

Geotechnischer Bericht

Anbindung Ludwigshöhviertel

ÖPNV- und IV-Erschließung

HEAG mobilo GmbH
Klappacher Straße 172
64285 Darmstadt

Stadt Darmstadt
Mobilitätsamt
Stadthaus West
Mina Rees Straße 10
64295 Darmstadt

DB Engineering & Consulting GmbH
Umwelt- und Geo-Services (I.TV-MI-U)

Saonestraße 3

60528 Frankfurt am Main

22.07.2022

Prüf- und Freigabezeichnung für die aktuell gültige Version

	Erstellt	Fachgeprüft
Ort, Datum	Frankfurt, 22.07.2022	Frankfurt, 22.07.2022
Name	Wiesler, S.	Josenhans, Ch.
Organisation / Funktion	I.TV-MI-P-FFM-U	I.TV-MI-P-FFM-U
Unterschrift	 Wiesler, Sebastian 2022.07.22 09:28:52 +02'00'	 Digital unterschrieben von Josenhans, Christian Datum: 2022.07.22 09:36:04 +02'00'

Versionen

Version	Datum	Autor	Änderungen
1.0	12.05.2021	Wiesler, S.	Erstversion
2.0	22.07.2022	Wiesler, S.	Anpassung von Textabschnitten Ergänzung Abfalltechnik Hinweis zur Mantelverordnung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Unterlagen	7
1.2	Vorgang / Aufgabenstellung	10
1.3	Durchgeführte Untersuchungen	10
1.3.1	Aufschlussarbeiten	10
1.3.2	Laborversuche	13
2	Darstellung & Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	14
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	14
2.2	Geologischer Überblick	15
2.3	Erkundete Baugrundverhältnisse / Schichtbeschreibung	15
2.3.1	Allgemeiner Schichtenaufbau	15
2.3.2	Oberboden / Auffüllungen	16
2.3.3	Quartäre Ablagerungen	17
2.3.4	Kristallines Grundgebirge (Granodiorit)	17
2.4	Baugrundmodell	18
2.5	Hydrogeologische & wasserwirtschaftliche Verhältnisse	19
2.5.1	Hydrogeologischer Überblick	19
2.5.2	Durchlässigkeitsbeiwerte & Versickerungsfähigkeit	19
2.5.3	Vorläufige Bemessungswasserstände	21
2.5.4	Wasserschutzgebiete	21
2.5.5	Überschwemmungsgebiete / Hochwasser	22
2.6	Kampfmittelverdachtsflächen / Luftbildauswertung	22
2.7	Erdbebeneinwirkung	22
3	Geotechnische Kennwerte	23
3.1	Geotechnische Kategorie	23
3.2	Klassifizierung für bautechnische Zwecke	23
3.3	Charakteristische Bodenrechenwerte	24
3.4	Rammfähigkeit	25
4	Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen	27
4.1	Allgemeines	27
4.2	Straßenbau	27

4.2.1	Allgemeines	27
4.2.2	Bewertung des Straßenplanums und Hinweise für Bodenverbesserungsmaßnahmen	28
4.2.3	Hinweise zur Bauausführung der Straßen	30
4.3	Bemessung des Tragschichtsystems der Straßenbahntrasse	31
4.3.1	Allgemeines	31
4.3.2	Bewertung des Planums der Straßenbahntrasse und Hinweise für Bodenverbesserungsmaßnahmen	32
4.3.3	Hinweise zum Planumsschutz der Bahntrasse	34
4.4	Gründung der Bahnsteigkanten	35
4.4.1	Allgemein	35
4.4.2	Bewertung des Planums der Bahnsteige und Hinweise für Bodenverbesserungsmaßnahmen	36
4.5	Gründungsempfehlung Kanalbau	37
4.5.1	Allgemein	37
4.5.2	Bettung der Kanäle gemäß DIN EN 1610	37
4.5.3	Kanalgrabenverfüllung	37
4.6	Gründung der Oberleitungsmasten	38
4.6.1	Bohrpfähle	38
4.6.2	Rammpfähle	40
4.6.3	Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse	42
4.7	Gründung Stützmauer im Bereich der Cooperstraße	43
4.7.1	Allgemein	43
4.7.2	Flachgründung	44
4.8	Baugrubensicherung	45
4.9	Wasserhaltung	46
4.10	Einfluss der Baumaßnahme auf angrenzende Bebauungen / Gleisanlagen	46
4.11	Bautechnische Wiederverwendbarkeit von Aushubmassen	47
5	Abfalltechnische Untersuchungen	47
5.1	Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen	47
5.2	Probenahme und Untersuchungsumfang	48
5.3	Untersuchungsergebnisse	50
5.3.1	Boden	50
5.3.2	Beton	51
5.3.3	Asphalt	51

5.4	Verwertung / Entsorgung	52
6	Homogenbereiche	54
6.1	Erdarbeiten (ERD)	55
6.2	Bohrarbeiten (BOH)	56
6.3	Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten (RAM)	56
7	Schlussbemerkungen und Hinweise	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der durchgeführten Aufschlüsse	11
Tabelle 2:	Durchgeführte bodenmechanische Laborversuche	13
Tabelle 3:	Straßenaufbau in der Ludwigshöhstraße und Cooperstraße	16
Tabelle 4:	Durchlässigkeitsbeiwerte der erkundeten Baugrundsichten	20
Tabelle 5:	Klassifizierung für bautechnische Zwecke	23
Tabelle 6:	Charakteristische Bodenkennwerte	24
Tabelle 7:	Rechenwerte Bodenaustauschmaterial	25
Tabelle 8:	Rammfähigkeit der Baugrundsichten	25
Tabelle 9:	Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung	38
Tabelle 10:	Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung für Rammfähle nach EA-Pfähle /U 25/ ohne Berücksichtigung der Modellfaktoren	41
Tabelle 11:	Abminderungsfaktoren bei Einsatz von Rammhilfen	42
Tabelle 12:	Ergebnisse der Grundbruch- und Setzungsberechnungen	45
Tabelle 13:	Zusammenstellung der untersuchten Mischproben (Boden, Beton, Asphalt)	48
Tabelle 14:	Analyseergebnisse der untersuchten Bodenmischproben	50
Tabelle 15:	Analyseergebnisse der untersuchten Betonmischproben	51
Tabelle 16:	Analyseergebnisse der untersuchten Asphaltmischproben	51
Tabelle 17:	Übersicht der abgegrenzten Homogenbereiche	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Streckenführung Variante 2	14
---	----

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 2	Lagepläne und Höhenplan	
Anlage 2.1	Lagepläne	10 Blatt
Anlage 2.2	Höhenplan	1 Blatt
Anlage 3	Bohr- und Sondierprofile	5 Blatt
Anlage 4	Bodenmechanische und -chemische Laborergebnisse	
Anlage 4.1	Übersicht der bodenmechanischen Laborergebnisse	2 Blatt
Anlage 4.2	Körnungslinien	37 Blatt
Anlage 5	Umweltanalytische Laborversuche	
Anlage 5.1	Umweltanalytische Laborergebnisse (Boden)	56 Blatt
Anlage 5.2	Auswertung Umweltanalyse (Boden)	7 Blatt
Anlage 5.3	Umweltanalytische Laborergebnisse (Bauschutt)	13 Blatt
Anlage 5.4	Auswertung Umweltanalyse (Bauschutt)	1 Blatt
Anlage 5.5	Umweltanalytische Laborergebnisse (Asphalt)	12 Blatt
Anlage 5.6	Auswertung Umweltanalyse (Asphalt)	10 Blatt
Anlage 6	Grundbruchnachweis und Setzungsabschätzung, Oberbaudimensionierung Straßenbau	
Anlage 6.1	Oberbaudimensionierung Straßenbau	1 Blatt
Anlage 6.2	Stützmauern	2 Blatt
Anlage 7	Homogenbereiche - Kennwerte	
Anlage 7.1	Erdarbeiten	4 Blatt
Anlage 7.2	Bohrarbeiten	3 Blatt
Anlage 7.3	Ramm-, Rüttel- und Verpressarbeiten	3 Blatt
Anlage 8	Fotodokumentation	131 Blatt
Anlage 9	Kampfmittelberichte	15 Blatt

1 Einleitung

1.1 Unterlagen

Neben den gegenwärtig gültigen Normen und Richtlinien für Erd- und Grundbau standen zur Ausarbeitung dieses Geotechnischen Berichtes folgende Unterlagen zur Verfügung:

- /U 1/ Beauftragung Bestell-Nr. 4500173032 zwischen HEAG mobilo GmbH und ARGE Schüßler Plan IG mbH & DB Engineering & Consulting GmbH vom 08.05.2020, bezogen auf das Angebot vom 08.04.2020.
- /U 2/ Angebotsschreiben ÖPNV + IV Erschließung Ludwigshöhviertel in Darmstadt, Bietergemeinschaft Schüßler Plan / DB E & C, 08.04.2020.
- /U 3/ Projektbeschreibung Ludwigshöhviertel, ÖPNV- und IV-Erschließung, Wissenschaftsstadt Darmstadt Mobilitätsamt & HEAG Mobilo, Stand 10.12.2019
- /U 4/ Geotechnischer Bericht Cambrai-Fritsch-Kaserne, Darmstadt, Erstellt durch HYDRODATA GmbH, Oberursel, 30.08.2018
- /U 5/ Baugrundgutachten Planstraße A, südlich der Lincoln-Siedlung in Darmstadt, Erstellt durch G.U.B. Ingenieur AG, Mainz, 20.05.2019
- /U 6/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten (Schichtenverzeichnisse, Sondierprotokolle), deponata GmbH, Februar/März 2021
- /U 7/ Laborergebnisse der deponata GmbH, März 2021
- /U 8/ Umweltanalytische Laborergebnisse, Dr. Graner & Partner GmbH, 26.03. - 01.04.2021
- /U 9/ Geologische Übersichtskarte von Hessen, M 1:300.000, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 5. Auflage, Wiesbaden 08.2007.
- /U 10/ HLNUG - Fachinformationssystem Geologie (Geologie-Viewer) Hessen: <http://geologie.hessen.de/>, abgerufen am 19.03.2021.
- /U 11/ Greifenhagen, Götz: Untersuchungen zur Hydrologie des Stadtgebietes Darmstadt mit Hilfe eines Grundwasserinformationssystems unter Verwendung von einer Datenbank, Datenmodellierung und ausgewählten statistischen Methoden, TU Darmstadt, Fachbereich Material- und Geowissenschaften, 15.06.2000
- /U 12/ HLNUG - Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz (GruSchu) Hessen: <http://gruschu.hessen.de/>, abgerufen am 19.03.2021
- /U 13/ HLNUG - Fachinformationssystem Hochwasserrisikomanagement (HWRM-Viewer) Hessen: <http://hwrn.hessen.de/>, abgerufen am 19.03.2021.
- /U 14/ Hydrologisches Kartenwerk Hessische Rhein- und Mainebene, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Oktober 2015.
- /U 15/ Karte der Erdbebenzonen und Untergrundklassen, Geo-Zonen-Tool für Lastermittlung, [Erdbebenzonen von Deutschland nach Eurocode \(dlubal.com\)](http://dlubal.com), abgerufen am 19.03.2021.
- /U 16/ Eisenbahn-Bundesamt (EBA): Eisenbahnspezifische Technische Baubestimmungen (EiTB), Ausgabe 2019/I, Bonn.
- /U 17/ Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, 2. korrigierte Auflage, April 2005.
- /U 18/ VOB/C - Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil C Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen, Beuth, 2019.

- /U 19/ Ril 836 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten, 7. Aktualisierung, 01.11.2019.
- /U 20/ BOStrab, Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn- Bau- und Betriebsordnung), 10.2019
- /U 21/ VDV-Schrift 600, Oberbau-Richtlinien und -Zusatzrichtlinien für Bahnen im Geltungsbereich der BOStrab, 08.2018
- /U 22/ ZTV E-StB 17 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2017.
- /U 23/ ZTV A-StB 12; Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen, Ausgabe 2012.
- /U 24/ RStO 12; Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012
- /U 25/ EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., 2. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Ausgabe 2012.
- /U 26/ EAB - Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., 6. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, Ausgabe 2021.
- /U 27/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 8. Auflage, Karl Josef Witt (Hrsg.), Ernst & Sohn, 2017.
- /U 28/ RP Darmstadt (Hrsg.): Kampfmittelräumdienst des Landes Hessen, I 18 KMRD- 6b 06/05-Da 1867-2019, Bebauungsplan S 26 - Cambrai-Fritsch-Kaserne / Jefferson-Siedlung, Beteiligung TÖB, Bereichsbewertung Kampfmittelbelastung und -räumung, 08.03.2019
- /U 29/ Abschlussbericht, Kampfmitteltechnische Bewertung Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen Heagmobilo Darmstadt, Straßenbahntrasse zwischen Darmstadt (Straßenbahnhaltestelle „Landskronstraße“) und Alsbach Hähnlein Wendeschleife „Alsbach - Am Hinkelstein, Erstellt durch Kampfmittelinformationsservice GmbH, Amberg, 06.02.2017
- /U 30/ Abschlussbericht, Kampfmittelüberprüfung Bereich Darmstadt Innenstadt, Erstellt durch Kampfmittelinformationsservice GmbH, Amberg, 31.07.2017
- /U 31/ Programm „GGU-Footing“, Berechnung von Fundamenten nach DIN 4017, DIN 4019, DIN 1054 und EC 7, Version 9.06, 28.01.2021, Copyright + Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Johann Buß.
- /U 32/ Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis - Abfallverzeichnis-Verordnung AVV, vom 04.03.2016.
- /U 33/ Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20; Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen, Technische Regeln, Stand: 06.11.1997 und 2004.
- /U 34/ Merkblatt „Entsorgung von Bauabfällen“, Regierungspräsidium Darmstadt / Gießen / Kassel, Stand: 01.09.2018.
- /U 35/ Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau (RuVA-StB 01), Fassung 2001, Ausgabe 2005.
- /U 36/ Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20; Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen, Technische Regeln „Bauschutt“, Stand: 06.11.1997.
- /U 37/ Deponieverordnung vom 24. April 2009 (BGVI. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598) geändert worden ist.

/U 38/ Mantelverordnung: Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung vom 09.07.2021

1.2 Vorgang / Aufgabenstellung

Die Wissenschaftsstadt Darmstadt plant gemäß /U 3/ auf dem Gelände der Cambrai-Fritsch-Kaserne und Jefferson-Siedlung den Neubau von Wohnquartieren. Im Zuge dessen sollen die Zufahrtsstraßen (Cooperstraße & Ludwigshöhstraße) erneuert werden. Des Weiteren ist die Erweiterung der bestehenden Straßenbahnlinie 3 von der Lichtenbergschule in der Ludwigshöhstraße über den Quartierplatz, die Promenade und die Cooperstraße bis hin zur Heidelberger Straße geplant. Zusätzlich wird durch diese Erschließung das Ludwigshöviertel mit der Linie 7 erschlossen.

Im Ergebnis der Vorplanung wurde hinsichtlich der Auswirkungen, Kosten und Risiken eine Vorzugsvariante gewählt. Hier ist der Ausbau der Wendeschleife an der Akademie für Tonkunst mit gleichzeitiger Durchbindung an der Heidelberger Straße mittels eines Gleisdreiecks geplant.

Die Ingenieurgemeinschaft „INGE Erschließung Ludwigshöviertel“, bestehend aus der Schübler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH und der DB Engineering & Consulting GmbH wurde von der HEAG mobilo und der Stadt Darmstadt /U 1/ auf Grundlage von /U 2/ mit der geotechnischen Untersuchung für den Ausbau der Straßenbahnlinie 3 und dem Ausbau der Cooperstraße und Ludwigshöhstraße beauftragt. Ziel ist die Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse und die Erstellung eines geotechnischen Berichts mit Bewertung des Baugrundes im Hinblick auf die Gründung der Erd- und Ingenieurbauwerke sowie die Bemessung des Oberbaus von Verkehrswegen.

Gegenstand des vorliegenden Berichtes ist die Darstellung der erkundeten Baugrundverhältnisse im zuvor genannten Untersuchungsbereich anhand der von der Firma deponata GmbH durchgeführten Bodenerkundungen /U 6/ und die Unterbreitung von Vorschlägen hinsichtlich der Gründung der geplanten Bahnsteige, Straßen, Gleistrasse, Oberleitungsmasten und Stützmauern. Zudem werden Aussagen hinsichtlich der Versickerungsfähigkeit und mögliche Entwässerungen aufgeführt. Des Weiteren werden die angetroffenen Baugrundsichten nach VOB/C 2019 /U 18/ in Homogenbereiche für die anstehenden Erd-, Ramm-, sowie Bohrarbeiten eingeteilt. Orientierende abfalltechnische Untersuchungen waren ebenfalls Gegenstand der Beauftragung.

1.3 Durchgeführte Untersuchungen

1.3.1 Aufschlussarbeiten

Die Erkundungspunkte wurden gemäß den Planunterlagen festgelegt. Die Aufschlussarbeiten wurden vom 24.02. - 22.03.2021 von der Firma deponata GmbH durchgeführt.

Die Lage der Erkundungspunkte wurden auf Ortsbegehungen von der Bohrüberwachung DB E&C, Geotechnik und der Firma deponata GmbH gemeinsam festgelegt. Die Ansatzpunkte wurden in Abhängigkeit der geplanten Bauwerke, der Zugänglichkeit sowie der vorhandenen Kabel- und Leitungssituation ausgepflockt bzw. mittels tragbarem GPS-Gerät in Lage und Höhe auf das Referenzsystem ETRS 1989 UTM Zone N32 eingemessen.

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse im Bereich der geplanten Straßenbahnlinie und zur Entnahme von gestörten Bodenproben wurden insgesamt 27 Kleinrammbohrungen (KRB) und schwere Rammsondierungen (DPH) bis max. 6,0 m u. Ansatzpunkt, 8 KRB und DPH bis max. 8,0 m u. Ansatzpunkt und 6 KRB bis 3,0 m u. Ansatzpunkt geplant. Zudem wurde eine Kernbohrung (BK) bis max. 10,0 m u. Ansatzpunkt im Bereich des geplanten Kreisverkehrs in der Cooperstraße vorgesehen.

In nachfolgender Tabelle 1 sind die durchgeführten Erkundungen in Art, Anzahl und Erkundungstiefe zusammengestellt.

An den einzelnen Ansatzpunkten wurde ein Handschurf bis in eine Tiefe von 1,2 m unter GOK zur Feststellung der Leitungsfreiheit angelegt. Die Entnahme gestörter Bodenproben erfolgte meterweise und bei Schichtwechsel. Zusätzlich wurden gestörte Bodenproben auf Anweisung des Gutachters aus der Bohrung entnommen.

Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Aufschlüsse

Abschnitt	Aufschluss	ETRS 1989 UTM Zone 32 N		DHHN 2016		Endtiefe [m u. GOK]
		Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Ansatzhöhe [m NHN]	Endtiefe [m NHN]	
Ludwigshöhstraße	KRB / DPH 1	475048,7149	5522176,757	162,12	158,12 / 158,12	4,00 / 4,00
	KRB / DPH 45	475063,5741	5522066,99	164,55	160,35 / 160,15	4,20 / 4,40
	KRB / DPH 2	475061,9264	5522127,44	162,74	158,84 / 158,34	2,90 / 3,40
	KRB / DPH 44	475044,086	5522180,39	162,01	158,01 / 158,51	4,00 / 3,50
	KRB / DPH 3	475118,3239	5522066,93	164,69	160,09 / 160,29	4,60 / 4,40
	KRB / DPH 4	475074,6126	5522019,30	164,84	162,04 / 161,84	2,80 / 3,00
	KRB / DPH 5	475088,7681	5521962,37	166,86	164,56 / 164,66	2,30 / 2,20
	KRB / DPH 32	475098,9461	5521907,23	168,93	166,73 / 166,03	2,20 / 2,90
	KRB / DPH 6	475110,2665	5521857,32	170,83	170,43 / 169,43	0,40 / 1,40
	KRB / DPH 7	475119,8021	5521800,21	172,22	171,92 / 171,82	0,30 / 0,40
	KRB / DPH 33	475126,685	5521762,95	172,70	172,20 / 172,30	0,50 / 0,40
Cambrai-Fritsch-Kaserne	KRB / DPH 8	475141,8054	5521720,12	173,21	170,31 / 170,21	2,90 / 3,00
	KRB / DPH 9	475133,236	5521659,79	173,86	171,16 / 170,56	2,70 / 3,30
	KRB / DPH 34	475093,8035	5521624,62	173,46	170,86 / 170,56	2,60 / 2,90
	KRB / DPH 10	475054,5384	5521589,98	171,45	168,95 / 168,55	2,50 / 2,90
	KRB / DPH 11	475049,3659	5521537,39	170,48	168,48 / 168,58	2,00 / 1,90
	KRB / DPH 12	475039,9884	5521507,35	169,98	167,78 / 167,68	2,20 / 2,30
	KRB / DPH 13	475023,972	5521444,88	169,80	167,70 / 167,40	2,10 / 2,40
	KRB / DPH 14	475009,5306	5521400,86	170,00	168,00 / 167,90	2,00 / 2,10

Abschnitt	Aufschluss	ETRS 1989 UTM Zone 32 N		DHHN 2016		Endtiefe [m u. GOK]
		Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Ansatz- höhe [m NHN]	Endtiefe [m NHN]	
Cooper- straße	KRB 39	475082,4339	5521289,97	181,94	180,04 / 179,94	1,90 / 2,00
	KRB / DPH 38	475121,98	5521373,74	178,28	176,48 / 176,38	1,80 / 1,90
	KRB / DPH 37	475003,6294	5521363,64	170,85	168,75 / 168,65	2,10 / 2,20
	BK 1	474985,6439	5521376,65	170,02	162,02	8,00
	KRB / DPH 40	474929,3479	5521376,25	167,11	165,91 / 165,81	1,20 / 1,30
	KRB / DPH 16	474928,2975	5521387,65	166,92	164,72 / 164,52	1,20 / 1,40
	KRB / DPH 17	474874,2201	5521399,53	164,10	162,10 / 162,50	2,00 / 1,60
	KRB / DPH 18	474819,8355	5521391,14	160,98	156,98 / 157,48	4,00 / 3,50
	KRB / DPH 19	474778,5232	5521376,63	158,33	154,83 / 154,83	3,50 / 3,50
	KRB / DPH 20	474738,192	5521350,85	157,00	153,40 / 153,20	3,60 / 3,80
	KRB / DPH 41	474744,9739	5521343,43	157,35	154,35 / 154,35	3,00 / 3,00
	KRB / DPH 36	474763,0878	5523064,13	154,50	152,30 / 152,30	2,20 / 2,20
	KRB / DPH 21	474699,8642	5521314,64	155,34	151,84 / 151,44	3,50 / 3,90
	KRB / DPH 22	474644,9887	5521290,73	151,10	147,10 / 147,50	4,00 / 3,40
	KRB / DPH 24	474603,3186	5521292,43	149,04	146,34 / 146,64	2,70 / 2,40
Heidel- berger Straße	KRB / DPH 31	474559,0241	5521224,18	146,52	140,52 / 140,52	6,00 / 6,00
	KRB / DPH 42	474563,3552	5521257,90	146,82	142,72 / 142,62	4,10 / 4,20
	KRB / DPH 30	474555,8778	5521264,52	147,04	entfallen	
	KRB / DPH 35	474561,5145	5521317,08	147,63	143,83 / 144,53	3,80 / 3,10
	KRB / DPH 28	474565,5933	5521374,43	148,73	144,73 / 144,33	4,00 / 4,40
Wald (Hessen- forst)	KRB / DPH 23	474622,0486	5521312,75	150,60	147,80 / 146,60	2,80 / 4,00
	KRB / DPH 25	474646,1312	5521341,46	151,67	entfallen	
	KRB / DPH 26	474626,9931	5521357,55	151,59		
	KRB / DPH 27	474593,7359	5521344,08	149,35		
	KRB / DPH 29	474609,6541	5521404,18	151,13		

Insgesamt konnte bei keiner der durchgeführten Aufschlüsse aufgrund der dichten Lagerung die vorgegebene Erkundungstiefe erreicht werden. Die einzelnen Schichtenverzeichnisse können bei Bedarf im Archiv der DB Engineering & Consulting GmbH (DB E & C) eingesehen werden.

Die Lage der einzelnen Ansatzpunkte kann Anlage 2.1 entnommen werden. In Anlage 2.2 sind die Profile in einem Längsschnitt der geplanten Trasse eingehängt. Die Bohrprofile sind in Anlage 3 dargestellt.

1.3.2 Laborversuche

Alle entnommenen Bodenproben wurden vom Bearbeiter spezifiziert. Zur genaueren Klassifizierung der erkundeten Böden in Bodengruppen nach DIN 18196 und zur Ermittlung charakteristischer Bodenkennwerte sowie zur Einteilung in Homogenbereiche nach VOB/C /U 18/ sind ausgewählte Bodenproben bodenphysikalischen Untersuchungen unterzogen worden. Die Bodenproben wurden im bodenmechanischen Labor der Firma deponata GmbH, Laufersweiler /U 7/ nach Vorgaben des Gutachters untersucht.

In nachfolgender Tabelle 2 sind die durchgeführten Laborversuche im Einzelnen dargestellt.

Tabelle 2: Durchgeführte bodenmechanische Laborversuche

Versuch	Norm / Richtlinie	Anzahl durchgeführter Versuche
Nass-/Trockensiebungen (Best. Kornverteilung)	DIN EN ISO 17892-4	24
Kombinierte Sieb-/Schlamm-analyse (Best. Kornverteilung)	DIN EN ISO 17892-4	13

Die Ergebnisse der bodenphysikalischen Laborversuche sind zusammenfassend in Anlage 4.1 dargestellt. Die einzelnen Körnungslinien können Anlage 4.2 entnommen werden. In Anlage 7 sind die ermittelten Kenngrößen sowie ergänzende Erfahrungswerte für Erdarbeiten, Bohrarbeiten und Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten in Homogenbereiche nach VOB/C /U 18/ dargestellt.

2 Darstellung & Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet liegt im zwischen den Darmstädter Stadtteilen Bessungen und Eberstadt, zwischen der Ludwigshöhstraße und Heidelberger Straße, im Bereich der ehemals militärisch genutzten Cambrai-Fritsch-Kaserne.

Der geplante Ausbau der Straßenbahnlinie 3 verläuft von der Haltestelle Lichtenbergschule in der Ludwigshöhstraße über den Quartiersplatz, die Promenade und die Cooperstraße bis zur Heidelberger Straße. Abbildung 1 zeigt schematisch den vorgesehenen Streckenverlauf.

Derzeit steigt das Gelände zwischen der Ludwigshöhstraße und Cooperstraße überwiegend flach an. Die Haltestelle „Quartiersplatz“ stellt den höchsten Punkt der Trasse dar. Über die Heinrich-Delp-Straße fällt das Gelände nach Süden flach zur Cooperstraße hin ab. Über die Cooperstraße fällt das Gelände nach Westen zur Heidelberger Straße stark ab. Im Bereich der Cooperstraße ist eine Streckenführung innerhalb eines Geländeeinschnittes geplant.

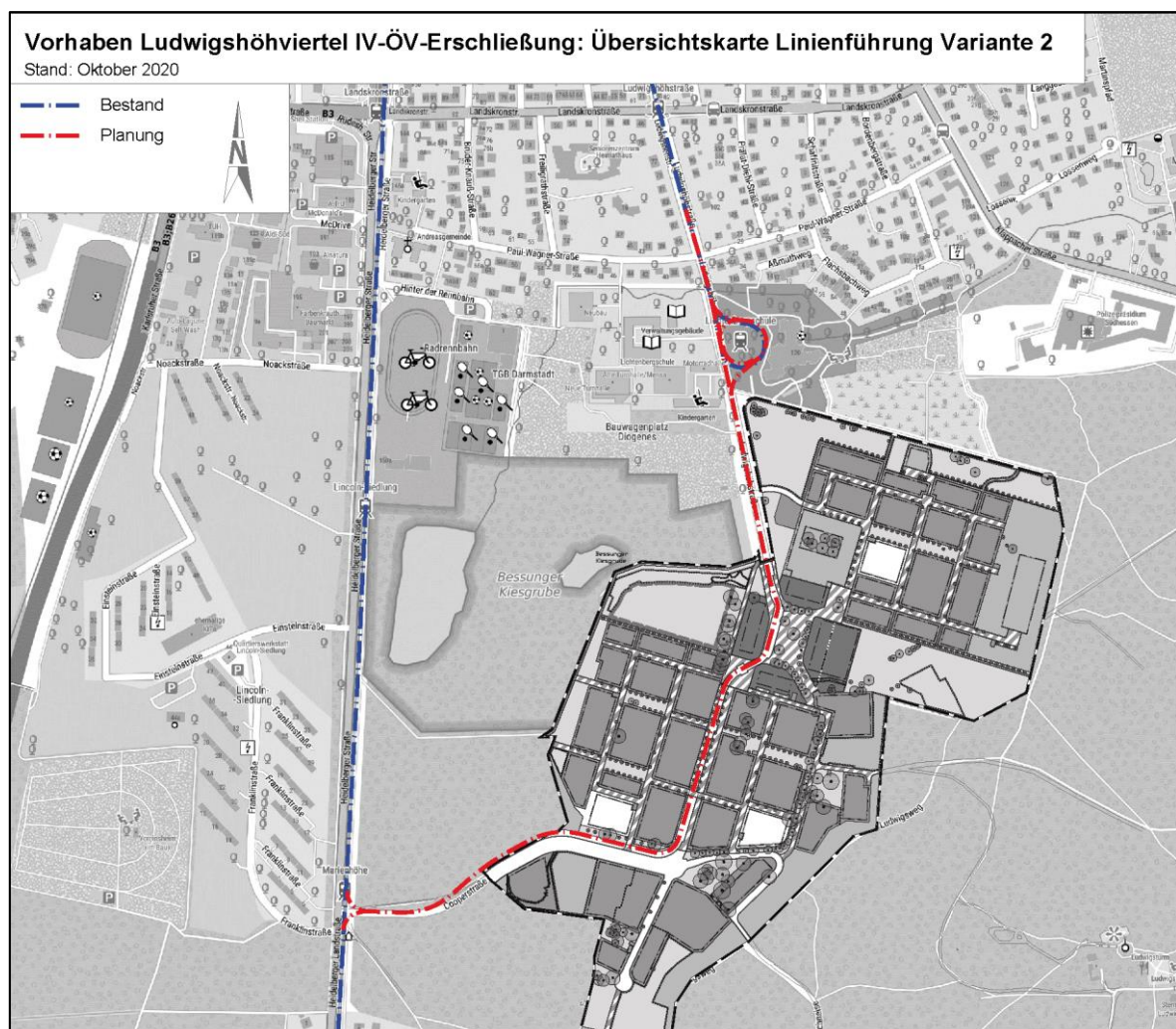


Abbildung 1: Streckenführung Variante 2

Der Straßenanschluss der Cooperstraße an die Heidelberger Straße soll so nach Süden verlegt werden, dass der heutige Versatz zu der gegenüberliegenden Franklinstraße bzw. der noch neu zu bauenden Planstraße A südlich der Lincoln Siedlung beseitigt wird und eine übersichtliche Knotenpunktgeometrie entsteht.

2.2 Geologischer Überblick

Das Ludwigshöhviertel befindet sich nach /U 11/ regionalgeologisch innerhalb des kristallinen Odenwaldes. Die hier auftretenden Gesteine sind als geologische Einheit dem Bergsträßer Odenwald zuzuordnen und setzen sich überwiegend aus magmatischen Gesteinen des Karbons, hier Granodiorit, zusammen.

Gemäß /U 9/ & /U 10/ werden die kristallinen Festgesteine von nach Westen zunehmend mächtigeren pleistozänen Sanden überlagert. Nach /U 11/ verläuft die Grabenflanke des Oberrheingrabens parallel zur Heidelberger Straße. Westlich dieser ist der Granodiorit durch Verwerfungen abgeschnitten und tritt erst in einer Tiefe > 15 m auf.

Am nördlichen Ende des Erkundungsgebietes ist nach /U 10/ mit dem Auftreten von quartären Bachsedimenten zu rechnen.

Generell ist in Bereichen bestehender Bebauung und landwirtschaftlicher Nutzflächen oberflächennah mit anthropogenen Auffüllungen zu rechnen. Da oftmals lokal vorkommende Böden eingebaut werden, ist eine zweifelsfreie Unterscheidung zwischen aufgefülltem und gewachsenem Boden nicht immer möglich.

2.3 Erkundete Baugrundverhältnisse / Schichtbeschreibung

2.3.1 Allgemeiner Schichtenaufbau

Die im Abschnitt 2.2 beschriebene geologische Situation wurde mit den Baugrunderkundungen bestätigt. Für den Untersuchungsbereich der Straßenbahnlinie ergibt sich folgender verallgemeinerter Schichtenaufbau:

- Schicht 1: Oberboden / Auffüllungen
- Schicht 2: Quartäre Kiese und Sande
- Schicht 3: Quartäre Tone und Schluffe
- Schicht 4: Kristallines Grundgebirge (hier: Granodiorit)

In den Bestandsgutachten /U 4/ & /U 5/ konnte dieser Schichtenaufbau ebenfalls nachgewiesen werden. Die Darstellung der einzelnen Erkundungsprofile ist der Anlage 3 zu entnehmen.

2.3.2 Oberboden / Auffüllungen

Bei den Bohrungen im Straßenbereich wurde unterhalb der Asphaltdecke bzw. Betonplatten überwiegend grob- und gemischtkörnige Auffüllungen erkundet. Dabei handelt es sich gemäß DIN 18196 um Böden der Bodengruppen [GW, GU, SW, SE, SU und ST] in lockerer bis dichter Lagerung. Im Bereich der KRB 28 wurden Auffüllungen der Bodengruppe [SU*] erkundet.

Vereinzelt traten oberflächennah auch Lagen aus Steinen und Blöcken auf. Die Mächtigkeiten der Auffüllungen variieren zwischen 0,30 m und maximal 2,20 m.

In Tabelle 3 ist der Straßenbelag und -unterbau in der Ludwigshöhestraße und Cooperstraße pro Aufschlusspunkt dargestellt.

Tabelle 3: Straßenaufbau in der Ludwigshöhestraße und Cooperstraße

Aufschlussnummer	Ansatzhöhe [m ü. NN]	Mächtigkeit & Art des Straßenbelages [m]	Mächtigkeit des Straßenunterbaus [m]	Bodengruppe des Unterbaus
Ludwigshöhestraße				
KRB 4	164,84	0,10 (Asphalt)	0,60	[GE], [SU]
KRB 5	166,86	0,07 (Asphalt)	0,23	Steine
KRB 6	170,83	0,08 (Asphalt)	0,32	Steine, Kies
KRB 7	172,22	0,09 (Asphalt)	0,21	Steine, kiesig
KRB 32	168,93	0,10 (Asphalt)	0,50	Steine, [SU]
KRB 33	172,70	0,08 (Asphalt)	0,22	Blöcke
KRB 44	162,01	0,05 (Asphalt)	1,35	[GW], [SW]
KRB 45	164,56	0,07 (Asphalt)	2,23	[GE], [SW]
Cooperstraße				
KRB 16	166,92	0,10 (Verbundpflaster)	0,30	[GW]
KRB 17	164,10	0,15 (Asphalt),	--	--
KRB 37	170,85	0,10 (Betonpflaster)	1,10	[GW], [SU]
KRB 38	178,28	0,07 (Asphalt)	1,13	[GW], [SU]
KRB 39	181,94	0,04 (Asphalt), 0,24 (Beton)	1,66	[SU]
KRB 40	167,12	0,14 (Beton)	0,16	[SE]
KRB 41	157,35	0,17 (Asphalt)	0,18	[GU]

Die Erkundungen innerhalb der Grünstreifen bzw. abseits der vorhandenen Straßen weisen oberflächennah meist eine ca. 0,30 m mächtige Oberbodenschicht der Bodengruppe [OH] auf. Eine Unterscheidung zwischen aufgefülltem und natürlichem Oberboden ist hier zweifelsfrei nicht möglich.

2.3.3 Quartäre Ablagerungen

2.3.3.1 Sande und Kiese

Unterhalb der anthropogenen Auffüllungen wurden überwiegend grob- bis gemischtkörnige Sande und Kiese der Bodengruppen SW, SE und SU erkundet. Vereinzelt wurden auch die Bodengruppen GW, GU, GU* und SU* angetroffen. Die quartären Sande und Kiese liegen in lockerer bis dichter Lagerung vor. Die Mächtigkeiten der Sande nehmen nach Westen hin deutlich zu. So liegen die Mächtigkeiten im Bereich der Ludwigshöhstraße und dem Kasernengelände zwischen 0,40 cm und 2,90 m. Teilweise wurden in diesem Bereich keine quartären Sande und Kiese angetroffen.

Im Bereich der Cooperstraße und Heidelberger Straße wurden die Sande und Kiese mit Mächtigkeiten von bis zu mind. 6,00 m erkundet.

2.3.3.2 Schluffe und Tone

In der Bohrung KRB 1 wurde zwischen den quartären Sanden eine dünnmächtige Schicht von ca. 0,40 m in einer Tiefe von 2,10 m bis 2,50 m erkundet. Die quartären Schluffe und Tone liegen in weicher Konsistenz vor und können der Bodengruppe UL/TL zugeordnet werden.

2.3.4 Kristallines Grundgebirge (Granodiorit)

Die Basis der Bohrungen bildet mit Ausnahme der Bohrungen KRB 1, 21, 22, 23, 28, 31, 42, und 44 ein sandig-kiesiger Felszersatz. Bei dem Felszersatz handelt es sich um den Verwitterungsgrus des Granodiorits. Aufgrund der überwiegend mitteldichten bis dichten Lagerung des Felszersatzes mussten alle Kleinerkundungen (KRB / DPH) innerhalb dieser Schicht vorzeitig abgebrochen werden. Der Granodioritgrus ist zu Beginn den Verwitterungseinheiten v5 (zersetzt) und v4 (vollständig verwittert) nach DIN EN ISO 14689-1 zuzuordnen. Lokal konnte ein geringer Teil der Verwitterungsstufe v3 (stark verwittert) mit den Kleinbohrungen erkundet werden. Die maximalen Erkundungstiefen innerhalb des Felszersatzes variieren zwischen 0,30 m und 1,7 m.

Die Großbohrung (BK 1) konnte bis auf eine Tiefe von 8,00 m u. GOK abgeteuft werden. Der bei 1,8 m u. GOK beginnende Felszersatz der Verwitterungseinheit v5 (zersetzt) und v4 (vollständig verwittert) weist hier eine Mächtigkeit von 0,70 m auf.

Ab 2,50 m u. GOK geht dieser in verwitterten Fels der Verwitterungseinheiten v3 (stark verwittert) bis v2 (mäßig verwittert) über. Ab einer Tiefe von 3,90 m u. GOK wurde der Granodiorit in den Verwitterungseinheiten v1 (schwach verwittert) bis v0 (frisch) angetroffen.

2.4 Baugrundmodell

Im Ergebnis der Baugrunderkundungen und der bodenmechanischen Untersuchungen lässt sich für den Untersuchungsbereich ein Baugrundmodell entwickeln, welches für die Bewertung und Klassifizierung der Baugrundverhältnisse herangezogen wird. Dabei wurden Böden mit annähernd gleichen Ablagerungsbedingungen und bodenmechanischen Eigenschaften in Schichten zusammengefasst.

Schicht 1 Auffüllungen

Schicht 1.0 *Straßenbelag und Oberboden*

- Bodengruppe: OH
- Schicht 1.0.1 Asphalt, Beton (Straßenbelag)
 - Schicht 1.0.2 Oberboden, Mutterboden

Schicht 1.1 *aufgefüllte, grob- und gemischtkörnigen Sande und Kiese Feinkornanteil $\leq 15\%$*

- Bodengruppen: [GW], [GE] [GU], [SW], [SE], [SU], [ST]
- Schicht 1.1.1 locker gelagert

Schicht 1.2 *aufgefüllte, gemischtkörnige Sande Feinkornanteil $> 15\%$*

- Bodengruppen: [SU*]
- Schicht 1.2.1 locker gelagert

Schicht 2 Sande und Kiese (Quartär)

Schicht 2.1 *Flugsande und fluviatile Sande grob- und gemischtkörnigen Sande / Kiese Feinkornanteil $\leq 15\%$*

- Bodengruppen: GW, GU, SW, SE, SU
- Schicht 2.1.1 locker gelagert
 - Schicht 2.1.2 mitteldicht gelagert
 - Schicht 2.1.3 dicht gelagert

Schicht 2.2 *Flugsande und fluviatile Sande grob- und gemischtkörnigen Sande / Kiese, gerundet Feinkornanteil $\geq 15\%$*

- Bodengruppen: GU*, SU*
- Schicht 2.2.2 mitteldicht gelagert
 - Schicht 2.2.3 dicht gelagert

Schicht 3 Tone und Schluffe (Quartär)

Bachsedimente

leicht plastische Tone / Schluffe

Bodengruppen: UL / TL

- Schicht 3.1 weich

Schicht 4 Kristallines Grundgebirge (Granodiorit)

Felszersatz und unverwittertes Festgestein

Verwitterungsstufen nach DIN EN ISO 14689-1: v5 bis v0

- Schicht 4.1 vollständig verwittert (v4) bis zersetzt (v5)

- Schicht 4.2 mäßig (v2) bis stark verwittert (v3)

- Schicht 4.3 frisch (v0) bis schwach verwittert (v1)

2.5 Hydrogeologische & wasserwirtschaftliche Verhältnisse

2.5.1 Hydrogeologischer Überblick

Im Untersuchungsgebiet wurden keine grundwasserführenden Schichten erkundet. Eine Grundwasserführung innerhalb des Granodiorits ist nicht zu erwarten. Dennoch ist mit Stauwasser auf dem kompakten und wasserundurchlässigen Fels zu rechnen.

Nach /U 4/ wurde im Bereich der Cambrai-Fritsch-Kaserne innerhalb des Felszersatzes Grundwasser bei ca. 160,86 m ü. NN angetroffen. Hierbei ist von Schichtwasser auszugehen.

2.5.2 Durchlässigkeitsbeiwerte & Versickerungsfähigkeit

Die hydraulische Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit der erkundeten Baugrundsichten kann aus den Kornverteilungskurven ermittelt bzw. aus Erfahrungen abgeschätzt werden. Die Versickerungsfähigkeit der Schichten wird nach DWA-A 138 /U 17/ unter Berücksichtigung eines Korrekturfaktors (Faktor: Kornverteilung = 0,2, Erfahrungswerte = 1,0) aus den Durchlässigkeiten ermittelt. Für die Baugrundsichten im Erkundungsgebiet ergeben sich die in Tabelle 4 aufgeführten hydraulischen Kennwerte.

Nach /U 17/ sind Böden versickerungsfähig, deren k_f -Werte im Bereich von 10^{-3} ... 10^{-6} m/s liegen. Ferner sollte die Mächtigkeit des Sickerraumes (Gesteinskörper, der zum Betrachtungszeitpunkt kein Grundwasser enthält), bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand, grundsätzlich mindestens 1,0 m betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für eingeleitete Niederschlagsabflüsse zu gewährleisten.

Tabelle 4: Durchlässigkeitsbeiwerte der erkundeten Baugrundsichten

Schicht	Bodenart	Durchlässigkeit k_f -Wert [m/s]	korrigierter k_f -Wert [m/s]	Bewertung Versickerungs- fähigkeit ²⁾
1.1	Auffüllung, gemischtkörnig Feinkorn $\leq 15\%$	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	$10^{-3} \dots 10^{-5}$ ($9,88 \times 10^{-5}$) ⁴⁾	stark durchläs- sig bis durchlässig
1.2	Auffüllung, gemischtkörnig Feinkorn $\geq 15\%$	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	durchlässig bis schwach durchlässig
2.1	Quartäre Sande und Kiese Feinkorn $\leq 15\%$	$10^{-3} \dots 10^{-6}$ ($1,7 \times 10^{-4} \dots$ $3,5 \times 10^{-5}$) ³⁾	$10^{-3} \dots 10^{-6}$ ($3,4 \times 10^{-5} \dots$ $7,0 \times 10^{-6}$) ³⁾	stark durchläs- sig bis durchlässig
2.2	Quartäre Sande und Kiese Feinkorn $\geq 15\%$	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	$10^{-5} \dots 10^{-7}$ ($6,62 \times 10^{-6}$) ⁴⁾	durchlässig bis schwach durch- lässig
3	Schluff/Ton	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	schwach durch- lässig bis sehr schwach durchlässig
4.1	Fels, zersetzt	$10^{-4} \dots 10^{-7}$ ($1,7 \times 10^{-4}$) ³⁾	$10^{-4} \dots 10^{-7}$ ($3,4 \times 10^{-5}$) ³⁾ ($3,47 \times 10^{-5}$) ⁴⁾	durchlässig bis schwach durchlässig
4.2	Fels, mäßig bis stark verwittert ¹⁾	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	schwach durch- lässig bis sehr schwach durchlässig
4.3	Fels, frisch bis schwach verwittert ¹⁾	$10^{-9} \dots 10^{-10}$	$10^{-9} \dots 10^{-10}$	sehr schwach durchlässig

1) ... bei Klüften auch höher

2) ... Versickerungsfähigkeit nach DIN 18130

3) ... Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche: Körnungslinien, siehe Anlage 4.2

4) ... durchschnittliche Durchlässigkeitswerte anhand durchgeführter in-situ Versickerungsversuche nach /U 4/

Fazit:

Die im Untersuchungsbereich anstehenden quartären Sande und Kiese (Schicht 2) sind als versickerungsfähig einzustufen. Die quartären Schluffe und Tone der Schicht 3 sind nicht versickerungsfähig und als wasserstauend einzustufen. Die Versickerungsfähigkeit des Felses (Schicht 4) nimmt mit dem Verwitterungsgrad zu.

Im Bereich des geplanten Sickerbeckens (Cooperstraße / Heidelberger Straße) wurden mit der KRB 22, 23 und KRB 24 quartäre Sande und Kiese mit erhöhtem Feinkornanteil (Schicht 2.2) bis 146,34 m NHN erkundet. Eine flächige Versickerung über ein Sickerbecken oder Rigolen ist möglich, jedoch sollten aufgrund der verminderten Sickerleistung Einstauhöhen bei der Planung berücksichtigt werden.

Durch in-situ Versickerungsversuche wurde in diesem Bereich durch /U 4/ ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 6,62 \times 10^{-6}$ m/s ermittelt. Dies gilt auch für den Bereich der Wendeschleife in der Ludwigshöhstraße.

Im erkundeten Bereich der Ludwigshöhstraße und der Cambrai-Fritsch-Kaserne steht kein ausreichender Sickerraum aus quartären Sanden zur Verfügung. Hier steht der Felszersatz des Granodiorits meist direkt unterhalb der Auffüllungen an. Durch in-situ Versickerungsversuche konnte der Durchlässigkeitsbeiwert des Felszersatzes bestimmt werden. Nach /U 4/ variieren die Durchlässigkeitsbeiwerte für den Felszersatz zwischen $k_f = 1,76 \times 10^{-4}$ m/s und $k_f = 7,4 \times 10^{-7}$ m/s. Im Mittel konnte ein Durchlässigkeitsbeiwert von $3,47 \times 10^{-5}$ m/s bestimmt werden.

Eine Versickerung von anfallendem Oberflächenwasser ist innerhalb des Felszersatzes (Schicht 4.1) grundsätzlich möglich. Da der Bereich des vollständig zersetzten Felses jedoch meist nur geringmächtig ist, ist je nach Klüftigkeit mit einem Aufstau von Wasser auf dem darunterliegenden kompakten Fels zu rechnen.

Eine Versickerung innerhalb der Auffüllungen (Schicht 1) ist nach DWA-A-138 /U 17/ nicht zulässig.

2.5.3 Vorläufige Bemessungswasserstände

Auf Basis der Erkundungen sowie unter Berücksichtigung des Grundwassergleichenplans für das Hessische Ried /U 14/ und möglicher Überschwemmungsgebiete gemäß /U 13/ können folgende, vorläufige Bemessungswasserstände angesetzt werden.

Im Bereich der Cooperstraße (KRB 18 bis KRB 23) ist eine Grundwasserführung gemäß /U 14/ erst ab 110,0 m ü. NHN zu erwarten. Im Bereich der Ludwigshöhstraße, Cambrai-Fritsch-Kaserne und Cooperstraße (KRB 18 bis KRB 39) ist eine Grundwasserführung innerhalb des Granodiorits generell nicht zu erwarten. Diese ist nur über Klüfte im kompakten Fels möglich.

Bauzeitlich ist mit dem Auftreten von witterungsbedingtem zulaufendem Stauwasser im gesamtem Erkundungsgebiet zu rechnen.

2.5.4 Wasserschutzgebiete

Gemäß /U 12/ befindet sich das Untersuchungsgebiet außerhalb festgesetzter Wasserschutzgebiete. Das nächstgelegene Wasserschutzgebiet „WSG WW Stadt Pfungstadt“ befindet sich ca. 0,8 km südlich des Erkundungsgebietes.

2.5.5 Überschwemmungsgebiete / Hochwasser

Das gesamte Erkundungsgebiet befindet sich gemäß /U 13/ außerhalb von ausgewiesenen Überschwemmungsgebieten.

2.6 Kampfmittelverdachtsflächen / Luftbildauswertung

Im Vorfeld der Baugrunderkundungen wurde eine Luftbildauswertung des RP Darmstadt hinsichtlich Kampfmittelgefährdung innerhalb der Cambrai-Fritsch-Kaserne durchgeführt. Gemäß /U 28/ liegt im Kasernenbereich kein begründeter Kampfmittelverdacht vor.

Der Bereich der Heidelberger Straße liegt gemäß /U 29/ ebenfalls außerhalb begründeter Kampfmittelverdachtsflächen.

Nach /U 30/ liegt der Bereich der geplanten Wendeschleife in der Ludwigshöhstraße innerhalb eines Bombenabwurfgebietes. Vom Vorhandensein von Bombenblindgängern muss deshalb grundsätzlich ausgegangen werden.

Alle Bohransatzpunkte innerhalb der begründeten Kampfmittelverdachtsflächen wurden von einem nach §20 Sprengstoffgesetz (SprenG) befähigten Feuerwerker mittels Magnetsonde freigemessen.

Die uns vorliegenden Kampfmittelprotokolle und Pläne sind der Anlage 9 zu entnehmen.

2.7 Erdbebeneinwirkung

Gemäß /U 15/ liegt die geplante Straßenbahnlinie innerhalb der Erdbebenzone 1. Die Untergrundklasse ist R (=Gebiete mit felsartigem Gesteinsuntergrund). Im Ergebnis der Baugrunderkundungen liegt die Baugrundklasse A vor.

Für die geplanten Bauwerke sind aufgrund der Erdbebenzone 1 gemäß /U 16/ Nachweise nach DIN 4149:2005-4 zu führen. Der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung für die Erdbebenzone 1 liegt bei $a_g=0,4 \text{ m/s}^2$.

3 Geotechnische Kennwerte

3.1 Geotechnische Kategorie

Die Straßenbahntrasse, Verkehrsstraße, Haltestellen und Stützmauern werden nach DIN 1997-1, Abs. 2.1 der geotechnischen Kategorie GK 1 zugeordnet. Dies entspricht Baumaßnahmen und Baugrundverhältnissen einfachen Schwierigkeitsgrades. Die Oberleitungsmasten werden nach DIN 1997-1, Abs. 2.1 der geotechnischen Kategorie GK 2 zugeordnet. Dies entspricht Baumaßnahmen und Baugrundverhältnissen mittleren Schwierigkeitsgrades

3.2 Klassifizierung für bautechnische Zwecke

Tabelle 5: Klassifizierung für bautechnische Zwecke

Nr.	Schicht	Bodengruppen ¹⁾	Frostempfindlichkeit ²⁾	Verdichtbarkeit ³⁾
1.1	Auffüllungen, grob- gemischtkörnig	[GW], [GE] [GU], [SW], [SE], [SU], [ST]	F1 - F2	V1 ([SE]: V2)
1.2	Auffüllungen, gemischtkörnig	[SU*]	F3	V2
2.1	Sande / Kiese ≤ 15 % Feinkornanteil	GW, GU, SW, SE, SU	F1 - F2	V1 (SE: V2)
2.2	Sande / Kiese ≥ 15 % Feinkornanteil	GU*, SU*	F3	V2
3	Tone / Schluffe, bindig	UL, TL	F3	V3
4.1	Fels, vollständig verwittert bis zersetzt	(GU, SU, SU*)	F2 - F3	V2 - V3
4.2	Fels, mäßig bis stark verwittert	--	F2	--
4.3	Fels, frisch bis schwach verwittert	--	F1	--

1) Bodengruppen nach DIN 18196

2) Frostempfindlichkeit nach ZTV-E Stb 17 /U 22/

3) Verdichtbarkeit in Anlehnung an ZTV-Stb A 12 /U 23/: V1 ... gut verdichtbar, V 2 ... mäßig verdichtbar, V 3 ... schlecht bis nicht verdichtbar

3.3 Charakteristische Bodenrechenwerte

Den erkundeten Baugrundsichten können im Ergebnis der Laborversuche, aus Erfahrungen für erdstatische Berechnungen im Untersuchungsbereich sowie unter Berücksichtigung der ermittelten Bodenkenngrößen die in Tabelle 6 dargestellten charakteristischen Rechenwerte zugeordnet werden.

Tabelle 6: Charakteristische Bodenkennwerte

Schicht	Boden- gruppe	LD / Kons. / Verwit.	Wichte		Scherparameter			Steifemodul ¹⁾		
			γ_k	γ'_k	ϕ'_k	c'_k	$c'_{u,k}$	$E_{s,0,k}$	w	$E_{dyn}^{2)}$
			[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[MN/m ²]	[-]	[MN/m ²]
Schicht 1 - Auffüllungen										
1.1.1	[GW], [GI], [GU], [SE], [SI], [SU]	lo	17	9	30	1	--	15	0,6	150
1.1.2		md	18	9,5	32,5	1	--	25	0,6	150
1.1.3		d	19	10	35	1	--	30	0,6	200
1.2.1	[SU*]	lo	18	9	28	2	--	10	0,7	150
Schicht 2 - Sande Kiese (Quartär)										
2.1.1	GW, GI, GU, SW, SI, SE, SU	lo	18	8,5	32,5	1	--	15	0,6	150
2.1.2		md	19	9,5	35	1	--	25	0,6	200
2.1.3		d	20	10,5	37,5	1	--	40	0,6	300
2.2.2	GU*, SU*	md	19,5	10	30	2	--	20	0,6	200
2.2.3	GU*, SU*	d	20,5	11	32	2	--	30	0,6	300
Schicht 3 - Schluffe Tone, Deckschichten & Lehme										
3.1	UL, TL	w	18,5	8,5	25	2	15	5	0,8	50
Schicht 4 - Fels, Granodiorit										
4.1	(GU, SU, SU*)	v5-v4	20	10,5	32,5	1-2	--	30	0,6	300
4.2	--	v2-v3	22	12	35	--	50	80	0,6	500
4.3	--	v0-v1	24	14	37,5	--	150	200	0,6	800

lo ... locker, md ... mitteldicht, d ... dicht, w ... weich, LD ... Lagerungsdichte, Kons ... Konsistenz, Verwit ... Verwitterungsgrad nach DIN 14689-1, v0 ... frisch, v1 ... schwach verwittert, v2 ... mäßig verwittert, v3 ... stark verwittert, v4 ... vollständig verwittert, v5 ... zersetzt

1) Parameter gemäß Ohde'scher Gleichung: $E_s = E_{s,0} \left(\frac{\sigma}{p_a} \right)^w$.

Die Angaben für den Steifemodul $E_{s,0}$ gelten bei einer Spannung $\sigma=100$ kN/m². Die Ermittlung des spannungsabhängigen Steifemoduls $E_{s,k}$ ergibt sich nach o. g. Gleichung, wobei w ein von der Bodenart abhängiger Parameter ist, σ die betrachtete Spannung und $p_a = 100$ kPa.

2) Parameter in Anlehnung an /U 27/

Für die Berücksichtigung von Kiespolstern im Gründungsbereich können für erdstatische Berechnungen die in Tabelle 7 aufgeführten Rechenwerte verwendet werden.

Tabelle 7: Rechenwerte Bodenaustauschmaterial

Schicht	Bodengruppe	LD / Kons.	Wichte		Scherparameter			Steifemodul ¹⁾	
			γ_k	γ'_k	φ'_k	c'_k	$c'_{u,k}$	$E_{s,0,k}$	w
			[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[MN/m ²]	[-]
-	GI, GW, SI, SW Mit $D_{pr} > 1,0$	w	19,0	11,0	35,0	0	--	50	0,6

3.4 Rammfähigkeit

Die erkundeten Baugrundsichten bestehen aus anthropogenen Auffüllungen, quartären Sanden und Kiesen, z. T. Tonen und Schluffen sowie Granodiorit in unterschiedlichen Verwitterungsstufen. Eine Klassifizierung der Böden hinsichtlich ihrer Rammfähigkeit (z. B. nach DIN-Norm) gibt es nicht.

Die nachfolgende Einschätzung basiert auf Grundlage der erkundeten Bodenarten, der Lagerungsdichten bzw. Konsistenz sowie von Erfahrungen.

Tabelle 8: Rammfähigkeit der Baugrundsichten

Schicht	LD / Kons. / Verwitterungsgrad	Bodenart	Rammfähigkeit ²⁾
1.1.1, 1.2.1	locker	Auffüllungen, grob- / gemischtkörnig	mittelschwer
1.1.2	mitteldicht		mittelschwer bis schwer
1.1.3	dicht		schwer bis sehr schwer ¹⁾
2.1.1	locker	Sand, Kies (Quartär)	mittelschwer
2.1.2, 2.2.2	mitteldicht		mittelschwer bis schwer
2.1.3, 2.2.3	dicht		schwer bis sehr schwer ¹⁾
3.1	weich	Ton/Schluff (Quartär)	leicht bis mittelschwer
4.1	v4-v5	Fels, Granodiorit	schwer bis sehr schwer ¹⁾
4.2	v2-v3		nicht rammbar
4.3	v0-v1		nicht rammbar

LD ... Lagerungsdichte, Kons. ... Konsistenz
1) evtl. Rammhilfen erforderlich

2) Einbringbarkeit bezogen auf DPH nach DIN EN ISO 22476-2 (Spitzenquerschnitt 15 cm², Spitzdurchmesser 43,7 mm, Masse des Rammbaren 50 kg, Fallhöhe 0,5 m)

In den aufgefüllten Böden ist generell mit Anteilen an Steinen und Blöcken, o. ä. zu rechnen, die die Rammfähigkeit des Untergrundes verschlechtern können.

Nach /U 25/ ist bei angewitterten oder unverwittertem Fels (Schicht 4.2 und 4.3) in der Regel kein Einrammen möglich. Das Erreichen der Felsoberfläche ist durch ein übergangslos auftretendes Maximum an Rammwiderstand belegt. Unter diese Randbedingungen kann der Lastabtrag nur über den Pfahlfußwiderstand erfolgen.

Generell sollten beim Rammen folgende Grundsätze beachtet werden:

- Zur Verringerung der dynamischen Anregungen sollten möglichst erschütterungsarme Verfahren angewendet werden.
- Die Rammträger sollten nach Möglichkeit in einem Zug bis zur Endtiefe gerammt werden. Sofern ein Nachrammen vorgesehen ist, muss die Verweilzeit bis zum Rammen auf Endtiefe minimiert werden, um den „Festwachseffekt“ zu vermeiden.
- Es ist ein Rammgerät von ausreichender Größe zu verwenden. Beim Einsatz eines zu kleinen Gerätes besteht die Gefahr, dass kaum ein Rammfortschritt erzielt wird und die Rammenergie zum großen Teil in Schwingungsenergie umgesetzt wird, welche zur Verflüssigung des Bodens führen kann.
- Während des Rammens sind benachbarte Gleisanlagen und Bebauungen ständig zu beobachten.

Sofern Rammarbeiten vorgesehen sind, empfehlen wir zur Auswahl der Rammtechnologie und Rammgeräte eine Fachfirma einzuschalten und Proberammungen vorzusehen.

Die von uns vorgenommenen Einschätzungen zur Rammpbarkeit schließen nicht die Erfahrungen von Baufirmen bei der Durchführung von Rammarbeiten mit ähnlichen Baugrundverhältnissen aus.

Die Ausführung von Verdrängungselementen (z. B. Spundbohlen und Bohlträger) regelt die DIN EN 12699:07/2015.

Grundsätzlich sind bei der Ausführung der Rammarbeiten die Regelungen der DIN 18304 zu beachten. In Kapitel 6 sind die angetroffenen Baugrundsichten in Homogenbereiche unter Angabe relevanter Kennwerte für das Gewerk Rammarbeiten eingeteilt.

4 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen

4.1 Allgemeines

Gemäß der Projektbeschreibung /U 3/ wird die Erweiterung der Straßenbahnlinie 3 zweigleisig ausgeführt. Insgesamt sind folgende Maßnahmen geplant.

- Neubau der Verkehrsstraßen inklusive teilweiser Umverlegung der Cooperstraße
- Neubau zweigleisiger Straßenbahntrasse
- Neubau von insgesamt 5 Haltestellen
- Neubau einer Stützmauer im Bereich des Kreisverkehrs in der Cooperstraße
- Gründung von Oberleitungsmasten

In den nachfolgenden Abschnitten werden Gründungsempfehlungen für die einzelnen Maßnahmen angegeben.

4.2 Straßenbau

4.2.1 Allgemeines

Straßen sind im Allgemeinen auf Boden zu gründen, welcher die Anforderungen nach ZTV E-StB 17 /U 22/ erfüllt, bzw. welcher sich auf die erforderlichen Werte (E_{v2} und D_{Pr}) verdichten lässt. Dadurch sollen auftretende Setzungen derart minimiert werden, dass sie keine unzulässigen Verformungen an der Oberflächenbefestigung verursachen bzw. die Funktionsfähigkeit der Straße beeinflussen. Des Weiteren ist die Frostsicherheit nach ZTV E-StB 17 /U 22/ bzw. RStO-12 /U 24/ zu gewährleisten. Die Lage der geplanten Gradienten kann dem Höhenplan der Anlage 2.2 entnommen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die neuen Straßen im Bereich der Ludwigshöhstraße und Cambrai-Fritsch-Kaserne ± 30 cm auf gleicher Höhe wie die vorhandenen Straßen zu liegen kommen. Im Bereich der Cooperstraße ist ein Einschnitt in das Gelände geplant und eine Umverlegung des Anschlusses an die Heidelberger Straße.

Entsprechend der Erkundungsergebnisse ist im Untersuchungsgebiet überwiegend mit aufgefüllten und anstehenden Böden der Frostempfindlichkeit F2 zu rechnen. Lokal traten Böden der Frostempfindlichkeitsklassen F1 bzw. F3 auf.

In Anlage 6.1 sind die im Untersuchungsgebiet geplanten Oberbauarten dargestellt.

4.2.2 Bewertung des Straßenplanums und Hinweise für Bodenverbesserungsmaßnahmen

4.2.2.1 Bereich Heidelberger Straße (Verbindungsstraße)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 50 cm in den dort vorhandenen schwach schluffigen Fein- bis Mittelsanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend. Aufgefüllte Böden im Gründungsbe- reich sind durch einen Bodenaustausch von $d = 0,20 \text{ m}$ auszutauschen.

4.2.2.2 Bereich Heidelberger Straße (Gehweg / Radweg)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 40 cm in den dort vorhandenen aufgefüllten schwach schluffigen bis schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2 - F3) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 30-40 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden, so dass ein zu- sätzlicher Bodenaustausch von $d = 0,20 \text{ m}$ erforderlich wird.

4.2.2.3 Bereich Cooperstraße West (Wohnstraße)

Das Planum kommt mit dem geplanten Einschnitt und dem vorgesehenen Aufbau von 50 cm in den dort vorhandenen schwach schluffigen Sanden bzw. dem zersetzten bis teilweise nur mäßig verwit- terten Fels (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Im mäßig verwit- terten Fels können deutlich höhere E_{v2} -Werte erzielt werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nach- verdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.4 Bereich Cooperstraße (Gehweg / Radweg)

Das Planum des Geh- und des Radweges kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 40 cm in den dort vorhandenen schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.5 Bereich Kreisverkehrsplatz (Knotenpunkt)

Das Planum kommt mit dem geplanten Einschnitt und dem vorgesehenen Aufbau von 45 cm in den dort vorhandenen anstehenden bzw. aufgefüllten schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlich- keitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.6 Bereich Kreisverkehrsplatz (Gehweg)

Das Planum kommt mit dem geplanten Einschnitt und dem vorgesehenen Aufbau von 40 cm in den dort vorhandenen anstehenden bzw. aufgefüllten schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.7 Bereich Cooperstraße Ost (Wohnstraße)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 40 cm in den dort vorhandenen aufgefüllten schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.8 Bereich Cooperstraße Ost (Gehweg)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 40 cm in den dort vorhandenen aufgefüllten schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.9 Bereich Cooperstraße Ost (Parkstandflächen)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 35 cm in den dort vorhandenen aufgefüllten schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.10 Bereich Cooperstraße (Angehobene Fahrbahn)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 50 cm in den dort vorhandenen aufgefüllten schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.11 Bereich Ludwigshöhstraße (Wohnstraße)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 50 cm in den dort vorhandenen anstehenden und aufgefüllten sehr schwach schluffigen bis schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.2.12 Bereich Ludwigshöhstraße (Gehweg / Radweg)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 40 cm in den dort vorhandenen anstehenden und aufgefüllten sehr schwach schluffigen bis schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.2.3 Hinweise zur Bauausführung der Straßen

Generell ist über den Querschnitt der vorhandenen Straßen aufgrund der vorhandenen Kanal- / Rohrgrabenverfüllungen, etc. mit Schwankungen in der Tragfähigkeit zu rechnen.

Wir empfehlen nach Freilegen des Planums und dem Nachverdichten den erforderlichen E_{v2} -Wert von $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ durch Plattendruckversuche nachzuweisen. Wird dieser Wert nicht erreicht, so ist ein Bodenaustausch von ca. 20 cm einzuplanen.

Für den Bodenaustausch (unterhalb des Planums) wäre z.B. ein nach ZTV A-StB 12 /U 23/ gut verdichtbares und gut abgestuftes Material (Ungleichförmigkeitszahl $U > 15$) der Bodengruppen GW, GI oder GU, bzw. ein entsprechendes Recyclingmaterial oder Schotter der Körnung 0/45 mm geeignet. Der Feinanteil (Korngröße $< 0,063 \text{ mm}$) ist auf maximal 15 % zu begrenzen. Der Kiesgehalt (Korngröße $> 2,00 \text{ mm}$) hat mindestens 40 % zu betragen.

Die Anforderungen an Frostschutz- bzw. Tragschichtmaterialien können den einschlägigen Vorschriften (TL-SoB) entnommen werden. Wir empfehlen im Vorfeld der Materialanlieferung ein Prüfzeugnis für die entsprechenden Materialien vom AN vorlegen zu lassen.

Das Planum ist entsprechend ZTV A-StB /U 23/ vor Witterungseinflüssen zu schützen (z.B. Belassen einer Schutzschicht bis kurz vor Einbau der Tragschicht, Planumsneigung zur Entwässerung bei Niederschlag, entsprechendes Abwalzen der Oberfläche, etc.).

4.3 Bemessung des Tragschichtsystems der Straßenbahntrasse

4.3.1 Allgemeines

In der „Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung“ (BOStrab) /U 20/ werden drei unterschiedliche Bahnkörper definiert.

- Straßenbündige Bahnkörper nutzen denselben Verkehrsraum wie andere Verkehrsteilnehmer (Straße, Fußgängerzone)
- Besondere Bahnkörper liegen im Verkehrsraum öffentlicher Straßen, sind jedoch durch bauliche Maßnahmen (z.B. Bordsteine, Leitplanken, Hecken oder Baumreihen) vom übrigen Verkehr getrennt. Höhengleiche Kreuzungen mit dem übrigen Verkehr sind als Bahnübergänge Teil des besonderen Bahnkörpers, wenn sie mit einem Andreaskreuz (StVO Zeichen 201) gekennzeichnet und nach den Vorschriften des §20 mindestens mit einem Lichtzeichen technisch gesichert sind.
- Unabhängige Bahnkörper sind solche, die aufgrund ihrer Lage oder ihrer Bauart vom übrigen Verkehr unabhängig sind. Bahnübergänge sind Teil des unabhängigen Bahnkörpers.

Der Unterbau und Untergrund von Verkehrswegen sollte so beschaffen sein, dass sie sowohl unter statischen, als auch dynamischen Beanspruchungen eine innere und äußere Stabilität, ein ausreichendes elastisches und verformungsarmes Verhalten, sowie eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen. Diese Eigenschaften sollen durch die Festlegung von erforderlichen mineralischen Konstruktionsschichten mit definierten Dicken und den Qualitätsparametern wie:

- Verdichtungsgrad D_{Pr}
- Verformungsmodul E_{V2}
- Stoffliche Mindestanforderungen

gewährleistet werden. Als Grundlage für die Bemessung der Tragschichten wurde die VDV-Schrift 600 „Oberbau-Richtlinien und -Zusatzrichtlinien für Bahnen im Geltungsbereich der BOStrab“ /U 21/ herangezogen.

4.3.2 Bewertung des Planums der Straßenbahntrasse und Hinweise für Bodenverbesserungsmaßnahmen

Nach der VDV 600 /U 21/ wird für die Anforderungen an den Verformungsmodul auf die Ril 836 /U 19/ verwiesen. Nach /U 21/ ist für den Unterbau ohne Schutzschicht ein Ev_2 -Wert $\geq 80 \text{ MN/m}^2$ für eine offene Fahrbahn und ein Ev_2 -Wert $\geq 120 \text{ MN/m}^2$ für eine feste Fahrbahn erforderlich. Bei Einsatz einer Schutzschicht zwischen dem Unterbau und dem Gleisschotter ist ein Ev_2 -Wert $\geq 45 \text{ MN/m}^2$ für eine offene Fahrbahn und ein Ev_2 -Wert $\geq 60 \text{ MN/m}^2$ für eine feste Fahrbahn auf der Ok Erdplanum nachzuweisen. Auf der Oberkante der Tragschicht (offene Bauweise) muss gemäß /U 21/ ein Ev_2 -Wert $\geq 80 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen werden. Für die Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) der festen Fahrbahn ist gemäß /U 21/ ein Ev_2 -Wert $\geq 100 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen. In Anlehnung an die Ril 836 /U 19/ beträgt ein frostsicherer Aufbau mind. 50 cm für offene Bauweisen und mind. 65 cm für feste Fahrbahnen.

Die Mächtigkeit des Schotteroberbaus beträgt gemäß /U 19/ mind. 30 cm. Die Mächtigkeit der HGT beträgt gemäß /U 19/ ebenfalls mind. 30 cm.

Für Rasengleise gelten die Anforderungen einer festen Fahrbahn.

Da bei den angetroffenen Böden im Untersuchungsraum die geforderten Ev_2 -Moduln für einen Unterbau ohne Schutzschicht nicht erreicht werden können, ist der Einbau einer Schutzschicht erforderlich.

4.3.2.1 Ludwigshöhstraße bis Quartiersplatz (km 0,0 bis 0,6)

Gemäß /U 3/ verläuft die geplante Straßenbahntrasse als straßenbündiger Bahnkörper. Dieser kann sowohl als eingedeckter Schotteroberbau mit einbetonierten Schwellenfächern, als auch als eingedekte feste Fahrbahn erfolgen.

Eingedeckter Schotteroberbau

In Anlehnung an die RStO 12 /U 24/ beträgt der frostsichere Aufbau eine Mächtigkeit von mind. 50 cm. Unter der 30 cm mächtigen Schottertragschicht ist eine mind. 25 cm mächtige Schutzschicht einzubauen. Als Material für die Schutzschicht ist gemäß /U 21/ das wasserdurchlässige Korngemisch KG 2 zu verwenden.

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 55 cm in den dort vorhandenen anstehenden und aufgefüllten sehr schwach schluffigen bis schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $Ev_2 = 35\text{-}50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

Eingedeckte Feste Fahrbahn

In Anlehnung an die Ril 836 /U 19/ beträgt der frostsichere Aufbau eine Mächtigkeit von mind. 65 cm. Unter der 30 cm mächtigen HGT ist eine mind. 35 cm mächtige Schutzschicht einzubauen. Als Material für die Schutzschicht ist gemäß /U 21/ das wasserdurchlässige Korngemisch KG 2 zu verwenden.

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau von 65 cm in den dort vorhandenen anstehenden und aufgefüllten sehr schwach schluffigen bis schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Das nachzuweisende E_{v2} -Modul von $\geq 60 \text{ MN/m}^2$ kann mit einer tiefenwirksamen Nachverdichtung nicht erreicht werden. Es wird ein zusätzlicher Bodenaustausch von $d = 0,20 \text{ m}$ empfohlen.

4.3.2.2 Promenade (km 0,6 bis 0,9)

Gemäß /U 3/ verläuft die geplante Straßenbahntrasse hier als Grüngleis mit fester Fahrbahn. In Anlehnung an die Ril 836 /U 19/ beträgt der frostsichere Aufbau eine Mächtigkeit von mind. 65 cm. Unter der 30 cm mächtigen HGT ist eine mind. 35 cm mächtige Schutzschicht einzubauen. Als Material für die Schutzschicht ist gemäß /U 21/ das wasserdurchlässige Korngemisch KG 2 zu verwenden.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Das nachzuweisende E_{v2} -Modul von $\geq 60 \text{ MN/m}^2$ kann mit einer tiefenwirksamen Nachverdichtung nicht erreicht werden. Es wird ein zusätzlicher Bodenaustausch von $d = 0,20 \text{ m}$ empfohlen.

Sollte auf den Einbau einer HGT verzichtet werden, so ist diese durch Betonlängsbalken zu ersetzen.

4.3.2.3 Cooperstraße (km 0,9 bis 1,4)

Gemäß /U 3/ verläuft die geplante Straßenbahntrasse in paralleler Trassenführung zur Verkehrsstraße in einem Geländeeinschnitt. Die Straßenbahntrasse kann sowohl als offener Schotteroberbau, als auch als Grüngleis mit fester Fahrbahn erfolgen.

Offener Schotteroberbau

In Anlehnung an die Ril 836 /U 19/ beträgt der frostsichere Aufbau eine Mächtigkeit von mind. 50 cm. Unter der 30 cm mächtigen Schottertragschicht ist eine mind. 25 cm mächtige Schutzschicht einzubauen. Als Material für die Schutzschicht ist gemäß /U 21/ das wasserdurchlässige Korngemisch KG 2 zu verwenden.

Das Planum kommt mit dem Geländeeinschnitt und dem vorgesehenen Aufbau von 55 cm in den dort vorhandenen schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) bzw. dem vollständig verwitterten bis zersetzten Granodiorit (Forstempfindlichkeitsklasse F2 - F3) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine tiefenwirksame Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

Grüngleis mit fester Fahrbahn

In Anlehnung an die Ril 836 /U 19/ beträgt der frostsichere Aufbau eine Mächtigkeit von mind. 65 cm. Unter der 30 cm mächtigen HGT ist eine mind. 35 cm mächtige Schutzschicht einzubauen. Als Material für die Schutzschicht ist gemäß /U 21/ das wasserdurchlässige Korngemisch KG 2 zu verwenden.

Das Planum kommt mit dem Geländeeinschnitt und dem vorgesehenen Aufbau von 65 cm in den dort vorhandenen schwach schluffigen Sanden (Frostempfindlichkeitsklasse F2) bzw. dem vollständig verwitterten bis zersetzten Granodiorit (Forstempfindlichkeitsklasse F2 - F3) zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Das nachzuweisende E_{v2} -Modul von $\geq 60 \text{ MN/m}^2$ kann mit einer tiefenwirksamen Nachverdichtung nicht erreicht werden. Es wird ein zusätzlicher Bodenaustausch von $d = 0,20 \text{ m}$ empfohlen.

4.3.3 Hinweise zum Planumsschutz der Bahntrasse

Bei Schutzschichten unter einer Festen Fahrbahn bzw. offenem Schotterbau ist nach /U 19/ gemäß Anhang A03 eine Mindestdurchlässigkeit von $k_f = 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (nach Zetrümmerungsversuch gemäß DBS 918 062) zu gewährleisten.

Bei Verwendung von Korngemisch KG 2 kann der Nachweis der Filterstabilität gemäß /U 19/ entfallen.

Schutzschichten sind nach /U 21/ auf ausreichend tragfähigem und verdichteten Unterbau einzubauen.

Um möglichst homogene Fahrbahnauflager zu schaffen, soll eine Schutzschicht über die gesamte Fahrbahnbreite und möglichst ohne Unterbrechungen über längere Streckenabschnitte ausgeführt werden. Beginn und Ende einer Schutzschicht sollen durch keilförmige Verziehungen von mind. 10 m Länge ausgeglichen werden.

Um ein Eindringen der Planumsschutzschicht (PSS) in den Untergrund zu verhindern, wird das Verlegen von Geokunststoffen zwischen dem Planum und der PSS empfohlen.

Die Geokunststoffe sollten nach /U 21/ so angeordnet werden, dass sie den Bettungsquerschnitt bzw. den Tragquerschnitt sowie beiderseits einen daran anschließenden Streifen von 50 cm Breite abdecken. Wenn die Wassertransportfähigkeit des Geokunststoffes genutzt wird, soll er bis zur Entwässerungsanlage bzw. bis zur Böschung geführt werden.

Gemäß /U 19/ dürfen zum Einbau in oder unter Schutzschichten nur Geokunststoffe vorgesehen werden, die die Anforderungen gemäß Prüfungsbedingungen EBA (Abschnitt 4.5, 4.6) erfüllen und eine Herstellerbezogene Produktqualifikation (HPQ) haben.

4.4 Gründung der Bahnsteigkanten

4.4.1 Allgemein

Für die Gründung der Bahnsteige gelten weiterhin die Anforderungen bezüglich Tragfähigkeit und Frostsicherheit nach ZTV E-StB 17 /U 22/ und RStO 12 /U 24/ für Straßen und Verkehrsflächen, um eine langfristige Funktionsfähigkeit gewährleisten zu können.

Im Rahmen des Ausbaus der Straßenbahnlinie 3 ist der Neubau von insgesamt 5 Haltestellen bestehend aus 2 Bahnsteigen geplant. Nach Angaben des Planers und dem Lageplan ist geplant die Bahnsteige mit 50 m Nutzlänge in konventioneller Bauweise zu errichten. Der Aufbau der Bahnsteige soll gemäß der RStO 12 /U 24/ erfolgen. Die Bahnsteigkanten sollen als Bordsteine bzw. Sonderbordsteine ausgebildet werden.

Gemäß den Vorschriften der ZTV E-StB 17 /U 22/ muss der Untergrund (Erdplanum) Mindestanforderungen bezüglich Verdichtungsgrad (einfache Proctordichte D_{Pr}) und Verformungsmodul ($E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$) genügen. Das Erdplanum ist mit Gefälle herzustellen und es ist auf eine ausreichende Drainage- / Entwässerungsmöglichkeit zu achten.

Die Bahnsteige können den Anforderungen von Gehwegen der Belastungsklasse BK0,3 gleichgesetzt werden. Bei den angetroffenen Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F2 beträgt die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus 40 cm.

4.4.2 Bewertung des Planums der Bahnsteige und Hinweise für Bodenverbesserungsmaßnahmen

4.4.2.1 Haltestelle Ludwigshöhstraße

Für die Haltestelle Ludwigshöhstraße gelten aufgrund der ähnlichen Höhenlage zum geplanten Rad- bzw. Fußweg (Erdplanum 40 cm u. GOK) die in Abschnitt 4.2.2.12 beschriebenen Angaben.

4.4.2.2 Haltestelle Quartiersplatz

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau bei 0,40 m u. GOK und somit in den dort vorhandenen aufgefüllten schwach schluffigen Sanden zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.4.2.3 Haltestelle Heinrich-Delp-Straße

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau bei 0,40 m u. GOK und somit in den dort vorhandenen aufgefüllten schwach schluffigen Kiesen zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.4.2.4 Haltestelle Marienhöhe (Parallel Cooperstraße)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau bei 0,40 m u. GOK und somit in den dort vorhandenen schwach schluffigen Sanden zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.4.2.5 Haltestelle Marienhöhe (Parallel Heidelberger Straße)

Das Planum kommt mit dem vorgesehenen Aufbau bei 0,40 m u. GOK und somit in den dort vorhandenen schwach schluffigen Sanden zum Liegen.

Im Mittel kann hier mit den vorhandenen Böden von einem vorhandenen Verformungsmodul von $E_{v2} = 35-50 \text{ MN/m}^2$ auf dem vorgesehenen Planumsniveau ausgegangen werden. Somit ist eine Nachverdichtung in diesem Fall ausreichend.

4.5 Gründungsempfehlung Kanalbau

4.5.1 Allgemein

Im Rahmen des Straßenbaus ist ein Ersatzneubau des Kanals in der Cooperstraße geplant. Die geplante Verlegetiefe liegt nach Angaben der Planunterlagen bei ca. 1,75 m unterhalb des Straßenniveaus.

Insgesamt ergibt sich für die Kanalstrecke eine überwiegend homogene Zusammensetzung des Bodens in der Kanalsole.

4.5.2 Bettung der Kanäle gemäß DIN EN 1610

Gemäß DIN EN 1610 ist bei einer Bettung der Rohre innerhalb der Schichten 2.1.2, 2.1.3, 2.2.3, 4.1, 4.2 eine untere Bettungsschicht mit einer Stärke von 0,10 m ausreichend.

Grundsätzlich sollte in den Sanden der Schicht 2 und dem Felsersatz der Schicht 4.1 vor dem Einbau der o. g. Bettungsschicht und des Kanalrohres eine sorgfältige Nachverdichtung der Aushubsole erfolgen.

Als Material der Rohrbettung kann gemäß DIN EN 1610 vorzugsweise Sand, Kies (z.B. Kiessand z.B. 8/16 mm) oder gebrochener Schotter (z.B. Kornabstufung 0/32 mm) eingesetzt werden. Das Größtkorn des Bettungsmaterials sollte gemäß DIN EN 1610 einen Wert von 40 mm nicht überschreiten.

4.5.3 Kanalgrabenverfüllung

Das Kanalrohr sollte gemäß den Vorgaben der ZTV E-StB 17 /U 22/ zur Verfüllung von Leitungsgräben im Straßenbereich bis mindestens 0,30 m über Rohrscheitel mit Sand überdeckt werden, vorzugsweise mit einem Sand der Bodenklassen SW oder SI.

Als Verfüllmaterial für anschließende Grabenverfüllungen empfehlen wir die Verwendung von nicht bindigen oder gemischtkörnigen Böden der Verdichtungsklasse V1 oder V2 gemäß ZTV E-StB 17 /U 22/. Hier sind z.B. Böden der Gruppen GW/SW oder GU/SU nach DIN 18300 zu nennen. Bei der Verdichtung sind die Vorgaben der DIN EN 1610 zu beachten. Beim Einbau ist ein Verdichtungsgrad von 95 % der Proctordichte des Einbaumaterials oder mindestens mitteldichte Lagerung einzuhalten. Das zu verdichtende Material ist in Lagen von ca. 0,30 m einzubauen und gemäß ZTV E-StB 12 /U 23/ zu verdichten.

Die erreichte Verdichtung ist durch dynamische Lastplattendruckversuche nachzuweisen. Da der geplante Kanal innerhalb der Straßenachse verläuft, sollte ein $E_{v,d}$ -Modul $\geq 20 \text{ MN/m}^2$ auf dem frost-sicheren Planum nachgewiesen werden.

Aufgrund der großen Einbindetiefe von 1,75 m u. Straßenniveau ist die Baugrube für den Kanal geböscht anzulegen. Angaben zur Baugrubensicherung werden in Kapitel 4.8 gemacht.

Ein Einrammen von Spundwänden ist aufgrund des Granodiorits im Bereich der Cooperstraße **nicht** möglich (siehe Kapitel 4.6.2 Rammpfähle).

4.6 Gründung der Oberleitungsmasten

Für die Gründung der Oberleitungsmasten wird von Tiefgründungen ausgegangen. Dabei werden im Nachfolgenden sowohl Rammpfahl- als auch Bohrpfahlgründungen in Betracht gezogen. Hierzu werden die Oberleitungsmasten als Bauwerke mit konventionellen Gründungen, ohne ungewöhnliches Risiko und ohne schwierige Baugrund- und Belastungsverhältnisse eingeschätzt. Dementsprechend sind die Oberleitungsmasten in die geotechnische Kategorie GK 2 einzustufen.

4.6.1 Bohrpfähle

Zur Bemessung von Bohrpfählen werden Spitzendruck- und Mantelreibungswerte benötigt. Die Einbindung der Bohrpfähle muss nach EA-Pfähle /U 25/ mindestens 2,5 m in tragfähige Schichten erfolgen. Tragfähige Schichten für den Ansatz eines Pfahlspitzendrucks sind im Sinne der EA-Pfähle rollige Böden mit einem mittleren Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ oder bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undränierten Boden $c_{u,k} \geq 0,1 \text{ MN/m}^2$.

Diese Forderung wird im Untersuchungsbereich von den mitteldicht bis dicht gelagerten, quartären Sanden und Kiesen (Schichten 2.1.2, 2.2.2, 2.1.3 und 2.2.3), sowie von dem frischen bis zersetztem Granodiorit (Schichten 4.1, 4.2 und 4.3) erfüllt.

In der nachfolgenden Tabelle werden die zur Vorbemessung erforderlichen Bohrpfahlkennwerte für die maßgebenden Baugrundsichten in Anlehnung an die EA Pfähle /U 25/ angegeben.

Tabelle 9: Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung

Schicht	Bodenart	LD / Kons. / Verwitterungsgrad	Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²] ¹⁾	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²]
1.1.1	Auffüllung grob bis gemischtkörnig $\leq 15 \%$ Feinkorn	locker	--	0,015
1.1.2		mitteldicht	0,055 / 0,7 / 1,6	0,05
1.1.3		dicht	0,8 / 1,05 / 2,3	0,10
1.2.1	Auffüllung grob bis gemischtkörnig $\geq 15 \%$ Feinkorn	locker	0,055 / 0,7 / 1,6	0,05
2.1.1	Quartäre Sande und Kiese $\leq 15 \%$ Feinkorn	locker	--	0,03
2.1.2		mitteldicht	0,8 / 1,05 / 2,3	0,07
2.1.3		dicht	1,2 / 1,5 / 3,5	0,12

2.2.2	Quartäre Sande und Kiese ≥ 15 % Feinkorn	mitteldicht	0,055 / 0,7 / 1,6	0,55
2.2.3		dicht	0,8 / 1,05 / 2,3	0,1
3.1	Quartäre Tone und Schluffe	weich	--	0,025
4.1	Fels, Granodiorit	vollständig verwittert bis zersetzt	1,2 / 1,5 / 3,5	0,12
4.2		mäßig bis stark verwittert	5,0 / 10,0	0,5
4.3		frisch bis schwach verwittert	10,0 / 20,0	1,0

1) in Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung nach EA-Pfähle (s/D_s bzw. s/D_b von 0,02 / 0,03 / 0,1) bzw. der einaxialen Druckfestigkeit

Die angegebenen Werte gelten für Bohrpfähle ($D = 0,30 - 3,0$ m) mit einer Einbindetiefe in den Tragfähigen Baugrund (Lockergestein) von mindestens 2,5 m. Die Mächtigkeit der tragfähigen Böden unterhalb der Pfahlfußfläche darf ein Maß von 3 x Pfahldurchmesser (mind. jedoch 1,5 m) nicht unterschreiten. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass in diesem Bereich $q_c \geq 10,0$ MN/m² bzw. $C_{u,k} \geq 0,10$ MN/m² nachgewiesen ist. Wenn die genannten geometrischen Werte unterschritten werden, ist ein Nachweis gegen Durchstanzen zu führen.

Außerdem ist dann nachzuweisen, dass der darunter liegende Boden das Setzungsverhalten nicht maßgeblich beeinträchtigt. Sofern dies nicht gewährleistet ist, empfehlen wir, sicherheitshalber keinen Spitzendruck anzusetzen.

Bei Einbindung der Bohrpfähle in den Fels, ist nach EA-Pfähle /U 25/ eine Mindesteinbindung von 0,5 m bei einer einaxialen Druckfestigkeit von $q_{u,k} \geq 5$ MN/m ausreichend.

Wir empfehlen, in Abhängigkeit der statischen Nachweise, die Bohrpfähle im Bereich der Heidelberger Straße und im westlichen Teil der Cooperstraße in den dicht gelagerten, quartären Sanden (Schicht 2.1.3 und 2.2.3) abzusetzen. Im restlichen Erkundungsgebiet empfehlen wir die Bohrpfähle in dem mäßig bis stark verwittertem bzw. frisch bis schwach verwittertem Granodiorit (Schicht 4.2 und 4.3) abzusetzen. Wir empfehlen im Vorfeld Pfahlprobelastungen durchzuführen.

Innerhalb des Granodiorits ist mit erhöhtem Materialverschleiß aufgrund der hohen Abrasivität des Felses zu rechnen.

Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle unter Beachtung der Hinweise und Anforderungen der EA-Pfähle /U 25/.

4.6.2 Ramppfähle

Die Hinweise zur Rammfähigkeit der einzelnen Schichten können dem Abschnitt 3.4 entnommen werden. Das Einbringen der Ramppfähle sollte erschütterungsarm erfolgen, um Schäden an vorhandenen Nachbarbebauungen zu vermeiden.

Durch die Rammarbeiten ist mit Verdichtungssetzungen in der locker gelagerten Auffüllung zu rechnen. Beim Rütteln oder Einvibrieren der Ramppfähle sind zusätzlich Geräte zur Hindernisbergung bzw. Beseitigung vorzuhalten.

Um die auftretende Vibrationseinwirkung in den Baugrund sowie die Lärmbelästigung zu reduzieren, wäre die Möglichkeit des Vorbohrens gegeben.

Diese Bohrung sollte dann möglichst mindestens 1,0 m über dem Pfahlfuß enden, um eine ausreichende Tragfähigkeit des Pfahlfußes zu ermöglichen. Bei der Anwendung des Vorbohrens bzw. bei Einsatz von Spülhilfen sind zur Bemessung die in Tabelle 11 angegebenen Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen.

Die Einbindung der Rammträger sollte nach EA Pfähle /U 25/ mindestens 2,5 m in tragfähige Schichten erfolgen. Gemäß /U 25/ gelten rollige Böden mit einem Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ und bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undränierten Boden $c_{u,k} \geq 0,1 \text{ MN/m}^2$ als ausreichend tragfähig und somit relevant für den Ansatz eines Pfahlsitzendrucks.

Somit müssen die Träger mindestens 2,5 m in die quartären Sande mit einer mindestens mitteldichten Lagerung (Schicht 2.1.2, 2.2.2, 2.1.3 und 2.2.3) bzw. den zersetzten bis vollständig verwitterten Granodiorit (Schicht 4.1,) einbinden.

Bei angewitterten oder unverwittertem Fels (Schicht 4.2 und 4.3) ist in der Regel kein Einrammen möglich. Das Erreichen der Felsoberfläche ist durch ein übergangslos auftretendes Maximum an Rammwiderstand belegt. Unter diese Randbedingungen kann der Lastabtrag nur über den Pfahlfußwiderstand erfolgen.

In der nachfolgenden Tabelle werden die zur Vorbemessung erforderlichen Kennwerte für Rammfähle in Anlehnung an die EA-Pfähle angegeben. Die in Abhängigkeit vom Pfahltyp anzusetzenden Modelfaktoren nach EA-Pfähle /U 25/ η_b und η_s für Pfahlsitzendruck und Pfahlmantelreibung sind dabei **nicht** berücksichtigt.

Tabelle 10: Pfahlsitzendruck und Pfahlmantelreibung für Ramppfähle nach EA-Pfähle /U 25/ ohne Berücksichtigung der Modellfaktoren

Schicht	Bodenart	LD / Kons. / Verwitterungsgrad	Pfahlsitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²] ¹⁾	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²]
1.1.1	Auffüllung grob bis gemischtkörnig ≤ 15 % Feinkorn	locker	--	0,015
1.1.2		mitteldicht	2,20 / 4,20	0,03
1.1.3		dicht	3,00 / 5,00	0,05
1.2.1	Auffüllung grob bis gemischtkörnig ≥ 15 % Feinkorn	locker	--	0,015
2.1.1	Quartäre Sande und Kiese ≤ 15 % Feinkorn	locker	--	0,015
2.1.2		mitteldicht	2,00 / 4,00	0,035
2.1.3		dicht	3,00 / 5,00	0,05
2.2.2	Quartäre Sande und Kiese ≥ 15 % Feinkorn	mitteldicht	2,20 / 4,20	0,04
2.2.3		dicht	4,00 / 7,60	0,065
3.1	Quartäre Tone und Schluffe	weich	--	0,01
4.1	Fels, Granodiorit	vollständig verwittert bis zersetzt	3,00 / 5,00	0,05
4.2		mäßig bis stark verwittert	-- ³⁾	-- ³⁾
4.3		frisch bis schwach verwittert	-- ³⁾	-- ³⁾

1) in Abhängigkeit der bezogenen Pfahlkopfsatzung nach EA-Pfähle /U 25/

2) Die Modellfaktoren η_b und η_s für Spitzen- und Mantelwiderstand sind in Abhängigkeit vom Pfahltyp entsprechend EA-Pfähle /U 25/ zu berücksichtigen.

3) Gemäß /U 25/ ist bei angewittertem oder unverwittertem Fels kein Einrammen möglich.

Die angegebenen Werte gelten für:

- Vorgefertigte Stahlbeton- und Spannbetonpfähle $D_{eq} = 0,25$ bis $0,5$ m,
- Geschlossene Stahlrohrpfähle mit einem Durchmesser bis 800 mm,
- offene Stahlrohr- und Hohlkastenpfähle mit einem Durchmesser von 300 mm bis 1600 mm,
- Stahlträgerprofilpfähle mit Flanschbreiten von 300 bis 500 mm und Profilhöhen von 290 bis 100 mm und
- Kastenpfähle.

Wenn der Spitzendruck angesetzt wird, darf die Mächtigkeit der tragfähigen Böden unterhalb der Pfahlfußfläche bei $d = 0,5 \text{ m}$ ein Maß von $2,5 \text{ m}$ ($5 \times$ Pfahldurchmesser) nicht unterschreiten. Sind die vorgenannten Randbedingungen nicht eingehalten, ist ein Nachweis gegen Durchstanzen sowie des Setzungsverhaltens des darunterliegenden Bodens zu führen. Ansonsten empfehlen wir sicherheitshalber keinen Spitzendruck anzusetzen.

- Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle und unter Beachtung der ergänzenden Forderungen und Hinweise der EA-Pfähle /U 25/. Für die Gewährleistung einer einwandfreien Pfropfenbildung wird eine Mindestpfahllänge von $5,0 \text{ m}$ empfohlen.
- Sofern Rammhilfen beim Einbringen der Rammhilfen zum Einsatz kommen, sind die in Tabelle 11 angegebenen Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen.

Tabelle 11: Abminderungsfaktoren bei Einsatz von Rammhilfen

	Vorbohren	Spülhilfe
Mantelreibung	0,5 bei $d - d_B \leq 50 \text{ mm}$	0,9
	0,6 bei $d - d_B > 50 \text{ mm}$	
	1,0 bei $d - d_B > 150 \text{ mm}$	
Spitzendruck	1,0 ¹⁾	1,0 ¹⁾

d ... Pfahldurchmesser bzw. -breite; d_B ... Durchmesser der Bohrung,

1) gilt nur, wenn Rammhilfe $1,0 \text{ m}$ oberhalb der Pfahlspitze endet

Da der Übergang zum frischen bis schwach verwittertem und damit nicht rambaren Fels im Bereich der Ludwigshöhstraße, Cambrai-Fritsch-Kaserne und Cooperstraße (mit Ausnahme des westlichen Bereichs) aufgrund des starken Bohrwiderstandes der Kleinerkundungen nicht bestimmt werden konnte wird in diesem Bereich der Einsatz von Bohrpfählen empfohlen.

Im Bereich der Heidelberger Straße und im westlichen Teil der Cooperstraße können Ramppfähle eingesetzt werden, jedoch sind hier aufgrund der dichten Lagerung der Sande Geräte zum Vorbohren vorzuhalten.

4.6.3 Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse

Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse dürfen nur für Pfähle mit einem Pfahlschaftdurchmesser $D_s \geq 0,30 \text{ m}$ bzw. einer Kantenlänge $a_s \geq 0,30 \text{ m}$ angesetzt werden. Der charakteristische Querwiderstand darf dabei durch charakteristische Werte des horizontalen Bettungsmoduls beschrieben werden.

Sofern der Bettungsmodul nur der Ermittlung der Schnittgrößen und nicht der Ermittlung der Verformung der Pfahlgründung dient, darf er nachfolgender Gleichung abgeschätzt werden:

$$k_{s,k} = E_{s,k} / D_s$$

mit $E_{s,k}$... charakteristischer Wert des Steifemoduls
und D_s ... Pfahldurchmesser

Die Anwendung dieser Formel gilt für Pfahldurchmesser $D_s \leq 1,0$ m und einem Höchstwert der Horizontalverschiebung von 2 cm bzw. $0,03 \times D_s$, wobei der kleinere Wert maßgebend ist. Für größere Durchmesser ist $D = 1,0$ m anzusetzen. Bei einem Pfahldurchmesser von 0,9 m ergibt sich somit eine maximale Horizontalverschiebung von $2 \text{ cm} < 0,03 \times 0,9 \text{ m} = 2,7 \text{ cm}$. Bei größeren Verformungen sind die Bettungsmoduln abzumindern. Bei der Ermittlung des horizontalen Bettungsmoduls ist ebenfalls eine Gruppenwirkung der Pfähle zu berücksichtigen. Bei einem Pfahlabstand, der dem zweifachen Pfahldurchmesser entspricht, ist der Bettungsmodul mit dem Faktor 0,75 abzumindern.

Gemäß /U 27/ ist für den Bettungsverlauf der Pfahlgründung davon auszugehen, dass ab Oberkante Erdreich der Steifemodul mit 0 beginnend über eine Tiefe von 3,0 m linear auf seinen Maximalwert ansteigt und unterhalb einer Tiefe von 3,0 m, den ggf. schichtbezogenen Maximalwert beibehaltend, konstant verläuft.

Bei Oberleitungsmasten ist für den Bettungsverlauf sowohl die Lage des Pfahls zur Böschungskante als auch die Neigung der Böschung zu beachten. Durch den geringeren mobilisierbaren Erdwiderstand kann der Punkt, ab dem ein konstanter Bettungsmodul angesetzt werden kann, tiefer als 3,0 m liegen.

Während in rolligen grob- bis gemischtkörnigen Böden (d.h. Sande, Kiese) im obersten Pfahlbereich i. A. keine Bettungsausfälle zu erwarten sind, ist beim Vorhandensein von bindigen Böden mit einem Bettungsausfall bis zu einer Tiefe von ca. $1,0 \cdot D_s$ zu rechnen. Dementsprechend ist für solche Bereiche keine Bettung anzusetzen.

Die statischen und dynamischen Steifemoduln für die jeweiligen Böden sind der Tabelle 6 des vorliegenden Berichts zu entnehmen. Die dynamischen Steifemoduln können dabei für das Berechnungsverfahren für Oberleitungsmasten gemäß /U 27/ angesetzt werden.

Für eine Berechnung nach dem exakten Verfahren müssten diese Moduln genauer bestimmt werden (z. B. dynamische Messungen).

4.7 Gründung Stützmauer im Bereich der Cooperstraße

4.7.1 Allgemein

Im Bereich des Kreisverkehrs in der Cooperstraße und westlich davon ist ein Einschnitt mit Böschungen geplant. Sollte im Laufe der weiteren Planung auf Böschungen verzichtet werden, ist ein Abfangen des Hangs mittels Stützmauern vorgesehen.

Die Stützmauern können sowohl auf Flachgründungen, als auch mit Tiefgründungen in Form von Bohr- oder Rammpfählen gegründet werden. Die Kennwerte für Bohr- und Rammpfähle sind dem Abschnitt 4.6.1 und 4.6.2 zu entnehmen. Für Winkelstützwände wird von einer Breite von 1,0 m für die einzelnen Stützwandelemente ausgegangen. Zudem wird von einer Fußbreite von ca. 2,7 m und einer ca. 1,0 m mächtigen Sohlplatte ausgegangen.

4.7.2 Flachgründung

Bei einer Flachgründung müssen die Fundamente von ihren Abmessungen so beschaffen sein, dass:

- die Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 gewährleistet ist und
- keine bauwerksschädlichen Setzungen bzw. Setzungsunterschiede eintreten.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Frosteinwirkungszone 1. Wir empfehlen eine frostfreie Gründung von mindestens 0,8 m unter GOK.

Im Gründungsbereich der Stützwand ist zersetzter Granodiorit erkundet worden. Dieser geht mit zunehmender Tiefe in kompakteren, unverwitterten Fels über.

Zur Bemessung des Sohldruckwiderstandes wurden in Anlage 6 bei Annahme der Sicherheiten nach DIN 4017:2006 und EC 7, Lastfall BS-P (ständige Bemessungssituation) Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen durchgeführt. Für die Grundbruchberechnungen wurde ein Kräfteverhältnis $H/V = 0,1$ angenommen. Der maximale Sohldruckwiderstand wurde auf 400 kN/m^2 begrenzt.

Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

Fundamentlänge/-breite:	$a/b = 2,7 \text{ m} / 1,0 - 2,0 \text{ m}$
Geländehöhe:	KRB 40 (~ 164,62 m NHN) & KRB 41 (~154,85 m NHN)
Mindesteinbindetiefe:	$t \geq 0,8 \text{ m}$ (frostfrei)
Baugrundprofile:	KRB 40, KRB 41
Grundwasser:	nicht zu erwarten
Aushubentlastung:	~ 30 kN/m^2

Die Ergebnisse der aus den Gründungsberechnungen ermittelten Bemessungswerte des Sohldruckwiderstandes sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Ergebnisse der Grundbruch- und Setzungsberechnungen

Stützwandelementbreite [m]	Sohldruckwiderstand $\sigma_{R,d}$ für Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01 [kN/m ²]			charakteristische Spannung $\sigma_{E,k}$ für Setzungen bis 2,0 cm [kN/m ²]		
	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0
Anlage 6.2, Blatt 1	KRB 40					
Sohldruckwiderstand [kN/m ²]	400	400	400	280,7	280,7	280,7
Setzung [cm]	0,22	0,27	0,30	0,22	0,27	0,30
Anlage 6.2, Blatt 2	KRB 41					
Sohldruckwiderstand [kN/m ²]	400	400	400	280,7	280,7	280,7
Setzung [cm]	0,28	0,33	0,37	0,28	0,33	0,37

Aufgrund der sehr guten Tragfähigkeit des Felses wurde die zulässige Sohlspannung auf $\sigma_{R,d} = 400 \text{ kN/m}^2$ begrenzt. Die zulässige Sohlspannung beträgt in diesem Fall $\sigma_{E,k} = 280 \text{ kN/m}^2$, kann aber bei Bedarf deutlich erhöht werden.

Im Bereich der KRB 40 sind in Abhängigkeit der Fundamentbreite Setzungen zwischen 0,22 cm und 0,30 cm zu erwarten. Im Bereich der KRB 41 liegen die Setzungsbeträge zwischen 0,28 cm und 0,37 cm.

Folgerung:

Eine Gründung der Stützwände ist sowohl über Flachgründungen, als auch über Tiefgründungen möglich. Aufgrund der hohen Abrasivität des Felses können bei den anfallenden Bohrarbeiten bei einer Tiefgründung hoher Verschleiß und zusätzliche Kosten entstehen. Daher wird eine Flachgründung der Stützwände empfohlen.

4.8 Baugrubensicherung

Nach DIN 4124 dürfen Baugruben bis 1,25 m Tiefe senkrecht hergestellt werden, sofern die in dieser Norm angegebenen Hinweise und Forderungen erfüllt werden. Ausgehend von den Erkundungsergebnissen können nach DIN 4124 für Böschungen bis 5,0 m Höhe ohne besonderen Nachweis folgende Böschungswinkel im Lockergesteinsbereich über Grundwasser entsprechend DIN 4124 in Ansatz gebracht werden:

- Schicht 1, 2, 3, 4.1 $\beta \leq 45^\circ$
- Schicht 4.2, 4.3 $\beta \leq 80^\circ$

Hinsichtlich des Befahrens der Böschungsschulter sind die Vorgaben der DIN 4124, Abschnitt 4.2.5 zu beachten (Einhalten eines lastfreien Streifens von mindestens 1 m bei Fahrzeugen bis 12 t Gesamtgewicht, lastfreier Streifen von mindestens 2 m bei Fahrzeugen von 12 to bis 40 to Gesamtgewicht).

Bei belasteten Böschungen und/oder Grundwasser oberhalb der Sohle ist die Standsicherheit nachzuweisen. Für die Herstellung der Baugruben sind die weitergehenden Forderungen, Empfehlungen und Hinweise der DIN 4124 zu beachten.

Sofern Verbauarbeiten vorgesehen sind, können die Rechenwerte zur Verbauberechnung Abschnitt 3.3, Tabelle 6 entnommen werden. Angaben zur Rammfähigkeit des Untergrundes enthält Abschnitt 3.4. Die Lastabtragung von Stahlträgerprofilen bzw. Spundwänden erfolgt über Spitzendruck und Mantelreibung. Die horizontalen Bettungsziffern für durchgehende Verbauwände lassen sich in Anlehnung an die EAB 2021 /U 26/, Kapitel 4.5 (EB 102) näherungsweise ableiten zu:

$$k_{sh,k} = E_{sh,k}/t_B \quad (\text{für Ortbetonwände und Spundwände})$$

$$k_{sh,k} = E_{sh,k}/b \quad (\text{für Bohlträger})$$

mit: $E_{sh,k}$ - horizontale Steifemodul

t_B - von der Bettung erfasste Einbindetiefe

b - Flanschbreite bei geramten Trägern, bei Trägern, die in vorgebohrte Löcher eingestellt werden, tritt der Bohrlochdurchmesser D an die Stelle von b

Der horizontale Steifemodul $E_{s,h}$ kann aus dem vertikalen Modul E_s (siehe Tabelle 6) mit dem Faktor $0,5 \leq f \leq 1,0$ (EAB 2012, Seite 68) umgerechnet werden.

4.9 Wasserhaltung

Mit den Bohrungen wurde zum Zeitpunkt der Erkundungsarbeiten kein Grundwasser angetroffen. Der vorläufige Bemessungswasserstand wurde auf 110,0 m NHN festgesetzt. Bei den Trassenarbeiten ist keine Wasserhaltung erforderlich, jedoch ist anfallendes Niederschlagswasser über eine Tagwasserhaltung aus den Baugruben (Einschnitten) abzuleiten. Es wird zudem empfohlen die Böschungen zum Schutz vor Erosion durch Niederschläge während der Bauphase mittels einer Folie abzudecken. Bei einer Pfahlgründung können die Pfähle ohne vorauseilender Verrohrung hergestellt werden.

4.10 Einfluss der Baumaßnahme auf angrenzende Bebauungen / Gleisanlagen

Bei eventuell notwendigen Rammarbeiten ist eine kontinuierliche Beobachtung und Überwachung von Nachbarbebauungen vorzusehen. Die Rammsysteme sind so zu wählen, dass möglichst geringe Erschütterungen auf die angrenzenden Bebauungen wirken.

Bei den Einwirkungen auf bauliche Anlagen wird zwischen kurzzeitigen Erschütterungen und Dauerschütterungen unterschieden.

Bezüglich des Eintragens von Vibrationen wird auf die DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ verwiesen. Im Teil 3 der v. g. DIN wird unter anderem auch auf die erforderlichen Mindestabstände zwischen Erschütterungsquelle und baulichen Anlagen eingegangen.

Im Vorfeld der Baumaßnahme sollte eine Beweissicherung der Nachbarbebauung durchgeführt werden. Die Leitungen Dritter sind mit dem Betreiber in einer Beweissicherung zu markieren und einzumessen (Gas, Fernwärme, Strom, Telefon usw.). Unter Umständen ist eine Umverlegung erforderlich.

4.11 Bautechnische Wiederverwendbarkeit von Aushubmassen

Die beim Aushub anfallenden Böden bestehen überwiegend aus grob- und gemischtkörnigen Auffüllungen (Schicht 1.1 und 1.2), quartären Ablagerungen (Schicht 2) und Granodiorit (Schicht 4).

Die Böden mit einem Feinkornanteil > 15 % (Schicht 1.1, 2.1 und teilweise 4.1) können als Auffüllmaterial im Kanalbereich wiederverwendet werden.

Die Böden der Schichten 1.2 und 2.2 können aufgrund des hohen Feinkornanteils nur in Bereichen ohne besondere Anforderungen an Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostempfindlichkeit usw. als Auffüllmaterial o. ä. eingesetzt werden. Fremdbestandteile wie Wurzeln, Bauschutt, Schlacke o. ä. sind vor einer Wiederverwendung der Böden auszusondern.

Ausgebaute Oberböden sind für eine bautechnische Wiederverwendung nicht geeignet und nur zur Rekultivierung zu verwenden.

Die v. g. Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die bautechnische Wiederverwendbarkeit von Aushubböden. Vor einer Wiederverwendung sind die Ergebnisse von abfalltechnischen Untersuchungen unbedingt zu berücksichtigen. Die durchgeführten umweltanalytischen Laborergebnisse werden in einem separaten abfalltechnischen Bericht dargestellt.

5 Abfalltechnische Untersuchungen

5.1 Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen

Für den Wiedereinbau und die Entsorgung sind gemäß LAGA 20 /U 33/ chemische Untersuchungen erforderlich. Damit sind durch die Bestimmung der Zuordnungswerte (Z 0 bis Z 2) zwischen

- uneingeschränktem Einbau (Z 0),
- eingeschränkt offenem Einbau (Z 1) und
- eingeschränkt offenem Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen (Z 2)

Wiederverwendungsmöglichkeiten aus umweltrelevanter Sicht vorgegeben. Bei Überschreitung des Z 2-Wertes sind Einbau und Ablagerung in Deponien nach weiteren Untersuchungen erforderlich.

Die Entnahme, die Analyse und Bewertung der Proben erfolgte auf der Grundlage der Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) /U 33/ und dem Merkblatt „Entsorgung von Bauabfällen“, Hessen /U 34/, sowie gemäß der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis - Abfallverzeichnis Verordnung AVV /U 32/ für das Bodenmaterial.

Die Analyse und Bewertung des Betons erfolgte auf Grundlage der Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für „Bauschutt“ /U 36/. Der Ausbauasphalt wurde auf Grundlage der Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau (RuVA StB-01) /U 35/ untersucht.

Die Untersuchungswerte der einzelnen Proben sind aus der beiliegenden Ergebnisdarstellung bzw. den Prüfberichten ersichtlich (Anlagen 5.1 bis 5.6).

5.2 Probenahme und Untersuchungsumfang

Bei der abfalltechnischen Probenahme handelt es sich um eine in-situ Beprobung der anfallenden Stoffe. Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse, Ermittlung der Lagerungsdichte und Entnahme von gestörten und ungestörten Bodenproben wurden Kleinrammbohrungen (KRB), schwere Rammsondierungen (DPH) und eine Kernbohrung (BK) vorgesehen. Die Baugrunderkundungen wurden durch die Firma deponata GmbH zwischen Februar und März 2021 durchgeführt.

Aus den zuvor beschriebenen Erkundungen wurden Bodeneinzelproben entnommen und durch Mitarbeiter der DB Engineering & Consulting GmbH zu Mischproben zusammengefasst.

Für die orientierende abfalltechnische Bewertung wurden im Bereich der geplanten Streckenführung einzelne Abschnitte zusammengefasst und als eine Mischprobe untersucht. Aufgrund der zu erwartenden Bodeneingriffstiefe wurde bei den anstehenden Böden eine Entnahmetiefe bis max. 5,0 m unter GOK beprobt.

Die entnommenen und untersuchten Proben sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 13: Zusammenstellung der untersuchten Mischproben (Boden, Beton, Asphalt)

Probe	Bereich	Aufschluss	Art	Untersuchungsumfang
MP 1a	Wendeschleife Ludwigshöhstraße	KRB 1, 2, 3, 44, 45	Auffüllung (Boden)	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 1b	Wendeschleife Ludwigshöhstraße	KRB 1, 2, 3, 44, 45	Boden	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 2a	Ludwigshöhstraße	KRB 5, 6, 7, 32	Auffüllung (Boden)	Merkblatt Hessen / LAGA Boden

Probe	Bereich	Aufschluss	Art	Untersuchungs- umfang
MP 2b	Ludwigshöhstraße	KRB 5, 6, 7, 32	Boden	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 3a	Heinrich-Delp-Straße	KRB 8, 9, 33, 34	Auffüllung (Boden)	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 3b	Heinrich-Delp-Straße	KRB 8, 9, 33, 34	Boden	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 4a	Promenade	KRB 10, 11, 12, 13, 14	Auffüllung (Boden)	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 4b	Promenade	KRB 10, 11, 12, 13, 14	Boden	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 5a	Kreisverkehr & Cooperstraße Ost	KRB 16, 17, 18, 37, 38, 39, 40	Auffüllung (Boden)	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 5b	Kreisverkehr & Cooperstraße Ost	KRB 16, 17, 18, 37, 38, 39, 40	Boden	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 6a	Cooperstraße West	KRB 19, 20, 21, 22, 23, 24, 36, 41	Auffüllung (Boden)	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 6b	Cooperstraße West	KRB 19, 20, 21, 22, 23, 24, 36, 41	Boden	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 7a	Heidelberger Straße	KRB 28, 30, 31, 35, 42	Auffüllung (Boden)	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 7b	Heidelberger Straße	KRB 28, 30, 31, 35, 42	Boden	Merkblatt Hessen / LAGA Boden
MP 8	Cooperstraße Ost	KRB 39	Beton	LAGA Bauschutt
MP 9	Cooperstraße West	KRB 16, 17	Beton	LAGA Bauschutt
MP 10	Cooperstraße West	KRB 41	Beton	LAGA Bauschutt
MP 11	Cooperstraße West	KRB 40	Beton	LAGA Bauschutt
MP 12	Cooperstraße West	KRB 22, 24	Beton	LAGA Bauschutt
MP 13	Wendeschleife Lud- wigshöhstraße	KRB 45	Asphalt	RuVA-StB 01
MP 14	Wendeschleife Ludwigshöhstraße	KRB 44	Asphalt	RuVA-StB 01
MP 15	Ludwigshöhstraße	KRB 32	Asphalt	RuVA-StB 01
MP 16	Wendeschleife Ludwigshöhstraße	KRB 4	Asphalt	RuVA-StB 01
MP 17	Ludwigshöhstraße	KRB 7	Asphalt	RuVA-StB 01
MP 18	Ludwigshöhstraße	KRB 6	Asphalt	RuVA-StB 01
MP 19	Ludwigshöhstraße	KRB 33	Asphalt	RuVA-StB 01
MP 20	Cooperstraße Ost	KRB 38	Asphalt	RuVA-StB 01
MP 21	Cooperstraße Ost	KRB 39	Asphalt	RuVA-StB 01

Probe	Bereich	Aufschluss	Art	Untersuchungs- umfang
MP 22	Cooperstraße Ost	KRB 41	Asphalt	RuVA-StB 01

Die Lage der Aufschluss- und Entnahmepunkte kann Anlage 2.1 entnommen werden. Die Boden-, Beton- und Asphaltproben wurden vom Labor Dr. Graner & Partner GmbH /U 8/ analysiert. Die Prüfberichte können den Anlagen 5.1, 5.3 und 5.5 entnommen werden.

5.3 Untersuchungsergebnisse

5.3.1 Boden

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Schadstoffbelastung der analysierten Bodenmischproben, sowie deren Einstufung nach /U 33/.

Tabelle 14: Analyseergebnisse der untersuchten Bodenmischproben

Probe	Probennummer	Bodenart	Zuordnungs- wert	Maßgebender Parameter	AVV-Nr. ¹⁾
MP 1a	2116024-001	Sand	>Z2	PAK, Benzo(a)pyren	17 05 04
MP 1b	2116025-001	Sand	Z0	--	17 05 04
MP 2a	2116734-001	Sand	>Z2	PAK, Benzo(a)pyren	17 05 04
MP 2b	2116735-001	Sand	Z0	--	17 05 04
MP 3a	2116026-001	Sand	Z1.2, (Z2)	Arsen, (TOC)	17 05 04
MP 3b	2116027-001	Sand	Z2	Thallium	17 05 04
MP 4a	2116028-001	Sand	Z0*	Zink	17 05 04
MP 4b	2116029-001	Sand	Z0*	Zink	17 05 04
MP 5a	2116020-001	Sand	Z0*	Kupfer, Nickel, Zink	17 05 04
MP 5b	2116021-001	Sand	Z0	--	17 05 04
MP 6a	2116736-001	Sand	Z0*, (Z1.2)	Nickel, (pH-wert)	17 05 04
MP 6b	2116737-001	Sand	Z0	--	17 05 04
MP 7a	2116022-001	Sand	Z0*, (Z1)	Zink, (TOC)	17 05 04
MP 7b	2116023-001	Sand	Z0	--	17 05 04

1) AVV-Nr gemäß /U 32/

Aufgrund erhöhter PAK- und Benzo(a)pyren-Konzentrationen sind die aufgefüllten Böden der Mischproben MP 1a und MP 2a der Einbauklasse >Z2 zuzuordnen. Die aufgefüllten Böden der Mischprobe MP 3a sind aufgrund erhöhter Arsen-Werte der Zuordnungsklasse Z1.2 zuzuordnen.

Böden, die den Zuordnungswert Z2 überschreiten, sind auf zusätzliche Parameter nach der Deponieverordnung (DepV) /U 37/ zu analysieren und in Deponieklassen (DK 0, DK I, DK II) einzustufen.

Orientierend können die Auffüllungen der MP 1a und MP 2a aufgrund ihres PAK- und Benzo(a)pyren-Gehaltes der Deponieklasse DK I zugeordnet werden.

Mit den weiteren untersuchten Mischproben wurden keine Auffälligkeiten gemessen (Zuordnungswert Z0/Z0*). Bodenmaterial mit einem Zuordnungswert Z0 kann uneingeschränkt wieder eingebaut werden. Eine Überschreitung der Parameter TOC und pH-Wert kann vernachlässigt werden und spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Die Analyseergebnisse und Auswertung der chemischen Untersuchungen sind im Einzelnen den Anlagen 5.1 und 5.2 zu entnehmen.

5.3.2 Beton

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Schadstoffbelastung der analysierten Betonmischproben, sowie deren Einstufung nach /U 36/.

Tabelle 15: Analyseergebnisse der untersuchten Betonmischproben

Probe	Probennummer	Art	Zuordnungswert	Maßgebender Parameter	AVV-Nr. ¹⁾
MP 8	2116733-001	Beton	Z1.1	PAK, Leitfähigkeit	17 01 01
MP 9	2116733-002	Beton	Z1.1	Leitfähigkeit	17 01 01
MP 10	2116733-003	Beton	Z1.1	Leitfähigkeit	17 01 01
MP 11	2116733-004	Beton	Z1.1	Leitfähigkeit	17 01 01
MP 12	2116733-005	Beton	Z1.2	Leitfähigkeit	17 01 01

1) AVV-Nr gemäß /U 32/

Alle Betonmischproben sind aufgrund erhöhter Leitfähigkeitswerte der Einbauklasse Z1.1 zuzuordnen. Die Mischprobe MP 8 weist zudem einen erhöhten PAK-Wert auf.

5.3.3 Asphalt

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Schadstoffbelastung der analysierten Asphaltmischproben, sowie deren Einstufung nach /U 33/ und /U 35/.

Tabelle 16: Analyseergebnisse der untersuchten Asphaltmischproben

Probe	Probennummer	Art	Zuordnungswert	Verwertungs-klasse	Maßgebender Parameter	AVV-Nr. ¹⁾
MP 13	2116770-001	Asphalt	>Z2	B / C	PAK	17 03 01
MP 14	2116770-002	Asphalt	>Z2	B / C	PAK	17 03 01
MP 15	2116770-003	Asphalt	>Z2	B / C	PAK	17 03 01

Probe	Probennummer	Art	Zuordnungswert	Verwertungs-klasse	Maßgebender Parameter	AVV-Nr. ¹⁾
MP 16	2116770-004	Asphalt	>Z2	B / C	PAK	17 03 01
MP 17	2116770-005	Asphalt	>Z2	B / C	PAK	17 03 01
MP 18	2116769-001	Asphalt	>Z2	B / C	PAK	17 03 01
MP 19	2116769-002	Asphalt	>Z2	B / C	PAK	17 03 01
MP 20	2116769-003	Asphalt	Z2	B / C	PAK	17 03 01
MP 21	2116769-004	Asphalt	Z2	B / C	PAK	17 03 01
MP 22	2116769-005	Asphalt	Z1.2	A	PAK	17 03 02

1) AVV-Nr gemäß /U 32/

Die Mischproben MP 13 bis MP 21 sind als teer-/pechhaltige Straßenausbaustoffe und Bitumengemische einzustufen. Die Mischproben MP 13 bis MP 19 überschreiten dabei den Grenzwert > 400 mg/kg PAK und sind somit als gefährlicher Abfall einzustufen. Eine Wiederverwertung ist nur im Kaltmischverfahren möglich.

Die Mischprobe MP 2 gilt aufgrund der Unterschreitung des Grenzwertes <25 mg/kg PAK als teerfrei und kann somit im Heißmischverfahren wiederverwendet werden.

5.4 Verwertung / Entsorgung

Die Verwertung / Entsorgung des Bodens, Betons und Asphalts richtet sich nach den für die Einbauklassen angegebenen Zuordnungswerten gemäß hessischem Merkblatt „Entsorgung von Bauabfällen“ /U 34/.

Boden und Beton

Auffüllungen und Böden mit einem Zuordnungswert von **Z 0*** entsprechen der Einbauklasse „uneingeschränkter Einbau“ und können unter Berücksichtigung bestimmter Nutzungseinschränkungen nach LAGA wieder eingebaut werden.

Auffüllungen und Böden mit einem Zuordnungswert von **Z 1** entsprechen der Einbauklasse „eingeschränkt offener Einbau“ und können unter Berücksichtigung der Nutzungseinschränkungen nach LAGA wieder eingebaut werden.

Auffüllungen und Böden mit einem Zuordnungswert von **Z 2** entsprechen der Einbauklasse „eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen“ und können unter Berücksichtigung der Nutzungseinschränkungen nach LAGA wieder eingebaut werden.

Auffüllungen und Böden die den Zuordnungswert von **Z 2** überschreiten sind durch alternative Verwertungswege, z. B. Behandlung in einer Bodenreinigungsanlage zu entsorgen.

Eine Entsorgung ist weiterführend durch den Einbau / Ablagerung in Deponien nach vorheriger Bewertung nach der Deponieverordnung (DepV) möglich.

Abfallschlüssel nach Europäischer Abfallentsorgung /U 32/: **17 05 04** = Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen.

Zur Qualitätssicherung ist der Einbau bzw. die Verwertung/Beseitigung von Material ab einem Wert > Z 1.1 zu dokumentieren. Zu Vorgaben für die Dokumentation siehe Tabelle I.8-1 aus den Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA).

Bei Überschreitung des Zuordnungswertes Z2 ist eine weiterführende Untersuchung gemäß Deponieverordnung (DepV) /U 37/ durchzuführen.

Grundsätzlich sind Verwertung und Beseitigung als Entsorgungsmöglichkeiten zu unterscheiden. Den Maßgaben des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes entsprechend, ist eine Verwertung einer Beseitigung vorzuziehen.

Eine Verwertung durch dafür zugelassene Unternehmen ist zu empfehlen. Um die Abwicklung der Entsorgung zu vereinfachen wird vorgeschlagen, die Entsorgung des Bodens ebenfalls durch die bahneigene Materialentsorgung durchführen zu lassen.

Asphalt

Straßenaufbruchmaterial sollte gemäß /U 34/ vorrangig einer stofflichen Verwertung zugeführt werden.

Asphalt mit PAK-Werten < 25 mg/kg gilt als teerfrei und kann mittels Heißmischverfahren wiederverwendet werden.

Asphalt mit PAK-Werten > 25 mg/kg PAK gelten als teer-/pechhaltige Straßenausbaustoffe und Bitumengemische und nur in Kaltmischverfahren wiederverwendbar.

Bei Überschreitung des Grenzwertes von > 400 mg/kg PAK erfolgt eine Einstufung als gefährlicher Abfall.

Abfallschlüssel nach Europäischer Abfallentsorgung /U 32/: **17 03 02** Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen die unter **17 03 01** = kohlenteeerhaltige Bitumengemische fallen.

Hinweis:

Am 09.07.2021 wurde die sog. Mantelverordnung /U 38/ veröffentlicht. Diese tritt am 01.08.2023 in Kraft. Alle derzeit gültigen Regelwerke bzgl. mineralischer Baurestmassen verlieren dann ihre Gültigkeit, d.h. für Bauzeiten nach dem 01.08.2023 ist die Mantelverordnung anzuwenden. Der Untersuchungsumfang und die Materialwerte der unterschiedlichen Baurestmassen sind in Anlage 1 der Mantelverordnung /U 38/ dargestellt.

- Bodenmaterial (BM): Mantelverordnung /U 38/, Anlage 1, Tabelle 3, ggf. Tabelle 4
- Bauschutt (RC): Mantelverordnung /U 38/, Anlage 1, Tabelle 1
- Asphalt nach RuVA-StB 01 /U 35/

Werden bei diesen Untersuchungen für Boden, Bauschutt und Asphalt dabei Überschreitungen der maximalen Materialwerte ermittelt oder kann das Material, entgegen des Verwertungsgebots, nicht verwertet werden, sind weiterhin die zusätzlichen Parameter nach der Deponieverordnung /U 37/ zu untersuchen.

6 Homogenbereiche

Gemäß VOB/C /U 18/ sind Boden und Fels entsprechend ihrem Zustand vor dem Lösen in Homogenbereiche einzuteilen. Der Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für das jeweilige Baugewerk bzw. Bauverfahren vergleichbare Eigenschaften aufweist. Für die Homogenbereiche sind Eigenschaften und Kennwerte sowie deren ermittelte Bandbreite anzugeben.

Eine Übersicht der zugeordneten Homogenbereiche gemäß den eingeteilten Baugrundsichten ist in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Übersicht der abgegrenzten Homogenbereiche

Schicht	Lagerungsdichte/ Konsistenz/ Verwitterungsgrad	Boden- gruppe nach DIN 18196	Homogenbereiche		
			Erdarbeiten	Bohrarbeiten	Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten
1.1.1	locker	[GW], [GI], [GU], [SE], [SI], [SU]	ERD A		RAM A
1.1.2	mitteldicht				
1.1.3	dicht				
1.2.1	locker	[SU*]		BOH A	RAM A
2.1.1	locker	GW, GI, GU, SW, SI, SE, SU	ERD B		
2.1.2	mitteldicht				
2.1.3	dicht				
2.2.2	mitteldicht	GU*, SU*			RAM A
2.2.3	dicht				RAM B
3.1	weich	UL, TL	ERD C	BOH B	RAM A

Schicht	Lagerungsdichte/ Konsistenz/ Verwitterungsgrad	Boden- gruppe nach DIN 18196	Homogenbereiche		
			Erdarbeiten	Bohrarbeiten	Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten
4.1	vollständig verwittert bis zersetzt	(GU, SU, SU*)	ERD D	BOH A	RAM B
4.2	mäßig bis stark verwittert	--		BOH C	RAM C
4.3	frisch bis schwach verwittert	--			

Die Abfalltechnische Bewertung wurde bei der Einteilung der Homogenbereiche für Erdarbeiten (ERD) berücksichtigt.

Die Einteilung der Homogenbereiche erfolgt für die zu erwartenden Gewerke Erdarbeiten (ERD), Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten (RAM) sowie Bohrarbeiten (BOH). Hier wurden für eine genauere Aussage die Ergebnisse der Laborversuche betrachtet.

In Anlage 7 findet sich eine schichtbezogene und gewerkspezifische Zusammenstellung der eingeteilten Homogenbereiche. Diese enthält neben der Beschreibung des Homogenbereichs relevante Kennwerte (Streubereiche).

Die Einteilung der Homogenbereiche muss im weiteren Planungsverlauf, insbesondere unter Berücksichtigung von Bauzuständen und -phasen, überprüft und ggf. fortgeschrieben werden.

6.1 Erdarbeiten (ERD)

Die Homogenbereiche für das Gewerk Erdarbeiten werden wie folgt eingeteilt:

- Homogenbereich ERD A:
 - aufgefüllte, grob- und gemischtkörnige Böden in lockerer bis dichter Lagerung
- Homogenbereich ERD B:
 - anstehende, grob- und gemischtkörnige Böden in lockerer bis dichter Lagerung
- Homogenbereich ERD C:
 - anstehende, feinkörnige Böden in weicher Konsistenz
- Homogenbereich ERD D:
 - anstehender, zersetzter bis frischer Fels

6.2 Bohrarbeiten (BOH)

Die Homogenbereiche für das Gewerk Bohrarbeiten werden wie folgt eingeteilt:

- Homogenbereich BOH A:
 - aufgefüllte, grob- und gemischtkörnige Böden in lockerer bis dichter Lagerung
 - anstehende, grob- und gemischtkörnige Böden in lockerer bis dichter Lagerung
 - anstehender, vollständig verwitterter bis zersetzter Fels
- Homogenbereich BOH B:
 - anstehende, feinkörnige Böden in weicher Konsistenz
- Homogenbereich BOH C:
 - anstehender, frischer bis stark verwitterter Fels

6.3 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten (RAM)

Die Homogenbereiche für das Gewerk Ramm- Rüttel- und Pressarbeiten werden wie folgt eingeteilt:

- Homogenbereich RAM A:
 - aufgefüllte, grob- und gemischtkörnige Böden in lockerer bis mitteldichter Lagerung
 - anstehende, grob- und gemischtkörnige Böden in lockerer bis mitteldichter Lagerung
 - anstehende, feinkörnige Böden in weicher Konsistenz
- Homogenbereich RAM B:
 - aufgefüllte, grob- und gemischtkörnige Böden in dichter Lagerung
 - anstehende, grob- und gemischtkörnige Böden in dichter Lagerung
 - anstehender, vollständig verwitterter bis zersetzter Fels
- Homogenbereich RAM C:
 - anstehender, frischer bis stark verwitterter Fels

7 Schlussbemerkungen und Hinweise

In diesem geotechnischen Bericht werden die Baugrundverhältnisse sowie deren Bewertung für den Neubau der Verkehrsstrassen im Ludwigshöhviertel in Darmstadt dargestellt. Gegenstand der Untersuchung ist die Ermittlung der Eigenschaften der anstehenden bzw. aufgefüllten Böden zur Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Gründung der geplanten Ingenieurbauwerke.

Für den Untersuchungsbereich ergibt sich folgender verallgemeinerter Schichtenaufbau:

- Schicht 1: Oberboden / Auffüllungen
- Schicht 2: Quartäre Kiese und Sande
- Schicht 3: Quartäre Tone und Schluffe
- Schicht 4: Kristallines Grundgebirge (hier: Granodiorit)

Unterhalb der bestehenden Asphalt- und Betondecken besteht der Baugrund im gesamten Erkundungsbereich oberflächennah aus anthropogenen Auffüllungen mit Mächtigkeiten zwischen 0,3 m und 2,2 m. Diese setzen sich überwiegend aus grob- und gemischtkörnigen Böden der Bodengruppen [GW], [GE] [GU], [SW], [SE], [SU], [ST], zusammen.

Darunter folgen quartäre Sande und Kiese, die im Bereich der Ludwigshöhstraße und Cambrai-Fritsch-Kaserne Mächtigkeiten zwischen 0,4 m und 2,9 m aufweisen. Im Bereich der Heidelberger Straße wurden Mächtigkeiten von mind. 6,0 m angetroffen. Die Sande & Kiese sind überwiegend den Bodengruppen GW, GU, SW, SE, SU zuzuordnen. Am westlichen Ende der Cooperstraße wurden auch Böden der Bodengruppen GU* und SU* angetroffen.

Innerhalb der KRB 1 wurde eine ca. 40 cm mächtige Schicht aus Ton und Schluff der Bodengruppen UL, TL erkundet.

Die Basis der Aufschlüsse, mit Ausnahme der Erkundungen im Bereich der Heidelberger Straße, bildet ein vollständig verwitterter bis zersetzter Granodiorit. Dieser geht mit zunehmender Tiefe in unverwitterten Fels über. Die aufgeschlossenen Mächtigkeiten des zersetzten Granodioritgrus variieren zwischen 0,3 m und 1,7 m.

Die Großbohrung (BK 1) im Bereich des geplanten Kreisverkehrs in der Cooperstraße konnte bis auf eine Tiefe von 8,00 m u. GOK abgeteuft werden. Der bei 1,8 m u. GOK beginnende Felsersatz der Verwitterungseinheit v5 (zersetzt) und v4 (vollständig verwittert) weist hier eine Mächtigkeit von 0,70 m auf.

Ab 2,50 m u. GOK geht dieser in verwitterten Fels der Verwitterungseinheiten v3 (stark verwittert) bis v2 (mäßig verwittert) über. Ab einer Tiefe von 3,90 m u. GOK wurde der Granodiorit in den Verwitterungseinheiten v1 (schwach verwittert) bis v0 (frisch) angetroffen.

Mit den Baugrundaufschlüssen wurde kein Grundwasser angetroffen. Innerhalb des Felses ist mit auftretendem Schichtwasser zu rechnen. Allgemein ist die Schicht 2 als stark durchlässig bis durchlässig zu bewerten. Die Schicht 3 ist als wasserstauend und wasserundurchlässig anzusehen. Der Granodioritgrus (Schicht 4.1) weist ebenfalls gute Durchlässigkeiten auf. Hier ist jedoch mit einem Rückstau von Wasser auf dem unverwitterten, kompakten Fels zu rechnen.

In Abschnitt 2 wird aus den erkundeten Bodenschichten ein Baugrundmodell abgebildet und die zugehörigen Boden- und Berechnungskennwerte angegeben. Des Weiteren werden Angaben zur Versickerungsfähigkeit des Untergrundes gemacht. In Abschnitt 3 werden Aussagen zu geotechnischen Kennwerten und zur Rammfähigkeit des Untergrundes gemacht.

Angaben zur Oberbaudimensionierung der Verkehrsstrassen und zur Gründung der Oberleitungsmasten und Stützmauern enthält Abschnitt 4. Aufgrund des kompakten Granodiorits wird eine Gründung der Oberleitungsmasten mittels Bohrpfählen empfohlen. Stützmauern können sowohl als Flachgründung, als auch als Tiefgründung ausgeführt werden.

Die orientierende, abfalltechnische Bewertung des Bodens befindet sich in Kapitel 5. Demnach sind die aufgefüllten Böden im Bereich der Ludwigshöhstraße dem Zuordnungswert Z1.2 - > Z2 gemäß LAGA zuzuordnen. Die restlichen Auffüllungen und anstehenden Böden sind den Zuordnungswert Z0 - Z0* zuzuordnen.

Die untersuchten Betonfahrbahndecken im Bereich der Cooperstraße sind aufgrund erhöhter Leitfähigkeiten dem Zuordnungswert Z1.1 - Z1.2 zuzuordnen.

Nach RuVA-StB 01 entsprechen die untersuchten Asphaltproben MP 13 bis MP 21 teer-/pechhaltige Straßenausbaustoffe und Bitumengemischen. Aufgrund stark erhöhter PAK-Gehalte (> 400 mg/kg PAK) in den MP 13 bis MP 19 sind diese als gefährlicher Abfall einzustufen. Die weiteren Analysen ergaben Zuordnungswerte zwischen Z1.2 und Z2.

In Kapitel 6 werden die Baugrundsichten gemäß den auszuführenden Arbeiten in Homogenbereiche eingeteilt.

Die punktförmig durchgeführten Bodenuntersuchungen geben einen guten Überblick über die vorhandenen Untergrundverhältnisse, sie schließen jedoch Abweichungen in Teilbereichen nicht aus. Wir empfehlen uns einzuschalten, wenn sich Abweichungen von den Untersuchungsergebnissen ergeben bzw. planungstechnische Änderungen durchgeführt werden, die Einfluss auf die Gründung des Bauwerkes haben.

Ergeben sich im Rahmen der Entwurfsplanung und aus den Abstimmungen mit dem Auftraggeber Umplanungen, sind ggf. Nacherkundungen erforderlich.

DB Engineering & Consulting GmbH

Frankfurt, den 22. Juli 2022.

Aufgestellt:



Wiesler, Sebastian
2022.07.22
09:28:17 +02'00'

S. Wiesler
M. Sc. Angew. Geowissenschaften