

**Gutachten**  
**zu Bodenuntersuchungen**  
**unter baugrundtechnischen und hydrogeologischen Aspekten**  
**für das Bauvorhaben**  
**Bebauungsplangebiet „Zur Kleeburg“**  
**in 53881 Euskirchen-Weidesheim**

**Gemarkung: Weidesheim**  
**Flur: 2**  
**Flurstücke 206, 154, 56**

**Auftraggeber:**  
**BS Entwicklungs- und Wohnbau GmbH**  
**Niederkastenholzer Straße 40**  
**53881 Euskirchen**

**Projekt 221761**  
**Juli – September 2022**

## Inhalt

1.	Sachstand.....	4
2.	Untersuchungsgelände.....	5
2.1	Geologie und Hydrologie.....	5
2.2	Planungen.....	6
3.	Untersuchungsergebnisse.....	7
3.1	Untergrundschichtung.....	7
3.2	Untergrundwasser – Hydrogeologische Randbedingungen.....	8
4.	Geotechnische Beurteilung.....	10
4.1	Tragfähigkeit der angetroffenen Böden.....	10
4.2	Bodenkennwerte und Bodenklassifizierungen.....	11
4.3	Homogenbereiche.....	12
4.4	Tektonische Beanspruchung.....	14
4.5	Bemessungswasserstand.....	14
5.	Gründung Wohngebäude.....	14
5.1	Allgemeines.....	14
5.2	Gründung von nicht unterkellerten Gebäuden.....	15
5.2.1	Beurteilung der Gründungsbedingungen.....	15
5.2.2	Gründungsempfehlung.....	15
5.2.3	Wasserhaltung.....	19
5.3	Gründung von unterkellerten Gebäuden.....	19
5.3.1	Beurteilung der Gründungsbedingungen.....	20
5.3.2	Gründungsempfehlung.....	21
5.3.3	Wasserhaltung.....	24
5.3.4	Anlegen der Baugruben.....	26
5.4	Abdichtung erdberührter Bauteile gemäß DIN 18 533.....	27
5.4.1	Abdichtung bei nicht unterkellerten Gebäuden.....	27
5.4.2	Abdichtung bei unterkellerten Gebäuden.....	27
6.	Kanal- und Leitungsbau.....	28
6.1	Sohlbefestigung.....	29
6.2	Grabenverbau.....	30
6.3	Wasserhaltung.....	31

6.4	Wiederverfüllung der Kanal- und Leitungsraben .....	32
7.	Straßenbau .....	33
7.1	Frostsichere Oberbaudicke .....	33
7.2	Tragfähigkeit des Erdplanums .....	34
8.	Versickerung von Niederschlagsabflüssen der Dach- und Verkehrsflächen .....	35
8.1	Allgemeines, Bewertungsgrundlagen .....	35
8.2	Hydraulische Leitfähigkeit – Versickerungsfähigkeit des Untergrundes .....	35
8.3	Flurabstände des Grundwassers .....	36
8.4	Verbreitung, Mächtigkeit und Leistungsfähigkeit des Aquifers .....	37
8.5	Bewertung der Möglichkeit zur dezentralen Versickerung .....	37
9.	Schlussbemerkung .....	38

#### **Tabellen**

Tabelle 1: Grundwasserstände 22.07.2022

Tabelle 2: Bodenkennwerte

Tabelle 3: Bodenklassifizierung

Tabelle 4: Unterteilung der Böden in Homogenbereiche gemäß VOB 2016: Lockergesteine

Tabelle 5: Rechengrößen zur Bemessung der Plattengründung nicht unterkellerten Gebäude

Tabelle 6: Rechengrößen zur Dimensionierung von Streifenfundamenten bei Einbindung in den Erftschotter

Tabelle 7: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung unterkellerten Gebäude

Tabelle 8: Rechengrößen zur Dimensionierung einer Plattengründung für die Garagen

Tabelle 9: Hydraulische Leitfähigkeitsbestimmung

#### **Anlagen**

1. Übersichtsplan, Maßstab 1 : 1.500
2. Luftbild mit Bohransatzpunkten und Sickerversuchen. Maßstab ca. 1 : 1.000
3. Lageplan Vorplanung mit Bohransatzpunkten und Schichtgrenzen Lößlehm/Erftschotter, Maßstab ca. 1 : 1.000
4. Geotechnische Schnitte
5. Einzelprofile KRB 1 - KRB 14
6. Versickerungsversuche (OPT)

## 1. Sachstand

Auf einem ca. 2 ha großen Gelände an der Straße „Zur Kleeburg“ in Euskirchen-Weidesheim plant die BS Entwicklungs- und Wohnbaugesellschaft GmbH aus Euskirchen ein Neubaugebiet. Das Projektareal, welches zum Großteil ehemals als Gärtnerei genutzt wurde, soll mit Wohnbebauung und neuen Erschließungsstraßen bebaut werden.

Für diese Maßnahmen wurde das Wittler Ingenieurbüro mit der Durchführung von baugrundtechnischen, hydrogeologischen und abfalltechnischen Bodenuntersuchungen beauftragt.

Das vorliegende Gutachten beschreibt die Untergrundsituation im geplanten Baugebiet und beurteilt die Ergebnisse unter gründungs- und tiefbautechnischen Aspekten für die geplante Wohnbebauung und für die Straßen- und Kanalbaumaßnahmen. Die Ergebnisse der hydrogeologischen Untersuchungen werden im Hinblick auf eine mögliche dezentrale Versickerung der Niederschlagsabflüsse von Dach- und Straßenwässern beurteilt. Die abfalltechnische Bewertung erfolgt in einem separaten gutachterlichen Bericht.

Im Rahmen der Beauftragung ist folgender Leistungsumfang erbracht worden:

- Abteufen von 16 Kleinrammbohrungen (KRB 1 – KRB 14, KR 1 flach, KRB 14 flach) mit einem Durchmesser von 50 mm bis in eine maximale Teufe von 6,5 m unter Gelände am 22.07.2022.
- Niederbringen von 7 begleitenden Schweren Rammsondierungen DPH (DPH 1, DPH 3, DPH 5, DPH 7, DPH 9, DPH 12; DPH 14) unmittelbar neben den jeweiligen Kleinrammbohrungen zur Ermittlung der Lagerungsdichten/Konsistenzen der im Untergrund anstehenden Böden bis in eine maximale Teufe von 5,5 m unter GOK
- Durchführung von 7 repräsentativen Versickerungsversuchen (Open End Test) in den Bohrlöchern KRB 1, KRB 1 flach, KRB 3, KRB 5, KRB 7, KRB 13 und KRB 14 flach zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit (Kf-Wert) des Untergrundes
- Ansprache des Bohrgutes nach DIN 4022/4023 bzw. nach DIN EN ISO 22475-1 und nach organoleptischen Befunden, Darstellung in Bohr- und Rammprofilen
- Einmaß der Bohrpunkte nach Lage und Höhe; für die Aufnahme der Höhe wurde ein Kanaldeckel in der Straße „Zur Kleeburg“ gewählt, dessen Höhe im zur Verfügung stehenden Kanalplan entnommen wurde. Die ermittelten Höhen sind bauseits zu prüfen.
- Entnahme von 73 Feststoff-, Bodenproben in gasdichten Glasgefäßen
- Schriftliche Anfrage an den Ertverband zu Grundwasserständen im Bereich des B-Plangebietes
- Erstellung des vorliegenden Gutachtens

Die BS Entwicklungs- und Wohnbau GmbH bzw. das Ingenieurbüro Spieth Beratende Ingenieure, Euskirchen, stellte folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Erschließungsplanung Baugebiet Weidesheim; Lageplan Straßenbau, Vorabzug 18.07.2022, Maßstab 1 : 500
- Erschließungsplanung Baugebiet Weidesheim; Bestandsplan, Vorabzug 18.07.2022, Maßstab 1 : 500
- Erschließungsplanung Baugebiet Weidesheim; Lageplan Leitungen, Vorabzug 18.07.2022, Maßstab 1 : 500

Weiterhin wurden eingesehen:

- Geologische Karte der Digitalen Datenbank Geoportal NRW im Maßstab 1 : 100.000
- Recherche zu Grundwasserständen und Überschwemmungsgefährdungen in der Digitalen Datenbank UVO (NRW Umweltdaten vor Ort)

## 2. Untersuchungsgelände

Das ca. 2 ha große Plangebiet liegt am nordwestlichen Ortsrand des Euskirchener Stadtteils Weidesheim. Das rechteckige Projektareal wird entlang seiner nordwestlichen Längsseite von der Straße „Zur Kleeburg“ und entlang seiner nordöstlichen Grenze von der „Weidesheimer Straße“ erschlossen. Im Südosten reicht es bis an die rückwärtig gelegenen Gärten der Wohnhäuser Dadenbergring Nr. 2 - 12. Die südwestliche Grenze markierte der Niederkastenholzer Fließ, der in einem offenen begradigten Bachbett nach Nordwesten in den Erftmühlenbach abfließt.

Das Plangebiet lässt sich in drei Teilflächen untergliedern. Das nordöstliche Drittel des Projektareals ist größtenteils von den Betriebsgebäuden, wie Gewächshäusern, Verkaufsbereichen und Schuppen/Garagen eines ehemaligen Gärtnereibetriebes überbaut. Die Freiflächen bzw. die Zuwegungsflächen zwischen den Gebäuden sind teilweise unbefestigt mit Gras bewachsen, teilweise mit Beton- oder Pflasterdecken versiegelt.

Das Wohnhaus der ehemaligen Besitzer der Gärtnerei befindet sich , von einer privaten Garten- und Rasenfläche umgeben, im nordwestlichen Grundstücksbereich. Das ca. 1.750 m<sup>2</sup> große Privatgrundstück mit der Flurstücksnummer 205 bleibt auch nach der geplanten Erschließung des B-Plangebietes im Bestand erhalten.

Das zentrale Drittel des Areals wird von einer, ehemals durch die Gärtnerei genutzte, jetzt brachliegende Acker-/Wiesenfläche eingenommen. Das südwestliche Drittel des B-Plangebietes mit den Flurstücken 56; 152; 153 und 154 wird aktuell noch als Ackerfläche genutzt. Hier werden zunächst nur die Flurstücke 56 und 154 in die innere Erschließung des B-Plangebietes integriert.

Morphologisch weist das Gelände nur sehr geringe Höheunterschiede auf. Auf dem flachwelligen Relief wurden Geländehöhen zwischen ca. 161,8 mNHN und 162,2 mNHN gemessen.

### 2.1 Geologie und Hydrologie

Großräumlich betrachtet liegt das Projektareal im südlichen Bereich der Niederrheinischen Bucht, einer Beckenstruktur die im Tertiär (Oligozän) in das Rheinische Schiefergebirge eingesunken ist. Sie trennt das rechtsrheinische Bergische Land von der linksrheinisch gelegenen Eifel. Seit dem Einbruch des Beckens im Oligozän wechselten sich festländische und marine Phasen ab. Durch die damit auch wechselnden Sedimentationsbedingungen entstanden im Tertiär bis zu 1.000 m mächtige Abfolgen von Sanden, Kiesen und Tonen mit Braunkohleeinschaltungen.

Die jüngere quartäre Schichtenfolge der Niederrheinischen Bucht wird von fluviatilen Terrassenablagerungen des Rheins und seiner Nebenflüsse geprägt. In weiten Bereichen werden die Terrassensedimente von jungquartären kalt- bzw. eiszeitlichen Lössedimenten überlagert.

In der Geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen ist für das Untersuchungsgebiet eine bis zu 2 m mächtige Lößdecke ausgewiesen, die hier den quartären Kiesen und Sanden der Hauptterrasse aufliegt. Die Hauptterrassensedimente werden aufgrund ihres hohen Anteils von Lokalkomponenten auch als Erftschotter bezeichnet. Diese Bezeichnung wird nachfolgend weiter verwendet.

Unter dem Erftschotter folgen tertiäre Tone und Sande. Typisch für die tertiäre Abfolge im Bereich der Geologischen Karten Euskirchen und Rheinbach ist der schnelle regellose laterale und vertikale Wechsel dieser Horizonte.

Die beschriebenen Lockersedimente sind grundsätzlich als Porengrundwasserleiter einzustufen, wobei die tertiären Tone nur eine sehr geringe Durchlässigkeit aufweisen und nicht als Aquifer im eigentlichen Sinne fungieren. Sie wirken vielmehr als Wasserstauer. Dies führt, insbesondere nach längeren Regenfällen zur Ausbildung eines ersten oberflächennahen Grundwasserstockwerks innerhalb der Hauptterrassenschotter, das zum Liegenden durch die tertiären Tone abgedichtet wird. Weitere zusammenhängende Grundwasserstockwerke folgen in größerer Tiefe innerhalb flächiger tertiärer Kies-Sand-Horizonte.

Festzuhalten ist, dass das B-Plangebiet in keiner festgesetzten Wasserschutzzone liegt.

## 2.2 Planungen

Die Planungen sehen die Erschließung des 2 ha großen Projektareals als Wohngebiet vor. Die o. g. Betriebsgebäude der ehemaligen Gärtnerei werden im Vorfeld zurückgebaut, das private Wohnhaus „Zur Kleeburg 1“ soll bestehen bleiben.

Nach der Entwurfsplanung sollen insgesamt 20 Einfamilienwohnhäuser errichtet werden; teilweise handelt es sich um freistehende Gebäude, teilweise um Doppelhäuser. Im Nordosten des Plangebietes, entlang der Weidesheimer Straße, ist der Bau von drei Mehrfamilienwohnhäusern geplant. Ob die Wohngebäude unterkellert werden, steht zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht fest.

Die verkehrsmäßige Erschließung des Gebietes erfolgt über eine Planstraße, die von der Weidesheimer Straße im Nordosten in das Plangebiet abzweigt, das Plangebiet quert und im Südwesten auf die Straße „Zur Kleeburg“ mündet. Laut Aussage des projektverantwortlichen Planungsbüros Spieth ist davon auszugehen, dass die Erschließungsstraße asphaltiert wird.

Die Niederschlagsabflüsse der Dach- und Verkehrsflächen sollen nach Möglichkeit dezentral auf den Wohngrundstücken oder randlich der Wegeflächen in den Untergrund versickert werden. Alternativ besteht nach Aussage des Planungsbüros Spieth grundsätzlich die Möglichkeit, dass die Niederschlagsabflüsse, ggfls. nach einer Drosselung in einem Stauraumkanal, in den Niederkastenholzer Fließ eingeleitet werden. Für diese Entwässerungsvariante liegt bereits eine Entwurfsplanung vor.

### 3. Untersuchungsergebnisse

Die geotechnischen Untersuchungen, die mittels 14 Kleinrammbohrungen und 6 Schweren Rammsondierungen durchgeführt wurden, dienen der Ermittlung der Lagerungsdichten bzw. der Konsistenzen der im Untergrund anstehenden Böden. Zusätzlich sind in 6 Bohrungen Sickerversuche im Bohrloch durchgeführt worden.

Aufgrund der noch vorhandenen Bebauung durch Betriebsgebäude der Gärtnerei konnten im nordöstlichen Grundstücksbereich die Bohrungen nicht im geplanten Raster durchgeführt werden. Nach dem Rückbau der Gebäude/Gewächshäuser sind zusätzliche verdichtende Untersuchungen insbesondere unter umwelthygienischen und hydrogeologischen Aspekten notwendig.

#### 3.1 Untergrundschichtung

Auf dem Untersuchungsgelände wurde ein einheitlicher 4-schichtiger Untergundaufbau bestehend aus humosem Oberboden, Lößlehm, Erftschotter und tertiären Tonen und Feinsanden angetroffen. Nachfolgend werden die Schichten kurz beschrieben; Details zur Zusammensetzung, zur Schichtabfolge und zur Schichtmächtigkeit sind den geotechnischen Profilen im Anhang zu entnehmen.

##### Schicht 1: humoser Oberboden

In allen Bohrungen wurde ein humoser, tonig-schluffiger, tlw. mit Feinwurzeln durchzogener Oberboden mit wechselnden Anteilen an Feinsand als oberstes Schichtglied angetroffen. Die großen Mächtigkeiten des Oberbodens von 40 cm bis 60 cm erklären sich durch die ackerbauliche Nutzung der Flächen. Durch häufiges Unterpflügen und Umwerfen der bewachsenen Krume (Gründünung) kommt es zu einer Humusbildung bzw. Humusanreicherung bis in größeren Tiefen. Der Oberboden war durch die lange Trockenperiode allenfalls schwach feucht und wies „bröseliges“ Gefüge auf. Die Konsistenzen des Oberbodens wurden mit halbfest angesprochen.

##### Schicht 2: Lößlehm

Bei dem im Liegenden des Oberbodens folgenden Lößlehm handelt es sich lithologisch um einen Schluff mit wechselnden Beimengungen an Ton und Feinsand. Die Konsistenzen des Lößlehms variieren zwischen steif und halbfest.

Die in erster Linie in den oberen Horizontabschnitten angetroffenen hohen halbfesten Konsistenzen des Lößlehms sind auf die lange Trockenperiode im Vorfeld der Bohrkampagne zurückzuführen. Nach längeren Regenperioden und einer Durchfeuchtung der Lößlehme ist davon auszugehen, dass sich auch in diesen eine geringere, vermutlich steife Konsistenz einstellt.

Die Unterkante der Lößlehmdecke wurde in Tiefen zwischen 1,2 m und 2,0 m unter Gelände angetroffen. Dabei schwanken die Mächtigkeiten des Lößlehms regellos, was auf ein gewisse Reliefausbildung der im Liegenden anstehenden Hauptterrassensedimente hindeutet. Die ermittelten ungefähren NN-Koten für die Schichtunterkante des Lößlehms sind im Lageplan im Anhang vermerkt.

### Schicht 3: Erftschotter

Der Erftschotter setzt sich aus einem sandigen Kies mit wechselnden Ton- und Schluffanteilen zusammen. Es treten gehäuft eckige oder allenfalls kantengerundete Kiese auf, was sie als „unreifes“, nicht weit transportiertes Sediment auszeichnet. Zudem wurden in der Bohrsonde oftmals gebrochene Gesteinsfragmente gefördert. Dies lässt vermuten, dass innerhalb des Erftschotters auch Steine und ggf. Blöcke eingelagert sein können. Hierfür sprechen auch die Sondierstillstände, die bei mehrerer Schweren Rammsondierungen innerhalb des Erftschotters eingetreten sind. Ansonsten dokumentieren die Schlagzahlen der Schweren Rammsondierungen eine mindestens mitteldichte, meist aber dichte Lagerung der Kiese.

Die Unterkante des Erftschotters wurde in Tiefen zwischen ca. 4,0 m und 5,6 m unter GOK erkundet. Er weist dabei Horizontmächtigkeiten zwischen 2,0 m und 4,1 m auf.

### Schicht 4: tertiäre Schichten

Die tertiären Schichten bilden die unterste erbohrte Einheit auf dem Untersuchungsareal. Die Abfolge generell durch einen schnellen Wechsel von Tonen, Feinsanden und seltener von Kiesen gekennzeichnet.

Auf dem Untersuchungsgelände dominieren die tonigen Schichten; sie weisen Nebengemengteile von Feinsand und Schluff auf. Die Konsistenzen sind in den oberen Horizont-Zentimetern meist steif, gehen dann mit zunehmender Tiefe in eine halbfeste, teilweise feste Konsistenz über.

Tertiäre Sande wurden hingegen nur in zwei Bohrungen angetroffen. Es handelt sich um schluffig bis stark schluffige, tonige Feinsande in mitteldichter Lagerung. Die Bohrerergebnisse lassen dabei auch auf ein welliges Relief der Tertiäroberfläche schließen.

## **3.2 Untergrundwasser – Hydrogeologische Randbedingungen**

In 9 der 14 Bohrlöcher konnte freies Grundwasser eingemessen werden. Die Bohrlöcher KRB 4, KRB 6 und KRB 14 fielen nach dem Ziehen des Gestänges oberhalb des Grundwasserspiegel zu. Das sehr feuchte bzw. nasse Bohrgut weist auch hier auf das Vorhandensein von Grundwasser hin. Nur die Bohrungen KRB 11 und KRB 13 waren grundwasserfrei.

In der folgenden Tabelle 1 sind die Grundwasserstände der Messung vom 22.07.2022 sowohl in Meter unter Flur als auch in Meter über Normalnull (mNN) angegeben.

**Tabelle 1:** Grundwasserstände 22.07.2022

Bohrung	Grundwasserstand m u. GOK	Grundwasserstand mNN
KRB 1	3,10	158,97
KRB 2	2,95	159,05
KRB 3	2,85	159,24
KRB 4	Bohrloch zugefallen Bohrgut nass 3,0 m	---
KRB 5	3,15	158,81
KRB 6	Bohrloch zugefallen Bohrgut nass bei 3,0 m	---
KRB 7	3,02	158,78
KRB 8	2,95	159,00
KRB 9	3,04	158,97
KRB 10	3,00	158,16
KRB11	kein Grundwasser erbohrt	
KRB 12	3,21	158,90
KRB 13	Bohrloch zugefallen Bohrgut nass bei 3,10	---
KRB 14	kein Grundwasser erbohrt	---

GOK: Geländeoberkante

Die grundwasserfreien Bohrungen KRB 11 und KRB 13 stellen Ausreißer innerhalb der ansonsten eingemessenen, ungefähr niveaugleichen Wasserstände dar. Gründe für die Grundwasserfreiheit lassen sich weder aus der Ansprache des Bohrgutes noch aus den sonstigen Randbedingungen (Entnahmebrunnen, Drainagen) erklären. Aufgrund der noch vorhandenen Bestandsbebauung konnten die grundwasserfreien Bereiche nicht mit weiteren Bohrungen eingegrenzt werden. Dies wird, wie erwähnt, nach dem Gebäuderückbau empfohlen. Für eine abschließende Bewertung, ob hier ganzjährig eine Grundwasserfreiheit oder zumindest niedrige Grundwasserstände zu erwarten sind, müssten ggf. Langzeitmessungen an noch zu errichtenden GW-Messpegeln durchgeführt werden. Dabei sollten insbesondere die meist niederschlagsreichen Winter- und Frühjahrsmonate von der Messreihe erfasst werden.

Ansonsten lässt sich aus den gemessenen Wasserständen für des B-Plangebiet ein zusammenhängender Grundwasserspiegel ableiten. Dieser lag am 22.07.2022 in einer mittleren Kote von ca. 159 mNHN und damit ca. 3 m unter Geländeoberkante. Als Aquifer (wasserführende Schicht) fungiert erwartungsgemäß der Erftschotter, der zum Liegenden durch die tertiären Tone abgedichtet wird.

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den o. g. Wasserständen um eine Stichtagsmessung handelt. Da im Vorfeld der Bohrkampagne eine längere Trockenperiode herrschte, liegen die gemessenen Wasserstände vermutlich eher im unteren Bereich der natürlichen Grundwasseramplitude. Es ist zu erwarten, dass nach längeren Regen- oder Tauperioden deutlich höhere, flurnahe Grundwasserstände auftreten, die vermutlich vollständig den Erftschotterhorizont füllen.

Diese Einschätzung korreliert mit den Angaben des Erftverbandes. In einem Schreiben vom 01.09.2022 leitet der Erftverband aus den Messwerten von drei Grundwasserpegeln in der Umgebung einen Höchstwasserstand zwischen 160 mNHN und 161 mNHN für das Projektareal ab. Es wird aber auf die Unsicherheiten bei der Interpretation der Daten aufgrund der geologischen Gegebenheiten hingewiesen. Eine Beeinflussung der Wasserstände durch die Sumpfungsmaßnahmen des hier relevanten oberen Grundwasserstockwerkes besteht lt. Angabe des Erftverbandes nicht.

Bis zum Eingang der Ergebnisse aus den empfohlenen zusätzlichen geohydrologischen Untersuchungen wird für die baugrundtechnischen und hydrogeologischen Beurteilungen für das gesamte Plangebiet der vom Erftverband prognostizierter **Grundwasserhöchststand von 161 mNN** angenommen.

#### 4. Geotechnische Beurteilung

Auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen ergibt sich folgender Beurteilung der geotechnischen Situation.

##### 4.1 Tragfähigkeit der angetroffenen Böden

###### Schicht 1: Oberboden

Der humose Oberboden ist als Gründungsboden nicht geeignet. Er ist aus den Baufeldern von Gebäuden und sonstigen Bauwerken abzuschieben.

###### Schicht 2: Lößlehm

Der Lößlehm stellt in steifer Konsistenz einen mäßig tragfähigen (kompressiblen) Baugrund dar. Er besitzt bei Lasteintrag, – in Abhängigkeit von der Schichtdicke, ein relevantes Setzungspotential. In der überwiegend in den oberen Horizontabschnitten angetroffenen halbfesten Konsistenz ist er zwar gut tragfähig; diese höhere Konsistenz ist vermutlich auf die langandauernde Trockenperiode zurückzuführen ist. Es wird erwartet, dass sich nach längeren Regenperioden hier eine geringere, vermutlich nur steife Konsistenz des Lößlehms einstellt. Für die bautechnischen Beurteilungen wird daher eine steifplastische Konsistenz des Lößlehms angenommen.

Bei der Beurteilung der Tragfähigkeit der Lößböden sind zusätzlich deren bodenmechanischen Eigenschaften/Empfindlichkeiten zu beachten:

- Der Lößlehm reagiert extrem empfindlich auf Wasserzutritt. Schon bei geringer Wasserzufuhr ist mit einer deutlichen Verminderung der Tragfähigkeit des Bodens zu rechnen.
- Zudem reagiert der Boden schon bei natürlichen Wassergehalten auf mechanische Beanspruchung mit einem Tragfähigkeitsverlust, der bis zur Verflüssigung Bodens reichen kann. Dies muss bei dem Einsatz der Baugeräte beachtet werden.

###### Schicht 3: Erftschotter

Die Kiese und Sande sind in mitteldichter Lagerung als gut tragfähiger, in dichter bis sehr dichter Lagerung als sehr gut tragfähiger und setzungsarmer Baugrund einzustufen.

#### Schicht 4: Tertiär

Die tertiäre Abfolge ist durch den schnellen unvorhersehbaren Wechsel von unterschiedlich tragfähigen Böden gekennzeichnet. Dabei sind die Tone in steifer Konsistenz mäßig tragfähig und weisen noch ein relevantes Setzungspotenzial auf. In halbfester bis fester Konsistenz stellen sie einen gut tragfähigen Baugrund dar. Die mitteldicht gelagerten Feinsande sind gut tragfähig und bei Lasteintrag gering kompressibel.

## 4.2 Bodenkennwerte und Bodenklassifizierungen

Die bodenmechanischen Kennwerte und die Bodenklassifizierung der in den Bohrungen ange-troffenen, relevanten Bodenarten können aufgrund der Bodenansprache und Probenbeurteilung sowie aufgrund der Ergebnisse der Schwere Rammsondierungen wie in den Tabellen 2 und 3 enthalten angenommen werden. Die bodenmechanischen Kennwerte für ein genormtes frostsicheres Baustoffgemisch für einen Bodenaustausch/ein Gründungspolster unterhalb der Fundamente/der Bodenplatten ist mit aufgeführt (Schicht 0).

**Tabelle 2:** Bodenkennwerte

Schicht	Bodenart	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (KN/m <sup>2</sup> )	$E_s$ (KN/m <sup>2</sup> )
0	Brechkorngemisch 0/45 mitteldicht-dicht	19-20	11-12	35-37,5	0	60.000- 80.000
1	Oberboden	--	--	--	--	--
2	Lößlehm steif	19-20	9-10	25-27,5	2-5	4.000- 8.000
	Lößlehm, halbfest-fest	20-21	10-11	25-27,5	5-15	10.000- 20.000
3	Erftschotter mitteldicht	18-20	10-11	32,5-35		40.000- 60.000
	Erftschotter dicht	19-21	11-12	35-37,5	0	60.000- 100.000
4	Tertiärer Ton steif-halbfest	19-20	9-10	22,5-25	5-15	5.000- 15.000
	Tertiärer Ton halbfest-fest	20-21	10-11	22,5-25	15-25	15.000 – 30.000
	Tertiärer Feinsand mitteldicht-dicht	19-21	11-12	35-37,5	0	40.000- 80.000

$\gamma$  = Wichte des erdfeuchten Bodens

$\gamma'$  = Wichte des Bodens unter Auftrieb

$c'$  = Kohäsion des drainierten Bodens

$E_s$  = Steifeziffer

$\phi'$  = Reibungswinkel des drainierten Bodens, bzw. für Grundgebirge: Ersatzreibungswinkel einschließlich Kohäsionsanteil

**Tabelle 3:** Bodenklassifizierung

Schicht	Bodenart	Bodenklassifizierung nach		Frostempfindlichkeitsklasse nach ZTVE StB	Verdichtbarkeitsklasse nach ZTVA-Stb	Bemerkung
		DIN 18196	DIN 18300 (alt)			
1a	Oberboden	OH; [OH]	1	–	–	
2	Lößlehm	UL	4; 2 <sup>1</sup>	F3	V3	Bei Durchnässung und/oder mechanischer Beanspruchung Übergang in BK 2 möglich
3	Erftschotter	GW, GU, SW, SU	3 (5)	F1	V1	Einlagerungen von Steinen und Blöcken auszuschließen
4	Tertiär Ton	TM, TU	4	F3	V3	
	Tertiärer Sand	SE; SU	3	F1–F2	V1-V2	

2<sup>1</sup>) Bei Durchnässung und/oder mechanischer Beanspruchung

(5) bei einem Steinanteil > 30 %

### 4.3 Homogenbereiche

Mit dem Erscheinen des Ergänzungsbandes zur VOB 2012 im September 2015 wurden die Boden- und Felsklassen (BK 1-7) in den relevanten ATV-Normen des VOB/C durch die Homogenbereiche ersetzt. Für die Ausschreibung von Bauleistungen sind daher Boden und Fels in Homogenbereiche einzuteilen.

In einem Homogenbereich werden Böden bzw. Felsschichten zusammengefasst, die im Rahmen eines Gewerkes (z.B. für Erdarbeiten, Nassbaggerarbeiten, Bohrarbeiten, Rammarbeiten, etc.) für einsetzbare Baugeräte ähnliche Eigenschaften besitzen. Sind umweltrelevante Inhaltstoffe in den Böden enthalten, so sind diese bei der Einteilung in Homogenbereiche zu beachten.

Jeder Homogenbereich eines Gewerkes ist, je nach Geotechnischer Kategorie (GK 1 bis GK 3) des Bauvorhabens, durch verschiedene Bodenkennwerte zu charakterisieren. Hierbei ist der Zustand des Bodens vor dem Lösen maßgebend. Bei den angegebenen Eigenschaften und Kennwerten handelt es sich nicht um charakteristische Kennwerte für geotechnische oder statische Berechnungen, sondern um mögliche Spannweiten, die zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit der relevanten Boden- und Felsschichten dienen.

Die nachfolgende Einteilung beruht auf den empfohlenen Gründungsmaßnahmen. Es werden daher die Gewerke „Erdarbeiten“ (DIN 18300) bei der Unterteilung der Homogenbereiche berücksichtigt. Dabei wird für die Festlegung der Homogenbereiche der Erdarbeiten davon ausgegangen, dass der Aushub mit einem Bagger mittlerer Größe durchgeführt wird.

Die tertiären Schichten müssen aufgrund ihrer Tiefenlage nicht gelöst werden und bleiben daher bei der Einteilung in die Homogenbereich unberücksichtigt.

Aus den Angaben ergeben sich folgende drei Homogenbereiche (E1 bis E3), deren Kennwerte und Eigenschaften in der nachfolgenden Tabelle angegeben werden.

**Tabelle 4:** Unterteilung der Böden in Homogenbereiche gemäß VOB 2016: Lockergesteine

Schicht Nr.	1	2	3
Ortsübliche Bezeichnung	Oberboden	Lößlehm	Erftschotter
Homogenbereich für Erdarbeiten DIN 18300	E1	E2	E3
Bodenart Kornverteilung	–	Ton 2-40% Schluff 40-90 % Sand 10- % Kies < 2 %	Ton 0-15% Schluff 0-15 % Sand 10-90 % Kies 10-90 %
Anteil Steine/Blöcke [%]	< 5/ 0	0/0	< 20/<20
Dichte und Wichte [kN/m <sup>3</sup> ]	–	18 – 21	18 – 22
Kohäsion	0	0 – 10	0-5
undrainierte Scherfestigkeit [kN/m <sup>2</sup> ]	–	20 – 600	–
Wassergehalt [Gew. %]	–	2-30	2-30
Konsistenz	–	weich-steif bis fest	–
Plastizität	–	leichtplastisch	–
Lagerungsdichte	–	–	mitteldicht-sehr dicht
Organischer Anteil	< 10 %	< 2 %	0-2
Bodengruppe DIN 18196	OU	UL, SU*; TL	GW, GU, GT, SW, SU; ST
Bodengruppe DIN 18915	2 - 6	-	-

Die aufgeführten Spannweiten der Bodenkennwerte und Bodeneigenschaften beruhen auf der Ansprache des Bohrgutes, den Angaben in der Fachliteratur sowie aus Erfahrungswerten aus vergleichbaren Bauvorhaben in der näheren Umgebung. Für exaktere Angaben einiger Parameter (z.B. Anteil an Steinen und Blöcken) wären aufwendigere und somit teurere Aufschlussverfahren (Schurfe) oder Untersuchungen in einem Erdlabor erforderlich, die für eine erste orientierende Baugrunduntersuchung unverhältnismäßig wären. Diese Parameter wurden daher abgeschätzt.

Werden im Zuge des Planungsprozesses bis zur Ausschreibung andere Gründungsvarianten angestrebt, so ist die vorgenommene Unterteilung zu überprüfen und ggf. anzupassen. Gleiches gilt für den Fall, dass die umweltchemischen Untersuchungen eine Trennung der in einem Homogenbereich zusammengefassten Böden erforderlich machen. U.U. werden dann weitere Laborversuche/Geotechnische Untersuchungen erforderlich.

#### 4.4 Tektonische Beanspruchung

Nach DIN 4149:2005-04 lässt sich das Projektareal wie folgt einstufen

- Erdbebenzone: 2
- Untergrundklasse: T
- Baugrundklasse: C

#### 4.5 Bemessungswasserstand

Als Bemessungswasserstand für die erforderlichen statischen Nachweise wird der vom Erftverband mit Schreiben von 01.09.2022 für das Projektareal prognostizierten höchsten Grundwasserstand von **161 mNHN** angenommen.

Dieser Wert wird bis auf weiteres für das gesamte Erschließungsgebiet angenommen. Lassen sich durch die empfohlene hydrogeologische Nachuntersuchung für den Nordosten des Plangebietes größere grundwasserfreie Bereiche nachweisen, kann der Bemessungswasserstand dort ggf. angepasst werden.

### 5. Gründung Wohngebäude

Für die Gründung von Wohngebäuden lassen sich aus den Befunden folgende Angaben konkretisieren.

#### 5.1 Allgemeines

Das Plangebiet weist einen einheitlichen Untergrundaufbau bestehend aus einer ca. 1,5 m bis 2 m mächtigen Lößlehmlehmdecke, die den mindestens mitteldicht, meistens dicht gelagerten Erftsottern auflagern. Die tertiären Abfolgen, meist halbsteife bis steife Tone, seltener Feinsandhorizonte folgen in Tiefen zwischen 4 m und 5,7 m unter Gelände, wobei für die Tertiäroberfläche nach den Bohrergebnissen ein welliges Relief anzunehmen ist.

In der jetzigen Vorentwurfsphase des Erschließungsprojektes liegen noch keine konkreten Planungshöhen für Gebäude und Verkehrsflächen vor. Nach telefonischer Auskunft des projektplanenden Ingenieurbüros Spieth soll die jetzige Geländehöhe ( $\approx 162$  mNN) in etwa erhalten bleiben, um den Aufwand für die Erdarbeiten bei der Erschließung und der Gründung von Gebäuden möglichst gering zu halten. Für die geplanten Einzel- und Doppelhäuser ist mit einer zweigeschossigen Bauweise zu rechnen. Die Mehrfamilienhäuser sollen maximal drei oberirdische Geschosse erhalten. Ob die Gebäude unterkellert werden, steht noch nicht fest. Für den Fall einer Unterkellerung wird nachfolgend von einer Geländeeinbindung der Keller von ca. 3 m ausgegangen.

Aus den Annahmen lassen sich folgende ungefähre Gründungskoten für die Gebäude ableiten:

- Nicht unterkellerte Gebäude: UK-Erdgeschossbodenplatte ca. 161,8 mNN
- Unterkellerte Gebäude: UK-Kellerbodenplatte ca. 159,0 mNN

Da zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht feststeht, ob die Gebäude eine Unterkellerung erhalten, werden nachfolgend Gründungsempfehlungen für beide Hausvarianten gegeben.

Aufgrund des weiten Bohrrasters im Bereich der großflächigen Bestandsbebauung haben die nachfolgenden Gründungsempfehlungen nur orientierenden Charakter. Abweichungen vom beschriebenen Untergrunderbau sind nicht gänzlich auszuschließen. Nach Vorlage der konkreten Planungen wird empfohlen für die Neubauten spezifische, vorhabenbezogene Baugrundgutachten zu erstellen.

Des Weiteren wird bei den nachfolgenden orientierenden Gründungsempfehlungen davon ausgegangen, dass die Betriebsgebäude der ehemaligen Gärtnerei fachgerecht rückgebaut werden. Baugruben aus dem Rückbau der unterirdischen Bausubstanz sind setzungsarm mit genormten Rund- oder Brechkorngemischen (98% Proctordichte) lagenweise zu verfüllen.

## **5.2 Gründung von nicht unterkellerten Gebäuden**

### **5.2.1 Beurteilung der Gründungsbedingungen**

Unter der Prämisse, dass die bestehenden Geländehöhen ungefähr erhalten bleiben, ist für die Unterkanten der Erdgeschossbodenplatten eine Einbindung in das Bestandsgelände von wenigen Zentimetern zu erwarten. Die Unterkanten liegen somit innerhalb des nicht tragfähigen Oberbodens. Auch die unterhalb folgenden Lößlehme sind in den angenommenen steifplastischen Konsistenzen, die bei normaler Durchfeuchtung des Bodens erwartet werden, nicht für eine direkte Beanspruchung mit den zu erwartenden Bauwerkslasten geeignet. Bei direkter Beanspruchung wären hier hohe bauwerksschädigende Setzungen zu erwarten.

### **5.2.2 Gründungsempfehlung**

#### Plattengründung

Bei den beschriebenen Randbedingungen stellt i.d.R. eine Gründung mittels elastisch gebetteten Bodenplatten auf einem Gründungspolster die bautechnisch sinnvollste und voraussichtlich wirtschaftlichste Gründungsform für nicht unterkellerten Wohnbauten dar. Der Einbau eines Polsters stellt insofern keinen bzw. nur einen geringen erdbautechnischen Mehraufwand dar, als dass der vorhandene zwischen 0,3 m und 0,6 m mächtige humose Oberboden ohnehin abgeschoben werden muss.

Bei der Plattengründung wird von dem Betonieren der Bodenplatte eine ebene und tragfähige Gründungssohle durch einen Bodenaustausch geschaffen. Das Gründungspolster aus gut verdichtbaren genormten Baustoffgemischen wird dabei zur Reduzierung und Vereinheitlichung der Setzungen eingebaut.

Die nachfolgend angegebenen Polsterstärken wurden so bemessen, dass die Gebäudesetzungen 1,5 cm nicht überschreiten.

Bei den überschlägig durchgeführten Setzungsberechnungen wurden für 2-geschossige Gebäude eine mittlere, gleichverteilte Flächenlast von  $40 \text{ kN/m}^2$ , für 3-geschossige Gebäude von  $60 \text{ kN/m}^2$  angesetzt. Für die Garagen wurde eine Flächenlast von  $20 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Für den Lößlehm wurden von einer steifen Konsistenz ausgegangen.

Wegen der Lage des Projektareals in der Erdbebenzone 2 müssen die Gebäude ohnehin „steif“ ausgelegt werden. Auch vor diesem Hintergrund werden die als Grenzwert angenommenen Setzungen von  $1,5 \text{ cm}$  als nicht bauwerksschädigend eingestuft. Diese Einschätzung ist durch den Tragwerksplaner zu verifizieren.

Die vorgeschätzten Mindestdicken der Gründungspolster betragen, in Abhängigkeit von der Geschoszahl der nicht unterkellerten Gebäude:

- 1-geschossige Garagen: Polsterstärke  $30 - 40 \text{ cm}$
- 2-geschossige Gebäude: Polsterstärke  $50 - 60 \text{ cm}$
- 3-geschossige Gebäude: Polsterstärke  $70 - 80 \text{ cm}$

**Anmerkung:** Die angegebenen Polsterstärken sind dabei nur als Anhaltswerte zu verstehen. Die erforderliche Polsterstärke ist nicht zuletzt von der Tragfähigkeit wasserempfindlichen Lößlehme in der Gründungssohle und damit von den Witterungseinflüssen abhängig. Bei starker Durchfeuchtung weisen die Lößlehm u.U. geringere als die angenommene steifplastischen Konsistenzen auf, woraus sich dann höhere Polsterstärken ergeben können. Die genauen erforderlichen Einbaustärken müssen daher für jedes Bauvorhaben individuell während der Erdarbeiten durch den Baugrundgutachter festgelegt werden.

Nachfolgend werden die, für die Umsetzung der Plattengründung wichtigen Punkte aufgelistet. Die Anforderungen ergeben sich in erster Linie aus der hohen Wasserempfindlichkeit der anstehenden bindigen Böden in den Aushubsohlen.

- Der Erdaushub ist in jedem Fall mit einem Baggerlöffel mit Schneide vorzunehmen, um ein Durchpflügen mit einhergehender Auflockerung/Aufweichung des Baugrundes zu vermeiden.
- Aufgeweichte Böden in der Baugrubensohle sind zu entfernen und durch gut verdichtbare Baustoffe auszutauschen, wie unten erwähnt.
- Die Tragfähigkeit der Böden in der Aushubsole hängen aufgrund der hohen Wasserempfindlichkeit extrem von den Witterungsbedingungen während der Bauphase ab. Bei schlechten Bedingungen ist zur Stabilisierung der Sohle unter Umständen der Einbau einer Grobschlaglage erforderlich. Das Grobschlagmaterial (z. B. Körnung 60/120) wird dabei statisch in die Sohle eingewalkt und dient als Auflager für das eigentliche Bodenpolster. Der Einbau einer vorgeschätzt  $20 \text{ cm}$  dicken Grobschlaglage sollte in den Ausschreibungen für die Gründungsarbeiten berücksichtigt werden.
- Auf der Aushubsohle (bzw. auf der mit Grobschlag stabilisierten Sohle) ist ein Geotextil mit der Funktion „Trennen“ zu verlegen (Robustheitsklasse GRK4).
- Anschließend ist das Gründungspolster einzubauen. Ausgehend von den Gebäudeaußenkanten ist hierbei ein Druckausbreitungswinkel von  $45^\circ$  zu berücksichtigen. Um eine Plastifizierung der Gründungssohle zu verhindern, darf die Verdichtung der unterste Einbaulage bei Schütthöhen von ca.  $20 \text{ cm}$  nur mit einem leichten Verdichtungsgerät erfolgen.

- Unter den Außenwänden der Gebäude ist die Dicke des Polsters so zu erhöhen, dass die Frostsicherheit gewährleistet ist. Als frostsicher gilt im vorliegenden Fall 1 m unter späterer GOK.
- Unter grenzständigen Außenwänden von Garagen ist die Einhaltung eines Druckausbreitungswinkels für das Gründungspolster nicht möglich. Das Polster würde dann in das nachbarliche Grundstück kragen. Es wird daher empfohlen, unter den grenzständigen Außenwänden eine Frostschräge aus Beton anzuordnen, gegen die das Bodenpolster dann verdichtet wird.
- Bei den Erdarbeiten sollten die Aushubsohlen möglichst kurz der Witterung ausgesetzt sein. Zum Schutz des Bodens vor Durchfeuchtung sollte der Einbau des Bodenpolsters daher abschnittsweise und unmittelbar nach dem Aushub im „Andeckverfahren“ eingebaut werden.
- Während der Bauphase muss die Trockenhaltung der Baugrube durch eine fachgerechte Wasserhaltung durchgehend gewährleistet werden.
- Als Bodenaustauschmaterial ist ein genormtes frostsicheres Brechkongemisch (z.B. Sieblinie 0/45) zu verwenden. Soll RC-Material für den Aufbau des Bodenpolsters genutzt werden, ist dessen bodenmechanische und umwelthygienische Eignung durch bodenphysikalische und chemische Laboruntersuchungen nachzuweisen. Der Einbau von RC-Materialien ist in jedem Fall bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde genehmigungspflichtig.
- Die Verdichtungsanforderungen auf der Gründungssohle (= Oberkante Schotterpolster) sind:

Statischer Lastplattendruckversuch:	$E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ , $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$ .
Dynamischer Lastplattendruckversuch:	$E_{vd} \geq 40 \text{ MN/m}^2$

Es wird empfohlen, den Verdichtungserfolg durch Lastplattenversuche zu überprüfen.

#### Dimensionierung der Bodenplatten

Bei Einhaltung der oben genannten Angaben können für die Vorbemessung der Bodenplatten die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Rechengrößen verwendet werden.

Der als Flächengründung zu betrachtende Gründungskörper kann nach dem Bettungsmodulverfahren elastisch gebettet bemessen werden. Alternativ kann das Steifemodulverfahren zur Dimensionierung der Gründung angewendet werden. Hierfür können die Mittelwerte in der Tabelle 2 angegebenen Steifemodule als Rechengrößen genutzt werden.

**Tabelle 5:** Rechengrößen zur Bemessung der Plattengründung nicht unterkellerten Gebäude

	Norm	Kennwert
<b>Bettungsmodul</b> für die Vorbemessung der Bodenplatten	–	$K_s = 5-10 \text{ MN/m}^3$ unter freien Plattenrändern kann der Bettungsmodul auf einem Laststreifen von 1 m verdoppelt werden
<b>Bemessungswert des Sohlwiderstandes</b> unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung	DIN 1054: 2010-12 (EC 7)	1-geschossig: $\sigma_{R,d} \leq 170 \text{ kN/m}^2$ 2-geschossig: $\sigma_{R,d} \leq 210 \text{ kN/m}^2$ 3-geschossig: $\sigma_{R,d} \leq 280 \text{ kN/m}^2$
<b>Aufnehmbarer Sohldruck</b> unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung (Lastfall BS-P)	DIN 1054: 2005-1 (alt)	1-geschossig $\sigma_{zul} \leq 120 \text{ kN/m}^2$ 2-geschossig $\sigma_{zul} \leq 150 \text{ kN/m}^2$ 3-geschossig $\sigma_{zul} \leq 200 \text{ kN/m}^2$
<b>Setzungen</b> <b>Setzungsdifferenzen</b>	–	$s = 0,5 \dots 1,5 \text{ cm}$ $\Delta s \leq 1 \text{ cm}$

Es ist zu beachten, dass der Bettungsmodul kein Bodenkennwert ist, sondern von der Bauwerkslast und der Plattenabmessung abhängt. Da diese noch nicht feststehen, wurde in der Tabelle für den Bettungsmodul eine Spannweite zur Vorbemessung der Bodenplatten angegeben. Ein genauer Wert kann erst nach Vorlage konkreter Bauwerkslasten etc. festgesetzt werden.

Überschreiten Spannungsspitzen die angegebenen Rechengrößen, so ist ggf. eine Erhöhung der Polstermächtigkeit erforderlich, um dann mit höheren Bettungsmoduli bzw. Steifemoduli rechnen zu können.

#### Gründung mittels tieferführten Streifenfundamenten innerhalb des Erftschotters

Alternativ kann bei hohen Bauwerkslasten überlegt werden, ob eine Gründung mittels tiefergeführter Streifenfundamente bis auf den sehr gut tragfähigen Erftschotter nicht die wirtschaftlichere Gründungsvariante darstellt.

Für eine erste Kalkulation des erforderlichen Aufwandes für eine Tieferführungen der Fundamente können die auf dem Lageplan neben den Untersuchungsstandorten vermerkten Koten der Schichtgrenze Lößlehm/Erftschotter genutzt werden.

Bei der Bauausführung für die Erstellung der tiefergeführten Fundamente sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Streifenfundamente sind einheitlich bis in den Erftschotter zu führen. Der Lößlehm ist zu durchgründen.

Die Fundamentgräben sind kurzfristig senkrecht standsicher, so dass die Tieferführung bautechnisch einfach in Erdschalung erfolgen kann. Die Gräben sind unmittelbar nach Aushub bis Höhe der konstruktiven Fundamente mit Beton der C20/25 zu fluten. Anschließend können die Bewehrungskörbe eingestellt werden und die konstruktiven Fundamente gegossen werden.

- Die innere Standsicherheit von tiefergeführten Fundamente ist statisch nachzuweisen. Mehrmengen an Beton durch unvermeidbare Randausbrüche der Gräben sind hierbei hinzunehmen.

#### Bemessung der Streifenfundamente

Bei Einhaltung der o.g. Angaben können für Streifenfundamente mit Breiten von  $0,5 \text{ m} \leq b \leq 1,0 \text{ m}$  folgende Rechengrößen angenommen werden.

**Tabelle 6:** Rechengrößen zur Dimensionierung von Streifenfundamenten bei Einbindung in den Erftschotter

	Norm	Kennwert
<b>Bemessungswert des Sohlwiderstandes (Lastfall BS-P)</b>	DIN 1054: 2010-12 (EC 7)	$\sigma_{R,d} \leq 420 \text{ kN/m}^2$
<b>Aufnehmbarer Sohldruck</b>	DIN 1054: 2005-1 (alt)	$\sigma_{zul} \leq 300 \text{ kN/m}^2$
<b>Setzungen</b>		$s \leq 1 \text{ cm}$
<b>Setzungsdifferenz</b>		$\Delta s \leq 0,5 \text{ cm}$

Bei ausmittigt belasteten Fundamenten ist die Bodenpressung für die Ersatzbreite  $b'$  gemäß DIN 1054 zu ermitteln. Die Setzungen werden überwiegend als Sofortsetzungen unmittelbar nach Lasteintrag auftreten und kurzfristig abklingen.

### 5.2.3 Wasserhaltung

Bei der nicht-unterkellerten Gebäudevariante werden die Erdarbeiten zur Gründung nicht vom Grundwasser tangiert. Neben dem anfallenden Tagwasser ist allenfalls mit geringen Schichtwasserzutritten in die Baugruben zu rechnen. Aufgrund der wasserempfindlichen Böden in den Aushubsohlen müssen diese Wässer jedoch unverzüglich aus den Baugruben entfernt werden. Der zu erwartenden Wasserandrang ist in jedem Fall mit einer offenen Wasserhaltung zu beherrschen. Hierfür sind Pumpensümpfe am Innenrand der Baugruben zu installieren. Die Baugrubensohlen sind mit leichten Gefälle zur den Pumpensümpfen anzulegen. Aus baupraktischen Gründen länger freiliegende Aushubsohlen sind mit Magerbeton vor Witterungseinflüssen zu schützen.

### 5.3 Gründung von unterkellerten Gebäuden

### 5.3.1 Beurteilung der Gründungsbedingungen

#### Gründungsrelevante Schichten

Für die Kellergeschosse der Wohngebäude ist von einer Einbindetiefe von ca. 3 m unter Bestandsgelände auszugehen ( $\approx 159$  mNN). Die Unterkanten der Kellerbodenplatten binden nach Bohrbefund in die gut tragfähigen, mindestens mitteldicht, meistens dicht gelagerten Erftschotter ein. Die Mächtigkeit des gut tragfähigen Erftschotters unterhalb der angenommenen Gründungssohle bis Schichtoberkante der Tertiären Tone beträgt mindestens 80 cm. Aus gründungstechnischer Sicht herrschen günstige Baugrundbedingungen.

An den Längsseiten der Wohnhäuser angebaute **Garagen** überbauen den Arbeitsraum der angrenzenden Kellergeschosse. Die Rückverfüllung des Kellerarbeitsraumes muss hier setzungsarm erfolgen, um spätere Bauschäden an den Garagen zu vermeiden.

An den freien Längswänden liegen die Bodenplatten der Garagen auf Geländeniveau bzw. binden geringfügig in das Bestandsgelände ein. Gründungsrelevant ist hier überwiegend der nicht tragfähige Oberboden. Die unterhalb des Oberbodens anstehenden Lößlehme weisen noch ein relevantes Setzungspotenzial auf. Um Setzungsschäden vermeiden sind hier zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Aufgrund der nur geringen Bauwerkslasten reicht jedoch der Einbau eines geringmächtigen Schotterpolsters unter den Bodenplatten der Garagen aus, um eine ausreichend tragfähige Gründungssohle zu schaffen.

#### Wassereinwirkung

Ein erhöhter Aufwand entsteht für die Trockenhaltung der Baugruben. Es gilt die Vorgabe, dass der Grundwasserstand bauzeitlich 0,5 m unter der tiefsten Aushubsohle gehalten wird.

Am Untersuchungstag wurden Grundwasserstände gemessen, die ungefähr auf Höhe der geplanten Gründungskoten der Kellergeschosse (ca. 159 mNN = Unterkante Bodenplatte) lagen. Legt man diesen Wasserstand zugrunde, wird eine bauzeitliche Grundwasserabsenkung von ca. 0,5 m erforderlich.

Wie bereits erwähnt, ist aufgrund der langen Trockenperiode jedoch davon auszugehen, dass die gemessenen Wasserstände im Niedrigwasserbereich der natürlichen Grundwasseramplitude liegen. Höhere Grundwasserstände, über der Gründungssohle liegende Wasserstände, sind daher bereits bei Normalwasser, und erst recht bei Hochwasserständen, wie sie typischerweise im Winter und Frühjahr auftreten, zu erwarten. Hieraus leitet sich dann ein höherer Aufwand für die Wasserhaltung ab. Wie hoch das Grundwasser maximal ansteigt, kann anhand der durchgeführten Untersuchungen nicht sicher vorhergesagt werden.

In dem Schreiben des Ertverbandes werden für das Projektareal, verglichen zu den gemessenen Wasserständen, bis zu 2 m höhere Grundwasserstände prognostiziert (161 mNHN, 1 m unter Flur).

Fazit: Es ist wahrscheinlich, dass die Erdarbeiten zur Gründung der Kellergeschosse im Schutz einer Grundwasserabsenkung durchgeführt werden müssen. Der bautechnische Aufwand für die Wasserhaltung, die abzupumpenden Wassermengen hängen naturgemäß von der Höhe des Grundwasserspiegels und dem daraus resultierenden Absenkziel ab. Um den Aufwand zu minimieren, wird daher grundsätzlich empfohlen, die Bauzeit für die Errichtung der Kellergeschosse

möglichst im Sommer oder Frühherbst mit dann meist geringen Niederschlägen und niedrigen Grundwasserständen zu planen.

### 5.3.2 Gründungsempfehlung

Bei den nachfolgenden Gründungsempfehlungen wird von einer fachgerechten Wasserhaltung mit einer Grundwasserfreiheit von 0,5 m unter Gründungssohle ausgegangen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Restdicke des gut bis sehr gut tragfähigen Erftschotters unterhalb der Gründungssohle mindestens 80 cm beträgt. Wird in der Ausführungsplanung eine tiefere Gründungskote für einzelne Gebäude angesetzt, so ist in jedem Fall zu prüfen, ob der Erftschotter in der angenommenen Dicke unter der Bodenplatte vorhanden ist. Ggf. sind die Angaben zur Dimensionierung der Plattengründung anzupassen.

Aus gutachterlicher Sicht stellt für die Kellergeschosse eine Gründung auf einer elastisch gebetteten Bodenplatte die bautechnisch sinnvollste und wirtschaftlichste Gründungsvariante dar. Außer dem Einbau einer geringmächtigen Tragschicht sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Die Tragschicht dient in erster Linie zum Ausgleich von Unebenheiten in der Baugrubensohle und als Sauberkeitsschicht zur fachgerechten Verlegung der Dämmlagen. Gleichzeitig übernimmt sie die Funktion eines Flächenfilters bei einer anzustrebenden offenen Wasserhaltung.

Die erforderliche Mächtigkeit der Tragschicht wird auf 20 cm vorgeschätzt. Es wird darauf hingewiesen, dass durch das Lösen von größeren Blöcken in der Aushubsohle sich bereichsweise größere Polsterstärken ergeben können.

Bei der Bauausführung sind folgende Punkte zu beachten:

- In den Baufenstern ist der Boden bis auf eine Kote von 20 cm unter Gründungssohle auszukoffern.
- Bindige Einschaltungen innerhalb der Aushubsohlen sind zusätzlich zu entfernen. Gleiches gilt für witterungsbedingte oder durch Baumaschinen hervorgerufene Aufweichungen.
- Die Aushubsohlen sind vor dem Einbau des Schotterpolsters sorgfältig nachzuverdichten.
- Für den Einbau des Schotterpolsters ist ein genormtes, nullkornfreies Brechkornmisch der Sieblinie 2/45 oder 2/56 zu verwenden. Das Schotterpolsters fungiert gleichzeitig als Flächenfilter für die wahrscheinlich erforderliche Wasserhaltung/Grundwasserabsenkung.
- Ausgehend von den Gebäudeaußenkanten ist beim Einbau des Polsters ein Druckausbreitungswinkel von 45° zu berücksichtigen.
- Die Verdichtungsanforderungen auf der Gründungssohle (= Oberkante Bodenpolster) sind:  
Statischer Lastplattendruckversuch:  $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ ;  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$   
Dynamischer Lastplattendruckversuch:  $E_{vd} \geq 40 \text{ MN/m}^2$

#### Kenngrößen zur statischen Berechnung der Gründung

Der als Flächengründung zu betrachtende Gründungskörper kann nach dem Bettungsmodulverfahren elastisch gebettet bemessen werden. Alternativ kann das Steifemodulverfahren angewendet werden, dass in der Regel die genauere Methode darstellt.

Der in der Tabelle 7 angegebene Bettungsmodul ist nur für eine Vorbemessung der Gründungsplatten heranzuziehen. Es werden überschlägige mittlere Flächenlasten von 60-80 kN/m<sup>2</sup> für die unterkellerten Gebäude berücksichtigt.

Bei den Berechnungen wurde die Aushubentlastung des Baugrundes spannungsmindernd berücksichtigt. Die Setzungen werden unmittelbar nach Lasteintrag eintreten und abklingen.

**Tabelle 7:** Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung unterkellierter Gebäude

	Norm	Kennwert
<b>Bettungsmodul</b> für die Vorbemessung der Bodenplatten nach dem Bettungsmodulverfahren	–	$K_s = 20 \text{ MN/m}^3$
<b>Bemessungswert des Sohlwiderstandes</b> unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung	DIN 1054: 2010-12 (EC 7)	$\sigma_{R,d} \leq 420 \text{ kN/m}^2$
<b>Aufnehmbarer Sohldruck</b> unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung (Lastfall BS-P)	DIN 1054: 2005-1 (alt)	$\sigma_{zul} \leq 300 \text{ kN/m}^2$
<b>Setzungen</b> <b>Setzungsdifferenzen</b>	--	$s = 0,0 \dots 1 \text{ cm}$ $\Delta s \leq 0,5 \text{ cm}$

#### Gründung von angebauten Garagen

Eine Plattengründung auf einem Schotterpolster stellt auch für die Garagen die wirtschaftlichste Gründungsform dar. Die notwendige Mindesteinbaudicke des Polsters unter den Bodenplatten beträgt 50 cm.

Da in den Baufenstern der Garagen die Kellergruben der Wohnhäuser ohnehin qualitativ hochwertig verfüllt werden müssen und außerhalb der Gruben der hier anstehenden Oberboden zu entfernen ist, stellt der Einbau eines Schotterpolsters in der erforderlichen Mindestmächtigkeit von 50 cm einen nur geringen zusätzlichen Aufwand dar.

Folgenden Punkte sind für die Gründung der Garagen zu beachten:

- Die Arbeitsräume der Kellergeschosse sind in den Baufeldern der Garagen bis auf eine Kote von 50 cm unter Gründungsohle sorgfältig mit gut verdichtbaren Böden (Verdichtbarkeitsklasse V1) zu verfüllen. Hierfür können voraussichtlich die beim Auskoffern der Kellergruben anfallenden Erftschotter genutzt werden. Diese sollten von einem Bodengutachter auf ihre Eignung überprüft werden. Alternativ sind genormte kornabgestufte Mineralgemische anzuliefern und einzubauen. Das Material ist so zu verdichten, dass auf jeder Einbaulage ein Verformungsmodul von  $E_{v2} \geq 60 \text{ MN/m}^2$  nachgewiesen werden kann.
- Außerhalb der Kellergruben sind die vorhandenen Böden bis auf eine Kote von vorgeschätzt 50 cm unter Unterkante Bodenplatte auszukoffern.

- Hierfür ist ein Baggerlöffel mit Schneidkante zu verwenden. Aufgeweichte Böden in der Aushubsohle sind zusätzlich zu entfernen.
- Erst dann kann das Bodenpolster eingebaut werden. Als Polstermaterial ist ein frostsicheres Brechkorngemisch mit definierter Sieblinie (z.B. 0/45) zu verwenden.
- Beim Einbau des Bodenpolsters ist grundsätzlich Druckausbreitungswinkel von 45° zu beachten. Zusätzlich ist unter freien Außenwänden die Mächtigkeit des Bodenpolsters so zu erhöhen, dass die Frostsicherheit von 1 m unter zukünftiger Geländeoberkante gewährleistet ist.
- Bei grenzständigen Garagen ist unter der Außenwand eine Frostschräge anzuordnen, gegen die das Schotterpolster dann verdichtet eingebaut wird.
- Die Verdichtungsanforderungen auf der Gründungssohle (= Oberkante Bodenpolster) sind.  
 Statischer Lastplattendruckversuch:  $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ ,  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$   
 Dynamischer Lastplattendruckversuch:  $E_{vd} \geq 40 \text{ MN/m}^2$
- Es wird empfohlen, Garage und Wohnhaus durch eine Fuge statisch zu entkoppeln.

Bei Einhaltung der oben genannten Angaben können für eine Vorbemessung der Bodenplatten, die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Rechengrößen verwendet werden.

**Tabelle 8:** Rechengrößen zur Dimensionierung einer Plattengründung für die Garagen

<b>Bemessungswert des Sohlwiderstande</b> unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung (Lastfall BS-P)	DIN 1054: 2010-12 (EC 7)	$\sigma_{R,d} \leq 170 \text{ kN/m}^2$
<b>Aufnehmbarer Sohldruck</b> unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung (1 m breiter Laststreifen)	DIN 1054: 2005-1 (alt)	$\sigma_{zul} \leq 120 \text{ kN/m}^2$
<b>Bettungsmodul</b> für die Vorbemessung der Bodenplatte nach dem Bettungsmodulverfahren	--	$K_s = 10 \text{ MN/m}^3$
<b>Setzungen</b> <b>Setzungsdifferenz</b>	--	$s = 0,5 \dots 1 \text{ cm}$ $\Delta s \leq 0,5 \text{ cm}$

Es ist zu beachten, dass der Bettungsmodul kein Bodenkennwert ist, sondern von der Bauwerkslast und der Plattenabmessung abhängt. Der genaue Wert ist im Rahmen der Tragwerksplanung durch Setzungsberechnungen zu ermitteln.

### 5.3.3 Wasserhaltung

Am Untersuchungstag lag der gemessene mittlere Grundwasserstand ungefähr auf Höhe angenommenen Gründungssohle der 3 m tief einbindender Kellergeschosse (159 mNN). Die nach einer längeren Trockenperiode gemessenen Grundwasserstände liegen, wie erwähnt, eher im unteren Bereich der natürlichen Grundwasseramplitude.

Bei „normalen“ Witterungsbedingungen mit mittleren Grundwasserständen sind in jedem Fall Spiegelhöhen oberhalb der angenommenen Gründungskote für die Kellergeschosse von 159 mNN zu erwarten. Der Bau der Kellergeschosse muss daher mit hoher Wahrscheinlichkeit im Schutz einer Grundwasserabsenkung erfolgen. Dabei gilt die Vorgabe, dass der Wasserspiegel bauzeitlich 50 cm unter der tiefsten Aushubsohle gehalten wird.

Die Grundwasserabsenkung findet in den Erftschottern statt. Aufgrund des Feinkornanteils ist mit einem nur mäßigen Wasserandrang zu rechnen. Mit den Versickerungsversuchen in den Bohrlöchern wurden hydraulische Leitfähigkeiten zwischen ca.  $k_f = 2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  und  $6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  gemessen.

Wie Erfahrungen aus anderen Bauvorhaben zeigen, lassen sich in den Erftschottern maximale Absenkungsbeträge in einer Spanne zwischen 1,2 und 1,5 m mit einer kostengünstigen verbesserten offenen Wasserhaltung mittels Pumpensämpfen erzielen. Niedrig- und Normalwasserstände, wie sie im meist in den Sommer- und Herbstmonaten zu erwarten sind, lassen sich daher voraussichtlich mit einer offenen Wasserhaltung beherrschen. Die Erdarbeiten sollten möglichst in dieser Zeit erfolgen.

Grundsätzlich sind, wie nach dem Flutereignis des vergangenen Jahres bekannt, höhere Wasserstände nicht auszuschließen. Bei solch höheren bauzeitlichen Wasserständen, liegen die erforderlichen Absenkungsbeträge u. U. oberhalb der technischen Anwendungsgrenze für eine offene Wasserhaltung. Die Trockenhaltung der Baugruben erfordert dann eine aufwendige geschlossene Wasserhaltung.

Die Ausführungen zeigen, dass die i.d.R. angestrebte, weil kostengünstige offene Wasserhaltung, mit einem gewissen Ausführungsrisiko behaftet ist. Zeigt sich, dass bei hohem Wasserandrang und/oder steigenden Wasserständen die notwendige Absenkung mit dieser Variante nicht gewährleistet werden kann, muss kurzfristig auf eine geschlossene Wasserhaltung mittels Flachbrunnenanlage umgestellt werden. Dies kann zu Verzögerungen im Bauablauf führen.

Es sollten jeweils unmittelbar vor Beginn einer Neubaumaßnahme Baggerschürfe auf dem Baugrundstück angelegt werden, um den erforderlichen Aufwand für die Grundwasserhaltung besser abzuschätzen.

#### Offene Wasserhaltung

Soll die Trockenhaltung der Baugrube mit einer offenen Wasserhaltung erfolgen, hat sich bei vergleichbaren Randbedingungen folgende bautechnische Ausführung bewährt.

- Zu Baubeginn ist zunächst ein Pumpensumpf aus einem gelochten Betonring in einer Ecke des Baufeldes zu installieren. Der Pumpensumpf sollte ca. 1 m unter Aushubsohle in den Untergrund einbinden und unmittelbar nach dem Aufstellen in Betrieb genommen werden.
- Ausgehend vom Pumpensumpf ist anschließend die Baugrube bis auf eine Kote von 20 cm unter Gründungssohle auszukoffern.
- Auf der freigelegten Sohle ist Zug um Zug (Adeckverfahren) das Schotterpolster ohne Nullanteil (Körnung 2/45; 2/56) eingebaut, das gleichzeitig als Flächenfilter dient. Der bauzeitliche Flächenfilter stabilisiert die Aushubebene, wobei sich das Wasser im Flächenfilter sammeln und dem Pumpensumpf zufließen kann einzubauen.
- Bei einem erhöhten Wasserandrang müssen ggf. weitere Pumpensümpfe installiert werden. Zusätzlich kann es erforderlich werden, Drainagen in der Aushubsohle zu verlegen, die das Wasser den Pumpensümpfen zuleiten. Die Hilfsdrainagen sind nach Baufertigstellung zu verdämmen.
- Die Wasserhaltung mittels Flachbrunnenanlage sollte zur Sicherheit in der Ausschreibung berücksichtigt werden und im „Notfall“ unverzüglich zur Verfügung stehen, so dass man auf einen eventuellen Wasseranstieg unmittelbar reagieren und so längere Baustillstände, z.B. durch das Versagen freigeböschter Baugrubenwände, vermeiden kann.
- Die erforderliche Grundwasserabsenkung liegt noch innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs des Grundwassers. Nachteilige Auswirkungen auf die Nachbarbebauung sind daher nicht zu erwarten. Dennoch wird für die benachbarte Wohnbebauung eine Beweissicherung empfohlen.

#### Geschlossene Wasserhaltung

Eine geschlossene Wasserhaltung sollte als Flachbrunnenanlage (Wellpoint-Anlage) mit Filterlanzen, ggf. vakuumbeaufschlagt, konzipiert werden. Die Filterlanzen werden dabei außerhalb unmittelbar randlich der Baugrube in einem Abstand von 1,5 bis 2,5 m in den Untergrund eingebracht. Aufgrund der dichten Lagerung der Erftschotter können die Lanzen nicht eingespült werden, sie müssen in vorgebohrte Löcher eingestellt werden.

An diese Lanzen wird über eine Vakuumpumpe eine Saugspannung angelegt, die das Wasser aus dem Untergrund fördert und über eine Sammelleitung der Vorflut zuleitet. Die Wasserhaltung sollte mit einer Vorlaufzeit von 2 - 3 Tagen in Betrieb genommen werden, um die Böden sicher zu entwässern. Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Saugspannung auf den Boden verfestigend wirkt und somit, falls erforderlich, auch die überlagernden Lösslehme entwässert. Damit verbunden ist auch eine höhere Standfestigkeit von Böschungen, was sich positiv beim Anlegen von freigeböschten Baugruben auswirkt. Zudem besitzen die Brunnen nur geringe Trichterweiten, so dass eine Beeinträchtigung der angrenzenden Bauwerke minimiert wird. Die Dimensionierung der Anlage wird i.d.R. von der Fachfirma erstellt, die die Vakuumanlage installiert und betreibt.

#### Allgemeine Angaben zur Grundwasserhaltung

- Die Wasserhaltung muss so lange aufrechterhalten werden, bis eine ausreichende Auflast des Baukörpers vorhanden ist. Treten bauzeitlich hohe Grundwasserstände auf und es ist noch keine Auftriebssicherheit gegeben, ist der Baukörper zu fluten.
- Für das Pumpwasser muss eine dauerhafte, ausreichende Vorflut vorhanden sein.

- Bei dem vorliegenden Bauvorhaben kommen hierfür entweder der „Niederkastenholzer Fließ“ oder der öffentliche Kanal in Frage. Der Einleitung ist in jedem Fall ein Absetzbecken vorzuschalten, um Schwebstoffe zurückzuhalten.
- Eine Grundwasserabsenkung stellt einen Eingriff in den Grundwasserhaushalt dar und ist genehmigungspflichtig. Der wasserrechtliche Genehmigungsantrag ist bei der Unteren Wasserbehörde des Kreises Euskirchen einzureichen.

### 5.3.4 Anlegen der Baugruben

#### Freigeböschte Baugruben

Für das Anlegen von Baugrubenböschungen gelten die Empfehlungen der DIN 4124 Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten. Ein freies Böschchen der Baugruben setzt voraus, dass der Grundwasserspiegel während der Bauphase dauerhaft mindestens 0,5 m unter den Aushubsohlen/Arbeitssohlen gehalten wird. In trockenen Baugrube können die Böden mit folgendem Winkeln geböscht werden.

- Lößlehm, weich  $\leq 45^\circ$
- Lößlehm, steif, halbfest  $\leq 60^\circ$
- Erftschotter  $\leq 45^\circ$

Die freigeböschten Baugrubenwände sind mit Folien gegen Witterungseinflüsse zu schützen.

#### Kraftschlüssiger Verbau von Baugrubenwänden

Für den Fall, dass aus Platzgründen ein freies Abböschchen der Grubenwände nicht möglich ist, müssen diese kraftschlüssig verbaut werden. Für eine kraftschlüssige Sicherung der Baugrubenwände ist im vorliegenden Fall ein Trägerbohlwandverbau geeignet. Hierbei sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Bemessung und Ausführung des Verbaus sollte nach den Maßgaben der EAB (Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben, aktuelle Fassung) erfolgen.
- Von einer freien Rammpbarkeit des Untergrundes bis in die erforderliche Einbindetiefe der Träger kann aufgrund der im Untergrund anstehenden überwiegend dicht gelagerten Terrassenkiesen nicht ausgegangen werden. Die Träger müssen dann in vorgebohrte Löcher eingestellt werden.
- Beim Einbau der Bohlen zwischen den Trägern ist das Maß des Voraushubs an die Standfestigkeit der Böden anzupassen. Es ist unbedingt auf einen Kraftschluss mit dem Baugrund zu achten. Ausbrüche in den Baugrubenwänden sind dabei unverzüglich zu verdämmen.
- Die Bemessung des Baugrubenverbaus erfolgt in der Regel auf den aktiven Erddruck. Liegen im  $45^\circ$ -igen Erddruckkeil hinter der Verbauwand verformungsempfindliche Leitungen oder sonstige Kunstbauwerke, ist gegebenenfalls der erhöhte Erddruck  $(E_a + E_0)/2$  anzusetzen.
- Vor Beginn der Bohrarbeiten für die Erstellung des Verbaus muss die Kampfmittelfreiheit nachgewiesen werden.

## **5.4 Abdichtung erdberührter Bauteile gemäß DIN 18 533**

In der seit Juli 2017 gültigen Abdichtungsnorm DIN 18533 wird nicht mehr zwischen der Entstehungsart und Dauer der Wasserbeanspruchung unterschieden. Berücksichtigt wird nur noch die Höhe des Wasserdrucks, der auf die erdberührten Bauteile einwirkt, gleichgültig ob dieser durch Grund- und Schichtenwasser oder durch aufstauendes Sickerwasser ausgeübt wird. Die Beanspruchungen für erdberührte Bauteile werden dann in die Einwirkungsklassen unterteilt.

Nachfolgend werden die Einwirkungsklassen für die unterkellerte und die nicht unterkellerte Varianten angegeben.

### **5.4.1 Abdichtung bei nicht unterkellerten Gebäuden**

#### Abdichtung mit Drainage

Bemessung und Installation einer Drainage müssen auf Grundlage der DIN 4095 „Dränung zum Schutz baulicher Anlagen – Planung, Bemessung und Ausführung“ erfolgen. In jedem Fall muss eine dauerhaft rückstaufreie Ableitung der Drainwässer gewährleistet sein. Ob ggf. eine Einleitung der Drainwässer in den „Niederkastenholzer Fließ“ möglich ist, ist bauseits zu klären. Ansonsten erfüllt auf dem B-Plangelände nur der öffentliche Kanal die Anforderungen an eine rückstaufreie Vorflut. Eine Einleitung der Drainagewässer in den Kanal bedarf der Zustimmung der Behörde, wird in der Regel jedoch nicht genehmigt.

Für den Fall, dass eine Einleitung in eine der o.g. Vorfluten genehmigt wird, kann eine Drainage installiert werden. Nach DIN 18533 ist dann die Wassereinwirkungsklasse W1.2-E „Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden mit Dränung“ anzusetzen.

#### Abdichtung ohne Drainage

Ohne Drainage sind die erdberührten Bauteile aufgrund der schlecht durchlässigen Böden im Baugrund gemäß der Wassereinwirkungsklasse W2.1-E „mäßige Einwirkung von drückendem Wasser“ abzudichten.

### **5.4.2 Abdichtung bei unterkellerten Gebäuden**

Der Ertfverband prognostiziert für das B-Plangebiet einen flumachen Höchstwasserstand von ca. 1 m unter Bestandsgelände (= 161 mNN). Für die Kellergeschosse ist in jedem Fall mit einer Grundwasserbeeinflussung zu rechnen.

In der DIN 18533 ist als maßgebende Grenze zur Unterscheidung zwischen „mäßiger“ und „hoher“ Einwirkung von drückendem Wasser ein Wasserdruck von 3 m Wassersäule festgesetzt. Legt man den vom Ertfverband angegebenen möglichen Höchstwasserstand von 161 mNN zugrunde, tauchen die Kellergeschosse bei der angenommenen Gründungskote von 159 mNN ca. 2 m in den Grundwasserkörper ein.

Da die erdberührten Bauteile mit einem Wasserdruck von  $< 3$  m beansprucht werden, ist nach DIN 18533 die Abdichtung auf die Wassereinwirkungsklasse W2.1-E „mäßige Einwirkung von drückendem Wasser“ zu bemessen.

Die Abdichtung erfolgt dann in der Regel durch das Aufbringen einer kunststoffmodifizierten Dickbeschichtung (KMB). Diese Abdichtungsform wird häufig fehlerhaft ausgeführt. Zudem ist zu bedenken, dass das Grundwasser über längere, nicht kalkulierbare Zeiträume die Kellerwände und Bodenplatte als drückendes Wasser von außen beanspruchen kann. Daher wird gutachterlicherseits empfohlen, die Keller wasserdicht auf die Wassereinwirkungsklasse W2.2-E „hohe Einwirkung von drückendem Wasser“ zu bemessen.

Insbesondere für den Fall, dass die Keller aus statischen Gründen ohnehin in Betonbauweise erstellt wird, stellt die Ausführung als „Weiße Wanne“ gemäß der DAfStb-Richtlinie (WU-Richtlinie) kostenmäßig einen vergleichsweise geringen Mehraufwand dar. Sie bietet aber eine deutlich höhere Sicherheit vor zukünftigen Wasserschäden. Dabei ist darauf zu achten, dass neben der wasserdichten Ausführung von Durchdringungen auch Lichtschächte und Außentreppen wasserdicht angebunden werden.

Ob diese höherwertige wasserdichte und deshalb auch teurere Abdichtungsform umgesetzt wird, muss letztendlich der Bauherr entscheiden. Wird darauf verzichtet, sollte in jedem Fall die fachgerechte Bauausführung der oben beschriebenen Abdichtung mit KMB sorgfältig überwacht werden.

## 6. Kanal- und Leitungsbau

Die Ver- und Entsorgungsleitungen für das Neubaugebiet werden in den Trassen der Erschließungstrasse verlegt. Die genauen Verlegetiefen sind noch nicht bekannt. Es ist davon auszugehen, dass die Schmutzwässer der Wohnhäuser dem Abwasserkanal im Freigefälle zufließen sollen. Bei einer Unterkellerung mit geschätzten Einbindetiefen der Kellergeschosse von ca. 3 m ergibt sich eine erforderliche Mindestlauftiefe der Abwasserkanäle von ca. 3,5 m unter Bestandsgelände ( $\hat{=}$  ca. 158,5 mNN). Regenwasserkanäle – sofern erforderlich – werden dann üblicherweise niveaugleich im Graben, parallel zum Schmutzwasserkanal verlegt. Für den Einbau der Abwasserkanäle sind grundsätzlich die Vorgaben der DIN EN 1610 zu beachten.

Die sonstigen Sparten, Strom; Wasser, Telefon, Glasfaser, werden meist randlich der Kanaltrassen in frostsicheren Tiefen von ca. 1 m unter Gelände ( $\hat{=}$  ca. 161 mNN) in einem eigenen Graben verlegt.

Die oberflächennah anstehenden Lössböden sind extrem wasser- und stöempfindlich gegen mechanische Beanspruchung. Ein häufiges Überfahren mit den Baugeräten ist zu vermeiden. Ansonsten besteht die Gefahr der Konsistenzverschlechterung bis hin zur Plastifizierung des Bodens (Übergang von Bodenklasse 4 in Bodenklasse 2: fließende Bodenarten). Vor der Verlegung der Kanäle sollten daher Baustraßen angelegt werden.

Der zur Herstellung der Befahrbarkeit erforderliche Einbau einer Schottertragschicht sollte so dimensioniert werden, dass die Schottertragschicht der Baustraße nach der Kanalverlegung – nach einem Abziehen der oberen, durch den Baubetrieb verunreinigten Schichtbereiche - in den geplanten Straßenaufbau der Erschließungsstraße integriert werden kann. Angaben zum Herstellung der Erschließungsstraßen werden im Kapitel 8. gegeben.

Die Kanalsohle liegt ca. 50 cm unterhalb des am Untersuchungstag gemessenen Grundwasserspiegels. Der nach einer langen Trockenperiode gemessene Grundwasserstand repräsentiert eher Niedrigwasserverhältnisse, so dass bei normalen Witterungsbedingungen tendenziell mit höheren Wasserständen zu rechnen ist. Die Verlegung des Kanals muss daher mit hoher Wahrscheinlichkeit im Schutz einer Grundwasserhaltung erfolgen.

## 6.1 Sohlbefestigung

### Gründung der Kanäle innerhalb des Lößlehms.

Wird für die Wohngebäude im Plangebiet eine Unterkellerung ausgeschlossen, so ist von einer deutlich geringeren Einbindung der Kanäle zwischen 1,5 m und 2 m unter Gelände auszugehen. Die die Kanalsohlen liegen dann, zumindest bereichsweise, innerhalb der bindigen Lößlehme. Diese weisen in der angenommenen steifen Konsistenz keine ausreichende Tragfähigkeit für die zu erwartenden Lasten auf.

Da unter den Kanalsohlen jedoch allenfalls noch geringmächtige Restdicken des Lößlehms zu erwarten sind, wird empfohlen, diese bis zum Erreichen des Erftschotter komplett gegen genormte Brechkorngemische, Sand-Kies-Gemische der Körnungen 0/45 oder 0/56 auszutauschen, die verdichtet eingebaut werden. Für eine Vorkalkulation der erforderlichen Austauschmächtigkeiten können die im Anhang angegebenen Koten für die Schichtgrenze Lößlehm/Erftschotter verwendet werden.

### Gründung der Kanäle innerhalb des Erftschotter

Bei der anzunehmenden Verlegetiefe von ca. 3,5 m unter Geländeoberkante binden die Kanalsohlen voraussichtlich durchgehend in den Erftschotter ein. Dieser stellt, eine Grundwasserfreiheit durch eine fachgerechte Wasserhaltung vorausgesetzt, einen für die Gründung der Rohre und Schachtbauwerke ausreichend scherfesten und tragfähigen Baugrund dar. Zusätzliche Maßnahmen zur Sohlstabilisierung sind daher nicht erforderlich.

Die Bettungsschicht kann grundsätzlich direkt auf die nachverdichtete Sohle aufgebracht werden. Hierbei sollte aus baupraktischen Gründen der Bettungstyp 1 gemäß DIN EN 1610:2015-12 (Regelbettung) angewendet werden. Dabei darf die Dicke der unteren Bettungsschicht 15 cm nicht unterschreiten. Bei erhöhtem Wasserandrang ist es zur Verbesserung der Wasserhaltung ggf. angezeigt, unterhalb der Bettungsschicht einen Nullkorn-freien Flächenfilter einzubauen.

Es ist nicht gänzlich auszuschließen, dass aufgrund des bewegten Tertiärreliefs die Kanalsohle bereits bei der angenommenen Gründungskote in Teilabschnitten in die tertiären Tone einbindet. Diese sind in der in den oberen Horizontabschnitten meist nur steifen Konsistenz nicht ausreichend tragfähig. Im Falle einer Einbindung in den Tonhorizont ist daher der Einbau einer Schottertragschicht (0/45 oder 2-45 als Flächenfilter) zur Sohlstabilisierung einzubauen.

Die erforderliche Mächtigkeit der Schottertragschicht wird mit 30-40 cm vorkalkuliert, kann bei starker Durchfeuchtung, auch höher ausfallen. Die genaue erforderliche Dicke kann erst im Zuge der Bauarbeiten festgelegt werden.

#### Gründung der Versorgungssparten

Die Leitungen binden bei den angenommenen Verlegetiefen einheitlich in die Lößlehme ein. Diese sind, in der angenommenen steifen Konsistenz, als mäßig tragfähig einzustufen.

Für die Wasserleitungen und die übrigen Sparten stellen die steifplastischen Lehme einen ausreichend tragfähigen Baugrund dar. Eine Stabilisierung der Sohle ist dann nicht erforderlich. Insbesondere die Wasser- und Gasleitungen müssen dabei über die gesamte Länge vollflächig aufliegen. Punkt- oder Linienlagerungen sind in jedem Fall zu vermeiden.

In den bindigen Böden ist ein maßhaltiges ebenes Schichten der Sohle voraussichtlich leicht möglich, so dass die Forderung nach einer „satten“ Auflage der Leitung leicht erfüllt werden kann. Stehen auf Höhe der planmäßigen Grabensohle stark durchfeuchtete Lößlehme in weicher oder breiiger Konsistenz an, so wird auch hier trotz der vernachlässigbaren Lasten der Einbau eines geringmächtigen Schotterpolsters (0/45) empfohlen. Die genaue Austauschmächtigkeit ist im Zuge der Baumaßnahme festzulegen.

## **6.2 Grabenverbau**

Nach der DIN 4124 sind alle lotrecht geschachteten Gräben ab einer Tiefe von 1,25 m mit einem Verbau zu sichern. Nur in bindigen Böden mit mindestens steifer Konsistenz können Gräben bis 1,75 m senkrecht hergestellt werden, wenn der Boden oberhalb 1,25 m mit abgeboßchter Kante (45°) oder mit Saumbohlen gesichert wird.

#### Versorgungssparten

Die Gräben für die Versorgungssparten liegen bei der angenommenen Verlegetiefe von ca. 1 m komplett innerhalb der Lößlehme. Diese sind über die Grabenhöhe zumindest vorübergehend senkrecht standsicher. Die Versorgungssparten Wasser, Strom, Telefon, Glasfaser, etc. können somit in offenen, nicht verbauten Gräben verlegt werden.

#### Kanäle

Aufgrund des Platzangebotes auf dem B-Plangelände ist ein freies Abböschchen der Kanalgräben zwar grundsätzlich möglich, doch ergeben sich bei den angenommenen Einbindetiefen von ca. 3,5 m bei einer normgerechten Böschungsneigung große Aushubmengen aus bindigen, nicht verdichtbaren Lößlehmen, die entweder entsorgt oder für einen Wiedereinbau konditioniert werden müssen. Eine Verlegung der Kanäle in einem unverbauten Graben ist daher voraussichtlich nicht wirtschaftlich.

Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass Kanalgräben kraftschlüssig verbaut werden. Bei der Erstellung und dem Verbau der Kanalgräben sind in Vorgaben der DIN 4124-12 zu beachten.

Die oberen, von Lößlehmen aufgebauten Grabenbereiche sind kurzfristig zwar senkrecht standsicher - ab Tiefen zwischen 1,2 m und 2,0 m unter Gelände stehen dann aber bis zur angenommenen Sohle von 3,5 m die teilweise nachbrüchigen Erftschotter über große Wandhöhen in den Gräben an. Eine Sicherung der Grabenwände mit üblichen Leicht-Verbauten/Einstellboxen, die in vorgeschachtete Gräben eingestellt werden und gegen die Grabenwände gespindelt werden, ist hier vermutlich nicht mehr ausführungssicher umsetzbar.

Hier sollten für den kraftschlüssigen Verbau der Gräben rahmengesützte Verbaugeräte (Kammerplatten/Linierverbauten) zur Anwendung kommen, die im Absenkverfahren in den Untergrund eingebracht werden. Dabei sollten möglichst Verbausysteme genutzt werden, die ggf. bei erhöhtem Wasserandrang den Einbau von im Schloss geschlagenen Spunddielen ermöglichen, um den Wasserzutritte in die Kanalgräben zu minimieren.

Eine hohe Bedeutung kommt einer sorgfältigen Bauausführung zu. Beim Setzen des Verbaus, beim Verfüllen der Baugrube und beim Ziehen der Verbauplatten bzw. der Dielen sind folgende Punkte zu beachten:

- Beim Setzen der Verbauplatten/Dielen muss immer ein Kraftschluss mit dem Baugrund existieren. Hierfür müssen die Schneiden der Verbaueinheit dem Aushub voraneilen. Die Verbauplatten/Dielen sind daher Absenkverfahren in den Untergrund einzubringen. Das heißt, dass, die Schneidplatten/Kanaldielen mit dem Bagger in den Untergrund gedrückt werden und erst dann der Bodenaushub zwischen den Platten erfolgt.
- Innerhalb der Erftschotter ist das Auftreten von eingelagerten Gesteinen in Blockgröße nicht auszuschließen. Diese stellen dann ein Hindernis beim der Absenkung dar und müssen u.U. händisch aus dem Platten-/Dielenlauf entfernt werden.
- Bei der Absenkung auftretende Hohlräume zwischen Verbau und Grabenwand sind unverzüglich zu verdämmen.
- Das Ziehen der Verbauelemente hat in nicht zu großen Schritten (ca. 0,5 m) zu erfolgen, um die dabei auftretenden und unvermeidbaren Auflockerungen durch eine Nachverdichtung beseitigen zu können. Die Nachverdichtung hat dabei vor dem Einbringen neuer Verfüllböden zu erfolgen. Die Böden sind dabei in Lagen von maximal 40 cm mit angepasstem Verdichtungsgerät einzubauen.

### 6.3 Wasserhaltung

Wie beschrieben, muss die Verlegung der Kanäle bei der angenommenen Verlegetiefe voraussichtlich im Schutz einer Grundwasserabsenkung erfolgen. Es gilt die Vorgabe, dass das Grundwasser bis auf eine Kote von 50 cm unter Grabensohle abgesenkt werden muss. Aufgrund des vermutlich nur mäßig durchlässigen Aquifers (Erftschotter) und der Reduzierung des seitlichen Zuflusses durch den Verbau ist voraussichtlich nur ein mäßiger Wasserandrang in den Kanalgräben zu erwarten.

Es wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen Absenkziele bei Niedrig- und Normalwasserständen mit einer „kostengünstigen“ offenen Wasserhaltung über gut ausgefilterte Pumpensümpfe innerhalb des Kanalgrabens erreicht werden kann.

Innerhalb eines schmalen verbauten Kanalgrabens sind mit einer offenen Wasserhaltung erfahrungsgemäß etwas höhere Absenkungsziele erreichbar als in den nicht verbauten flächigen Kellergruben der Wohnbebauung. Ein genaues Maß für die maximal mögliche Absenkung kann hier nicht angegeben werden, da immer mit gewissen Schwankungen der Durchlässigkeiten des Aquifers und damit des Wasserandrangs zu rechnen ist.

Im Sinne einer kostengünstigen Bauausführung dürfte eine Absenkung mittels einer offenen Wasserhaltung angestrebt werden. Auf das Ausführungsrisiko dieser Variante wurde bereits hingewiesen.

Für die Grundwasserabsenkung sollten die Pumpensümpfe dem Aushub vorausseilend betrieben werden. Sie sollten ca. 1 m unterhalb der Kanalsole in den Erftschotter einbinden. Die Anzahl der Pumpensümpfe ist dem Wasserandrang anzupassen. An den Grabenrändern ist ggf. eine Drainleitung (vliesummantelte geschlitzte Drainstränge) in den Aushubsohlen mitzuführen, die das Wasser den Pumpensümpfen zuführt. Die Hilfsdrainagen sind nach Bauende zu verdämmen. Bei erhöhtem Wasserandrang ist zur Optimierung der offenen Wasserhaltung in der Grabensohle ein nullkornfreies Schottermaterial (z.B. Körnung 5/45) flächig auf voller Grabenbreite einzubauen, welches dann als Flächenfilter für die Wasserhaltung fungiert. Die Einbaulage sollte mindestens 30 cm dick sein. Der Flächenfilter muss mit einem Geovlies (GRK 4) abgedeckt werden, um eine Entmischung der anschließend einzubauenden Rohrbettung zu verhindern.

Als Maßnahme zur Reduzierung des Wasserandrangs kann zusätzlich überlegt werden, den Verbau mit im Schloss geschlagenen Spunddielen auszuführen. Eine geschlossene Wasserhaltung mittels Flachbrunnenanlage sollte auch hier zur Sicherheit als Eventualposition in der Ausschreibung berücksichtigt werden.

#### **6.4 Wiederverfüllung der Kanal- und Leitungsgräben**

##### Leitungszone

In der Leitungszone (bis 30 cm über Rohrscheitel) sind generell nur grobkörnige (rollige) Böden zu verwenden. Bei der Wahl der Körnung sind der Verfüllmaterialien ist für die Kanalgräben die DIN EN 1610, für die Wasserleitungen die DIN EN 805 zu berücksichtigen, wenn nicht von der Norm abweichende Herstellerangaben der Rohre und Leitungen vorliegen. Neben den Rohren muss ausreichend Raum für den Einsatz eines Verdichtungsgerätes vorhanden sein, damit Zwickel seitlich unter dem Rohr ausreichend verfüllt und verdichtet werden können. Die Verdichtung darf nur in Lagen  $\leq 20$  cm mit leichten Baugerät erfolgen, damit die Rohre und Leitungen keine Lageänderung/Beschädigung erfahren.

##### Hauptverfüllung/Verfüllzone

In der Verfüllzone sind in der Regel nicht bindige Böden der Verdichtbarkeitsklasse V1 einzubauen. Die auszukoffernden Erftschotter erfüllen diese Vorgaben und sind aus bodenmechanischer Sicht für den Wiedereinbau in der Verfüllzone des Kanalgrabens geeignet. Bei Durchnässung müssen sie vor dem Wiedereinbau seitlich gelagert „ausbluten“ und sind dann im erdfeuchten Zustand einzubauen.

Die Lößlehme, die ebenfalls als Bodenaushub bei der Verlegung der Kanäle anfallen, sind in der zu erwartenden steifplastischen Konsistenz nicht für einen Wiedereinbau geeignet.

Erfahrungsgemäß liegt der Wassergehalt im Erdaushub der Lößböden nach dem Auskoffern und dem bauzeitlichen Lagern meist auf der „feuchten Seite“ des optimalen Wassergehaltes. Ohne Konditionierung ist der Boden dann für einen Wiedereinbau in der Verfüllzone des Kanals nicht geeignet.

Grundsätzlich ist eine Konditionierung und ein Wiedereinbau realisierbar. Dies setzt aber ein sehr sorgfältiges Arbeiten der Tiefbaufirma voraus. Folgende Punkte sind hierbei zu beachten:

- Zunächst ist die Rezeptur und Menge des Bindemittels festzulegen (s. unter Straßenbau)
- Nach dem Aushub sind die Böden aufzumieten. Die Bodenmieten sind glatt abzuwalzen und ggf. durch Folien vor Witterungseinflüssen zu schützen.
- Vor dem Einbau ist das Bindemittel gemäß festgelegter Rezeptur mit einem geeigneten Baugerät (Fräslöffel) in den Boden einzubringen.
- Anschließend ist der Boden lagenweise in Schütthöhen < 25 cm mit angepasstem Verdichtungsgerät einzubauen.
- Um lange Lagerzeiten des ausgekofferten Bodens zu vermeiden, sollten die Kanalgräben möglichst zeitnah wiederverfüllt werden.
- Der Verdichtungserfolg sollte regelmäßig und nicht erst nach Fertigstellung der Gesamtbaumaßnahme mittels Lastplattendruckversuchen oder Rammsondierungen (Künzelungen) kontrolliert werden, um ggf. die Rezeptur anpassen zu können.

Ob eine Konditionierung des Lößlehms eine wirtschaftlich bei der Baumaßnahme eine wirtschaftliche Variante darstellt, ist bauseits zu klären.

#### Angelieferte Verfüllböden

Selbst bei einer sorgfältigen Bauausführung ist es nicht auszuschließen, dass nach längeren Regenperioden oder nach Starkregenereignissen ein Einbau trotz Konditionierung nicht mehr möglich ist. Um längere Baustillstände zu vermeiden, sollte für diesen Fall auch die Anlieferung und der Einbau von Verfüllböden mit ausgeschrieben werden. Als Einbaumaterial eignen sich kornabgestufte Mineralgemische, gütegeprüfte RC-Baustoffe oder Sand-Kiese (z.B. 0/45, 0/56).

## **7. Straßenbau**

Die Erschließungsstraße im B-Plangebiet soll nach Aussage des Planungsbüros ungefähr niveaugleich zum jetzigen Gelände angelegt und voraussichtlich asphaltiert werden.

### **7.1 Frostsichere Oberbaudicke**

Gutachterlicherseits wird die Erschließungsstraße des B-Plangebietes gem. Tabelle 2 RStO 12 als „Wohnstraße“ in die Belastungsklasse Bk1,0 eingestuft. Diese Einstufung ist von den Fachplanern zu überprüfen. Bei den örtlichen Verhältnissen – F3 Boden, Frosteinwirkungszone 1, Grundwasser zeitweise höher als 1,5 m u. Planum – beträgt die erforderliche Dicke des frostsicheren Straßenoberbaus gemäß RStO 65 cm. Weitere Mehr- oder Minderdicken gemäß Tabelle 7 RStO sind durch den Fachplaner festzulegen.

Für Asphaltdecken der Belastungsklasse Bk1,0 schreibt die RStO für die Bauweise „Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht“ eine Asphaltstärke von 18 cm (4 cm Asphaltdecke, 14 cm Asphalttragschicht) vor. Daraus ergibt sich eine erforderliche Einbaustärke der Frostschuttschicht von 47 cm. Auf der Oberkante der Frostschuttschicht ist ein Verformungsmodul von  $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  nachzuweisen.

## 7.2 Tragfähigkeit des Erdplanums

Für das Erdplanum wird in der RStO generell ein Verformungsmodul  $E_{v2} > 45 \text{ MN/m}^2$  vorausgesetzt. Dieser Wert wird in den am Untersuchungstag meist halbfesten Lößlehmen auf Planumshöhe voraussichtlich erreicht. Wie mehrfach erwähnt, sind die hohen Konsistenzen auf die langandauernde Trockenperiode zurückzuführen und somit als nicht repräsentativ einzustufen. Bei „normalen“ Witterungsbedingungen ist mit einer höchstens steifplastischen Konsistenz für die Lößlehme zu rechnen. Erfahrungsgemäß lassen sich hier Verformungsmodul  $E_{v2}$ -Werte zwischen  $10 \text{ MN/m}^2$  und  $20 \text{ MN/m}^2$  nachweisen.

Um die ausreichende Tragfähigkeit des Erdplanums zu herzustellen sind daher zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Hierfür ist entweder eine Verstärkung des Oberbaus oder eine Bodenverbesserung mit geeigneten Bindemitteln durchzuführen.

### Verstärkung des Oberbaus

Die erforderliche Mindeststärke des zusätzlichen Bodenaustauschs wird mit ca. 30 - 40 cm vorgeschätzt, wobei sich aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen auch höhere Austauschmächtigkeiten ergeben können.

Die genaue Dimensionierung der Oberbaustärken kann erst während bzw. kurz vor Bauausführung durch Lastplattendruckversuche festgelegt werden, die auf Versuchsfeldern durchgeführt werden. So werden auch die während der Bauzeit herrschenden Witterungsbedingungen und die vorgesehenen Baustoffe bei der Dimensionierung des Oberbaus berücksichtigt. Auch hier sollte, der Einbau einer Grobschlaglage zur Sohlstabilisierung in der Ausschreibung als Eventualposition berücksichtigt werden.

Die erforderliche Oberbaumächtigkeit lässt sich durch den Einbau eines Geogitters mit der Funktion „Trennen und Bewehren“ erfahrungsgemäß um 20 - 30 % reduzieren. Genaue Angaben zur Dimensionierung des Oberbaus mit eingelegtem Geogitter sind herstellenseits zu erfragen (z.B. Naue, Tensar, etc.). Erst dann kann die Wirtschaftlichkeit dieser Bauform abschließend beurteilt werden. In jedem Fall sollte der durch den Hersteller vorgeschlagene Aufbau auf einem Probefeld nachgebaut werden, um die ausreichende Tragfähigkeit des Oberbaus mit einem statischen Lastplattendruckversuch nachzuweisen.

### Bodenverbesserung mit Bindemitteln

Bei der vorliegenden Größe des Erschließungsprojektes stellt die Bodenverbesserung mit Bindemitteln unter Umständen eine wirtschaftliche Variante zur Herstellung eines tragfähigen Erdplanums dar. Grundsätzlich sind die auf Planumshöhe anstehenden Lößböden für eine Bodenverbesserung mit Mischbindemitteln (z.B. Mischbinder Dorosol 50 oder vergleichbare Produkte anderer Hersteller) geeignet. Erfahrungsgemäß ist bei dem genannten Produkt ein Zuschlag von 3-5 Gewichtsprozent erforderlich.

Die Zuschlagsstoffe können mit dem Mixed-In Place-Verfahren in den Untergrund eingefräst werden. Die erforderlichen Einfrästiefen liegen in der Regel zwischen 30 cm und 40 cm. Bereits nach 3 – 5 Tagen lassen sich erfahrungsgemäß Verformungsmodule zwischen  $E_{v2} = 45$  und  $60 \text{ MN/m}^2$  auf dem verbesserten Erdplanum nachweisen.

Die geeignete Rezeptur und Zuschlagsmenge des Bindemittels wird unter Berücksichtigung der „Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau (TP BF-StB) Teil B 11.1 Eignungsprüfungen für Bodenverfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln“ meistens von den Herstellern erstellt. Hierfür werden Bodenkenngrößen, wie Korngrößenverteilung, Wassergehalt etc. der zu verbessernden Böden benötigt, die in einem Labor bestimmt werden.

Als alternative, praktikable Methode zur Bestimmung der geeigneten Zuschlagsmenge hat sich das Anlegen von Prüffeldern mit verschiedenen Zuschlagsmengen bewährt. Auf den Prüffeldern wird die erreichte Tragfähigkeit mit Lastplattendruckversuchen überprüft und so die Zuschlagsmenge festgelegt. Generell sollte die Bodenverbesserung durch das Einfräsen von Kalk- und oder Zementzuschlägen durch eine in dieser Bautechnik erfahrene Firma durchgeführt werden

## **8. Versickerung von Niederschlagsabflüssen der Dach- und Verkehrsflächen**

### **8.1 Allgemeines, Bewertungsgrundlagen**

Im B-Plangebiet sollen die Niederschlagsabflüsse der Dach- und Verkehrsflächen nach Möglichkeit über dezentrale Versickerungsanlagen, Mulden und/oder Rigolen, auf den Wohngrundstücken bzw. randlich der Straße versickert werden.

Für den Bau und die Bemessung von Versickerungsanlagen für nicht schädlich verunreinigte Niederschlagswässer sind die Hinweise des Arbeitsblatts DWA-A 138 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) zu beachten. Bei der Beurteilung, ob eine Versickerung möglich ist, müssen u.a. folgende Randbedingungen bekannt sein:

- Durchlässigkeit der versickerungsfähigen Schicht
- Flurabstand der Grundwasseroberfläche (= Mächtigkeit des Sickerraumes unterhalb der Versickerungsanlage)
- Verbreitung, Mächtigkeit und Leistungsfähigkeit der versickerungsfähigen Schicht

In dem Arbeitsblatt wird für dezentrale Versickerungsanlagen ein Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) des Untergrundes zwischen  $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  und  $5,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  gefordert. Der Abstand zwischen Anlagesohle und dem mittleren höchsten Grundwasserstand sollte mindestens 1 m betragen, um eine ausreichende Reinigung der Wässer bei der Passage durch den Sickerraum zu gewährleisten. Des Weiteren muss die flächenhafte Verbreitung und ausreichende Mächtigkeit der versickerungsfähigen Schicht gewährleistet sein.

### **8.2 Hydraulische Leitfähigkeit – Versickerungsfähigkeit des Untergrundes**

Die tertiären Tone weisen erfahrungsgemäß eine sehr geringe Durchlässigkeit auf. Sie fungieren als Wasserstauer, es sind Leitfähigkeiten von  $K_f \leq 10^{-8} \text{ m/s}$  zu erwarten.

Für die Lößlehme sind erfahrungsgemäß ebenfalls nur geringe Durchlässigkeiten in einer Größenordnung von  $K_f \leq 5 \times 10^{-7}$  m/s zu erwarten. Sie eignen sich damit ebenfalls nicht für eine Einleitung der Niederschlagsabflüsse. Auf die Durchführung von Versickerungsversuchen innerhalb der Lößlehme und Tone wurde daher verzichtet.

Eine, für eine normgerechte dezentrale Versickerung von Niederschlagswässern ausreichende Versickerungsfähigkeit mit Durchlässigkeiten zwischen  $1 \times 10^{-6}$  m/s und  $1 \times 10^{-3}$  m/s (gemäß DWA-A 138) ist auf dem Untersuchungs Gelände nur innerhalb des Erftschotter-Horizontes zu erwarten. Die Versickerungsversuche wurden daher innerhalb des wassererfüllten Erftschotters durchgeführt.

Dabei wurden die Auffüllversuche (Open-End-Test) teilweise in den wassererfüllten Erftschottern durchgeführt. Um auch die Durchlässigkeiten des nicht wassererfüllten Erftschotters zu erhalten, wurden neben den Bohrungen KRB 1 und KRB 14 noch flache Bohrungen mit Endteufen oberhalb des GW-Spiegels niedergebracht, in denen die Versickerungsversuche vorgenommen wurden.

In der nachfolgenden Tabelle 8 sind die ermittelten Durchlässigkeiten des Erftschotters enthalten.

**Tabelle 9:** Hydraulische Leitfähigkeitsbestimmung

Sondierung	Bodenschicht	$K_f$ -Wert [m/s]
KRB 1	Erftschotter	$5,0 \times 10^{-5}$
KRB 1 flach		$2,8 \times 10^{-5}$
KRB 3		$4,3 \times 10^{-5}$
KRB 5		$3,6 \times 10^{-5}$
KRB 7		$4,4 \times 10^{-5}$
KRB 13		$5,5 \times 10^{-5}$
KRB 14 flach		$1,7 \times 10^{-5}$

### 8.3 Flurabstände des Grundwassers

Wie bereits beschrieben, wurde im Untersuchungsgebiet in allen Bohrungen freies Grundwasser angetroffen, abgesehen von zwei Bohrungen („Ausreißern“) im nordöstlichen Plangebiet. Der mittlere, am 22.07.2022 gemessene Wasserspiegel liegt bei ca. 159 mNN, was einem Abstand von ca. 3 m unter Flur entspricht. Aufgrund der langen Trockenperiode ist der Grundwasserstand der Stichtagsmessung eher als „Niedrigwasser“ zu interpretieren.

Laut Angaben des Erftverbandes sind auf dem Untersuchungsgrundstück Grundwasserhöchststände HGW zwischen ca. 160 mNN und 161 mNN zu erwarten.

Auf dieser Grundlage wird ein mittlerer Höchster Grundwasserstand von mHGW  $\approx$  160,5 mNN auf dem Untersuchungsgrundstück abgeschätzt. Bei einer mittleren Geländehöhe von ca. 162 mNN beträgt der Flurabstand zum mittleren höchsten Grundwasserstand (mHGW) ca. 1,5 m.

#### 8.4 Verbreitung, Mächtigkeit und Leistungsfähigkeit des Aquifers

Als potenzielle versickerungsfähige Schicht kommt im B-Plangebiet nur der Erftschotter in Betracht. Dieser wurde in allen Bohrungen angetroffen, so dass von einer flächigen Verbreitung des Erftschotters ausgegangen wird. Die Mächtigkeit des Erftschotters schwankt zwischen ca. 2 m und 4 m. Er wird nach unten durch die Tertiären Tone abgedichtet. Hierdurch kommt es nach Regenfällen zu einer Auffüllung des Erftschotters und zu der Ausbildung eines oberflächennahen ersten Grundwasserstockwerks.

Legt man den vom Erftverband prognostizierten Höchstwasserstände von HGW  $\approx$  161 mNN zugrunde, so ist nach längeren Regen-/Tauperioden eine komplette Sättigung des Aquifers zu erwarten. Aufgrund der überlagernden, zum Hangenden abdichtenden Lößlehme ist in diesen Fällen u. U. mit gespannten Grundwasserverhältnissen zu rechnen.

Ob ggf. im nordöstlichen Plangebiet das oberste Grundwasserstockwerk über eine größere Fläche nicht ausgebildet ist, kann erst nach den empfohlenen zusätzlichen Untersuchungen abschließend beurteilt werden. Bis dahin wird bei den nachfolgenden Beurteilungen von einem flächigen, zusammenhängenden Grundwasserspiegel ausgegangen.

#### 8.5 Bewertung der Möglichkeit zur dezentralen Versickerung

Zwar liegen die für den flächig, in ausreichender Mächtigkeit vorhandenen Erftschotter ermittelten Durchlässigkeiten innerhalb des vom Regelwerk DWA-A 138 geforderten Intervalls und die Flurabstände von 1,5 m zum mHGW würden die Errichtung von sehr flachen Mulden zulassen, dennoch werden gutachterlicherseits die Bedingungen für eine dezentrale Versickerung auf dem Plangelände als ungünstig eingestuft.

Grund für die negative Beurteilung liegt in der zu erwartenden eingeschränkten Leistungsfähigkeit des Aquifers bei Hochwasserständen. Seine maximale Aufnahmekapazität weist der Erftschotter nur in Zeiten mit Niedrigwasser auf. Bei Wasserständen im oberen Bereich der natürlichen Grundwasseramplitude ist, wie beschrieben, mit einer kompletten Auffüllung des Aquifers und mit ggf. gespannten Grundwasserverhältnissen zu rechnen. In diesen Fällen kann es zu einem Aufstieg/Rückstau des Wassers in die Versickerungsanlagen kommen, aus der dann eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit bzw. ein Versagen der Anlagen mit einem häufigen Überlaufen resultiert.

Aus gutachterlicher Sicht sind die Voraussetzungen für eine richtlinienkonforme dezentralen Versickerung von Niederschlagswässern im B-Plangebiet nicht gegeben. Nach aktuellem Kenntnisstand ist aus den vorgenannten Gründen von einer dezentralen Versickerung der Niederschlagsabflüsse abzuraten.

Es wird empfohlen, die bereits vorliegende Planung einer Einleitung der Niederschlagswässer in den südwestlich angrenzenden Niederkastenholzer Fließ, ggf. nach einer Zwischenspeicherung/Drosselung in einem Stauraumkanal, weiterzuverfolgen und die Genehmigungsfähigkeit zu überprüfen.

Sollten die Ergebnisse der empfohlenen verdichtenden Nachuntersuchungen im nordöstlichen Bereich des B-Plangebietes deutlich abweichende hydrogeologische Untergrundbedingungen ergeben, die auch bei Hochwasser auf einen aufnahmefähigen Aquifer schließen lassen, könnte dort u. U. auf einzelnen Grundstück eine dezentrale Versickerung befürwortet werden.

## 9. Schlussbemerkung

Zum Zeitpunkt der Berichtslegungen befand sich das Erschließungsprojekt noch in der Vorentwurfsphase. Die im Gutachten gemachten Angaben sind daher allgemein gehalten und müssen bei Vorliegen konkreter Planungen angepasst werden. Es wird empfohlen, bauvorhabenbezogene Baugrunduntersuchungen durchzuführen.

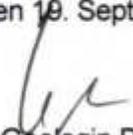
Für die erforderlichen Erdarbeiten zur Erschließung des Gebietes sowie für die Gründung der geplanten Wohnhäuser empfiehlt sich in jedem Fall eine bodengutachterliche Begleitung. Sollte während der Tiefbauarbeiten eine andere als die in dem vorliegenden Gutachten aufgeführte Untergrundsituation angetroffen werden, sind die Gutachter unverzüglich zu benachrichtigen, um weitere Empfehlungen einzuholen.

Durch den Baubetrieb verursachte Aufweichungen oder Auflockerungen der Gründungssohlen sind durch Verdichtung der Böden oder durch andere im Gutachten beschriebenen Verfahren rückgängig zu machen. Bei Unklarheiten ist ein Bodengutachter unverzüglich zu konsultieren. Die firmenseitige Beobachtung und Beachtung aller Baugrund- und Grundwasserverhältnisse ist zum Vertragsbestandteil mit der beauftragten Bauunternehmung zu machen.

Das Gutachten ist nur in seiner Gesamtheit einschließlich der dazugehörigen Anlagen verbindlich. Es nimmt Bezug auf die Untersuchungsergebnisse, die verwendeten Unterlagen und den Kenntnisstand der Gutachter vom 19.09.2022.

Es wird darauf hingewiesen, dass mit den Bohrungen und Probennahmen nur die jeweilige Bodenbeschaffenheit an diesen Stellen erfasst wird. Der Aufbau des Untergrundes zwischen den Bohrpunkten wurde interpoliert. Dies muss nicht mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmen. Abweichende Boden- und/oder Schadstoffverhältnisse zwischen den Sondierungen können nicht ausgeschlossen werden.

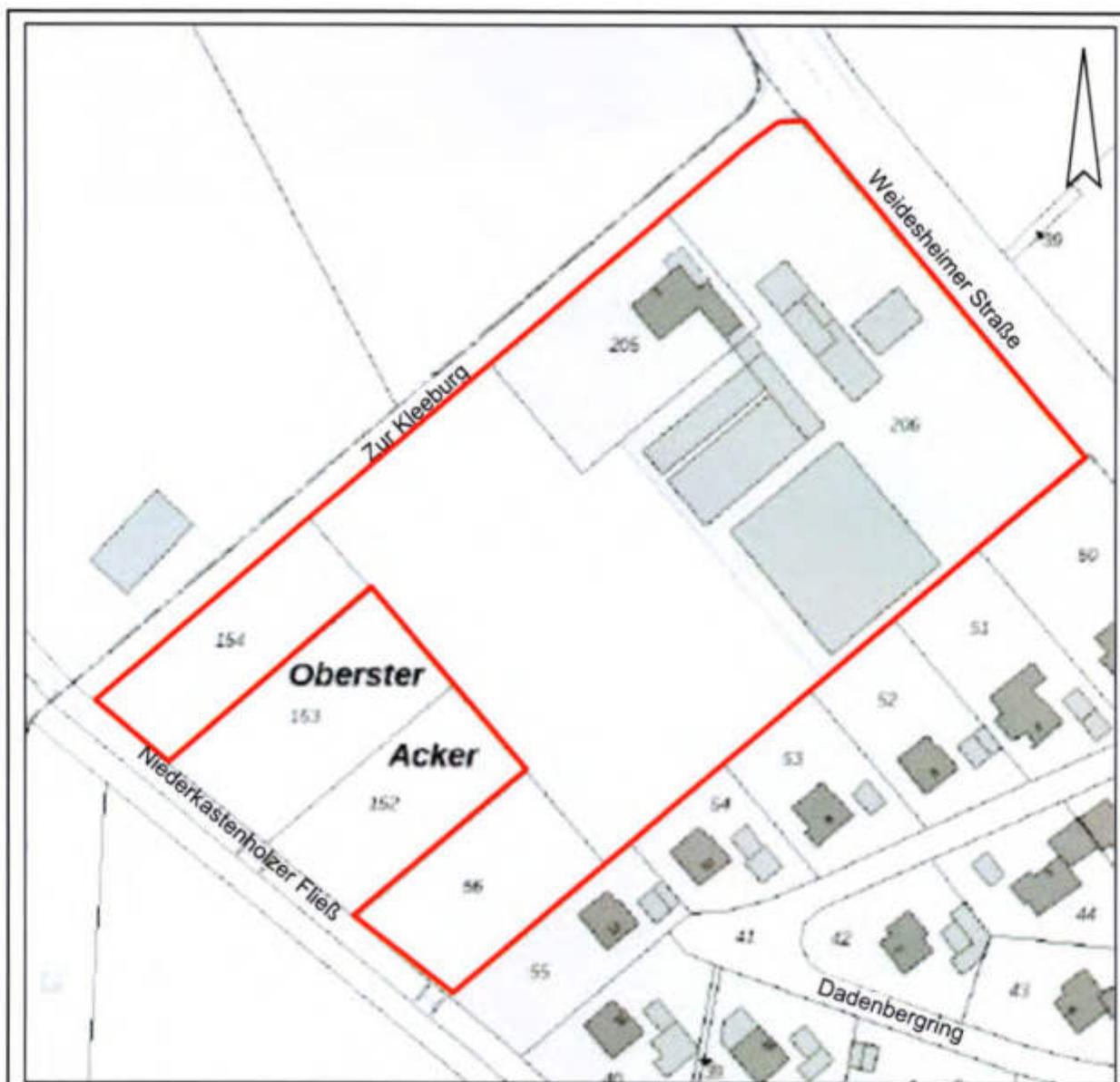
Köln, den 19. September 2022

  
Diplom Geologin Beate Wittler VDI

  
Diplom Geologe Sven Peters

**Anlage 1:**

Übersichtsplan  
Maßstab 1 : 1.500



**BODENUNTERSUCHUNG BEBAUUNGSPLANGEBIET „ZUR KLEEBURG“, EUSKIRCHEN-WEIDESHEIM**

Auftraggeber  
BS Entwicklungs- und Wohnbau GmbH  
Niederkastenholzer Straße 40, 53881 Euskirchen

Auftragnehmer  
Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt  
Hauptstraße 14, 50859 Köln

Zeichnung  
Übersichtsplan B-Plan Gebiet

Maßstab 1 : 1.500

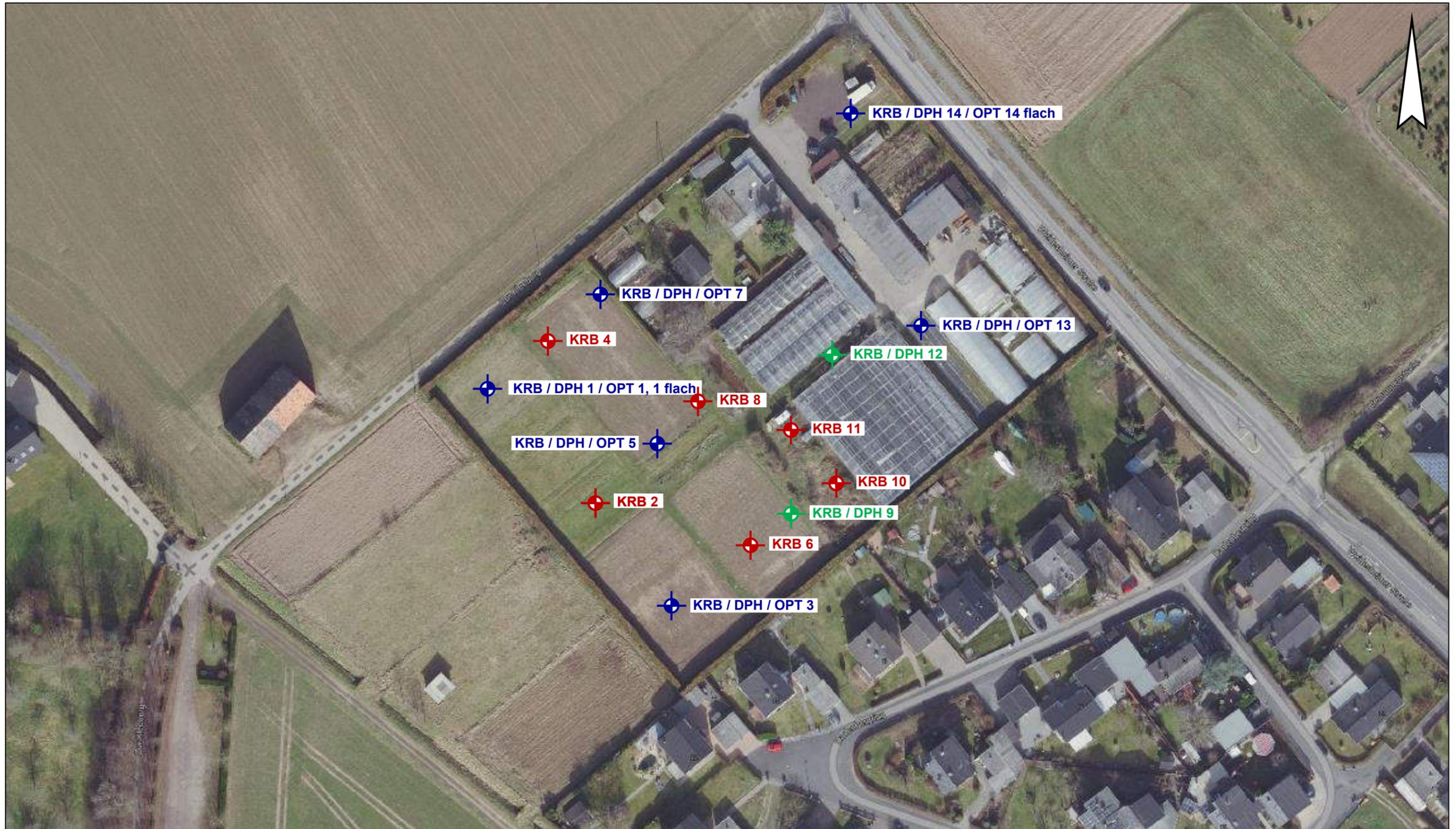
Datum 15.09.2022

gez. Kr

Projekt 221671

**Anlage 2:**

Luftbild mit Bohransatzpunkten und Sickerversuchen  
Maßstab ca. 1 : 1.000



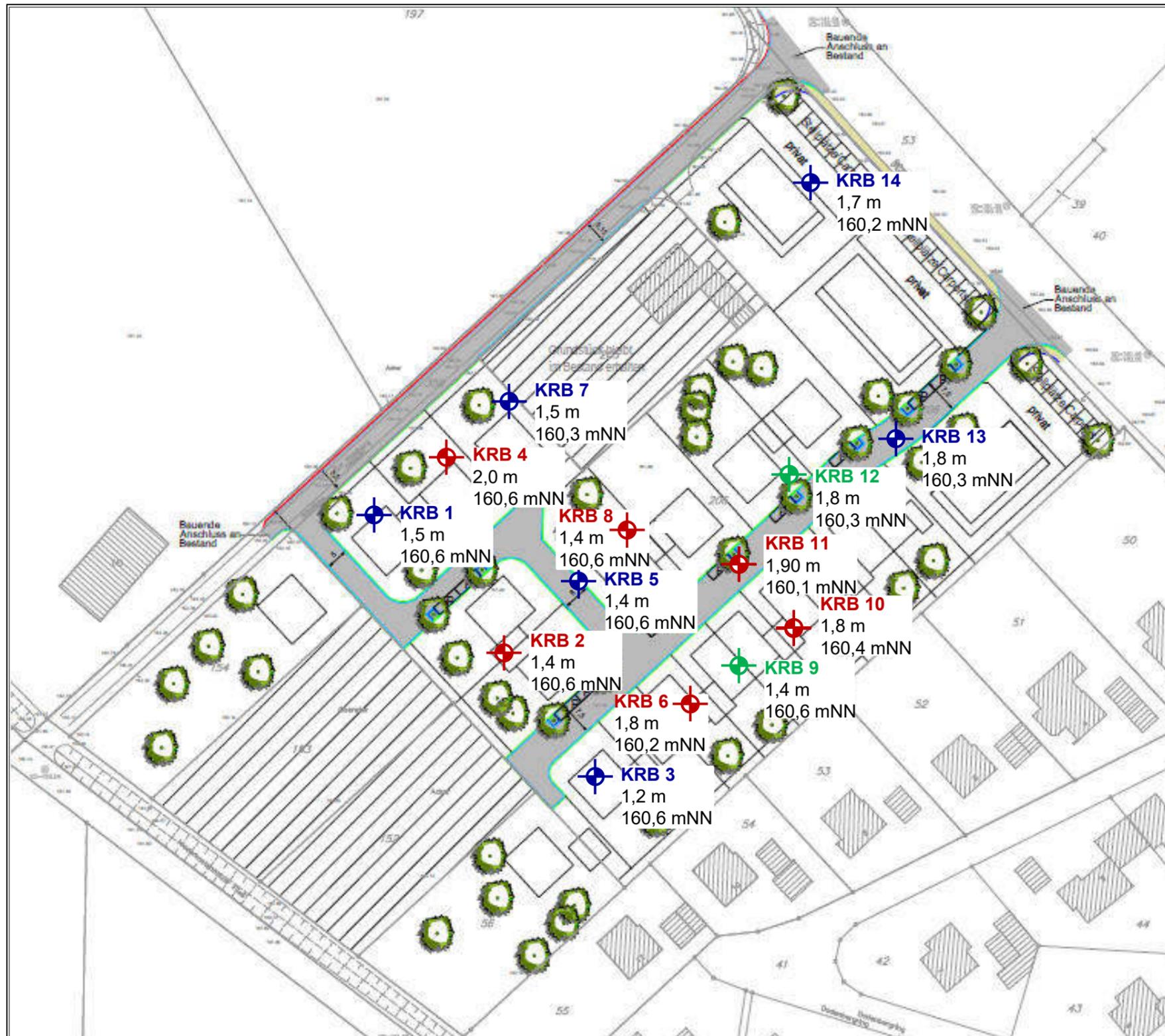
Luftbild entnommen aus tim-online.nrw 13.07.2022

- ⊕ **KRB / DPH / OPT** Kleinrammbohrung, Schwere Rammsondierung, Versickerungsversuch
- ⊕ **KRB / DPH** Kleinrammbohrung, Schwere Rammsondierung
- ⊕ **KRB** Kleinrammbohrung

BODENUNTERSUCHUNG		BEBAUUNGSPLANGEBIET		„ZUR
KLEEBURG“		EUSKIRCHEN-WEIDESHEIM		
Auftraggeber				
BS Entwicklungs- und Wohnbau GmbH				
Niederkastenholzer Straße 40, 53881 Euskirchen				
Auftragnehmer				
Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt				
Hauptstraße 14, 50859 Köln				
Zeichnung				
Luftbild mit Bohransatzpunkten und Sickerversuche				
Maßstab ca. 1 : 1.000	Datum 15.09.2022	gez. Kr	Projekt 2212671	

**Anlage 3:**

Lageplan Vorplanung mit Bohransatzpunkten und Schichtgrenzen Lößlehm/Erftschotter  
Maßstab ca. 1: 500

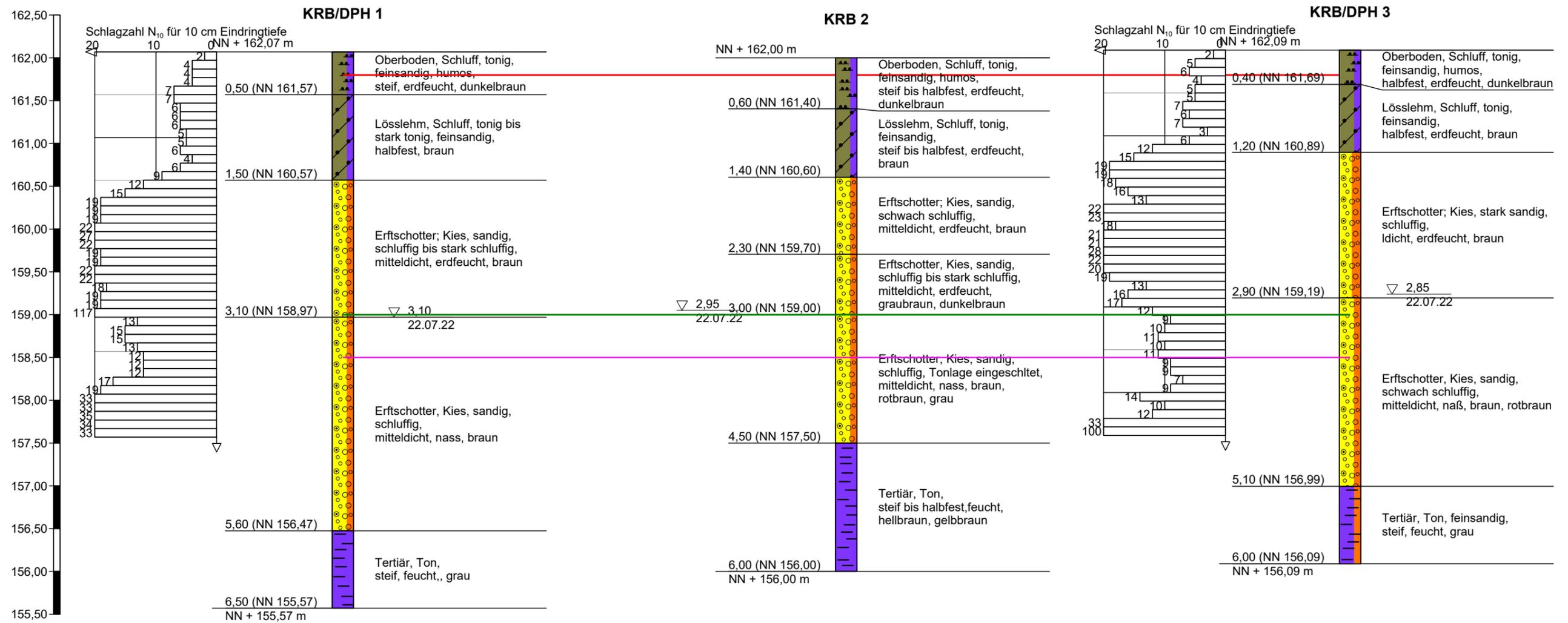


- ⊕ **KRB 1**  
 1,8 m  
 160,4 mNN  
**Kleinrammbohrung, Schwere Rammsondierung, Versickerungsversuch**  
 Tiefe Schichtgrenze Lößlehm / Erftschotter u. GOK  
 Kote Schichtgrenze Lößlehm / Erftschotter
- ⊕ **KRB 9**  
 1,8 m  
 160,4 mNN  
**Kleinrammbohrung, Schwere Rammsondierung**  
 Tiefe Schichtgrenze Lößlehm / Erftschotter u. GOK  
 Kote Schichtgrenze Lößlehm / Erftschotter
- ⊕ **KRB 10**  
 1,8 m  
 160,4 mNN  
**Kleinrammbohrung**  
 Tiefe Schichtgrenze Lößlehm / Erftschotter u. GOK  
 Kote Schichtgrenze Lößlehm / Erftschotter

BODENUNTERSUCHUNG	BEBAUUNGSPLANGEBIET	„ZUR KLEEBURG“, EUSKIRCHEN-WEIDESHEIM
Auftraggeber BS Entwicklungs- und Wohnbau GmbH Niederkastenholzer Straße 40, 53881 Euskirchen		
Auftragnehmer Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt Hauptstraße 14, 50859 Köln		
Zeichnung Lageplan Vorplanung mit Bohransatzpunkten und Schichtgrenzen Löß/Erftsschotter		
Maßstab ca. 1 : 1.000	Datum 15.09.2022	gez. Kr Projekt 2212671

**Anlage 4:**  
Geotechnische Schnitte

**Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023**



Versickerungsuch  
im Bohrloch

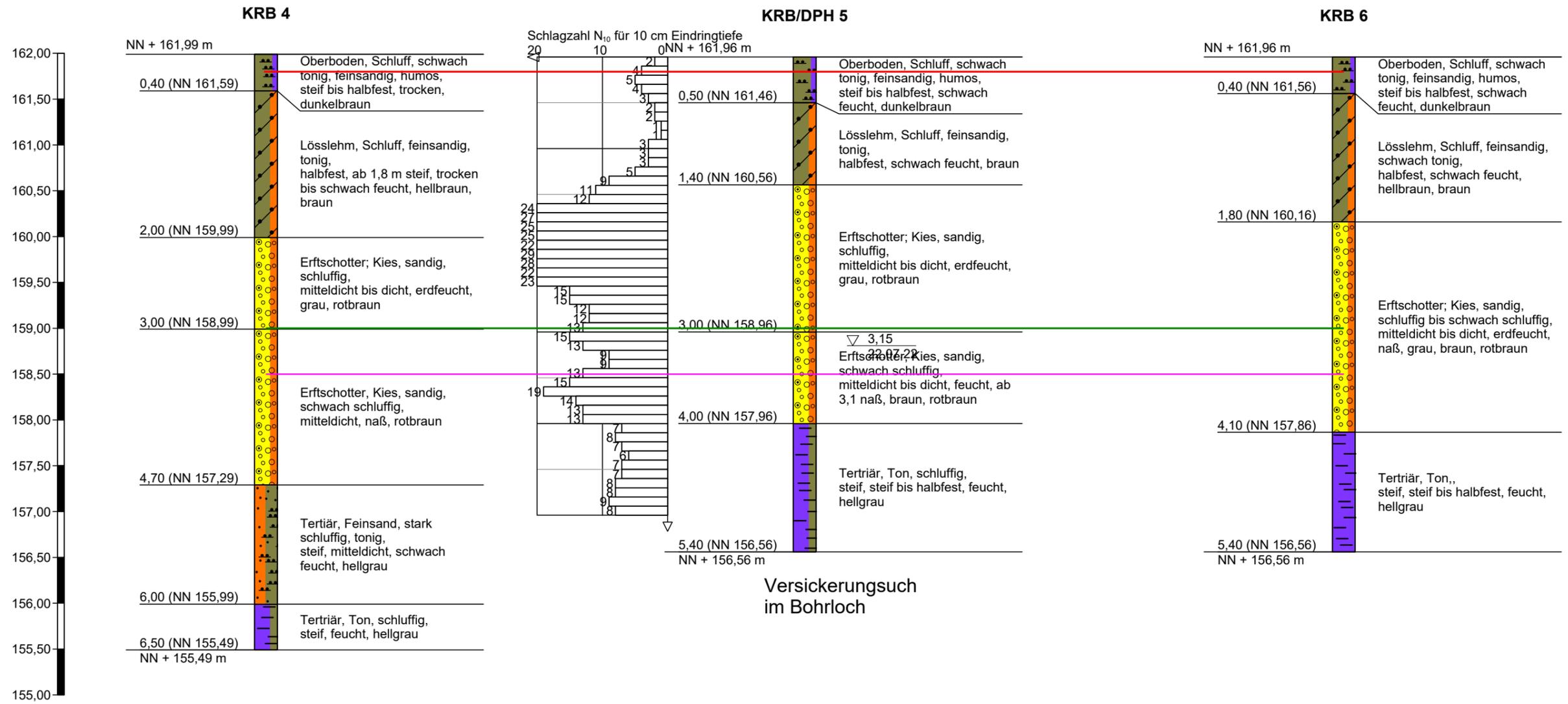
Versickerungsuch  
im Bohrloch

UK Bodenplatte EG = ca. 161,8 mNN

UK Bodenplatte KG = ca. 159,0 mNN

UK Kanal KG = ca. 158,5 mNN

**Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023**

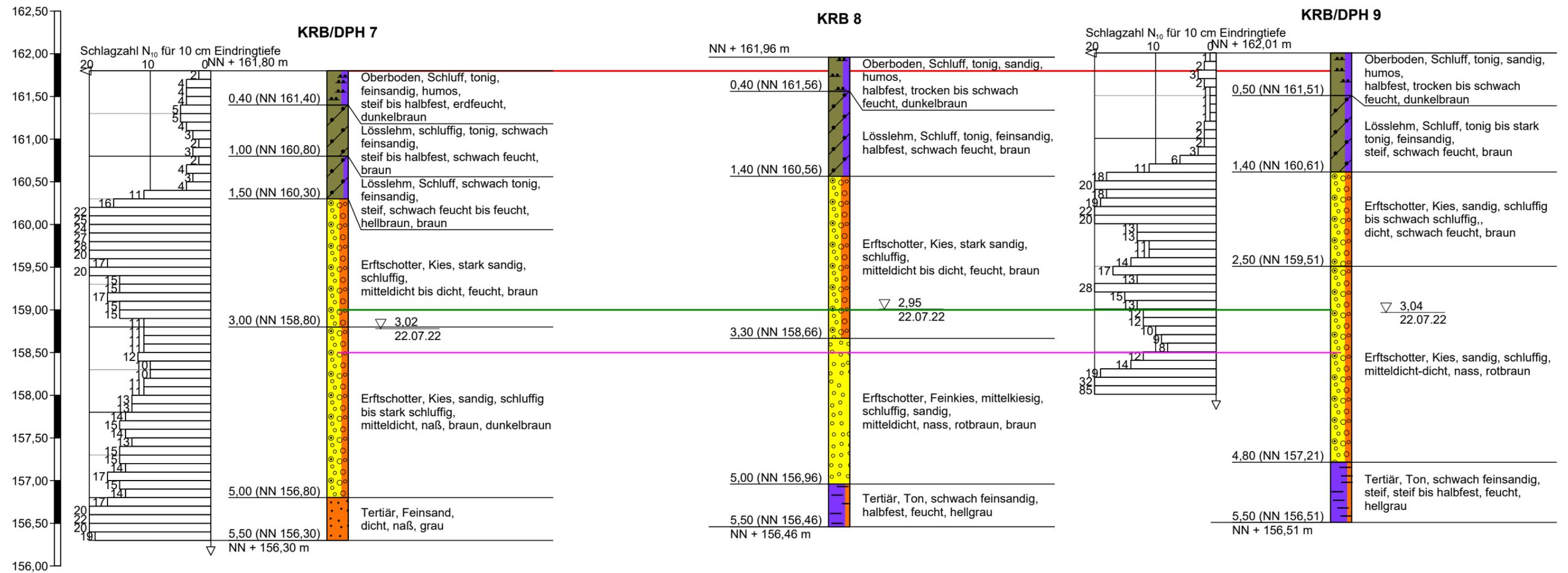


UK Bodenplatte EG = ca. 161,8 mNN

UK Bodenplatte KG = ca. 159,0 mNN

UK Kanal KG = ca. 158,5 mNN

**Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023**

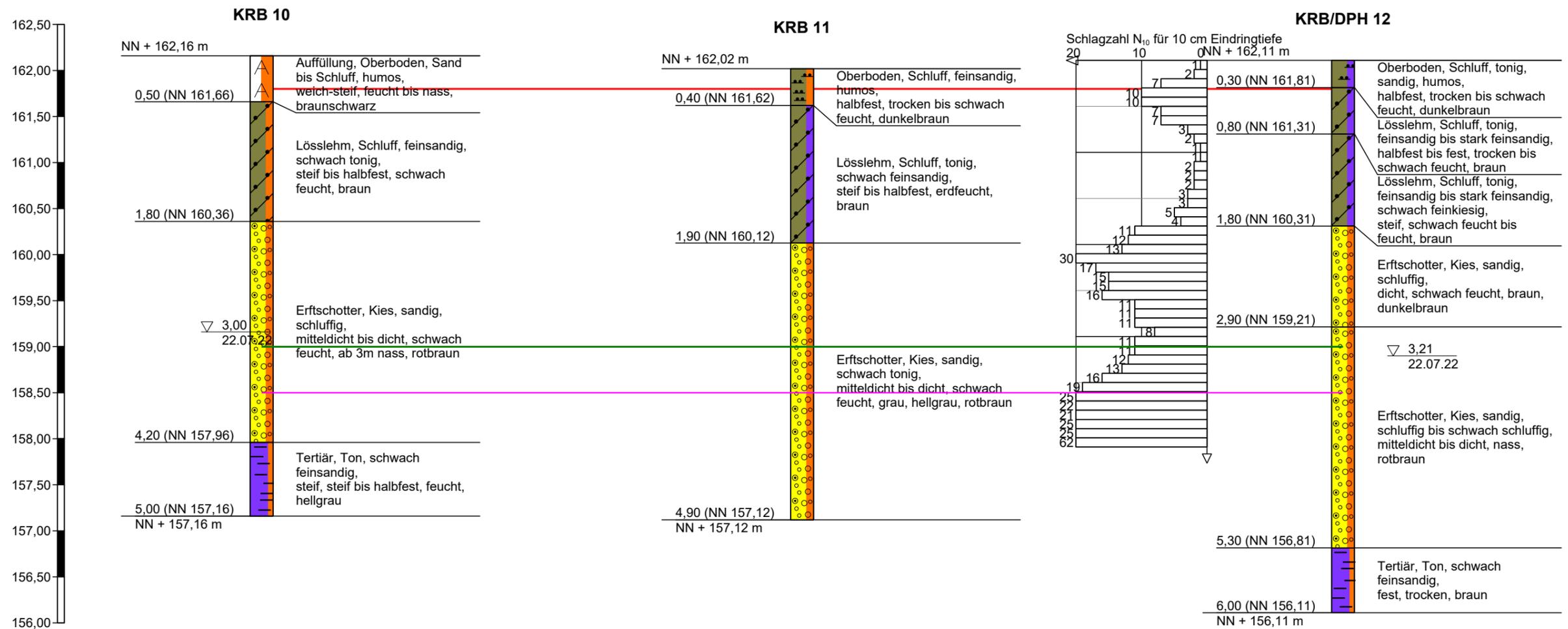


UK Bodenplatte EG = ca. 161,8 mNN

UK Bodenplatte KG = ca. 159,0 mNN

UK Kanal KG = ca. 158,5 mNN

**Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023**

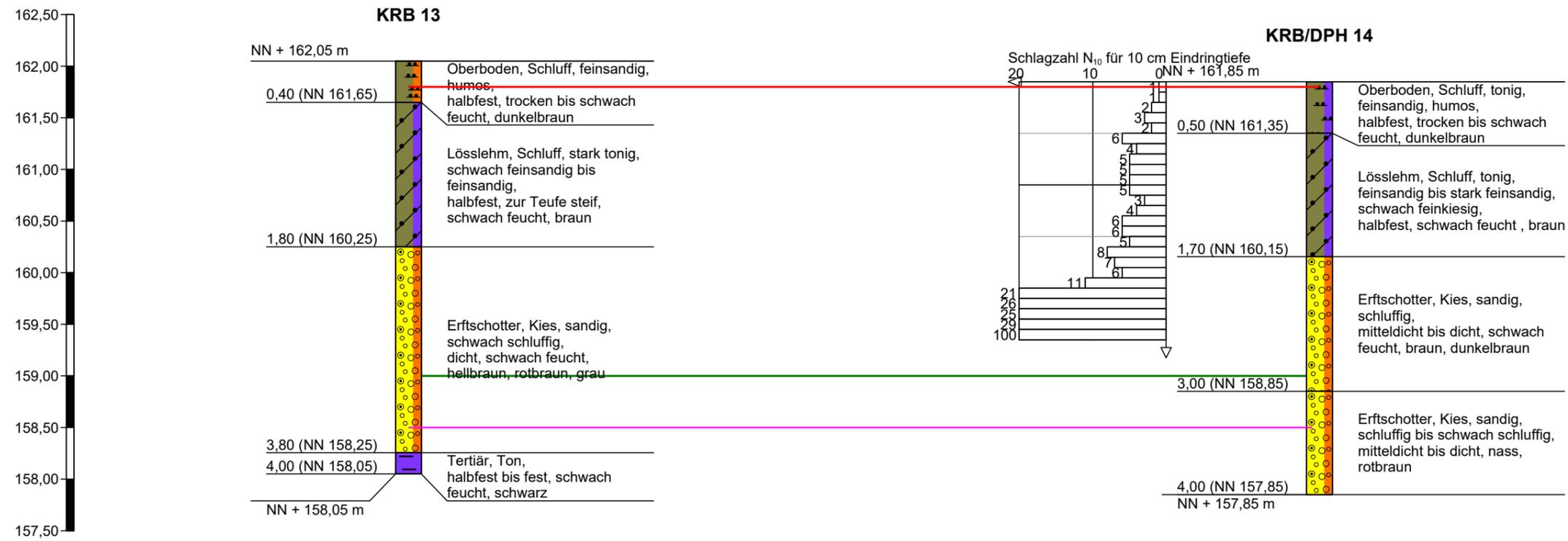


UK Bodenplatte EG = ca. 161,8 mNN

UK Bodenplatte KG = ca. 159,0 mNN

UK Kanal KG = ca. 158,5 mNN

**Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023**



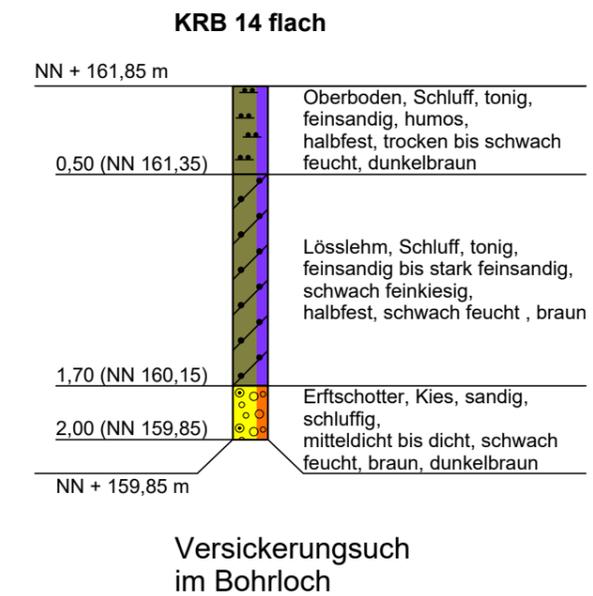
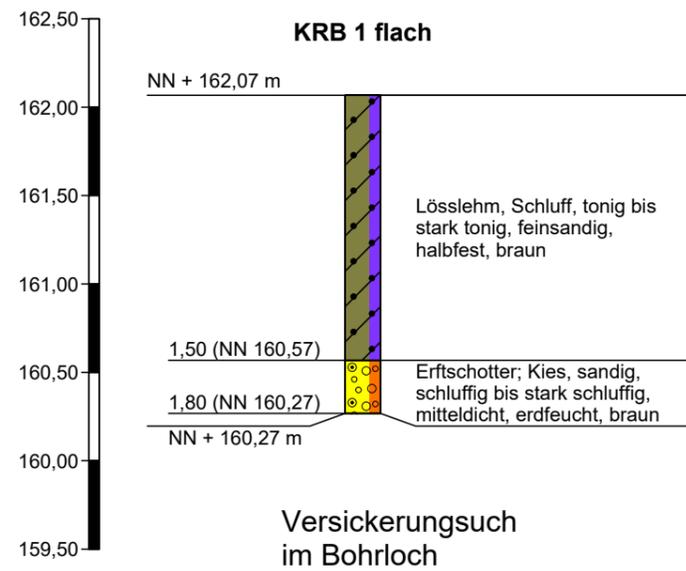
UK Bodenplatte EG = ca. 161,8 mNN

UK Bodenplatte KG = ca. 159,0 mNN

UK Kanal KG = ca. 158,5 mNN

**Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023**

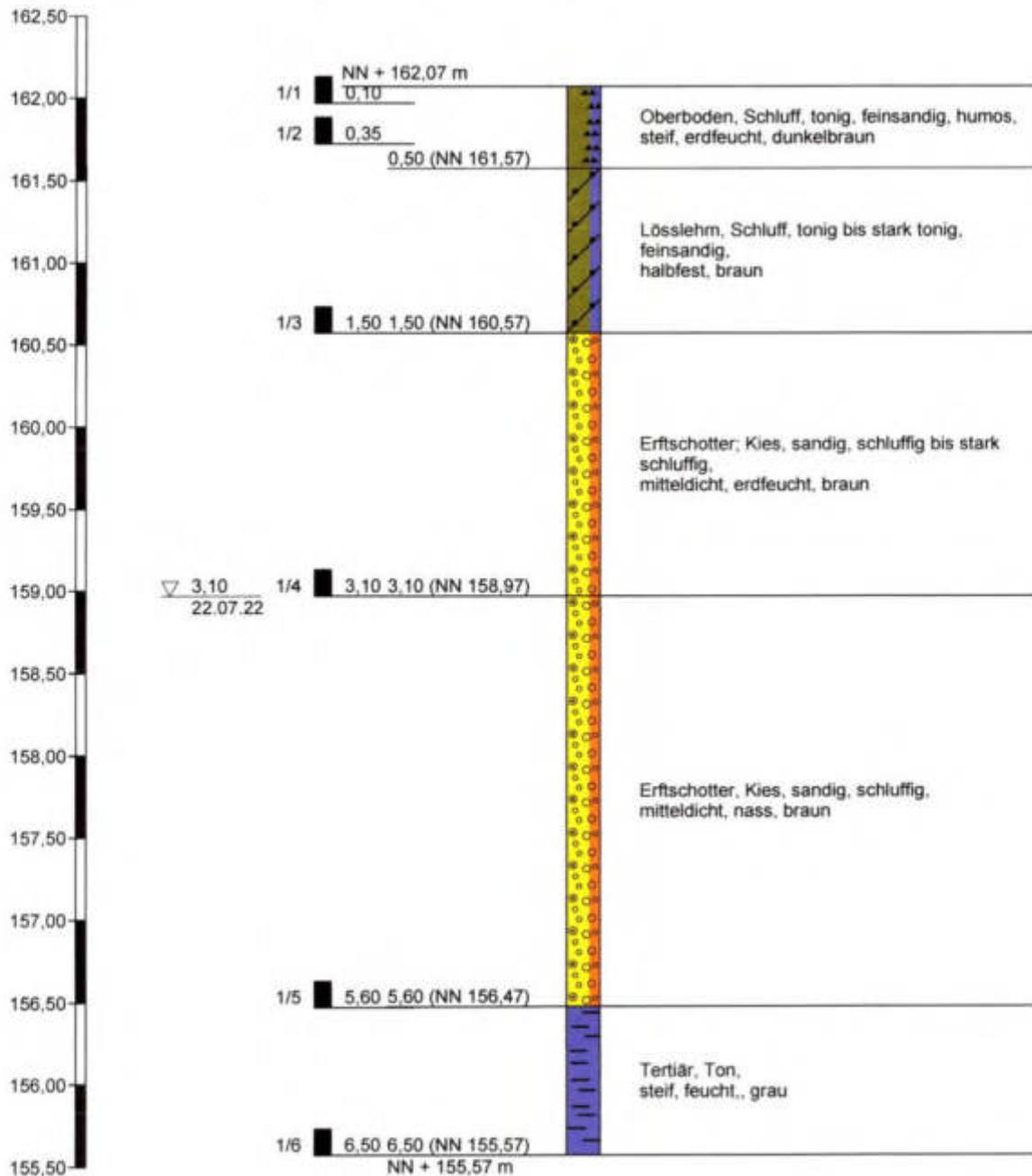
Begleitende "flache" Bohrungen (Endteufe oberhalb GW-Spiegel)



**Anlage 5:**  
Einzelprofile KRB 1 - KRB 14

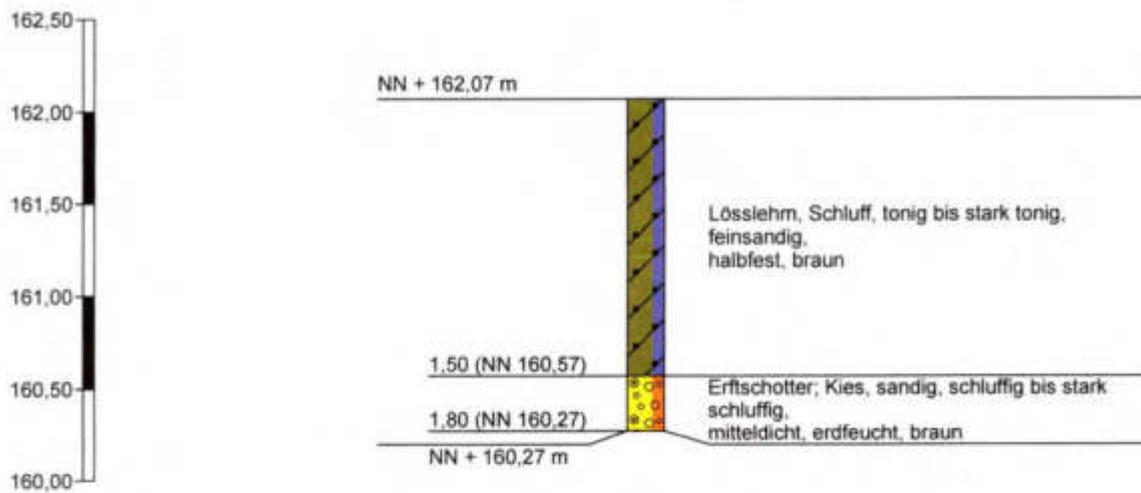
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB/DPH 1**



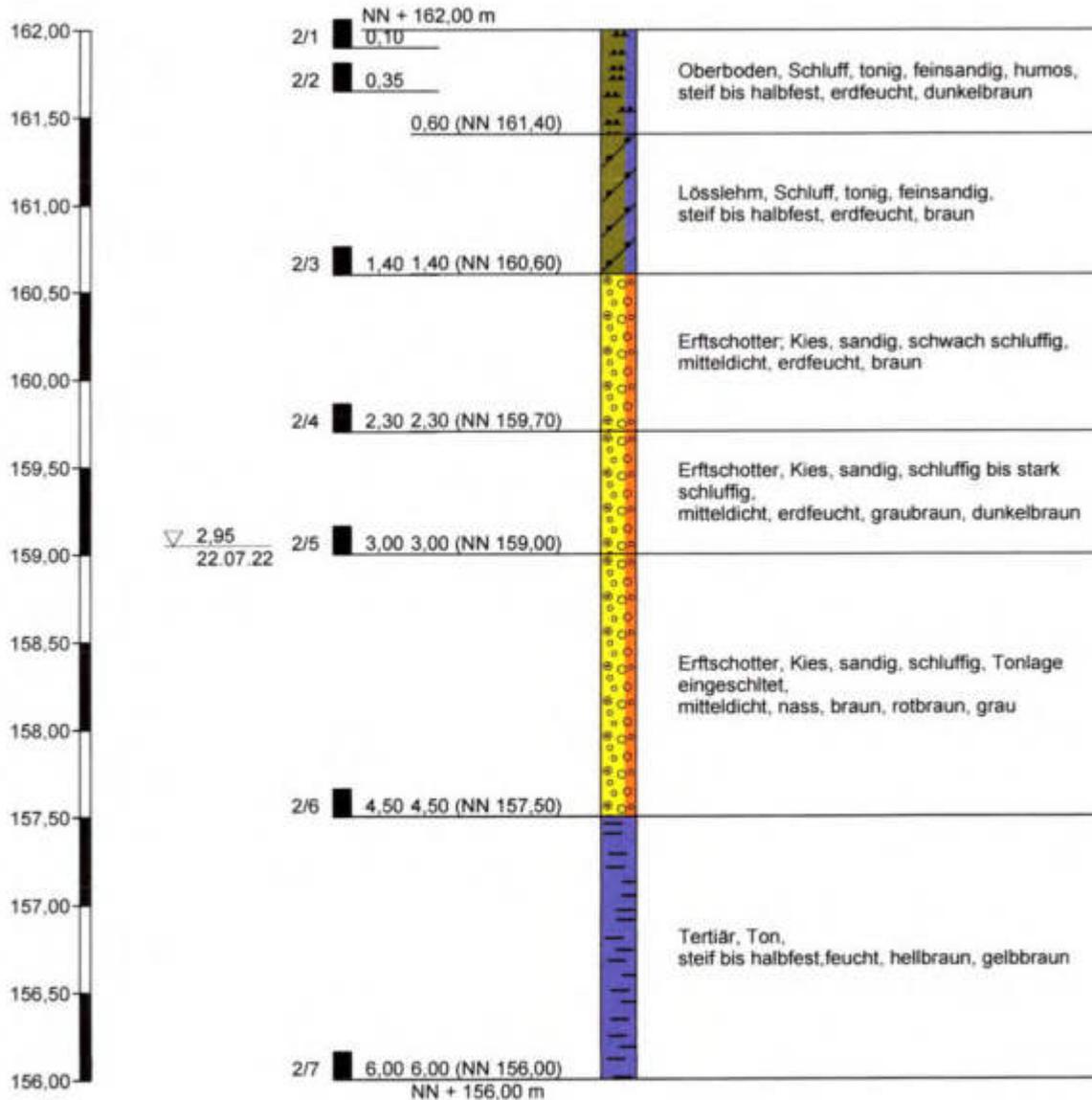
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB 1 flach**



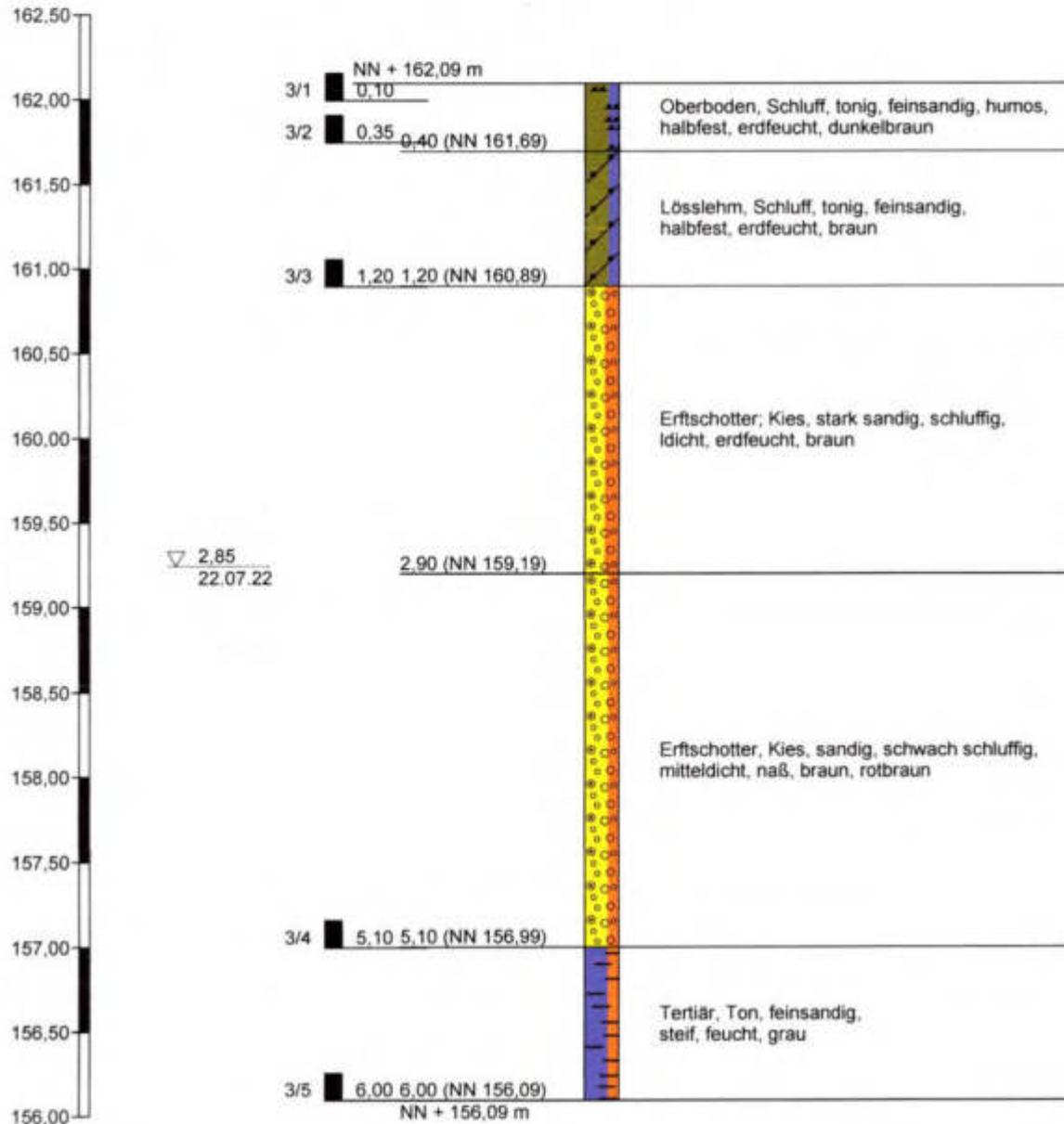
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB 2**



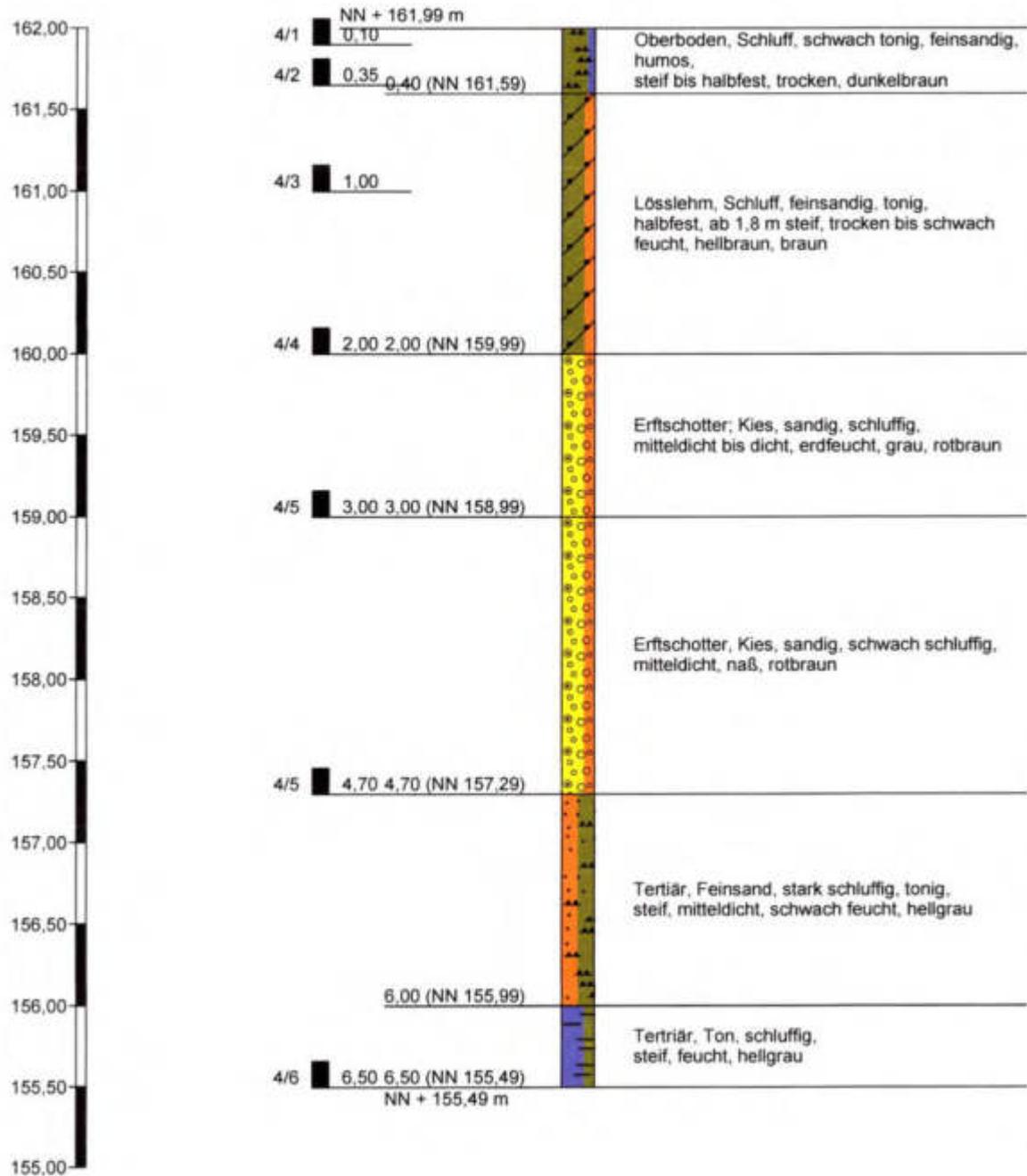
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB/DPH 3**



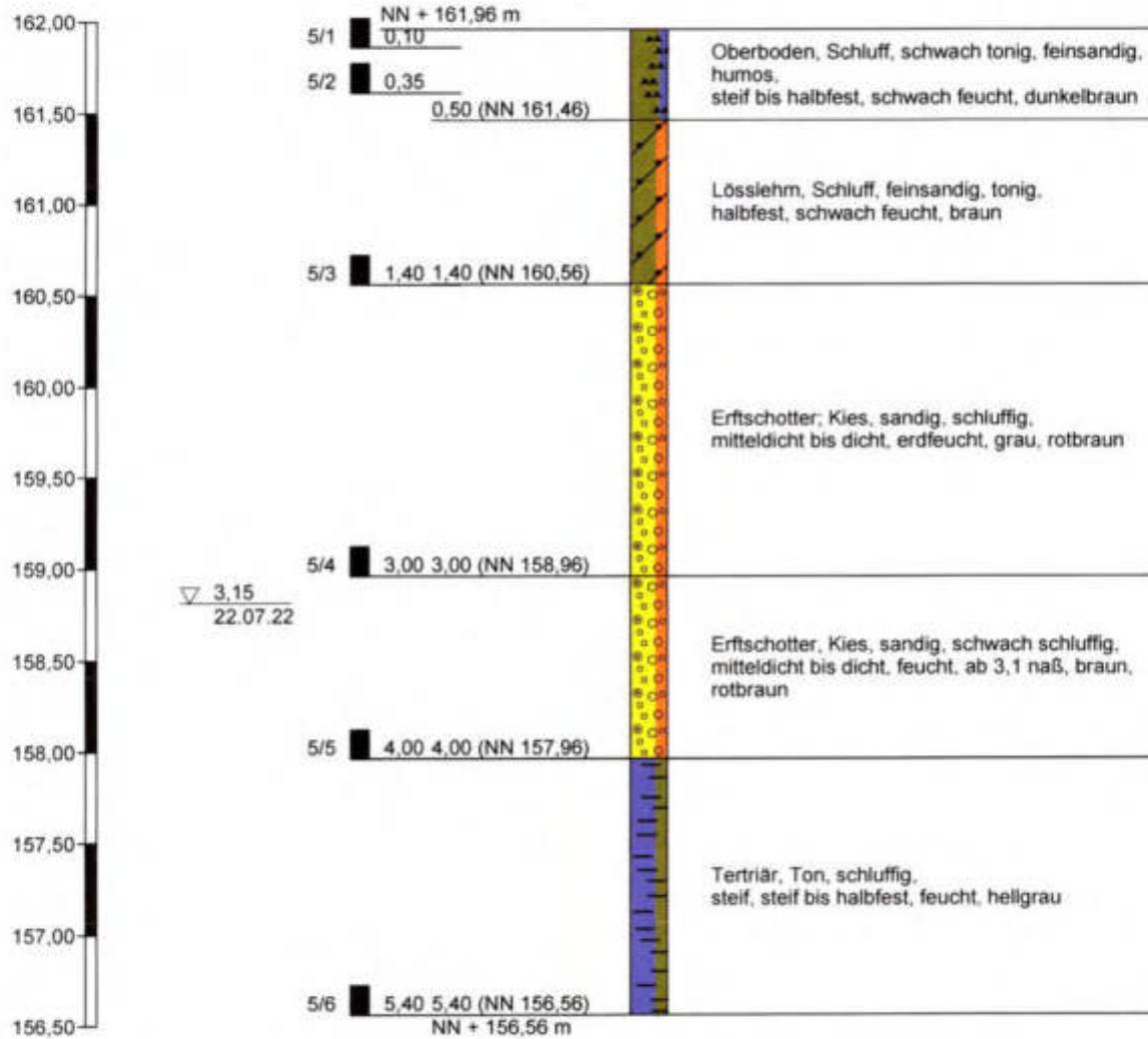
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB 4**



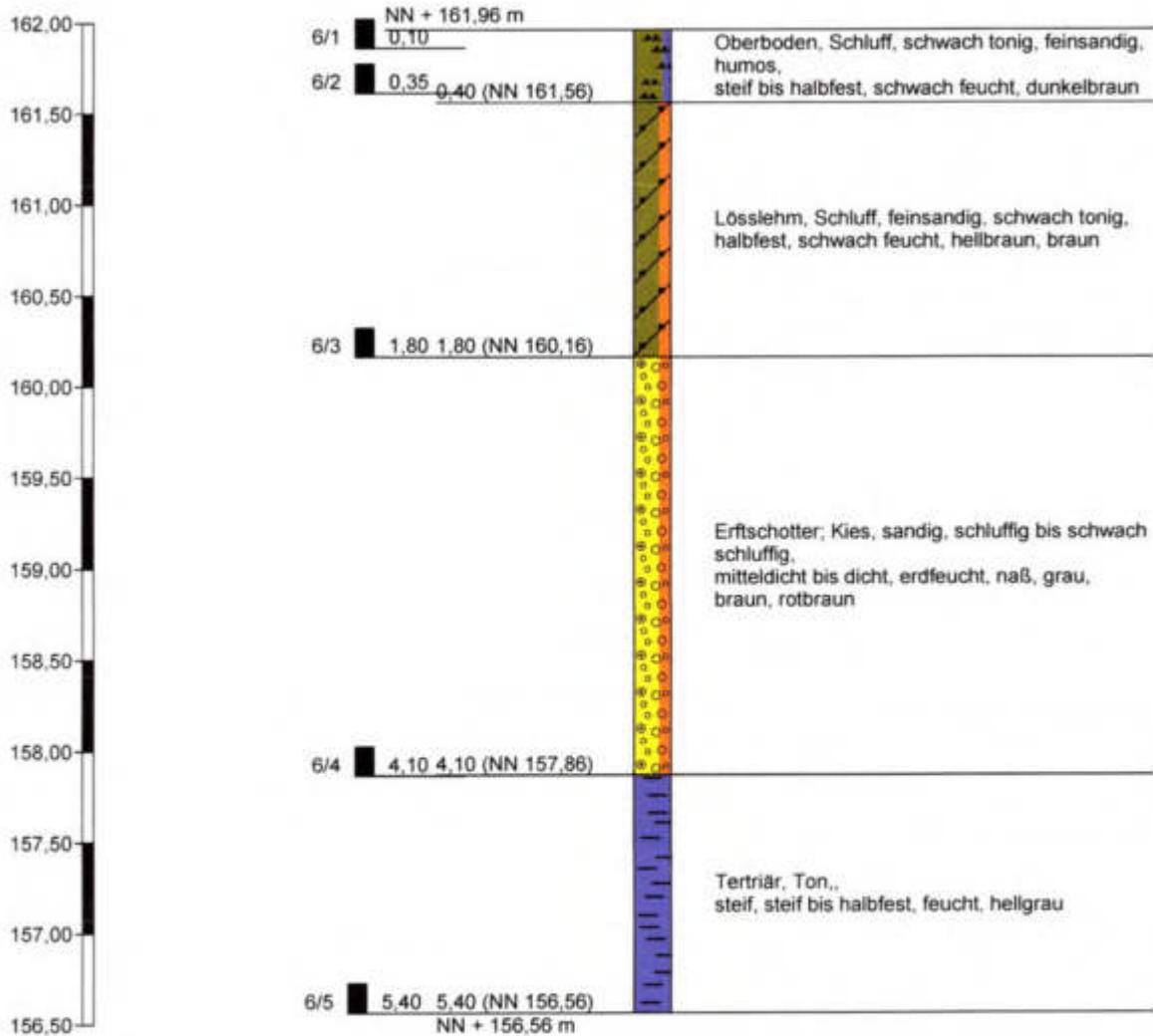
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB/DPH 5**



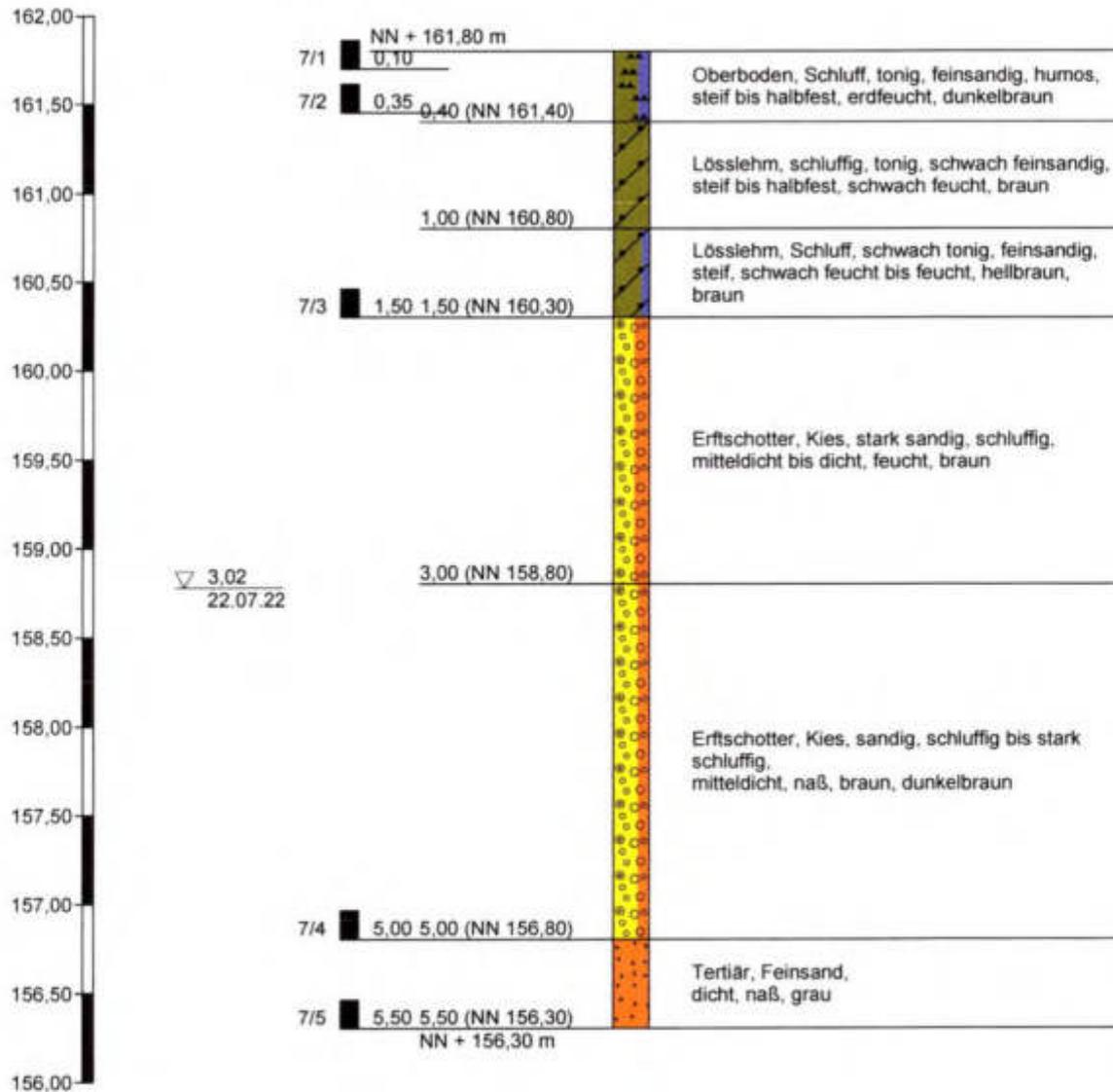
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB 6**



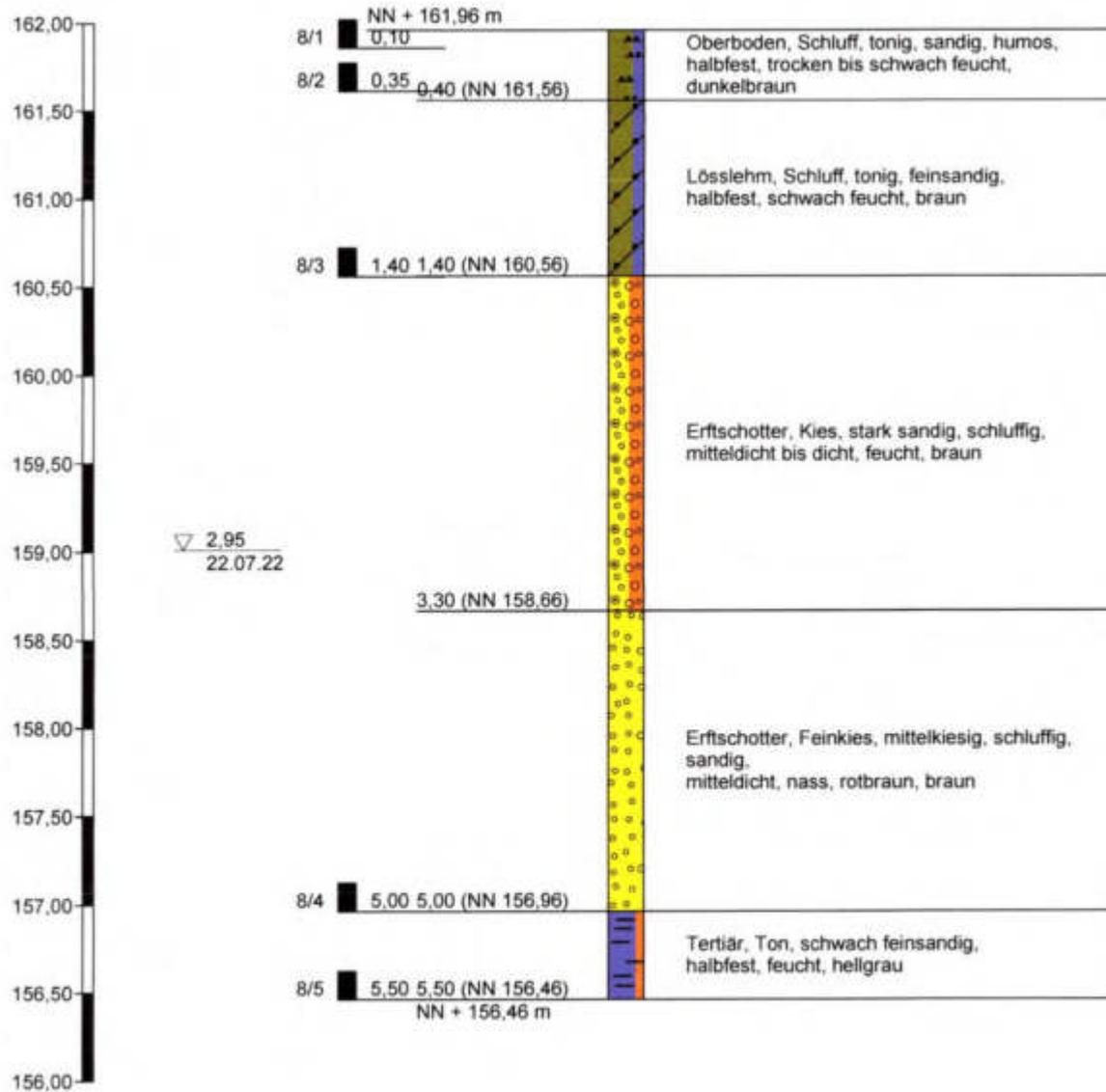
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB/DPH 7**

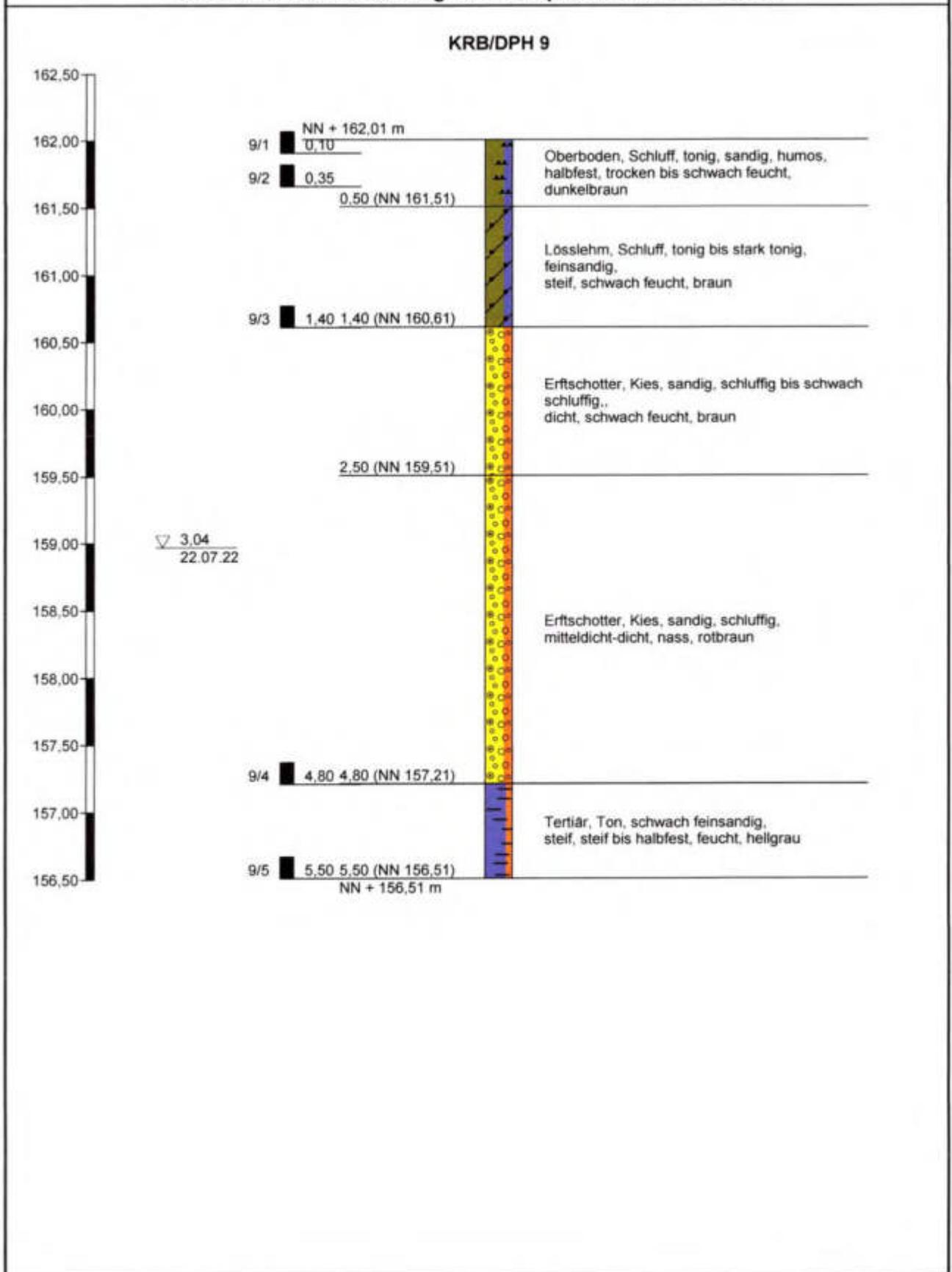


**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB 8**

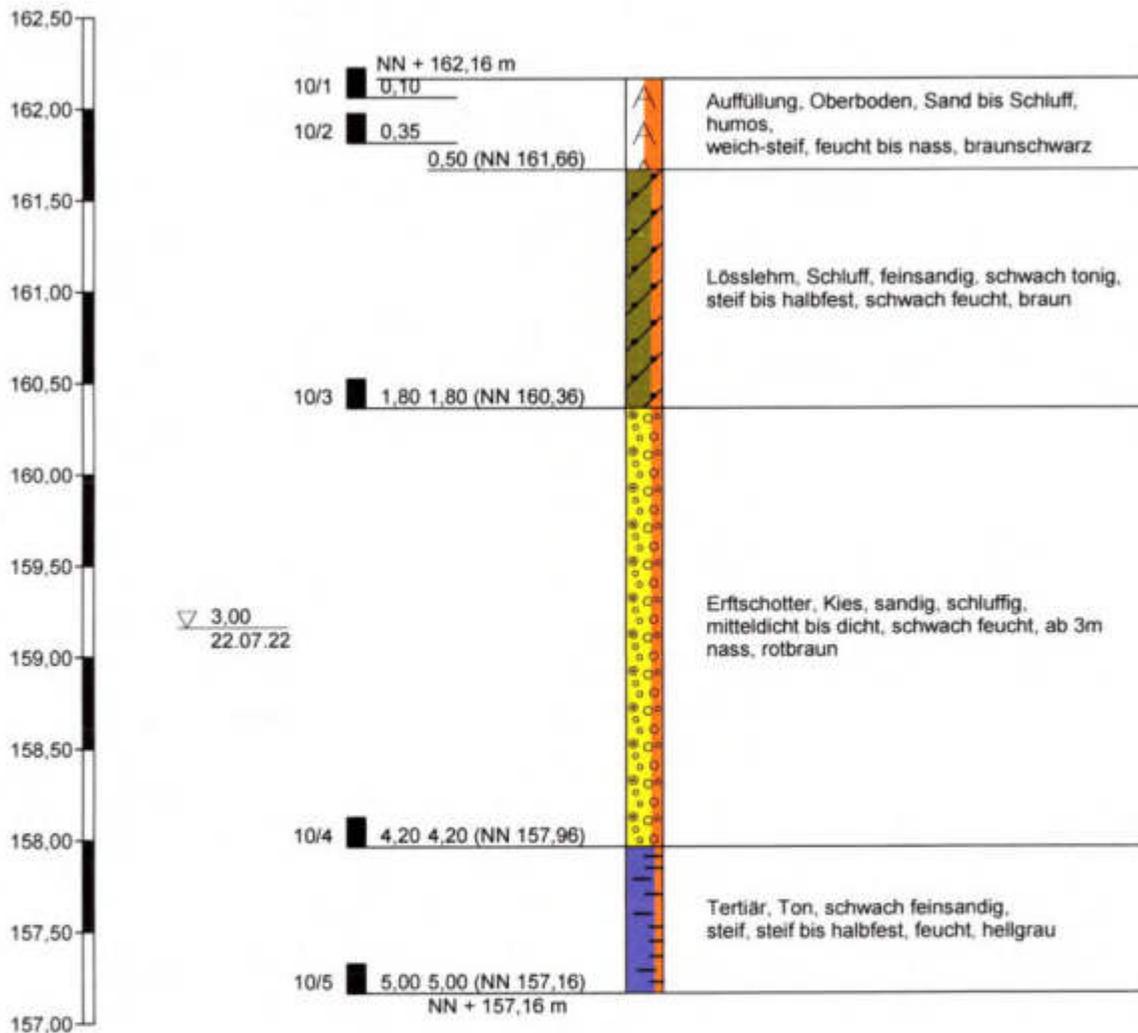


**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**



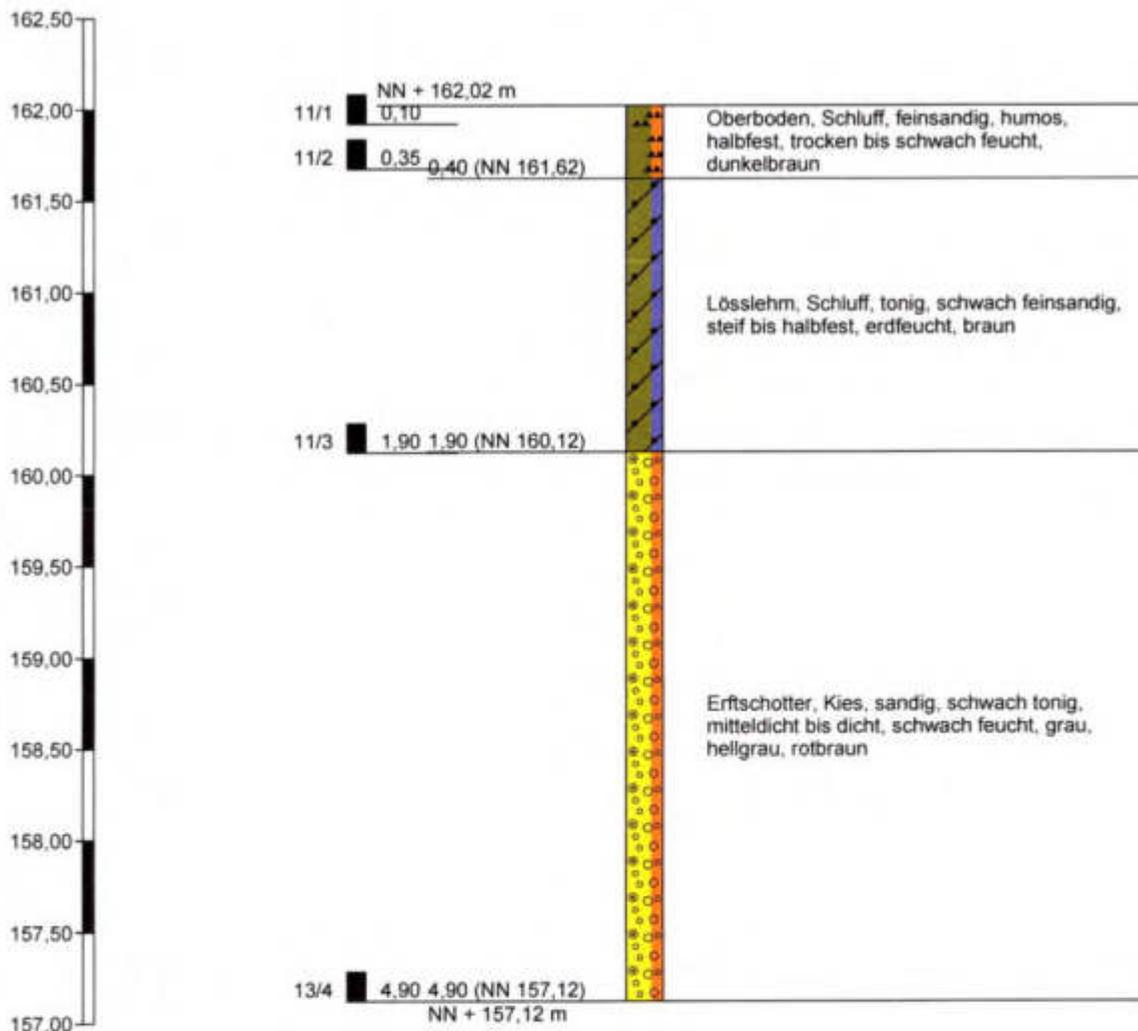
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB 10**



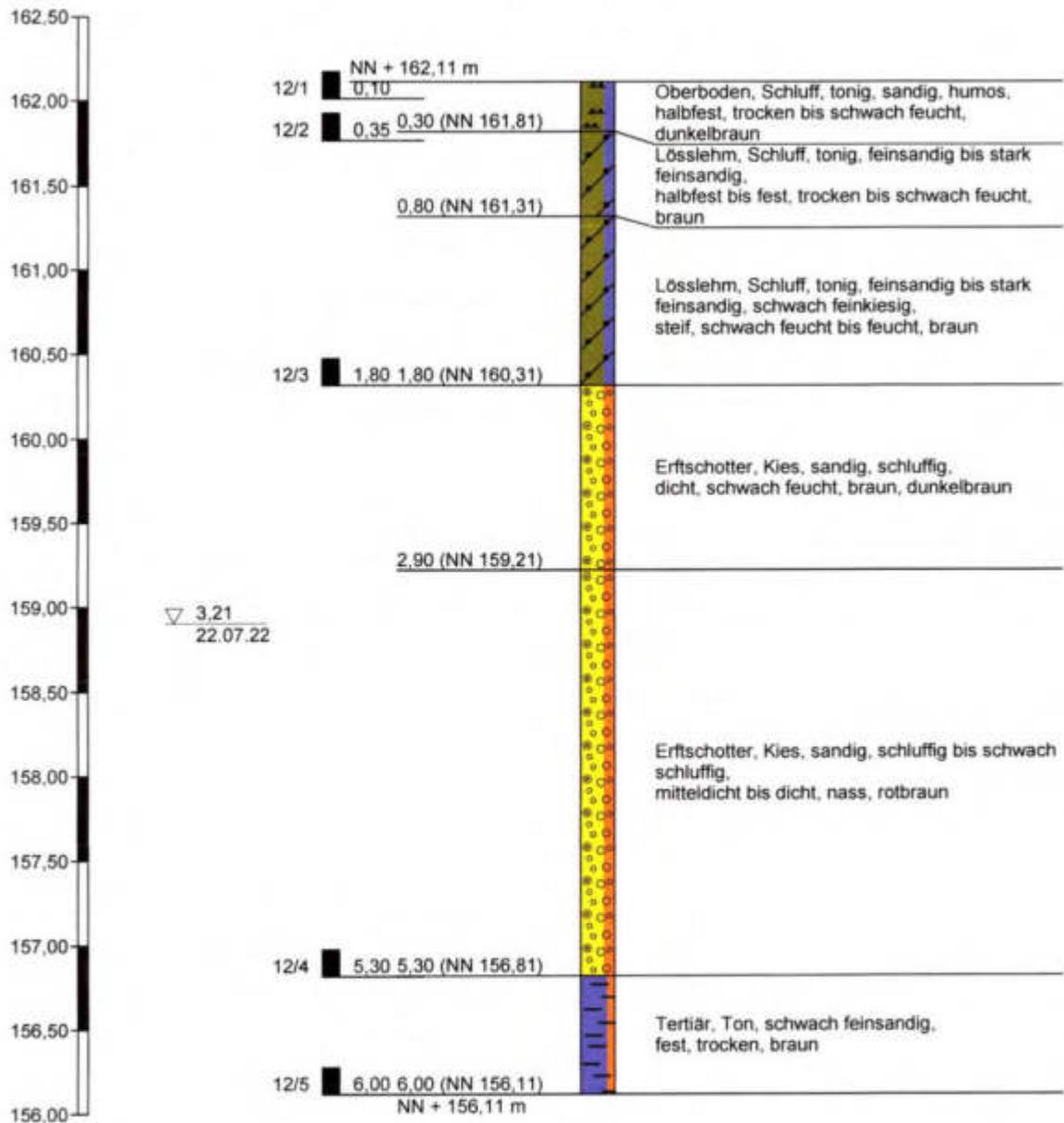
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB 11**



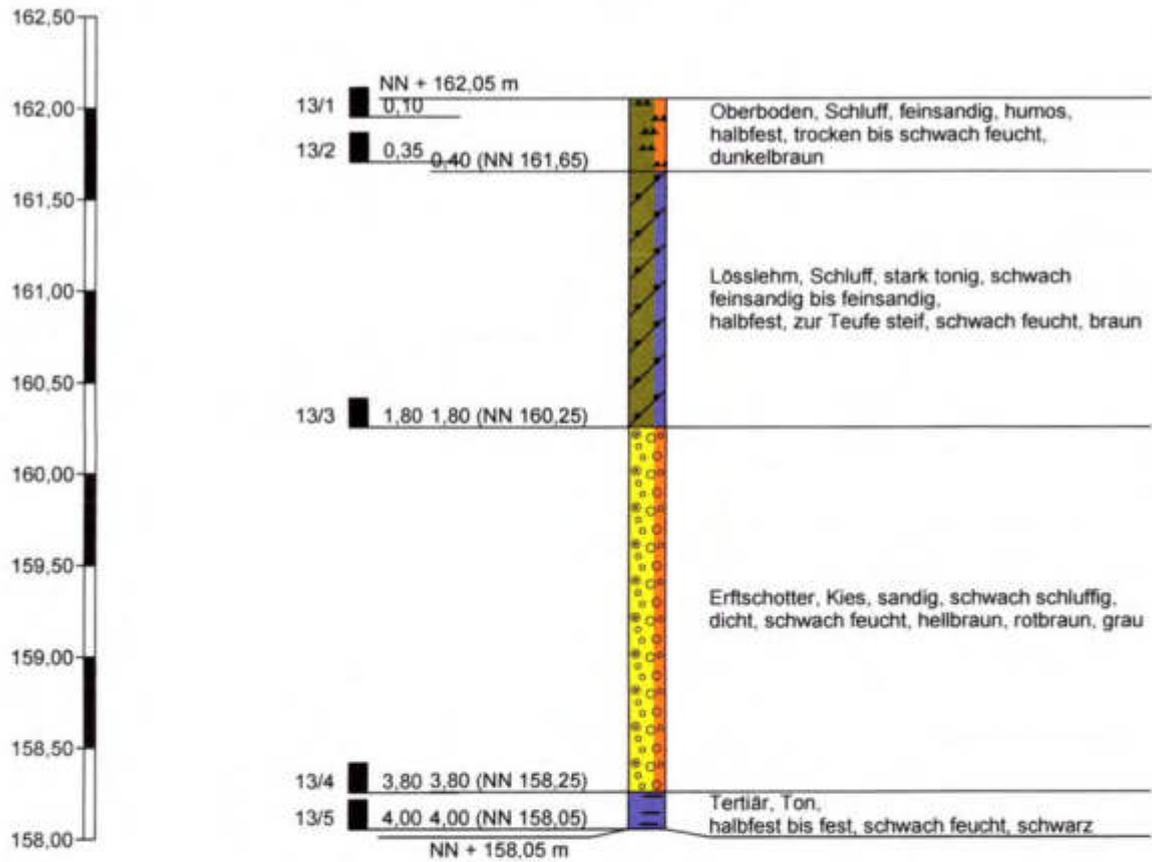
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB/DPH 12**



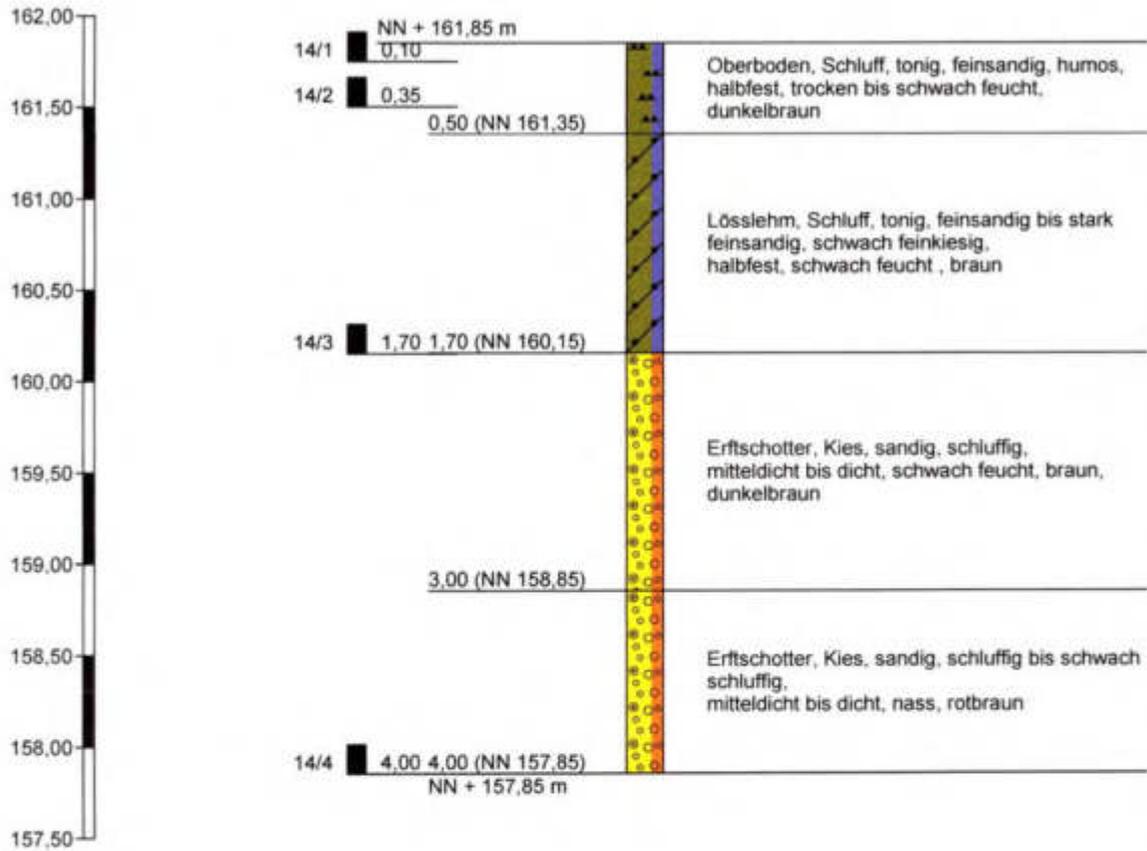
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB/DPH 13**



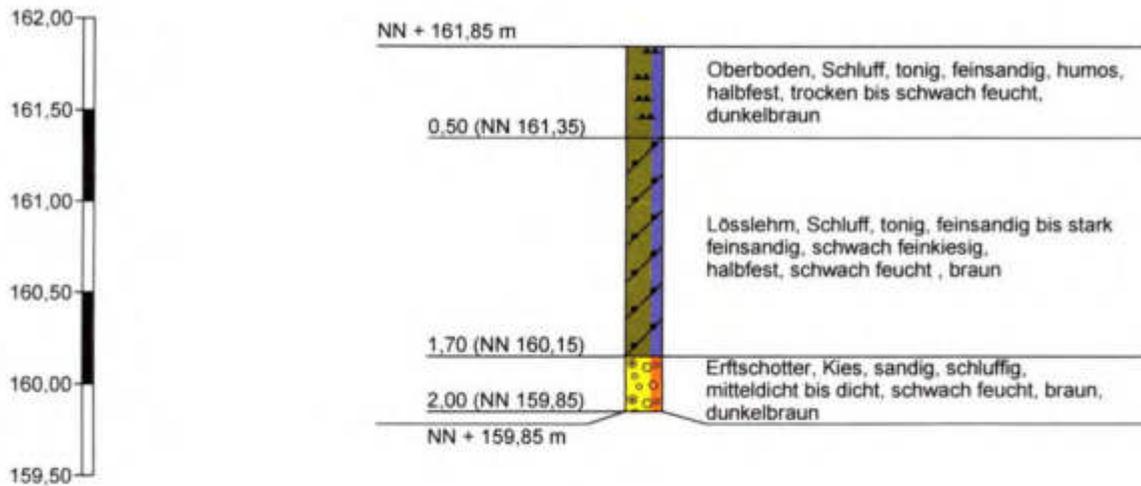
**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB/DPH 14**



**Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023**

**KRB 14 flach**



**Anlage 6:**  
Versickerungsversuche (OPT)

**Versickerungsversuche im Gelände (Open-End-Tests)**  
**zur Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte**

**Projekt:** Erschließung Baugebiet "Zur Kleeburg"  
**Datum:** 22.07.2022

Bohrung	T [m]	r [mm]	h [m]	Zeit [min]	Wasser- menge [l]	Q [m³/s]	Kf [m/s]
KRB 1	3,1	25	3,1	15	9,5	1,1E-05	5,0E-05
KRB 1, flach	1,8	25	1,8	15	3,1	3,4E-06	2,8E-05
KRB 3	2,9	25	2,9	15	7,5	8,3E-06	4,3E-05
KRB 5	3,2	25	3,2	15	7,2	8,0E-06	3,6E-05
KRB 7	3,0	25	3,0	15	8,2	9,1E-06	4,4E-05
KRB 13	4,0	25	3,0	15	10,2	1,1E-05	5,5E-05
KRB 14, flach	2,0	25	2,0	15	2,1	2,3E-06	1,7E-05

T - Tiefe des Bohrloches/bzw. Tiefe bis OK Grundwasserspiegel

r - Brunnenradius, mm

h - Wasserstandshöhe, m

Q - Wasserzugabe in m³/s, zum Konstanthalten des Wasserspiegels

Kf - Durchlässigkeitsbeiwert für die Bemessung der Versickerungsanlage, m/s  
Korrekturfaktor 2 gemäß DWA für Feldversuche wurde berücksichtigt.