

Hydrosond

Geologisches Büro

- **Hydrogeologie**
Wasserschließung
Grundwassermodellierung
Schutzzonenausweisung
- **Ingenieurgeologie**
Baugrund - Gründungsberatung
Bohrtechnik und Brunnenbau
- **Umweltgeologie**
Altlasten - Deponien
Sanierungen - Rückbau
Geothermie
Regenwasserversickerung

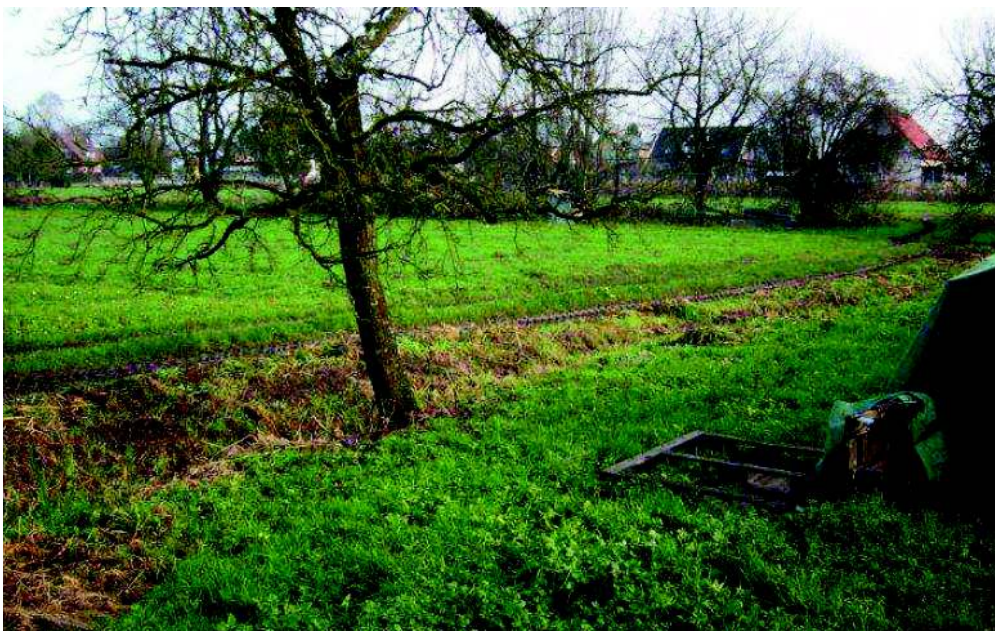
[Hydrosond](#) [Winnipeg Ave. B122 77836 Rheinmünster](#)

KBB GmbH
St. Urban-Str. 5
76532 Baden-Baden

BV. Baugebiet „Langmatt-Rötzt II“ Wagshurst

Bericht I

Baugrunduntersuchungen



Auftrags-Nr. : 14216

Datum : 02.02.2015

Verteiler : 1 x KBB GmbH, Baden-Baden + 1 x pdf

Büro Rheinmünster / Baden
Winnipeg Ave. B112
77836 Rheinmünster
Tel. 07229 / 697333
Fax 07229 / 697309

Büro Berg / Pfalz
Ludwigstraße 1
76768 Berg / Pfalz
Tel. 07273 / 4106
Fax 07273 / 1332

Bankverbindung
Sparkasse Kandel
BLZ 548 514 40
Konto 100 91 90
mail@hydrosond.de

INHALTSVERZEICHNIS

1. Anlass und Planungsgrundlage
2. Durchgeführte Untersuchungen
3. Verwendete Unterlagen
4. Baugrund
 - 4.1. Ergebnisse der Rammkernbohrungen BK 1 – BK 5
 - 4.2. Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche
5. Grundwasser
6. Maßgebende Bodenkennwerte
7. Erdbeben
8. Baugelände und vorgesehene Baumaßnahmen
9. Geotechnische Empfehlungen
 - 9.1. Schmutzwasserkanalisation
 - 9.2. Schachtbauwerke
 - 9.3. Rohraufleger
 - 9.4. Verkehrsflächen
 - 9.5. Rohraufleger
 - 9.6. Herstellen der Baugruben
 - 9.7. Wiederverwendbarkeit des Aushubmaterials
10. Versickerung von Oberflächenwasser
11. Allgemeine Empfehlungen

ANLAGENVERZEICHNIS

Anl. 1: Lageplan, ohne Maßstab

Anl. 2: Bohrprofile der Rammkernbohrungen BK 1 – BK 5

Anl. 3: Ergebnisse der Laborversuche

1. Anlass und Planungsgrundlage

Die KBB GmbH, Baden-Baden, plant für die Stadt Achern die Erschließung des Baugebietes „Langmatt-Rötz II“ in 77855 Achern – Wagshurst.

Das Geologische Büro HYDROSOND, Rheinmünster, wurde am 10.12.2014 von der KBB GmbH, Baden-Baden, mit der Durchführung einer Baugrunderkundung und der Erstellung des hiermit vorgelegten Gutachtens beauftragt. Dieser Bericht ist ausschließlich zur Verwendung durch den Auftraggeber bestimmt.

Nähere Angaben über Art und Gründungen geplanter Gebäude lagen nicht vor. Für die Kanalisation waren geplante Verläufe und Verlegungstiefen der Schmutzwasserkanalisation übersichtsmäßig bekannt. Die geplante Straße soll im NW des Untersuchungsgebietes an die bestehende Straße Am Kindergarten und im SE an die Hanauer Straße anschließen. Die Oberkante der geplanten Fahrbahn soll nach Angaben der Planer bei ca. 138,00 m+NN zu liegen kommen.

2. Durchgeführte Untersuchungen

Zur Erkundung des Baugrundes wurden am 22.12.2014 im Bereich des geplanten Baugebietes insgesamt 5 Rammkernbohrungen DN 80/60/50 (BK 1 - BK 6) bis in eine max. Tiefe von 5,0 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. Zudem wurden 11 Baggerschürfe (Sch 1 – Sch 11), die im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes im Rahmen einer Schadstoffuntersuchung (siehe HYDROSOND, Bericht II, Schadstoffuntersuchungen) durchgeführt wurden, in die Baugrunderkundung mit einbezogen.

Alle Bohransatzpunkte wurden nach ihrer Lage und Höhe eingemessen (Anl. 1). Das Nivellement erfolgte auf einen Hilfspunkt (Kanaldeckel auf der Straße Am Kindergarten), dessen Höhe mit 137,52 m+NN angegeben wurde.

Die ingenieurgeologisch aufgenommene Schichtenfolge des Untergrundes ist gemäß DIN 4022 und DIN 4023 beschrieben. Die Ergebnisse der Bohrungen sind dem vorliegenden Bericht in Form von Bohrprofilen (Anl. 2) beigelegt.

3. Verwendete Unterlagen

Dem Untersuchungsbericht liegen folgende Unterlagen zugrunde:

- 3.01 Planunterlagen KBB GmbH, Baden-Baden
- 3.02 MÖLLER, G. (2004): Geotechnik Praxis, Band 1: Bodenmechanik, 1. Aufl. Berlin (Bauwerk)
- 3.03 MÖLLER, G. (2012): Geotechnik kompakt, Band 2: Grundbau nach Eurocode 7, 4. Aufl., Berlin, Wien, Zürich (Beuth Verlag GmbH)
- 3.04 KEMPFERT, H.-G. & RAITHEL M. (2012): Geotechnik nach Eurocode, Band 1: Bodenmechanik, 3. Aufl., Berlin, Wien, Zürich (Beuth Verlag GmbH)
- 3.05 KEMPFERT, H.-G. & RAITHEL M. (2012): Geotechnik nach Eurocode, Band 2: Grundbau, 3. Aufl., Berlin, Wien, Zürich (Beuth Verlag GmbH)
- 3.06 PRINZ, H. (1997): Abriss der Ingenieurgeologie, Stuttgart (Enke)
- 3.07 SIMMER, K. (1999): Grundbau 1+2, 18. Aufl., Stuttgart (Teubner)
- 3.08 TÜRKE, H. (1999): Statik im Erdbau, Berlin (Ernst)
- 3.09 Einschlägige DIN-Normen, ZTVE-StB 09 und Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB).
- 3.10 Dörken, W. & Dehne, E. (2009) Grundbau in Beispielen Teil 1, 4. Aufl., Köln (Werner)
- 3.11 Dörken, W. & Dehne, E. (2007) Grundbau in Beispielen Teil 2, 4. Aufl., Köln (Werner)
- 3.12 Eigene Profile und Geländebegehungen
- 3.13 Merkblatt für Bodenverbesserung und Bodenverfestigung mit Kalken, Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie e.V. (2004)
- 3.14 Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg, Raum Bühl-Offenburg

4. Baugrund

Das Baufenster liegt im Oberrheingraben im Bereich der Kinzig-Murg-Niederung. Nach der Hydrogeologischen Karte, Raum Bühl-Offenburg, ist oberflächennah mit fluviatilen Ablagerungen (Kiese, Sande, Schluffe, Tone und eventuell organische Einlagerungen) zu rechnen.

4.1. Ergebnisse der Rammkernbohrungen BK 1 - BK 5 (Anl. 2)

Zur Erkundung der geologischen Schichtenfolge und zur Gewinnung von gestörten Bodenproben wurden im geplanten Erschließungsgebiet 5 Rammkernbohrungen DN 80/60/50 (BK 1 - BK 5) bis in eine Tiefe von max. 5,0 m u. GOK niedergebracht.

Die Bohrprofile (Anl. 2) wurden vor Ort geologisch-bodenmechanisch angesprochen. Unter Bezug auf die Bohrprofile ergibt sich, dass der Baugrund im Bereich des Baufensters (BK 1 - BK 5), von der derzeitigen Geländeoberkante (GOK) ausgehend, aus Mutterboden, Schluff- und Sandablagerungen in wechselnden Mächtigkeiten und darunter aus Kiesablagerungen besteht. In den Baggerschürfen Sch 1 – Sch 10 wurde zudem eine künstliche Auffüllung angetroffen (siehe HYDROSOND, Bericht II, Schadstoffuntersuchungen).

Zusammengefasst lässt sich der Baugrund im Bereich des Erschließungsgebietes in fünf charakteristische Untergrundbereiche (von oben nach unten) unterteilen, die sich in ihrer Mächtigkeit, räumlichen Ausdehnung und Kornzusammensetzung unterscheiden:

- **Schicht 1: Auffüllung** (GOK bis ca. 0,3 / 2,1 m u. GOK)
- **Schicht 2: Mutterboden** (GOK bis ca. 0,2 / 0,3 m u. GOK)
- **Schicht 3: Schluffe** (ab ca. 0,2 / 0,3 m u. GOK bis ca. 2,4 / 3,3 m u. GOK)
- **Schicht 4: Sande** (ab ca. 2,4 / 3,3 m u. GOK bis ca. 3,7 / 4,6 m u. GOK)
- **Schicht 5: Kiese** (ab ca. 3,7 / 4,6 m u. GOK bis > 5,0 m u. GOK)

Schicht 1 [Auffüllung]:

In den Baggerschürfen Sch 1, Sch 2, Sch 3, Sch 4, Sch 5, Sch 6 und Sch 8 wurde ab GOK bis ca. 0,3 m / 2,1 m u. GOK die heterogen aufgebaute, locker gelagerte, künstliche Auffüllung der Schicht 1 angetroffen. Sie besteht z.T. aus sandigen, kiesigen und tonigen Schluffen mit Fremdbestandteilen (Bauschutt-, Beton- und Ziegelreste) sowie z.T. aus Bauschutt bzw. Müll (siehe HYDROSOND, Bericht II, Schadstoffuntersuchungen).

Nach Augenschein lässt sich die künstliche Auffüllung nach DIN 18 300 der Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbar Bodenarten) sowie bei einem Anteil von mehr als 30 % Steinen der Bodenklasse 5 (schwer lösbar Bodenarten) zuordnen. Die Schluffe der Schicht 1 gehören nach ZTVE-StB 09 zur Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich).

Die Schicht 1 ist aufgrund ihres heterogenen Aufbaus, der lockeren Lagerungsdichte, der eingeschränkten Frostsicherheit und der damit verbundenen Setzungsempfindlichkeit bzw. den Risiken ungleichmäßiger Setzungen ohne zusätzliche Maßnahmen nicht für die Abtragung von Lasten geeignet.

Schicht 2 [Mutterboden]:

In den Bohrungen BK 1 – BK 5 wurde ab GOK die braune Mutterbodenschicht der Schicht 2 mit steifer bis weicher Konsistenz angetroffen. Die Unterkante der Schicht 2 liegt bei ca. 0,2 / 0,3 m u. GOK. Sie besteht aus sandigen, tonigen und z.T. kiesigen Schluffen mit organischen Beimengungen. Die Mutterbodenschichten gehören nach DIN 18 196 zur Bodengruppe OU, nach DIN 18 300 zur Bodenklasse 1 (Oberboden) sowie nach ZTVE-StB 09 zur Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich).

Die Schicht 2 ist generell nicht zur Abtragung von Lasten geeignet.

Schicht 3 [Schluffe]:

In allen Bohrungen wurden unter der Schicht 2 ab ca. 0,2 bzw. 1,7 m u. GOK die hellbraunen bis braunen, sandigen und z.T. tonigen Schluffe der Schicht 3 in

schwankender Mächtigkeit angetroffen. Die Unterkante der Schicht 3 liegt bei ca. 2,4 m u. GOK (BK 1) bzw. 3,3 m u. GOK (BK 5). In der Bohrung BK 2 wurde die Unterkante der Schicht 3 bis zur Endtiefe von 3,0 m u. GOK nicht erreicht. Die Schluffe weisen steife bis weiche Konsistenz auf. Nach DIN 18 196 (Plastizitätsdiagramm mit Bodengruppen) sind die Schluffe den Bodengruppen UL (leicht plastische Schluffe) und TL (leichtplastische Tone) zuzuordnen. Nach DIN 18 300 gehören die Bodengruppen UL und TL zur Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbar Bodenarten) und nach ZTVE-StB 09 zur Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich).

Die Schluffe der Schicht 3 sind nicht frostsicher. Bei zumindest steifer Konsistenz der Schluffe ist die Schicht 3 als brauchbarer Baugrund zu bezeichnen; eine Lastabtragung wäre nur bei entsprechend geringer Bodenpressung möglich.

Bei weicher Konsistenz der Schluffe ist die Schicht 3 nicht mehr zur Abtragung von Lasten geeignet bzw. eine Lastabtragung nur mit besonderen Maßnahmen möglich.

Schicht 4 [Sande]:

Unter der Schicht 3 wurden in den Bohrungen BK 1, BK 3, BK 4 und BK 5 ab ca. 2,4 / 3,3 m u. GOK die Sande der Schicht 4 in stark wechselnder Mächtigkeit angetroffen. Die Unterkante der Schicht 4 wurde bei ca. 3,7 m (BK 5) bzw. 4,6 m u. GOK (BK 3) erbohrt. In der Bohrung BK 1 wurden innerhalb der Schicht 4 Toneinschluffungen mit organischen Beimengungen (Holzreste) der Bodengruppe OT im dm-Bereich mit geringer lateraler Erstreckung angetroffen.

Die Sande und Sand-Schluff-Gemische der Schicht 4 lassen sich nach Augenschein und nach DIN 18 196 den Bodengruppen SE, SI, SU und SÜ zuordnen. Die Bodengruppen SE, SI und SU (Feinkornanteil bis 15 %) gehören nach DIN 18 300 zur Bodenklasse 3 (leicht lösbar Bodenarten) und die Bodengruppe SÜ (Feinkornanteil bei 15 bis 40 %) gehört nach DIN 18 300 zur Bodenklasse 4 (mittelschwer lösbar Bodenarten). Nach ZTVE-StB 09 lassen sich die Bodengruppen SE und SI (Feinkornanteil < 5%) der Frostempfindlichkeitsklasse F1 (nicht frostempfindlich) zuordnen. Die Bodengruppe SU gehört zur Frostempfindlichkeitsklasse F2 (gering bis mittel frostempfindlich) und die Bodengruppe SÜ zur Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich).

Die Schicht 4 ist allgemein als brauchbarer bis gut geeigneter Baugrund zu bezeichnen und ist für die Abtragung von Lasten über eine Bodenplatte sowie über Einzel- und Streifenfundamente geeignet.

Schicht 5 [Kiese]:

Unter der Schicht 4 wurden in den Bohrungen BK 1, BK 3 und BK 5 ab ca. 3,7 bzw. 4,6 m u. GOK bis zur Endtiefe der Bohrungen (> 5,0 m u. GOK) die braunen bis grauen, sandigen Kiese der Schicht 5 angetroffen. Nach Augenschein lassen sich die Kiese nach DIN 18 196 den Bodengruppen GI und GW und nach DIN 18 300 der Bodenklasse 3 (leicht lösbar Bodenarten) zuzuordnen.

Nach ZTVE-StB 09 gehören die Bodengruppen GI und GW zur Frostempfindlichkeitsklasse F1 (nicht frostempfindlich).

Die Schicht 5 ist allgemein als gut tragfähiger Baugrund zu bezeichnen und ist für die Abtragung von Lasten über eine Bodenplatte sowie über Einzel- und Streifenfundamente geeignet.

Aufgrund der vertikal und horizontal wechselnden Tragfähigkeiten des Untergrundes wird bei der Errichtung von Gebäuden empfohlen, bereits im Vorfeld den Bodenaufbau im Bereich des geplanten Baufensters in Form eines ingenieurgeologischen Gründungsgutachtens zur genaueren Bemessung der Lastabtragungsflächen und der ggf. erforderlichen bautechnischen Maßnahmen erkunden zu lassen.

4.2. Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Versuche an gestörten Bodenproben sind in der Anlage 4 aufgetragen und in der nachstehenden Tabelle 1 zusammengefasst:

Entnahmestelle	BK 1	BK 1	BK 3
Prüfungs-Nr.	BK 1.1	BK 1.2	BK 3.1
Entnahmetiefe [m]	0,5 – 1,0	1,0 – 2,1	1,9 – 2,6
Ansprache nach DIN 18196	UL / TL	UL / TL	UL
Bodenklasse	4	4	4
Frostempfindlichkeitsklasse	F3	F3	F3
Konsistenz nach Atterberg	weich	steif	-
Wassergehalt [%]	20,8	-	23,2
k_f – Wert nach Hazen [m/s]	-	-	$7,9 \times 10^{-7}$
k_f – Wert nach Beyer [m/s]	-	$1,3 \times 10^{-8}$	$5,9 \times 10^{-7}$

Tabelle 1: Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche

5. Grundwasser

Der Grundwasserstand wurde am 22.12.2014 in der Bohrung BK 1 bei ca. 0,72 m u. GOK, in der Bohrung BK 2 bei ca. 1,60 m u. GOK, in der Bohrung BK 3 bei ca. 1,79 m u. GOK, in der Bohrung BK 4 bei ca. 1,20 m u. GOK und in der Bohrung BK 5 bei ca. 0,75 m u. GOK gemessen. Die Grundwasserstände stiegen in den Bohrlöchern an und weisen damit auf zumindest zeitweise bzw. lokal gespannte Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet hin.

Aus der Hydrogeologischen Karte, Raum Bühl-Offenburg:

ist für Achern-Wagshurst im Bereich des Baufensters anzusetzen:

- Mittlerer Grundwasserstand (MGW): ca. 134,75 m+NN
- Höchster Grundwasserstand (HGW): ca. 135,75 m+NN
- Niedrigster Grundwasserstand (NGW): ca. 133,75 m+NN

Im Bereich der Kinzig-Murg-Niederung können nach der Hydrogeologischen Karte, Raum Bühl-Offenburg, Schwankungsbreiten der Grundwasserstände bis ca. 2,0 m ($\pm 1,0$ m) auftreten.

Nach der Interpolation der Grundwassergleichen der Hydrogeologischen Karte Bühl-Offenburg und bei Berücksichtigung der natürlichen Grundwasserschwan-

kungen von $\pm 1,0$ m ist für das Untersuchungsgebiet ein höchster Grundwasserstand (HGW) von ca. 135,75 m+NN zu berücksichtigen. Dabei können zumindest zeitweise bzw. lokal gespannte Grundwasserstände auftreten.

Im Bereich des Bachbettes (Flst.-Nr. 5362) können aufgrund einer möglichen hydraulischen Verbindung des offenen Gewässers zum Grundwasserhorizont auch höhere Grundwasserstände bzw. geringere Flurabstände auftreten.

Die Grundwasserganglinie steigt i.a. von November bis Februar/März und fällt dann kontinuierlich bis September/Oktober ab.

Nach der Hydrogeologischen Kartierung Bühl-Offenburg besitzen die anstehenden Kiese der Niederterrasse (Kiestyp A) einen mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 1,5 \times 10^{-3}$ m/s.

Der Boden im Erschließungsgebiet ist im Bereich der **Schicht 3** als schwach durchlässig einzustufen (Bodengruppen UL, TL). Im Bereich der **Schicht 4** sind die schluffigen Sande (Bodengruppen SU, SÜ) allgemein als schwach durchlässig bis durchlässig und die Sande ohne Feinanteil (Bodengruppen SE, SI) als durchlässig bis stark durchlässig zu bewerten. Die sandigen Kiese der **Schicht 5** (Bodengruppe GI, GW) sind als stark durchlässig bis durchlässig einzustufen.

Bei nicht unterkellerten Gebäuden kann es bei einer Aufschüttung mit wenig durchlässigem Boden ($k_f \leq 10^{-4}$ m/s) nach DIN 18 195 zur Bildung von Staunässe im Bereich der Gründungssohle kommen. In diesem Fall sind erdberührte Bauteile und Bodenplatten nach DIN 18 195, Teil 6, gegen Lastfall: aufstauendes Sickerwasser, abzudichten oder es ist ein ausreichend hohes Gründungsniveau des Gebäudes vorzusehen.

Liegt die Gründungssohle von unterkellerten Gebäuden nicht im Schwankungsbereich des Grundwassers, ist bei einer Gründung in schwach durchlässigem Boden ($k_f \leq 10^{-4}$ m/s) der **Schicht 3** bzw. **Schicht 4** mit Staunässe und Sickerwasser bzw. Schichtwasser aus den besser durchlässigen Einschaltungen innerhalb der

bindigen Schichten zu rechnen. Daher sind erdberührte Bauteile und Bodenplatten nach DIN 18 195, Teil 6, gegen Lastfall: aufstauendes Sickerwasser, abzudichten. Bei zusätzlichem Einbau einer dauerhaft funktionierenden Drainage nach DIN 4095 kann nach DIN 18 195, Teil 4, gegen Lastfall: nichtstauendes Sickerwasser, abgedichtet werden. Dabei sind anfallende Sickerwässer rückstaufrei abzuleiten.

Bei einer Lage der Gründungssohlen von unterkellerten Gebäuden im Schwankungsbereich des Grundwassers sind eine Kellerabdichtung nach DIN 18 195, Teil 6, Lastfall: von außen drückendes Wasser (Grundwasser) bzw. eventuelle Grundwasserhaltungen während der Bauausführung vorzusehen.

6. Maßgebende Bodenkennwerte

Aus den Bohrprofilen und deren Interpolation ergeben sich zusammengefasst fünf relevante Schichten, die sich in ihren Bodenkennwerten unterscheiden.

Für die Ausschreibung der Erdarbeiten und für die statischen Berechnungen kann von nachfolgenden Bodenkennwerten ausgegangen werden. Die Bodenkennwerte wurden nach DIN 1055 abgeleitet. Die genannten Bodenklassen nach DIN 18300 gelten nur für das Lösen bzw. für Aushubarbeiten.

Schicht 1

Auffüllung:

Bodenklasse	4 (mittelschwer lösbare Bodenarten) 5 (schwer lösbare Bodenarten)
Frostklasse	F3 (sehr frostempfindlich)

Schicht 2

Mutterboden:

Bodengruppe	OU
-------------	----

Bodenklasse	1 (Oberboden)
Frostklasse	F3 (sehr frostempfindlich)

Schicht 3

Schluffe mit steifer Konsistenz

Bodengruppe	UL / TL
Bodenklasse	4 (mittelschwer lösbar Bodenarten)
Frostklasse	F3 (sehr frostempfindlich)
Wichte γ' [kN/m ³]	19,0 – 21,0
Wichte γ [kN/m ³] u. Auftrieb	9,0 – 11,0
Kohäsion c' [kN/m ²]	2 – 10
Reibungswinkel φ' [°]	25,0 – 27,5
Steifemodul E_s [MN/m ²]	2,5 – 5
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	$10^{-6} - 10^{-8}$ (schwach durchlässig)

Schluffe mit weicher Konsistenz:

Bodengruppe	UL / TL
Bodenklasse	4 (mittelschwer lösbar Bodenarten)
Frostklasse	F3 (sehr frostempfindlich)
Wichte γ' [kN/m ³]	17,5 – 20,0
Wichte γ [kN/m ³] u. Auftrieb	9,0 – 10,0
Kohäsion c' [kN/m ²]	0 – 5
Reibungswinkel φ' [°]	22,5 – 27,5
Steifemodul E_s [MN/m ²]	1 – 4
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	$10^{-6} - 10^{-8}$ (schwach durchlässig)

Schicht 4

Schluffige Sande:

Bodengruppe	SÜ
-------------	----

Bodenklasse	4 (mittelschwer lösbar Bodenarten)
Frostklasse	F3 (sehr frostempfindlich)
Wichte γ' [kN/m ³]	20,0 – 21,0
Wichte γ [kN/m ³] u. Auftrieb	10,0 – 11,0
Kohäsion c' [kN/m ²]	0 – 5
Reibungswinkel φ' [°]	30,0
Steifemodul E_s [MN/m ²]	20 – 50
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	5×10^{-5} bis 10^{-8} (durchlässig bis schwach durchlässig)

Schwach schluffige Sande:

Bodengruppe	SU
Bodenklasse	3 (leicht lösbar Bodenarten)
Frostklasse	F2 (gering bis mittel frostempfindlich)
Wichte γ' [kN/m ³]	18,0 – 20,0
Wichte γ [kN/m ³] u. Auftrieb	10,0 – 11,0
Kohäsion c' [kN/m ²]	0
Reibungswinkel φ' [°]	30,0 – 32,5
Steifemodul E_s [MN/m ²]	30 – 40
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	10^{-5} bis 10^{-7} (durchlässig bis schwach durchlässig)

Intermittierend gestufte und enggestufte Sande:

Bodengruppe	SI / SE
Bodenklasse	3 (leicht lösbar Bodenarten)
Frostklasse	F1 (nicht frostempfindlich)
Wichte γ' [kN/m ³]	17,0 – 18,0
Wichte γ [kN/m ³] u. Auftrieb	9,0 – 10,0
Kohäsion c' [kN/m ²]	0
Reibungswinkel φ' [°]	30,0
Steifemodul E_s [MN/m ²]	20 – 50
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	10^{-3} bis 10^{-5} (stark durchlässig bis durchlässig)

Schicht 5

Intermittierend gestufte und weitgestufte Kiese:

Bodengruppe	GI / GW
Bodenklasse	3 (leicht lösbar Bodenarten)
Frostklasse	F1 (nicht frostempfindlich)
Wichte γ' [kN/m ³]	19,0 – 21,0
Wichte γ [kN/m ³] u. Auftrieb	11,0 – 12,0
Kohäsion c' [kN/m ²]	0
Reibungswinkel φ' [°]	32,5 – 37,5
Steifemodul E_s [MN/m ²]	75 – 100
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	10^{-2} bis 10^{-4} (stark durchlässig bis durchlässig)

Bei der Ermittlung der bodenmechanischen Kennwerte wurde von einer mitteldichten Lagerung ausgegangen. Die Durchlässigkeitsbeiwerte wurden nach Erfahrungswerten abgeschätzt.

7. Erdbeben

Das Baugelände befindet sich nach DIN 4149, 2005-04 und der darin enthaltenen Karte der Erdbebenzonen im Bereich der **Erdbebenzone 1**.

Der Einfluss der örtlichen geologischen Untergrundverhältnisse auf die Erdbebeeinwirkung ist durch drei Untergrundklassen **R**, **T** und **S** zu berücksichtigen. Nach DIN 4149, 2005-04, Bild 3, liegt das Baufenster in der **Untergrundklasse S**.

Nach den Untersuchungen ist der Baugrund im Bereich des Baufensters der **Baugrundklasse C** zuzuordnen.

Der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung ist mit **0,4 m/s²** anzusetzen. Nach DIN 4149: 2005-04 liegen die dominierenden Scherwellengeschwindigkeiten etwa zwischen **150 m/s und 350 m/s**.

8. Baugelände und vorgesehene Baumaßnahmen

Das geplante Baugebiet „Langmatt-Rötz II“ befindet sich in Achern-Wagshurst östlich der Hanauer Straße und westlich der Straßen An der Rötz bzw. Am Kindergarten. Die derzeitige Geländeoberkante im Baugebiet liegt zwischen ca. 136,5 m+NN und ca. 137 m+NN.

Im Planungsgebiet sind die Verlegung von Versorgungs- und Entsorgungsleitungen und der Ausbau des Straßennetzes vorgesehen.

Die geplante Straße soll im nordöstlichen Bereich des Baufensters an die Straße Am Kindergarten und im Südwesten an die Hanauer Straße anschließen. Das Straßenniveau der geplanten Fahrbahn soll nach Angaben der Planer ungefähr bei 138,0 m+NN liegen.

Im Bereich der geplanten Straße sollen Ver- und Entsorgungsleitungen verlegt werden und an die bestehende Kanalisation angeschlossen werden. Nach Angaben der Planer sollen die Schachtsohlen der Schmutzwasserkanäle bei ca. 136,3 bis 135,4 m+NN zu liegen kommen.

9. Geotechnische Empfehlungen

9.1. Schmutzwasserkanalisation

Die Kanalsole der Schmutzwasserkanalisation soll nach Angaben der Planer bei ca. 136,3 bis 135,4 m+NN zu liegen kommen. Nach den Bohraufschlüssen würde sie damit vollständig in den Schluffen der **Schicht 3** liegen.

Im Einflussbereich von Grundwasser sind Leitungen gegen Auftrieb und Gräben gegen einsickerndes Wasser zu sichern.

9.2. Schachtbauwerke

Bei einer Lage der Gründungssohle der Schachtbauwerke in den schwer verdichtbaren und nicht als tragfähig einzustufenden Schluffen der **Schicht 3**, sind diese im Bereich der Gründungssohlen durch einen Bodenaustausch mit einer tragfähigen Aufschüttung aus frostsicherem, durchlässigem und wasserfestem Material mit einer Dicke von $\geq 0,5$ m zu ersetzen.

Bei den Schachtbauwerken ist für ein gleichmäßiges Auflager und eine ausreichende Verdichtung des Verfüllmaterials unter dem auskragenden Schachtteil zu achten. Generell ist die Gründungssohle intensiv zu verdichten.

9.3. Rohrauflager

Bei der Verlegung von Rohrleitungen im Erschließungsgebiet müssen die Rohre gleichmäßig mit der ganzen Rohrschaftlänge aufliegen und der Boden muss im Bereich der oberen Bettungsschicht mindestens die gleiche Dichte aufweisen wie im Bereich unter dem Rohr (Abb. 2).

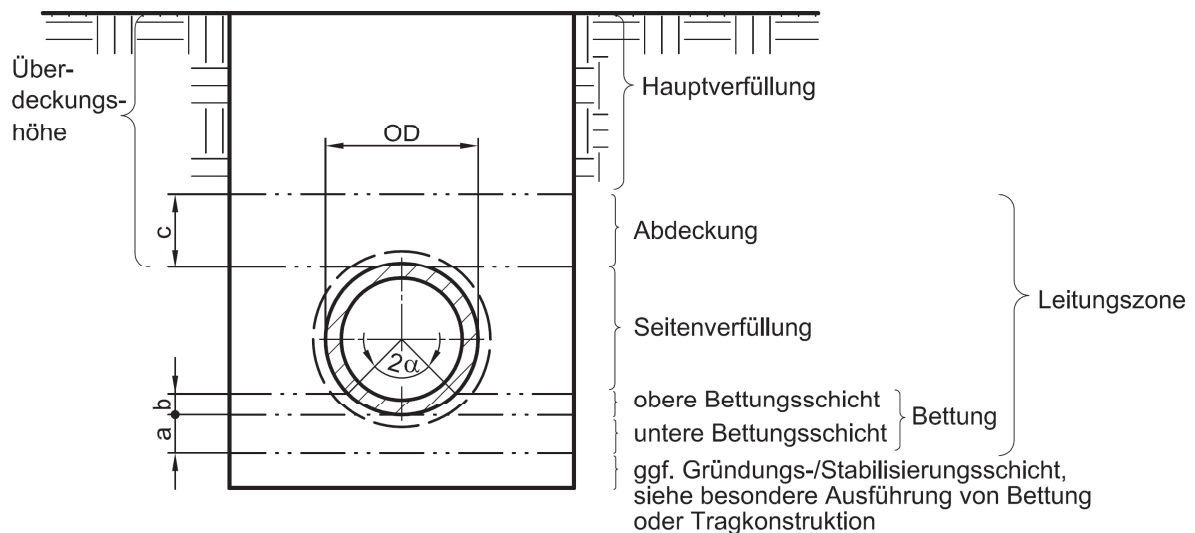


Abb. 2: Schematischer Schnitt Leitungszone und Hauptverfüllung nach DIN EN 1610

Nach den Forderungen der DIN EN 1610 sind folgende Bettungsvarianten möglich (Abb. 3):

Bettung Typ 1: Tiefer ausgehobene Grabensohle, Rohrverlegung auf ein einzubringendes Auflager (untere Bettungsschicht)

Bettung Typ 2: Rohrverlegung direkt auf die vorgeformte und vorbereitete Grabensohle (gewachsener Boden)

Bettung Typ 3: Rohrverlegung direkt auf die Grabensohle (gewachsener Boden)

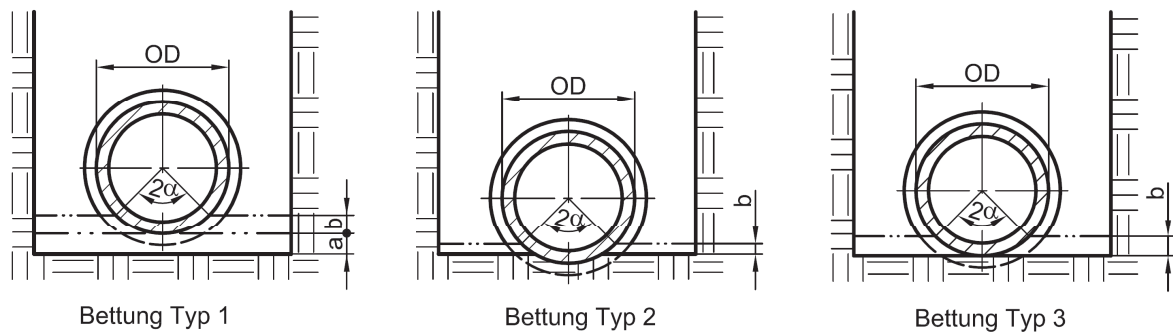


Abb. 3: Bettungstypen nach DIN EN 1610

Eine unmittelbare Rohrbettung nach Bettung Typ 2 und Typ 3 kann nach DIN EN 1610 bei gleichmäßigen, relativ feinkörnigen, nichtbindigen Böden aus Sand bis Mittelkies mit Größtkorn 20 mm und bei bindigen Böden mit gleichmäßiger Tragfähigkeit mit einer Mindestdicke von $100 \text{ mm} + 1/10 \text{ DN}$ erfolgen. Dabei können die Rohre nach der Nachverdichtung der aufgelockerten Grabensohle unmittelbar auf den anstehenden Boden aufgelegt werden.

Bei nicht tragfähigen, weichen Böden oder sehr harten Böden bzw. Fels ist nach DIN EN 1610 eine Bettung nach Typ 1 mit einer unteren Bettungsschicht vorzusehen.

Nach Interpolation der Bohrungen BK 1 bis BK 5 werden die Kanalsohlen der Rohrleitungen vollständig in der **Schicht 3** liegen. Aufgrund der z.T. weichen Konsistenz der Schluffe der **Schicht 3** empfehlen wir zur Gewährleistung der Tragfähigkeit und einer gleichmäßigen Bettung den Einbau einer unteren Bettungsschicht nach **Bettung Typ 1**.

Die untere Bettungsschicht (Bettung Typ 1) ist für Böden der **Schicht 3** mit einer Minstdicke von $t = 100 \text{ mm} + 1/10 \text{ DN}$ (in mm) einzubauen.

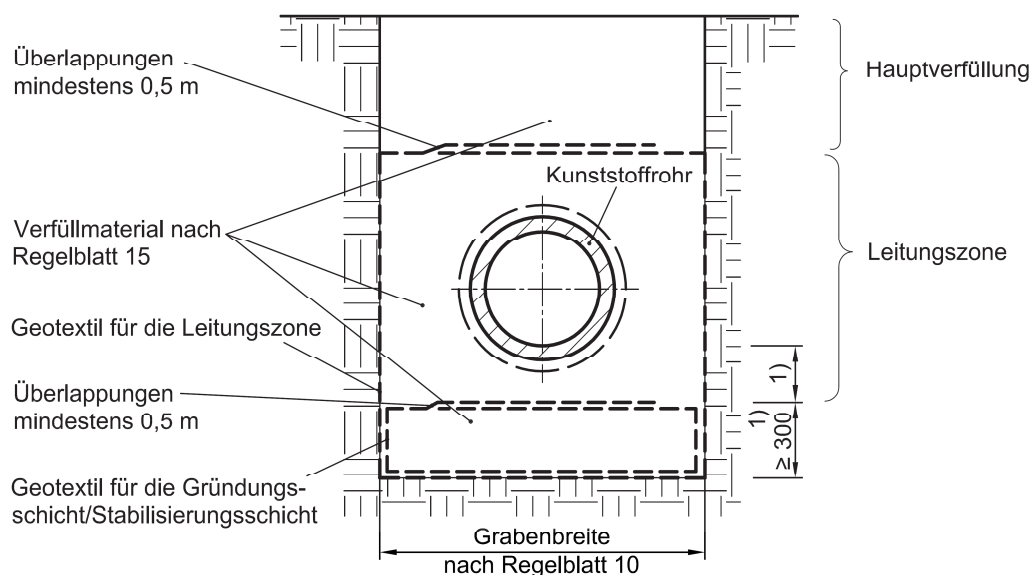
Alternativ dazu kann eine Bettung mit einem durchgehenden Betonaufleger mit einer Dicke von $50 \text{ mm} + 1/10 \text{ DN}$ und mind. 100 mm vorgesehen werden.

Die obere Bettungsschicht ist entsprechend den statischen Berechnungen bzw. der Planvorgaben in der vorgegebenen Dicke einwandfrei herzustellen.

Um ein witterungsbedingtes Aufweichen der wasserempfindlichen Schluffe (Schicht 3) im Bereich der Gründungssohle zu vermeiden, sollte das Rohraufleger unmittelbar nach Freilegung der Gründungssohle eingebracht werden.

Sollten im Grabensohlenbereich Schluffe der **Schicht 3** mit weicher und steifer bis weicher Konsistenz angetroffen werden, sind diese für ein stabiles Rohraufleger nicht ausreichend und es ist eine besondere Ausführung der Bettung bzw. Tragkonstruktion vorzusehen. U.E. ist in diesem Fall eine Stabilisierung der Grabensohle durch einen Bodenaustausch nach DWA-A 139 mit geeignetem Material (z.B. Schotter) in einer Mächtigkeit von mind. 30 cm erforderlich (Abb. 4).

Die Gründungs- bzw. Stabilisierungsschicht ist mit einem geeigneten Geotextil (Anforderungen nach ZTVE-StB 09) zu ummanteln und zu verdichten.



¹⁾ Die erforderlichen Schichtdicken sind im Einzelfall festzulegen. Die Dicke der Gründungs-/Stabilisierungsschicht muss gemäß DWA-A 139 mindestens 300 mm betragen.

Abb. 4: Ausführung von Bettung und Tragkonstruktion bei setzungempfindlichem Baugrund

Da bei einer Gründung auf weichen Schluffen Setzungen nicht gänzlich vermieden werden können und über längere Zeit mit Verformungen gerechnet werden müssen, empfehlen wir zur Vermeidung von Rohrschäden die Verwendung von biegeweichen Rohren (Kunststoffrohre).

Eine Auflockerung des anstehenden Bodens im Auflagerbereich muss vermieden werden. Aufgelockerter Boden muss durch eine gleichmäßige und nachzuweisende Nachverdichtung auf mindestens $D_{Pr} \geq 97\%$ Proctordichte verdichtet werden. Bei schwer verdichtbarem Boden ist ein Austausch durch geeignetes Material sowie eine sorgfältige Verdichtung vorzusehen. Es ist zu empfehlen zahnlose Baggerlöffel einzusetzen.

Zudem ist zu beachten, dass die Baustoffe in der gesamten Leitungszone nach ZTVE-StB 09 keine Bestandteile enthalten, die größer als 20 mm sind. Geeignet sind Sande (Bodengruppen SE, SI, SW), stark sandige Kiese (Sandanteil $> 15\%$ und Ungleichförmigkeitszahl $U > 3$) mit Größtkorn 20 mm sowie Brechsand oder Split mit Größtkorn 11 mm für Rohre $< DN 900$ und Größtkorn 20 mm für Rohre $\geq DN 1000$.

Die verwendeten Sande und sandigen Kiese müssen gut verdichtbar sein (Verdichtbarkeitsklasse V1). Schwach sandige Kiese sowie Schlacken und aggressive Stoffe sind für die Auflagerung und Einbettung nicht geeignet.

Nach ZTVE-StB 09 muss die Verfüllung von Leitungsgräben einen nachgewiesenen Verdichtungsgrad von mind. $D_{Pr} = 97\%$ erreichen. Die Breite der Bettung muss mit der Grabenbreite übereinstimmen.

Für enge Bereiche der Leitungszone (Rohrzwinkel, Schachtanschlüsse), die sich nicht verfüllen und verdichten lassen, empfehlen wir den Einbau von Boden-Bindemittel-Gemischen oder Porenleichtbeton.

Die geforderten Lagerungsdichten nach ZTVE-StB 09 sind in Abb. 5 dargestellt.

bis 15 cm	- leichter Vibrationsstampfer (25 kg Gewicht)
15 bis 30 cm	- mittlerer Vibrationsstampfer (25 bis 60 kg)
bis 20 cm	- leichte Rüttelplatte (100 kg)
40 bis 50 cm	- schwerer Vibrationsstampfer (60 bis 200kg)
30 bis 50 cm	- mittlere Rüttelplatte (300 bis 750 kg)
40 bis 70 cm	- schwere Rüttelplatte (750 kg)

Das Einbringen der Hauptverfüllung (Bereich über der Leitungszone) ist entsprechend den Planvorgaben auszuführen. Wenn Setzungen vermieden werden sollen, ist die Hauptverfüllung lagenweise so auszuführen, dass eine ausreichende Verdichtung gewährleistet ist und es ist Boden der Verdichtbarkeitsklasse V1 zu verwenden. Die Rohre dürfen dabei nicht beschädigt werden. Schlagartiges Einfüllen großer Erdmassen ist unzulässig.

Die Dicke der Abdeckung ist nach DIN EN 1610 mit 150 mm über dem Rohrschaft bzw. 100 mm über der Rohrverbindung festgelegt. Eine mechanische Verdichtung darf im Bereich der Leitungszone bis 1,0 m Schichtdicke über Rohrscheitel nur mit leichtem, bis 3,0 m auch mit mittelschwerem und darüber auch mit schwerem Verdichtungsgerät erfolgen (Abb. 6).

Besondere Belastungen während des Bauzustands, z. B. Befahren der überschütteten Rohrleitungen bei kleiner Überdeckung mit schweren Baugeräten und Fahrzeugen sowie Lagerung von Bodenaushub über der Leitung, sind unzulässig.

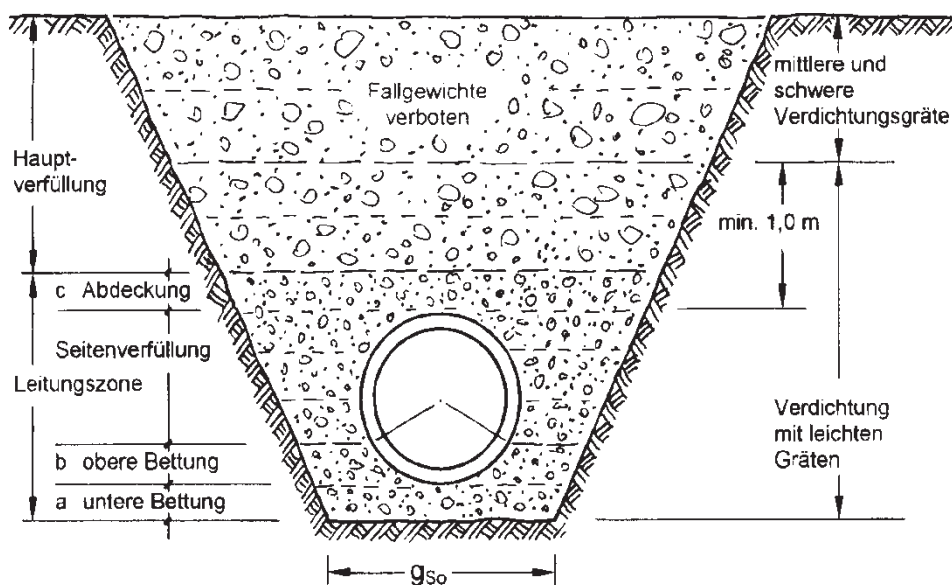


Abb. 6: Schematischer Schnitt Rohraufleger

9.4. Verkehrsflächen

Die geplante Fahrbahn soll im NW des Untersuchungsgebietes an die bestehende Straße Am Kindergarten und im SE an die Hanauer Straße anschließen. Das geplante Straßenniveau soll nach Angaben der Planer bei ca. 138,00 m+NN liegen. Damit würde die geplante Fahrbahn ungefähr zwischen 1,1 m (BK 3) und 1,4 m (BK 5) über derzeitigem Gelände zu liegen kommen.

Nach den Richtlinien für die „Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen“ (RStO 01) ist für eine ständig genutzte Straße eine Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaues abhängig vom Boden und von der Bauklasse erforderlich. Bei Böden der Frostsicherheitsklasse F2 und F3 sind nach Tabelle 2 folgende Mindestdicken des frostsicheren Straßenaufbaues zugrunde zu legen:

Frostempfindlichkeitsklasse	Dicke in cm bei Bauklasse		
	SV / I / II	III / IV	V / VI
F2	55	50	40
F3	65	60	50

Tabelle 2: Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaus

Mehr- oder Minderdicken infolge örtlicher Verhältnisse sind nach RStO 01, Tabelle 7, zu berücksichtigen.

In allen Bohrungen (BK 1 – BK 5) wurde im Bereich der geplanten Fahrbahn ab GOK die Mutterbodenüberdeckung der **Schicht 2** mit einer Mächtigkeit von ca. 0,2 / 0,3 m angetroffen. Der Mutterboden ist generell nicht zur Abtragung von Lasten geeignet und daher im Fahrbahnbereich vollständig abzuschleifen und durch gut verdichtbares und gut abgestuftes Material zu ersetzen (Bodenaustausch).

Im Bereich einer notwendigen Aufschüttung ist ab UK der Mutterbodenschichten entsprechend geeignetes Material aufzuschütten. Hierzu empfehlen wir weitgestufte Böden der Bodengruppen GW und GI (nach DIN 18196 Anteil an Korn unter 0,063 mm < 5%). Für Aufschüttungen ist für die Bodengruppen GW und GI ab Dammsohle bis 1,0 m unter Planum ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 98 \%$ Proc-

tordichte zu erreichen und ab Planum bis 1,0 m unter Planum ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 100\%$ Proctordichte.

Der Untergrund bzw. Unterbau für die Fahrbahn muss ausreichend dicht gelagert und tragfähig sein. Nach RStO 01 ist auf dem Planum bei frostempfindlichem Untergrund bzw. Unterbau (Frostempfindlichkeitsklasse F2 und F3) ein Verformungsmodul von mind. $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ zu erreichen. Die Tragfähigkeit von feinkörnigen Böden ist stark abhängig vom Wasser- und Luftgehalt. Das Trag- und Verformungsverhalten kann sich daher witterungsbedingt sowohl zeitlich als auch örtlich ändern.

Ist der erforderliche Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ auf dem witterungsempfindlichen Planum durch Verdichten nicht dauerhaft erreichbar (z.B. beim Antreffen von Schluffen mit weicher Konsistenz), ist der Untergrund zu verbessern bzw. zu verfestigen oder die Dicke der ungebundenen Tragschicht ist zu vergrößern.

Dafür kann ein Bodenaustausch mit geeignetem Material durchgeführt werden. Nach ZTVE-StB 09 wäre dabei unter Annahme eines erreichten Verformungsmoduls von $E_{v2} = 10 - 20 \text{ MN/m}^2$ auf den Schluffen der **Schicht 3** ein Bodenaustausch mit Frostschutzmaterial in einer Stärke von 20 cm bis 40 cm erforderlich, um auf dem Planum den geforderten Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ nachweisen zu können (Abb. 7).

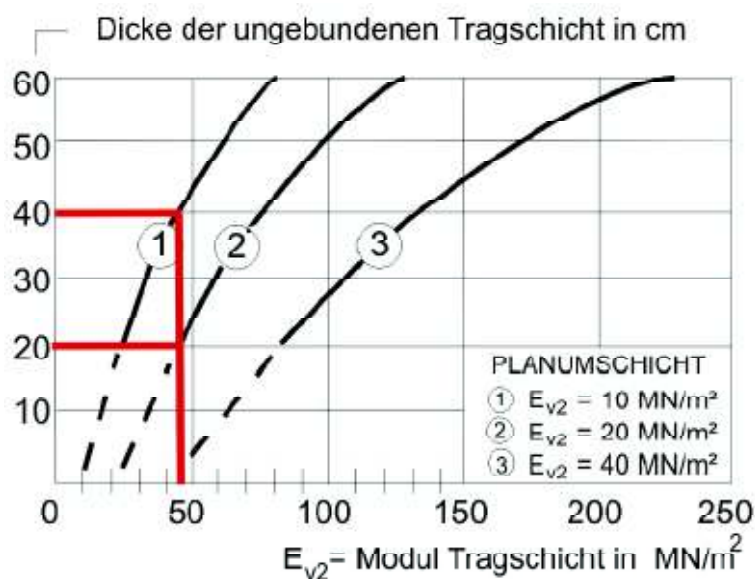


Abb. 7: Verformungsmodul E_{v2} auf der Frostschutzschicht in Abhängigkeit von deren Dicke und vom Verformungsmodul auf dem Planum

Die zu erreichenden Verformungsmoduln auf dem Planum und der Frostschutz- bzw. Tragschicht sind mittels Lastplattendruckversuchen nach DIN 18 134 nachzuweisen.

Alternativ zu einem Bodenaustausch kann eine ca. 0,5 m mächtige Bodenverfestigung mit hydraulischen Bindemitteln (Kalk / Zement) durchgeführt werden. Die feinkörnigen Böden der **Schicht 3** (Bodengruppe UL / TL) wären nach DIN 18 196 als geeignet für eine Bodenverfestigung einzustufen.

Der Bindemittelanteil muss für eine Bodenverfestigung mindestens 4 Gew. % betragen. Gemäß ZTVE-StB 09 kämen für die feinkörnigen Böden der **Schicht 3** folgende Bindemittel für eine Bodenverfestigung in Betracht:

- Feinkalk in einer Menge von 4 bis 6 %, bezogen auf die Trockenmasse des Bodens
- Kalkhydrat in einer Menge von 4 bis 8 %, bezogen auf die Trockenmasse des Bodens
- Hochhydraulischer Kalk oder Zement in einer Menge von 7 bis 16 %, bezogen auf die Trockenmasse des Bodens
- Mischbindemittel in einer Menge von 4 bis 16 %, bezogen auf die Trockenmasse des Bodens (Kombination aus genormten hydraulischen Bindemitteln und Baukalken)

Für eine genaue Bestimmung der erforderlichen Bindemittelmenge sind weitergehende bodenmechanische Untersuchungen (Wassergehalt, Proctorveruch) erforderlich. Um zu testen, ob die Anforderungen mit dem für die Verfestigung gewählten Verfahren erreicht werden, wird empfohlen, rechtzeitig vor Baubeginn eine Eignungsprüfung mit einer Probeverfestigung des Bodens durchzuführen.

Da alle Verfahren als gleichwertig einzustufen sind, kann die wirtschaftlichere Variante gewählt werden.

Die Bodenverfestigung ist in der vollen Breite des Baufensters auszuführen. Oberboden, pflanzliche Bestandteile und Steine sind zu entfernen. Das Bindemit-

tel ist maschinell gleichmäßig zu verteilen und so einzumischen, dass die geforderte Schichtdicke erreicht wird und eine gleichmäßige Verdichtung hergestellt wird. Bei der einer Bodenverfestigung mit dem Baumischverfahren ist nach ZTVE-StB 09 für feinkörnige Böden der Bodengruppen UL und TL (Schicht 3) ab Planum bis 0,5 m Tiefe ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ ($D_{Pr} \geq 97\%$ Proctordichte) zu erreichen.

Im Zuge der Nachbehandlung sind Bodenverfestigungen mind. 3 Tage lang ständig feucht zu halten.

Die Herstellung einer Bodenverfestigung mit gefrorenem Boden ist nicht zulässig. Bodenverfestigungen mit Feinkalk und Kalkhydrat sollten mindestens 2 Monate vor dem Eintreten von Frost hergestellt sein. Andernfalls sind sie ausreichend gegen Frost zu schützen.

Mit Hilfe von qualifizierten Bodenverbesserungen (Bodenverbesserung mit erhöhten Anforderungen) kann nach ZTVE-StB 09 eine Einstufung von Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F3 in die Frostempfindlichkeitsklasse F2 erfolgen.

Die Schichtdicke des verbesserten Bodens muss dabei mindestens 25 cm betragen und Bindemittelmenge muss bei $>3\%$ Masseanteil liegen.

Auf dem frostempfindlichen Untergrund / Unterbau ist dabei nach qualifizierter Bodenverbesserung mindestens ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 70 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen. Nach einer qualifizierten Bodenverbesserung kann bei einer Einstufung eines F3-Bodens in die Frostempfindlichkeitsklasse F2 die Dicke der Frostschuttschicht nach Tabelle 2 reduziert werden.

Die bindigen Böden der **Schicht 3** sind überwiegend als schwach durchlässig einzustufen. Zur Ableitung von Oberflächenwasser sind dauerhaft wirksame, erosionssichere Entwässerungseinrichtungen vorzusehen. Das Oberflächenwasser muss schadlos aufgenommen und versickert, bis zum nächsten Vorfluter weitergeleitet oder in die Kanalisation eingeleitet werden. Aufgrund der einfacheren Unterhaltung und Wartung sind offene, oberirdische Entwässerungsanlagen geschlossenen, unterirdischen Anlagen vorzuziehen.

9.5. Herstellen der Baugruben

Die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 in Abhängigkeit von der Nennweite DN des Rohres und vom Böschungswinkel kann der Tabelle 3 entnommen werden. Wenn eine Bodenverdichtung innerhalb der Leitungszone mit maschinellen Geräten vorgesehen ist, ist rechts und links des Rohrschafts ein Mindestarbeitsraum von ca. 0,5 m vorzusehen.

Frei geböschte oder mit lotrechter Wand ausgehobene Gräben dürfen keinen schädlichen Einfluss auf die umliegende Bebauung, Leitungen und Verkehrswege ausüben.

Nach DIN 4124 sind folgende Böschungsneigungen einzuhalten:

- für nichtbindige oder bindige Böden mit mind. steifer Konsistenz, Klasse 3 und 4, $\beta = 45^\circ$. In bindigen Böden mit weicher Konsistenz empfehlen wir Baugrubenböschungen mit einem max. Winkel von $\beta = 30^\circ$ anzulegen.
- für steife bis feste bindige Böden, Klasse 4 und 5, $\beta = 60^\circ$
- leicht lösbarer Fels, Klasse 6, $\beta = 80^\circ$
- schwer lösbarer Fels, Klasse 7, $\beta = 90^\circ$

DN	Mindestgrabenbreite (OD + x) [m]		
	verbauter Graben	unverbauter Graben	
		$\beta > 60^\circ$	$\beta < 60^\circ$
< 225	OD + 0,40	OD + 0,40	
> 225 bis < 350	OD + 0,50	OD + 0,50	OD + 0,40
> 350 bis < 700	OD + 0,70	OD + 0,70	OD + 0,40
> 700 bis < 1200	OD + 0,85	OD + 0,85	OD + 0,40
> 1200	OD + 1,00	OD + 1,00	OD + 0,40

Bei den Angaben OD + x entspricht x/2 dem Mindestarbeitsraum zwischen Rohr- und Grabenwand bzw. Grabenverbau.
Dabei ist:
OD der Außendurchmesser, in m
 β der Böschungswinkel des unverbauten Grabens, gemessen gegen die Horizontale

Tabelle 3: Mindestgrabenbreite in Abhängigkeit von der Nennweite DN

Die Bodenklassen der zu lösenden Böden sind im Kapitel 6. genannt. Beim Aushub der Baugrube im Bereich der geplanten Fahrbahn kann Bodenmaterial der Schicht 1, Schicht 2 und Schicht 3 anfallen.

Die gesamte Baugrubenböschung ist gegen Niederschlag mit Baufolie abzudecken. In allen Fällen ist darauf zu achten, dass die Böschungsschulter über eine Breite von mindestens 0,6 m lastfrei gehalten wird. Der Leitungsgraben ist während der Bauarbeiten wasserfrei zu halten, also durch Abdeckung zu schützen bzw. durch Wasserhaltung zu entwässern.

Lotrechter Aushub darf nach DIN 4124 nur bis 1,25 m Tiefe und bei lastfreiem Randstreifen von mind. 0,6 m erfolgen. Bei Tiefen zwischen 1,25 m und 1,75 m muss mit abgeböschter Kante oder Teilverbau gesichert werden. Bei Tiefen >1,75 m ist nach DIN 4124 abzuböschten oder zu verbauen.

Stand sicherheitsnachweise nach DIN 4084-100 werden erforderlich bei:

- Böschungshöhen $h > 5$ m oder Böschungswinkel β größer als die empfohlenen Werte
- Gefährdung baulicher Anlagen einschließlich Leitungen
- stark ansteigendem Gelände neben der Böschungskante oder steil angelegten Erdlasten ($> 1:2$) bzw. Stapellasten > 10 kN/m² neben dem 0,6 m breiten Schutzstreifen
- Straßenfahrzeugen, Baggern, oder Kränen, deren Abstände zur Böschungskante die Mindestwerte nach DIN 4124 unterschreiten

9.6. Wiederverwendbarkeit des Aushubmaterials

Eine Einstufung der verschiedenen Bodengruppen in unterschiedliche Verdichtbarkeitsklassen nach ZTVE-StB 09 ist der Tabelle 4 zu entnehmen. Damit ergibt sich eine Unterteilung in gut verdichtbare (Verdichtbarkeitsklasse V1) bis weniger gut verdichtbare Böden (Verdichtbarkeitsklasse V3).

Bezüglich der Hinterfüllung und Überschüttung für die Leitungszone empfehlen sich grundsätzlich Baustoffe der Verdichtbarkeitsklasse V1, die nach ZTVE-StB 09 allgemein gut geeignet sind.

Bodenarten der Verdichtbarkeitsklasse V2 und V3 können bei zu hohem Wassergehalt und durch ungünstige Witterungseinflüsse (Regen, Frost, Austrocknung) für

den Einbau unbrauchbar werden. Sie sind vor entsprechenden Einflüssen zu schützen. Eine ausreichende Verdichtbarkeit entsprechender Böden ist nur bei optimalem Wassergehalt gewährleistet.

Verdichtbarkeitsklasse	Kurzbeschreibung	Bodengruppe nach DIN 18 196
V1	nicht bindige bis schwach bindige, grobkörnige und gemischtkörnige Böden	GW, GI, GE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST
V2	bindige, gemischtkörnige Böden	GU*, GT*, SU*, ST*
V3	bindige, feinkörnige Böden	UL, UM, TL, TM, TA

Tabelle 4: Verdichtbarkeitsklassen für verschiedene Bodengruppen

Beim Aushub der Baugruben im Bereich der geplanten Fahrbahn ist überwiegend mit Bodenmaterial der **Schicht 2** (Mutterboden) und der **Schicht 3** (Schluffe) zu rechnen. In Teilbereichen (Sch 8) kann Aushubmaterial der **Schicht 1** (Auffüllung) anfallen.

Im Baufenster wurde im Bereich der Fahrbahn in den Bohrungen BK 1 – BK 5 ab GOK der Mutterboden der **Schicht 2** in einer Mächtigkeit von ca. 20-30 cm angetroffen und in dem Baggerschurf Sch 8 wurde ab GOK aufgefüllter Mutterboden der **Schicht 1** mit einer Mächtigkeit von ca. 0,1 m erbohrt. Für einen Wiedereinbau ist der Mutterboden aufgrund des Gehaltes an organischen Beimengungen generell nicht geeignet ist.

Die Schluffe der **Schicht 3** gehören nach DIN 18 196 zu den Bodengruppen UL / TL und sind damit der Verdichtbarkeitsklasse V3 zuzuordnen. Für einen Wiedereinbau im Bereich von Fahrstraßen oder Leitungsgräben sind die bindigen Böden der **Schicht 3** daher ohne Zusatzmaßnahmen nicht bzw. nur bedingt geeignet.

Durch Eignungsprüfung ist zu belegen, dass der Verfüllbaustoff weder schädliche Verformungen für die Leitungen und die Verkehrsflächen verursacht, noch auf das Leitungsmaterial aggressiv wirkt.

Unbrauchbar gewordener Boden ist gegen Boden der Klassen V1 bzw. V2 auszutauschen. Er kann auch mit Bindemittel verbessert oder durch geeignetes Recycling-Material ersetzt werden. Durch geringe Kalkzugabe (Bodenverbesserung) kann feinkörniges Aushubmaterial als Verfüllmaterial im Bereich von Rohrleitungen wiedereingebaut werden. Dabei ist darauf zu achten, dass mit Hilfe von geeigneter Gerätetechnik eine gute Durchmischung des Boden-Kalk-Gemisches erfolgt.

Inwieweit Teile des Aushubmaterials zwischengelagert und später zur Geländemodellierung oder für andere Schüttungen eingesetzt werden, liegt im Ermessen der Planer.

10. Versickerung von Oberflächenwasser

Im Zuge der Baugrunduntersuchung sollten für das geplante Baugebiet „Langmatt-Rötz II“ die Versickerungsmöglichkeiten untersucht werden.

Gesetzliche Bestimmungen

Die rechtlichen Grundlagen der naturverträglichen Regenwasserbewirtschaftung ergeben sich aus § 45 b des Wassergesetzes für Baden-Württemberg sowie der Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über die dezentrale Beseitigung von Niederschlagswasser (GBl. S. 182 vom 22.03.1999).

Die gestalterischen Möglichkeiten der naturverträglichen Regenwasserbewirtschaftung sind vielfältig. Von oberster Bedeutung ist dabei jedoch der Schutz von Grundwasser und Fließgewässer, d.h. die Versickerung oder auch die ortsnahe Ableitung in ein Gewässer muss schadlos sein (z.B. sind Dachflächen aus den unbeschichteten Metallen Kupfer, Zink und Blei i.d.R. nicht zulässig).

Ein Durchstoßen von stauenden Deckschichten über grundwasserführenden oder gut durchlässigen Schichten ist im Regelfall aus Sicht des Grundwasserschutzes nicht zulässig.

Bei Einhaltung der Vorgaben aus der Verordnung über die dezentrale Beseitigung von Niederschlagswasser ist die Versickerung und ortsnahe Einleitung in Wohngebieten wasserrechtlich erlaubnisfrei (§ 28 bzw. 36 WG). Weitere Informationen finden sich i.d.R. im Bebauungsplan der Gemeinde.

Versickerungseinrichtungen

Für die oberirdische Versickerung von gesammeltem Niederschlagswasser kommen vier verschiedene Anlagearten in Frage:

- Flächenversickerung (Untergrund: Feinsand oder gröbere Sande)
- Muldenversickerung
- Muldenrigolenversickerung
- Beckenversickerung (zentrale Versickerung)

Diese oberirdischen Anlagen sind aufgrund der Reinigungswirkung des bewachsenen Oberbodens grundsätzlich zu bevorzugen. Die Bemessung kann nach dem DVWK-Arbeitsblatt ATV-A 138 erfolgen.

In Ausnahmefällen möglich, aber erlaubnispflichtig sind:

- Rigolen- und Rohr-Rigolenversickerung
- Schachtversickerung

Die Letztgenannten stellen punkt- und linienförmige unterirdische Versickerungen dar. Da bei diesen Systemen das Niederschlagswasser ohne ausreichende Reinigungswirkung direkt in den Untergrund geleitet wird, können sie nur in Ausnahmefällen (z.B. nach ausreichender Vorbehandlung) zugelassen werden. Vorbehandlungsanlagen sind z.B. Mulden mit mind. 30 cm bewachsener Bodenschicht oder Anlagen mit künstlichem Filtersubstrat.

Versickerungsmulden sammeln das Niederschlagswasser, speichern es zwischen und geben es über die Passage einer belebten Bodenzone entsprechend der Bodendurchlässigkeit verzögert an den Untergrund weiter.

Bei einem **Mulden-Rigolen-System** wird unter der Versickerungsmulde eine Rigole angeordnet. Rigolen sind kies- oder schottererfüllte Speicherelemente, in denen eine zusätzliche Zwischenspeicherung möglich ist. Sie ermöglichen auch bei schlechter durchlässigen Böden (bis zu kf-Werten von 10^{-7} m/s) eine gesammelte Versickerung von Niederschlägen. Die Beschickung der Rigole erfolgt über die gewachsene Bodenzone der Mulde, diese Bodenzone hat hinsichtlich des Schadstoffrückhaltes gewisse Mindestanforderungen zu erfüllen.

Das Füllmaterial der Rigole wird, um eine vorzeitige Verschlämmung und Selbstabdichtung zu verhindern, in ein Geotextilvlies eingebettet. Zur gleichmäßigen Verteilung des Niederschlagswassers kann im Rigolenkörper ein Dränrohr verlegt werden.

Um Gebäudevernässungen durch die Niederschlagsversickerung zu vermeiden, sollte bei unterkellerten Gebäuden der Abstand der Versickerungsanlage zur Bebauung das 1,5-fache der Baugrubentiefe nicht unterschreiten.

Bemessungsgrundlagen

Für die Versickerung von Niederschlägen eignen sich i.d.R. Böden mit Durchlässigkeiten zwischen 5×10^{-3} m/s und 5×10^{-6} m/s. Je geringer die Durchlässigkeit eines Bodens ist, umso größer ist der Flächenbedarf für die Versickerung bzw. umso mehr Speicherraum muss zur Verfügung gestellt werden.

Grundsätzlich sollte die Aufstauhöhe in einer Mulde so gewählt werden, dass eine Entleerung innerhalb von max. 48 h gewährleistet ist (Gefahr der Verschlickung und Verdichtung). Der Abstand zum mittleren höchsten Grundwasserstand sollte mindestens 1,0 m betragen.

Bei der Dimensionierung einer Versickerungsanlage ist zu berücksichtigen, dass die Durchlässigkeit des ungesättigten Bodens unterhalb der Mulde geringer als die eines gesättigten Bodens ist. Es wird deshalb mit $k_f/2$ (halbe gesättigte Durchlässigkeit) gerechnet.

Standortbedingungen:

Gemäß den Ergebnissen aus den Bohrungen BK 1 bis BK 5 (Anl. 2) wird der Untergrund im Bereich des Untersuchungsgebietes aus bindigen Deckschichten (Schicht 2 und Schicht 3) und darunter aus Sanden (Schicht 4) sowie aus Kiesen (Schicht 5) aufgebaut. Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes wurde im Bereich der Baggerschürfe Sch 1 - Sch 11 eine künstliche Auffüllung (Schicht 1) angetroffen. Wir weisen darauf hin, dass eine Versickerung in einer künstlichen Auffüllung bezüglich einer Mobilisierung von möglichen Schadstoffen problematisch ist bzw. nicht genehmigungsfähig sein kann.

Im Untersuchungsgebiet wird der Untergrund ab GOK bis ca. 2,4 bzw. 3,3 m u. GOK von bindigen Deckschichten (Schicht 2 und Schicht 3) aufgebaut. Die Schluffe der **Schicht 3** (Bodengruppen UL und TL) sind allgemein überwiegend als schwach durchlässig ($k_f < 5,0 \times 10^{-6}$ m/s) anzusprechen. Damit sind die Versickerungsmöglichkeiten über die oberflächennahen bindigen Deckschichten als sehr ungünstig einzustufen. Selbst bei großer Versickerungsfläche bzw. über eine Mulden-Rigolen-Versickerung wäre eine Versickerung ohne längeren Rückstau u.E. nicht schadlos realisierbar.

In allen Bohrungen wird die **Schicht 3** ab ca. 2,4 m / 3,3 m u. GOK von den Sanden der **Schicht 4** unterlagert. Die z.T. schwach schluffigen und schluffigen Sande der **Schicht 4** der Bodengruppen SU und SÜ sind je nach Feinkornanteil als durchlässig bis schwach durchlässig einzustufen ($k_f \sim 10^{-5}$ bis 10^{-8} m/s). Damit sind die Versickerungsmöglichkeiten über die Sand-Schluff-Gemische der **Schicht 4** als ungünstig einzustufen.

Die Sande der **Schicht 4** mit Feinanteil $< 5\%$ (Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f \sim 10^{-3}$ bis 10^{-5} m/s) und die Kiese der **Schicht 5** (Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f \sim 10^{-2}$ bis 10^{-4} m/s) sind als stark durchlässig bis durchlässig einzustufen und wären damit für eine Versickerung geeignet.

In den Sanden der **Schicht 4** und den Kiesen der **Schicht 5** wurde Grundwasser erbohrt. Das Grundwasser ist in den Bohrlöchern angestiegen. Daher ist mit gespannten Grundwasserverhältnissen zu rechnen.

Der Flurabstand des angestiegenen Grundwasserspiegels betrug im Untersuchungsgebiet in den Bohrungen BK 1 – BK 5 zum Zeitpunkt der Untersuchungen je nach topographischer Höhenlage ca. 0,7 bis 1,8 m.

Der mittlere Grundwasserstand liegt nach der Hydrogeologischen Karte, Bühl-Offenburg, für das Untersuchungsgebiet bei ca. 134,75 m+NN. Für den Grundwasserspiegel ist mit einer Schwankungsamplitude von ca. $\pm 1,0$ m zu rechnen. Bei Grundwasserhochstand würde der Grundwasserspiegel damit im Untersuchungsgebiet bei ca. 135,75 m+NN zu liegen kommen.

Im Untersuchungsgebiet könnte damit bei hohem Grundwasserstand zeitweise, je nach topographischer Lage, der erforderliche Abstand ($> 1,0$ m) zwischen Versickerungssohle und Grundwasserspiegel nicht eingehalten werden und die notwendige Versickerungskapazität wäre damit nicht gegeben.

Auch bei einer Aufschüttung des Geländes ab derzeitiger GOK wäre, dann ggf. bei Einhaltung des Mindestabstandes zum höchsten Grundwasserstand ($> 1,0$ m), eine Versickerung von Oberflächenwasser als kritisch einzustufen, da aufgrund der geringen Durchlässigkeit der bindigen Deckschichten (Schicht 3) das Auftreten von Stauwasser nicht ausgeschlossen werden kann.

Im Hinblick auf eine Dimensionierung zu planender Versickerungsanlagen wäre die tatsächliche Versickerungsleistung der bindigen Deckschichten ggf. über Versickerungsversuche zu ermitteln.

Zur genaueren Überprüfung der Grundwasserstände und der Grundwasserschwankungen im Untersuchungsgebiet empfehlen wir längerfristige Messungen der Grundwasserstände über eine Grundwassermessstelle.

11. Allgemeine Empfehlungen

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Abschätzungen für die bindigen Schichten von der angetroffenen Konsistenz ausgehen. Weiterhin kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Schichten infolge der natürlichen Gegebenheiten (Niederschlagsereignisse) bzw. der Baumaßnahmen unter Wasserzutritt ihre Konsistenz verändern.

Aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit der bindigen Schichten (Schicht 2, Schicht 3) ist nach stärkeren Niederschlägen mit Vernässungen und Wasseransammlungen in Baugruben zu rechnen, soweit keine Gegenmaßnahmen, wie z.B. mit Hilfe von Abdeckplanen, getroffen werden. Ggf. anfallendes Wasser ist zu fassen und rückstaufrei aus der Baugrube abzuleiten.

Der Einbau der Baustoffe im Hinterfüll- und Überschüttungsbereich von Bauwerken sollte gleichmäßig von allen Seiten in Lagen von höchstens 30 cm Dicke erfolgen. Der Höhenunterschied beim Hinterfüllen darf ohne statischen Nachweis 0,5 m nicht überschreiten. Es ist ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 100\%$ Proctordichte zu erreichen, jedoch darf durch die Hinterfüllung kein zusätzlicher Verdichtungsdruck verursacht werden. In den wiederverfüllten und überschütteten Bereichen ist der Verdichtungsgrad über Plattendruckversuche nach DIN 18 134 in unterschiedlichen Einbauniveaus zu überprüfen.

Die Arbeitsräume von Bauwerken sind mit nichtbindigem Material zu verfüllen. Das anfallende bindige Aushubmaterial ist dazu nicht geeignet. Bezüglich der eventuellen Verfüllung von Arbeitsräumen und der Überschüttung von Bauwerken verweisen wir auf die Empfehlungen und Vorschriften des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) und der ZTVE-StB 09.

Für den Hinterfüll- und den Überschüttungsbereich sind folgende Baustoffe geeignet:

- Grobkörnige Böden der Gruppen: SW, SI, SE, GW, GI, GE
- Gemischtkörnige Böden der Gruppen SU, ST, GU, GT

- Gemische aus gebrochenem Gestein 0/100 mm und natürlich entstandenen Schlacken mit einem Kornanteil $< 0,063$ mm von max. 15 Gew.-%
- Recyclingbaustoffe und industrielle Nebenprodukte, sofern sie ökologisch unbedenklich sind und die o.g. Kornverteilungskriterien eingehalten werden.

Die genannten Stoffe müssen verwitterungsunempfindlich sein und dürfen keine quellfähigen, zerfallsempfindlichen oder bauwerksaggressiven Bestandteile enthalten. Bei Verwendung von gebrochenem Material ist ggf. die Bauwerksabdichtung zu schützen.

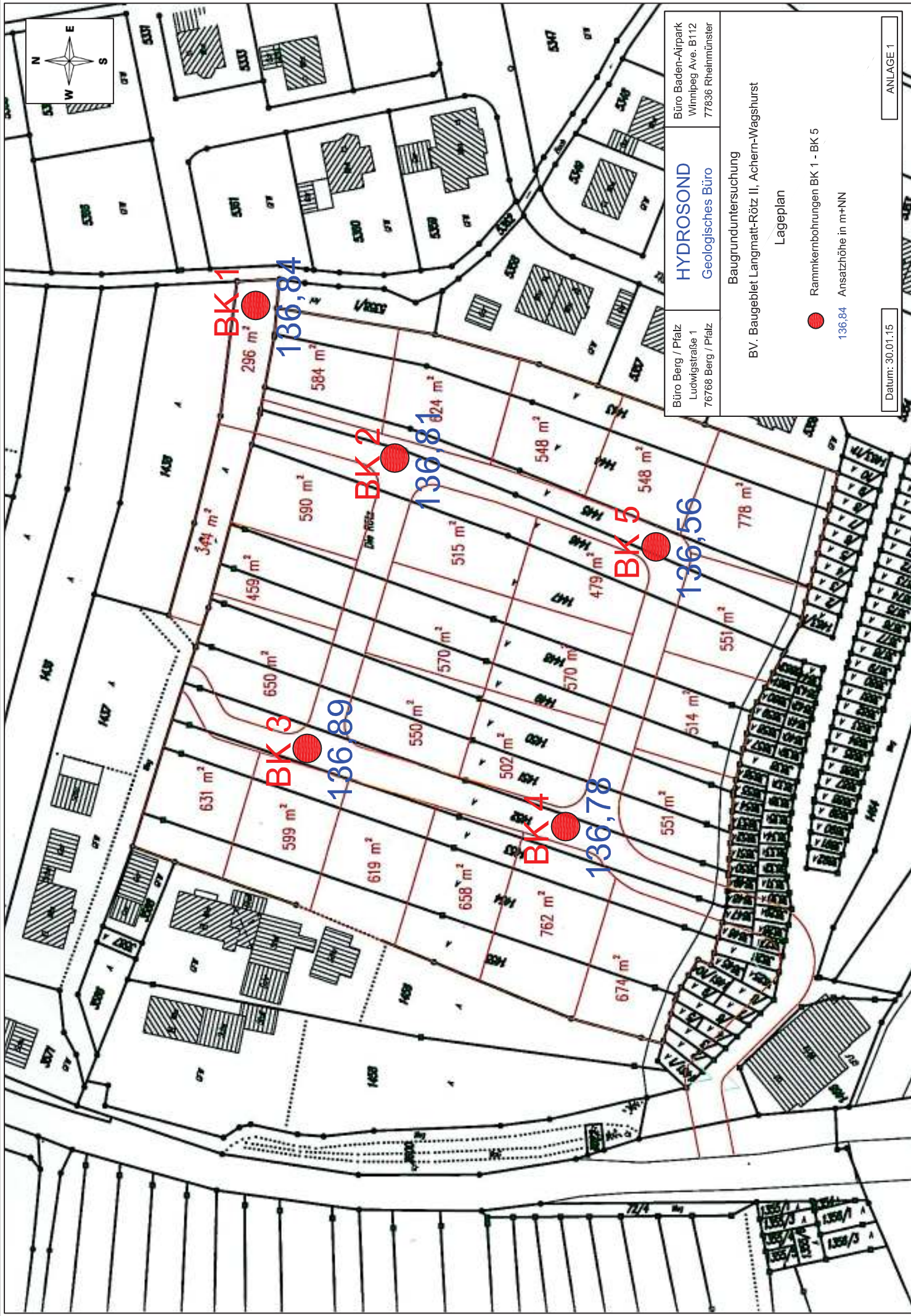
Die hier getroffenen Aussagen, Vorgaben und Empfehlungen beruhen auf fünf punktuellen Aufschlüssen. Daher sind die getroffenen Annahmen über die Untergrundverhältnisse während der Erdarbeiten durch den Baugrundgutachter auf Übereinstimmung zu überprüfen und die Gründungssohlen sind nach Fertigstellung vom Baugrundgutachter abzunehmen.



J. Hartwein
- Diplom Geologe -



Doz. B. Krauthausen
- Diplom Geologe -



Büro Baden-Airpark
 Winnipeg Ave. B112
 77836 Rheinmünster

HYDROSOND
 Geologisches Büro

Büro Berg / Pfalz
 Ludwigstraße 1
 76768 Berg / Pfalz

Baugrunduntersuchung
 BV. Baugebiet Langmatt-Rötiz II, Achern-Wagshurst
 Lageplan

● Rammkernbohrungen BK 1 - BK 5
 136,84 Ansatzhöhe in m+NN

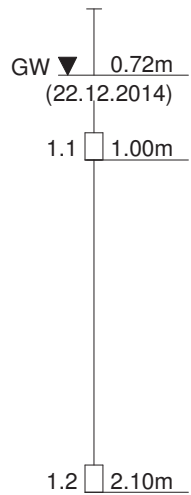
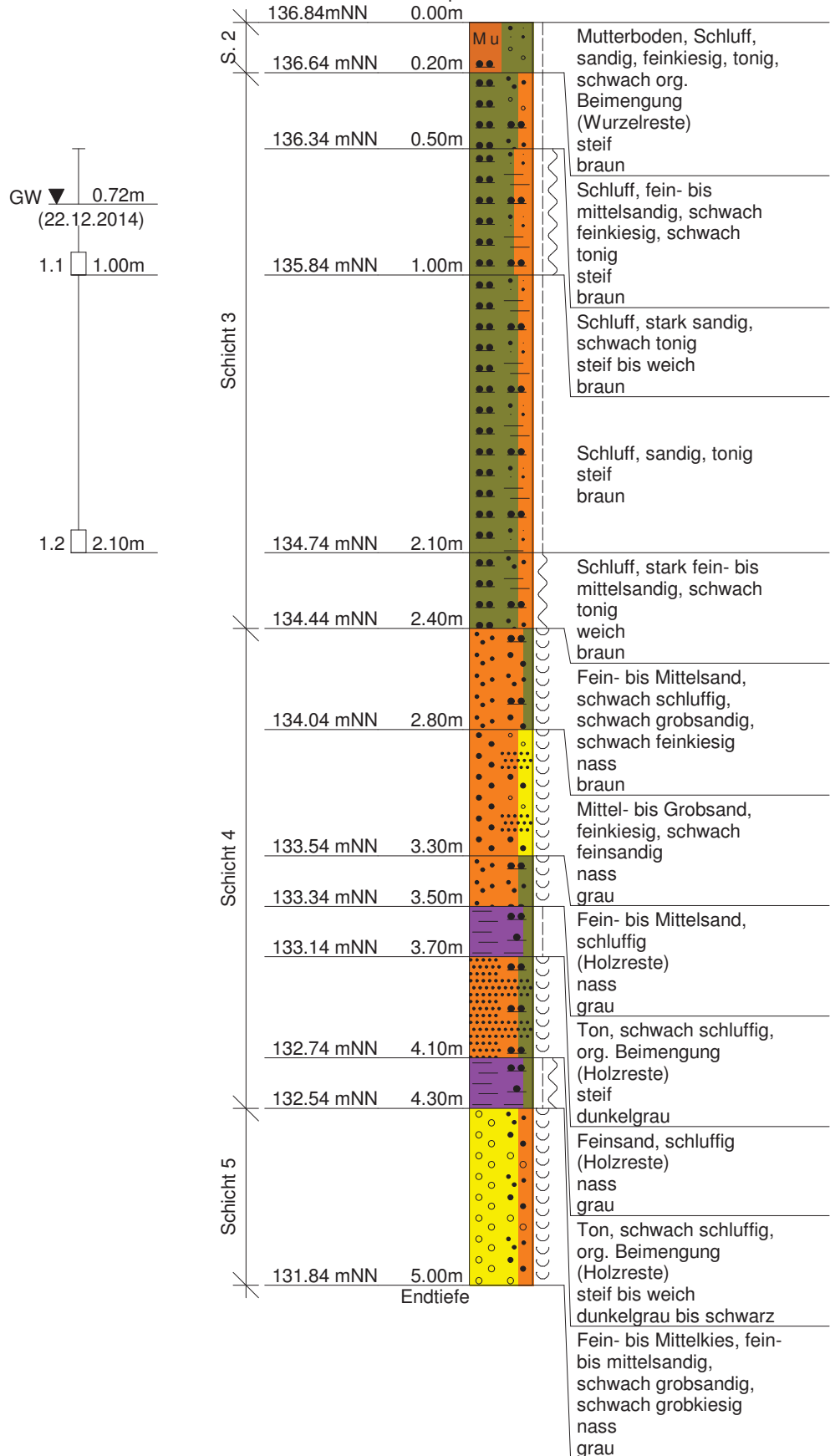
Datum: 30.01.15

ANLAGE 1

HYDROSOND, Geologisches Büro	Projekt : BV Baugebiet Langmatt-Rötz II, Achern-Wagshurst
Winnipeg Ave. B112	Projektnr.: 14216
77836 Rheinmünster	Anlage : 2
Tel. 07229/697333 Fax. 07229/697309	Maßstab : 1: 25

BK 1

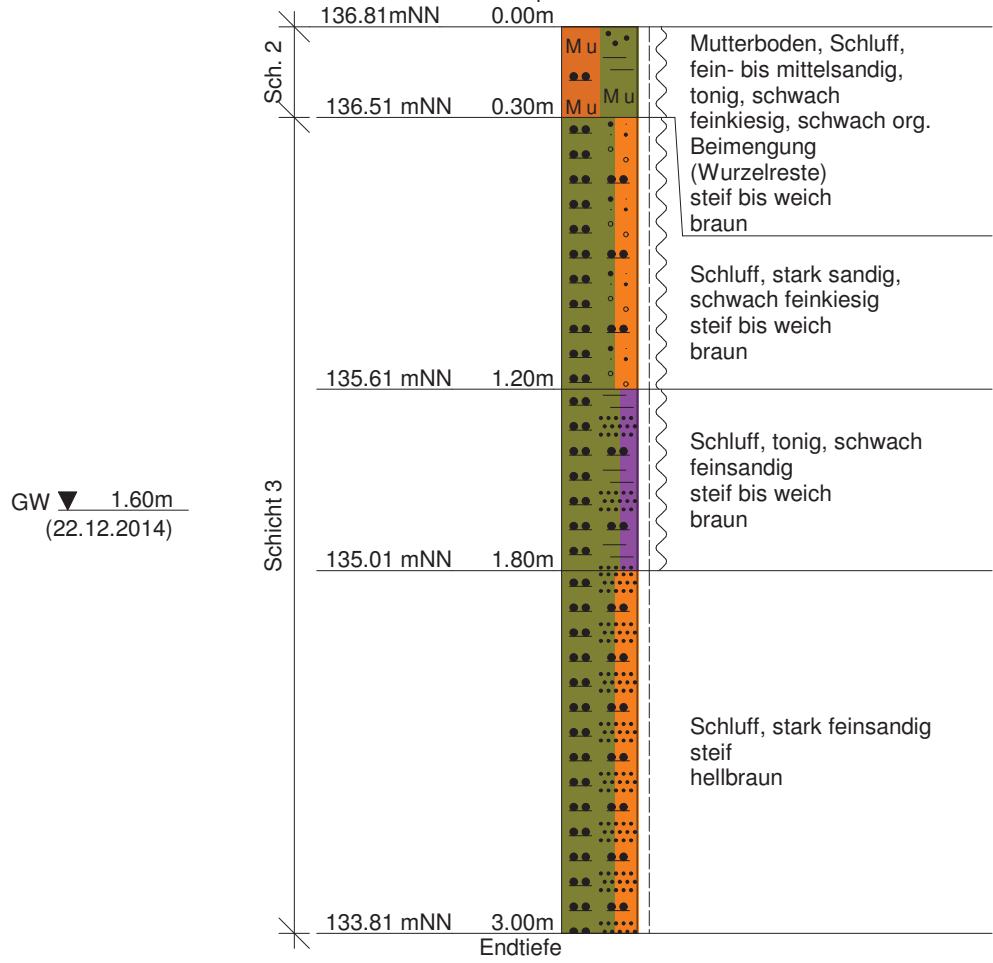
Ansatzpunkt: 136.84 mNN



HYDROSOND, Geologisches Büro	Projekt : BV Baugebiet Langmatt-Rötz II, Achern-Wagshurst
Winnipeg Ave. B112	Projektnr.: 14216
77836 Rheinmünster	Anlage : 2
Tel. 07229/697333 Fax. 07229/697309	Maßstab : 1: 25

BK 2

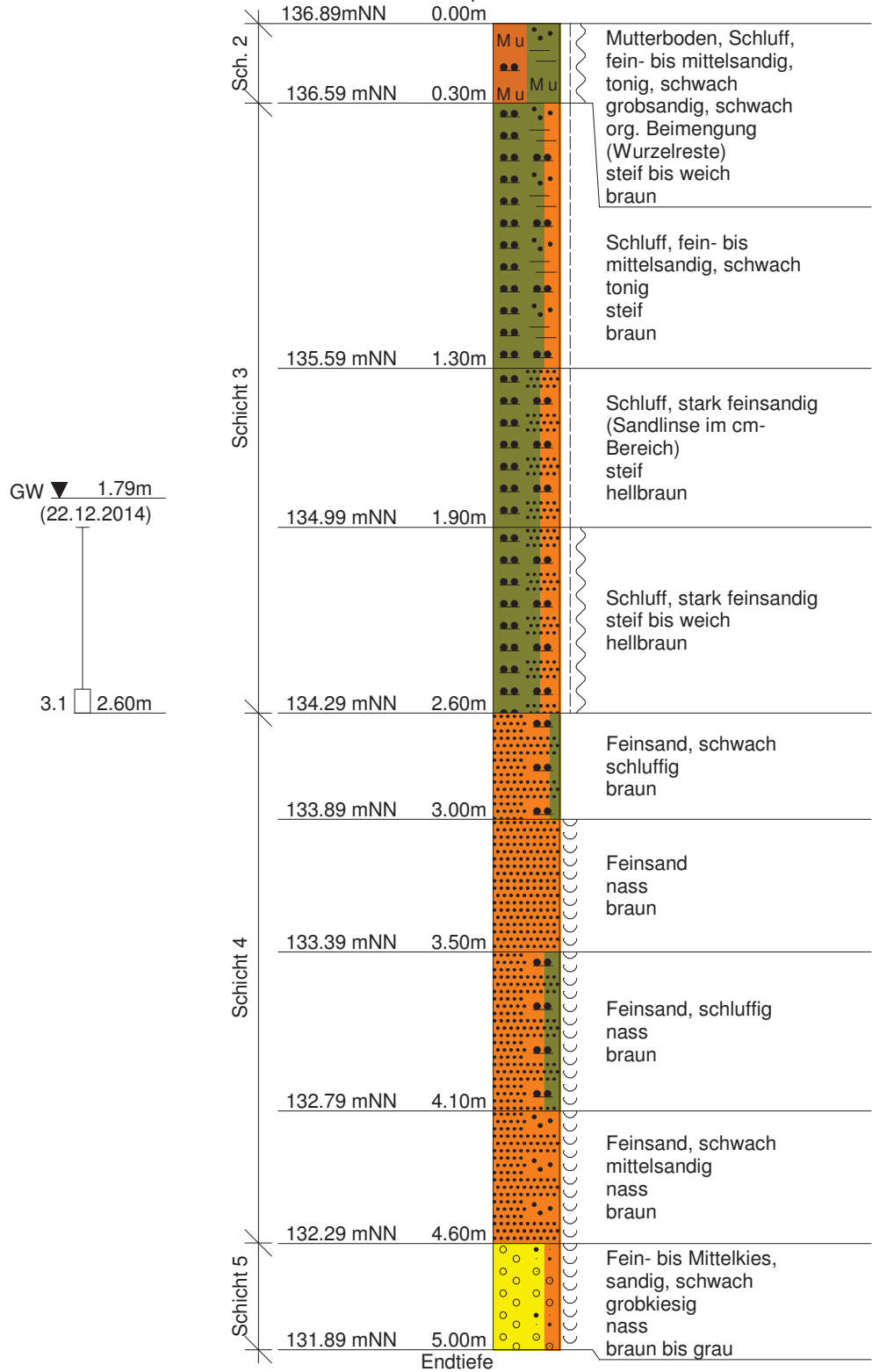
Ansatzpunkt: 136.81 mNN



HYDROSOND, Geologisches Büro	Projekt : BV Baugebiet Langmatt-Rötz II, Achern-Wagshurst
Winnipeg Ave. B112	Projektnr.: 14216
77836 Rheinmünster	Anlage : 2
Tel. 07229/697333 Fax. 07229/697309	Maßstab : 1: 25

BK 3

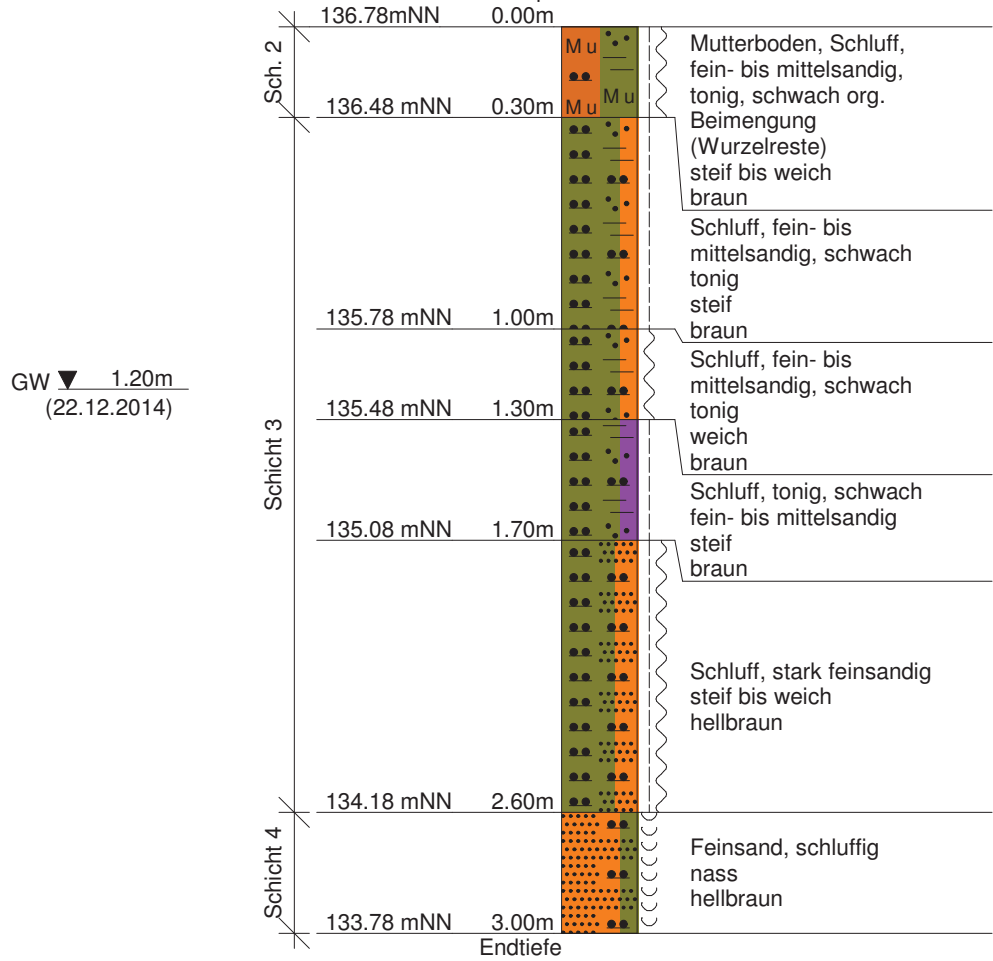
Ansatzpunkt: 136.89 mNN



HYDROSOND, Geologisches Büro	Projekt : BV Baugebiet Langmatt-Rötz II, Achern-Wagshurst
Winnipeg Ave. B112	Projektnr.: 14216
77836 Rheinmünster	Anlage : 2
Tel. 07229/697333 Fax. 07229/697309	Maßstab : 1: 25

BK 4

Ansatzpunkt: 136.78 mNN

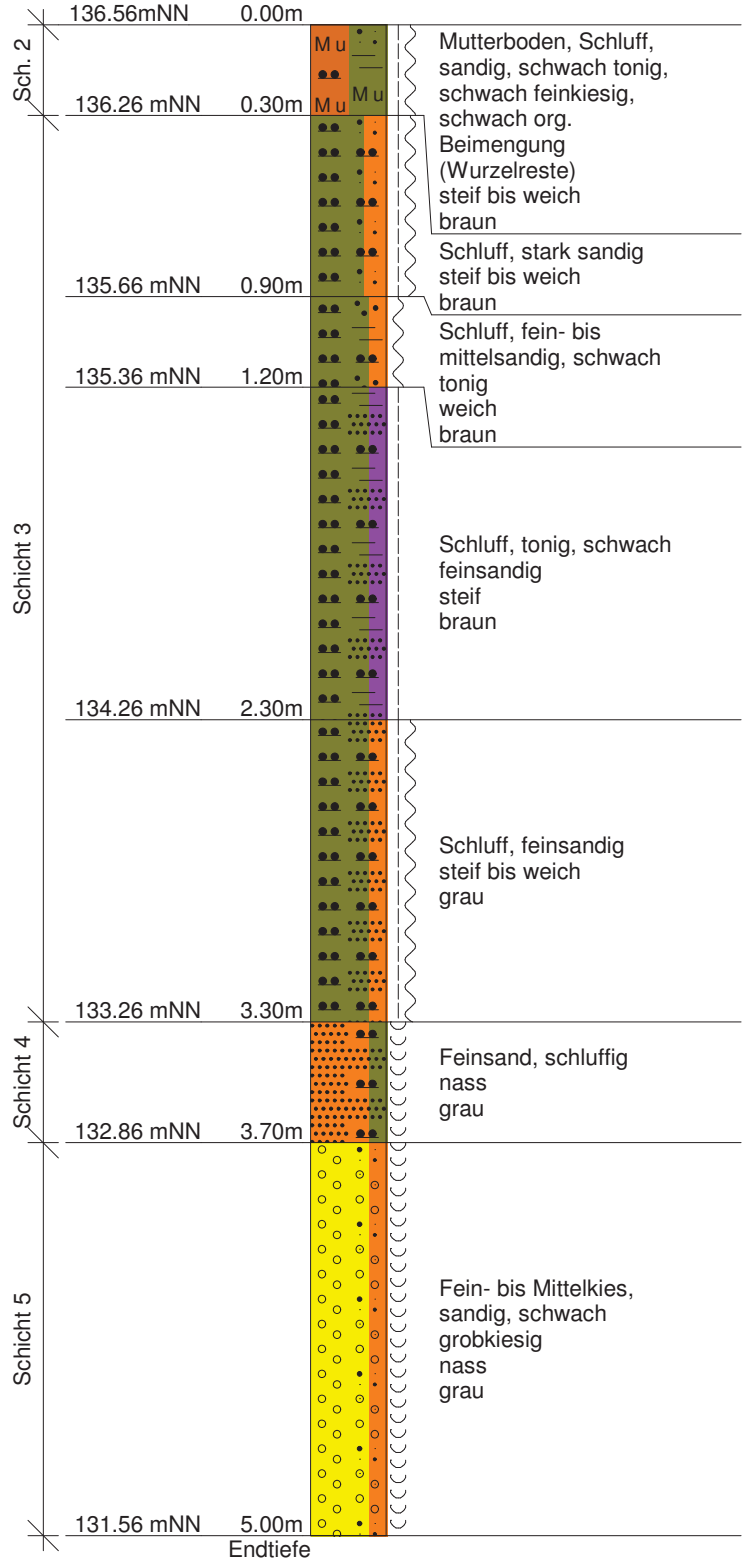


HYDROSOND, Geologisches Büro	Projekt : BV Baugebiet Langmatt-Rötz II, Achern-Wagshurst
Winnipeg Ave. B112	Projektnr.: 14216
77836 Rheinmünster	Anlage : 2
Tel. 07229/697333 Fax. 07229/697309	Maßstab : 1: 25

BK 5

Ansatzpunkt: 136.56 mNN

GW ▼ 0.75m
(22.12.2014)

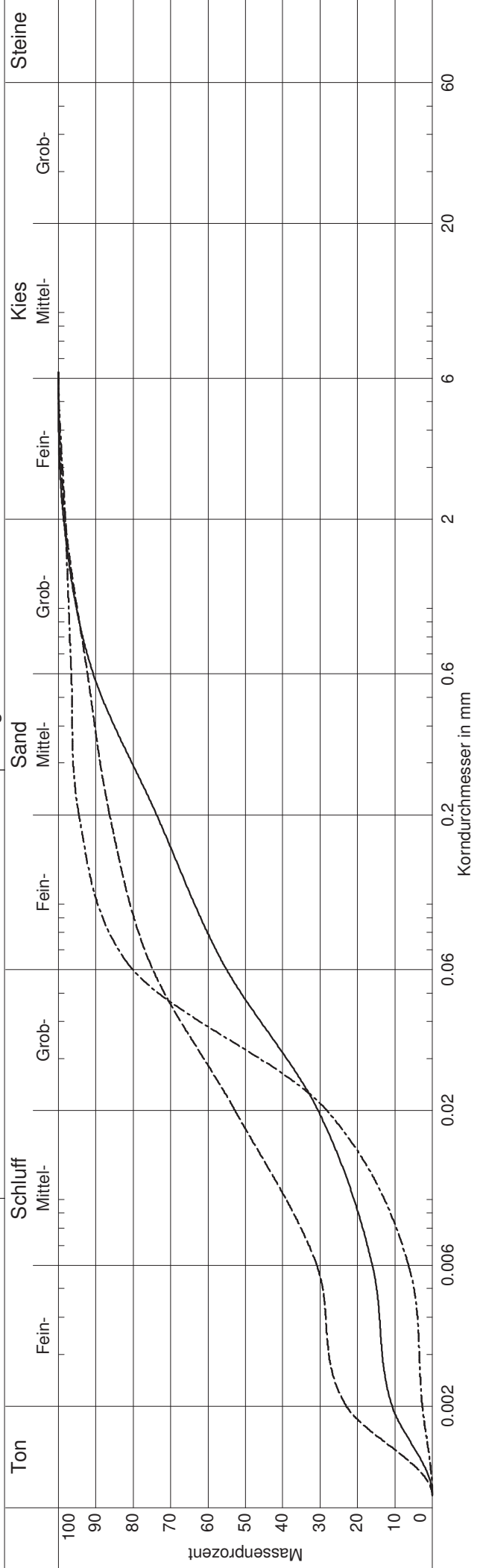


HYDROSOND, Geologisches Büro
 Winnipeg Ave. B112
 77836 Rheinmünster
 Tel. 07229/697333 Fax. 07229/697309

Kornverteilung

DIN 18 123-5

Projekt : BV Baugebiet Langmatt-Rötz II, Achern-Wagshurst
 Projektnr.: 14216
 Datum : 12.01.2015
 Anlage : 3



Entnahmestelle	BK 1	BK 1	BK 3
Entnahmetiefe	0,5 - 1,0 m	1,0 - 2,1 m	1,9 - 2,6 m
Labornummer	1.1	1.2	3.1
Ungleichförm. U	U = 42.0	U = 20.0	U = 4.7
Krümmungszahl Cc	Cc = 2.5	Cc = 0.7	Cc = 1.4
Bodenart	U,s,t'	U,s,t	U,fs'
Bodengruppe	Zwischenbereich UL / TL	Zwischenbereich UL / TL	UL
d10 / d60	0.002/0.079 mm	0.001/0.028 mm	0.008/0.038 mm
Anteil < 0.063 mm	56.0 %	75.5 %	81.5 %
Frostempfindl.klasse	F3	F3	F3
kf nach Hazen	-(U > 5)	-(U > 5)	7.9E-007 m/s
kf nach Beyer	-(U > 30)	1.3E-008 m/s	5.9E-007 m/s
Bodenklasse	4	4	4
Phi n.Lang/Huder/Ammann	25.7 °	30.7 °	31.8 °

Wassergehaltsbestimmung (DIN 18121)

Bauvorhaben: Baugebiet Langmatt-Rötz II Art der Entnahme: gestört
Ausgeführt durch: DK Entnommen am: 23.12.2014
Datum: 23.12.2014 durch: Ha
Anlage: 3

Probe-Nr.: **BK 1.1** Bohrung: **BK 1** Entnahmetiefe: **0,5-1,0 m**

$m_f + m_T$:	30,347 g	m_f :	5,906 g
$m_t + m_T$:	29,332 g	m_t :	4,891 g
m_T :	24,441 g		

Wassergehalt: $w = (m_f - m_t)/m_t =$ 0,208 = **20,8 %**

Probe-Nr.: **BK 3.1** Bohrung: **BK 3** Entnahmetiefe: **1,9-2,6 m**

$m_f + m_T$:	34,775 g	m_f :	10,785 g
$m_t + m_T$:	32,742 g	m_t :	8,752 g
m_T :	23,99 g		

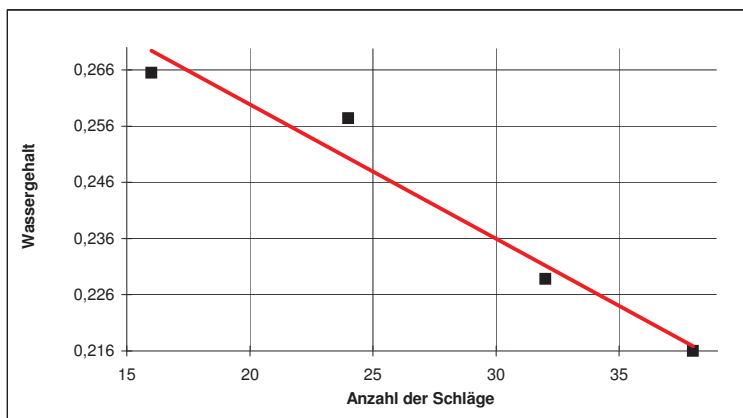
Wassergehalt: $w = (m_f - m_t)/m_t =$ 0,232 = **23,2 %**

Bestimmung der Zustandsgrenzen (DIN 18122, Teil 1)

Prüfungs-Nr.: BK 1.1
 Bauvorhaben: Baugebiet Langmatt-Rötz II, Wagshurst
 Ausgeführt durch: DK
 Datum: 23.12.2014
 Anlage: 3

Entnahmestelle: BK 1
 Tiefe: 0,5-1,0 m
 Bodengruppe: **UL/TL**
 Art der Entnahme: gestört
 Entnommen am: 22.12.2014
 durch: Ha

Versuchs-Nr.:	Fließgrenze				Ausrollgrenze		
	1	2	3	4	1	2	3
Anzahl der Schläge:	38	29	20	15			
feuchte Probe + Behälter [g]:	27,313	26,024	27,393	27,140	25,787	26,340	26,420
trockene Probe + Behälter [g]:	26,809	25,579	26,835	26,730	25,570	25,979	26,060
Behälter [g]:	24,248	23,445	24,200	25,002	24,440	24,077	24,287
Porenwasser [g]:	0,504	0,445	0,558	0,410	0,217	0,361	0,360
trockene Probe [g]:	2,561	2,134	2,635	1,728	1,130	1,902	1,773
Wassergehalt [1]:	0,197	0,209	0,212	0,237	0,192	0,190	0,203



Konsistenzzahl I_c	Konsistenz
< 0	flüssig
0,00 - 0,50	breiig
0,50 - 0,75	weich
0,75 - 1,00	steif
> 1,00	halbfest

Fließgrenze (aus Schaubild):	$w_l =$	0,249	=	24,9
Ausrollgrenze:	$w_p =$	0,195	=	19,5
natürlicher Wassergehalt:	$w =$	0,208		20,8

Plastizitätszahl: $I_p =$ 5,4 %

Konsistenzzahl: $I_c =$ 0,76

Konsistenz: steif