

**Amand GmbH & Co. KG
Bornheim Hersel KG
Borsigstraße 6-8
40880 Ratingen**

BV Überbauung eines Teilbereichs der ehemaligen Kiesgrube
„Hersel“, Bornheim-Hersel,
Baugrundtechnische Untersuchungen

Erläuterungsbericht vom 20.04.2016

DR. TILLMANNS & PARTNER GMBH
Kopernikusstr. 5 • 50126 Bergheim
Tel.: 02271/801-0 • Fax: 02271/801-108

MAPPENINHALT

1. Erläuterungsbericht	
2. Übersichtskarte M 1:25.000	Anlage 1
3. Lageplan M 1:1.000	Anlage 2
4. Profilschnitte M 1:500 / 1:100	Anlage 3
5. Bodenluftbelastungskarten M 1:1.000	Anlage 4
6. Historische Entwicklung M 1:25.000	Anlage 5
7. Schichtenverzeichnisse der Kleinrammbohrungen	Anlage 6
8. Schlagzahlprotokolle und Rammdiagramme	Anlage 7
9. Vermessungsprotokoll	Anlage 8
10. Probenahmeprotokoll Bodenluft	Anlage 9
11. Glühverluste	Anlage 10
12. Analysenprotokolle	Anlage 11

PROJEKT NR.:
9234-01-16

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines und Veranlassung.....	4
2. Untersuchungsablauf	5
3. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse	6
4. Abriss der historischen Entwicklung.....	9
5. Untergrundverhältnisse	10
4.1 Kleinrammbohrungen (RKS)	10
4.2 Rammsondierungen (DPH)	13
4.3 Glühverluste	14
4.4 Bodenluftuntersuchungen.....	15
5. Baugrundtechnische Angaben	19
5.1 Bodenkenngrößen	19
5.2 Homogenbereiche	20
6. Wasserhaltung und Bauwerksabdichtung	22
7. Gründungsempfehlungen.....	23
7.1 Wohnbebauung	24
7.2 Kanalbau	31
7.3 Straßenbau.....	33
7.4 Allgemeines.....	34

**BV Überbauung eines Teilbereichs der ehemaligen Kiesgrube „Hersel“,
Bornheim-Hersel,
Baugrundtechnische Untersuchungen**

1. Allgemeines und Veranlassung

Die Amand GmbH & Co. KG Bornheim-Hersel KG, Borsigstraße 6-8 in 40880 Ratingen, plant die Überbauung eines Teilbereiches der ehemaligen Kiesgrube „Hersel“ in Bornheim-Hersel. Hierbei sollen vorwiegend nicht unterkellerte Einfamilienwohnhäuser, am östlichen und südlichen Randbereich optional auch Mehrfamilienhäuser mit Keller/Tiefgaragen errichtet werden.

Die Lage des Bauvorhabens ist in der Übersichtskarte in Anlage 1 und im Lageplan in Anlage 2 ausgewiesen.

Der überplante Bereich (Gemarkung Hersel, Flur 1) weist eine Grundfläche von ca. 465 x 140 m auf liegt im westlichen Randbereich der Ortslage Hersel. Entlang der Südgrenze des Plangebietes verläuft ein Feldweg, entlang der Ostgrenze die Gleise der Rheinuferbahn. Östlich der Bahnlinie liegt die Elbestraße. Die Zufahrt zum Plangebiet erfolgt zurzeit von Südwesten her über einen Flugplatz für Modellflugzeuge.

Derzeit stellt das Gelände eine relativ ebene brachliegende Grünfläche dar. Vom Nordwestrand bis in Zentrum erstreckt sich eine rd. 0,5 m tiefe Stauwasseransammlung. Nach vorliegenden Unterlagen liegen die Geländehöhen zwischen 56,5 m NN (Südwestecke) und 58,7 m NN (Südosten), wobei die derzeitige Geländeoberkante (GOK) mehrheitlich zwischen 57 m N und 58 m NN verläuft. Der Rhein fließt rd. 500 m nordöstlich des Untersuchungsgebietes.

Für den überplanten Teilbereich der ehemaligen Kiesgrube Hersel hatte das Ingenieurbüro Dr. Tillmanns & Partner GmbH bereits Boden- und Bodenluft sowie

orientierende baugrundtechnische Untersuchungen durchgeführt und Ergebnisse mit den Berichten vom 10.04.2104, 17.07.2014 und 15.12.2015 vorgelegt.

Die Amand GmbH & Co. KG Bornheim-Hersel KG beauftragte das Ingenieurbüro Dr. Tillmanns & Partner GmbH in 50126 Bergheim mit Schreiben vom 21.12.2015 mit weiteren baugrundtechnischen Untersuchungen und einer Auswertung der Befunde hinsichtlich möglicher Gründungsvarianten. Grundlage des Auftrags ist ein Angebot der Dr. Tillmanns & Partner GmbH vom 18.12.2015.

Darüber hinaus sollten zur Beurteilung des Gaspotentials Bodenluftproben gewonnen und auf deponietypische Gase untersucht werden.

2. Untersuchungsablauf

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden vom 19.01. bis 01.04.2016 im überplanten Bereich 31 Kleinrammbohrungen nach DIN EN ISO 22475 (Rammkernsondierungen, RKS Ø 60-36 mm) und 31 Rammsondierungen (DPH) mit der schweren Rammsonde nach DIN EN ISO 22476-2 niedergebracht.

Zur Untersuchung der Bodenluft wurden an den jeweiligen Untersuchungsstellen die RKS oder die DPH mittels 2 m Filterrohr und 1 m Aufsatzrohr sowie einer Tonabdichtung des Ringraums zu provisorischen Bodenluftmessstellen ausgebaut. Die Entnahme der Bodenluftproben zur Bestimmung der Bodenluft-Hauptkomponenten erfolgte mittels Gasspritzen.

Die Sondier-/Bohransatzpunkte wurden nach Lage und Höhe eingemessen. Als Höhenfestpunkt (HFP) wurde - wie bei den Voruntersuchungen - ein im Feldweg südlich des Plangebietes liegender Höhenpunkt mit der angegebenen Höhe von 55,00 m NN gewählt. Die Lage des HFP ist im Lageplan in Anlage 2 ausgewiesen. Das Vermessungsprotokoll ist in Anlage 8 dokumentiert.

Die chemischen Untersuchungen von Bodenluftproben wurden von der Eurofins Umwelt West GmbH, einer staatlich anerkannten Untersuchungsstelle in 50389 Wesseling, durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse lagen in der 15. KW 2016 vollständig vor.

Im bodenmechanischen Labor der Dr. Tillmanns & Partner GmbH wurden zur Bestimmung von organischen Anteilen der Glühverlust nach DIN 18 128 an 9 aus den Bohrungen gewonnenen Einzelproben bestimmt.

3. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

Zur Ermittlung der geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich und Umfeld des Grundstücks wurden folgende Karten und Unterlagen ausgewertet:

- Geologische Karte von Preußen M 1:25.000, Blatt 5208 Bonn, Stand 1930;
- Hydrologische Karte von NRW, M 1:25.000, Blatt 5208 Bonn, Stand 1958/1992;
- Grundwasserhöhengleichen M 1:50.000, Blatt 5306/08 Euskirchen/Bonn, Stand 10/63;
- Grundwassergleichen M 1:50.000, Blatt 5306 Bonn, Stände 10/73 und 04/88;
- Wasserschutzgebiete in Nordrhein-Westfalen M 1:50.000, Blatt L 5308 Bonn, Stand 04/90;
- Wasserinformationssystem ELWAS-WEB des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW), Stand 27.10.2014;
- Boden- und Bodenluftuntersuchungen in einem Teilbereich der verfüllten Kiesgrube Bonn-Hersel; Bericht vom 10.04.2014 erstellt durch die Dr. Tillmanns & Partner GmbH in 50126 Bergheim;

- Boden- und Bodenluftuntersuchungen in einem Teilbereich der verfüllten Kiesgrube Bonn-Hersel, 1. Nachtrag vom 17.07.2014 erstellt durch die Dr. Tillmanns & Partner GmbH in 50126 Bergheim;
- Zusammenfassende Beschreibung und Bewertung der vom Ingenieurbüro Dr. Tillmanns & Partner GmbH in einem Teilbereich der verfüllten Kiesgrube Bonn-Hersel durchgeführten Boden- und Bodenluftuntersuchungen, Bericht vom 15.12.2014 erstellt durch die Dr. Tillmanns & Partner GmbH in 50126 Bergheim,
- Bebauung der ehem. Kiesgrube Hersel, Machbarkeitsstudie zur Bebauung, Bericht vom 06.10.2006 erstellt durch die Kühn Geoconsulting mbH in 53127 Bonn,
- Ergebnisse einer orientierenden Machbarkeitsstudie zur Altlastensituation, Bericht vom 31.10.2006 erstellt durch die Kühn Geoconsulting mbH in 53127 Bonn sowie
- die Ergebnisse der aktuell durchgeführten Bohrungen und Sondierungen.

Gemäß den ausgewerteten Unterlagen bilden im Untersuchungsgebiet rd. 2 m mächtige, schluffig-sandige Hochflutbildungen des Holozäns den anthropogen unbeeinflussten Untergrund. Im Liegenden der Hochflutsedimente stehen bei ungestörten Verhältnissen pleistozäne Sande und Kiese der Niederterrasse des Rheins an, die bis rd. 25 m unter GOK reichen und von tertiären Sanden und Tonen (Kölner Schichten) unterlagert werden.

Nach vorliegenden Unterlagen liegt das Plangebiet zum Großteil im Bereich einer wiederverfüllten ehemaligen Kiesabgrabung mit Auffüllmächtigkeiten bis zu 20 m.

Die Rheinterrassenablagerungen bilden das Obere freie Grundwasserstockwerk. Für das Untersuchungsgebiet sind aus den Karten die folgenden Grundwasserstände abzuleiten.

Stand	Grundwasserspiegel (m NN)
10/63	ca. 43,6
10/73	ca. 43,3
04/88	ca. 46,2-46,6

Bei Geländehöhen von 57-58 m NN liegen die Grundwasserflurabstände danach im Plangebiet zwischen ca. 10,4 m und 14,7 m.

In der im Internet verfügbaren Datenbank ELWAS-WEB sind Ganglinien für die folgenden, im Umfeld des Bauvorhabens liegenden Grundwassermessstellen bekannt:

1. Messstelle 076536014 - Horst Hersel I, ca. 200 m nordwestlich des BV
2. Messstelle 076539714 - BN Dep. Hersel 5, ca. 250 m südwestlich des BV
3. Messstelle 076523317 - Germania Hersel 2, ca. 220 m südöstlich des BV.

Die in diesen Messstellen festgestellten höchsten Grundwasserstände sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

<u>Messstelle</u>	Messzeitraum	höchster Grundwassertand m NHN (Datum)
076536014	1980-2003	47,64 (05.04.1988)
076539714	1977-2013	46,79 (08.04.1988)
076523317	1969-1994	47,53 (05.04.1988)

Unter Berücksichtigung der angeführten Daten wird der Bemessungswasserstand für das vorliegende Bauvorhaben mit ausreichender Sicherheit bei **49 m NHN** angesetzt. Dies entspricht bei Geländehöhen von 57-58 m NN Flurabständen von ca. 8 m bis 9 m.

Der überplante Bereich liegt in einer Wasserschutzzone III B.

Nach der Karte der Erdbebenzonen des Geologischen Dienstes NRW aus 06/2006 befindet sich das Untersuchungsgebiet in einer Erdbebenzone 1 und ist der Untergrundklasse T zuzuordnen. Der Baugrund wird in die Baugrundklasse C gestellt.

4. Abriss der historischen Entwicklung

Zur Darstellung eines Abrisses der historischen Entwicklung des Untersuchungsgebietes wurde die Topographische Karte m 1:25.000, Blatt 5308 Bonn, zu den Ständen 1893 bis 2004 eingesehen und ausgewertet. In der Anlage 5 sind die relevanten Kartenausschnitte der topografischen Karten ausgewiesen.

Die bis zum Stand 1951 eingesehenen Karten weisen das Plangebiet und sein näheres Umfeld als vermutlich landwirtschaftliche Nutzflächen aus. Zum Stand 1975 ist erstmals ca. 250 m nordwestlich des Plangebietes eine Abgrabung mit der Bezeichnung Sand ausgewiesen.

Die Karten zu den Ständen 1985 und 1989 zeigen nordwestlich des Untersuchungsgebietes 2 Nassabgrabungen. Das Untersuchungsgebiet stellt vermutlich noch eine landwirtschaftliche Nutzfläche dar.

Der Kartenstand 1994 weist erstmals den größten Teil des Untersuchungsgebietes als Kiesabgrabung aus, wobei sich im nördlichen Zentrum eine Nassabgrabung befindet. Der nordöstliche Randbereich liegt außerhalb der Abgrabung.

Zum Kartenstand 1998 beschränkt sich die Nassabgrabung auf einen kleineren Teilbereich im Südwesten des Plangebietes. Im Nordwesten und am Südoststrand sind Böschungssignaturen dargestellt, die auf Abgrabungsgrenzen hindeuten.

Die Karte zum Stand 2004 zeigt Böschungssignaturen im nordwestlichen Abschnitt des Plangebietes. An Südostgrenze des Untersuchungsgebietes ist ein langgestreckter Wall ausgewiesen.

5. Untergrundverhältnisse

Die zur Erkundung der Baugrundverhältnisse abgeteuften Kleinrammbohrungen (RKS 1 bis RKS 31) wurden überwiegend bis 7,0 m, im Bereich optional geplanter Unterkellerungen auch bis 8,1 m (RKS 23) und 10 m unter GOK (RKS 28, RKS 31) niedergebracht. Die RKS 19, RKS 23 und RKS 31 wurde wegen Bohrhindernissen in unterschiedlichen Tiefen abgebrochen und ein- und zweimal umgesetzt. Die RKS 19 wurde bei 3,1 m unter GOK vorzeitig abgebrochen.

Die zur Ermittlung der Lagerungsdichte/Konsistenz der Bodenschichten abgeteuften Rammsondierungen (DPH 1 bis DPH 31) wurden neben die Ansatzpunkte der RKS positioniert. Die DPH wurden entsprechend nummeriert und überwiegend bis 7,0 m bzw. 10,0 m unter GOK (optionale Unterkellerungen) niedergebracht. Die DPH 23 wurde einmal umgesetzt und bei 4,3 m unter Ansatzpunkt aufgegeben. Die DPH 10 und DPH 20 wurden wegen Bohrhindernissen bei ca. 6,8 m unter Ansatzpunkt vorzeitig abgebrochen.

Die Lage der RKS und DPH ist im Lageplan in Anlage 2 dargestellt.

4.1 Kleinrammbohrungen (RKS)

Die Kleinrammbohrungen wurden bei jedem Schichtwechsel, mindestens jedoch nach jedem Bohrmeter durch einen Diplom-Geologen beprobt. Die entnommenen Bodenproben werden 6 Monate vorgehalten. Die Befunde der RKS sind in Form von Schichtenverzeichnissen in Anlage 6 dokumentiert und in Profilschnitten in Anlage 3 gemeinsam mit den Bohrprofilen der Voruntersuchungen aus 2014 als Bohrprofile dargestellt.

Von wenigen Ausnahme abgesehen (Nordostecke: RKS 9, RKS 17) bilden im Bereich der Prüfpunkte **Auffüllungen** bis in Tiefen zwischen 2,1 m und 7,7 m unter GOK den unmittelbaren Untergrund. In den meisten Bohrungen reichen die Auffüllungen bis zu Endbohrtiefe von 7,0 m unter Ansatzpunkt.

Die obere, ca. 0,2 m bis 0,3 m mächtige Auffüllungsschicht wurde örtlich als humushaltiger Schluff angesprochen und stellt einen aufgefüllten **Oberboden** dar.

Gemäß den Schichtenverzeichnissen setzen sich die Auffüllungen vorwiegend aus schluffig-tonigem Bodenaushub, untergeordnet aus z.T. schwach schluffigen bis schluffigen Sand/Kies-Gemischen zusammen. Die Auffüllungen führen in unterschiedlichem Maße Bauschutt bis hin zur Hauptbodenart (RKS 12: 1,8-3,0 m, RKS 13: 1,6-2,5 m; RKS 15: 3,0-4,0 m, RKS 20: 3,5-5,0 m; RKS 21: 0,3-1,5 m; RKS 23: 1,5-7,0 m; RKS 31: 3,7-4,5 m). In den RKS 4 (2,6-4,2 m) und RKS 11: (3,0-4,0 m) wurden Aschen als Hauptgemengteile vorgefunden.

Stellenweise wurden untergeordnet organische Beimengungen angetroffen (RKS 7: 2,0-3,0 m, RKS 11: 3,0-4,0 m; RKS 20: 2,0-3,5 m; RKS 21: 1,5-2,0 m; RKS 22: 2,0-3,0 m; RKS 23: 2,5-5,1 m; RKS 31: 3,0-3,7 m, RKS 31/1: 3,0-4,0 m). Zusammenhängende Bodenhorizonte mit hohen organischen Anteilen (Pflanzenreste, Holz) wurden nicht erkundet. Die in der RKS 23 festgestellten organischen Beimengungen wurden in der direkt daneben niedergebrachten RKS 23/2 nicht mehr erbohrt. Es ist daher von räumlich sehr begrenzten Vorkommen organischer Einlagerungen auszugehen.

Lokal wurde ein überwiegend schwacher Faulgeruch festgestellt (RKS 7: 2,0-3,0 m; RKS 10: 4,0-6,0 m; RKS 12: 5,8-6,4 m; RKS 13: 1,6-2,5 m; RKS 17: 3,0-6,0 m; RKS 20. 2,0-3,4 m und 5,0-7,0 m; RKS 21: 1,5-4,0 m, RKS 22: 2,0-3,0 m; RKS 30: 3,0-3,7 m; RKS 31: 3,0-3,5 m; RKS 31/1: 3,0-5,3 m).

Die grob- und gemischtkörnigen Auffüllungen waren nach dem Bohrfortschritt überwiegend mitteldicht gelagert. Die feinkörnigen Auffüllungen zeigten zum

Erkundungszeitpunkt eine weiche bis halbfeste, überwiegend eine weiche bis steife Konsistenz. Gemäß dem Schichtenverzeichnis der RKS 11 lag eine feinkörnige Auffüllung bei 6,0-7,0 m unter GOK in breiiger bis weicher Konsistenz vor.

An wenigen Prüfpunkten wurde unterhalb der Auffüllungen (RKS 24, RKS 28) bzw. ab der GOK (RKS 9, RKS 17) bis in Tiefen zwischen 3,5 m und 5,2 m unter Ansatzpunkt holozäner **Hochflutlehm** angetroffen, der als z.T. schwach sandiger bis sandiger, schwach toniger bis toniger Schluff ausgebildet ist und zum Sondierzeitpunkt eine steife Konsistenz zeigte.

In der RKS 28 wird der Hochflutlehm ab 4,1 m unter GOK von holozänem **Hochflutsand** unterlagert. In der benachbarten RKS 29 steht der Hochflutsand direkt unterhalb der Auffüllungen an. Der Hochflutsand wird durch z.T. schluffige Fein- und Mittelsande vertreten und zeigt gemäß Bohrfortschritt eine mitteldichte Lagerung.

Im Liegenden der Hochflutablagerungen (RKS 9, RKS 17; RKS 24, RKS 28, RKS 29) bzw. der Auffüllungen (RKS 30, RKS 31) wurden bis zu den Endbohr-tiefen die Sedimente der **Niederterrasse** des Rheins erbohrt. Diese werden durch z.T. kiesige Sande und Kiessande vertreten, die im Hangendbereich punktuell (RKS 24 5,2-6,0 m) schluffig bis stark schluffig (verlehmt) ausgebildet sind. Gemäß Bohrfortschritt sind die Sande und Kiese der Niederterrasse miteldicht bis dicht gelagert.

Aus der Verbreitung der gewachsenen Böden werden am Südost- und Nordostrand des Plangebietes die Randböchungen der ehemaligen Abgrabung angenommen.

Nasse Böden mit Mächtigkeiten von bis zu 1,0 m als Hinweis auf Stau- und Schichtenwasser wurden lokal in unterschiedlichen Tiefen angetroffen (RKS 4 bis RKS 7, RKS 10, RKS 11, RKS 19 und RKS 21). Ein zusammenhängender

Grundwasserspiegel wurde im Bereich der Prüfpunkte erwartungsgemäß nicht vorgefunden.

4.2 Rammsondierungen (DPH)

Die Ergebnisse der Rammsondierungen sind als Schlagzahlprotokolle und Rammdiagramme in der Anlage 7 dokumentiert und in Profilschnitten in Anlage 3 als Rammdiagramme gemeinsam mit den Rammdiagrammen aus 2014 den Bohrprofilen gegenübergestellt.

In den **Auffüllungsböden** wurden mit der DPH für je 10 cm Eindringung (N_{10}) sehr uneinheitliche Schlagzahlen in einer Bandbreite von 0 bis > 100 gemessen, die mehrheitlich 2 bis 5 betragen und eine überwiegend steife (feinkörnig) bzw. lockere Lagerung (grob-/gemischtkörnig) kennzeichnen.

Lokal wurden in Tiefen zwischen ca. 1,0 m und 3,0 m unter GOK in Bodenabschnitten bis zu 1,3 m Schlagzahlen für N_{10} von 0 und 1 festgestellt, die auf eine durchgehend weiche Konsistenz bzw. sehr lockere Lagerung hindeuten (DPH 2, DPH 3, DPH 6, DPH 8, DPH 10, DPH 11, DPH 15, DPH 16 und DPH 26). Schlagzahlen > 50 (vgl. DPH 6) sind auf größere Bauschuttreste und nicht auf eine entsprechend hohe Lagerungsdichte zurückzuführen.

Unter Berücksichtigung der Rammergebnisse stellen die Auffüllungen für die ausreichend setzungsarme Aufnahme von Bauwerkslasten ohne entsprechende Bodenverbesserungsmaßnahmen keinen ausreichend tragfähigen Baugrund dar.

Die im **Hochflutlehm** mit der DPH gemessenen Schlagzahlen je 10 cm Eindringung (N_{10}) liegen zwischen 1 und 6. Die mehrheitlich für N_{10} ermittelten Schlagzahlen von 2 und 3 belegen eine überwiegend steife Konsistenz. Unter Berücksichtigung der hohen Feinkornanteile ist der Hochflutlehm unter Auflast stark zusammendrückbar und wird insgesamt als gering tragfähig eingestuft.

Die im **Hochflutsand** gemessenen Schlagzahlen für N_{10} betragen von 2 bis 7 (mehrheitlich 3 und 4) und deuten auf eine überwiegend lockere, untergeordnet mitteldichte Lagerung hin. Unter Berücksichtigung seiner z.T. hohen Feinkornanteile stellt der Hochflutsand einen nur mäßig tragfähigen Baugrund dar.

In den Sanden und Kiesen der **Niederterrasse** wurden Schlagzahlen für N_{10} in einer Bandbreite von 4 bis 65 ermittelt. Die mehrheitlich zwischen 10 und 30 gemessenen Schlagzahlen kennzeichnen eine mitteldichte bis dichte Lagerung.

Unbeschadet des verlehnten Hangendbereichs (RKS 24) stellen die Niederterrasensedimente im Untersuchungsgebiet einen für eine Wohnbebauung ausreichend tragfähigen Baugrund dar.

4.3 Glühverluste

Zur Abschätzung des organischen Anteils erfolgte an ausgewählten Einzelproben eine Bestimmung des Glühverlustes nach DIN 18 128.

Unter Berücksichtigung der im Bereich der Bodenluftmessstellen RKS 14 und RKS 29 festgestellten hohen Methangehalte wurden Glühverluste an den Auffüllungsproben RKS 14 (2,0-3,0 m), RKS 14 (5,6-6,0 m) und RKS 29 (1,3-2,0 m) und RKS 29 (2,0-3,0 m) untersucht.

Ferner erfolgte aufgrund der in den Schichtenverzeichnissen ausgewiesenen organischen Beimengungen eine Glühverlustbestimmung an den Auffüllungsproben RKS 23 (2,5-3,0 m), RKS 23 (3,0-4,0 m), RKS 23 (4,0-5,1 m), RKS 31 (3,0-3,7 m) und RKS 31/1 (3,0-4,0 m). Die RKS 31 (3,0-3,7 m) wies einen Faulgeruch, die RKS 31/1 (3,0-4,0 m) einen schwachen Faulgeruch auf.

Bei den untersuchten Proben handelt es sich mit Ausnahme der aus der RKS 23 entnommenen Proben um schluffig-tonige Auffüllungsböden. Die Proben aus der RKS 23 stellen Bauschutt/Sand-Gemische dar.

Die Ergebnisse der Glühverlustbestimmung sind in Anlage 10 dokumentiert. An den vorgenannten Proben wurden nachfolgende Glühverluste bestimmt:

RKS	14	14	29	29
Tiefe (m)	2,0-3,0	5,0-6,0	1,3-2,0	2,0-3,0
Glühverlust (%)	2,1	2,4	2,3	3,0

RKS	23	23	23	31	31/1
Tiefe (m)	2,5-3,0	3,0-4,0	4,0-5,1	3,0-3,7	3,0-4,0
Glühverlust (%)	2,4	2,1	6,4	6,8	4,2

Gemäß Tabelle wurden Glühverluste zwischen 2,1 % und 6,8 % (mehrheitlich um 2,2 %) ermittelt.

Gemäß DIN1054 ist davon auszugehen, dass es nicht um organogene Böden handelt, die aufgrund des Restabbaus organischer Substanz bauwerksschädliche Setzungen besorgen lassen.

4.4 Bodenluftuntersuchungen

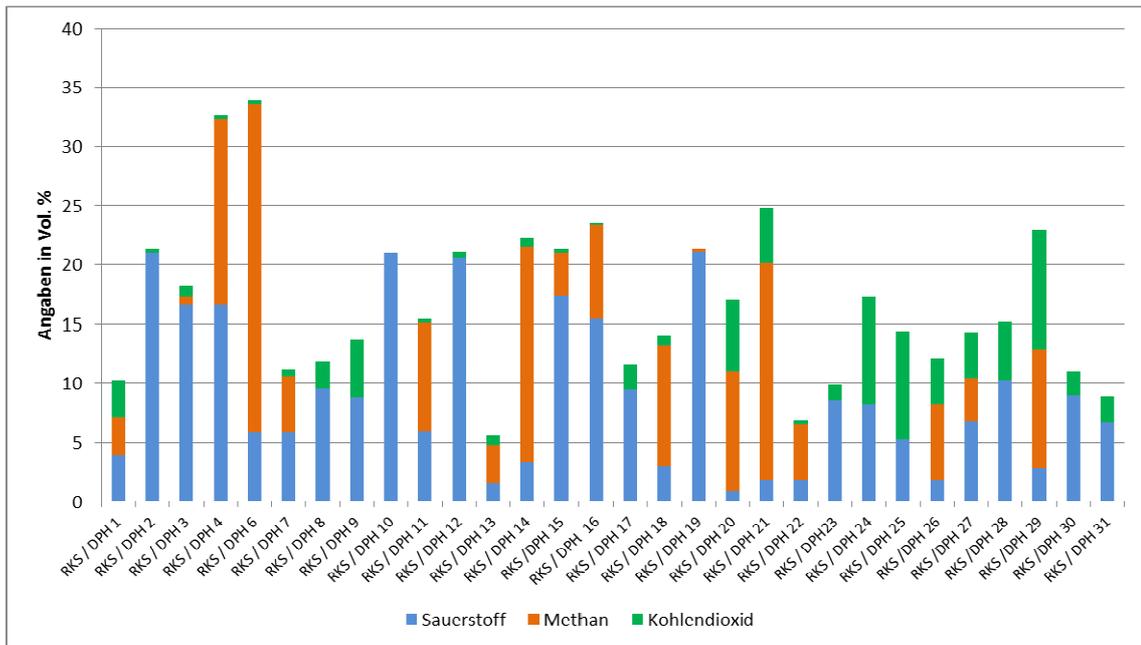
Unter Berücksichtigung der im Rahmen von Voruntersuchungen (Gutachten Kühn-Consulting v. 06.10.2006 sowie gutachterliche Stellungnahmen des Ingenieurbüros Dr. Tillmanns & Partner GmbH vom 23.04. und 17.07.2014) festgestellten Hinweise auf zersetzungsfähige Auffüllungsinhaltsstoffe, wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen weitere 30 Bohrungen (RKS bzw. DPH) zu provisorischen Bodenluftmessstellen ausgebaut.

Die Position der Bodenluftmessstellen ist im Lageplan (Anlage 2) ausgewiesen.

Die Probenahmeprotokolle für Bodenluft/Gas nach VDI 3865 enthält die Anlage 9. Die Analysenprotokolle zu den untersuchten Bodenluftproben sind in der Anlage 11 dokumentiert. In der Bodenluftbelastungskarte in Anlage 4/1 sowie in

der nachfolgenden Grafik sind die Bodenluft-Hauptkomponenten O₂, CO₂, und CH₄ in Form von Balkendiagrammen dargestellt.

Kohlenmonoxid sowie Wasserstoff wurden analog zu den Voruntersuchungen in keiner Bodenluftmessstelle nachgewiesen.



Wie die Darstellungen verdeutlichen, zeigen die aktuellen Befunde in Übereinstimmung mit den bereits durchgeführten Untersuchungen lokal reduzierte bis deutlich reduzierte Sauerstoffgehalte, die jedoch nur bedingt mit erhöhten Kohlendioxid- bzw. Methangehalten korrelierbar sind.

Besonders deutlich wird dies beispielhaft an der RKS/DPH 4, die unbeschadet eines erhöhten Methangehaltes von 15,7 Vol. % lediglich einen leicht reduzierten Sauerstoffgehalt von 16,6 Vol. % zeigt. Demgegenüber zeigt die RKS/DPH 1 mit einem deutlich geringeren Methangehalt von 3,2 Vol. % und einem ebenfalls geringen Kohlendioxidgehalt von 3,1 Vol. % einen deutlich reduzierten Sauerstoffgehalt von 3,9 Vol. % als Hinweise auf aerobe/aneerobe Abbauprozesse.

Als denkbare Ursachen für die unterschiedliche Zusammensetzung der Bodenluft könnten

- eine heterogene Verteilung organischer Beimengungen im Auffüllungskörper, somit
- Gasmigrationen innerhalb des Auffüllungskörpers sowie von den nördlich und westlich liegenden Auffüllungsbereichen (vgl. Kap. 4) und/oder
- ein Abbau organischer Auffüllungsinhaltsstoffe unter vorwiegend aeroben Bedingungen bei gleichzeitiger Bindung des gebildeten Kohlendioxids an Hydroxidverbindungen in den bauschutführenden Auffüllungen, verantwortlich sein.

Zur besseren Verdeutlichung der flächigen Verteilung der Gehalte für die Sauerstoff (O₂), Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) sind in der Anlage 4/2 interpolativ die Bereiche 0-5 Vol. %, 5-10 Vol. % und > 10 Vol. % ausgewiesen. Hierbei sind durch eine Gasbildung beeinträchtigten Bereich in Abhängigkeit von der Intensität grün, gelb bzw. rot ausgewiesen.

Die Darstellung verdeutlicht, dass sich signifikante Methangehalte auf den nördlichen zentralen bzw. lokal den westlichen Bereich beschränken. Demgegenüber liegen für Kohlendioxid flächig weitgehend unauffällige Befunde vor.

Die, wie schon beschrieben, nicht mit den Methan- und Kohlendioxidgehalten korrespondierenden Sauerstoffgehalte zeigen hingegen im zentralen Bereich mit deutlich reduzierten Gehalten Hinweise auf einen Abbau organischer Auffüllungsinhaltsstoffe.

Da bei einer Überbauung eine Teilversiegelung des Geländes stattfindet, muss davon ausgegangen werden, dass durch den dann reduzierten Gasaustausch zwischen Bodenluft und Atmosphäre lokale Aufkonzentrationen von Kohlendioxid und insbesondere des spezifisch leichteren Methans nicht ausgeschlossen werden können.

Im Hinblick auf die geplante Überbauung sind somit zumindest bereichsweise zusätzliche Maßnahmen zur kontrollierten Ableitung dieser Komponenten vorzusehen. Hinsichtlich der reduzierten Sauerstoffgehalte sind keine baulichen Maßnahmen erforderlich.

Zur Abtrennung des Plangebietes gegen mögliche Gasmigrationen aus den angrenzenden Verfüllbereichen wird empfohlen im nördlichen und westlichen Grünstreifen einen Entgasungsgraben anzulegen.

Für die Objektspezifische Sicherung kann das ohnehin erforderliche lasterteilende Polster als Gasdrainage genutzt werden. Hierfür ist das Polster an umlaufende Kiesstreifen anzuschließen, die eine passive Entgasung in die Atmosphäre gewährleisten. Zur Optimierung der Entgasung können ferner geschlitzte Entgasungsleitungen (DN 100) in das lastverteilende Polster eingebunden werden, die im Bedarfsfall auch zur aktiven Entgasung über Aspiromaten genutzt werden können.

Auf eine Unterkellerung der Gebäude sollte möglichst verzichtet werden. Falls aus planerischer Sicht eine Unterkellerung gewünscht sein, sollte sich dies - wie optional vorgesehen - auf den östlichen Bereich beschränken. Die hier erforderlichen Gassicherungen wie z.B. passive/bedarfsaktive Entgasung, Durchlüftungsmöglichkeiten, Ausführung von Hausanschlussräumen sind objekt- und lagespezifisch anzupassen

Hinsichtlich der durchzuführenden Erdarbeiten wird abschließend darauf hingewiesen, dass bei Arbeiten in Gräben und/oder Schächten für eine ausreichende Belüftung zu sorgen ist.

5. Baugrundtechnische Angaben

5.1 Bodenkenngrößen

Für die angetroffenen Bodenschichten können im Rahmen erdstatischer Berechnungen mit ausreichender Sicherheit die folgenden charakteristischen Werte von Bodenkenngrößen in Ansatz gebracht werden.

Auffüllungen

Wichte, erdfeucht γ_k	= 17-19 kN/m ³
Ersatzreibungswinkel φ''_k (aus Reibung und Kohäsion)	= 30°
Steifemodul $E_{S,k}$	= 6-20 MN/m ²

Hochflutlehm

(Schluff, schwach tonig bis tonig, z.T. schwach sandig bis sandig)

Wichte, erdfeucht γ_k	= 19 kN/m ³
Reibungswinkel φ'_k	= 27,5°
Kohäsion c'_k	= 25-5 kN/m ²
Steifemodul $E_{S,k}$	= 8-10 MN/m ²

Hochflutsand

(Feinsand, schluffig, Fein- bis Mittelsand, z.T. schluffig)

Wichte, erdfeucht γ_k	= 18,5 kN/m ³
Reibungswinkel φ'_k	= 30°
Kohäsion c'_k	= 0 kN/m ²
Steifemodul $E_{S,k}$	= 20-30 MN/m ²

Niederterrasse

(Mittelsand, feinsandig; Sand, kiesig; Kies, sandig, im Hangendbereich
punktuell schluffig bis stark schluffig)

Wichte, erdfeucht γ_k	= 19,5 kN/m ³
Wichte, unter Auftrieb γ'_k	= 11 kN/m ³
Reibungswinkel φ'_k	= 32,5°-37,5°
Kohäsion c'_k	= 0 kN/m ²
Steifemodul $E_{S,k}$	= 50-100 MN/m ²

5.2 Homogenbereiche

Für die angetroffenen Böden können zur Planung von Erdarbeiten mit ausreichender Sicherheit die folgenden Ansätze erfolgen. Die Angaben stellen erfahrungsgestützte Schätzwerte ohne eingehende Untersuchungen dar.

Auffüllungen (Homogenbereich 1)

Bodengruppen: [UL], [TL], [SU*], [SU], [SE-SW], [GE-GW], A
aufgefüllter Oberboden: [OH], [OU]

Steine und Blöcke: ≤ 80 Gew. %

Konsistenz: überwiegend steif, untergeordnet weich

Plastizität: leicht plastisch

Lagerungsdichte $I_D = 0,15-0,8$ %

Bodenklassen nach DIN 18300₂₀₁₂: überwiegend 3 und 4 (leicht und mittelschwer lösbare Bodenarten), oberflächennah 1 (Oberboden),
[UL], [TL], [SU*] bei Wassersättigung: Bodenklasse 2 (fließende Bodenarten)
größere Bauschuttreste: 5 bis 7 (schwer lösbare Bodenarten, leicht und schwer lösbarer Fels)

Hochflutsedimente (Homogenbereich 2)

Bodengruppen: [UL], [TL], [SU*], [SU], [SE], [SI]

Steine und Blöcke: ≤ 10 Gew. %

Konsistenz: steif

Plastizität: leicht plastisch

Lagerungsdichte $I_D = 0,15-0,5$ %

Bodenklassen nach DIN 18300₂₀₁₂: 3 und 4 (leicht und mittelschwer lösbar
Bodenarten)

[UL], [TL], [SU*] bei Wassersättigung: Bodenklasse 2 (fließende Bodenarten)

Niederterrassensedimente (Homogenbereich 3)

Bodengruppen: [SE-SW], [GE-GW], [GU*]

Steine und Blöcke: ≤ 50 Gew. %

Lagerungsdichte $I_D = 0,3-0,9$ %

Bodenklassen nach DIN 18300₂₀₁₂: überwiegend 3 (leicht lösbar Bodenarten),
punktuell 4 (mittelschwer lösbar Bodenarten)

[GU*] bei Wassersättigung nach DIN 18 300₂₀₁₂: Bodenklasse 2 (fließende
Bodenarten)

6. Wasserhaltung und Bauwerksabdichtung

Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Grundwasserflurabstände ≥ 8 m (vgl. Kapitel 3) sind im Rahmen der Gründungsarbeiten für die bereichsweise bis max. 4 m unter GOK angenommenen Erd- und Gründungsarbeiten keine Maßnahmen zum Schutz vor Grundwasser erforderlich.

Wie die Bohrbefunde zeigen, ist in unterschiedlichen Tiefen mit temporärem Stau-, Sicker- und Schichtenwasser zu rechnen, das während der Bauzeit in offener Wasserhaltung abgeführt werden kann.

Das in Kap. 7 für den Einbau unterhalb der geplanten Bauwerke sowie im Bereich von Fahrbahnoberbauten empfohlene grobkörnige Tragpolstermaterial kann bei geeigneter Wasserdurchlässigkeit (Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \geq 1 \times 10^{-4}$ m/s) als bauzeitlicher Flächenfilter zur Wasserabführung eingesetzt werden. Die Flächenfilter sind sach- und fachgerecht über Pumpensümpfe/schächte zu entwässern.

Von einer gezielten oder zentralen Einleitung von anfallendem Wasser in den Untergrund ist aufgrund möglicher Kornumlagerungen und der damit verbundenen Sackungen abzusehen.

Nichtunterkellerte Gebäude können nach DIN 18 195-T 4 gegen Bodenfeuchte abgedichtet werden, wenn unterhalb der Bodenplatten eine 0,2 m mächtige kapillARBrechende Schicht (z.B. Kiessand) eingebaut wird. Das für den Einbau unterhalb der Bodenplatten empfohlene Tragschichtmaterial entspricht bei der beschriebenen Qualität einer kapillARBrechenden Schicht.

Bodenplatten und erdberührte Bauteile von Unterkellerungen/Tiefgaragen, die in Auffüllungen und Hochflutsedimenten einbinden, sind aufgrund des nach DIN 18 195 wenig durchlässigen Untergrunds mit k_f - Werten $< 1 \times 10^{-4}$ m/s bis zu einer Gründungstiefe von 3 m gemäß DIN 18 195-T 6, Abschnitt 9, gegen aufstauendes Sickerwasser, abzudichten. Alternativ können Keller hier in wasser-

undurchlässiger Bauweise gemäß DAfStb „wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“ errichtet werden.

Bei hoch anstehenden Niederterrassensedimenten reicht eine Abdichtung von Unterkellerungen gemäß DIN 18 195-T 4 gegen Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser aus, wenn die Arbeitsräume an die grobkörnigen Sande und Kiese der Niederterrasse angeschlossen und mit gut wasserdurchlässigen Böden (Durchlässigkeitsbeiwerte $k_f \geq 10^{-4}$ m/s) verfüllt werden. Die Arbeitsräume sind frei von Fremdmaterialien (Folien, Beton u.a.) zu halten.

7. Gründungsempfehlungen

Gemäß vorliegendem Kenntnisstand sollen im Untersuchungsgebiet überwiegend Einfamilienwohnhäuser als Reihen- und Doppelhäuser mit max. 2 ½ Geschossen und ohne Keller errichtet werden. Am Nordostrand entlang der Bahnlinie (Bereiche RKS/DPH 9, RKS/DPH 17, RKS/DPH 23, RKS/DPH 31) sowie örtlich am Südostrand (Bereich RKS/DPH 28) wird auch die Errichtung unterkellelter Mehrfamilienhäuser mit bis zu 3 ½-Geschossen in Erwägung gezogen.

Da Planhöhen noch nicht festliegen, wird die Oberkante Fertigfußboden Erdgeschoss (OK FFH) der Neubauten ca. 0,2 m oberhalb der GOK im Bereich der jeweiligen Bauflächen angesetzt. Unter Einhaltung einer frostfreien Gründung gemäß DIN 1054 wird die Gründungsebene nichtunterkellerten Gebäude zunächst bei 0,8 m unter derzeitiger GOK angenommen. Die Gründungsebene unterkellerte Gebäude wird bei Annahme von üblichen Kellerhöhen in Tiefen zwischen ca. 3,0 m und 3,5 m unterhalb jeweiligen GOK angesetzt.

Die Fahrbahnoberkante von Wohnstraßen wird auf Höhe bzw. bis ca. 0,2 m oberhalb der GOK angenommen. In Anlehnung an ähnliche Bauvorhaben wird für Kanalbauwerke von einer Gründungssohle bei 2,0 m bis 4,0 m unter GOK ausgegangen.

7.1 Wohnbebauung

Wohnhäuser ohne Keller

Gemäß den Profilschnitten (vgl. Anlage 3) verläuft die frostfreie Gründungsebene mit Ausnahme der Nordostecke (RKS 9, RKS 17) in Auffüllungen, die unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse ohne entsprechende Bodenverbesserungen generell keinen ausreichend tragfähigen Baugrund darstellen. Im Bereich der RKS 9 und RKS 17 liegt sie im Hochflutlehm, der als nur gering tragfähig eingestuft wird.

Wie die Profilschnitte weiterhin zeigen, beträgt die erkundete Auffüllmächtigkeit im Bereich der allermeisten Prüfpunkte mindestens 7 m. Im südöstlichen Randbereich wurden lokal unterhalb relativ geringmächtiger Auffüllungen gewachsene Böden ab Tiefen von 2,0 m (RKS 1/14, RKS 24), 2,5 m (RKS 28), 3,4 m (RKS 29) und 4,6 m (RKS 30) und 6,8 m (RKS 5/2015) erbohrt.

Auch unter Berücksichtigung der Voruntersuchungen werden im südöstlichen sowie im nordöstlichen Randbereich des Plangebietes ehemalige Abbauböschungen angenommen. Aufgrund der hier festgestellten uneinheitlichen Auffüllmächtigkeiten kann von einem ungleichmäßigen Verlauf der Böschungen ausgegangen werden.

Unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse wird empfohlen, nichtunterkellerte Wohngebäude zur Vermeidung von unzulässigen Setzungen und Setzungsdifferenzen grundsätzlich über relativ **biegesteif ausgebildete Bodenplatten** zu gründen. Im Bereich von Lastkonzentrationen können Bodenplatten ggf. voutenförmig verstärkt werden.

In Abhängigkeit von der Lage der Bauflächen in Bezug auf die Abbauböschungen und den damit verbundenen Auffüllungsmächtigkeiten erfolgen nachfolgende Gründungsvorschläge:

Bereich mit Auffüllmächtigkeiten ≥ 5 m

Liegen - wie im überwiegenden Teil des Plangebietes - unterhalb der geplanten Gründungsplatten Auffüllungen in einer Mindestmächtigkeit von 5 m vor, kann eine ausreichend setzungsarme Gründung noch durch den Einbau eines mindestens 0,8 m mächtigen Tragpolsters unterhalb der Bodenplatten realisiert werden.

Für das Tragpolster wird grobkörniges, gut abgestuftes und raumbeständiges Material mit Feinkornanteilen ≤ 7 Gew. % empfohlen, das mit einem Überstand unter Berücksichtigung einer Lastausbreitung von 45° einzubauen ist. Das Material ist in Lagenstärken von $\leq 0,3$ m einzubringen und zur Vermeidung von unzulässigen Setzungen auf mindestens 98 % der einfachen Proctordichte zu verdichten.

Aufgrund der bereichsweise zu erwarten weichen bis steifen Aushubebene sollte die untere, ca. 0,4 m mächtige Lage aus gebrochenem Material (Schotter) bestehen. Im Fall einer weichen Aushubebene wird unterhalb des Tragpolsters der Einbau einer weiteren 0,3 m mächtigen Stabilisierungsschicht aus Grobschlag (z.B. 60/120) empfohlen, der nur statisch einzuwalzen ist.

Das angeführte Tragpolstermaterial ist bei der angegebenen Güte als frostsicher einzustufen. Wird das Material am Außenrand des Bauwerks bis mindestens 0,8 m unterhalb der zukünftigen GOK mit entsprechendem Überstand (s.o.) eingebaut, kann auf die separate Ausbildung von Frostschrüzen verzichtet werden.

Zum Nachweis einer ausreichenden Sicherheit für die Grenzzustände GEO 2 (Grundbruch) und SLS (Gebrauchstauglichkeit) gemäß EC 7 können dann im Bereich von Linien- und Einzellasten („versteckte Fundamente“) folgende **Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstandes** in Ansatz gebracht werden. Diese gelten in der Bemessungssituation BS-P bei Einbindetiefen $D \geq 0,3$ m.

	Einflussbreiten (m)	$\sigma_{R,d}$ (kN/m²)
Linien-/Streifenlasten	0,5	265
	1,0	255
Quadratische Punktlasten	1,0	300
	1,5	325
	2,0	280
	2,5	230

Es wird darauf hingewiesen, dass die angegebenen Werte nicht den aufnehmbaren Sohldrücken nach DIN 1054:2005-01 und den zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11 entsprechen.

Die Zwischenwerte in den vorangegangenen Tabellen sind linear zu interpolieren. Eine Extrapolation über die Werte hinaus ist nicht zulässig.

Bei nahezu gleichmäßiger Lastverteilung mit Flächenbeanspruchungen bis zu 30 kN/m² bzw. 45 kN/m² können zur Bemessung der Gründungsplatten charakteristische Bettungsmoduln von **$k_{s,k} = 7 \text{ MN/m}^3$** bzw. **$k_{s,k} = 5 \text{ MN/m}^3$** in Ansatz gebracht werden.

Die zu erwartenden Bauwerkssetzungen liegen auf Grundlage von Berechnungen nach DIN 4019 bei $\leq 2 \text{ cm}$.

Für statische Vorbemessungen können für das grobkörnige Tragpolstermaterial (s.o.) die folgenden Bodenkenngrößen angesetzt werden:

Wichte, erdfeucht γ_k	= 19 kN/m ³
Reibungswinkel φ'_k	= 37,5°
Kohäsion c'_k	= 0 kN/m ²
Steifemodul $E_{s,k}$	= 80 MN/m ²

Bereiche mit Auffülmächtigkeiten < 5 m, Randbereiche mit anstehenden Böden

Unterhalb von Wohnhäusern, die im Bereich der angenommenen Abbauböschungen mit Auffüllungsmächtigkeiten < 5 m geplant sind (RKS 1/2014, RKS 24, RKS 5/2014, RKS 28 bis RKS 30), liegt bei einer stark abfallenden Oberkante der gut tragfähigen Terrassensande/-kiese ein sehr unterschiedlich tragfähiger Baugrund vor, der zu Verkippungen des Bauwerks in Richtung der Abgrabungssohle führen kann.

Hier ist im Einzelfall und in Abhängigkeit von der noch festzusetzenden Lage der Häuser sowie der zu erwartenden Bauwerkslasten zu prüfen, ob eine Gründung auf einem lastverteilenden Tragpolster noch setzungsverträglich realisiert werden kann.

Bei Ansatz der oben genannten Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstandes ergeben sich im Rahmen von Setzungsberechnungen bei einer Tragpolsterstärke von 0,8 m Winkelverdrehungen $\alpha < 1/500$, die noch als bauwerksverträglich eingestuft werden.

Werden nach bauwerksabgestimmten Baugrunduntersuchungen unzulässige Setzungsunterschiede errechnet, kann der Untergrund unterhalb der Gründungsplatten durch **vermörtelte Rüttelstopfsäulen** verbessert werden. Die zulässige Belastung des verbesserten Untergrundes ist abhängig vom Verfahren sowie von der Tiefe, Art und Anordnung der Stopfsäulen. Der Abstand der Säulen wird von der ausführenden Firma in Zuordnung zum Lastenplan eigenverantwortlich festgelegt.

Durch eine Rüttelstopfverdichtung kann der Steifemodul des behandelten Untergrundes um das bis 2- bis 5-fache verbessert werden. Im Bereich von Auffüllungen aus Lehm von überwiegend weicher Konsistenz können dem einzubringenden Grobmaterial Beton oder Fertigmörtelsuspension zugeschlagen werden. Erfahrungsgemäß können nach Anwendung des Rüttelstopfverfahrens zu-

lässige aufnehmbare Sohldrücke in der Größenordnung von 200 kN/m² bis 300 kN/m² setzungsarm in den verbesserten Untergrund abgetragen werden.

Im Zuge der Rüttelstopfverdichtung ist unterhalb der Bodenplatte eine Ausgleichs-/Tragschicht aus grobkörnigem Material (Schotter mit Feinkornanteilen $\leq 5\%$) mit entsprechendem Überstand herzustellen, das in Lagenstärken $\leq 0,3$ m einzubauen und auf mindestens 98 % der einfachen Proctordichte zu verdichten ist. Die genaue Stärke der Ausgleichs-/Tragschicht ist von der Anzahl der Stopfsäulen abhängig und durch die ausführende Firma festzulegen. Im Regelfall sind Stärken um 0,4 m erforderlich.

Bereich außerhalb der Verfüllung

Gemäß den Schichtenverzeichnissen liegen in der Nordostecke des Plangebietes im Bereich im RKS 9 und RKS 17 geplante nichtunterkellerte Wohnhäuser außerhalb der wiederverfüllten Abgrabung.

In diesem Bereich reicht unterhalb der Gründungsplatten der Einbau des beschriebenen Tragpolsters in einer Stärke von 0,5 m aus. Zur Bemessung der Gründungsplatten können die oben angeführten Bemessungswerte des Sohlwiderstandes in Ansatz gebracht werden.

Wohngebäude mit Keller/Tiefgaragen

Wohnhäuser mit Keller/Tiefgaragen sollen ggf. am Nordostrand des Plangebietes parallel zur Bahnlinie sowie am Südostrand im Bereich der RKS 28 errichtet werden. An der Bahnlinie ist optional der Bau von 4 Mehrfamilienwohnhäusern vorgesehen.

Bereich RKS 9 und RKS 17

Wie der Profilschnitt in Anlage 3/1 zeigt, wird die Gründungsebene im Bereich der beiden nördlichen Häuser überwiegend im Hochflutlehm bzw. in den Sanden der Niederterrasse liegen. An diesem Standort wird eine einheitliche Gründung der unterkellerten Häuser über Fundamente in den ab ca. 3,5 m unter GOK erbohrten Niederterrassensedimenten empfohlen.

Zum Nachweis einer ausreichenden Sicherheit für die Grenzzustände GEO 2 (Grundbruch) und SLS (Gebrauchstauglichkeit) gemäß EC 7 können im Bereich von Fundamenten mit Einbindetiefen $D \geq 0,5$ m, die in den Sanden und Kiesen der Niederterrasse abgesetzt werden, folgende **Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstandes** in Ansatz gebracht werden (Bemessungssituation BS-P).

Streifenfundamente

Einbindetiefe D (m)	Fundamentbreite b (m)	Bemessungswert $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstandes (kN/m ²)
0,5	0,5	620
0,5	1,0	780

Quadratische Einzelfundamente

Einbindetiefe D (m)	Fundamentbreite b (m)	Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstandes (kN/m ²)
0,5	1,0	900
0,5	1,5	1000
0,5	2,0	1150
0,5	2,5	950

Es wird darauf hingewiesen, dass die angegebenen Werte nicht den aufnehmbaren Sohldrücken nach DIN 1054:2005-01 und den zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11 entsprechen.

Die Zwischenwerte in den vorangegangenen Tabellen sind linear zu interpolieren. Eine Extrapolation über die Werte hinaus ist nicht zulässig.

Bereich RKS 23 und RKS 31

In den Bauflächen der beiden südlich geplanten Mehrfamilienhäuser wurde der Gründungsböden (Sande und Kiese der Niederterrasse) ab ca. 7,0 m Tiefe angetroffen.

Aufgrund der angenommenen Lage im Bereich der ehemaligen Randböschung und der damit verbundenen Verkipplungsgefahr (s.o.) kann eine explizite Gründungsempfehlung hier erst nach bauwerksabgestimmten ergänzenden Untersuchungen ausgesprochen werden.

Bei einem steilen Abfall der Terrassenoberfläche wird empfohlen, die Häuser über bewehrte Bodenplatten in Verbindung mit einer Untergrundverbesserung mittels Rüttelstopfverdichtung wie oben beschrieben zu gründen. Hierbei ist zu beachten, dass im Bereich der RKS 23 Bauschutt erbohrt wurde.

Alternativ können die Lasten der aufgehenden Konstruktion z.B. über Bohrpfähle nach DIN EN 1536 in die Terrassensande/-kiese unter Einhaltung einer Mindesteinbindung in die Terrasse von 2,5 m eingeleitet werden.

Auf Grundlage der Rammergebnisse wird für die Terrassensande/-kiese ein charakteristischer **Pfahlspitzendruck im Bruchzustand** von $q_{b,k} = 2,9 \text{ MN/m}^2$ abgeleitet. Ferner kann den Terrassenböden ein **Bruchwert der Pfahlmantelreibung** $q_{s,k}$ von $0,10 \text{ MN/m}^2$ zugeordnet werden. Für die überlagernden Auffüllungen oder Hochflutlehme kann ein Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ von $0,025 \text{ MN/m}^2$ in Ansatz gebracht werden.

Ferner können im Rahmen der Pfahlbemessung **horizontale Bettungsmoduln** $k_{s,k}$ von **8 MN/m³** (Auffüllungen, Hochflutlehm) sowie **80 MN/m³** (Terrassensande/-kiese) angesetzt werden.

Bereich RKS 28

In diesem Baufeld am Südostrand des Plangebietes wurden die ausreichend tragfähigen Sande und Kiese der Niederterrasse ca. 4,0 m unter GOK erbohrt.

Bei relativ gleichmäßiger Höhe des Gründungsbodens ist eine Gründung des unterkellerten Gebäudes noch über Fundamente in den Niederterrassensedimenten wie oben beschrieben möglich. Bei einem steilen Abfall der Terrassenoberfläche ist eine Rüttelstopfverdichtung oder Pfahlgründung (s.o.) erforderlich.

Zur Präzisierung der Gründungsmaßnahme werden auch hier weitere bauwerksabgestimmte baugrundtechnische Untersuchungen empfohlen.

7.2 Kanalbau

Ausgehend von Gründungsöhlen in Tiefen zwischen ca. 2 m und 4 m unter GOK, verläuft das Auflager von Kanalbauwerke überwiegend in Auffüllungen, im Bereich der Nordostecke sowie am südöstlichen Randbereich auch im Hochflutlehm/-sand und in sandig-kiesigen Terrassenablagerungen.

Zur Vermeidung von unzulässigen Setzungen und Differenzsetzungen sind unterhalb der Kanalbauwerke anstehenden Auffüllungen, Hochflutlehme und bindige Hochflutsande in Stärken von 0,4 m (Kanal) bzw. 0,6 m (Schächte) gegen grobkörniges, gut tragfähiges Material mit Feinkornanteilen $\leq 5\%$ (z.B. Kiessand, Schotter) auszutauschen. Liegt die Aushubsohle bereits in den Sanden und Kiesen der Niederterrasse ist ein Bodenaustausch nicht erforderlich.

Das Bodenaustauschpolster ist unter Berücksichtigung eines Lastausbreitungswinkels von 45° (Schächte) bzw. 60° (Kanalrohre) in Lagenstärken $\leq 0,3$ m einzubauen und sach- und fachgerecht zu verdichten.

Im Fall einer weichen Aushubsohle, ist unterhalb des Bodenaustauschpolsters ggf. Grobschlag einzuwalzen. Zur Festlegung der erforderlichen Stärke sind die Unterzeichner hinzuziehen.

Stark aufgeweichte und verschlammte Böden in der Aushubebene sind generell aufzunehmen und durch das vorgenannte Austauschmaterial zu ersetzen.

Bei den Verdichtungsarbeiten ist darauf zu achten, dass unterlagernder bindiger Boden keiner übermäßigen dynamischen Belastung ausgesetzt wird, die zu Konsistenzveränderungen und damit einhergehend zu Tragfähigkeitsverlusten führt.

Nennenswerte Setzungen des Untergrundes durch die angenommene Beanspruchung von Kanalbauwerke sind bei Einbau des Tragpolsters nach Berechnungen gemäß DIN 4019 nicht zu erwarten.

Für die Verfüllung von Kanalgräben/-gruben können grobkörnige Lockergesteine (z.B. Kiessande) verwendet werden, die in Lagenstärken $\leq 0,3$ m einzubauen und sachgerecht zu verdichten sind.

Im Bereich der Verkehrswege ist die Verfüllung je nach Abstand zum Planum (OK Fahrbahnunterbau) entsprechend den Anforderungen der ZTVE-StB 09 auf 97 bis 100 % der einfachen Proctordichte zu verdichten.

7.3 Straßenbau

Aufgrund der oberflächennah angetroffenen überwiegend bindigen Böden ist der oberflächennahe Untergrund der Frostempfindlichkeitsklasse F 3 (sehr frostempfindlich) zuzuordnen. Nach RStO liegt das Bauvorhaben in der Frosteinwirkungszone I.

Die Mindeststärke des frostsicheren Straßenaufbaus beträgt nach den Angaben der RSTO 12 in Abhängigkeit von der Belastungsklasse 50 cm (Bk0,3) bzw. 60 cm (Bk1,0 bis Bk3,2). Bei einer Entwässerung der Fahrbahn und Randbereiche über Rinnen, Abläufe und Rohrleitungen kann die Mindestdicke um 5 cm reduziert werden.

Bei der Erstellung von befestigten Verkehrsflächen nach Richt- und Regelwerk ist ein Planum (Unterkante Fahrbahnoberbau) herzustellen, das für die Ausführung von Regelaufbauten gemäß RStO eine Mindesttragfähigkeit von $E_{v2} \geq 45$ MN/m² aufzuweisen hat.

Bei einer Fahrbahnoberkante in etwa auf Höhe der derzeitigen GOK liegt das Planum überwiegend in schluffigen Auffüllungen, punktuell in grobkörnigen Auffüllungen (RKS 22). Es ist davon auszugehen, dass die Tragfähigkeitsanforderung der RStO auf schluffigen Böden erfahrungsgemäß nicht erreicht wird. Hier ist eine Untergrundverbesserung durch einen Bodenaustausch aus grobkörnigem Material (Kiessand, s.o.) in Stärken von 0,3 m (steife Konsistenz) bis 0,5 m (weiche Konsistenz) einzukalkulieren. Auf einem grobkörnigen Untergrund ist bei Stärken $\geq 0,3$ m und erdfeuchten Verhältnissen der o.g. Nachweis auch durch sachgerechte Nachverdichtung möglich.

Da die Tragfähigkeit von bindigen und damit wasserempfindlichen Böden insbesondere vom Durchfeuchtungsgrad abhängt und jahreszeitlichen Veränderungen unterworfen ist, sollten Bodenverbesserungsmaßnahmen in der Örtlichkeit grundsätzlich mit den Unterzeichnern abgestimmt werden.

Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verkehrslasten sind bei einer Oberflächenbefestigung mit Asphaltdecken/Verbundsteinpflaster über einer ungebundenen Kies- oder Schottertragschicht gemäß RStO 12 auf dieser Verformungsmoduln von $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ (Bk0,3) bzw. $E_{v2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$ bzw. 180 MN/m^2 (Bk1,0 bis Bk3,2 in Abhängigkeit von der Ausführung) nachzuweisen. Die E_{v2}/E_{v1} - Verhältnisse sollten zur Vermeidung oberflächennaher Kornumlagerungen Werte $\leq 2,5$ einhalten.

7.4 Allgemeines

Nach DIN 4124 können wasserunbeeinflusste Baugrubenböschungen von 1,25 m bis 5,0 m Höhe (ohne Verkehrs- und Stapellasten im Schulterbereich) in den Auffüllungen, Hochflutsanden und Terrassenablagerungen unter Winkeln $\leq 45^\circ$, im Hochflutlehm von mindestens steifer Konsistenz unter Winkeln $\leq 60^\circ$ angelegt werden.

Als Arbeitsraumverfüllung ist gut abgestufter, grobkörniger Boden (z.B. Kies-sand) einzusetzen, der in geringen Schüttagungen $\leq 0,3 \text{ m}$ einzubauen und zur Vermeidung von Nachsackungen auf mindestens 97 % der einfachen Proctordichte zu verdichten ist. Auf eine sachgemäße Arbeitsraumverfüllung ist insbesondere im Bereich zukünftiger Oberflächenbefestigungen zu achten.

Weiterhin sind die Vorgaben der einschlägigen Regelwerke, insbesondere der

DIN 18 300	Erdarbeiten;
DIN 4124	Baugruben und Gräben, Böschungen, Arbeitsbreiten, Verbau;
DIN 4123	Gebäudesicherung im Bereich von Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen;
ZTVE-StB 09	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau;

ZTVSoB-StB 04 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für den
Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau

einzuhalten. Nicht aufgeführte Regelwerke entbinden nicht von deren Beachtung.

Um sicherzustellen, dass im Bereich der geplanten Bebauung die Voraussetzungen für die Empfehlungen des Gutachtens gegeben sind, wird empfohlen, die freigelegten Aushubsohlen fachgutachterlich abnehmen zu lassen. Falls in der Planungsphase, im Rahmen der konstruktiven Bearbeitung und der Tragwerksplanung Fragen bezüglich der erforderlichen Maßnahmen des Erd- und Grundbaues auftreten, stehen wir beratend zur Verfügung. Dieses gilt auch für die Klärung von Detailfragen, die im Rahmen dieses Gutachtens noch nicht abschließend behandelt werden konnten.

Bergheim, den 20.04.2016

Dr. Tillmanns & Partner GmbH

Umwelttechnik

(Dipl.-Geol. B. Braun)

Von der IHK zu Köln öffentl. best. und vereid. Sachverständiger
für Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiet 2

Baugrundtechnik

Baugrundtechnik

(Dipl. -Min. O. Sistenich)

(Beratender Ingenieur der Ingenieurkammer-Bau
Nordrhein-Westfalen für die Fachrichtung Geotechnik)

(Dipl.-Geol. Dr. Th. Wagner)