



Bericht Nr.: 16 - 6568

Objekt: **Kanalbau und Lärmschutzwallbau
Baugebiet " Lerchenweg"
Delbrück- Mitte**

Auftraggeber: **Stadt Delbrück
Marktstraße 6
33129 Delbrück**

Auftrag: **Baugrunduntersuchungen und
Baugrundgutachten mit chemischen
Untersuchungen nach LAGA, DepV
und BBodSchV zum o.g. Objekt**

Erteilt: **20.04.2016 + 25.10.2016**

**Durchführung
der Feldunter-
suchungen:** **am 13.05.2016 + 15.11.2017**

Arnsberg, den 02.06.2017
Unser Zeichen: Dietrich/I

- GEOTECHNIK
- BAUGRUND
- ERDBAULABORATORIUM
- ERDSTATIK
- HYDROGEOLOGIE
- SPEZIALTIEFBAU
- DEPONIEWESEN
- FACHPLANUNGEN
- FACHBAULEITUNGEN
- GERICHTSGUTACHTEN
- ZERSTÖRUNGSFREIE
MESSUNGEN

PTM GEOTECHNIK
ARNSBERG GMBH

obereimer 36
59821 arnsberg
telefon: 02931/89030
fax: 02931/8903-22
e-mail: arnsberg@ptm.net
internet: www.ptm.net

geschäftsführung
dipl.-ing. günther mörchen
ingenieurkammer nrw nr. 102497
dipl.-ing. burghard dietrich
ingenieurkammer nrw nr. 316951
hrb 9736 ag arnsberg
st.-nr.: fa arnsberg 303/5724/0628
ust.-id.-nr.: de279634618

sparkasse arnsberg-sundern
iban: DE47 4665 0005 0001 0295 11
bic: WELADED1ARN

prüfstelle nach rap-stra
mitglied im bundesverband
unabhängiger prüfinstitute **bup**

- ARNSBERG
- BAUTZEN
- DANZIG
- DORTMUND
- HAMBURG
- JENA
- RIGA
- STADE
- TOSTEDT



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Vorgang und Auftrag | 5 |
| 2. Situation | 6 |
| 3. Durchgeführte Untersuchungen | 8 |
| 3.1 Felderkundungen | 8 |
| 3.2 Bodenmechanische Laboruntersuchungen | 8 |
| 3.3 Chemische Untersuchungen nach LAGA-Bauschutt, LAGA-Boden und Deponieverordnung | 9 |
| 3.4 Probennahmen und chemische Untersuchungen an Oberboden | 10 |
| 3.5 Untersuchungen an Asphaltbohrkernen | 12 |
| 4. Untersuchungsergebnisse | 13 |
| 4.1 Geologischer Überblick | 13 |
| 4.2 Schichtenfolge | 14 |
| 4.3 Grundwasser | 16 |
| 4.4 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen nach LAGA und Deponieverordnung | 16 |
| 4.4.1 LAGA-Boden (2004) | 16 |
| 4.4.2 LAGA-Bauschutt | 17 |
| 4.4.3 Deponieverordnung | 17 |
| 4.5 Vorsorgewerte gemäß BBodSchV für den untersuchten Oberboden in Erschließungsbereichen | 18 |
| 4.5.1 Vorbemerkungen zu den Vorsorgewerten gem. BBodSchV | 19 |
| 4.5.2 Bewertung | 20 |
| 4.5.3 Landwirtschaftliche Folgenutzungen der Oberböden | 22 |
| 4.6 Prüfwerte gemäß BBodSchV des Wirkungspfad des Boden - Mensch für den untersuchten Oberboden hinsichtlich verschiedener Nutzungsarten | 25 |
| 4.6.1 Bewertung | 27 |
| 4.6.1.1 Vergleich der Schadstoffgehalte der Oberbodenmischproben der Teilflächen A bis D mit den Prüfwerten nach BBodSchV im Wirkungspfad Boden-Mensch | 27 |



| | |
|---|----|
| 4.6.1.2 Vergleich der Benzo-a-pyren-Gehalte der Einzelproben der Teilfläche D mit den zugehörigen Prüfwerten o. g. Nutzungsarten gemäß BBodSchV | 28 |
| 4.7 Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Bindemittelbestimmungen an Asphaltbohrkernen | 29 |
| 4.8 Charakteristische Bodenkennwerte | 30 |
| 5. Gutachterliche Bewertung | 32 |
| 5.1 Kanalbau | 32 |
| 5.1.1 Tragfähigkeit des Rohrauflegers | 32 |
| 5.1.2 Grabensicherung und Wasserhaltung | 33 |
| 5.1.3 Wiederverwertbarkeit von Aushubböden | 34 |
| 5.2 Baupraktische Empfehlungen für den Bau des Lärmschutzwalls | 36 |
| 5.2.1 Wallneigung 1 : 1,5 | 36 |
| 5.2.2 Wallneigung 1 : 2 | 39 |
| 5.2.3 Empfehlungen für weiterführende Untersuchungen auf der Teilfläche D | 39 |
| 6. Weitere Hinweise | 40 |



Anlagenverzeichnis

| | |
|--------------------|--|
| Anlage 1.1 | Lageplan und Bohrprofile RK 1 – RK 13 |
| Anlage 1.2 | Lageplan und Bohrprofile (PTM + Kleegräfe) |
| Anlage 2.1 - 2.2 | Protokolle Wassergehalte |
| Anlage 2.3 - 2.7 | Protokolle Korngrößenverteilungen |
| Anlage 2.8 – 2.11 | Protokolle Zustandsgrenzen |
| Anlage 2.12 – 2.13 | Protokolle Proctorkurven |
| Anlage 3 | Protokolle Chemieuntersuchungen LAGA/DepV |
| Anlage 4 | Bewertung nach LAGA/DepV |
| Anlage 5 | Übersichtslageplan der erstellten Teilflächen und Probennahmepunkte für Oberbodenprobennahmen |
| Anlage 6 | Protokolle Chemieuntersuchungen Oberboden |
| Anlage 7 | Protokoll Chemieuntersuchung Bohrkern BK 9 |
| Anlage 8 | Bohrkerndokumentation |
| Anlage 9 | Gegenüberstellung Schadstoffgehalte der Oberbodenmischproben – Vorsorgewerte BBodSchV |
| Anlage 10 | Beurteilung Wirkungspfad Boden-Mensch für Kinderspielflächen, BBodSchV |
| Anlage 11 | Beurteilung Wirkungspfad Boden-Mensch für Wohngebiete, BBodSchV |
| Anlage 12 | Beurteilung Wirkungspfad Boden-Mensch für Park- u. Freizeitanlagen, BBodSchV |



1. Vorgang und Auftrag

Die Stadt Delbrück, Marktstraße 6 in 33129 Delbrück plant die Erschließung des Baugebietes "Lerchenweg" in Delbrück - Mitte.

Auf der Grundlage des Angebotes vom 11.04.2016 wurde die PTM Geotechnik Arnsberg GmbH, Obereimer 36, 59821 Arnsberg, durch die Stadt Delbrück schriftlich am 20.04.2016 mit der Durchführung der notwendigen Baugrunduntersuchungen und der Erarbeitung eines Baugrundgutachtens beauftragt.

Der vorliegende Baugrundbericht enthält die Ergebnisse der Felduntersuchungen, die Erläuterung der Untergrund- und Grundwassersituation, baupraktische Empfehlungen für die Erschließung des Baugebietes (Kanalbau), sowie bautechnische Empfehlungen für die Erstellung eines Lärmschutzwalls entlang des Baugebietes.

Darüber hinaus enthält der Bericht die Dokumentation des bodenmechanischen Laborprogramms (Wassergehaltsbestimmungen, Fließgrenzen und Ausrollgrenzen, Sieb-/Schlammanalysen und Proctorversuchen) und die Ergebnisse und Bewertungen von chemischen Deklarationsanalysen nach LAGA und Deponieverordnung hinsichtlich der Wiederverwertung bzw. Entsorgung von Aushubböden.

Im Nachgang zu dem oben beschriebenen Leistungsteil erhielt die PTM Geotechnik Arnsberg GmbH, Obereimer 36, 59821 Arnsberg, auf der Grundlage des ergänzenden Angebotes 16-242 vom 25.10.2016 durch die Stadt Delbrück mit Schreiben vom 27.10.2016 den Ergänzungsauftrag, die Beprobung an Oberböden durchzuführen und chemische Untersuchungen auf die Vorsorgewerte gemäß den Tabellen 4.1 und 4.2 im Anhang 2 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vorzunehmen.

Zudem waren qualitative und quantitativ-chemische Untersuchungen auf Straßenpech im Bindemittel an den Asphaltbohrkernen BK 7 bis BK 9 ein weiterer Bestandteil des Auftrags zum o. g. Angebot.

2. Situation

Das im Lageplan der Anlage 1 dargestellte Baugebiet "Lerchenweg" befindet sich ca. 1,5 km westlich des Stadtkerns von Delbrück. Das ca. 30 Hektar große Baugebiet wird im Osten von der Bundesstraße B 64 (Rietberger Straße) und im Westen vom Lerchenweg begrenzt.



Abbildung 1: Übersicht Baugebiet



Südlich an das geplante Baugebiet grenzt die Bebauung des ersten Baugebietabschnittes an. Im Norden grenzt eine bewaldete Fläche an die Baugebietsgrenze. Das Netz der geplanten Erschließungsstraßen schließt im Süden an eine bestehende Baugebietsstraße und im Westen an den Lerchenweg an. Kanalbau wird sowohl im neuen Straßennetz als auch voraussichtlich im bestehenden Lerchenweg erforderlich werden. Das Gelände fällt von Nord nach Süden hin ab.

Die Trennkanalisation wird in Form von Doppelleitungen in voraussichtlich 2 bis 4 m tiefen Gräben verlegt. Nach aktuellem Planungsstand wird eine Grabenaushebungsmenge von 6.500 m³ anfallen, die nach Möglichkeit einer Wiederverwertung unterzogen werden soll, entweder als Kanalgrabenverfüllung oder als Baustoff für den das Baugebiet später umschließenden Lärmschutzwall mit unter 1:1,5 geneigten Böschungsf lächen.

Die für das Baugebiet verfügbare Fläche wird derzeit landwirtschaftlich genutzt.

Für die Bearbeitung des Baugrundgutachtens stellte uns der Bauherr einen Lageplan des geplanten Baugebietes (Bebauungsplan Nr. 102) und ein Baugrundgutachten "Orientierende Baugrunderkundung/Orientierende Gründungsberatung", aufgestellt von Kleegräfe Geotechnik GmbH aus Lippstadt mit Datum vom 31.05.2010 zur Verfügung. In dem Gutachten werden die Ergebnisse von Kleinbohrungen und leichten Rammsondierungen sowohl für den bereits umgesetzten südlichen Bauabschnitt als auch für das neu geplante Baugebiet dokumentiert.



3. Durchgeführte Untersuchungen

3.1 Felderkundungen

Am 13.05.2016 wurden zur Erkundung der Untergrundverhältnisse und zur Entnahme von Bodenproben insgesamt 13 Rammkernsondierungen (Kleinbohrungen) bis in eine maximal mögliche Tiefe von 4,0 m niedergebracht. Die angebotenen Böden wurden gemäß EN ISO 14688 angesprochen, die Ergebnisse gemäß DIN 4023 zu Bohrprofilen entwickelt und zeichnerisch in Anlage 1.1 und 1.2 dargestellt. Im Plan 1.2 sind auch die Bohr- und Rammprofile der Kleegräfe Geotechnik GmbH eingepflegt.

Die Lagen der Bohrungen gehen ebenfalls sowohl aus Plan 1.1 als auch aus Plan 1.2 hervor.

3.2 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

An insgesamt 34 Einzelproben wurden umfangreiche Laboruntersuchungen zur Festlegung der charakteristischen Bodenkennwerte und als Grundlage für die erdbaulichen Empfehlungen durchgeführt. Die Laborversuche waren im Einzelnen:

- 5 x Korngrößenverteilung nach DIN 18 123 durch Sieb-/Schlammanalysen
- 19 x Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18 121
- 4 x Zustandsgrenzen nach DIN 18 122
- 2 x Proctorversuche nach DIN 18127

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen enthält der Anlagenteil 2.



3.3 Chemische Untersuchungen nach LAGA-Bauschutt, LAGA-Boden und Deponieverordnung

Materialabhängig wurden aus den während der Bohrungen gewonnenen Einzelproben insgesamt drei Mischproben (MP 1 bis MP 3) zusammengestellt sowie chemischen Analysen nach LAGA-Bauschutt und LAGA-Boden (2004) für die Ermittlung der Einbauklassen unterzogen.

Zusätzlich wurde an jeder Probe eine Deklarationsanalytik gemäß Deponieverordnung (DepV) zwecks Bestimmung eines Entsorgungsweges durchgeführt.

Die Mischprobenzusammenstellungen, der jeweilige Teufenbereich der Bodenprobe und die Materialansprachen sind in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Charakterisierung der Mischproben

| MP | Einzelproben | Teufe [m] | Material | Untersuchung |
|---------|--|------------|---|--|
| MP 1 | 1.2, 2.1, 2.4, 3.1, 3.4, 4.2, 4.3, 5.2, 5.3, 6.1, 6.2 | 0,2 – 4,0 | Lehm | LAGA-Boden/ DepV (DK 0 – DK III) |
| MP 2 | 7.1, 8.1, 9.1 | 0,18 – 0,6 | Schottertrag-/Frostschutz- schicht (Lerchenweg) | LAGA-Bauschutt/ DepV (DK 0 – DK III) |
| MP 3 | 7.2, 8.2, 8.3, 9.2, 10.3, 11.1, 12.2, 13.3 | 0,3 – 3,4 | Lehm | LAGA-Boden (2004)/ DepV (DK 0 – DK III) |

Für die chemischen Untersuchungen wurden die drei Mischproben der GBA – Laborgruppe, Gelsenkirchen überlassen.

Die Ergebnisprotokolle der chemischen Untersuchungen liegen als Anlagenteil 3 dem vorliegenden Bericht bei.



3.4 Probennahmen und chemische Untersuchungen an Oberboden

Am 15.11.2016 wurde von einem Mitarbeiter der PTM Geotechnik Arnberg GmbH der anstehende Oberboden des geplanten Erschließungsgebietes beprobt. Für die Beprobung wurde das Erschließungsgebiet in vier Teilflächen untergliedert (Bezeichnungen der Teilflächen: A, B, C und D). Je Teilfläche wurden fünf Einzelproben jeweils unter Verwendung eines Spatens entnommen (Probennahmeteufen je Untersuchungspunkt: 0,0 - 30,0 cm).

Die Einzelprobennahmepunkte bzw. dazugehörige Teilflächen gehen aus dem Übersichtslageplan der Anlage 5 hervor.

Für jede der 4 Teilflächen wurde eine Mischprobe (MP) aus den zugehörigen Einzelproben (EP) hergestellt und chemischen Analysen auf die Vorsorgewerte gemäß den Tabellen 4.1 und 4.2 im Anhang 2 der BBodSchV unterzogen.

Für die chemischen Analysen wurden die vier Mischproben der GBA, Gesellschaft für Bioanalytik mbH in Gelsenkirchen überlassen (Prüfberichte: Anlage 6)

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick zur Mischprobenzusammenstellung für die Deklarationsuntersuchungen auf die Vorsorgewerte gemäß den Tabellen 4.1 und 4.2 im Anhang 2 der BBodSchV. Zusätzlich erfolgten PAK-Feststoffanalysen an den Einzelproben der Teilfläche D (EP 1. D; EP 2. D, EP 3. D; EP 4. D und EP 5. D)



Tabelle 2: Mischprobenzusammenstellung (MP) Oberboden, Teilflächen für Deklarationsanalysen auf die Vorsorgewerte gemäß den Tabellen 4.1 und 4.2 im Anhang 2 der BBodSchV B und PAK-Feststoffuntersuchungen an Einzelproben (EP)

| Teilfläche | zur Teilfläche untersuchte zugehörige Misch- bzw. Einzelprobe | Einzelproben der Mischprobe | Untersuchungsumfang |
|------------|---|-----------------------------|---|
| A | MP A | EP 1. A | Vorsorgewerte gemäß den Tabellen 4.1 (Metalle) und 4.2 (organische Schadstoffparameter) im Anhang 2 der BBodSchV. |
| | | EP 2. A | |
| B | MP B | EP 3. A | |
| | | EP 4. A | |
| | | EP 5. A | |
| B | MP B | EP 1. B | |
| | | EP 2. B | |
| C | MP C | EP 3. B | |
| | | EP 4. B | |
| | | EP 5. B | |
| C | MP C | EP 1. C | |
| | | EP 2. C | |
| D | MP D | EP 3. C | |
| | | EP 4. C | |
| | | EP 5. C | |
| | | EP 1. D | |
| | | EP 2. D | |
| D | MP D | EP 3. D | PAK-Feststoffanalytik |
| | | EP 4. D | |
| | | EP 5. D | |
| | | EP 1. D | |
| | | EP 2. D | |
| D | MP D | EP 3. D | |
| | | EP 4. D | |
| | | EP 5. D | |
| | | EP 1. D | |
| | | EP 2. D | |



3.5 Untersuchungen an Asphaltbohrkernen

Die am 13.05.2016 entnommenen Bohrkerne BK 7 bis BK 9 wurden jeweils einer qualitativen Bindemittelbestimmung auf Straßenpech mittels Farbindikationsverfahren nach FGSV-Papier 27/2, Ausgabe 2000 unterzogen.

Zusätzlich erfolgten am Bohrkern BK 9, stellvertretend für die Bohrkerne 7 und BK 8, quantitative – chemische Untersuchungen auf die Parameter PAK am Feststoff und Phenole im Eluat gemäß RuVA-StB 01 für die Ermittlung einer Verwertungsklasse (A bis C). Für die Ausführungen der Analysen wurde der Bohrkern der GBA, Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Gelsenkirchen überlassen (Prüfbericht: Anlage 7).

Der Zustand der entnommenen Bohrkerne, die Schichtdicken, die Schichtenfolge der Einbaulagen sowie die qualitativen und quantitativen-chemischen Nachweise auf teerhaltige Bindemittel des gebundenen Straßenoberbaus (Asphalt) sind dem Anlagenteil 8, der Bohrkerndokumentation, zu entnehmen.

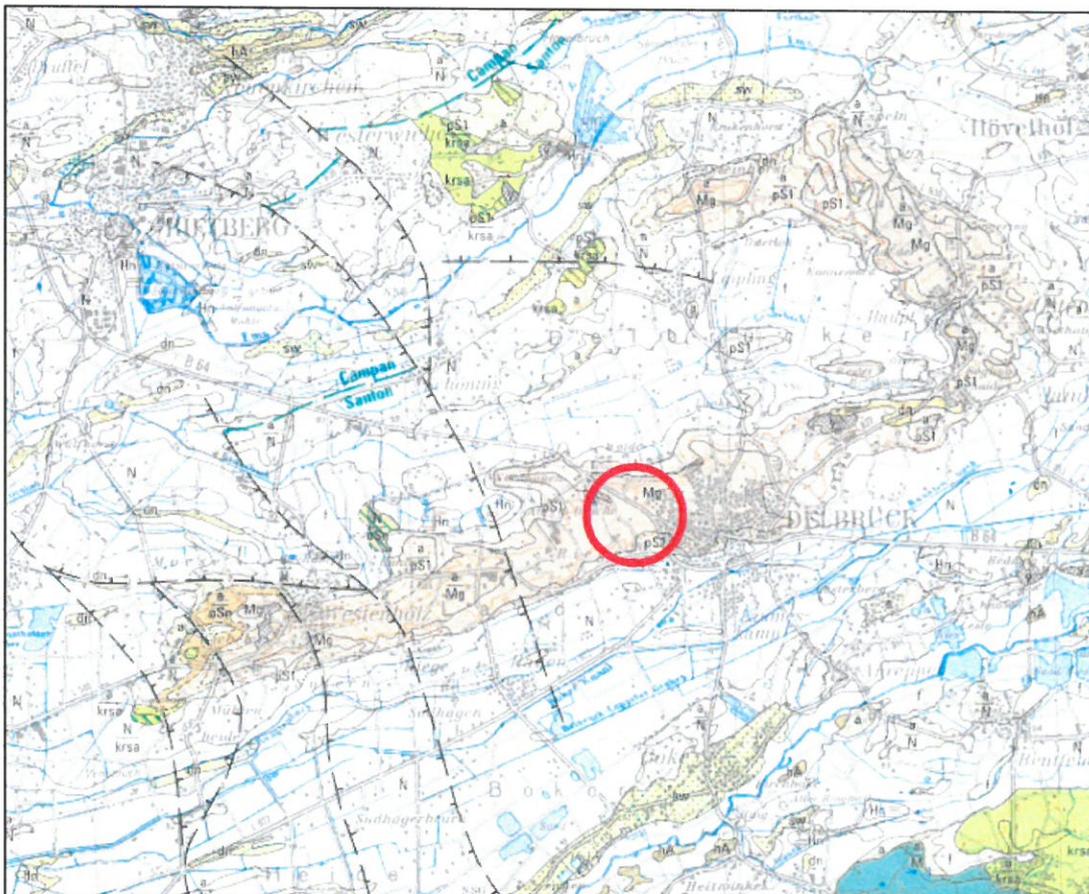
4. Untersuchungsergebnisse

4.1 Geologischer Überblick

Gemäß der Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen im Maßstab 1:100.000, Blatt C 4314 Gütersloh befindet sich das geplante Baugebiet im Verbreitungsgebiet von quartären Grundmoränenablagerungen. Die eiszeitlichen Ablagerungen bestehen demnach aus Schluffen und Tonen, mit sandigen, kiesigen, steinigen Beimengungen und vereinzelt Blöcken.

Nachfolgende Abbildung stellt den relevanten Auszug aus der Geologischen Karte dar.

Abbildung 2: Auszug aus der Geologischen Karte Blatt C 4314 Gütersloh





4.2 Schichtenfolge

Die in den Bohrungen angetroffenen Böden werden unter bodenmechanischen und ingenieurgeologischen Kriterien wie folgt differenziert:

| | |
|-------------|----------------|
| Schicht Ia: | Oberboden |
| Schicht Ib: | Straßenoberbau |
| Schicht II: | Tone/Lehme |

Schicht Ia: Oberboden

Mit Ausnahme der Untersuchungspunkte RK 7 bis RK 9 im Lerchenweg wurde an sämtlichen Punkten eine etwa 30 – 45 cm mächtige, organische Oberboden-decke angetroffen. Der Oberboden setzt sich überwiegend aus sandigen, humo-sen Schluffen zusammen und ist nach DIN 18196 der Bodengruppe OU (Organi-sche Schluffe) zuzurechnen. Nach alter Norm DIN 18300 liegt die Bodenklasse 1 vor.

Schicht Ib: Straßenoberbau

An den 3 Bohrkernen des Lerchenweges wurde der Asphaltoberbau mit Schicht-dicken von etwa 5 – 6 cm erbohrt.

Unterhalb des Asphalts folgt eine kombinierte Frostschutz-/Tagschicht aus Hart-steinbrüchen, deren Dicke 26 - 37 cm beträgt. Dementsprechend liegen Gesamt-oberbaudicken von 32 – 43 cm vor. Hinsichtlich ihrer Kornverteilung zeigen sich die Mineralstoffe des ungebundenen Oberbaus als Kiese mit variierenden San-danteilen. Sie sind nach DIN 18196 überwiegend der Bodengruppe GW, gem. alter DIN 18300 der Bodenklasse 3 zuzurechnen.



Schicht II: Tone/Lehme

Die feinkörnigen Tone/ Lehme der Grundmoräne wurden bis zu einer Tiefe von ca. 4,0 m (RK 2) unterhalb der organischen Oberböden / Tragschichten angetroffen. Dabei reicht i.d.R. das Kornspektrum der Lehme vom schwach feinkiesigen, sandigen bis stark sandigen Ton. Die Böden sind nach DIN 18196 den Boden- gruppen TL und TM zuzurechnen. Sie besitzen eine steife bis halbfeste, in grö- ßerer Tiefe auch feste Konsistenz. Nach alter Norm 18300 liegen die Bodenklas- sen 4-5 vor.

Die Untersuchung der natürlichen Wassergehalte ergibt folgendes Bild: Die Lehme besitzen im Tiefenbereich von etwa 0,3 – 1,0 m Wassergehalte in einem Spektrum von $w_{nat} = 18 - 22$ Gew.-%. Ab 1 m Tiefe bis in 4 m Tiefe liegt das Spektrum der natürlichen Wassergehalte bei

$$w_{nat} = 13,6 - 16,7 \text{ Gew.-%.}$$

Der mittlere Wassergehalt beträgt für diesen Tiefenabschnitt

$$w_{nat,m} = 15,2 \text{ Gew.-%.}$$

Die optimalen Wassergehalte betragen mit Verweis auf die beiden Proctorkurven des Anlagenteils 2.4

$$w_{opt} = 13,2 - 13,7\%.$$

Der 97%-Grenzwassergehalt (nasse Seite der Proctorkurve) variiert bei

$$w_{97\%,nass} = 16,1 - 16,4 \text{ Gew.-%.}$$



Zwar stellen die ermittelten Bohrendtiefen der Rammkernsondierungen den unüberwindbaren Widerstand dar, dennoch sind die Endtiefen nicht mit der Schichtbasis der Tone gleichzusetzen. Dass die Tone sich bis mindestens +/- 4 m unter Gelände fortsetzen, das zeigen die in Anlage 1.2 eingearbeiteten Profile des Kleegräfe Gutachtens aus 2010.

Es sei angemerkt, dass sich die Bodenansprachen des Büros Kleegräfe von denen des Unterzeichners dadurch unterscheiden, dass die Lehme im Kleegräfe Gutachten als Schluffe ausgewiesen werden. Die durch PTM getätigten umfangreichen Laboruntersuchungen weisen jedoch die Lehme eindeutig als Tone aus.

An wenigen Untersuchungspunkten (RK 1, RK 2, RK 3, RK 4 und RK 12) sind die Tone durch eine meist wenige Dezimeter dicke, vereinzelt auch wie bei RK 1 knapp 3 m dicke Sandzwischenlage unterbrochen. Die Sande besitzen schluffige oder tonige Nebenanteile, so dass sie nach DIN 18196 i.d.R. der Bodengruppe SU* (Sand-Schluff-Gemisch) zuzuordnen sind.

4.3 Grundwasser

Grundwasser wurde am Tage der Untersuchungen in den 4,0 m tiefen Bohrlöchern nicht erpegelt.

4.4 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen nach LAGA und Deponieverordnung

4.4.1 LAGA-Boden (2004)

In der Anlage 4 sind die Ergebnisse der Analysen an den Mischproben MP 1 und MP 3 gem. LAGA-Boden (2004) den zugehörigen Zuordnungswerten Z 0 – Z 2, Bodenart „Lehm/Schluff“, gegenübergestellt.



Der durch die Probe MP 1 beschriebene Ton/Lehm erfüllt für alle Untersuchungsparameter die Anforderungen der Einbauklasse Z 0.

Der durch die Probe MP 3 repräsentierte Ton/Lehm ist aufgrund des detektierten Bleigehaltes am Feststoff der Einbauklasse Z 1.1 zuzuordnen; der zugehörige Eluatgehalt bleibt unberücksichtigt.

Der detektierte Parameter TOC am Feststoff der MP 3 bleibt für die LAGA-Klassifizierung unberücksichtigt, da dieser auf feinst verteilte natürliche organische Materialien (Feinstwurzelsystem, Mikroorganismen, etc.) und nicht auf organische Schadstoffe zurückzuführen ist; es wurden keine organischen Schadstoffe am Material detektiert.

4.4.2 LAGA-Bauschutt

In der Anlage 4 sind die detektierten Schadstoffgehalte an der Probe MP 2 den zugehörigen Zuordnungswerten Z 0 – Z 2 der LAGA-Bauschutt gegenübergestellt.

Die durch die Probe MP 2 dargestellte Trag-/Frostschutzschicht erfüllt in Bezug auf alle Untersuchungsparameter die Bedingungen der Einbauklasse Z 0.

4.4.3 Deponieverordnung

In der Anlage 4 sind die Untersuchungsergebnisse der Deklarationsanalysen nach Deponieverordnung an den Proben MP 1 bis MP 3 den zugehörigen Zuordnungswerten der Deponieklassen DK 0 – III gemäß Deponieverordnung gegenübergestellt.

Die Entsorgungen der durch die Mischproben MP 1 bis MP 3 jeweils repräsentierten Materialien kann unter dem Abfallschlüssel 17 05 04 – Boden und Steine



mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03* fallen – auf einer Deponie der Deponieklasse DK 0 erfolgen.

Für die durch die Proben MP 1 und MP 3 jeweils beschriebenen Materialien sind hierbei jedoch die Ausnahmekriterien im Beiblatt der Gegenüberstellung zu berücksichtigen.

Die Abfallschlüssel zur Entsorgung werden in der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung–AVV; Erlass: 10.12.2001) definiert. Die AVV regelt die Bezeichnung von Abfällen und die Einstufung von Abfällen nach ihrer Überwachungsbedürftigkeit. Im zugehörigen Abfallverzeichnis werden auf Grundlage der Abfallherkunft so genannte Abfallschlüssel definiert (sechstelliger Zahlencode). Ist ein Zahlencode mit einem * („Sternchen“) versehen, deutet dies auf einen als gefährlich eingestuften Abfall hin.

Beispiel:

- 17 05 04 – Definition gemäß AVV:
Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03* fallen
- 17 05 03* - Definition gemäß AVV:
Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten

4.5 Vorsorgewerte gemäß BBodSchV für den untersuchten Oberboden in Erschließungsbereichen

Im Rahmen der Erschließung des Baugebietes fällt hinsichtlich der Errichtungen von befestigten/asphaltierten Straßen, Wegen und Flächen und im Rahmen der Errichtung von Eigenheimen im Erschließungsgebiet Oberboden an.

Oberboden stellt ein schutzwürdiges Gut dar. Er darf keiner Verwertung im Sinne der LAGA-Boden (2004) und auch keiner Entsorgung gemäß Vorgaben der Deponieverordnung (DepV) unterzogen werden.



Für die Beurteilung von Oberboden werden die Vorsorgewerte für Metalle und organische Schadstoffe der BBodSchV herangezogen (Nachweis durch chemische Analysen).

4.5.1 Vorbemerkungen zu den Vorsorgewerten gem. BBodSchV

Definitionsgemäß beschreiben die Vorsorgewerte, ob die Besorgnis einer schädlichen Bodenverunreinigung auszuschließen ist. Von der Besorgnis einer schädlichen Bodenverunreinigung ist dann auszugehen, wenn einer oder mehrere Prüfparameter für Metalle und/oder organische Schadstoffe überschritten werden („Besorgnisschwelle“).

In der Tabelle 4.1, der Anlage 2 der BBodSchV werden Vorsorgewerte für die Feststoffmetallgehalte an Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel und Zink in Abhängigkeit der dem zu prüfenden Oberboden zugeordneten Bodenart (Ton, Lehm/ Schluff und Sand) definiert.

In der Tabelle 4.2, der Anlage 2 der BBodSchV sind die Vorsorgewerte für die organischen Schadstoffe am Feststoff für PCB, Benzo-a-pyren (Leitparameter der PAK) und dem Gesamt-PAK-Gehalt in Abhängigkeit des Humusgehaltes ($> 8 \%$ oder $\leq 8 \%$) dargestellt.

Die Ermittlung des Humusgehaltes erfolgt über Multiplikation des an einer Probe ermittelten TOC-Gehalt am Feststoff mit dem Korrekturfaktor 1,724 (vgl. Scheffer & Schachtschabel, „Lehrbuch der Bodenkunde“, 1992).

Sofern die Planungen darauf beruhen, anfallende Oberböden einer landwirtschaftlichen Folgenutzung zuzuführen, so dürfen im Hinblick auf zukünftige unvermeidliche Schadstoffeinträge (Bewirtschaftungsmaßnahmen und atmosphärische Einträge) 70 % eines jeden Vorsorgewertes gemäß Anhang 2, Tabellen 4.1



und 4.2 nicht überschritten werden (§ 12 – Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden –, Absatz 4, BBodSchV;).

4.5.2 Bewertung

In der Anlage 9 des vorliegenden Berichts sind die an den vier Oberbodenmischproben MP A bis MP D detektierten Schadstoffe den jeweils zugehörigen Vorsorgewerten, Bodenart „Lehm/Schluff“ gegenübergestellt.

Für die Teilflächen A, B und C werden für die Metalle sowie auch für die organischen Schadstoffparameter, bei Humusgehalten $\leq 8\%$, die zugehörigen Vorsorgewerte deutlich unterschritten.

Definitionsgemäß ist somit die Besorgnis einer schädlichen Bodenverunreinigung für diese drei Teilflächen auszuschließen.

Für die Teilfläche D werden für die Metallfeststoffgehalte sowie für den organischen Schadstoffparameter polychlorierte Biphenyle (PCB) die zugehörigen Vorsorgewerte jeweils eingehalten.

Für die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie dem zugehörigen Leitparameter Benzo-a-pyren wird der jeweils zugehörige Vorsorgewert deutlich überschritten.

Somit wurden die zur Teilfläche D zugehörigen fünf Einzelproben jeweils einer PAK-Feststoffanalytik unterzogen, wobei folgende Ergebnisse gemäß nachfolgender Tabelle erzielt wurden:



Tabelle 3: Ergebnisse der PAK- / Benzo-a-pyren-Feststoffanalysen der Einzelproben der Teilfläche D im Vergleich mit den zugehörigen Vorsorgewerten nach BBodSchV

| Einzelproben | detektierter PAK-Gehalt [mg/kg] | PAK-Vorsorgewert (Humusgehalt \leq 8 %) [mg/kg] | detektierter Benzo-a-pyren-Gehalt [mg/kg] | Benzo-a-pyren-Vorsorgewert (Humusgehalt \leq 8 %) [mg/kg] |
|--------------|---------------------------------|---|---|---|
| EP 1. D | n. n. | 3 | n. n. | 0,3 |
| EP 2. D | 48 | | 4,3 | |
| EP 3. D | 42 | | 3,9 | |
| EP 4. D | 51 | | 3,9 | |
| EP 5. D | 21 | | 1,3 | |

n. n.: nicht nachweisbar

Für die Einzelprobe EP 1. D konnten PAK und Benzo-a-pyren, jeweils am Feststoff nicht nachgewiesen werden. Die zugehörigen Vorsorgewerte werden dementsprechend eingehalten. Die an den Einzelproben EP 2. D bis EP 5. D detektierten PAK und Benzo-a-pyren-Feststoffgehalte überschreiten jeweils deutlich den zugehörigen Vorsorgewert.

Auf Grundlage der Untersuchungen auf PAK und Benzo-a-pyren an den Einzelproben der Teilfläche D ist davon auszugehen, dass eine schädliche Verunreinigung des Bodens im Bereich der Einzelprobennahmepunkte EP 2. D bis EP 5. D vorliegt, wobei die Ursachen für die PAK-Verunreinigungen nicht bekannt sind.

Die Einzelprobenuntersuchungen der Teilfläche D hinsichtlich der Parameter PAK und Benzo-a-pyren bestätigen somit das Ergebnis der zugehörigen Mischprobe MP D, dass auf der Teilfläche D erhöhte PAK- bzw. Benzo-a-pyrengelalte im Oberboden vorliegen.



4.5.3 Landwirtschaftliche Folgenutzungen der Oberböden

Sofern die Planungen darauf beruhen, anfallende Oberböden einer landwirtschaftlichen Folgenutzung zuzuführen, so dürfen im Hinblick auf zukünftige unvermeidliche Schadstoffeinträge (Bewirtschaftungsmaßnahmen und atmosphärische Einträge) 70 % eines jeden Vorsorgewertes gemäß Anhang 2, Tabellen 4.1 und 4.2 nicht überschritten werden (§ 12 – Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden –, Absatz 4, BBodSchV;).

In der nachfolgenden Tabelle werden die Messwerte für Metalle und die organischen Schadstoffparameter der Mischproben MP A bis MP D der Teilflächen A bis D mit den zugehörigen 70 %-Werten der Vorsorgewerte verglichen:



Tabelle 4: Vergleich Messwerte - 70 %-Werten der Vorsorgewerte für die Mischproben der Teilflächen

| Parameter | [mg/kg] | MP A / Teilfläche A [mg/kg] | MP B / Teilfläche B [mg/kg] | MP C / Teilfläche C [mg/kg] | MP D / Teilfläche D [mg/kg] |
|---|---------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 70% Vorsorgewert Cadmium | 0,7 | 0,3 | 0,28 | 0,28 | 0,39 |
| 70% Vorsorgewert Blei | 49 | 21 | 20 | 19 | 26 |
| 70% Vorsorgewert Chrom | 42 | 16 | 14 | 16 | 11 |
| 70% Vorsorgewert Kupfer | 28 | 17 | 12 | 13 | 15 |
| 70% Vorsorgewert Quecksilber | 0,35 | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |
| 70% Vorsorgewert Nickel | 35 | 8,8 | 7,1 | 9 | 6,9 |
| 70% Vorsorgewert Zink | 105 | 69 | 64 | 112 | 89 |
| 70% Vorsorgewert PCB (Humusgehalte ≤ 8 %) | 0,035 | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |
| 70% Vorsorgewert Benzo-a-pyren (Humusgehalte ≤ 8 %) | 0,21 | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | 1,8 |
| 70% Vorsorgewert PAK (Humusgehalte ≤ 8 %) | 2,1 | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | 17 |



Für die Mischproben der Teilflächen A bis C werden für die Metalle sowie für die organischen Schadstoffparameter die 70%-Vorsorgewerte eingehalten. Der leicht erhöhte Zinkgehalt bei MP C ist gutachterlich zu vernachlässigen. Die Oberböden bis rd. jeweils 0,30 m Teufe können dementsprechend landwirtschaftlichen Folgenutzungen zugeführt werden.

Inwiefern die Oberbodenmaterialien der Teilflächen A bis C auf Grundlage der bisher vorliegenden chemischen Untersuchungsergebnisse auf andere landwirtschaftliche Nutzflächen aufgebracht werden dürfen, ist dennoch mit den zuständigen Behörden (Untere Bodenschutzbehörde, etc.) abzustimmen.

Für die Teilfläche D werden die 70 % - Vorsorgewerte für die Metalle sowie für den organischen Schadstoffparameter PCB eingehalten. Für den Parameter PAK am Feststoff sowie für den zugehörigen Leitparameter Benzo-a-pyren werden die zugehörigen 70 %-Werte der Mischprobe deutlich überschritten; dies wird auch durch die Untersuchungen auf PAK bzw. Benzo-a-pyren der Einzelproben EP 2. D bis EP 5. D deutlich. Der repräsentierte Oberboden ist definitionsgemäß nach § 12, Absatz 4, BBodSchV nicht für landwirtschaftliche Folgenutzungen geeignet.

Im Rahmen der Erschließung des Untersuchungsgebietes sind in Bezug auf die Teilfläche D folgende Möglichkeiten zum Umgang mit dem Oberboden möglich:

- Abdeckung des Oberbodens der Teilfläche D mit einem Trennvlies als Grabesperre. Anschließend ist auf das Trennvlies ein sauberer mind. 50 cm starker „sauberer“ Oberboden als Abdeckung aufzubringen. Für den neu aufzubringenden Oberboden sollte vorab durch entsprechende chemische Analysenberichte nachgewiesen werden, dass die entsprechenden Vorsorgewerte der BBodSchV und ggf. auch die zugehörigen 70 % - Vorsorgewerte eingehalten werden. Sofern jedoch die im Zuge der Erschließung anfallenden Oberböden der Flächen A bis C auf der Fläche D aufgebracht werden, erübrigen sich die v. g. Nachweise; diese liegen bereits vor.



- Zudem könnte das Oberbodenmaterial ggf. großzügig bis rd. 0,50 m Tiefe abgetragen und einer geeigneten Oberbodenaufbereitung (Bodenwäsche, etc.) unterzogen werden; ggf. zur Deponieabdeckung verwendet oder einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Im Rahmen einer eventuellen Bodenabtragung sind weiterführende chemische Untersuchungen notwendig um den Nachweis erbringen zu können, dass die Verunreinigungen vollständig beseitigt wurden, wobei hier sämtliche notwendige Vorgehensweisen mit den zuständigen Behörden abzustimmen sind. Diese chemischen Untersuchungen sind nach dem Abtrag des Oberbodens durchzuführen (relevanter Untersuchungsparameter: PAK). Wird die Abtragsfläche als sauber eingestuft, kann sauberer Oberboden, welcher die Vorsorgewerte einhält, aufgetragen werden.

4.6 Prüfwerte gemäß BBodSchV des Wirkungspfad des Boden - Mensch für den untersuchten Oberboden hinsichtlich verschiedener Nutzungsarten

Im Rahmen der Erschließung des Baugebietes ist neben der Errichtung von Wohnbebauungen auch mit der Herstellung von Kinderspielflächen sowie Freizeitanlagen zu rechnen.

Hinsichtlich der o. g. Nutzungsarten ist ein direkter Kontakt zwischen Mensch, als Schutzgut und Boden, als eventuelle Schadstoffquelle, möglich (vgl. § 2, Nr. 8, BBodSchV, Definition Wirkungspfad: „Weg eines Schadstoffs von der Schadstoffquelle bis zum Ort einer möglichen Wirkung auf ein Schutzgut.“).

Für die Bewertung des direkten Kontaktes zwischen der Schadstoffquelle Boden und dem Schutzgut Mensch werden in der BBodSchV im s. g. Wirkungspfad Boden-Mensch Prüfwerte für Metalle und organische Schadstoffe in der Tabelle 1.4



im Anhang 2 für verschiedene Nutzungsarten („Kinderspielflächen“ – als sensibelste Nutzungsart, „Wohngebiete“, „Park-/Freizeitanlagen“, „Industrie-/Gewerbegrundstücke“) dargestellt.

Die o. g. drei Nutzungen werden nach BBodSchV folgendermaßen definiert:

- Kinderspielflächen = Aufenthaltsbereiche für Kinder, die ortsüblich zum Spielen genutzt werden, ohne den Spielsand von Sandkästen. Amtlich ausgewiesene Kinderspielplätze sind ggf. nach Maßstäben des öffentlichen Gesundheitswesens zu bewerten.
- Wohngebiete = dem Wohnen dienende Gebiete einschließlich Hausgärten oder sonstige Gärten entsprechender Nutzung, auch soweit sie nicht im Sinne der Baunutzungsverordnung planungsrechtlich dargestellt oder festgesetzt sind, ausgenommen Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen sowie befestigte Verkehrsflächen.
- Park-/Freizeitanlagen = Anlagen für soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke, insbesondere öffentliche und private Grünanlagen sowie unbefestigte Flächen, die regelmäßig zugänglich sind und vergleichbar genutzt werden.

Definitionsgemäß beschreiben die Prüfwerte bei deren Überschreitung, in Abhängigkeit ihrer Nutzung, ob von einer schädlichen Bodenveränderung bzw. Altlast auszugehen ist („Belastungsschwelle“).

Werden für die Metalle bzw. organischen Schadstoffe die Vorsorgewerte mit den entsprechenden Prüfwerten verglichen, ist festzustellen, dass die Vorsorgewerte deutlich enger gefasst sind als die entsprechenden Prüfwerten (Beispiel: Vorsorgewert für Benzo-a-pyren als Leitparameter der PAK beträgt für Humusgehalte $\leq 8\%$ 0,3 mg/kg; der entsprechende Prüfwert für die Nutzungsart „Kinderspielflächen“ beträgt 2 mg/kg).



4.6.1 Bewertung

4.6.1.1 Vergleich der Schadstoffgehalte der Oberbodenmischproben der Teilflächen A bis D mit den Prüfwerten nach BBodSchV im Wirkungspfad Boden-Mensch

In der Anlage 10 werden die detektierten Schadstoffgehalte gem. den Analysenvorgaben der Vorsorgewerte der BBodSchV (vgl. Kapitel 4.5.1 -Vorbemerkungen zu den Vorsorgewerten gem. BBodSchV-) mit den entsprechenden Prüfwerten des Wirkungspfades Boden-Mensch gemäß Anhang 2, Tabelle 1.4 der BBodSchV für die sensibelste Nutzungsart „Kinderspielflächen“ verglichen.

Für die Untersuchungsparameter werden die entsprechenden Prüfwerte für die durch die Mischproben jeweils repräsentierten Teilflächen deutlich unterschritten. Somit ist auch in Bezug auf den Abgleich mit den Prüfwerten in Bezug auf die zukünftige Nutzung definitionsgemäß nach Vorgaben der BBodSchV davon auszugehen, dass für den Oberboden eine schädliche Bodenverunreinigung bzw. der Altlastenverdacht für die untersuchten Teilflächen auszuräumen ist.

Die Prüfwerte für die Nutzungsart „Wohngebiete“ entsprechen jeweils den doppelten Gehalten der Prüfwerte für die Nutzungsart „Kinderspielflächen“, ausgenommen für Cadmium, und werden ebenso von den 4 Mischproben deutlich unterschritten (vgl. Anlage 11; Gegenüberstellung Schadstoffgehalte – Prüfwerte BBodSchV-Wohngebiete). Für Cadmium gilt: „In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nutzpflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,00 mg/kg als Prüfwert anzuwenden.“

Für die Nutzungsart Park-/Freizeitanlagen werden die entsprechenden Prüfwerte ebenfalls eingehalten (vgl. Anlage 12; Gegenüberstellung Schadstoffgehalte – Prüfwerte BBodSchV-Park-/Freizeitanlagen).



4.6.1.2 Vergleich der Benzo-a-pyren-Gehalte der Einzelproben der Teilfläche D mit den zugehörigen Prüfwerten o. g. Nutzungsarten gemäß BBodSchV

Für die Bildung der Mischprobe der Teilfläche D erfolgte in Bezug auf die Messparameter PAK und Benzo-a-pyren eine Nivellierung der entsprechenden Gehalte. D. h. es treten s. g. „Verdünnungseffekte“ auf hinsichtlich der Schadstoffparameter auf.

Für die detektierten Einzelproben der Fläche D sind in der nachfolgenden Tabelle die Benzo-a-pyren-Gehalte den entsprechenden Prüfwerten für die Nutzungsarten „Kinderspielflächen“ – als sensibelste Nutzungsart, „Wohngebiete“ und „Park-/Freizeitanlagen“ gegenübergestellt.

Für die Nutzungsart Kinderspielflächen wird der Prüfwert für Benzo-a-pyren lediglich nur von den Einzelproben EP 1. D und EP 5.D eingehalten; für die Proben EP 2. D bis EP 4.D überschreiten die detektierten Gehalte jeweils den Prüfwert. Die Benzo-a-pyren-Prüfwerte für die Nutzungsarten „Wohngebiete“ und Park-/Freizeitanlagen werden von den fünf Einzelprobe jeweils unterschritten.

Ein direkter Kontakt zwischen dem Schutzgut Mensch, im Speziellen Kinder, mit der Schadstoffquelle Oberboden (in Gärten, Spiel- und Brachflächen) des Untersuchungsbereiches D lässt sich nicht ausschließen. Dementsprechend wird die Durchführung einer der im Kapitel 4.5.3 dargestellten „Bodenverbesserungen“ empfohlen.



Tabelle 5: Ergebnisse der Benzo-a-pyren-Feststoffanalysen der Einzelproben der Teilfläche D im Vergleich mit den zugehörigen Prüfwerten nach BBodSchV

| Einzelproben | detektierter Benzo-a-pyren-Gehalt [mg/kg] | Prüfwert Benzo-a-pyren Kinderspielflächen [mg/kg] | Prüfwert Benzo-a-pyren Wohngebiete [mg/kg] | Prüfwert Benzo-a-pyren Park-/Freizeitanlagen [mg/kg] |
|--------------|---|---|--|--|
| EP 1. D | n. n. | 2 | 4 | 10 |
| EP 2. D | 4,3 | | | |
| EP 3. D | 3,9 | | | |
| EP 4. D | 3,9 | | | |
| EP 5. D | 1,3 | | | |

n. n.: nicht nachweisbar

4.7 Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Bindemittelbestimmungen an Asphaltbohrkernen

An den Bohrkernen BK 7, BK 8 und BK 9 (Asphalttragdeckschichten) konnte jeweils qualitativ mittels Farbindikationsverfahren kein Straßenpech im Bindemittel nachgewiesen werden.

Dies deckt sich auch mit der absichernden quantitativen – chemischen Untersuchung. Es konnten die Schadstoffparameter PAK am Feststoff und Phenole im Eluat nicht nachgewiesen werden. Die detektierten Gehalte lagen jeweils unterhalb der zugehörigen Bestimmungsgrenzen.

Die Asphalttragdeckschichten sind somit als teerfrei einzustufen. Nach RuVA-StB 01 sind die repräsentierten Asphaltmaterialien der Verwertungsklasse A zuzuordnen bzw. können im Kaltmischverfahren wiederverwertet werden.



4.8 Charakteristische Bodenkennwerte

Die charakteristischen Bodenkennwerte werden wie folgt festgelegt.

Tabelle 5: Charakteristische Bodenkennwerte GK 2/3, Lockergesteine

| Parameter | | Schicht II: |
|-----------|---|--|
| 1 | Homogenbereich (DIN 18300:2015-08) | A |
| 2 | Ortsübliche Bezeichnung | Lehm/Ton |
| 3 | Bodengruppe (DIN 18196) | TL, TM (SU*) |
| 4 | Korngrößenverteil- ungen/Bodenarten | T, s, (g'-g) (S, u) |
| 5 | Anteil Steine und Blöcke [%] (geschätzt) | 0 - 5 |
| Parameter | | Schicht II |
| 6 | Anteil große Blöcke [%] (geschätzt) | 0 - 1 |
| 7 | Dichte, feucht [g/cm ³] | 2,0 - 2,3 |
| 8 | Undränierete Scher- festigkeit [kN/m ²] | 50 - 200 |
| 9 | Wassergehalt [%] | t ≤ 1,0 m: 15 - 25 t > 1,0 m: 10 - 20 |
| 10 | Konsistenz | steif-halbfest (fest) |
| 11 | Konsistenzzahl I _c [-] | 0,5 - 1,0 (- 1,5) |
| 12 | Plastizitätszahl I _p [%] | 20 - 25 |
| 13 | Lagerungsdichte bzw. Lagerung | - |
| 14 | Organischer Anteil v _{gl} [%] | - |



| | | |
|----|---|-----------------------------------|
| 15 | Wichte γ_k [kN/m ³] | 19 – 21 |
| 16 | Reibungs- winkel φ'_k [Grad] | 25 |
| 17 | Kohäsion c'_k [kN/m ²] | 20 - 30 |
| 18 | Steifeziffer $E_{s,k}$ [MN/m ²] | 5 – 10 |
| 19 | Bodenklasse nach alter DIN 183000 | 4 - 5 |
| 20 | Frostempfindlich- keitsklasse | F 3 (sehr frostempfindlich) |

() Klammerwerte von untergeordneter Bedeutung



5. Gutachterliche Bewertung

5.1 Kanalbau

5.1.1 Tragfähigkeit des Rohraufagers

Bei voraussichtlichen Tiefenlagen der Kanalsohlen von ca. 2-4 m unter derzeitigem Geländeniveau werden die Rohraufager mit Verweis auf die Bohrprofile der Anlage 1.1 in den Lehmen der Schicht II einbinden. Vereinzelt liegt der Horizont des Rohraufagers in feinteilhaltigen Sanden.

Die steif bis halbfesten (festen) Tone stellen auf Grund der als günstig zu bewertenden Konsistenzen ein gut tragfähiges Auflager zur Aufnahme der Kanalrohre dar. Hier ist eine Stärke der unteren Bettungsschicht von 10 cm nach EN 1610 ausreichend. Stabilisierende Maßnahmen im Sohlbereich der Kanäle wie zusätzlicher Bodenaustausch, Geotextilien o.ä. brauchen innerhalb dieser Schichten nicht durchgeführt werden.

Es ist nicht ganz auszuschließen, dass in Teilbereichen infolge von Staunässe weiche Lehme anstehen, für die eine 10 cm dicke Bettungsschicht nicht ausreichend ist. Für derartige Abschnitte empfehlen wir, das Rohraufager auf insgesamt 30 cm zu verstärken. Geeignete Mineralstoffgemische für die Auflagerverstärkung sind Hartsteinbrüche der Körnungen 0/32 mm oder 0/45 mm mit einem maximalen Feinteilgehalt von 5 Gew.-%. Neben der Erhöhung der Tragfähigkeit des Rohraufagers wird durch den Bodenaustausch auch die Verdichtbarkeit der Erdstoffe im Bereich der Leitungszone und des darüber liegenden Grabenraumes verbessert.



5.1.2 Grabensicherung und Wasserhaltung

Da innerhalb der Straße nur ein geringer Freiraum im Bereich der Kanaltrasse vorliegt, sind die Leitungsgräben im Normverbau (Tafelbauverfahren) aufzufahren. In diesem Zusammenhang verweisen wir auf die DIN 4124 sowie die EN 1610.

Sofern in den neuen Erschließungsstraßen die Kanalgräben nicht mit Normverbauen gesichert sondern frei abgeböschert werden sollen, gelten folgende Böschungsneigungen:

- für Gräben mit Tiefen von $t \leq 1,25$ m:
 - vertikale Grabenwände
- für Gräben mit Tiefen von $t = 1,25 - 1,75$ m:
 - oberste 50 cm: 45°-Böschung
 - untere 1,25 m: 90°-Grabenwand
- für Gräben mit Tiefen von $t = 1,75 - 4,0$ m:
 - 60°-Grabenböschungen

Grundwasser wurde am Tage der Untersuchungen nicht angetroffen. Die Wasserhaltung in Form einer offenen Wasserhaltung beschränkt sich auf die Fassung und Ableitung von Niederschlags- und Oberflächenwasser. Lokal kann Schichtenwasser oder Stauwasser auftreten. Die Mengen werden, wenn sie auftreten, gering sein.



5.1.3 Wiederverwertbarkeit von Aushubböden

1. Oberflächennahe Lehme

Die oberflächennah anstehenden Lehme, die unmittelbar unterhalb der Oberbodenaufgabe bis etwa zu einer Tiefe von 1,0 m anstehen, besitzen i.d.R. eine steife, verbreitet auch eine weiche Konsistenz, was sich in natürlichen Wassergehalten von 22% (gemessen) bis 25% (geschätzt) äußert. Jahreszeitliche Einflüsse können sogar zu höheren Wassergehalten führen. An den Verdichtungsgrad von Kanalgrabenverfüllungen wird ein Maß von 97% der Proctordichte gestellt. Um diese Verdichtungsanforderung zu erfüllen, muss der Einbauwassergehalt der Lehme kleiner sein, als der 97%ige Grenzwassergehalt (nasse Seite) von $W_{97,nass} = 16,1 - 16,4\%$. Die natürlichen Wassergehalte liegen deutlich darüber, so dass davon auszugehen ist, dass die bis in eine Tiefe von etwa 1 m anstehenden Lehme für einen qualifizierten Wiedereinbau als Kanalgrabenverfüllung ungeeignet sind. Mit Ihnen lässt sich ein Verdichtungsgrad von $D = 97\%$ der Proctordichte nicht erreichen. Deshalb empfehlen wir, die weich - steifen Lehme, sofern sie als Kanalgrabenverfüllung wiederverwertet werden sollen, durch Bindemittelzugabe zu verbessern. Die Bodenverbesserung muss voraussichtlich mit einer Bindemittelzugabemenge von 3 – 5 Gew.-% Weißfeinkalk (CaO) erfolgen. Vor Aufnahme der Bauarbeiten muss durch die Bauunternehmung eine Eignungsprüfung erstellt werden, um in Abhängigkeit der natürlichen Wassergehalte die erforderliche Bindemittelzugabemenge festzulegen. Es ist ein Mindestverdichtungsgrad von

$$D = 97\% \text{ der Proctordichte } D_{pr}$$

zu erfüllen. Wir empfehlen, die Bindemittel verbesserten Böden in den oberen Bereich des Kanalgrabens bis zum Erdplanum des Straßenoberbaus einzubauen, da nur auf Bindemittel verbesserten Lehmen der nach ZTVE-StB gefordert Mindestverformungsmodul $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ erfüllbar sein wird.



Auf dem Zwischenlager müssen die Lehme vor Niederschlagseinträgen durch Folienabdeckungen geschützt werden. Es ist zu vermeiden, dass Wassergehaltssteigerungen entstehen und dadurch noch höhere Bindemittelzugabemengen erforderlich werden.

Da die Tone eine sehr starke Kohäsion besitzen, muss die Frästechnik speziell auf diese Böden abgestimmt werden. Für die Fräsarbeiten sind Verfahren mittels Schaufelseparator oder landwirtschaftlicher Fräsen ungeeignet. Stattdessen muss eine Hochverwirbelungsfräse eingesetzt werden, die nach 2 – 3 Fräsgängen ein feinkrümeliges Boden-Bindemittelgemisch erzeugt. Die Aggregatgröße des gefrästen Bodens darf nicht größer als 20 mm sein. Zu berücksichtigen ist, dass stellenweise Steine im Lehm eingelagert sein können, die zu einem erhöhten Verschleiß am Fräswerk führen können.

2. Lehme im Tiefenabschnitt von 1 – 4 m:

Die im Tiefenabschnitt von > 1 m zu erwartenden steif bis halbfest konsistenten und stellenweise sogar fest konsistenten Tone besitzen mit Verweis auf die Wassergehaltsbestimmungen natürliche Wassergehalte von $w_{\text{nat}} = 13,6 - 16,7$ Gew.-%. Damit liegen die natürlichen Wassergehalte im Spektrum, das sich mit der Spanne zwischen dem optimalen Wassergehalt $w_{\text{opt}} (= 13,2 - 13,7$ Gew.-%) bis zum 97%igen Grenzwassergehalt $w_{97\%,\text{nass}} (= 16,1$ bis $16,4$ Gew.-%) deckt. Es ist somit davon auszugehen, dass die tieferliegenden Tone sich für eine Wiederverwertung als Kanalgrabenverfüllung mit einem Mindestverdichtungsgrad von $D = 97\%$ der Proctordichte D_{pr} einbauen lassen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die entnommenen Tone auf dem Zwischenlager gut abgewalzt werden und vor nachträglichen Vernässungen durch Folienabdeckungen geschützt werden. Ansonsten führt die nachträgliche Vernässung zu ebenfalls erforderlich werden dem Bindemittelleinsatz.



Des Weiteren werden die steif bis halbfesten bis festen Tone im Zuge der Grabenauskofferungsarbeiten so grobstückig sein, dass sie sich nicht mehr in dünnen Lagen von 20 bis 30 cm einbauen lassen. Vor dem Wiedereinbau müssen die grobstückigen Lehme mit einer Hochverwirbelungsfräse zerkleinert werden. Es sind 1 – 2 Fräsgänge erforderlich, um die für den dünnlagigen Wiedereinbau maximal zulässige Aggregatgröße von $a = 2/3$ der Lagenstärke (20 cm) = 7 cm sicherzustellen.

Die stellenweise im Zuge der Kanalaushubarbeiten anfallenden tonigen Sande der Bodengruppe SU*, die z.B. bei RK 1 im Tiefenbereich von 1,0 bis 3,7 m angetroffen wurden, werden aufgrund ihrer Vernässung ungeeignet für den unverbesserten Wiedereinbau in die Kanalgrabenzonen sein. Sofern die verlehmtten Sande einer Wiederverwertung zugeführt werden sollen, müssen sie analog zu Ziffer 1 mit Bindemittel verbessert werden.

5.2 Baupraktische Empfehlungen für den Bau des Lärmschutzwalls

5.2.1 Wallneigung 1 : 1,5

Die entlang der östlichen und nördlichen Grenze des Baugebietes geplanten Lärmschutzwälle sollen unter Böschungswinkeln von 1:1,5 (= 33°) und mehrere Meter hoch errichtet werden. Der an Baustoffe für Lärmschutzwälle zu stellende Mindestverdichtungsgrad beträgt $D = 95\%$ der Proctordichte D_{pr} .

Sofern überschüssige Tone aus den Kanalgrabenaushüben für den Bau von Lärmschutzwällen wiederverwertet werden sollen, müssen die beiden nachfolgenden Anforderungen erfüllt werden:

1. Mindestverdichtungsgrad $D = 95\% D_{pr}$ und
2. Standsicherheit von 1 : 1,5 geneigten Böschungen.



Unter Berücksichtigung, dass mit Verweis auf die Proctorkurven in Anlage 2.4 die 95% Grenzwassergehalte $W_{95\%,nass} = 17,4$ bis $17,7$ Gew.-% betragen, sind die oberflächennah anstehenden weich bis steifkonsistenten Lehme im Hinblick auf den geforderten Mindestverdichtungsgrad ungeeignet und die in größerer Tiefe (ca. 1 – 4,0 m) anstehenden steif bis halbfesten (festen) Lehme geeignet. Zusätzlich muss die dauerhafte Standsicherheit der Lärmschutzwälle gewährleistet sein. Die Standsicherheit der reibschwachen Lehme mit einem inneren Reibungswinkel von $\varphi' = 25^\circ$ lässt sich jedoch aufgrund der steilen Böschungsneigungen von $\beta = 33^\circ$ auf Dauer nicht sicherstellen. Sofern mit unverbesserten Tonen gebaut würde, müsste bei den sehr witterungsempfindlichen und frostempfindlichen F3-Böden auf Dauer mit dem Verlust der Kohäsion der böschungsoberflächennahen Böden gerechnet werden. Durch Frosteinwirkungen und Niederschlagseinträge geht die Kohäsion der böschungsoberflächennah anstehenden Böden auf annähernd $c' = 0$ kN je m^2 zurück und es wirkt nur noch die innere Reibung mit $\varphi' = 25^\circ$. Anhand der einfachen Beziehung

$$\begin{aligned}\eta &= \tan \varphi' / \tan \beta \\ &= \tan 25^\circ / \tan 33^\circ \\ &= 0,72\end{aligned}$$

zeigt sich, dass das System labil ist, weil der Standsicherheitsbeiwert η unter 1 liegt.

Wir empfehlen deshalb, sämtliche Tone, die in den Lärmschutzwall eingebaut werden sollen, unabhängig von ihrer Konsistenzbeschaffenheit und somit unabhängig von ihrem Wassergehalt, mit einem Mischbinder von z.B. 30% Zement/70% Weißfeinkalk in einer Mindestzugabemenge von 3 Gew.-% zu verbessern. Der Verdichtungsgrad von $D = 95\% D_{pr}$ wird dadurch sichergestellt. Des Weiteren wird der ursprüngliche sehr frostempfindliche F3-Boden in den mittelfrostempfindlichen Bereich F2 verschoben. Durch die Bindemittelverbesserung entstehen chemische Bindungen, die den 1 : 1,5 geneigten Böschungen dauerhafte Standsicherheiten verleihen.



Die Dammbaulagen sind in Einbaulagen von nicht dicker als $d = 30$ cm im Überprofil zu erstellen. Das Arbeiten im Überprofil sorgt dafür, dass auch die dammböschungsoberflächennahen Bereiche ordnungsgemäß verdichtet werden. Später sind die Böschungsoberflächen auf die Sollgeometrie durch eine glatte Baggerschneide abzuziehen.

Damit die Lärmschutzwalloberflächen biologisch gesichert werden, empfehlen wir ein leichtes bepudern der Böschungsoberflächen mit Oberboden (nicht dicker als 10 cm) und eine unmittelbare Ansaat nach Fertigstellung des Erdbauwerkes. Hierfür eignen sich die Oberböden der Flächen A bis C des Erschließungsgebietes. Der Auftrag von Oberboden der Teilfläche D ist nicht zu empfehlen, es besteht die Möglichkeit, dass Kinder sich auf den Lärmschutzwällen aufhalten und somit in direkten Kontakt mit den PAK- bzw. Benzo-a-pyrenhaltigen Oberböden treten können.

Für die Anpflanzung von kleinen Bäumen und Büschen sind Pflanzmulden im Wall auszuheben und mit rekultivierungsfähigem Boden zu verfüllen. Darin lassen sich dann die Anpflanzungen vornehmen. Es ist zu berücksichtigen, dass Bindemittel verbesserte Wallböden ein ungünstiges Pflanzbodenmilieu darstellen. Bäume und Büsche werden sich nicht voll entfalten können.

Die Bindemittelverbesserung der Lärmschutzwallböden führt auch dazu, dass der Wall verhältnismäßig robust gegenüber den anfänglichen stärkeren Witterungseinwirkungen sein wird, wenn die biologische Sicherung noch nicht vollständig gegriffen hat.

Das Arbeiten im Überprofil ist auch deshalb zweckmäßig, damit mit schwerer Walzentechnik bis zur Dammkrone gearbeitet werden kann.

Das Bauverfahren für den Lärmschutzwall ist im Zuge eines Probebaus zu testen, nachdem eine Eignungsprüfung für das Wallbaumaterial erstellt ist.



Alternativ zum Nachweis des Verdichtungsgrades von $D = 95\% D_{pr}$ bietet sich auch die Durchführung von Lastplattendruckversuchen nach DIN 18134 an. Der dann zu fordernde Mindestverformungsmodul muss

$$E_{v2} = 50 \text{ MN/m}^2$$

betragen.

5.2.2 Wallneigung 1 : 2

Sofern eine Neigung der Wallböschungen von 1 : 2 zugelassen wird, weil die erforderliche Wallaufstandsfläche verfügbar ist, sind auch sämtliche Abtragsböden ohne Bindemittelverbesserung wieder einbaubar. Die Standsicherheit ist gewährleistet.

Die Dicke der Oberbodenandeckung darf maximal 20 cm betragen.

Die Bepflanzungsverhältnisse für Büsche und Bäume sind in unverbesserten Wallbauböden günstiger als in steiler geneigten Wällen.

5.2.3 Empfehlungen für weiterführende Untersuchungen auf der Teilfläche D

Aufgrund der in den Oberbodenproben der Teilfläche D detektierten PAK-Gehalte, einschließlich Benzo-a-pyren-Gehalte als PAK-Leitparameter, wird die Ausführung einer weiterführenden Erkundung des Untergrundes empfohlen. Hinsichtlich der PAK-Gehalte ist zu prüfen, wie weit diese ggf. in den Untergrund hineinreichen (Abteufen von 5 Rammkernbohrungen bis ca. 1,50 m an den Oberbodenprobennahmestellen und Untersuchung der entnommenen Einzelbodenproben auf PAK, ggf. auch Untersuchungen hinsichtlich des Wirkungspfades Boden – Grundwasser nach BBodSchV).



6. Weitere Hinweise

Baugrundaufschlussuntersuchungen basieren zwangsläufig auf punktförmigen Aufschlüssen, so dass Abweichungen von den vorstehend beschriebenen Verhältnissen zwischen den Untersuchungsstellen nicht völlig ausgeschlossen werden können. Die PTM Geotechnik Arnsberg GmbH behält sich daher eine Überprüfung der Baugrundverhältnisse im Zuge förmlichen Abnahmen, gegebenenfalls auch ergänzende Ausführungshinweise, vor.

Der Baugrundbericht gilt für das in Abschnitt 2 angegebene Objekt im Zusammenhang mit den Projektdaten. Eine Übertragung der Untersuchungsergebnisse auf andere Projekte ist ohne Zustimmung der PTM Geotechnik Arnsberg GmbH nicht zulässig.

Dipl.-Ing. B. Dietrich

Verfasser Beitrag Chemie: Dipl.-Ing Anke Zienert und Dr. Steger