aus Tonsteinen. Der humose Anteil besteht aus Wurzelresten.

Unterhalb des Gleisschotters wurden **Auffüllungen (Schicht 1)** angetroffen. Diese Auffüllungen kommen in Form von schwach steinigen, schwach blockigen, schwach sandigen bis sandigen, schwach schluffigen bis schluffigen und z.T. schwach tonigen Kiesen und teilweise aus stark schluffigen, stark sandigen und kiesigen Tönen vor. Die Mächtigkeit der Auffüllungen liegt zwischen 0,4 m und 1,8 m. An der Bohrsondierung BS 29 wurden lokal aufgrund der Lage (Böschungskrone) Auffüllungen mit einer Mächtigkeit von 3,7 m angetroffen. Die Farbe der Tone ist braun und die der Kiese grau bis dunkelgrau und braun bis dunkelbraun. Die Kiese sind kantig und enthalten Tonsteine sowie Beton- und Ziegelreste. Der steinige und blockige Anteil besteht aus Tonsteinen. Die Konsistenz der Tone ist weich bis steif.



Als erster gewachsener Boden wurden **fluviatile Sedimente (Schicht 2)** in Form von schwach bis stark schluffigen, schwach sandigen bis sandigen, schwach tonigen bis tonigen und z.T. feinsandigen Kiesen und schwach feinkiesigen bis feinkiesigen, schluffigen bis stark schluffigen, schwach feinsandigen bis feinsandigen, schwach kiesigen bis kiesigen und z.T. schwach sandigen Tonen erkundet. Die Mächtigkeit der Schicht 2 liegt zwischen 0,8 m und 6,1 m. Die Kiese sind kantig bis gerundet und bestehen aus Flusskiesen und Tonsteinen. Innerhalb der Schicht 2 wurden Schlufflin- sen angetroffen. Die Farben der Tone sind hellbraun bis braun und die der Kiese hellbraun bis braun und grau. Die Konsistenz der Tone ist größtenteils weich bis halbfest und teilweise sehr weich.

An der Basis der Bohrsondierungen BS 22 bis BS 24 wurde 0,6 m bis 2,9 m mächtiger angewitterter Tonstein der **Äquivalente der Wissenbach-Schichten (Schicht 3b)** angetroffen. Das Gestein ist geschiefert und besitzt die Farben braun und grau bis dunkelgrau.

Die Schlagzahlen der zugehörigen **Schweren Rammsondierungen** liegen innerhalb der Auffüllun- gen (Schicht 1) zwischen $N_{10} = 1$ und $N_{10} = 32$. Dementsprechend sind die Lockergesteine der Auf- füllungen locker bis dicht gelagert. Weiter wurden innerhalb der Schicht 1 Schlagzahlen der **mittel- schweren Rammsondierung** von $N_{10} = 74$ gemessen. Dies weist lokal auf eine sehr dichte Lage- rung hin. Die Böden der Schicht 2 (fluviatilen Sedimente) weisen Schlagzahlen zwischen $N_{10} = 4$ und $N_{10} = 96$ auf. Die Lagerung der fluviatilen Sedimente ist als locker bis sehr dicht zu bewerten. Lokal wurden innerhalb Schicht 2 Schlagzahlen von $N_{10} = 1$ gemessen, was auf eine sehr lockere Lagerung hinweist.

In der nachfolgenden Tabelle 2.2.2.3-1 ist der generalisierte Baugrundaufbau dargestellt.

Schicht Nr.	Bezeich- nung	Schicht- mächtigkeit [m]	Bodenbeschreibung	
			Kornverteilung / Farbe	Konsistenz / Lagerungsdichte
0	Gleisschotter	0,1 - 1,4 ^{1) 2)}	Steine, Blöcke, schwach schluffig, schwach sandig / braun Kies, schwach steinig bis steinig, schwach blockig bis blockig, schwach feinsandig, schwach schluffig bis schluffig, schwach sandig bis sandig, schwach tonig, schwach humos / hell- bis dunkelgrau, hell- bis dunkelbraun, rot	/



Schicht Nr.	Bezeich- nung	Schicht- mächtigkeit [m]	Bodenbeschreibung	
			Kornverteilung / Farbe	Konsistenz / Lagerungsdichte
1	Auffüllungen	0,4 - 3,7 ^{1) 2)}	Kies, schwach steinig, schwach blockig, schwach sandig bis sandig, schwach schluffig bis schluffig, schwach tonig / grau bis dunkelgrau, braun bis dunkelbraun Ton, stark schluffig, stark sandig, kiesig / braun	locker bis dicht z.T. sehr dicht weich bis steif
2	fluviatile Sedimente	0,8 - 6,1 ^{1) 2)}	Kies, schwach bis stark schluffig, schwach sandig bis sandig, schwach tonig bis tonig, feinsandig / hellbraun bis braun, grau Ton, schwach schluffig bis schluffig, schwach kiesig bis kiesig, schwach feinsandig bis feinsandig, schwach feinkiesig bis feinkiesig, schwach sandig / hellbraun bis braun	locker bis sehr dicht z.T. sehr locker weich bis halbfest z.T. sehr weich
3b	Äquivalente der Wissen- bach-Schich- ten	0,6 - 2,9 ^{1) 2)}	(Tst) / grau bis dunkelgrau, braun	/

1) nicht in allen Bohrungen erkundet

2) z.T. Schichtunterkante nicht erkundet

Tabelle 2.2.2.3-1: Baugrundaufbau in Meggen

2.3 Hydrogeologie / Grundwasser

Gemäß [U 17] gehört der Abschnitt in Nachrodt und Altena dem **Kluftgrundwasserleiter** „Rechtsrheinisches Schiefergebirge / untere Lenne“ (DEGB_DENW_276_10) an. Der GW-Körper erstreckt sich über eine Fläche von rund 459 km². Der Kluft-GWL ist aus Ton- und Schluffsteinen und z.T. Sandsteinen aufgebaut und besitzt eine sehr geringe bis geringe Durchlässigkeit. Der Abschnitt „Meggen“ gehört dem **Kluftgrundwasserleiter** „Rechtsrheinisches Schiefergebirge / mittlere Lenne“ (DEGB_DENW_276_26) an. Der GW-Körper erstreckt sich über eine Fläche von rund 472 km² und ist aus Ton- und Schluffsteinen und z.T. Sandsteinen aufgebaut. Dementsprechend besitzt der Kluft-GWL eine sehr geringe bis geringe Durchlässigkeit.



Das nächstgelegene Oberflächengewässer in Nachrodt, Altena und Meggen bildet die Lenne. Die Lenne fließt von Süden nach Norden und mündet in der Ruhr und fließt über den Rhein ab. Der Abstand zur Bahnstrecke liegt in Nachrodt zwischen 50 m und 280 m in östlicher Entfernung und in Altena und Meggen jeweils zwischen 20 m bis 60 m in östlicher Entfernung.

Im Zuge der Baugrunderkundung wurden 11 von 30 Bohrlöchern temporär zu Pegelmessstellen ausgebaut. Die Ergebnisse der Messungen sind in der nachstehenden Tabelle 2.3-1 dargestellt.

Bohrung	Höhe Ansatzpunkt [m SOK]	Messdatum	Wasserspiegel [m u. SOK]	Flurabstand [m u. GOK]
Nachrodt				
BS 3	+ 0,30	04.09.2020	4,80	5,10
BS 4	- 0,05	04.09.2020	5,69	5,64
BS 6	+ 0,30	08.09.2020	1,53	1,83
BS 7	+ 0,30	09.09.2020	1,83	2,13
Altena				
BS 12	- 0,15	14.09.2020	2,86	2,71
Meggen				
BS 16	- 0,05	05.10.2020	4,03	3,98
BS 21	+ 0,50	25.09.2020	3,00	3,50
BS 22	- 0,40	25.09.2020	3,72	3,32
BS 23	- 0,34	01.10.2020	2,31	1,97
BS 24	- 0,60	01.10.2020	1,63	1,03
BS 29	+ 0,30	28.09.2020	3,85	4,15

Tabelle 2.3-1: Angetroffene Wasserstände während der Baugrunderkundung

Es wurden zusätzlich die Daten des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW [U 17] hinzugezogen und ausgewertet. Angegeben ist in der Tabelle 2.3-2 für die umliegende Grundwassermessstelle der mittlere und der höchste gemessene Grundwasserstand seit Beginn der jeweiligen Grundwasserstandsmessungen.

Messstellen Nr.	Ort	Messzeit- raum	mittlerer GW-Stand		maximaler GW-Stand	
			[m u. GOK]	[m NHN]	[m u. GOK]	[m NHN]
Nachrodt						
059621321	970 m N' von Mast 22-32n	2001 - 2020	2,16	+126,76	0,41	+128,51

Tabelle 2.3-2: Grundwasserstände der umliegenden Grundwassermessstellen des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW [U 17]



Gemäß [U 17] sind Grundwassermessstellen in Altena und Meggen nicht in greifbarer Nähe vorhanden, sodass auf entsprechende Messdaten nicht zurückgegriffen werden konnte. Da zuverlässige Daten von Langzeitmessungen für den unmittelbaren Bereich des geplanten Bauwerks fehlen, ist es erforderlich, den Bemessungswasserstand und den Bauwasserstand vorsichtig auf Grundlage der begrenzt verfügbaren Informationen abzuschätzen.

Auf Basis der vorangegangenen Informationen und unter Zuschlag einer Sicherheit für mögliche Grundwasserschwankungen werden die Bau- und Bemessungswasserstände für die Abschnitte in Nachrodt, Altena und Meggen angesetzt. Im Abschnitt „**Nachrodt**“ der **Bauwasserstand** – der während der Bauzeit höchste zu erwartende Grundwasserstand – auf **1,5 m u. GOK** angesetzt. Der **Bemessungswasserstand** – der maximal erwartete Wasserstand über die gesamte Betriebsdauer der Oberleitungsmasten – wird auf **1,0 m u. GOK** angesetzt.

Für den Abschnitt in „**Altena**“ wird der **Bauwasserstand** auf **2,5 m u. GOK** angesetzt und der **Bemessungswasserstand** wird aufgrund der Nähe zur Lenne auf **1,0 m u. GOK** festgesetzt.

Der **Bau- und Bemessungswasserstand** im Abschnitt „**Meggen**“ wird auf **0,5 m u. GOK** angesetzt.

Die Durchlässigkeiten für die angetroffenen Bodenschichten können als Bandbreite für alle drei Abschnitte gemäß der nachstehenden Tabelle 2.3-3 angesetzt werden.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	Durchlässigkeitsbereich ¹⁾
0	Gleisschotter	5×10^{-2} bis 1×10^{-4}	sehr stark durchlässig bis durchlässig
1	Auffüllungen	1×10^{-2} bis 1×10^{-10}	stark durchlässig bis sehr schwach durchlässig
2	fluviatile Sedimente	1×10^{-2} bis 1×10^{-11}	stark durchlässig bis sehr schwach durchlässig
3	angewitterter Tonstein	1×10^{-6} bis 1×10^{-11}	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig

1) Bezeichnung gemäß DIN 18 130

Tabelle 2.3-3: Durchlässigkeitsbeiwerte der Schichten

2.4 Hydrochemie

An insgesamt 11 Kleinrammbohrungen wurde Grundwasser angetroffen. Infolgedessen wurden die benannten Bohrungen kurzzeitig zur Pegelmessstelle ausgebaut. Insgesamt wurden an 10 der 11



ausgebauten Pegel Wasserproben entnommen. Die Grundwasserproben wurden auf ihre **Betonggressivität** gemäß DIN 4030 Teil 1: 2008-06 und ihre **Stahlaggressivität** nach DIN 50 929, Teil 3 geprüft. Demnach besitzen die Proben aus **Nachrodt** eine sehr geringe bis beringe Mulden- und Lochkorrosion, sowie eine sehr geringe Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit und sind gegenüber Beton als schwach angreifend XA1 einzustufen.

Die Grundwasserprobe aus **Altena** ist gegenüber Beton als nicht aggressiv einzustufen und besitzt eine sehr geringe Mulden- und Lochkorrosion sowie eine sehr geringe Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit.

Die Proben aus **Meggen** besitzen eine sehr geringe bis geringe Mulden- und Lochkorrosion, sowie eine sehr geringe Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit und ist gegenüber Beton größtenteils als nicht aggressiv und teilweise als schwach angreifend XA 1 einzustufen. Die Auswertungen sind den Anlagen 6.1 und 6.2 zu entnehmen. Der vollständige Prüfbericht der Grundwasserproben sind dem Gutachten als Anlage 6.3 beigelegt.

2.5 Bodenmechanische Laborversuche

Zur detaillierteren bodenmechanischen Bewertung der anstehenden Böden sowie zur Klassifizierung und Festlegung der Bodenkennwerte wurden von der Dr. Spang GmbH die nachfolgend genannten bodenmechanischen Laborversuche an repräsentativen Bodenproben durchgeführt:

- 11x Bestimmung der Konsistenzgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12,
- 19x Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4,
- 24x Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN ISO 17 892-1.

Plastizitätsuntersuchungen: Die Benennung der Zustandsform des bindigen Bodens anhand der Konsistenzzahlen ist in der folgenden Tabelle 2.5-1 wiedergegeben.

Konsistenzzahl I_c	Zustandsform
< 0	flüssig
0,0 - 0,25	breiig
0,25 - 0,50	sehr weich
0,50 - 0,75	weich



Konsistenzzahl I_c	Zustandsform
0,75 - 1,00	steif
> 1,00	halbfest

Tabelle 2.5-1: Benennung der Zustandsform anhand der Konsistenzzahl I_c nach DIN EN ISO 17 892-12

In der nachstehenden Tabelle 2.5-2 sind die Ergebnisse der Plastizitätsuntersuchungen zusammengefasst. Die Detailergebnisse einschließlich der Darstellungen im Plastizitätsdiagramm nach Casagrande können der Anlage 5.2 entnommen werden.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	w_n [%]	w_L [%]	I_P [%]	I_c [%]	Konsistenz	Boden- gruppe ¹⁾
Nachrodt									
BS 2-4	0,6 - 3,4	2	T, $\bar{u}$, g, s'	15,7	26,5	9,3	0,75	weich - steif	TL / CIL
BS 3-5	2,9 - 4,4	2	T, u', s'	34,6	42,7	20,5	0,34	sehr weich	TM / CIM
BS 2-4	0,2 - 3,2	1	A (T, u, g, s')	16,2	31,8	13,1	0,69	weich	TL / CIL
BS 10-11	1,4 - 3,2	2	T, $\bar{u}$, g, s'	15,6	29,6	12,6	0,41	sehr weich	TL / CIL
BS 11	4,4 - 8,1	2	T, $\bar{u}$, g, s'	20,2	27,9	10,3	0,25	breiig - sehr weich	TL / CIL
Altena									
BS 12	2,9 - 4,2	2	T, u, s', g'	25,4	36,0	15,7	0,39	sehr weich	TM / CIM
Meggen									
BS 16-18	1,0 - 2,6	2	T, u, g, s'	16,5	33,2	13,4	0,94	steif	TL / CIL
BS 29-30	1,0 - 2,6	2	T, u, g, s'	19,5	39,6	17,8	0,39	sehr weich	TM / CIM
BS 19-21	1,4 - 2,4	2	T, u, s, g	19,3	36,4	16,0	0,39	sehr weich	TM / CIM
BS 22-24	0,8 - 1,6	2	T, u, g, s'	21,6	39,0	16,9	0,80	steif	TM / CIM
BS 22-24	3,6 - 7,4	2	T, u, $\bar{s}$, g	13,3	39,0	16,9	0,56	weich	TM / CIM

w_n = natürlicher Wassergehalt; w_L = Wassergehalt an der Fließgrenze; w_P = Wassergehalt an der Ausrollgrenze;

I_P = Plastizitätsindex, I_c = Konsistenzzahl

1) DIN 18 196 / DIN EN ISO 14 688-2

Tabelle 2.5-2: Ergebnisse der Plastizitätsuntersuchung nach DIN EN ISO 17 892-12

Gemäß DIN 17 982-12 lässt sich zwischen den Konsistenzzahlen I_c und der Konsistenz des Bodens eine Beziehung herstellen, die zur Bewertung der Zustandsform verwendet wird.

Die Konsistenzzahl I_c der untersuchten Proben der Schicht 2 (fluviale Sedimente) liegen zwischen 0,25 und 0,94 und besitzen dementsprechend eine breiige bis steife Konsistenz. Gemäß DIN EN 17 892-12 handelt es sich dabei um leicht- und mittelplastische Tone (TL / TM). Bei der untersuchten Probe der Schicht 1 (Auffüllungen) wurde eine Konsistenzzahl I_c von 0,69 ermittelt. Es



handelt sich bei der untersuchten Probe der Schicht 1 gemäß DIN EN ISO 17 892-12 um einen leicht plastischen Ton (TL).

Korngrößenzusammensetzung: Zur Beurteilung der Korngrößenzusammensetzung der Böden wurden 19 Sieb-Schlämmanalysen bzw. Siebungen nach DIN EN ISO 17 892-4 durchgeführt. Anhand der Ergebnisse lassen sich grundsätzliche bautechnische Eigenschaften des Materials abschätzen. Die Ergebnisse sind als Körnungslinie der Anlage 5.3 zu entnehmen und in nachfolgender Tabelle 2.5-3 zusammengefasst.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Feinstkornanteil ¹⁾ [%]	Schlammkornanteil ²⁾ [%]	Bodenart ³⁾	Boden- gruppe ⁴⁾
Nachrodt						
BS 1 - 6	0,0 - 0,7	0	/	4,1	A (gG, mg)	GE
BS 7 - 11	0,0 - 1,0	0	/	5,9	A (gG, mg, u', s')	GI
BS 2 - 3	0,4 - 1,5	2	3,9	44,4	U, $\bar{g}$, s'	UL
BS 2 - 4	0,2 - 3,2	1	9,1	66,3	A (T, u, g, s')	UL / UM
BS 2 - 4	0,6 - 3,4	2	10,8	74,1	T, $\bar{u}$, g, s'	UL / UM
BS 3 - 5	2,9 - 4,4	2	14,5	92,5	T, u', s'	UL / UM
BS 7 - 10	0,4 - 3,6	2	1,9	14,5	G, s', u'	GU
BS 10 - 11	1,4 - 3,2	2	10,7	55,6	T, $\bar{u}$, g, s'	UL / UM
BS 11	4,4 - 8,1	2	12,4	69,4	T, $\bar{u}$, g, s'	UL / UM
Altena						
BS 12	0,0 - 2,9	1 (0)	/	6,4	A (gG, $m\bar{g}$, u', s', fg')	GI / GU
BS 12	2,9 - 4,2	2	14,9	76,7	T, u, s', g'	UL / UM
Meggen						
BS 15, 16, 18 - 21	0,0 - 1,9	1	/	6,9	A (gG, mg, u', s')	GI / GU
BS 22, 24, 26 - 29	0,0 - 1,4	0	/	8,9	A (gG, $m\bar{g}$, u', s', fg')	GU
BS 17 - 22	0,0 - 0,7	0	/	4,0	A (gG, $m\bar{g}$, gs', fg')	GI
BS 23 - 26, 30	0,0 - 1,0	0	/	2,8	A (gG, mg, s')	GW
BS 19 - 21	1,4 - 2,4	2	14,8	51,7	T, u, s, g	UL / UM
BS 16 - 18, 20, 21	1,5 - 3,9	2	3,7	12,2	G, s, u'	GU
BS 22 - 24	3,6 - 7,4	2	7,5	28,0	T, u, $\bar{s}$, g	SU*
BS 22 - 24, 29, 30	1,4 - 4,1	2	2,8	9,8	G, s, u'	GU

1) Korngröße $\leq 0,002$ mm

2) Korngröße $\leq 0,063$ mm

3) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023

4) DIN 18 196

Tabelle 2.5-3: Ergebnisse der Kornverteilungsuntersuchung nach DIN EN ISO 17 892-4



Es wurden 6 der insgesamt 19 Korngrößenbestimmungen an Proben aus der Schicht 0 (Gleisschotter) durchgeführt. Bei den Proben aus der Schicht 0 handelt es sich um Kiese (GE / GW / GI) und Kies-Schluff-Gemische (GU).

An den Proben der Schicht 1 (Auffüllungen) handelt es sich größtenteils um rollige und gemischtkörnige Böden mit einem gemessenen Schlämmkornanteil von ca. 7 %. Dieser rollige Boden wird nach DIN 18 196 als Kies (GI) und Kies-Schluff-Gemische (GU) eingestuft. Der untersuchte bindige Boden der Schicht 1 weist einen Schlämmkornanteil von ca. 67 % auf. Infolgedessen wird der bindige Boden nach DIN 18 196 als leicht- bis mittelplastischer Schluff (UL / UM) eingestuft.

Bei der Sieb-/Schlämmanalyse an den gemischtkörnigen Proben der fluviatilen Sedimente (Schicht 2) wurde ein Schlämmkornanteil zwischen ca. 10 % und 28 % gemessen. Dieser rollige Boden der Schicht 2 wird nach DIN 18 196 als Kies-Schluff-Gemisch (GU) und Sand-Schluff-Gemisch (SU*) eingestuft. Die untersuchten bindigen Böden der Schicht 2 weisen einen Feinstkornanteil zwischen ca. 4 % und 15 % und einen Schlämmkornanteil zwischen ca. 45 % und 93 % auf. Dieser bindige Boden wird nach DIN 18 196 als leicht- bis mittelplastischer Schluff (UL / UM) eingestuft.

Wassergehalt: Zur Ermittlung des Wassergehaltes wurden insgesamt 24 Versuche nach DIN EN ISO 17892-1 durchgeführt. Die Ergebnisse der Bestimmung des Wassergehalts sind der Anlage 5.1 zu entnehmen und in Tabelle 2.5-4 zusammengefasst.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart ¹⁾	Wassergehalt [%]
Nachrodt				
BS 1 - 6	0,0 - 0,7	0	A (gG, mg)	2,05
BS 7 - 11	0,0 - 1,0	0	A (gG, mg, u', s')	2,67
BS 2 - 3	0,4 - 1,5	2	U, $\bar{g}$, s'	8,86
BS 2 - 4	0,6 - 3,4	2	T, $\bar{u}$, g, s'	15,65
BS 3 - 5	2,9 - 4,4	2	T, u', s'	34,64
BS 7 - 10	0,4 - 3,6	2	G, s', u'	5,12
BS 1, 5, 6	0,2 - 3,2	1	A (T, u, g, s')	16,19
BS 10 - 11	1,4 - 3,2	2	T, $\bar{u}$, g, s'	15,62
BS 11	4,4 - 8,1	2	T, $\bar{u}$, g, s'	20,20
BS 6 + 11	0,5 - 1,4	1	A (G, u, s')	5,37
Altena				
BS 12	2,9 - 4,2	2	T, u, s', g'	25,45
BS 13 - 14	0,0 - 0,6	0	A (G, u, s', t')	13,04
BS 12	0,0 - 2,9	1 (0)	A (gG, $m\bar{g}$, u', s', fg')	5,01



Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart ¹⁾	Wassergehalt [%]
Meggen				
BS 15, 16, 18 - 21	0,0 - 1,9	1	A (gG, mg, u', s')	3,63
BS 22, 24, 26 - 29	0,0 - 1,4	0	A (gG, m $\bar{g}$, u', s', fg')	4,67
BS 16 - 18	1,0 - 2,6	2	T, u, g, s'	16,48
BS 17 - 22	0,0 - 0,7	0	A (gG, m $\bar{g}$, gs', fg')	1,69
BS 23 - 26, 30	0,0 - 1,0	0	A (gG, mg, s')	1,90
BS 29 - 30	1,0 - 2,6	2	T, u, g, s'	19,46
BS 19 - 21	1,4 - 2,4	2	T, u, s, g	19,26
BS 22 - 24	0,8 - 1,6	2	T, u, g, s'	18,49
BS 16 - 18, 20, 21	1,5 - 3,9	2	G, s, u'	6,78
BS 22 - 24	3,6 - 7,4	2	T, u, $\bar{s}$, g	13,29
BS 22 - 24, 29, 30	1,4 - 4,1	2	G, s, u'	8,91

1) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023

2) DIN 18 196

Tabelle 2.5-4: Ergebnisse der Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN EN ISO 17892-1

Durch die Versuche wurde ein Wassergehalt des Gleisschotters (Schicht 0) von 2,05 % bis 13,04 % gemessen. An den Proben der Auffüllungen (Schicht 1) wurde ein Wassergehalt von 3,63 % bis 16,19 % ermittelt. Bei den untersuchten Proben der fluviatilen Sedimente (Schicht 3) wurden Wassergehalte zwischen 5,12 % und 34,64 % gemessen.

2.6 Umwelttechnische Untersuchungen

Für die Beurteilung des Gleisschotters wurde an jeder Bohrsondierung eine Mischprobe aus insgesamt 5 Schottereinzelpuben gemäß den Vorgaben den Richtlinien Ril 880.4010 und TM 2012-049 zusammengestellt und untersucht. Zusätzlich wurden die Mischproben auf Herbizide untersucht und mit den Zuordnungswerten des TR Gleisschottermerkblatts Nr. 3.4/2 vom Bayerischen Landesamt für Umwelt verglichen.

Die Ril-Richtlinie und das Gleisschottermerkblatt sind für die Bewertung der Wiederverwertungs-/Beseitigungsmöglichkeiten von Altschotter gedacht. Zusätzlich können anhand deren Zuordnungswerte Z 0 bis Z 2 und den vorstehenden Wiedereinbaukriterien Rückschlüsse auf die Höhe der Bodenverunreinigungen getroffen werden.



Probe	Bahn-km	Einstufung	Schadstoffe		Einstufung Gefährlichkeit nach AVV	AVV-Nr.
			Parameter	Gehalt		
Nachrodt						
MP BS 1	22,997	Z 2	Glyphosat	0,21 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 2	23,045	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,1 [-] 0,21 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 3	23,149	Z 1.1	Glyphosat	0,04 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 4	23,259	Z 1.2	pH-Wert	9,1 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 5	23,369	Z 1.2	pH-Wert	9,1 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 6	23,483	Z 1.2	pH-Wert	9,2 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 7	23,552	Z 1.2	pH-Wert	9,1 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 8	23,890	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,1 [-] 0,11 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 9	23,940	Z 2	Glyphosat	1,17 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 10	23,980	Z 1.2	pH-Wert	9,2 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 11	24,151	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,2 [-] 0,17 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08

In Tabelle 2.6-1 sind die durchgeführten Maßnahmen nach Ril 880.4010 und Merkblatt 3.4/2 entsprechend der Zuordnungswerte Z 0 bis Z 2 zusammengestellt.

Zuordnungswerte	Maßnahmen (Auszug)
Z 0	uneingeschränkter Einbau
Z 1.1	eingeschränkt offener Einbau auch bei hydrogeologisch ungünstigen Verhältnissen
Z 1.2	eingeschränkt offener Einbau, aber nur bei hydrogeologisch günstigen Verhältnissen $\geq$ Z 1.1
Z 2	eingeschränkter Einbau mit definierten Sicherungsmaßnahmen
> Z 2	Aufbereitung oder Einbau/Ablagerung in Deponien erforderlich Bestimmung der Deponieklasse nach DepV erforderlich

Tabelle 2.6-1: Zuordnungswerte sowie sich daraus ergebende Konsequenzen für die Verwertung / Entsorgung

Die Analyseergebnisse werden in der Anlage 6.4 den Zuordnungswerten der Ril 880.4010 und des Merkblatts 3.4/2 gegenübergestellt. Die Originalanalytik und die Prüfverfahren sind der Anlage 6.6 (Prüfbericht 20B03139) zu entnehmen.



Probe	Bahn-km	Einstufung	Schadstoffe		Gefährlichkeit nach AVV	AVV-Nr.
			Parameter	Gehalt		
Nachrodt						
MP BS 1	22,997	Z 2	Glyphosat	0,21 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 2	23,045	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,1 [-] 0,21 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 3	23,149	Z 1.1	Glyphosat	0,04 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 4	23,259	Z 1.2	pH-Wert	9,1 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 5	23,369	Z 1.2	pH-Wert	9,1 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 6	23,483	Z 1.2	pH-Wert	9,2 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 7	23,552	Z 1.2	pH-Wert	9,1 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 8	23,890	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,1 [-] 0,11 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 9	23,940	Z 2	Glyphosat	1,17 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 10	23,980	Z 1.2	pH-Wert	9,2 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 11	24,151	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,2 [-] 0,17 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
Altena						
MP BS 12	29,473	Z 2	Glyphosat	0,21 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 13	30,836	Z 2	Glyphosat	0,43 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 14	30,891	Z 2	Glyphosat	0,87 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
Meggen						
MP BS 15	70,707	Z 1.2	Glyphosat	0,13 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 16	70,748	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,4 [-] 0,13 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 17	70,807	Z 2	Glyphosat	0,43 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 18	70,890	Z 2	Glyphosat	0,80 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 19	70,918	Z 2	Glyphosat	0,37 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 20	70,945	Z 1.2	Glyphosat	0,15 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 21	71,044	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,2 [-] 0,19 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 22	71,137	Z 2	Glyphosat AMPA	4,43 [µg/l] 2,37 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 23	71,383	Z 1.2	pH-Wert Glyphosat	9,3 [-] 0,10 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 24	71,456	Z 2	Glyphosat	0,60 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 25	71,545	Z 2	Glyphosat	0,40 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 26	71,598	Z 2	Glyphosat	0,21 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 27	71,623	Z 2	Glyphosat	0,60 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 28	71,663	Z 2	Glyphosat	0,60 [µg/l]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 29	71,705	Z 1.2	pH-Wert	9,2 [-]	nicht gefährlich	17 05 08
MP BS 30	71,729	Z 1.2	pH-Wert	9,4 [-]	nicht gefährlich	17 05 08

Tabelle 2.6-2: Einstufung des Gleisschotters nach Ril 880.4010 und Merkblatt 3.4/2



Nach Gegenüberstellung der Analyseergebnisse mit den Zuordnungswerten der Ril 880.4010 und des Gleisschottermerkblattes 3.4/2 ist an allen untersuchten Maststandorten aufgrund tlw. erhöhter Schadstoffgehalte nur ein eingeschränkter Einbau des Gleisschotters erlaubt.

In Nachrodt kann der Gleisschotter überwiegend aufgrund der erhöhten Glyphosat Gehalte nur eingeschränkt mit definierten Sicherungsmaßnahmen eingebaut werden. In Altena kann der Gleisschotter aufgrund der erhöhten Glyphosat Gehalte nur eingeschränkt mit definierten Sicherungsmaßnahmen eingebaut werden. Der Gleisschotter an den Masten in Nachrodt und Meggen kann ebenfalls überwiegend wegen erhöhter Gehalten an Glyphosat nur eingeschränkt offen bei hydrogeologisch günstigen Verhältnissen oder mit definierten Sicherungsmaßnahmen eingebaut werden. Ausnahme ist der Gleisschotter am Mast 23-6n, welcher eingeschränkt offen auch bei hydrologisch ungünstigen Verhältnissen eingebaut werden kann.

Grundsätzlich ist der Gleisschotter nach AVV-Nr. 170508 „ohne gefährliche Schadstoffkonzentrationen“ einzustufen und nach AVV dementsprechend auch als „nicht gefährlich“ zu klassifizieren.

2.7 Geotechnische Besonderheiten

Nach der Karte der Erdbebenzonen im Nationalen Anhang der DIN EN 1998-1 "Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben" liegt das gesamte Projektgebiet **außerhalb** der gekennzeichneten **Erdbebenzonen**.

Zur Bewertung der **Frosteinwirkung auf Bauwerke** und Verkehrswege wurden nach RStO-12 verschiedene Frosteinwirkungszonen eingeführt. Das gesamte Untersuchungsgebiet ist der **Frosteinwirkungszone I** zuzuordnen.

Das Untersuchungsgebiet liegt gemäß [U 17] außerhalb von **FFH-, Landschaftsschutz-, Trinkwasserschutz-, Naturschutz- und Vogelschutzgebieten**. Das Projektgebiet in Nachrodt liegt angrenzend an das Landschaftsschutzgebiet „LSG-Iserlohn-Typ A“ (LSG-4511-0020).

Im Meggen sind gemäß der Karte "Gefährdungspotenziale des Untergrundes in Nordrhein-Westfalen" des Geologischen Dienstes des Landes Nordrhein-Westfalen und der Bezirksregierung [U 18] im unmittelbaren Umfeld des Planungsgebietes **45 verlassene Tagesöffnungen und oberflächen-**



naher Bergbau verzeichnet. Schäden aus Bergsenkungen sind nicht ausgeschlossen und Sicherungen gegen Tagesbrüche, Erdfälle etc. könnten erforderlich sein. Es wird empfohlen eine Anfrage diesbezüglich an die Bezirksregierung zu stellen und ggf. eine Grubenbildeinsichtnahme durchzuführen.

3. TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN UND KENNWERTE

3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke

Nach den Erkundungsergebnissen sowie den Kenntnissen aus Archivunterlagen lassen sich die im Projektgebiet zu erwartenden Böden wie folgt geotechnisch klassifizieren:

Schicht-Nr.	Bodenart	Klassifizierung nach DIN		Frostempfindlichkeit ²	Verdichtbarkeit ³⁾
		18 196	18 300 ¹⁾		
0	Gleisschotter	GE, GW, GI, GU, GT	3 5 ⁴⁾	F 1 - F 2	V 1
1	Auffüllungen	A [GE, GW, GI, GU, GU*, GT, GT*, UL, UM, TL, TM]	3 4 (2) ⁵⁾ 5 ⁴⁾	F 1 - F 3	V 1 - V 3
2	fluviatile Sedimente	GE, GW, GI, GU, GU*, GT, GT*, SU, SU*, UL, UM, TL, TM	3 4 (2) ⁵⁾ 5 ⁴⁾	F 2 - F 3	V 1 - V 3
3a	Hobracker-Schichten	Tst	6/7	/	/
3b	Äquivalente der Wissenbach-Schichten	(Tst)	3, 5 (6/7) ⁶⁾	/	/

1) gemäß DIN 18 300:2012-09

2) Nach ZTV E-StB 17, Tab. 1 (F1 nicht frostempfindlich, F3 sehr frostempfindlich).

3) V1 = verdichtbar, V2 = eingeschränkt verdichtbar V3 = schwer verdichtbar.

4) Bodenklasse 5 bei entsprechendem Stein- und Blockanteil

5) Der angegebene Boden kann bei Wassersättigung infolge Störung der Lagerung in eine fließende Bodenart übergehen.

6) Bodenklasse 6 und 7 bei entsprechendem Stein- und Blockanteil

Tabelle 3.1-1: Bodenklassifizierung

Die Angabe der Boden- und Felsklassen der Tabelle 3.1-1 nach der zurückgezogenen DIN 18 300 (Ausgabe 2012) erfolgt informativ. Seit 2015 ist Boden und Fels in Homogenbereiche einzuteilen. Bei der Festlegung der Homogenbereiche sind einsetzbare Bauverfahren und Baugeräte zu berücksichtigen. Eine vorläufige Einteilung in Homogenbereiche wird in Kapitel 3.4 Homogenbereiche vorgenommen.



Schicht-Nr.	Boden	Rammpbarkeit ¹⁾
0	Gleisschotter	leicht bis mittelschwer bei Steinlagen / Blöcken nicht rammpbar ^{2) 3)}
1	Auffüllungen	leicht bis schwer ³⁾
2	fluviatile Sedimente	leicht bis schwer ^{2) 3)}
3a	Hobracker-Schichten	nicht rammpbar ³⁾
3b	Äquivalente der Wis-senbach-Schichten	mittelschwer bis sehr schwer, bei Steinlagen / Blöcken nicht rammpbar ^{2) 3)}

1) Bezeichnungen gemäß Grundbau-Taschenbuch, 8. Auflage, Ernst & Sohn Verlag

2) Genesebedingt sind Steine / Blöcke / Gerölle vorhanden, dann nicht rammpbar

3) in Abhängigkeit von größeren Einlagerungen können Zusatzmaßnahmen (Lockerungsbohrungen) erforderlich werden

Tabelle 3.1-2: Rammpbarkeit der anstehenden Bodenschichten

Die **Rammpbarkeit** der Bodenschichten für Spundwände, Stahlträger und Rammpfähle ist wie in der vorstehenden Tabelle 3.1-2 zusammengestellt einzuschätzen.

3.2 Bodenkennwerte

Schicht Nr.	Bezeichnung	Wichte feuchter Boden γ_k [kN/m ³]	Wichte unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	Rei-bungs-winkel ϕ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	undrai-nierte Kohäsion $c_{u,k}$ [kN/m ²]	Steife-modul $E_{s,k}^{1)}$ [MN/m ²]
0	Gleisschotter	18	10	35	0	0	100 ²⁾ (70 - 150)
1	Auffüllungen (gemittelt)	19,5	10,5	30	2	15	40 ²⁾
	Auffüllungen (rollig)	20	11,5	32,5	0	0	50 ²⁾ (20 - 80)
	Auffüllungen (bindig)	19	9,5	25	5	50 - 120	12 ²⁾ (5 - 40)
2	fluviatile Sedimente (gemittelt)	20	10	27,5	5	20	30 ²⁾
	fluviatile Sedimente (rollig)	20	11	32,5	0	0	60 ²⁾ (40 - 90)
	fluviatile Sedimente (bindig)	19,5	9	22,5	5 - 15	60 - 180	15 ²⁾ (8 - 20)

1) Ermittlung des Steifemoduls $E_{s,k}$ für den Laststeigerungsbereich 0 bis 300 kN/m²

2) Mittelwerte für erdstatische Berechnungen

Tabelle 3.2-1: Charakteristische Bodenkennwerte



Gemäß DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) ist der charakteristische Wert einer geotechnischen Kenngröße als „eine vorsichtige Schätzung desjenigen Wertes festzulegen, der im Grenzzustand wirkt.“ Unter Berücksichtigung dieser Definition lassen sich auf Basis der Untersuchungen und von umfangreichen Erfahrungen mit den im Projektgebiet anstehenden Böden die in der vorstehenden Tabelle 3.2-1 zusammengestellten charakteristischen Bodenkennwerte angeben. Lokale Abweichungen sind möglich.

3.3 Felsmechanische Kennwerte

Für das in Meggen anstehende Festgestein lassen sich die folgenden charakteristischen Kennwerte angeben.

Schicht-Nr.	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge γ_k [kN/m ³]	Reibungs- winkel ϕ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	einaxiale. Druckfestig- keit Gestein $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E-Modul Gebirge E_k [MN/m ²]
3a	Tst	24 - 26	25 - 35	0 - 40	1 - 50 ²⁾	2.000 - 15.000 ²⁾
3b	(Tst)	23 - 25	25 - 30	0 - 30	0 - 5 ²⁾	500 - 10.000 ¹⁾

1) einzelne Tonsteinhärtinge können einaxiale Druckfestigkeiten bis 200 MN/m² bzw. E-Module bis 70.000 MN/m² erreichen

Tabelle 3.3-1: Charakteristische felsmechanische Kennwerte

3.4 Homogenbereiche

3.4.1 Allgemeines

Boden und Fels ist gemäß den Normen der VOB/C (seit der Ausgabe 2015) in Homogenbereiche einzuteilen, die für die Ausschreibung verwendet werden sollen. Ein Homogenbereich ist dabei ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für die in den einzelnen Gewerken einsetzbaren Baugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist. Die Homogenbereiche sind somit ggf. gewerkespezifisch festzulegen und hängen von den einsetzbaren Baugeräten ab. Da die geplanten Bauverfahren zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch nicht festgelegt waren, erfolgt eine vorläufige Einteilung auf Basis der empfohlenen Verfahren gemäß



Kapitel 5, die im Zuge des Planungsprozesses bis zur Ausschreibung zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten ist.

Die Homogenbereiche und die angegebenen Eigenschaften beschreiben den Zustand des Bodens und Fels vor dem Lösen. Bei den aufgeführten Eigenschaften und Kennwerten handelt es sich nicht um charakteristische Kennwerte für Berechnungen, sondern um mögliche Spannbreiten, die zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit von Boden und Fels verwendet werden können.

Die Einteilung der Homogenbereiche ist zur Ausschreibung unter Berücksichtigung der geplanten Bauverfahren vom Planer und geotechnischen Gutachter zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Eigenschaft / Kennwert		Prüfung/Prüfvorschrift
Bodenmechanik	Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17 892-4
	Massenanteil Steine, Blöcke, große Blöcke	Aussortieren, Vermessen, Wiegen
	Mineralogische Zusammensetzung der Steine und Blöcke	DIN EN ISO 14 689-1
	natürliche Dichte	DIN EN ISO 17 892-2
	undrainierte Scherfestigkeit c_u	DIN 4094-4
	Kohäsion c'	DIN 18 137
	Sensitivität c_{fv}/c_{Rv}	DIN 4094-4
	Wassergehalt w_n	DIN EN ISO 17 892-1
	Plastizität I_p	DIN 18 122-1
	Konsistenz I_c	DIN 18 122-1
	Durchlässigkeit k_f	DIN 18 130
	bezogene Lagerungsdichte I_D	DIN 18 126 in Verbindung mit Dichtebe- stimmung nach DIN EN ISO 17 892-2
	organischer Anteil v_{gl}	DIN 18 128
	Kalkgehalt v_{ca}	DIN 18 129
	Sulfatgehalt	BS 1377-3
	Bodengruppe	DIN 18 196
	Abrasivität	LCPC-Test nach NF P18-579

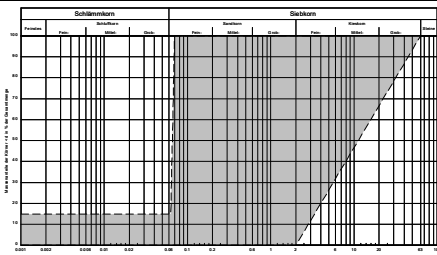
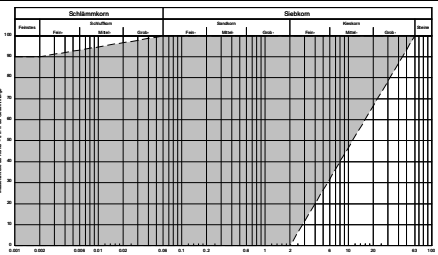
Tabelle 3.4.1-1: Für eine Überprüfung der Eigenschaften und Kennwerte der Homogenbereiche anzuwendende Prüfverfahren



Für bauzeitliche Überprüfungen sind Versuche nach den in der vorstehenden Tabelle 3.4.1-1 aufgeführten Prüfvorschriften durchzuführen.

3.4.2 DIN 18 300 Erdarbeiten

Für die Festlegung der Homogenbereiche für Erdarbeiten (DIN 18 300) wird davon ausgegangen, dass der Aushub mit einem Mini- oder Kompaktbagger (< 10 to) ausgeführt wird, der Boden zumindest zum Teil auf der Baustelle zwischengelagert wird und vor Ort wieder eingebaut und verdichtet wird. Daher berücksichtigen die Homogenbereiche sowohl das Lösen als auch den Wiedereinbau und die Verdichtung. Sollte ein Wiedereinbau nicht vorgesehen sein, können die Homogenbereiche weiter zusammengefasst werden. In der nachfolgenden Tabelle 3.4.2-1 und der Tabelle 3.4.2-2 ist die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Erdarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche angegeben.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Erd-A	Erd-B
Schicht Nr.	0	1, 2
ortsübliche Bezeichnung	Gleisschotter	Auffüllungen, fluviatile Sedimente
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾		
Massenanteil		
Steine [%]	< 40	< 30
Blöcke [%]	< 20	< 20
große Blöcke [%]	< 10	< 10
natürliche Dichte [g/cm ³]	1,3 - 1,8	1,3 - 2,3
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	/	< 150
Wassergehalt w_n [%]	1 - 20	1 - 40
Plastizitätszahl I_P / Bezeichnung ¹⁾	/	0 - 50 / nicht plastisch bis mittelpastisch
Konsistenzzahl I_C / Bezeichnung ¹⁾	/	< 0,25 - > 1,00 / breiig bis halbfest



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Erd-A	Erd-B
bezogene Lagerungsdichte I_D / Bezeichnung ¹⁾	15 - 65 / locker bis mitteldicht	0 - 100 / sehr locker bis sehr dicht
organischer Anteil v_{gl} / Bezeichnung ¹⁾	0 - 6 / nicht organisch bis schwach organisch	0 - 6 / nicht organisch bis schwach organisch
Bodengruppe	GE, GW, GI, GU, GT	A [GE, GW, GI, GU, GU*, GT, GT*, UL, UM, TL, TM], GE, GW, GI, GU, GU*, GT, GT*, SU, SU*, UL, UM, TL, TM

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Steine, Blöcke und große Blöcke

Tabelle 3.4.2-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten in Böden

Es wird darauf hingewiesen, dass eingelagerte Gerölllagen o.Ä. die Eigenschaften der Bodenklassen 5 nach DIN 18 300:2012 aufweisen können. In Bezug auf die Homogenbereiche Erd-A und Erd-B sind daher im Zuge der weiteren Planung und Ausschreibung Zulagen für die Hindernisbeseitigung (z.B. Lösen mit Meißeleinsatz etc.) vorzusehen.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-C
Schicht Nr.	3a, 3b
ortsübliche Bezeichnung	Hobracker Schichten, Äquivalente der Wissenbacher Schichten
Benennung von Fels ¹⁾	Tonstein
Dichte [g/cm ³]	2,2 – 2,5
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ¹⁾	nicht veränderlich - veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	1 – 50 bis über 200 möglich (Härtlinge)
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: nicht bekannt ²⁾ Fallwinkel: nicht bekannt ²⁾ Trennflächenabstand: 5 – 50 cm Gesteinskörper ¹⁾ : rhombisch

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 689-1

2) Gefügemessung bzw. eine orientierte abgeteufte Kernbohrung wurden nicht ausgeführt.

Tabelle 3.4.2-2: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten im Festgestein

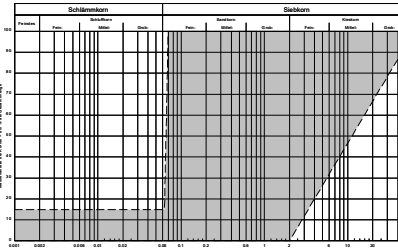
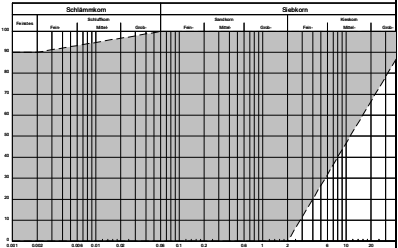
Innerhalb der Schicht 3b können vereinzelt gröbere, unverwitterte Blöcke vorkommen, die den Aushub erschweren.



3.4.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten

Für die Herstellung der Oberleitungsmasten werden Rammarbeiten erforderlich, welche ggf. nicht ohne Zusatzmaßnahmen, z.B. Lockerungs- oder Austauschbohrungen möglich sind. Für diese Arbeiten können die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Bohrarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche gemäß Tabelle 3.4.3-1 und Tabelle 3.4.3-2 verwendet werden.

Es wird davon ausgegangen, dass die Bohrungen für Lockerungs- oder Austauschbohrungen durch Großbohrgeräte ausgeführt werden.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Bohr-A	Bohr-B
Schicht Nr.	0	1, 2
ortsübliche Bezeichnung	Gleisschotter	Auffüllungen, fluviatile Sedimente
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾		
Massenanteil		
Steine [%]	< 40	< 30
Blöcke [%]	< 20	< 20
große Blöcke [%]	< 10	< 10
Kohäsion c' [kN/m ²]	/	< 100
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	/	< 150
Wassergehalt w_n [%]	1 - 20	1 - 40
Plastizitätszahl I_P	/	0 - 50 / nicht plastisch bis mittelpastisch
Konsistenzzahl I_C / Bezeichnung ¹⁾	/	< 0,25 - > 1,00 / breiig bis halbfest
bezogene Lagerungsdichte I_D / Bezeichnung ¹⁾	15 - 65 / locker bis mitteldicht	0 - 100 / sehr locker bis sehr dicht
Abrasivität LCPC ³⁾	nicht abrasiv - stark abrasiv	nicht abrasiv - stark abrasiv



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Bohr-A	Bohr-B
Bodengruppe	GE, GW, GI, GU, GT	A [GE, GW, GI, GU, GU*, GT, GT*, UL, UM, TL, TM], GE, GW, GI, GU, GU*, GT, GT*, SU, SU*, UL, UM, TL, TM

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Stein, Blöcke und Große Blöcke

3) Begriffe gemäß Käsling, H. & Thuro, K.: Bestimmung der Gesteinsabrasivität - Versuchstechniken und Anwendung; in: DGGT, 31. Baugrundtagung, 2010

Tabelle 3.4.3-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für Bohrarbeiten in Boden

Im Gleisschotter (Schicht 0) sowie den Auffüllungen (Schicht 1) und fluviatilen Sedimenten muss mit Bohrhindernissen (z.B. Gerölle) sowie einem erschwerten Bohrfortschritt gerechnet werden.

In Bezug auf den Homogenbereich Bohr-A und Bohr-B sind daher im Zuge der weiteren Planung und Ausschreibung Zulagen für das Bohren mit Meißeleinsatz, Imlochhammer etc. vorzusehen.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-C
Schicht Nr.	3a, 3b
ortsübliche Bezeichnung	Hobräcker Schichten, Äquivalente der Wissenbacher Schichten
Benennung von Fels	Tonstein
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit	nicht veränderlich - veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	1 – 50 bis über 200 möglich (Härtlinge)
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: nicht bekannt ³⁾ Fallwinkel: nicht bekannt ³⁾ Trennflächenabstand: 5 – 50 cm Gesteinskörper ¹⁾ : rhombisch
Abrasivität CAI ²⁾	abrasiv bis stark abrasiv

1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689-1

2) Begriffe gemäß Käsling, H. & Thuro, K.: Bestimmung der Gesteinsabrasivität - Versuchstechniken und Anwendung; in: DGGT, 31. Baugrundtagung, 2010

3) Gefügemessungen bzw. eine orientierte abgeteufte Kernbohrung wurden nicht ausgeführt.

Tabelle 3.4.3-2: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für Bohrarbeiten im Festgestein

Soweit Bohrarbeiten in Schicht 3 ausgeführt werden sind nach DIN 18 301 Zulagen in Planung und Ausschreibung für die Einbringung vorzusehen (ab einer einaxialen Druckfestigkeit > 120 MN/m²).



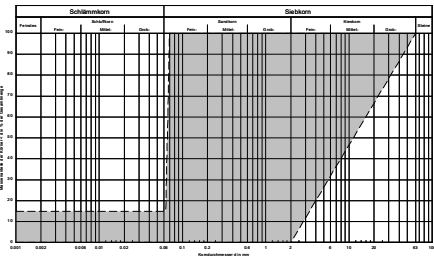
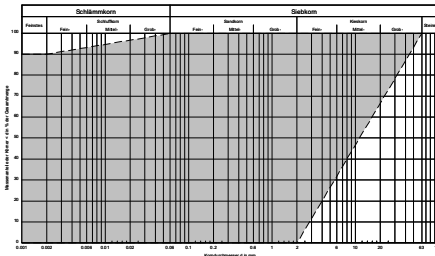
Aufgrund der z.T. außergewöhnlich hohen Festigkeit ist auch bei der Ausführung von entsprechenden Zusatzmaßnahmen (Imlochhammer, Meißel etc.) von einem eingeschränkten (d.h. zeitaufwändigen) Bohrfortschritt auszugehen.

3.4.4 DIN 18 303 Verbauarbeiten

Für Verbauarbeiten nach DIN 18 303 sind die Homogenbereiche analog zu denen für Erdarbeiten zu verwenden.

3.4.5 DIN 18 304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten

Für Ramm- und Rüttelarbeiten zur Herstellung der Oberleitungsmaste können die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Ramm/Rüttelarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche gemäß der Tabelle 3.4.2-1 verwendet werden. Der Homogenbereich gilt für ein Rammgerät mit starrer Führung und schwerem Rammbar oder Vibrator. Für ein Anbaugerät an den Hydraulikarm eines Baggers (z.B. bei gleisgebundenen Arbeiten an ein 2-Wege-Gerät) sind z.T. nur um mehrere Meter geringere Rammtiefen möglich.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Ramm-A	Ramm-B
Schicht Nr.	0	1, 2
ortsübliche Bezeichnung	Gleisschotter	Auffüllungen, fluviatile Sedimente
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾		
Massenanteil		
Steine [%]	< 40	< 30
Blöcke [%]	< 20	< 20
große Blöcke [%]	< 10	< 10
Wassergehalt w_n [%]	1 - 20	1 - 40
Plastizitätszahl I_P	/	0 - 50 / nicht plastisch bis mittelpplastisch



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Ramm-A	Ramm-B
Konsistenzzahl I_C / Bezeichnung ¹⁾	/	< 0,25 - >1,00 / breiig bis halbfest
bezogene Lagerungsdichte I_D / Bezeichnung ¹⁾	15 - 65 / locker bis mitteldicht	0 - 100 / sehr locker bis sehr dicht
Bodengruppe	GE, GW, GI, GU, GT	A [GE, GW, GI, GU, GU*, GT, GT*, UL, UM, TL, TM], GE, GW, GI, GU, GU*, GT, GT*, SU, SU*, UL, UM, TL, TM

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Steine, Blöcke und große Blöcke

Tabelle 3.4.5-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 304 für Ramm-/Rüttel-/ Pressarbeiten in Boden

Es wird darauf hingewiesen, dass in den Schichten 0, 1 und 2 Rammhindernisse in Form von Steinen und Blöcken auftreten können. Im Zuge der Ausschreibungen sind daher Einbringhilfen wie z.B. Lockerungsbohrungen vorzusehen. Sollten Rammarbeiten in die Festgesteinsschichten (Schicht 3a & 3b) erfolgen, sind die Hinweise in Kapitel 3.1 zu beachten.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Ramm-C
Schicht Nr.	3a, 3b
ortsübliche Bezeichnung	Hobracker Schichten, Äquivalente der Wissenbacher Schichten
Benennung von Fels	Tonstein
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	< 350

1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689-1

Tabelle 3.4.5-2: Homogenbereiche gemäß DIN 18 304 für Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten im Festgestein

4. FOLGERUNGEN

4.1 Gründung

Die Oberleitungsmasten werden mit Ortbetonfundamenten oder Rammrohren mit statischem Nachweis gegründet. Gründungen mittels Blockfundamenten (Ortbeton) können verwendet werden,



sofern die Nachweise der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Materialermüdung unter Berücksichtigung aller Einwirkungen einschließlich von Druck und Sog aus Zugverkehr geführt werden.

Die Auffüllungen (Schicht 1) sowie die fluviatilen Sedimente (Schicht 2) sind rammbare und können zur Abtragung von Lasten bei Rammgründungen herangezogen werden. Aufgrund der voraussichtlich hohen Menge an Steinen und Blöcken innerhalb des Gleisschotter (Schicht 0) ist dieser größtenteils nicht rammbare.

Die nachfolgende Tabelle führt für alle Maststandorte die anstehenden Böden mit den entsprechenden Tiefen (in m u. GOK) am jeweiligen Standort auf.

BS, DPM / DPH	Bahn-km	Auffüllungen (Schicht 1) [m u. GOK]	fluviatile Sedimente (Schicht 2) [m u. GOK]	rammbare bis [m u. GOK]	erkundet bis [m u. GOK]
Nachrodt					
BS / DPH 1	22,997	0,2 - 0,5 ^{1) 2)}	/	0,5	0,5 ³⁾
BS / DPH 2	23,045	/	0,5 - 2,4 ^{1) 2)}	3,6	2,4 ³⁾
BS / DPH 3	23,149	/	0,4 - 7,4 ^{1) 2)}	7,4	7,4 ³⁾
BS / DPH 4	23,259	/	0,6 - 7,3 ^{1) 2)}	8,7	7,3 ³⁾
BS / DPH 5	23,369	0,7 - 3,2 ¹⁾	3,2 - 7,8 ²⁾	9,4	7,8 ³⁾
BS / DPH 6	23,483	0,5 - 2,0 ¹⁾	2,0 - 3,3 ²⁾	3,5	3,3 ³⁾
BS / DPH 7	23,552	0,9 - 1,4 ¹⁾	1,4 - 2,4 ²⁾	2,6	2,4 ³⁾
BS / DPH 8	23,890	/	0,4 - 1,7 ^{1) 2)}	2,3	1,7 ³⁾
BS / DPM 9	23,940	/	0,4 - 2,4 ^{1) 2)}	2,6	2,4 ³⁾
BS / DPH 10	23,980	0,0 - 2,3	2,3 - 3,6 ²⁾	6,2	3,6 ³⁾
BS / DPH 11	24,151	0,6 - 1,4 ¹⁾	1,4 - 8,4 ²⁾	8,7	8,4 ³⁾
Altena					
BS, DPH 12	29,473	1,0 - 2,9 ¹⁾	2,9 - 7,7 ²⁾	7,7	7,7 ³⁾
BS 13	30,836	/	/	0,6	0,6 ¹⁾
BS 14	30,891	/	/	0,6	0,6 ¹⁾
Meggen					
BS / DPM 15	70,707	0,0 - 1,6 ²⁾	/	1,6	1,6 ³⁾
BS / DPH 16	70,748	0,0 - 1,0	1,0 - 7,1 ²⁾	7,1	7,1 ³⁾
BS / DPH 17	70,807	0,7 - 1,4 ¹⁾	1,4 - 3,1 ²⁾	3,1	3,1 ³⁾
BS / DPH 18	70,890	0,1 - 1,9 ¹⁾	1,9 - 3,6 ²⁾	5,9	3,6 ³⁾
BS / DPH 19	70,918	0,2 - 1,6 ¹⁾	1,6 - 2,4 ²⁾	5,1	2,4 ³⁾
BS / DPH 20	70,945	0,3 - 1,9	1,9 - 3,6 ²⁾	4,0	3,6 ³⁾
BS / DPH 21	71,044	0,1 - 1,4 ¹⁾	1,4 - 5,1 ²⁾	5,1	5,1 ³⁾



BS, DPM / DPH	Bahn-km	Auffüllungen (Schicht 1) [m u. GOK]	fluviale Sedimente (Schicht 2) [m u. GOK]	rammbar bis [m u. GOK]	erkundet bis [m u. GOK]
BS / DPH 22	71,137	0,1 - 1,0 ¹⁾	1,0 - 4,5 ²⁾	10,0	7,4 ³⁾
BS / DPH 23	71,383	/	1,0 - 4,8 ^{1) 2)}	6,3	5,4 ³⁾
BS / DPH 24	71,456	0,2 - 0,8 ¹⁾	0,8 - 3,6 ²⁾	4,4	4,3 ³⁾
BS 25	71,545	0,2 - 0,6 ^{1) 2)}	/	0,6	0,6 ³⁾
BS 26	71,598	/	/	1,1	1,1 ^{1) 3)}
BS 27	71,623	0,0 - 0,6 ^{1) 2)}	/	0,6	0,6 ³⁾
BS / DPM 28	71,663	0,0 - 3,7 ^{1) 2)}	/	6,6	3,7 ³⁾
BS / DPH 29	71,705	/	1,4 - 5,3 ^{1) 2)}	5,3	5,3 ³⁾
BS / DPH 30	71,729	0,5 - 1,0 ¹⁾	1,0 - 3,9 ²⁾	4,0	3,9 ³⁾

1) Oberhalb Gleisschotter

2) Schicht-UK nicht erkundet

3) Sondierung musste aufgrund von Rammhindernissen abgebrochen werden

Tabelle 4.1-1: In den Sondierungen angetroffene Bodenschichten bei den Maststandorten

Um eine frostfreie Flachgründung zu gewährleisten, muss die UK des jeweiligen Gründungselementes mindestens 0,8 m u. GOK liegen. Weiter müssen die angetroffenen Baugrundsichten eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen. Insgesamt liegen 5 Gründungssohlen der geplanten Masten im Gleisschotter (Schicht 0), 14 Gründungssohlen in den Auffüllungen (Schicht 1), 7 Gründungssohlen in den fluvialen Sedimenten (Schicht 2) sowie 4 Gründungssohlen innerhalb des Fels (Schicht 3a/ 3b). Die Schichten 0, 3a, 3b sowie die gemischtkörnigen und rolligen Böden der Schichten 1 und 2 sind als tragfähig anzunehmen. Die rolligen Böden der Schichten 1 und 2 sind als nicht ausreichend tragfähig zu bewerten. An den Masten 23-2n (km 23,045), 23-6n (km 23,149), 23-10n (km 23,259), 23-14n (km 23,369), 70-34n (km 70,807) und Mast 71-19n (km 71,456) liegt die Gründungssohle voraussichtlich auf bindigen Boden und ein ca. 0,5 m mächtiger Bodenaustausch als Trag- und Ausgleichsschicht wäre erforderlich.

4.2 Baugrube

Für die Herstellung einer Flachgründung werden Fundamentgräben bzw. Baugruben erforderlich. Die Baugruben können in Nachrodt überwiegend frei geböscht hergestellt werden. Bei den geplanten Oberleitungsmasten in Altena und Meggen wird voraussichtlich ein Verbau aus platztechnischen Gründen erforderlich sein.



Baugruben sind grundsätzlich nach DIN 4124 herzustellen. Nach DIN 4124 können Baugruben bis 1,25 m ohne Sicherungen (ungebösch und unverbaut) hergestellt werden. Ab Aushubtiefen > 1,25 m ist der obere Bereich nach gleicher Norm mit einer Regelneigung $\leq 45^\circ$ abzubösch oder teilweise zu verbauen. Beide Maßnahmen (Kopfböschung und teilweiser Verbau) sind bis zu einer Baugrubentiefe von 1,75 m zulässig.

Mit und ohne Sicherungen der Baugrube ist ein lastfreier Streifen $\geq 0,6$ m an der Böschungsschulter einzuhalten. In Abhängigkeit unmittelbarer Einwirkungen aus Baumaschinen oder Vergleichbarem können lastfreie Streifen $\geq 2,0$ m erforderlich werden. Sind tiefere Baugruben notwendig, ist ein Verbau nach DIN 4124 erforderlich.

Der Baugrund besteht aus rolligen und bindigen Böden. Gemäß DIN 4124 sind bei geböschten Baugruben bei rolligen oder weichen bindigen Böden Böschungsneigungen von maximal 45° und bei bindigen mindestens steifen Böden Neigungen von 60° zugelassen. Selbst bei diesen Böschungsneigungen können kleinere Ausbrüche aus den Baugrubenböschungen nicht ausgeschlossen werden. Kann dies nicht hingenommen werden, sind die Böschungen abzuflachen. Voraussetzung ist grundsätzlich immer die Wasserfreiheit der Böschungen. Andernfalls ist die Böschung mit einem Verbau zu sichern.

Auf die in Kapitel 3.1 angegebenen Rammbarkeiten wird hingewiesen. Es ist darauf zu achten, dass in der Schicht 0, 1, 2 und 3b Stein- und Gerölleinlagerungen vorhanden sein können, die Zusatzmaßnahmen (z. B. Lockerungsbohrungen, etc.) erforderlich machen. Die Schicht 3a ist ohne Lockerungsbohrungen als nicht rammbar einzustufen.

Der Aushub innerhalb des gewachsenen Bodens ist der Bodenklasse 3, 4 und 5 nach DIN 18 300:2012 zuzuordnen. In der Schicht 3b ist zudem von vereinzelt gröberen, schwer lösbaaren Felspartien der Bodenklasse 6 auszugehen.

Die bindigen Böden sind meist gut lösbar, aber überwiegend schlecht verdichtungsfähig und frostempfindlich. Sie sind aus bodenmechanischer Sicht für den Wiedereinbau ohne Bodenverbesserung nicht geeignet. Weiter kann der bindige Boden der Schicht 1 und 2 bei Entlastung unter Wassereinfluss sowie Störung der Lagerung von der Bodenklasse 4 in die Bodenklasse 2 nach DIN 18 300:2012 übergehen. Die Böden sind dann nicht mehr verdichtungs- und einbaufähig.



Der Gleisschotter ist aufgrund der vorliegenden umweltchemischen Bewertung nur eingeschränkt wieder einbaubar (vgl. Kapitel 2.6).

4.3 Grundwasserhaltung

Die Baugrubensohlen in Nachrodt und Meggen, sowie die Gründungen liegen voraussichtlich oberhalb des in Kapitel 2.3 ausgewiesenen Bauwasserstands.

In Altena liegen die Baugrubensohlen und Gründungen voraussichtlich unterhalb des Bauwasserstands. Aufgrund der rolligen und bindigen Schichten im Baugrund ist von hohen bis geringen Sicker- und Wasserzuflüssen auszugehen. Zur Fassung von Schicht-, Sicker-, Niederschlags- und dem zulaufenden Oberflächenwasser ist in Anbetracht der geringen Baugrubengröße eine offene Wasserhaltung ausreichend. Das anfallende Wasser kann in Pumpensümpfen in den Baugrubensohlen gefasst und abgeleitet werden.

4.4 Nachbarbebauung

Das Plangebiet liegt angrenzend an Gleisen. Zudem liegen die geplanten Oberleitungsmasten teilweise angrenzend an Brückenbauwerken, Gebäuden, Straßen, Mauern und Böschungen. Sämtliche Bauzustände sind so zu planen und statisch nachzuweisen, dass Einflüsse auf die vorhandenen Straßen und umliegenden Bauwerke vermieden werden. Insbesondere bei Rammarbeiten sind Auswirkungen auf die bestehenden Verkehrsflächen und Bauwerke nicht auszuschließen. Eine Beweissicherung der umliegenden Straßen und Bauwerke wird erforderlich.

4.5 Geotechnische Kategorie

Insgesamt ist aufgrund der erforderlichen Maßnahmen von mittleren Gründungsverhältnissen auszugehen. Unter Berücksichtigung der Komplexität der Gründungsarbeiten, der erforderlichen Maßnahmen und der geologischen Gegebenheiten wird das Bauwerk in die geotechnische Kategorie GK 2 nach Normenhandbuch EC 7 eingeordnet.



5. EMPFEHLUNGEN

5.1 Gründung

5.1.1 Flachgründung

Die Gründungssohle für eine frostsichere Gründung ist bei mind. 0,8 m u. GOK zu wählen. Die nach den Erkundungsbohrungen in der Gründungssohle angetroffenen Böden der Schicht 1 (Auffüllungen) und Schicht 2 (fluviatile Sedimente) sind größtenteils rollig und gemischtkörnig. Dieser Boden ist als gut tragfähiger und gut verdichtbarer Baugrund für das Bauvorhaben geeignet. Der anstehende Boden eignet sich als Gründungsplanum, muss ggf. jedoch auf eine Proctordichte von $D_{Pr} \geq 100 \%$ nachverdichtet werden. Sofern in der Gründungssohle vorhanden, sind nicht verdichtungsfähige Einlagerungen in dem Aushubplanum wie Schutt, weiche Böden, Holz bzw. organische Einlagerungen vorhanden sind, sind diese zusätzlich gegen verdichtungsfähigen Boden auszutauschen.

Angetroffene bindige Böden der Schicht 1 und Schicht 2 sind aufgrund der z.T. sehr weichen bis weichen Konsistenz für das geplante Bauvorhaben nicht ausreichend tragfähig und zeigen ungünstige Setzungseigenschaften. Für die Gründung auf dem bindigen Baugrund müssen nachstehende Voraussetzungen erfüllt sein, damit eine Flachgründung auf dem erforderlichen ca. 0,5 m mächtigen Bodenaustausch möglich ist.

Die Aushubsohlen für die Gründungselemente liegen teilweise in leicht- bis mittelplastischen bindigen Böden. Diese können bei ungünstigen Witterungsbedingungen bzw. bei Wassersättigung und mechanischer Beanspruchung aufweichen. Der Aushub darf deshalb nur rückschreitend und bei trockener, frostfreier Witterung mit einem Tieflöffelbagger mit gerader Schneide ausgeführt werden. Die ausgehobenen Bereiche sind sofort nach dem Aushub mit der Sauberkeitsschicht bzw. dem Bodenaustausch abzudecken.

Der bindige Baugrund in der Gründungssohle muss mindestens eine steife Konsistenz aufweisen und darf nicht aufgeweicht sein. Aufgeweichte oder weiche Bereiche sind lagenweise durch Austauschboden (z. B. Sand der Körnung 0/2 mm) zu ersetzen und dürfen nicht im Bereich der Gründung verbleiben. Der Umfang dieser ggf. erforderlichen Maßnahmen ist durch die Dr. Spang Ingenieurgesellschaft mbH vor Ort festzulegen. Es darf wegen einer möglichen Lagerungsstörung des



unterlagernden gemischtkörnigen und bindigen Baugrundes nicht oder nur mit einem leichten Verdichtungsgerät in einem Übergang statisch verdichtet werden. Das Planum darf nicht dynamisch verdichtet werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass durch Bewegungsempfindlichkeit der unterlagernden Böden der Bodenaustausch in Lagen $\leq 0,3$ m einzubauen und die unterste Lage mit 1 - 2 Übergängen mit nur einem leichten Verdichtungsgerät statisch zu verdichten, damit die Lagerung der teilweise leicht plastischen bindigen Böden nicht gestört wird. Die Mehrausschachtung für den Bodenaustausch ist zu berücksichtigen. Es ist ein seitlicher Überstand mindestens in der Auftragsstärke vorzusehen.

Als Bodenersatzmaterial eignen sich natürliche, volumenbeständige Mineralstoffgemische (Boden- gruppen SW, SI, GW, GI nach DIN 18 196), die für Frostschuttschichten im Straßenbau zugelassen sind. Bei der Anordnung des Bodenersatzes ist eine Lastausbreitung unter 45° anzusetzen. Demnach ist ein seitlicher Überstand der Ersatzmaterialien entsprechend der Schichtmächtigkeit einzuhalten. Ggf. kann es sinnvoll sein, in den anstehenden bindigen Boden zunächst eine Lage Grob- schlag einzuwalzen und auf diesem den empfohlenen Aufbau vorzunehmen. Für Gründungsflächen ist auf dem Planum des Bodenaustausches mittels statischen Lastplattendruckversuchen ein E_{v2} -Wert von 80 MN/m^2 nachzuweisen

Der nachfolgenden Tabelle 5.1.1-1 sind die Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für recht- eckige Einzelfundamente für die rolligen und gemischtkörnigen Böden der Schicht 1 oder Schicht 2 unter der Fundamentsohle zu entnehmen. Dabei wurde vorausgesetzt, dass eine Einbindetiefe von mindestens 1,0 m eingehalten wird. Die Bemessungswerte entsprechen einer maximalen Setzung von 2 cm.

kleinste Einbinde- tiefe des Funda- ments [m]	Bemessungswert $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands [kN/m ²] b bzw. b'			
	0,5 m	1,0 m	2,0 m	3,0 m
1,0	275	340	375	410
1,5	340	415	450	485
2,0	405	490	530	565
2,5	470	570	605	640

ACHTUNG – Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrü- cke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11

Tabelle 5.1.1-1: Bemessungswert des Sohlwiderstands für Einzelfundamente auf rolligen und ge- mischtkörnigen Böden der Schicht 1 und Schicht 2 mit Setzungen von ≤ 2 cm.



kleinste Einbinde- tiefe des Funda- ments [m]	Bemessungswert $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands [kN/m ²] b bzw. b'			
	0,5 m	1,0 m	2,0 m	3,0 m
1,0	295	315	320	240
1,5	360	380	335	250
2,0	425	440	345	255
2,5	490	500	355	270

ACHTUNG – Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11

Tabelle 5.1.1-2: Bemessungswert des Sohlwiderstands für Einzelfundamente auf bindige Böden der Schicht 1 und Schicht 2 mit 0,5 m Bodenaustausch und Setzungen von ≤ 2 cm.

Für eine Gründung über rechteckige **Einzelfundamente** für bindige Böden auf 0,5 m Bodenaustausch in Schicht 1 oder 2, können die Werte für den Bemessungswert des Sohlwiderstandes in der vorstehenden Tabelle 5.1.1-2 angesetzt werden. Dabei wurde vorausgesetzt, dass eine Einbinde-tiefe von mindestens 1,0 m eingehalten wird. Die Bemessungswerte entsprechen einer maximalen Setzung von 2 cm.

Die in den vorstehenden Tabellen angegebenen Bemessungswerte basieren auf überschlägigen Grundbruch- und Setzungsberechnungen unter Ansatz von zulässigen Setzungsbeträgen ≤ 2 cm und den boden- und felsmechanischen Kennwerten entsprechend der Tabelle 3.2-1 und Tabelle 3.3-1. Die angegebenen aufnehmbaren Sohldrücke gelten für mittigen Lastangriff der Vertikal-last und ein Verhältnis $H/V < 0,5$ in den angegebenen Schichten (tlw. auch mit Bodenaustausch in der angegebenen Stärke) unter der Fundamentaufstandsfläche. Die Tabellenwerte aus DIN 1054 können nicht angewendet werden, da diese maximal bis zu einem Verhältnis $H/V < 0,2$ anzuwenden sind. Im Weiteren verweisen wir auf die entsprechenden Vorgaben nach EC 7-1, A 6.10.1, A 6.10.2 und A 6.10.3.

Zum Nachweis des Abtrags der auftretenden Horizontallasten kann der Sohlreibungswinkel bei Ort-betonfundamenten als $\delta_s = \varphi'_k$ angesetzt werden.

5.1.2 Rammpfahlgründung

Aufgrund des geringen Platzbedarfs und der Tauglichkeit bei schlecht tragfähigen Böden sind Rammpfähle als Tiefgründung geeignet. Anhand der durchgeführten Erkundungen, ist für einzelne



Zwischenlagen nicht auszuschließen, dass Rammhindernisse auftreten. Es wird auf die in Kapitel 3.1 aufgeführten Rammpbarkeiten der Schichten verwiesen. Zusätzlich ist zu beachten, dass im Gleisbereich in der Regel nur Anbaugeräte mit geringer Rammenergie zum Einsatz kommen können, sodass von geringeren Eindringtiefen ausgegangen werden muss.

Ab einer Tiefe von 0,6 m u. GOK stehen die Hobracker-Schichten in Altena und ab einer Tiefe von 3,6 m u. GOK stehen die Äquivalente der Wissenbach-Schichten in Meggen an. Hierzu sind für eine Rammpfahlgründung Lockerungsbohrungen erforderlich.

Die in der Tabelle 5.1.2-1 und Tabelle 5.1.2-2 angegebenen charakteristischen Mantelreibungs- und Pfahlspitzenwiderstandswerte gelten für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton im Lockergestein. Die charakteristischen Pfahlkennwerte sind der EA Pfähle entnommen.

Bodenschicht	Charakteristische Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{s,k}$ [MN/m ²]	Charakteristischer Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [kN/m ²]	
		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]	
		0,035	0,10 (s_g)
Auffüllungen	0,04	2.200	4.200
fluviatile Sedimente	0,04	2.500	4.500

Tabelle 5.1.2-1: Charakteristische Pfahlkennwerte für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton bei rolligen Böden

Bodenschicht	Charakteristische Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{s,k}$ [MN/m ²]	Charakteristischer Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [kN/m ²]	
		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]	
		0,035	0,10 (s_g)
Auffüllungen	0,02	350	600
fluviatile Sedimente	0,02	400	650

Tabelle 5.1.2-2: Charakteristische Pfahlkennwerte für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton bei bindigen Böden

Gemäß dem Jahresbericht 2014 des Arbeitskreises „Pfähle“ der DGGT wird bei Rammung von **offenen Stahlrohren** die Pfpfenbildung in Abhängigkeit des Pfahldurchmessers berücksichtigt. Bei einem Pfahldurchmesser $D \leq 0,5$ m wird eine vollständige Pfpfenbildung angesetzt, bei der die äußere Pfahlmantelreibung ($q_{s,k}$), ein Spitzendruck auf die Profilaufstandsfläche ($q_{b,k}$) und ein Spitzendruck auf die Unterseite des Propfens ($q_{Pfpfen,k}$) wirken. Dies wird als Modell 1 bezeichnet. In



Modell 2 für Pfahldurchmesser $D \geq 1,5$ m und ohne Propfenbildung wird statt des Spitzendrucks auf den Pfropfen eine innere Pfahlmantelreibung ($q_{is,k}$) angesetzt. Dabei werden die obersten 20 % der Pfahleinbindetiefe aufgrund von Sackungseffekten während der Pfahleinbringung nicht berücksichtigt.

Bodenschicht	Charakteristische Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{s,k}$ [MN/m ²]	Charakteristischer Pfahlspitzendruck $q_{Ppropfen,k}$ [kN/m ²]		Charakteristischer Pfahlspitzendruck auf die Profilaufstandsfläche $q_{b,k}$ [kN/m ²]	
		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]	
		0,035	0,1	0,035	0,1
Auffüllungen	0,03	1.200	2.250	3.900	7.500
fluviatile Sedimente	0,03	1.500	2.500	4.400	7.700

Tabelle 5.1.2-3: Charakteristische Pfahlkennwerte für offene Stahlrohre bei rolligen Böden mit $D \leq 0,5$ m (**Modell 1**)

Bodenschicht	Charakteristische innere Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{is,k}$ [MN/m ²]	Charakteristische äußere Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{s,k}$ [kN/m ²]	Charakteristischer Pfahlspitzendruck auf die Profilaufstandsfläche $q_{b,k}$ [kN/m ²]	
			für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]	
			0,035	0,1
Auffüllungen	0,01	0,02	3.900	7.500
fluv. Sedimente	0,01	0,02	4.400	7.700

Tabelle 5.1.2-4: Charakteristische Pfahlkennwerte für offene Stahlrohre bei rolligen Böden mit $D \geq 1,5$ m (**Modell 2**)

Bodenschicht	Charakteristische Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{s,k}$ [MN/m ²]	Charakteristischer Pfahlspitzendruck $q_{Ppropfen,k}$ [kN/m ²]		Charakteristischer Pfahlspitzendruck auf die Profilaufstandsfläche $q_{b,k}$ [kN/m ²]	
		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]	
		0,035	0,1	0,035	0,1
Auffüllungen	0,01	200	300	2.800	3.300
fluv. Sedimente	0,01	220	340	3.300	3.800

Tabelle 5.1.2-5: Charakteristische Pfahlkennwerte für offene Stahlrohre bei bindigen Böden mit $D \leq 0,5$ m (**Modell 1**)



Bodenschicht	Charakteristische innere Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{is,k}$ [MN/m ²]	Charakteristische äußere Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{s,k}$ [kN/m ²]	Charakteristischer Pfahlspitzendruck auf die Profilaufstandsfläche $q_{b,k}$ [kN/m ²]	
			für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]	
			0,035	0,1
Auffüllungen	5	10	600	1.050
fluviatile Sedimente	5	10	620	1.070

Tabelle 5.1.2-6: Charakteristische Pfahlkennwerte für offene Stahlrohre bei bindigen Böden mit $D \geq 1,5$ m (**Modell 2**)

Für offene Stahlrammrohre mit Pfahldurchmessern zwischen $0,5 \text{ m} < D < 1,5 \text{ m}$ sind die charakteristischen axialen Druckpfahlwiderstandskräfte über eine Interpolation zwischen den sich aus dem Modell 1 und dem Modell 2 ergebenden Werten zu berechnen. Eine geradlinige Interpolation zwischen den berechneten Werten nach Modell 1 und Modell 2 wird gemäß dem Jahresbericht 2014 der DGGT ist nicht möglich, da der Interpolationsfaktor χ nichtlinear ist. Es können maßgebliche Abweichungen aus der linearen Interpolation bzgl. der ermittelten Pfahlwiderstandskraft insbesondere bei kleinen Pfahldurchmessern resultieren. Für die Ermittlung der charakteristischen axialen Druckpfahlwiderstandskräfte mit Pfahldurchmessern zwischen $0,5 \text{ m} < D < 1,5 \text{ m}$ ist daher der Interpolationsansatz gemäß Jahresbericht 2014 der DGGT (Bautechnik 91, Heft 12) anzuwenden.

5.1.3 Horizontale Bettung von Pfahlgründungen

Die charakteristische horizontale Pfahlbettung $k_{s,k}$ kann nach EC 7, Abschnitt 7.7.3, über den charakteristischen Steifemodul $E_{s,k}$ und den Pfahlschaftdurchmesser D_s zu $k_{s,k} = E_{s,k} / D_s$ ermittelt werden. Für $D_s > 1,0 \text{ m}$ ist $D_s = 1,0 \text{ m}$ anzusetzen. Für $E_{s,k}$ können die in Tabelle 3.2-1 und Tabelle 3.3-1 angegebenen Werte $E_{s,k}$ angesetzt werden. Bei der Ermittlung des Bettungsmoduls ist für jede Tiefenlage zu prüfen, ob der ermittelte örtliche Pressungswert an keiner Stelle die Erdwiderstandsspannung $e_{ph,k}$ überschreitet. Bzgl. des Nachweises der horizontalen Pfahlbettung sind auch die Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA-Pfähle) zu beachten.

Der Bettungsverlauf sollte erst 1 m unter Gelände einsetzen und linear ab 1 m u. GOF auf einer Strecke von 3 m ansteigen von 0 MN/m^3 bis auf den für diese Schicht zutreffenden Wert. Für alle tiefer liegenden Schichten wird der Bettungsverlauf konstant mit dem abgeschätzten Bettungsmodul



der jeweiligen Schicht festgelegt. Bettungssprünge im Lockergestein sind durch Übergänge auszugleichen. Im Übergang zum Fels sind Bettungssprünge zu erwarten.

Aufgrund der Einleitung von Horizontallasten in der Gründung ist zu prüfen, ob es negative Einwirkungen auf die Böschungsstabilität gibt.

5.2 Baugruben

Generell können die Baugruben in Nachrodt aufgrund der Lage und der Platzverhältnisse frei geböscht hergestellt werden. Aus platztechnischen Gründen wird ein Verbau bei Baugruben in Altena und Meggen erforderlich sein. Der Verbau kann als Spundwandverbau ausgeführt werden. Alternativ ist ein Trägerbohlwand mit Holzausfachung möglich.

Trägerbohlwände mit Holzausfachung dürfen nur für kurzzeitige Zwecke eingesetzt werden. In Sanden mit Kapillarkohäsion dürfen Trägerbohlwände mit Holzausfachung nicht eingesetzt werden, wenn ein Austrocknen der Sande zu Sackungen insbesondere in den Rückbauzuständen führen kann.

Bei Trägerbohlwänden im Druckbereich von Eisenbahnverkehrslasten darf die freie Standhöhe in rolligen Böden maximal 1,5 Bohlenhöhen und in bindigen Böden maximal 2,5 Bohlenhöhen, aber maximal 0,5 m betragen. Gemäß Ril 836.4302, Abs 7 (4) und (5) ist die freie Standhöhe während der Herstellerarbeiten kontinuierlich, d. h. unter ständiger Anwesenheit eines qualifizierten Vertreters der Bauüberwachung während der Herstellung, insbesondere Abgrabarbeiten, zu überwachen. Holzbohlen sind im Zuge der Verfüllung von Baugruben vollständig auszubauen. Entstandene Hohlräume sind zu verfüllen. Freie Standhöhen von mehr als einer Bohlenbreite während des Verdichtens von Hinterfüllungen sind nicht zulässig.

Die frei geböschten Baugruben sind gemäß DIN 4124 bei den anstehenden Bodenverhältnissen mit maximal 45° herzustellen. Falls kleinere Ausbrüche vermieden werden sollen, muss flacher geböscht werden. Voraussetzung ist die nach aktuellem Stand vorhandene Wasserfreiheit.

Für die Herstellung der Baugruben sind die Vorgaben der DIN 4124 zu beachten. Der Baugrubenrand ist auf einer Breite von ≥ 1 m lastfrei zu halten. Wegen der Erosionsempfindlichkeit der anstehenden Böden wird empfohlen, die Baugrubenböschungen mit Folie abzuhängen.



Der Baugrubenverbau muss statisch bemessen werden und ist nach EC 7 nachzuweisen. Weiterhin sind für die Bemessung die Hinweise in der EAB zu beachten. Aufgrund der angrenzenden Gleise ist der Baugrubenverbau mindestens auf **erhöhten aktiven Erddruck** ($0,5 \cdot e_a + 0,5 \cdot e_0$) zu bemessen. Die Boden- und Felskennwerte für die o.g. Standsicherheitsberechnungen können den Tabellen 3.2-1 und 3.3-1 entnommen werden. Die Angaben in der EAB zum Ansatzpunkt des Wandreibungswinkels auf die gewählten Verbauarten sind zu beachten. Für die Bemessung einer Verbauwand darf der Wandreibungswinkel für Spundwände höchstens mit $|\delta_{a/p}| = 2/3 \varphi_k'$ angesetzt werden. Auf die DIN 4124 und die Empfehlungen des Arbeitskreises für Baugruben EAB wird ausdrücklich verwiesen. Die Verträglichkeit der voraussichtlichen Verformungen des Baugrubenverbaus für den angrenzenden Verkehrsweg ist nachzuweisen. Die Lage sowie die seitens des Herstellers vorgegebenen Verbauwandkennwerte sind bei der Planung und Ausführung zu beachten.

Die Mantelreibung wurde vereinfachend in Anlehnung an einen mindestens steifen bindigen Boden abgeleitet. Für Spundwände in Lockergestein können die in Tabelle 5.2-1 und für Bohlträger in Lockergestein können die in Tabelle 5.2-2 angegebenen Werte verwendet werden.

Schicht	charakteristischer Spitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²]	charakteristischer Mantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
Auffüllungen (Schicht 1)	9	20
fluviatile Sedimente (Schicht 2)	/	15

Tabelle 5.2-1: Charakteristische Kennwerte für die äußere Spundwandtragfähigkeit

Schicht	charakteristischer Spitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²]	charakteristischer Mantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
Auffüllungen (Schicht 1)	9	30
fluviatile Sedimente (Schicht 2)	/	20

Tabelle 5.2-2: Charakteristische Kennwerte für Bohlträger

Die vorstehend genannten Werte sind gemäß EAB als obere Erfahrungswerte zu verstehen. Die Anwendung setzt voraus, dass eine gewisse Vertikalverschiebung der Wand zugelassen werden kann. Werden die Spundbohlen und Bohlträger einvibriert, dann sind die in Tabelle 5.2-1 und Tabelle 5.2-2 angegebenen Werte für Mantelreibung und Spitzendruck auf 75 % abzumindern. Ggf. darf der Wert in Abstimmung mit einem Sachverständigen für Geotechnik erhöht werden.

Unabhängig von der erforderlichen Absetztiefe für den Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit muss eine ausreichende Eindringtiefe zur Ableitung der Horizontalkräfte gewährleistet sein; bei Bedarf



(Antreffen von Hindernissen) können daher Einbringhilfen (z.B. Lockerungsbohrungen) erforderlich werden, um die erforderliche Einbindetiefe erreichen zu können.

Gemäß den Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle (EA Pfähle) für Rammträger ist keine Angabe von Erfahrungswerten für eine Rammung im Fels möglich. Die Tragfähigkeit muss durch Proberammungen nachgewiesen werden. Limitierend ist insbesondere die Rammbarkeit des Felses, sodass im Hinblick auf die Einbindetiefe ggf. Lockerungs- oder Austauschbohrungen erforderlich werden.

Für eine Vordimensionierung der Spundwände und Bohlträger, die im Tonstein einbinden, sind die Kennwerte der Tabelle 3.3-1 anzusetzen. Der Spitzendruck wurde in Anlehnung an einen sehr dicht gelagerten nichtbindigen Boden gemäß EAU abgeleitet. Voraussetzung ist, dass die Spundwände bzw. Bohlträger mindestens bis zur Endtiefe der Vorbohrung eingerammt werden. Die Mantelreibung wurde vereinfachend in Anlehnung an einen mind. steifen bindigen Boden abgeleitet. Hier ist natürlich der Einfluss der Vorbohrung und die Art der Vorbohrung (Austauschbohrung/Lockerungsbohrung) deutlich höher als beim Spitzendruck.

Schicht	charakteristischer Spitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²]	charakteristische Mantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
Tonstein (Schicht 3a / 3b)	20	20

Tabelle 5.2-3: Charakteristische Kennwerte für die äußere Spundwandtragfähigkeit

Schicht	charakteristischer Spitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²]	charakteristische Mantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
Tonstein (Schicht 3a / 3b)	20	27

Tabelle 5.2-4: Charakteristische Kennwerte für Bohlträger

Es wird darauf hingewiesen, dass durch das Ziehen der Träger bei einem Trägerbohlverbau Auflockerungen entstehen können. Selbiges gilt für die Spundbohlen bei einem Spundwandverbau. Es wird daher empfohlen, den Verbau verloren auszuführen.

Beim **Aushub** ist zu beachten, dass feinkörnige Böden (Schicht 1 & 2) witterungsempfindlich und bei erhöhten Wassergehalten stark bewegungsempfindlich sind. Diese Böden können bei ungünstigen Witterungsbedingungen bzw. bei Wassersättigung und mechanischer Beanspruchung aufweichen und sich verflüssigen (Bodenklasse 4 nach DIN 18 300 in die Bodenklasse 2). Der Boden ist



dann weder einbaufähig noch tragfähig. Dynamische Beanspruchungen dieser Böden sind zu vermeiden. Der Aushub muss rückschreitend erfolgen. Das Aushubgerät ist grundsätzlich mit einer Grabenschaufel (Baggerschaufel mit gerader Schneide) auszurüsten. Damit lässt sich die Aushubsohle weitgehend ohne Störung des Baugrundes herstellen. Die Baugrubensohlen dürfen nicht befahren werden und sind unverzüglich abzudecken bzw. zu überbauen, um die anstehenden Böden vor ungünstigen Witterungseinflüssen zu schützen.

5.3 Verfüllung der Baugruben

Die Baugrube ist nach Fertigstellung der Arbeiten lageweise zu verfüllen. Bei der Wiederverfüllung sind die rolligen Böden der Schichten 1 und 2 aus der Baugrube aus bodenmechanischer Sicht wiederzuverwenden. Voraussichtlich sind die zuvor genannten Schichten ohne zusätzliche Maßnahmen mit $D_{Pr} = 95 \%$ einbaubar. Dabei gilt es anzumerken, dass beim Wiedereinbau ein Absieben des Überkornanteils mit Hilfe eines Sieblöffelbaggers notwendig wird. Es wird empfohlen den Boden vor dem Wiedereinbau auf ein Größtkorn von 100 mm abzusieben, um zu grobe Anteile auszuschließen.

Hinsichtlich der Wiederverfüllung sind die bindigen Böden der Schichten 1 und 2 mäßig geeignet, da diese in der Regel ohne Zusatzmaßnahmen einen Verdichtungsgrad von 97 % nicht erreichen können. Sie können entsprechend nur wieder eingebaut werden, wenn Eigensetzungen bis ca. max. 20 cm hingenommen werden können. Müssen die Eigensetzungen weiter reduziert werden, sind die Böden mit Verdichtung ($D_{Pr} = 97 \%$) einzubauen (Eigensetzungen bis max. 5 cm). Der anstehende bindige Boden kann ggf. mit Mischbinder konditioniert werden und dann lagenweise verdichtet werden. Alternativ muss mit geeignetem Fremdmaterial verfüllt werden.

Bei einem Wiedereinbau der bindigen Böden ist darauf zu achten, dass diese teilweise bei Wassersättigung durch Niederschläge von der Bodenklasse 4 in die Bodenklasse 2 übergehen können und dann ihre Wiedereinbaufähigkeit vollständig verlieren. Weiterhin weisen diese Böden auch ein gewisses Schrumpfmaß auf, d. h. bei Austrocknung zeigen sich sog. Schrumpfrisse. Aufgeweichte bindige Böden dürfen nicht wieder eingebaut werden.

5.4 Wasserhaltung

Auf Basis der Baugrunderkundung ist beim Herstellen einer Flachgründung mit Grundwasser in Nachrodt und Meggen zu rechnen. Aufgrund der geringen Baugrubengröße und den geringen



Mengen an Oberflächen-, Schicht-, Stau- und Sickerwasser ist eine **offene Wasserhaltung** ausreichend. Hierbei ist anfallendes Wasser in Pumpensämpfen, die seitlich am Rand der Baugruben angeordnet werden, zu fassen und abzuführen. Das Planum ist mit einem entsprechenden Gefälle von $\geq 3 \%$ herzustellen.

Das Sichern der Arbeiten gegen Niederschlagswasser und ihre Beseitigung, inkl. des Fassens und geordneten Ableitens des anfallenden Sickerwassers ist gemäß DIN 18 299, VOB Teil C (4.1.10) Nebenleistung.

Die aus der offenen Wasserhaltung geförderten Wässer müssen schadlos abgeleitet werden. Die Bedingungen setzen eine entsprechende Einleitungsgenehmigung voraus.

5.5 Nachbarbebauung

Inwieweit die Nachbarbebauung und die Verkehrswege durch das Bauvorhaben berührt werden und ob ggf. notwendige Sicherungsmaßnahmen erforderlich sind, ist abschließend mit Vorlage der endgültigen Planung zu überprüfen.

Im Zuge der Baumaßnahme können durch Erschütterungen (z.B. Verdichtungs- oder Rammarbeiten) Auswirkungen auf die angrenzende Bebauung nicht ausgeschlossen werden. Daher wird empfohlen, eine Beweissicherung der Nachbarbauwerke sowie der angrenzenden Verkehrswege vor Beginn der Baumaßnahme durchzuführen.

5.6 Sonstige Empfehlungen

Eine Baugrunderkundung ist naturgemäß eine stichprobenartige Bestandsaufnahme, die zwischen den Aufschlüssen Ergebnisse interpoliert. Abweichungen in gewissem Umfang sind somit nicht gänzlich auszuschließen. Bei Abweichungen der angetroffenen Bodenverhältnisse von den in diesem Gutachten beschriebenen ist die Dr. Spang GmbH umgehend zu benachrichtigen.

Für Pfahlgründungen sind fachtechnische Abnahmen der Pfahlaufstandsebenen durch den geotechnischen Sachverständigen durchzuführen. Hinsichtlich der Herstellung der Pfähle sind die Vorgaben der DIN EN 1536 zu beachten. Die Tiefenlage der ausreichend tragfähigen Schichten ist bei den



Arbeiten durch den Sachverständigen für Geotechnik und der ausführenden Baufirma zu überprüfen. Es sind die in Kap. 5.2 genannten Anforderungen zu beachten.

Darüber hinaus ist eine Kontrolle der Baudurchführung gemäß EC 7, Teil 1, Abs. 4.4 vorzunehmen. Die Eignung der vorgesehenen Erdbaustoffe muss vor Beginn der Bauausführung nachgewiesen werden. Während der Bauausführung müssen die Erdarbeiten überwacht und Verdichtungskontrollen in Form einer Eigenüberwachung und durch Kontrollprüfungen vorgenommen werden.

Vor Einbau des Bodenaustausches bzw. vor Herstellung der Sauberkeitsschicht ist die Gründungssohle nach EC 7, Kap. 4.3.1 (1)P, durch einen geotechnischen Sachverständigen zu kontrollieren und abzunehmen.

Für die angrenzenden bestehenden Verkehrsflächen und Nachbarbebauung wird eine **Beweissicherung** vor dem Beginn und nach Abschluss der Baumaßnahme empfohlen.

Sollten geotechnische Fragen auftreten, die im vorliegenden Gutachten nicht bzw. nicht ausreichend behandelt wurden, oder sollten sich Abweichungen bzw. Abänderungen in den Planungen bzw. Annahmen ergeben, die diesem Gutachten zugrunde gelegt wurden, so ist die Dr. Spang GmbH vom Auftraggeber zu informieren und zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.

Folgerungen, Empfehlungen und die Einteilung der Homogenbereiche sind im Zuge der weiteren Planung zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

ppa. 

Dipl.-Geol. G. von Zezschwitz
(Abteilungsleiter)

i.A. 

Mario Limberg, M.Sc.
(Projektingenieur)

DB Netz AG
I.NI-W-P-L
Felix Wiemers

- Verteiler:**
- DB Netz AG, Regionalbereich West, Herr Felix Wiemers, Duisburg, 3 x, davon 1 x vorab per Mail <felix.wiemers@deutschebahn.com>
 - Dr. Spang GmbH, Witten, 1 x