



## GEOTECHNISCHER BERICHT

Auftrag Nr. 3201502  
Projekt Nr. 2020-2664

KUNDE: Gemeindeverwaltung Wenzelbach  
Hauptstraße 40  
93173 Wenzelbach

BAUMAßNAHME: Gemeindeverbindungsstraße der Gemeinde  
Wenzelbach, Wenzelbach

GEGENSTAND: Baugrunduntersuchung

ORT, DATUM: Deggendorf, den 19.03.2021

---

Dieser Bericht umfasst 73 Seiten, 20 Tabellen und 5 Anlagen.  
Die Veröffentlichung, auch auszugsweise, ist ohne unsere Zustimmung nicht zulässig.  
Die Proben werden ohne besondere Absprache nicht aufbewahrt.



## Inhaltsverzeichnis:

<b>1 VORGANG</b> .....	<b>7</b>
1.1 Auftrag.....	7
1.2 Fragestellung.....	7
1.3 Projektbezogene Unterlagen.....	8
<b>2 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSBEREICHES</b> .....	<b>8</b>
2.1 Geplantes Bauwerk.....	8
2.2 Geomorphologische Situation.....	9
2.3 Geologische Verhältnisse.....	9
<b>3 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN</b> .....	<b>10</b>
3.1 Ortsbegehung.....	10
3.2 Baugrundaufschlüsse.....	10
3.3 Bodenmechanische Laboruntersuchungen.....	12
3.4 Chemische Analysen.....	13
<b>4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE</b> .....	<b>13</b>
4.1 Beschreibung der Schichtenfolge.....	13
4.2 Ergebnisse der Rammsondierungen und SPT-Tests.....	17
4.3 Ergebnisse der Laborversuche.....	18
4.3.1 Wassergehalt und Konsistenzgrenzen.....	18
4.3.2 Korngrößenverteilung.....	20
4.3.3 Einaxiale Druckfestigkeit nach Taschenpenetrometer.....	21
4.4 Hydrologische Verhältnisse.....	22
<b>5 BEWERTUNG DER GEOTECHNISCHEN BEFUNDE</b> .....	<b>25</b>
5.1 Beurteilung der Baugrundverhältnisse.....	25
5.2 Bodenmechanische Kennwerte.....	27
5.3 Eigenschaften und Kennwerte für Erdarbeiten (Homogenbereiche).....	29
5.4 Eigenschaften und Kennwerte für Bohrarbeiten (Homogenbereiche).....	33
5.5 Bewertung der Grundwasserverhältnisse.....	37
5.6 Bewertung der Erdbebentätigkeit.....	37
<b>6 ALTLASTENUNTERSUCHUNG</b> .....	<b>37</b>
6.1 Grenzwertbetrachtung.....	37



6.2	Bewertungsgrundlagen Schutzgüter .....	38
6.3	Bewertungsgrundlagen Entsorgung .....	40
6.3.1	Allgemeines zur Entsorgung von Abfällen.....	40
6.3.2	LAGA M20.....	41
6.3.3	Leitfaden Verfüllung.....	42
6.3.4	Deponieverordnung .....	43
6.3.5	Stufen- und Zuordnungswerte .....	44
6.4	Interpretation der Untersuchungsergebnisse.....	46
6.4.1	Einstufung der Untersuchungsergebnisse .....	46
6.4.2	Bewertung der Untersuchungsergebnisse .....	47
<b>7</b>	<b>FOLGERUNGEN FÜR DIE GRÜNDUNG VON BAUWERKEN .....</b>	<b>48</b>
7.1	Rahmenbedingungen.....	48
7.2	Gründungsempfehlungen für das Brückenbauwerk.....	49
7.3	Bohrpfähle .....	49
<b>8</b>	<b>FOLGERUNGEN FÜR DIE BAUGRUBE .....</b>	<b>53</b>
8.1	Allgemeines .....	53
8.2	Baugrubenböschungen.....	53
8.3	Baugrubenverbau .....	54
8.4	Wasserhaltung .....	56
8.5	Wasserdichte Baugrubenumschließung .....	57
8.6	Hinterfüllen/Verdichten.....	58
<b>9</b>	<b>HERSTELLUNG BEFESTIGTER FLÄCHEN .....</b>	<b>59</b>
9.1	Rahmenbedingungen.....	59
9.2	Herstellung des Oberbaues.....	59
9.3	Ertüchtigung des Untergrundes.....	60
9.4	Hinweise für die Dammschüttung.....	61
9.5	Versickerung .....	63
9.5.1	Anforderungen an den Untergrund .....	64
9.5.2	Bemessung der Versickerungsanlagen .....	66
9.5.3	Kornsummenlinien.....	67
<b>10</b>	<b>HINWEISE FÜR DIE BAUAUSFÜHRUNG .....</b>	<b>69</b>
10.1	Frostsicherheit .....	69



10.2	Kolkschutz .....	69
<b>11</b>	<b>ERGÄNZENDE UNTERSUCHUNGEN.....</b>	<b>70</b>
11.1	Beweissicherung.....	70
11.2	Altlasten.....	70
11.3	Einholung der denkmalrechtlichen Erlaubnis .....	71
11.4	Baubegleitende Überwachung.....	71
11.5	Wasserrechtsverfahren.....	71
<b>12</b>	<b>SCHLUSSBEMERKUNGEN .....</b>	<b>72</b>



### Anlagen:

- Anlage 1: Planunterlagen  
 Anlage 1.1: Übersichtslageplan 1 : 25.000  
 Anlage 1.2: Übersichtslageplan 1 : 5.000  
 Anlage 1.3: Lageplan mit Eintragung der Bohrpunkte
- Anlage 2: Zeichnerische Darstellung der Erkundungsergebnisse  
 Anlage 2.1: Bodenprofile  
 Anlage 2.2: Rammprogramme
- Anlage 3: Schichtenverzeichnisse und Kopfblätter  
 Anlage 3.1: Schichtenverzeichnisse der Bodenaufschlüsse  
 Anlage 3.2: Kopfblätter zu Rammsondierungen
- Anlage 4: Laboruntersuchungen  
 Anlage 4.1: Bodenmechanische Laboruntersuchungen  
 Anlage 4.2: Chemische Laboruntersuchungen
- Anlage 5: Projekttagessberichte/Fotoaufnahmen

### Tabellen:

Tabelle 1:	Ansatzhöhen/Endteufen	11
Tabelle 2:	Wassergehalt und Konsistenzgrenzen	19
Tabelle 3:	Korngrößenverteilung	20
Tabelle 4:	Ergebnisse der Versuche mit dem Taschenpenetrometer	22
Tabelle 5:	Wasserstände	22
Tabelle 6:	Bodenklassifizierung	25
Tabelle 7:	Vereinfachtes Baugrundmodell	26
Tabelle 8:	Bodenmechanische Kennwerte	28
Tabelle 9:	Eigenschaften und Kennwerte von Böden	30
Tabelle 10:	Eigenschaften und Kennwerte von Fels	32
Tabelle 11:	Eigenschaften und Kennwerte von Böden	34
Tabelle 12:	Eigenschaften und Kennwerte von Fels	36
Tabelle 13:	Stufen- und Zuordnungswerte Altlastbeurteilung Feststoffe	44
Tabelle 14:	Stufen- und Zuordnungswerte Altlastbeurteilung Grundwasser u. Eluat	45
Tabelle 15:	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantelreibung	51
Tabelle 16:	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ - Homogenbereich 4 unterhalb der Kote 331,5	52



Tabelle 17:	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ - Homogenbereich 7 unterhalb der Kote 338 ü. NN	52
Tabelle 18:	Korrekturfaktoren zur Festlegung des Bemessungs- $k_f$ -Wertes	67
Tabelle 19:	Bemessungswerte für Versickerungsanlagen	68
Tabelle 20:	Einstufung Durchlässigkeitsbereiche gemäß DIN 18130-1	68

**Abbildungen:**

Abbildung 1:	Ort der Probenahme und Ort der Beurteilung	39
Abbildung 2:	Durchlässigkeitsbeiwerte von Lockergesteinen und entwässerungstechnisch relevanter Versickerungsbereich (Quelle: DWA-A 138)	65



## **1 VORGANG**

### **1.1 Auftrag**

Die Gemeindeverwaltung Wenzenbach plant den Neubau einer Gemeindeverbindungsstraße in Wenzenbach.

Mit Schreiben vom 21.09.2020 wurde die IFB Eigenschenk GmbH, Deggendorf, mit der Erstellung eines geotechnischen Gutachtens einschließlich der Durchführung von Feld- und Laboruntersuchungen beauftragt. Grundlage der Auftragserteilung ist das Angebot der IFB Eigenschenk GmbH vom 16.09.2020 in Verbindung mit dem Werkvertrag.

Der vorliegende Bericht enthält die zusammenfassende Darstellung der Untersuchungsergebnisse und die daraus folgenden Hinweise für die Planung und Durchführung der Baumaßnahme.

Die Untersuchungen wurden mit dem Ingenieurbüro BBI Ingenieure koordiniert. Erste Ergebnisse wurden bereits mitgeteilt. Mit dem vorliegenden Bericht werden die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst, bestätigt und ergänzt.

### **1.2 Fragestellung**

Mit der vorliegenden geotechnischen Baugrundbeurteilung soll im Wesentlichen geklärt werden:

- ⇒ welche Böden am Untersuchungsstandort zu erwarten sind und welche bautechnischen Eigenschaften diese aufweisen,
- ⇒ welche Werte der geotechnischen Kenngrößen den Böden zuzuordnen sind,
- ⇒ welche Wasserverhältnisse anzutreffen sind und mögliche Auswirkungen hieraus,
- ⇒ welche Möglichkeiten der Gründung aus technischer und betriebswirtschaftlicher Sicht empfohlen werden können,
- ⇒ welche Anforderungen bei der Herstellung der Baugrube zu beachten sind,
- ⇒ welche Folgerungen sich für den Straßenbau ergeben,



- ⇒ welche ergänzenden Hinweise für den Baubetrieb notwendig werden,
- ⇒ welche Versickerungsmöglichkeiten bestehen,
- ⇒ welche Handlungsnotwendigkeiten sich aus möglicherweise vorhandenen Bodenverunreinigungen ergeben.

### **1.3 Projektbezogene Unterlagen**

Für die Ausarbeitung dieses Gutachtens standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [1] BBI Ingenieure GmbH (22.06.2020): Westumfahrung Wenzenbach, Grundlagenermittlung LPH 1, Übersichtslageplan Bohrerkundungen, M 1 : 2.000
- [2] BBI Ingenieure GmbH (23.09.2020): Straßenbau Westumfahrung, Vorentwurf, Höhenplan, M 1 : 1.000 bzw. 1 : 100

## **2 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSBEREICHES**

### **2.1 Geplantes Bauwerk**

Die Gemeinde Wenzenbach plant den Neubau der Gemeindeverbindungsstraße „Westumfahrung“ zwischen der B 16-Anschlussstelle in Wenzenbach und der Lindhofstraße im Ortsteil Roith.

Hierzu ist die Errichtung einer Brücke im Bereich des Wenzenbachs vorgesehen. Darüber hinaus soll eine Fledermausschutzwand an einem Waldstück entlang der geplanten Westumfahrung errichtet werden.

Aufgrund der Bauwerkskonstruktion ist die geplante Baumaßnahme vorläufig in die geotechnische Kategorie GK 2 einzuordnen. Diese umfasst Baumaßnahmen mit mittlerem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf das Zusammenwirken von Bauwerk und Baugrund.





## **2.2 Geomorphologische Situation**

Der Untersuchungsstandort befindet sich in Wenzenbach, einer Gemeinde im Landkreis Regensburg. Wenzenbach liegt rund 9 km nordöstlich von Regensburg. Die Grundstücke, auf dem der Neubau der Gemeindeverbindungsstraße geplant ist, liegen zwischen der Bundesstraße B 16 und der bestehenden Lindhofstraße im Ortsteil Roith.

Das Gelände ist derzeit unbebaute Grün- bzw. Ackerfläche.

Der Wenzenbach verläuft im Süden des Untersuchungsgebiets von Ost nach West und folgt dabei nach der geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt 6939 Donaustauf, einer Nordost-Südwest verlaufenden Störung (vermutet).

Das Untersuchungsgebiet fällt von Norden nach Süden von rund 360 m ü. NN im Bereich der Lindhofstraße auf 347 m ü. NN im Bereich des Wenzenbachs ab. Im Bereich der bestehenden B 16 wurde das Gelände über Aufschüttungen auf ca. 355 m ü. NN angehoben.

Nach dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege befindet sich im Untersuchungsgebiet auf den Feldern südlich der Lindhofstraße ein Bodendenkmal mit der Nummer D-3-6939-0001. Bei dem Bodendenkmal handelt es sich um eine vorgeschichtliche Siedlung.

## **2.3 Geologische Verhältnisse**

Nach der digitalen geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000 stehen am Untersuchungsort im Nahbereich des Wenzenbaches quartäre Bach- oder Flussablagerungen in Form von Sanden und Kiesen, die zum Teil von Flusslehm oder Flussmergel überlagert werden.

Im nördlichen Bereich der neugeplanten Verbindungsstraße stehen tertiäre Quarz-Feldspatsande des sogenannten Hangendtertiärs an, die zum Teil Kies führen, sowie hellgraue und grünliche Tone und Feinsandtone. Nach Süden fällt das Gelände zum Wenzenbach hin ab. In diesem Tal wurden Auen- und Decklehmlagerungen abgelagert, die unter anderem an den Talseiten im nördlichen Untersuchungsbereich erodiert wurden.

Den tieferen Untergrund bilden Granite (z. T. porphyrisch) und Anatexite mit Kalifeldspat-großkristallen des Grundgebirges.

Direkt am Bachlauf ist in der geologischen Karte eine vermutete Störungslinie eingetragen.



### **3 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN**

#### **3.1 Ortsbegehung**

Vor Beginn der Aufschlussarbeiten wurde eine Ortsbegehung des Standorts und seiner Umgebung durch den Sachverständigen für Geotechnik Herrn Piendl durchgeführt. Eine Dokumentation der Ortsbegehung ist in der Anlage 5 enthalten.

#### **3.2 Baugrundaufschlüsse**

Die vorliegende Untersuchung soll die Beurteilung der Ausführbarkeit voraussehbarer Varianten der Gründung und der Baudurchführung zulassen. Deshalb wurde Art und Umfang entsprechend einer Hauptuntersuchung nach DIN 4020 festgelegt.

Es wurde folgendes Untersuchungsprogramm festgelegt:

- 5 Großbohrungen (mind. DN 178 mm) bis 20 m unter Geländeoberkante im Brückenbereich
- 5 Sondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH – dynamic probing heavy) nach DIN EN ISO 22476-2 bis 20 m unter Geländeoberkante im Brückenbereich
- 3 Großbohrungen (mind. DN 178 mm) bis 10 m unter Geländeoberkante im Straßen- und Fledermausschutzbereich
- 3 Sondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH – dynamic probing heavy) nach DIN EN ISO 22476-2 bis 12 m unter Geländeoberkante im Straßen- und Fledermausschutzbereich
- 5 Rammkernbohrungen (RKB) bis 5 m unter Geländeoberkante im Straßenbereich
- 5 Sondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH – dynamic probing heavy) nach DIN EN ISO 22476-2 bis 7 m unter Geländeoberkante im Straßenbereich



Die Felderkundungen fanden am vom 07.12. bis 11.12.2020 sowie am 15.12. und 16.12.2020 statt. Darüber hinaus wurde vom 19.01. bis 22.01.2021 erkundet. Bei einigen Erkundungspunkten wurde die Erkundungsendtiefe nicht erreicht. Die Ursache hierfür ist das Antreffen eines Rammhindernisses im Untergrund, beispielsweise in Form eines größeren Steins oder dem allmählichen Übergang zum Festgestein.

Die Ansatzpunkte wurden lage- und höhenmäßig eingemessen und gehen aus dem Lageplan der Anlage 1 hervor.

**Tabelle 1: Ansatzhöhen/Endteufen**

<b>Erkundungsart</b>	<b>Ansatzhöhe [m ü. NN]</b>	<b>Endteufe [m unter GOK]</b>
BK 1	347,89	20,0
BK 2	347,41	20,0
BK 3	347,44	20,0
BK 4	347,52	17,5
BK 5	347,86	20,0
RKB 11	360,18	5,0
RKB 12	357,45	5,0
RKB 13	348,33	5,0
RKB 14	350,24	5,0
RKB 15	348,33	5,0
BK 21	352,94	10,0
BK 22	352,50	10,0
BK 23	350,16	10,0
DPH 1	347,89	9,2



<b>Erkundungsart</b>	<b>Ansatzhöhe [m ü. NN]</b>	<b>Endteufe [m unter GOK]</b>
DPH 2	347,41	8,3
DPH 3	347,44	9,0
DPH 4	347,52	15,6
DPH 5	347,86	17,3
DPH 11	360,18	7,0
DPH 12	357,45	7,0
DPH 13	348,33	7,0
DPH 14	350,24	7,0
DPH 15	348,33	7,0
DPH 21	352,94	10,0
DPH 22	352,50	10,0
DPH 23	350,16	11,0

GOK: Geländeoberkante  
m ü. NN: Meter über Normalnull

Eine Darstellung der Aufschlüsse als Bodenprofile nach DIN 4023 ist in Anlage 2 gemeinsam mit den Rammdiagrammen aufgetragen. Die zugehörigen Schichtenverzeichnisse und Kopfblätter sind in Anlage 3 zusammengestellt.

### **3.3 Bodenmechanische Laboruntersuchungen**

Aus den einzelnen Bodenschichten wurden Proben entnommen und - soweit erforderlich - zur Überprüfung der augenscheinlichen Ansprache und Ermittlung der Bodengruppen nach DIN 18 196 im Laboratorium untersucht. Folgende Versuche wurden durchgeführt:

- 15 Bestimmungen des Wassergehaltes nach DIN 18 121



- 6 Bestimmungen der Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122
- 7 Bestimmungen der Korngrößenverteilung durch kombinierte Sieb-/Schlamm-analyse nach DIN 18 123
- 7 Bestimmungen der Korngrößenverteilung nach DIN 18 123 durch Nasssiebung
- 4 Bestimmungen der undränierten Scherfestigkeit mit dem Penetrometertest

Die Ergebnisse sind in Anlage 4 zusammengefasst. Sie werden ggf. im Folgenden bei der Beschreibung der Untergrundverhältnisse näher erläutert.

### **3.4 Chemische Analysen**

Es wurden folgende Untersuchungen in einem akkreditierten chemischen Labor durchgeführt:

- 8 Analysen gemäß Eckpunktepapier „Leitfaden zur Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen“
- 1 Analyse gemäß LAGA M20 Tab. II 1.2-2 und 1.2-3  
jeweils aus der Fraktion < 2 mm.
- 3 Analysen auf Beton- und Stahlaggressivität

## **4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE**

### **4.1 Beschreibung der Schichtenfolge**

Die Felderkundungen haben die aufgrund der regionalen geologischen Situation zu erwartende Schichtung des Baugrundes im Wesentlichen bestätigt. Auf der Grundlage vergleichbarer bodenmechanischer Eigenschaften lassen sich die erkundeten Schichten am Untersuchungsstandort in nachfolgend aufgeführte Homogenbereiche zusammenfassen.



### **Homogenbereich 0 – Oberboden**

Im gesamten Untersuchungsgebiet steht oberflächennah Oberboden an. Es handelt sich bei dem Oberboden um sandigen, schwach kiesigen Schluff mit organischen Beimengungen in Form von Wurzeln. Bereichsweise steht der Oberboden auch als schluffiger Sand an. Die Mächtigkeit des Oberbodens beträgt 0,2 – 1,1 m. Der Schluff wurde mit weicher bis halbfester Konsistenz und dunkelbrauner bis schwarzer Farbe erkundet.

### **Homogenbereich 1 – Auffüllungen**

In der Bohrung BK 1 wurden ab Geländeoberkante bis in 1,2 m unter Geländeoberkante Auffüllungen mit Fremdbestandteilen in Form von Ziegelresten erkundet. Die Auffüllungen bestehen aus tonigen, kiesigen Schluffen mit rotschwarzer Farbe und weicher Konsistenz.

Die Böden dieses Homogenbereiches besitzen eine mäßige Scherfestigkeit und eine schlechte bis mäßige Verdichtungsfähigkeit. Ihre Zusammendrückbarkeit ist mittel bis groß, ihre Durchlässigkeit ist sehr gering bis mittel.

### **Homogenbereich 2 – Deck- oder Auenlehme**

Im Liegenden der Auffüllungen bzw. des Oberbodens wurden bindige Schichten in Form von schwach bis stark sandigen, tonigen Schluffen mit weicher bis halbfester Konsistenz und grüngrauer bis brauner Farbe erkundet. Es handelt sich hierbei um Deck- oder Auenlehmsedimente. Im Bereich des Wenzelbaches wurden Auenlehme ab 0,2 m bis in maximal 8,8 m unter Geländeoberkante erkundet. Im nördlichen Untersuchungsgebiet wurden in den Bohrungen RKB 13 und RKB 15 vereinzelt Decklehmschichten erkundet.

In den Bohrungen im Bereich der geplanten Brücke (BK 2, 3, 4 und 5) wurden auch mächtige Torfablagerungen oder Schluffe mit organischen Beimengungen erkundet.

Die Böden dieses Homogenbereiches besitzen eine sehr geringe bis mäßige Scherfestigkeit und eine sehr schlechte bis mäßige Verdichtungsfähigkeit. Ihre Zusammendrückbarkeit ist mittel bis sehr groß, ihre Durchlässigkeit ist sehr gering bis mittel.



### **Homogenbereich 3 – Bachkiese und -sande**

Im Liegenden der Auen- oder Decklehme wurden im Bereich des Wenzelbaches quartäre Sande und Kiese erkundet. Es handelt sich hierbei um sandige, schwach schluffige Kiese und schwach kiesige, schluffige bis stark schluffige Sande mit zum Teil organischen Beimengungen. Die Farbe der Kiese und Sande ist überwiegend braun bis rotbraun.

Die Ablagerungen treten vor allem in 4,1...8,5 m unter Geländeoberkante auf.

Auch bei den Rammkernbohrungen im nördlichen Untersuchungsbereich wurden oberflächennah quartäre Sandlagen erkundet.

Die Böden dieses Homogenbereiches besitzen eine mittlere bis sehr große Scherfestigkeit und eine mäßige bis gute Verdichtungsfähigkeit. Ihre Zusammendrückbarkeit ist sehr gering bis mittel. Ihre Durchlässigkeit ist sehr gering bis groß, mit zunehmendem Feinkornanteil geringer werdend.

### **Homogenbereich 4 – Tertiäre Sande**

Die mächtigste erkundete Einheit im Bereich der geplanten Fledermausschutzwand bilden tertiäre Sande. Es handelt sich bei den Ablagerungen um zum Teil schwach bis stark schluffige, kiesige Sande bis Grobsande mit grauer bis rotbrauner Farbe. Die Sande stehen hier im Wechsel mit tertiären Tonlagen ab 0,4 m unter Geländeoberkante bis in 4,6...10,0 m (Erkundungsendtiefe) unter Geländeoberkante an. Diese wurden auch bei den Bohrungen BK 4 und 5 nördlich der Störung auf Höhe des Wenzelbaches bis zur Erkundungsendtiefe sowie bei allen Rammkernbohrungen mit Ausnahme der Bohrung RKB 13 erkundet.

Die Böden dieses Homogenbereiches besitzen eine mittlere bis sehr große Scherfestigkeit und eine mäßige bis sehr gute Verdichtungsfähigkeit. Ihre Zusammendrückbarkeit ist sehr gering bis mittel. Ihre Durchlässigkeit ist gering bis mittel, mit zunehmendem Feinkornanteil geringer werdend.

### **Homogenbereich 5 – Tertiäre Tone**

Im Wechsel mit den oben beschriebenen tertiären Sanden wurden im Erkundungsgebiet tertiäre Tone erkundet. Die Tone sind schluffig und schwach sandig bis sandig und besitzen meist steife bis (in größerer Tiefe) feste Konsistenzen. Ihre Farbe ist grau bis blaugrau.



Die Böden dieses Homogenbereiches besitzen eine geringe bis mäßige Scherfestigkeit und eine schlechte bis mäßige Verdichtungsfähigkeit. Ihre Zusammendrückbarkeit ist mittel, ihre Durchlässigkeit ist sehr gering bis mittel.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Konsistenz der angetroffenen Böden der Homogenbereiche 1, 2 und 5 veränderlich ist und vom Wassergehalt abhängig ist. Der Wassergehalt der Böden kann jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. So kann eine Erhöhung des Wassergehaltes durch Wasserzutritt oder dynamische Belastung die Konsistenz deutlich verschlechtern, dabei ist eine Verschlechterung zu breiiger oder flüssiger Konsistenz nicht auszuschließen.

### **Homogenbereich 6 – Zersatzböden**

Die unterste erkundete Einheit bildet südlich der vermuteten Störungszone Festgestein. Im Übergangsbereich von den überlagernden Sedimenten zum eigentlichen Festgestein liegt ein Zersatzhorizont vor.

Die in den Bohrungen BK 1 bis 3 erkundeten Zersatzböden bestehen aus sandigem bis stark sandigem, schwach bis stark kiesigem Schluff. Der Schluff besitzt eine weiche bis halbfeste Konsistenz und rote bis graue Farbe. Die Zersatzzone beginnt ab ca. 6,4...7,3 m unter Geländeoberkante.

Die Böden dieses Homogenbereiches besitzen eine mäßige Scherfestigkeit und eine schlechte bis mäßige Verdichtungsfähigkeit. Ihre Zusammendrückbarkeit ist mittel, ihre Durchlässigkeit ist sehr gering bis mittel.

### **Homogenbereich 7 – Festgestein**

Im Liegenden der Zersatzböden findet sich wenig verwittertes bis intaktes Festgestein. Es handelt sich bei dem Festgestein um Granit mit großen Feldspatkristallen und roter, teilweise grauer Farbe.

Der Fels weist sehr engständige bis mittelständige Kluffflächen auf und das Gestein ist meist wenig bis mäßig hart. Im Bereich der Störungszone ist das Gestein bis in größere Tiefen (Erkundungsendtiefe 20 m) entfestigt.





## **4.2 Ergebnisse der Rammsondierungen und SPT-Tests**

Zur indirekten Bestimmung der Lagerungsdichten bzw. Konsistenzen sowie zur Erkundung des Ramm- und Bohrverhaltens wurden 13 Sondierungen mit der schweren Rammsonde nach DIN EN ISO 22476-2 abgeteuft. Dabei stellt die Schlagzahl pro 10 cm Eindringtiefe über die gesamte Sondierstrecke ein interpretierbares Maß der Lagerungsdichte dar. Ebenso können Rückschlüsse auf Mantelreibungswerte, Spitzendruckwerte und Schichtgrenzen gezogen werden.

Bei den Sondierungen im Bereich des geplanten Brückenbauwerkes (DPH 1 bis 5) wurden südlich der vermuteten Störungszone (DPH 1 bis 3) Endtiefen von 8,3 bis 9,2 m unter Geländeoberkante erzielt. In dieser Tiefe steht das Festgestein in unterschiedlichen Verwitterungsstufen an. Darüber wurden ab Geländeoberkante bis in 3,9...4,8 m unter Geländeoberkante überwiegend Schlagzahlen von 0 bis 2 Schlägen erreicht. In diesem Bereich stehen vor allem Auen- oder Decklehme des Homogenbereiches 2 an. Darunter nehmen die Schlagzahlen allmählich zu, die quartären Kiese und Sande des Homogenbereiches 3 sind mindestens mitteldicht gelagert. Im Bereich der Zersatzböden des Homogenbereiches 6 fallen die Schlagzahlen aufgrund der weichen Konsistenzen bereichsweise ab.

Auch bei den Sondierungen nördlich der Störungszone im Bereich des Brückenbauwerkes (DPH 4 und 5) werden oberflächennah nur sehr geringe Schlagzahlen angetroffen. Erst ab 5,2...8,0 m unter Geländeoberkante werden Schlagzahlen von 10 oder höher erreicht. Die anstehenden Böden besitzen bis in diese Tiefe weiche Konsistenzen oder sind locker gelagert. Mit dem Erreichen tertiärer Schichten (Homogenbereiche 4 und 5) nehmen die Schlagzahlen zu.

In dem Bereich der Bohrungen BK 4 und 5 wurden zudem SPT-Tests durchgeführt. Bei der Bohrung BK 4 wurden drei SPT-Tests durchgeführt, bei der Bohrung BK 5 sechs. In Homogenbereich 2 (Deck- oder Auenlehme) wurden in der Bohrung BK 5 als Schlagzahl  $N_{30}$  35 Schläge gemessen. In Homogenbereich 3 (Bachkiese und -sande) wurden bei beiden Bohrungen 32 bis 34 Schläge gemessen. In Homogenbereich 4 (Tertiäre Sande) 39 bis 53 Schläge, in größerer Tiefe (ab 16,0 m unter Geländeoberkante bei Bohrung BK 4) sogar 90 Schläge. In den tertiären Tonen wurden ab 15,0 m unter Geländeoberkante 80 Schläge gemessen (Bohrung BK 5).



Im Bereich der geplanten Fledermausschutzwand (DPH 21 bis 23) stehen überwiegend tertiäre Böden an (Homogenbereiche 4 und 5). Die Sande sind locker bis mitteldicht gelagert. Die Tone besitzen überwiegend steife Konsistenzen, bei der Sondierung DPH 21 ist ab 8,0 m unter Geländeoberkante ein Anstieg in den Schlagzahlen zu erkennen. Die Sondierung DPH 22 zeigt einen zweiten Anstieg im Bereich 2,1...4,6 m unter Geländeoberkante. Bei der Sondierung DPH 23 variieren die Schlagzahlen weniger stark als bei den anderen Sondierungen, auch hier ist ab ca. 4,0 m unter Geländeoberkante eine Zunahme bei den Schlagzahlen verzeichnet.

Die Sondierungen neben den Aufschlussbohrungen für die geplante Gemeindeverbindungsstraße (DPH 11 bis 15) zeigen oberflächennah Schlagzahlen im Bereich von 1 bis 3 Schlägen. Bei Sondierung DPH 11 werden ab ca. 3,1 m unter Geländeoberkante konstant höhere Schlagzahlen erreicht, bei DPH 13 ab 2,4 m. Die Böden besitzen ab dieser Tiefe steife Konsistenzen bzw. mindestens mitteldichte Lagerung. Die Sondierungen DPH 12 und 14 zeigen zunächst einen Anstieg in den Schlagzahlen, diese fallen allerdings etwa bei der Hälfte der Sondierstrecke wieder ab. Bei der Sondierung DPH 15 werden über die gesamte Sondierstrecke nur geringe Schlagzahlen erreicht, die Böden sind locker gelagert und besitzen weiche Konsistenzen.

### **4.3 Ergebnisse der Laborversuche**

#### **4.3.1 Wassergehalt und Konsistenzgrenzen**

An bindigen Bodenschichten wurden die Konsistenzgrenzen bestimmt und dabei die Plastizität sowie der natürliche Wassergehalt ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 2: Wassergehalt und Konsistenzgrenzen**

Homogenbereich	Probenbezeichnung	Tiefe [m]	Bodenansprache und Konsistenz	w [%]	w <sub>L</sub> [%]	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	DIN 18 196
2/Deck- oder Auenlehme	BK 1/D	1,5	Schluff, stark sandig, schwach tonig, schwach kiesig weich	20,7	36,6	19,1	0,5	TM
2/Deck- oder Auenlehme	BK 3/D	2,0 + 3,0	Schluff, tonig, organisch breiig	70,3	87,4	56,3	0,3	TA
5/Tertiäre Tone	BK 4/D	9,0	Ton, stark sandig steif	12,9	36,7	22,8	0,9	TM
2/Deck- oder Auenlehme	RKB 14/D6	1,8 – 4,5	Schluff, sandig, schwach kiesig, stark organisch weich	51,9	110,1	57,0	0,7	OT
5/Tertiäre Tone	BK 21/D	9,0	Ton, stark sandig, schwach schluffig steif	13,1	26,3	14,5	0,8	TL



Homogenbereich	Probenbezeichnung	Tiefe [m]	Bodenansprache und Konsistenz	w [%]	w <sub>L</sub> [%]	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	DIN 18 196
5/Tertiäre Tone	BK 23/D	2,0	Ton steif	29,9	76,5	49,2	0,95	TA

w: Wassergehalt

w<sub>L</sub>: FließgrenzeI<sub>p</sub>: PlastizitätszahlI<sub>c</sub>: Konsistenzzahl

#### 4.3.2 Korngrößenverteilung

Es wurden Bestimmungen der Korngrößenverteilung durch Nasssiebung und kombinierte Sieb-/Schlammanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der folgenden Tabelle für die jeweiligen Bodenschichten dargestellt.

**Tabelle 3: Korngrößenverteilung**

Homogenbereich	Probenbezeichnung	Tiefe [m]	DIN 18 196	Anteil < 0,063 mm	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	Körnungsverlauf
3/Bachkiese und -sande	BK 2/E	4,2 – 6,3	GU/GT	11,1	-	-	-
6/Zersatzböden	BK 3/E	8,0 – 9,0	SU*/ST*	32,1	-	-	-
3/Bachkiese und -sande	BK 4/E	7,0 – 9,0	SU/ST	12,6	112,5	16,8	intermittierend
4/Tertiäre Sande	BK 4/E	14,0 – 17,5	SU*/ST*	22,0	301,7	10,7	intermittierend
4/Tertiäre Sande	BK 5/E	8,8 – 10,0	SU*/ST*	20,3	-	-	-



Homogenbereich	Probenbezeichnung	Tiefe [m]	DIN 18 196	Anteil < 0,063 mm	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	Körnungsverlauf
4/Tertiäre Sande	BK 5/E	18,0 – 20,0	SU/ST	11,6	-	-	-
4/Tertiäre Sande	RKB 11/E4	1,8 – 4,5	SU*/ST*	22,8	86,3	21,0	intermittierend
4/Tertiäre Sande	RKB 12/E2	0,4 – 5,0	SU/ST	14,2	-	-	-
3/Bachkiese und -sande	RKB 13/D2	0,9 – 1,2	SU*/ST*	25,3	-	-	-
4/Tertiäre Sande	RKB 15/E2	1,1 – 2,2	SU*/ST*	17,0	46,6	7,6	intermittierend
4/Tertiäre Sande	BK 21/E	3,0 – 4,8	SU*/ST*	24,3	128,5	5,8	intermittierend
4/Tertiäre Sande	BK 21/E	4,8 – 6,6	SU/ST	7,9	9,7	1,4	weit gestuft
4/Tertiäre Sande	BK 22/E	8,0 – 10,0	SU/ST	10,7	-	-	-
4/Tertiäre Sande	BK 23/E	7,0 – 8,0	SU*/ST*	18,3	127,9	12,6	intermittierend

C<sub>u</sub>: Ungleichförmigkeitszahl

C<sub>c</sub>: Krümmungszahl

#### 4.3.3 Einaxiale Druckfestigkeit nach Taschenpenetrometer

Um einen Wert für die Größe der einaxialen Druckfestigkeit bindiger Böden zu erhalten, wurden Versuche mit dem Taschenpenetrometer an so weit wie möglich ungestört entnommenen Kernproben durchgeführt.



Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der folgenden Tabelle einschließlich des daraus abgeleiteten Wertes der undrännierten Kohäsion dargestellt:

**Tabelle 4: Ergebnisse der Versuche mit dem Taschenpenetrometer**

Homogenbereich	Probenbezeichnung	Tiefe [m]	Einaxiale Druckfestigkeit $q_u$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Undrännierte Kohäsion $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]
6/Zersatzböden	BK 2/E	6,3 – 8,0	0,183	92
5/Tertiäre Tone	BK 4/D	9,0	0,342	171
5/Tertiäre Tone	BK 5/E	15,0 – 17,0	0,492	246
5/Tertiäre Tone	BK 21/D	8,0	0,433	217

#### 4.4 Hydrologische Verhältnisse

Mit den durchgeführten Erkundungen wurde Bodenwasser angetroffen. Die einzelnen Wasserstände sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

**Tabelle 5: Wasserstände**

Aufschluss Nr.	Endteufe [m]	Ansatzpunkt [m ü. NN]	Bodenwasser angebohrt		Erkundungsendwasserstand	
			[m u. GOK]	[m ü. NN]	[m u. GOK]	[m ü. NN]
BK 1	20,0	347,89	2,6	345,29	2,6	345,29
BK 2	20,0	347,41	2,2	345,21	2,2	345,21
BK 3	20,0	347,44	2,2	345,24	2,2	345,24
BK 4	17,5	347,52	2,4	345,12	2,4	345,12



Aufschluss Nr.	Endteufe [m]	Ansatzpunkt [m ü. NN]	Bodenwasser angebohrt		Erkundungs- endwasserstand	
			[m u. GOK]	[m ü. NN]	[m u. GOK]	[m ü. NN]
BK 5	20,0	347,86	2,4	345,46	2,4	345,46
RKB 14	5,0	350,24	3,5	346,74	3,5	346,74
RKB 15	5,0	348,33	1,2	347,13	1,2	347,13
BK 21	10,0	352,94	6,0	346,94	6,0	346,94
BK 22	10,0	352,50	7,3	345,20	6,8	345,70
BK 23	10,0	350,16	4,5	345,66	4,5	345,66
DPH 1	9,2	347,89	0,5	347,39	0,5	347,39
DPH 2	8,3	347,41	1,2	346,21	1,2	346,21
DPH 3	9,0	347,44	0,7	346,74	0,7	346,74
DPH 4	15,6	347,52	0,5	347,02	0,5	347,02
DPH 5	17,3	347,86	1,1	346,76	1,1	346,76
DPH 13	7,0	348,33	0,5	347,83	0,5	347,83
DPH 14	7,0	350,24	2,9	347,34	2,9	347,34
DPH 15	7,0	348,33	1,2	347,13	1,2	347,13
DPH 21	10,0	352,94	3,4	349,54	3,4	349,54
DPH 22	10,0	352,50	3,8	348,70	3,8	348,70
DPH 23	11,0	350,16	2,6	347,56	2,6	347,56

Hauptgrundwasserleiter sind die Böden der Homogenbereiche 3 und 4.

Maßgebend für das Gefälle der Grundwasseroberfläche ist die Vorflut. Im vorliegenden Fall ist dies der nahegelegene Wenzelbach.



Der Grundwasserspiegel ist jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Die Schwankungsbreite wird von der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet und damit auch von der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung und der Verdunstung beeinflusst.

Im vorliegenden Fall wird die Schwankung des Grundwasserspiegels auch maßgeblich durch Infiltration aus dem nahegelegenen Gewässer bei Hochwasserereignissen bestimmt.

Über Schwankungsbreiten des Grundwassers liegen im Untersuchungsgebiet keine Erkenntnisse vor.

Aus den Bohrungen BK 1, 2 und 3 wurde jeweils eine Wasserprobe nach DIN 4030 entnommen und nach dem Referenzverfahren untersucht. Gemäß DIN 4030-2:2008-06 sind alle Proben als nicht betonangreifend einzustufen.

Hinsichtlich der Stahlaggressivität nach DIN 50929 Teil 3 sind die untersuchten Wasserproben wie folgt zu bewerten:

Die Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen in dem untersuchten Grundwasser der Probe BK 1 – GWP ist für Mulden- und Lochkorrosion im Unterwasserbereich sowie an der Wasser/Luft-Grenze als gering, für Flächenkorrosion als sehr gering zu bewerten. Die Güte von Deckschichten auf feuerverzinkten Stählen ist im Unterwasserbereich als sehr gut, an der Wasser/Luft-Grenze als gut zu beurteilen.

Die Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen in dem untersuchten Grundwasser der Probe BK 2 – GWP ist für Mulden- und Lochkorrosion im Unterwasserbereich sowie an der Wasser/Luft-Grenze ebenfalls als gering, für Flächenkorrosion als sehr gering zu bewerten. Die Güte von Deckschichten auf feuerverzinkten Stählen ist im Unterwasserbereich als sehr gut, an der Wasser/Luft-Grenze als befriedigend zu beurteilen.

Die Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen in dem untersuchten Grundwasser der Probe BK 3 – GWP ist für Mulden- und Lochkorrosion sowie Flächenkorrosion im Unterwasserbereich als sehr gering zu bewerten. An der Wasser/Luft-Grenze ist die Korrosionswahrscheinlichkeit für Mulden- und Lochkorrosion als gering, für Flächenkorrosion als sehr gering zu bewerten. Die Güte von Deckschichten auf feuerverzinkten Stählen ist im Unterwasserbereich als sehr gut, an der Wasser/Luft-Grenze als gut zu beurteilen.





## 5 BEWERTUNG DER GEOTECHNISCHEN BEFUNDE

### 5.1 Beurteilung der Baugrundverhältnisse

Auf Grundlage der durchgeführten Felduntersuchungen, der örtlichen Bodenansprachen und der Ergebnisse der Feld- und Laborversuche kann die in der folgenden Tabelle dargestellte Klassifizierung der einzelnen Bodenschichten nach den geltenden Normen bzw. rein informativ nach der nicht mehr gültigen DIN 18 300 (2012) vorgenommen werden:

**Tabelle 6: Bodenklassifizierung**

Homogenbereich	Bodengruppe nach DIN 18 196	Bodenklasse nach DIN 18 300 (2012)	Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 17
1/Auffüllungen	[UL/UM]	4	F3
2/Deck- oder Auenlehme	UL/UM//TL/TM/ TA/OU/OT	4, 5	F3
3/Bachkiese und -sande	(SE/SI/SW)/SU/ST/ SU*/ST*/GI/GW/GU/ GT/GU*/(OH)	3, 4	F2 – F3
4/Tertiäre Sande	(SE/SI/SW)/SU/ST/ SU*/ST*	3, 4	F2 – F3
5/Tertiäre Tone	TL/TM/TA/UL/UM	4, (5)	F3
6/Zersatzböden	UL/UM/SU*/ST*	4	F3
7/Festgestein	-	7	-

() untergeordnet

Als wesentliches Ergebnis kann ein vereinfachtes Berechnungsmodell des Baugrundes ausgearbeitet werden. Die Vereinfachung bezieht sich dabei auf die geometrischen Annahmen über den Schichtenaufbau und -verlauf sowie auf die ähnlichen bodenmechanischen Baugrundeigenschaften.



Für das vorliegende Untersuchungsgrundstück ergibt sich folgendes Baugrundmodell:

**Tabelle 7: Vereinfachtes Baugrundmodell**

Homogenbereich	Unterhalb Kote [m ü. NN]	Lagerungsdichte bzw. Konsistenz	Bautechnische Eignung als Baugrund für Gründungen
1/Auffüllungen	347,9 (lokal)	weich	ungeeignet
2/Deck- oder Auenlehme	346,7...359,2	breiig bis halbfest	ungeeignet
3/Bachkiese und -sande	342,5...346,1	locker bis mitteldicht	bei mindestens mitteldichter Lagerung geeignet
4/Tertiäre Sande	336,5...358,4	locker bis dicht	bei mindestens mitteldichter Lagerung geeignet
5/Tertiäre Tone	336,2...348,4	steif bis halbfest, z. T. fest	bei mindestens steifer Konsistenz geeignet
6/Zersatzböden	340,1...341,1	weich bis halbfest	bei mindestens steifer Konsistenz geeignet
7/Festgestein	338,9...339,9	dicht	geeignet

Die in der Tabelle angegebenen Höhen der Schichtgrenzen weisen Spannen auf. Bei geotechnischen Nachweisen ist jeweils die ungünstigste Schichtung des Baugrundes zu berücksichtigen. Dabei kann sich je nach Art der zu führenden Standsicherheits-, Verformungs- oder sonstigen Berechnung ein unterschiedliches Berechnungsprofil ergeben.



## 5.2 Bodenmechanische Kennwerte

In der nachfolgenden Tabelle sind geschätzte mittlere bodenmechanische Kennwerte als charakteristische Werte für erdstatische Berechnungen zusammengefasst. Sie basieren auf Laboruntersuchungen, örtlichen Erfahrungen, den Angaben der DIN 1055 und DIN 1054 sowie den Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben EAB und den Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen (EAU 2004).



Tabelle 8: Bodenmechanische Kennwerte

Homogenbereich	Wichte erdfeucht $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wichte unter Auftrieb $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Winkel d. inneren Reibung $\varphi'$ [°]	Kohäsion $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Kohäsion, undrännert $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Steifemodul $E_s$ Erstbelastung für Laststufe 100 bis 200 kN/m <sup>2</sup> [MN/m <sup>2</sup> ]	Durchlässigkeitsbeiwert $k$ [m/s]
1/Auf-füllungen	16,5 - 18,5 <sup>1)</sup>	8,5 - 9,5 <sup>1)</sup>	22,5 - 27,5 <sup>1)</sup>	0 - 5 <sup>1)</sup>	15 - 50 <sup>1)</sup>	2 - 6 <sup>1)</sup>	1 · 10 <sup>-5</sup> - 1 · 10 <sup>-9</sup>
2/Deck- oder Auenlehme	15 - 18 <sup>1)</sup>	8,5 - 9,5 <sup>1)</sup>	17,5 - 27,5 <sup>1)</sup>	0 - 10 <sup>1)</sup>	5 - 50 <sup>1)</sup>	1 - 6 <sup>1)</sup>	1 · 10 <sup>-5</sup> - 1 · 10 <sup>-11</sup>
3/Bachkiese und -sande	17 - 20	8,5 - 11,5	32,5 - 37,5	0	-	10 - 40	1 · 10 <sup>-4</sup> - 1 · 10 <sup>-11</sup>
4/Tertiäre Sande	17 - 20	8,5 - 11,5	32,5 - 37,5	0	-	60 - 80	1 · 10 <sup>-4</sup> - 1 · 10 <sup>-9</sup>
5/Tertiäre Tone	18 - 19 <sup>1)</sup>	9 - 10 <sup>1)</sup>	17,5 - 22,5 <sup>1)</sup>	10 - 20 <sup>1)</sup>	75 - 250 <sup>1)</sup>	10 - 25 <sup>1)</sup>	1 · 10 <sup>-5</sup> - 1 · 10 <sup>-10</sup>
6/Zersatzböden	16,5 - 18,5 <sup>1)</sup>	8,5 - 10 <sup>1)</sup>	25 - 30 <sup>1)</sup>	0 - 10 <sup>1)</sup>	15 - 100 <sup>1)</sup>	10 - 30	1 · 10 <sup>-5</sup> - 1 · 10 <sup>-9</sup>
7/Festgestein	21 - 26	11 - 16	40	50	- <sup>2)</sup>	> 200	- <sup>2)</sup>

1) konsistenzabhängig

2) keine Erfahrungswerte vorhanden



Soweit möglich wurden als bodenmechanische Kennwerte vorsichtige Schätzwerte des Mittelwertes nach DIN 4020 angegeben. Soweit in der Tabelle für einzelne Kennwerte Spannen angegeben worden sind, kann im Regelfall mit den Mittelwerten gerechnet werden. Bei Nachweis des Grenzzustandes des Verlustes der Lagesicherheit, des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen sind jedoch die jeweils ungünstigsten Werte anzusetzen.

Die für den Homogenbereich 7 angegebene Kohäsion ist eine sogenannte technische Kohäsion, ein rechnerischer Wert für die Gebirgsfestigkeit, dessen Größe Einflüsse wie Durchtrennungsgrad des Gebirges und Beschaffenheit der Trennflächen berücksichtigt. Die gesamte Scherfestigkeit, die sich aus den Angaben von Reibungswinkel und technischer Kohäsion ergibt, basiert auf der Modellvorstellung eines stark durchtrennten Gebirgskörpers, in dem sich zusammenhängende Scherfugen ausbilden können, auf denen ein Scherwiderstand wirksam ist.

### **5.3 Eigenschaften und Kennwerte für Erdarbeiten (Homogenbereiche)**

Homogenbereiche sind Abschnitte, welche für einsetzbare Erdbaugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweisen.

In diesem Sinne wurden im vorliegenden Bericht Homogenbereiche definiert und diesen den erkundeten Bodenschichten zugeordnet. Abhängig von dem gewählten Bauverfahren kann es jedoch sinnvoll sein, dass mehrere Homogenbereiche für Ausschreibung und Bau durchführung zusammengefasst werden. Dies ist durch den verantwortlichen Planer vorzunehmen, gegebenenfalls in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik.

In der folgenden Tabelle sind die nach DIN 18 300 anzugebenden Eigenschaften und Kennwerte der einzelnen Homogenbereiche enthalten, soweit dies auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse möglich ist.

**Tabelle 9: Eigenschaften und Kennwerte von Böden**

Homogenbereich	Korngrößenverteilung	Massenanteil [%]			Dichte $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Scherfestigkeit undrännert $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Wassergehalt $w$ [%]	Plastizitätszahl $I_p$ [%]	Konsistenzzahl $I_c$ [%]	Bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [%]	Organischer Anteil $V_{GI}$ [%]	Boden- gruppe nach DIN 18 196
		Steine > 63 mm	Blöcke > 200 mm	große Blöcke > 630 mm								
1/Auffüllungen	..2)	$\leq 8^{3)}$	$\leq 5^{3)}$	$\leq 2^{3)}$	1,6 – 1,8	15 - 50 <sup>3)</sup>	..2)	2 – 10 <sup>3)</sup>	50 – 75 <sup>3)</sup>	..1)	$\leq 6^{3)}$	[UL/UM]
2/Deck- oder Auen- lehme	..2)	$\leq 5^{3)}$	$\leq 2^{3)}$	$\leq 1^{3)}$	1,8 – 2,0	15 - 50 <sup>3)</sup>	15 – 75	5 – 60	5 – 100	..1)	$\leq 20^{3)}$	UL/UM/ TL/TM/ TA/OU/ OT
3/Bach- kiese und -sande	s. Anlage 4	$\leq 5^{3)}$	$\leq 3^{3)}$	$\leq 2^{3)}$	1,8 – 2,1	..3)	10 – 15	..1)	..1)	15 – 85 <sup>3)</sup>	$\leq 10^{3)}$	SE/SI/ SW/SU/ ST/ SU*/ST* /GI/GW/ GU/GT/ GU*/ (OH)
4/Tertiäre Sande	s. Anlage 4	$\leq 10^{3)}$	$\leq 5^{3)}$	$\leq 2^{3)}$	1,8 – 2,1	..3)	5 – 20	..1)	..1)	15 – 85 <sup>3)</sup>	$\leq 6^{3)}$	SE/SI/ SW/SU/

Homogenbereich	Korngrößenverteilung	Massenanteil [%]			Dichte $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Scherfestigkeit undrännert $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Wassergehalt $w$ [%]	Plastizitätszahl $I_p$ [%]	Konsistenzzahl $I_c$ [%]	Bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [%]	Organischer Anteil $V_{GI}$ [%]	Boden- gruppe nach DIN 18 196
		Steine > 63 mm	Blöcke > 200 mm	große Blöcke > 630 mm								
												ST/ SU*/ST*
5/Tertiäre Tone	-2)	≤ 4 <sup>3)</sup>	≤ 2 <sup>3)</sup>	≤ 1 <sup>3)</sup>	1,8 – 2,0	50 – 700 <sup>3)</sup>	10 – 30	10 – 50	50 – 130	-1)	≤ 6 <sup>3)</sup>	TL/TM/ (TA)/UL/ UM
6/Zersatz- böden	s. Anlage 4	≤ 10 <sup>3)</sup>	≤ 8 <sup>3)</sup>	≤ 5 <sup>3)</sup>	1,7 – 2,0	15 – 100 <sup>3)</sup>	5 – 10	2 – 10 <sup>3)</sup>	50 – 100 <sup>3)</sup>	-1)	≤ 3 <sup>3)</sup>	UL/UM/ SU*/ST*

- 1) Bei Böden dieser Art keine Angabe möglich
- 2) Mit den vorliegenden Feld- und Laboruntersuchungen nicht ermittelt
- 3) Abgeschätzt nach Erfahrungswerten

**Tabelle 10: Eigenschaften und Kennwerte von Fels**

Homogenbereich	Benennung nach DIN EN ISO 14 689-1 a) genetische Einheit b) geologische Struktur c) Korngröße d) mineralogische Zusammensetzung e) Poren- und Hohlraumanteil	Dichte $\rho$ [mg/m <sup>3</sup> ]	Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit	einaxiale Druckfestigkeit des Gesteines [MN/m <sup>2</sup> ]	Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform
7/Festgestein	a) magmatisch, plutonisch b) massig c) mittel- bis grobkörnig d) Feldspat (z. T. porphyrisch), Quarz, Glimmer e) sekundär durch Verwitterung	2,6 – 2,8 <sup>2)</sup>	BK 1, BK 2: frisch, wenig veränderlich  BK 3: stark entfestigt	0,5 – 80 <sup>2)</sup>	- <sup>1)</sup>  sehr engständig bis mittelständig prismatisch bis vielflächig

1) Nicht ermittelt

2) Abgeschätzt nach Erfahrungswerten





#### **5.4 Eigenschaften und Kennwerte für Bohrarbeiten (Homogenbereiche)**

Homogenbereiche sind Abschnitte, welche für Bohrarbeiten vergleichbare Eigenschaften aufweisen.

In diesem Sinne wurden im vorliegenden Bericht Homogenbereiche definiert und diesen den erkundeten Bodenschichten zugeordnet. Abhängig von dem gewählten Bauverfahren kann es jedoch sinnvoll sein, dass mehrere Homogenbereiche für Ausschreibung und Bau durchführung zusammengefasst werden. Dies ist durch den verantwortlichen Planer vorzunehmen, gegebenenfalls in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik.

In der folgenden Tabelle sind die nach DIN 18 301 (Bohrarbeiten) anzugebenden Eigenschaften und Kennwerte der einzelnen Homogenbereiche enthalten, soweit dies auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse möglich ist.

Tabelle 11: Eigenschaften und Kennwerte von Böden

Homogenbereich	Korngrößenverteilung (Körnungsband)	Massenanteil [%]			Kohäsion $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Scherfestigkeit undränniert $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Wassergehalt $w$ [%]	Plastizitätszahl $I_p$ [%]	Konsistenzzahl $I_c$ [%]	Bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [%]	LCPC-Abraivitätsindex LAK [g/t]	Boden- gruppe nach DIN 18 196
		Steine > 63 mm	Blöcke > 200 mm	große Blöcke > 630 mm								
1/Auf-füllungen	- <sup>2)</sup>	$\leq 10^{3)}$	$\leq 5^{3)}$	$\leq 2^{3)}$	0 – 5 <sup>3)</sup>	15 – 50 <sup>3)</sup>	- <sup>2)</sup>	2 – 10 <sup>3)</sup>	50 – 75 <sup>3)</sup>	- <sup>1)</sup>	0 – 100 <sup>3)</sup>	[UL/UM]
2/Deck- oder Auen- lehme	- <sup>2)</sup>	$\leq 4^{3)}$	$\leq 2^{3)}$	$\leq 1^{3)}$	0 – 15 <sup>3)</sup>	15 – 50 <sup>3)</sup>	15 – 75	5 – 60	5 – 100	- <sup>1)</sup>	0 – 100 <sup>3)</sup>	UL/UM/ TL/TM/ TA/OU/ OT
3/Bach- kiese und -sande	s. Anlage 4	$\leq 10^{3)}$	$\leq 8^{3)}$	$\leq 5^{3)}$	0 <sup>3)</sup>	- <sup>3)</sup>	10 – 15	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>	15 – 85 <sup>3)</sup>	250 – 500 <sup>3)</sup>	SE/SI/ SW/SU/ ST/ SU*/ST* /GI/GW/ GU/GT/ GU*/ (OH)
4/Tertiäre Sande	s. Anlage 4	$\leq 10^{3)}$	$\leq 5^{3)}$	$\leq 2^{3)}$	0 <sup>3)</sup>	- <sup>3)</sup>	5 – 20	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>	15 – 100 <sup>3)</sup>	250 – 500 <sup>3)</sup>	SE/SI/ SW/SU/

Homogenbereich	Korngrößenverteilung (Körnungsband)	Massenanteil [%]			Kohäsion $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Scherfestigkeit undrännert $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Wassergehalt $w$ [%]	Plastizitätszahl $I_p$ [%]	Konsistenzzahl $I_c$ [%]	Bezogene Lagerungsdichte $I_D$ [%]	LCPC-Abraivitätsindex LAK [g/t]	Boden- gruppe nach DIN 18 196
		Steine > 63 mm	Blöcke > 200 mm	große Blöcke > 630 mm								
												ST/ SU*/ST*
5/Tertiäre Tone	- <sup>2)</sup>	≤ 4 <sup>3)</sup>	≤ 2 <sup>3)</sup>	≤ 1 <sup>3)</sup>	5 – 15 <sup>3)</sup>	50 – 700 <sup>3)</sup>	10 – 30	10 – 50	50 – 130	- <sup>1)</sup>	50 – 100 <sup>3)</sup>	TL/TM/ (TA)/UL/ UM
6/Zersatz- böden	s. Anlage 4	≤ 10 <sup>3)</sup>	≤ 8 <sup>3)</sup>	≤ 5 <sup>3)</sup>	0 – 10 <sup>3)</sup>	15 – 100 <sup>3)</sup>	5 – 10	2 – 10 <sup>3)</sup>	50 – 100 <sup>3)</sup>	- <sup>1)</sup>	50 – 100 <sup>3)</sup>	UL/UM/ SU*/ST*

1) Bei Böden dieser Art keine Angabe möglich

2) Mit den vorliegenden Feld- und Laboruntersuchungen nicht ermittelt

3) Abgeschätzt nach Erfahrungswerten

**Tabelle 12: Eigenschaften und Kennwerte von Fels**

Homogenbereich	Benennung nach DIN EN ISO 14 689-1 a) genetische Einheit b) geologische Struktur c) Korngröße d) mineralogische Zusammensetzung e) Poren- und Hohlraumanteil	Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit	einaxiale Druckfestigkeit des Gesteines	Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Cerchar-Abrasivitätsindex  CAI
7/Festgestein	a) magmatisch, plutonisch b) massig c) mittel- bis grobkörnig d) Feldspat (z.T. porphyrisch), Quarz, Glimmer e) sekundär durch Verwitterung	BK 1, BK 2: frisch, wenig veränderlich  BK 3: stark entfestigt	0,5 – 80 <sup>2)</sup>	- <sup>1)</sup>	3,0 – 6,0

1) Nicht ermittelt

2) Abgeschätzt nach Erfahrungswerten



## **5.5 Bewertung der Grundwasserverhältnisse**

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen können folgende maßgebende Grundwasserstände für den Untersuchungsort abgeleitet werden:

Mittlerer Grundwasserstand: 345,1...349,5 m ü. NN

Für Bauwerksabdichtungen und statische Nachweise ist ein Bemessungswasserstand festzulegen. Dieser ist definiert als der Grundwasserhöchststand bzw. Bemessungsgrundwasserstand (HGW), der sich witterungsbedingt einstellen kann oder als der Bemessungshochwasserstand (HHW), wobei der höhere Wert maßgebend ist. Bei der Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes sind wasserwirtschaftliche Einflussfaktoren mit ihren Auswirkungen auf den Grundwasserstand zu berücksichtigen.

Da im vorliegenden Fall das Grundwasser relativ oberflächennah vorliegt und keine direkten Informationen zu den natürlichen Schwankungsbreiten vorliegen, ist der Bemessungsgrundwasserstand mit der Geländeoberfläche gleichzusetzen.

## **5.6 Bewertung der Erdbebentätigkeit**

Der Untersuchungsstandort liegt nach DIN EN 1998-1/NA in keiner Erdbebenzone bzw. in der Erdbebenzone 0 und damit in einem Gebiet sehr geringer Seismizität. In Fällen sehr geringer Seismizität müssen die Vorschriften der Reihe EN 1998 nicht berücksichtigt werden.

# **6 ALTLASTENUNTERSUCHUNG**

## **6.1 Grenzwertbetrachtung**

Die in Anlage 4 aufgelisteten Untersuchungsergebnisse unterliegen auch bei sorgfältigster Analyse einer gewissen Zufälligkeit bzw. sind nur unter gewissen Einschränkungen als absolut repräsentativ zu werten.

Auch bei sorgfältigster Analyse ist von einem geringfügigen Schwankungsbereich der Einzelergebnisse auszugehen. Die vorgenannte Relativierung der exakten Werte soll eine Überbewertung des Einzelwertes verhindern. Grundsätzlich sind die Werte jedoch im Hinblick auf ihre Größenordnung als tatsächliche Werte zu betrachten.



## **6.2 Bewertungsgrundlagen Schutzgüter**

Nach Inkrafttreten des Bundesbodenschutzgesetzes und der dazugehörigen Bundesbodenschutzverordnung stellen die im Anhang der Bundesbodenschutzverordnung genannten Prüf- und Maßnahmenwerte die gesetzliche Grundlage für die Beurteilung von Bodenuntersuchungen dar. Dabei werden für die einzelnen Gefährdungspfade (Boden-Mensch, Boden-Nutzpflanze und Boden-Grundwasser) Prüf- und Maßnahmenwerte definiert.

Liegt der Gehalt oder die Konzentration eines Schadstoffes unterhalb des jeweiligen Prüfwertes, ist insoweit der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt.

Bezüglich der Beurteilung des Ausbreitungspfades Boden-Grundwasser wird in der Bodenschutzverordnung die Bewertung auf der Grundlage von Sickerwasserproben bzw. Eluaten vorgesehen.

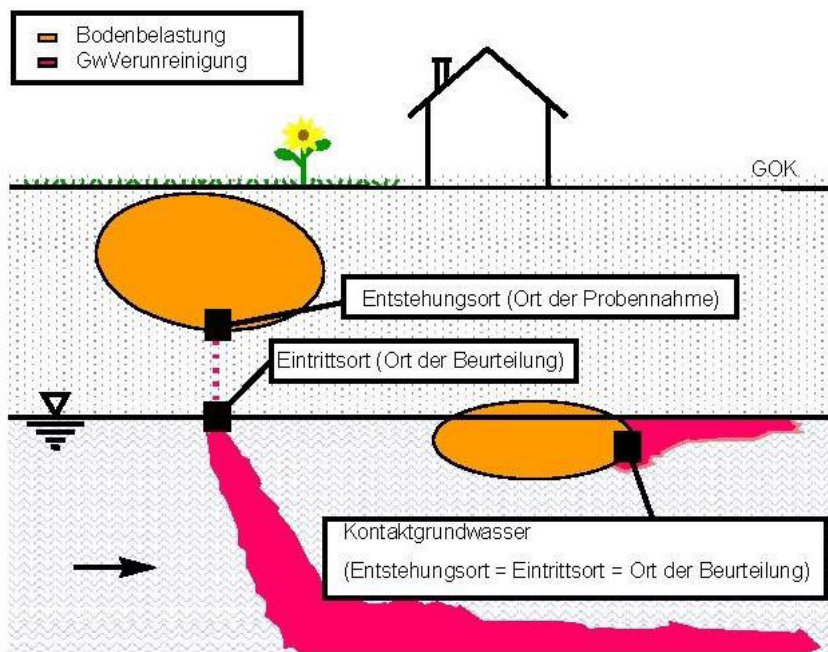
Zur Bewertung der Untersuchungsergebnisse wird deshalb das LfW Merkblatt 3.8/1 vom 30.10.2001 des Bay. Landesamtes für Wasserwirtschaft herangezogen. Dieses Merkblatt hat den Titel „Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer“.

Das Merkblatt gibt Hinweise für die Untersuchung und Bewertung des Wirkungspfades Boden-Gewässer bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen nach dem bundeseinheitlichen Bodenschutzrecht sowie für die Untersuchung und Bewertung von Gewässerverunreinigungen nach landesspezifischem Wasserrecht. Damit werden in fachlicher Hinsicht die Vorgaben des Bundesbodenschutzgesetzes, der Bundesbodenschutzverordnung, des Bayerischen Bodenschutzgesetzes und der Bayerischen Bodenschutzverwaltungsverordnung für den Wirkungspfad Boden-Gewässer sowie die Regelungen des BayWG für Gewässerverunreinigungen konkretisiert.

Für die Bewertung analytisch-chemischer Befunde von Bodenuntersuchungen bildet ein zweistufiges Wertesystem die Grundlage. Die Hilfwerte für Boden dienen zur Immissionsabschätzung und damit zur Sickerwasserprognose. Sie werden als Entscheidungshilfe für die Gefährdungsabschätzung herangezogen. Bei einigen anorganischen Stoffen haben die Hilfwerte 2 vor allem eine analysensteuernde Funktion für die weitergehenden Untersuchungen. Anders als bei den Prüf- und Stufenwerten kann die Überschreitung von Hilfwerten keine unmittelbare Grundlage für die Anordnung von Untersuchungen oder (Sanierungs-)Maßnahmen sein.

Die Beurteilung und Bewertung von Altlasten und schädlichen Bodenverunreinigungen erfolgt über die Sickerwasserprognose, wobei in der BBodSchV Prüfwerte angegeben sind.

Hierbei wird zwischen dem Entstehungsort der Verunreinigung (Ort der Probenahme) und dem Eintrittsort in die gesättigte Bodenwasserzone (Ort der Beurteilung) unterschieden, wie die nachfolgende Abbildung aus dem LfW-Merkblatt 3.8/1 verdeutlicht.



**Abbildung 1: Ort der Probenahme und Ort der Beurteilung**

In der Sickerwasserprognose ist gutachterlich zu bewerten, ob am Übergang von der gesättigten zur ungesättigten Bodenwasserzone (Ort der Beurteilung) eine Überschreitung der Prüfwerte gemäß Bundesbodenschutzverordnung zu erwarten ist.

Die Gefahr einer erheblichen Grundwasserverunreinigung besteht grundsätzlich nicht, wenn die untersuchten Gesamtstoffgehalte in repräsentativen Proben unter den Hilfwerten 1 liegen.



Werden bei Gesamtstoffgehalten im belasteten Boden Konzentrationen über dem Hilfswert 1 nachgewiesen, so kann bei den lipophilen organisch-chemischen Stoffgruppen (MKW, PCB, etc.) von einer Prüfwertüberschreitung im Sickerwasser am Ort der Probenahme ausgegangen werden.

Erfolgt die Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Materialuntersuchungen, so ist bei Prüfwertüberschreitungen am Ort der Probenahme stets eine Transportprognose durchzuführen. Die Transportprognose umfasst eine stark vereinfachte Abschätzung der Rückhaltungswirkung der ungesättigten Zone sowie der mikrobiologischen Abbauprozesse.

Maßgeblich bei dieser Abschätzung ist die Mächtigkeit der unbelasteten Grundwasserüberdeckung, Durchlässigkeitsbeiwert und Bodenart, Grundwasserneubildung bzw. -versiegelung, mikrobiologische Abbauprozesse sowie gegebenenfalls weitere Einflussfaktoren.

### **6.3 Bewertungsgrundlagen Entsorgung**

#### **6.3.1 Allgemeines zur Entsorgung von Abfällen**

Die Entsorgung von Abfällen wird durch Gesetze, Verordnungen und Satzungen auf Bundesebene, Länderebene und Kommunalebene geregelt.

Mit dem Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und zur Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24.02.2012 ist in § 1 festgeschrieben, dass der Zweck des Gesetzes ist, die Kreislaufwirtschaft: zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Menschen und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen.

Die Abfallhierarchie dieses Gesetzes lautet gemäß § 6:

- (1) Maßnahmen der Vermeidung und der Abfallbewirtschaftung stehen in folgender Rangfolge:
  1. Vermeidung,
  2. Vorbereitung zur Wiederverwendung,
  3. Recycling (*RC-Leitfaden & LAGA M20*),





4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung (*Leitfaden zur Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen zu den Eckpunkten*),
5. Beseitigung *Deponieverordnung*,

*(die in Bayern anzuwendenden untergesetzlichen Regelwerke für jede Hierarchieebene sind in Klammern aufgeführt und kursiv gesetzt).*

(2) Ausgehend von der Rangfolge nach Absatz 1 soll nach Maßgabe der §§ 7 und 8 diejenige Maßnahme Vorrang haben, die den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen unter Berücksichtigung des Vorsorge- und Nachhaltigkeitsprinzips am besten gewährleistet. Für die Betrachtung der Auswirkungen auf Mensch und Umwelt nach Satz 1 ist der gesamte Lebenszyklus des Abfalls zugrunde zu legen. Hierbei sind insbesondere zu berücksichtigen

1. die zu erwartenden Emissionen,
2. das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen,
3. die einzusetzende oder zu gewinnende Energie sowie
4. die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, in Abfällen zur Verwertung oder in daraus gewonnenen Erzeugnissen.

Die technische Möglichkeit, die wirtschaftliche Zumutbarkeit und die sozialen Folgen der Maßnahme sind zu beachten.

In § 9 wird das Getrennthalten von Abfällen zur Verwertung und ein Vermischungsverbot festgelegt. Dabei ist es in der Regel erforderlich, die Abfälle getrennt zu halten und zu behandeln.

### **6.3.2 LAGA M20**

Die Zuordnungswerte nach LAGA M20 geben Hinweise zu einer möglichen Wiederverwendung von Boden mit den entsprechenden Schadstoffgehalten.



Hierbei bedeutet im Einzelnen:

- Die Gehalte bis zum Zuordnungswert Z 0 kennzeichnen natürlichen Boden. Bei Unterschreitung des Zuordnungswertes Z 0 ist im Allgemeinen ein uneingeschränkter Einbau von Boden möglich.
- Die Zuordnungswerte Z 1.1 und gegebenenfalls Z 1.2 stellen die Obergrenze für den offenen Einbau unter Berücksichtigung bestimmter Nutzungseinschränkungen dar. Maßgebend für die Festlegung der Werte ist in der Regel das Schutzgut Grundwasser. Bei Einhaltung der Z 1.1-Werte ist selbst unter ungünstigen hydrogeologischen Voraussetzungen davon auszugehen, dass keine nachteiligen Veränderungen des Grundwassers auftreten. Aufgrund der im Vergleich zu den Zuordnungswerten Z 1.1 höheren Gehalte ist bei der Verwertung bis zur Obergrenze Z 1.2 ein Erosionsschutz (z. B. geschlossene Vegetationsdecke) erforderlich.
- Für die Verwertung ist zu folgern, dass bei Unterschreitung der Zuordnungswerte Z 1 (Z 1.1 und gegebenenfalls Z 1.2) ein offener Einbau von Boden in Flächen möglich ist, die im Hinblick auf ihre Nutzung als unempfindlich anzunehmen sind. Dies gilt unter anderem für Parkanlagen, sofern diese eine geschlossene Vegetationsdecke haben. In der Regel sollte der Abstand zwischen der Schüttkörperbasis und dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand mindestens 1 m betragen.
- Die Zuordnungswerte Z 2 stellen die Obergrenze für den Einbau von Boden mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen dar. Dadurch soll der Transport von Inhaltsstoffen in den Untergrund und das Grundwasser verhindert werden. Bei der Unterschreitung der Zuordnungswerte Z 2 ist ein Einbau von Boden unter definierten technischen Sicherungsmaßnahmen, wie z. B. als Tragschicht unter wasserundurchlässiger Deckschicht (Beton, Asphalt, Pflaster) und gebundenen Tragschichten möglich. Der Abstand zwischen der Schüttkörperbasis und dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand sollte mindestens 1 m betragen.

### **6.3.3 Leitfaden Verfüllung**

Grundlage der Bewertung ist der Leitfaden zur Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen, der in der Fortschreibung 2019 am 01.03.2020 vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit eingeführt wurde.

Dieser Leitfaden regelt die Rahmenbedingungen in Bayern für die sonstige Verwertung durch Verfüllung gemäß Hierarchieebene 4 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.



In Abhängigkeit der Standortempfindlichkeit werden verschiedene Kategorien festgelegt, bei denen Zuordnungswerte angegeben werden.

Zuordnungswerte sind zulässige Stoffkonzentrationen im Eluat bzw. zulässige Stoffgehalte im Feststoff, die für den Einbau eines Abfalls festgelegt sind, damit dieser unter den für die jeweilige Kategorie vorgegebenen Anforderungen eingebaut/verwertet werden kann.

Die Zuordnungswerte und die zu untersuchenden Parameter sind in der tabellarischen Einstufung in der Anlage 5 aufgeführt.

Maßgeblich für die Einstufung je Laborprobe ist der jeweils höchste Zuordnungswert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen der erlaubten Verfüllung mit Bauschutt für die Parameter Chlorid, Sulfat, die elektrische Leitfähigkeit, Chrom gesamt und Quecksilber höhere Werte angegeben sind, die in der Tabelle in dem jeweiligen Feld an zweiter Stelle hinter dem Schrägstrich stehen.

#### **6.3.4 Deponieverordnung**

Eine Beseitigung auf einer Deponie kommt als letzte Hierarchieebene zur Anwendung.

Bei Überschreitungen des Zuordnungswertes Z 2 gemäß „RC-Leitfaden“, dem „Eckpunktepapier“ und der LAGA M20 (1997) ist eine Entsorgung auf diesem Wege nicht möglich. Es wird zur Einstufung des Materials die Deponieverordnung (2009) herangezogen. Weiterhin gelten in Bayern zusätzlich die ergänzenden Richtwerte für Deponie der Deponieklasse I und II gemäß Bayerischem Landesamt für Umwelt (2009). Die jeweiligen Zuordnungswerte fallweise sind der Einstufungstabelle in der Anlage zu entnehmen.



### 6.3.5 Stufen- und Zuordnungswerte

Nachfolgend sind zur Orientierung Stufen- und Zuordnungswerte zusammengestellt:

**Tabelle 13: Stufen- und Zuordnungswerte Altlastbeurteilung Feststoffe**

Parameter	Dimension	Werte gemäß Merkblatt LfW 3.8/1		Zuordnungswerte nach LAGA M20			
		Hilfswert 1	Hilfswert 2	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
pH-Wert <sup>1)</sup>	-			5,5 - 8	5,5 - 8	5 - 9	-
EOX	mg/kg	-	-	1	3	10	15
MKW	mg/kg	100	1.000	100	300	500	1.000
ΣPAK	mg/kg	5	25	1	5 <sup>2)</sup>	15 <sup>3)</sup>	20
ΣPCB	mg/kg	1	10	0,02	0,1	0,5	1
Arsen	mg/kg	10	50	20	30	50	150
Blei	mg/kg	100	500	100	200	300	1.000
Cadmium	mg/kg	10	50	0,6	1	3	10
Chrom (ges.)	mg/kg	50	1.000	50	100	200	600
Kupfer	mg/kg	100	500	40	100	200	600
Nickel	mg/kg	100	500	40	100	200	600
Quecksilber	mg/kg	2	10	0,3	1	3	10
Zink	mg/kg	500	2.500	120	300	500	1.500



Parameter	Dimension	Werte gemäß Merkblatt LfW 3.8/1		Zuordnungswerte nach LAGA M20			
		Hilfswert 1	Hilfswert 2	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
<p>1) Niedrigere pH-Werte stellen allein kein Austauschkriterium dar. Bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen.</p> <p>2) Einzelwerte für Naphthalin und Benzo(a)pyren jeweils kleiner 0,5.</p> <p>3) Einzelwerte für Naphthalin und Benzo(a)pyren jeweils kleiner 1,0.</p>							

**Tabelle 14: Stufen- und Zuordnungswerte Altlastbeurteilung Grundwasser u. Eluat**

Parameter	Dimension	Stufenwerte gemäß Merkblatt LfW 3.8/1		Zuordnungswerte nach LAGA M20			
		Stufe-1-Wert	Stufe-2-Wert	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
pH-Wert <sup>1)</sup>		-	-	6,5 - 9	6,5 - 9	6 - 12	5,5 - 12
el. Leitfähigkeit	µS/cm	-	-	500	500	1.000	1.500
Chlorid	mg/l	-	-	10	10	20	30
Sulfat	mg/l	-	-	50	50	100	150
Phenolindex <sup>2)</sup>	µg/l	20	100	< 10	10	50	100
Arsen	µg/l	10	40	10	10	40	60
Blei	µg/l	25	100	20	40	100	200
Cadmium	µg/l	5	20	2	2	5	10
Chrom (ges.)	µg/l	50	200	15	30	75	150
Kupfer	µg/l	50	200	50	50	150	300
Nickel	µg/l	50	200	40	50	150	200



Parameter	Dimension	Stufenwerte gemäß Merkblatt LfW 3.8/1		Zuordnungswerte nach LAGA M20			
		Stufe-1-Wert	Stufe-2-Wert	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
Quecksilber	µg/l	1	4	0,2	0,2	1	2
Zink	µg/l	500	2.000	100	100	300	600
Σ PAK	µg/l	0,2	2	-	-	-	-
Naphthalin	µg/l	2	8	-	-	-	-
Σ LHKW	µg/l	10	40	-	-	-	-
Σ BTXE	µg/l	20	100	-	-	-	-
MKW	µg/l	200	1.000	-	-	-	-
Σ PCB	µg/l	0,05	0,5	-	-	-	-
<p>1) Niedrigere pH-Werte stellen allein kein Ausschlusskriterium dar. Bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen.</p> <p>2) Bei Überschreitung ist eine Bestimmung der Einzelstoffe durchzuführen.</p>							

## 6.4 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

### 6.4.1 Einstufung der Untersuchungsergebnisse

Die tabellarischen Einstufungen der Analyseergebnisse gemäß LAGA M20, Leitfaden Verfüllung und LfW-Merkblatt 3.8/1 liegen in Anlage 4 diesem Bericht bei.



#### **6.4.2 Bewertung der Untersuchungsergebnisse**

Im Zuge der durchgeführten Erkundungen wurde in der Bohrung BK 1 ab Geländeoberkante bis in 1,2 m unter Geländeoberkante aufgefülltes Bodenmaterial mit Fremdbestandteilen in Form von Ziegelresten erkundet. Die übrigen erkundeten Böden weisen auf Grundlage der organoleptischen Prüfung keine signifikanten Fremdbestandteile oder sonstige Hinweise auf Verunreinigungen auf.

Es wurden ausgewählte Materialproben aus den Homogenbereichen 0 bis 4 entlang der gesamten Trasse auf Altlasten und abfallrechtlich relevante Parameter untersucht.

Die untersuchten Materialproben sind überwiegend als Z 0-Material gemäß LAGA M20 und Verfüll-Leitfaden einzustufen.

Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes wurde in einer Materialprobe des Homogenbereich 2 aus der BK 4 (D 1,0) ein MKW-Gehalt im Feststoff von 110 mg/kg ermittelt, der eine Einstufung der Probe in die Zuordnungsklasse Z 1.1 gemäß LAGA M20 und Verfüll-Leitfaden bedingt. In der RKB 14 wurde in der Materialprobe D 2 unterhalb des Oberbodens ein Sulfatgehalt im Eluat von 180 mg/l ermittelt. Dieser überschreitet den entsprechenden Zuordnungswert Z 2 gemäß LAGA M20. Hinsichtlich der Bewertung gemäß Verfüll-Leitfaden ist der ermittelte Gehalt nicht maßgeblich, da der Zuordnungswert Z 0 für diesen Parameter bei 250 mg/l und damit über dem in der Probe ermittelten Wert liegt.

Die Bewertung einer möglichen Grundwassergefährdung über den Wirkungspfad Boden – Grundwasser erfolgt gemäß dem LfW-Merkblatt 3.8/1. Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse wurde im Bereich der Bohrung BK 4 in der untersuchten Materialprobe des Homogenbereich 2 (D 1,0) eine geringfügige Überschreitung des Hilfswertes HW 1 für MKW festgestellt. Eine signifikante Gefährdung für das Schutzgut Grundwasser über den Wirkungspfad Boden – Grundwasser ist aufgrund des festgestellten MKW-Gehaltes nicht zu erwarten, da dieser nur schwach erhöht ist und voraussichtlich auf die erhöhten Anteile organischen Materials in diesem Bereich zurückzuführen und biogenen Ursprungs ist.

Anfallendes Aushubmaterial ist getrennt nach Hauptbodenarten und ggf. organoleptischen Auffälligkeiten auszuheben und zwischenzulagern. Material aus dem Bereich der RKB 14 ist aufgrund des erhöhten Sulfatgehaltes vom übrigen Aushub getrennt zu halten. Aushubmaterial aus den übrigen Bereichen kann, vorbehaltlich der bautechnischen Eignung, vor Ort im Zuge der Maßnahme in vergleichbarer Tiefenlage wiederverwendet werden, sofern keine Abweichungen zu den hier vorliegenden Ergebnissen festgestellt werden, die Hinweise auf Verunreinigungen bzw. eine Gefährdung für das Schutzgut Grundwasser vermuten lassen.



Überschüssiges Aushubmaterial, das andernorts entsorgt werden soll, ist i. d. R. einer Deklarationsuntersuchung inkl. fachgerechter Probenahme gemäß LAGA PN 98 zu unterziehen. Aufbauend auf den Ergebnissen können mögliche Entsorgungswege festgelegt werden. Eine Wiederverwendung von Aushubmaterial aus dem Bereich der RKB 14 im Sinne der LAGA M

20 ist nach derzeitigem Kenntnisstand voraussichtlich nicht zulässig.

Aufgrund der punktförmigen Erkundungen kann nicht ausgeschlossen werden, dass in nicht erkundeten Teilbereichen auch höhere Belastungen angetroffen werden. Es wird empfohlen, dies bei der weiteren Planung und Ausführung der Maßnahme zu berücksichtigen.

## **7 FOLGERUNGEN FÜR DIE GRÜNDUNG VON BAUWERKEN**

### **7.1 Rahmenbedingungen**

Die geplante Brücke soll über den Wenzelbach führen. Zur genauen Ausführung gibt es bisher noch keine Pläne. Es wird derzeit von einer Mittelstütze ausgegangen.

Die geplante Fledermausschutzwand befindet sich aktuell noch in der Abstimmungsphase. Hierzu liegen folglich zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch keine genauen Angaben vor.

Mit den erkundeten Gegebenheiten des Baugrundes liegen durchschnittliche Baugrundverhältnisse vor. Die in Kapitel 2.1 vorgenommene vorläufige Einstufung in die geotechnische Kategorie GK 2 nach DIN 4020 und DIN 1054 kann damit hinsichtlich der Baugrundverhältnisse bestätigt werden.

Das Bodendenkmal, welches sich auf den Feldern südlich der Lindhofstraße befindet, ist bei der Durchführung der Gründungsarbeiten zu beachten. Bei einem Eingriff in den Boden, bei dem die unberührte Erhaltung des betroffenen Bodendenkmals nicht möglich ist, müssen archäologische Ausgrabungen vorgenommen werden. Lässt sich ein Eingriff in den Boden vermeiden, so kann das Bodendenkmal auch überbaut werden und ist hierzu konservatorisch zu überdecken.





Im Rahmen der Bauwerksgründung ist mit dem Antreffen von Grundwasser bzw. mit einer Beeinflussung des Grundwassers durch die Gründung zu rechnen. Dies erfüllt gemäß § 9 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) den wasserrechtlichen Tatbestand einer Grundwasserbenutzung und ist bei der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde entsprechend zu beantragen. Bei Bedarf erstellt IFB Eigenschick die erforderlichen wasserrechtlichen Antragsunterlagen und begleitet fachgutachterlich das Behördenverfahren.

## **7.2 Gründungsempfehlungen für das Brückenbauwerk**

Es wird empfohlen, die Fundamente für die Brücke auf Pfählen zu gründen.

Eine Flachgründung auf den Böden des Homogenbereiches 2 wird nicht empfohlen, da hierbei im überwiegenden Lastabtragungsbereich der Fundamente weiche Konsistenzen und damit geringe Scherfestigkeiten und hohe Zusammendrückbarkeiten vorherrschen. Außerdem wurden organische Schichten in diesem Homogenbereich erkundet. Es wären bei wirtschaftlichen Fundamentabmessungen dementsprechend große Setzungen von über 4 cm zu erwarten und die Grundbruchsicherheit könnte nicht gewährleistet werden.

Es ist zu beachten, dass das Gelände insbesondere bei ungünstigen Witterungsverhältnissen mit Baufahrzeugen nicht befahrbar ist, weshalb geeignete Baustraßen erforderlich werden.

Baustraßen sollten wegen der leicht aufweichenden oberflächennahen Schichten unter Verwendung eines Geotextils hergestellt werden. Es empfiehlt sich eine Schotterauflage auf einem geeigneten Vlies. Darüber hinaus ist ein Geogitter einzubauen, da ein Vlies bei dem Einsatz von Geräten zur Pfahlherstellung voraussichtlich nicht ausreichen wird.

## **7.3 Bohrpfähle**

Als Möglichkeiten der Tiefgründung kommen Bohrpfähle (Durchmesser 0,3 bis 3,0 m) nach DIN EN 1536 in Betracht. Die dort aufgeführten Ausführungshinweise sind zu beachten.

Als Gründungshorizont (Pfahlunterkante) sind das Festgestein (bei BK 1 bis BK 3) unterhalb einer Kote von ca. 338 m ü. NN bzw. die Tertiären Sande (bei BK 4 und BK 5) unterhalb einer Kote von 331,5 m ü. NN geeignet.

- Die Bohrungen sind bei Grundwasserzutritt unter Zugabe von Wasser auszuführen. Dabei muss die Wassersäule so hoch über dem jeweiligen Grundwasserstand stehen, dass kein hydraulischer Grundbruch eintritt.



- Sofern mit Stützflüssigkeiten gearbeitet werden soll, ist das Grundwasser auf Eigenschaften, welche die kolloidchemische Stabilität beeinträchtigen können, zu untersuchen.
- Durch das bei den Pfahlbohrungen erhaltene Bohrgut müssen die tragfähigen Bodenschichten eindeutig zugeordnet werden können.

Entwurf und Bemessung einer Pfahlgründung müssen zeigen, dass nach DIN EN 1997-1 die nachstehend aufgeführten Grenzzustände hinreichend unwahrscheinlich sind:

- Grenzzustände des Druck- oder Zugwiderstandes eines Einzelpfahles
- Grenzzustände des Druck- oder Zugwiderstandes der Pfahlgründung als Ganzes
- Grenzzustand der Tragfähigkeit durch Versagen oder schwere Beschädigung eines gestützten Tragwerks durch übermäßige Verschiebungen oder Verschiebungsdifferenzen der Pfahlgründung
- Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit im gestützten Tragwerk durch Verschiebungen der Pfähle

Nach DIN 1054 sind als Grundlage für die Grenzzustands-Nachweise die axialen Pfahlwiderstände von Einzelpfählen durch eine Widerstands-Setzungs-Linie zu beschreiben. Diese sollte aufgrund von Pfahlprobelastungen oder von Erfahrungen mit vergleichbaren Pfahlprobelastungen festgelegt werden. Dabei ist auch das Kriechen unter konstanter Last zu berücksichtigen.

Werden für das vorliegende Bauvorhaben keine statischen oder dynamischen Pfahlprobelastungen durchgeführt, so sind Erfahrungen mit vergleichbaren Pfahlprobelastungen zugrunde zu legen. Hierbei kann nach DIN EN 1997-1 ein Verfahren angewendet werden, den Druckwiderstand einer Pfahlgründung über Ergebnisse von Baugrundversuchen festzulegen, wenn dieses Verfahren auf der Grundlage von Pfahlprobelastungen und vergleichbarer Erfahrungen entwickelt worden ist.



Nach DIN 1054 dürfen die Erfahrungswerte nach EA-Pfähle verwendet werden. Dort sind für Bohrpfähle charakteristische Bemessungswerte für den setzungsabhängigen Pfahlfußwiderstand und den Pfahlmantelwiderstand festgelegt. Im Folgenden sind für die maßgebenden Baugrundsichten die Bemessungswerte angegeben, wobei vorausgesetzt wird, dass die Bohrpfähle normgerecht hergestellt werden und mindestens 2,5 m in die tragfähige Schicht einbinden.

### Mantelreibung

Bei Gründung auf Festgestein südlich der Störungszone darf nur im Festgestein eine Mantelreibung mit  $q_{s,k} = 0,130$  angesetzt werden.

Es können folgende Bruchwerte  $q_{s,k}$  der Mantelreibung für den Bereich nördlich der Störungszone (BK 4 und 5) angesetzt werden:

**Tabelle 15: Bruchwert  $q_{s,k}$  der Pfahlmantelreibung**

Homogenbereich	Unterhalb Kote [m ü. NN]	$q_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
2 und 3	GOK	0
4 und 5 im Wechsel	339	0,050
5 Tertiäre Tone	333,5	0,065
4 Tertiäre Sande	331,5	0,130

### Pfahlspitzenwiderstand

Die Werte für die Pfahlspitzenwiderstände  $q_{b,k}$  können in Abhängigkeit der Pfahlschaftdurchmesser bzw. Pfahlfußdurchmesser und der bezogenen Pfahlkopfsetzung der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Es wird vorausgesetzt, dass die Mächtigkeit der tragfähigen Schicht unterhalb der Pfahlsohle mindestens dreimal dem Pfahlfußdurchmesser entspricht, mindestens aber 1,5 m beträgt.



Bereich nördlich der Störungszone (bei BK 4 und 5):

**Tabelle 16: Pfahlspitzenwiderstand  $q_{b,k}$  - Homogenbereich 4 unterhalb der Kote 331,5**

Bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_b$	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
0,02	1,750
0,03	2,250
0,10	4,000

Bereich südlich der Störungszone (bei BK 1 bis 3):

**Tabelle 17: Pfahlspitzenwiderstand  $q_{b,k}$  - Homogenbereich 7 unterhalb der Kote 338 ü. NN**

Bezogene Pfahlkopfsetzung $s/D_b$	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
0,02	1,750
0,03	2,250
0,10	4,000

Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75 % abzumindern.

Mit den o. g. Tabellenwerten ist die zulässige Pfahlbelastung gemäß DIN 1054 respektive dem Diagramm zur Konstruktion der Widerstandssetzungslinie zu ermitteln. Die ermittelte Pfahlbelastung gilt für Einzelpfähle. Für Pfahlgruppen sind die Abminderungsfaktoren bzw. Mindestabstände nach EA-Pfähle zu ermitteln und zu berücksichtigen.

Die angegebenen Bodenkennwerte gelten ausschließlich für ungestörte Böden.



Durch Pfahlprobelastungen können erfahrungsgemäß oft noch höhere Pfahltragfähigkeiten nachgewiesen und damit auch eine wirtschaftliche Gründungsoptimierung erzielt werden. Auch durch eine Mantelverpressung kann die Tragfähigkeit von Bohrpfählen erfahrungsgemäß um etwa 30 bis 40 % erhöht werden.

Für die Herstellung von in das Grundwasser reichenden Pfählen wird eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich.

## **8 FOLGERUNGEN FÜR DIE BAUGRUBE**

### **8.1 Allgemeines**

Beim Aushub der Baugrube ist mit Böden der Homogenbereiche 0 bis 3 zu rechnen.

Da noch keine Angaben zu den voraussichtlichen Baugrubentiefen vorliegen, können derzeit nur allgemeine Empfehlungen gegeben werden.

### **8.2 Baugrubenböschungen**

Baugruben und Gräben dürfen erst betrieben werden, wenn die Standsicherheit der Wände gemäß den Anforderungen der DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ eingehalten wird. Fundamentgräben können bis in eine Tiefe von 1,25 m senkrecht geböscht werden, wenn die anschließende Geländeoberfläche nicht stärker als 1 : 10 in den Böden der Homogenbereiche 3 und 4 bzw. nicht stärker als 1 : 2 in den Böden der Homogenbereiche 1, 2 und 5 geneigt ist.

Bei größeren Aushubtiefen sind geböschte Baugrubenwände mit einem Neigungswinkel von  $\beta \leq 45^\circ$  gegen die Horizontale in den Böden der Homogenbereiche 1, 2, 3 und 4 und  $\beta \leq 60^\circ$  in den Böden des Homogenbereiches 5 herzustellen.

Dies gilt für Böschungen oberhalb des Grundwasserspiegels bzw. nach dem Absenken des Grundwasserspiegels bis mindestens 0,5 m unter Baugrubensohle.



Dabei wird vorausgesetzt, dass Baugeräte bis 12 t Gesamtgewicht sowie Fahrzeuge, welche die nach § 34, Abs. 4 der Straßenverkehrszulassungsordnung zulässigen Achslasten nicht überschreiten einen Abstand von mindestens 1,0 m zur Böschungskante einhalten. Bei Baugeräten mit mehr als 12 t bis 40 t Gesamtgewicht sowie Fahrzeugen, welche die oben genannten zulässigen Achslasten überschreiten, ist ein Abstand von mindestens 2 m zur Böschungskante sicherzustellen.

Ist damit zu rechnen, dass während der Bauzeit die Standsicherheit durch Wasser, Trockenheit oder Frost gefährdet wird, so sind zusätzliche Sicherungsmaßnahmen wie Auflegen von Folien oder Dämmmatten vorzusehen.

Ein rechnerischer Nachweis geböschter Baugrubenwände ist bei Böschungshöhen von mehr als 5 m zu führen. Dies gilt auch, wenn das Gelände neben der Böschungskante stärker als 1 : 10 ansteigt, größere Stapellasten vorliegen oder schwere Baufahrzeuge den erforderlichen Mindestabstand gem. DIN 4124 nicht einhalten. Ein rechnerischer Nachweis ist darüber hinaus erforderlich, wenn der oben angegebene Böschungswinkel überschritten werden soll.

Darüber hinaus sind die Sicherheitsbestimmungen der DIN 4124 bezüglich Ausbildung der Arbeitsraumbreiten zu beachten.

### **8.3 Baugrubenverbau**

Alternativ zu einer geböschten Baugrube kann ein Verbau mit senkrechten Baugrubenwänden hergestellt werden.

Die kostengünstigste Variante stellt im Allgemeinen eine Trägerbohlwand dar. Hierzu werden in der Regel I-Träger oder doppelte, durch Laschen fest miteinander verbundene U-Profile als Bohlträger verwendet und in regelmäßigen Abständen eingerammt oder in vorgebohrte Löcher gestellt. Die Ausfachung erfolgt mit Holzbohlen, Kanthölzern, Kanaldielen, Stahlbetonfertigteilen oder Spritzbeton. Es sind die Anforderungen nach DIN 4124 zu beachten. Der Trägerbohlverbau ist nicht wasserdicht.

Aus Gründen der Wasserhaltung und Trockenhaltung der Baugrube ist ein wasserdichter Verbau (Grundwasserabspernung) erforderlich. Die Notwendigkeit hierfür wird im Kapitel 5.5 näher erläutert. Ein wasserdichter Verbau kann grundsätzlich mit Spundbohlen, mit Bohrpfählen oder als Schlitzwand ausgeführt werden.



Liegen Bauwerke bzw. empfindliche Leitungen im Einflussbereich der Verbauwand, so ist diese verformungsarm auszubilden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Spundwand- oder Trägerbohlwandverbau nur eingeschränkt einen verformungsarmen Verbau darstellt. Es ist in jedem Fall eine entsprechende Stützung des Verbaus vorzusehen.

Bei der Durchführung von Bohrungen und der Herstellung von Schlitzwänden sind die gespannten Grundwasserverhältnisse zu beachten. Dabei ist der Gefahr eines hydraulischen Grundbruches bzw. dem Aufbrechen der Bohrloch- bzw. Grabensohle entgegen zu wirken. Hierzu sind entsprechende Zusatzmaßnahmen vorzusehen, z. B. eine entsprechende Wasserauflast im Bohrloch.

Grundsätzlich kann der Verbau eingespannt, zur Baugrube hin ausgesteift oder rückverankert hergestellt werden.

Entwurf und Berechnung sollten gemäß den „Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben“ EAB der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik erfolgen. Dabei sind neben der Standsicherheit auch die zu erwartenden Verformungen des Verbaues zu ermitteln.

Dort, wo die zu erwartenden Verformungen unkritisch sind, kann der Verbau für den aktiven Erddruck bemessen werden. Wenn Bauwerke bzw. empfindliche Leitungen im Einflussbereich der Verbauwand liegen, ist die Verbauwand verformungsarm auszubilden. Es ist dabei der erhöhte aktive Erddruck nach EAB zugrunde zu legen.

Bei einer mehrfach rückverankerten Wand, bei der keine Fußpunktdrehung zu erwarten ist, ist eine Erddruckumlagerung zur Ermittlung der Ankerkräfte und Verformungen erforderlich. Diese wirkt sich auch auf die Biegemomente aus.

Bei verankerten Wandsystemen ist bei der Anordnung der Ankerkörper darauf zu achten, dass die Anker nicht in einer Ebene enden, sondern ihre Längen gestaffelt werden. Darüber hinaus sind die Verpressanker gemäß DIN EN 1537 herzustellen und zu prüfen. Für die Anker sind Eignungsprüfungen durchzuführen oder, da es sich um temporäre Anker handelt, entsprechende Prüfergebnisse in gleichartigen Böden vorzulegen.



#### **8.4 Wasserhaltung**

Eine Wasserhaltung hat im vorliegenden Fall eine gezielte Ableitung von Oberflächenwasser und ggf. zutretendem Schichtwasser bei Aushubarbeiten oberhalb des Grundwasserspiegels zu gewährleisten. Bei den erkundeten Böden kann dies in einer offenen Wasserhaltung erfolgen. Dabei wird das in der Baugrube anfallende Wasser in Gräben gesammelt und Pumpensümpfen zugeführt. Von dort wird das Wasser ständig oder zeitweise abgepumpt.

Die Gräben sollten als Sicker- oder Drängräben ausgebildet werden, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass die anstehenden Böden für die Ausbildung von offenen Gräben ausreichend standfest sind. Als Sickergräben werden mit Filtermaterial (Sand oder Kies) gefüllte Gräben bezeichnet. Drängräben sind bei großem Wasseranfall einzusetzen, indem in den Filterkörper zusätzlich Dränrohre eingebettet werden.

Pumpensümpfe sind Vertiefungen, die während der Aushubphase mit einem Bagger an der tiefsten Stelle der Baugrube ausgehoben werden. In diese Vertiefungen werden z. B. Brunnenringe, gelochte Betonrohre oder ähnliches eingestellt. Um diesen Pumpensumpf herum wird Filtermaterial eingebaut. Das im Pumpensumpf gesammelte Wasser wird mit Tauch- oder Vakuumpumpen abgepumpt. Die Sohle des Pumpensumpfes muss so tief liegen, dass die Aushubsohle an jeder Stelle wasserfrei ist.

Bei Aushubarbeiten unterhalb des Grundwasserspiegels ist eine offene Wasserhaltung zum Erreichen des erforderlichen Absenkziels nicht mehr ausreichend, so dass eine geschlossene Wasserhaltung mit Brunnen vorzunehmen ist. Die Brunnen sind vor Beginn des Baugrubenaushubs einzurichten, und das Grundwasser ist mit einem zeitlichen Vorlauf zum Erdaushub abzusenken. Die Anordnung der Brunnen erfolgt zweckmäßigerweise außerhalb der Baugrube, um den Aushub und die späteren Arbeiten in der Baugrube nicht zu behindern. Da es sich vorliegend um eine relativ große Aushubfläche handelt, kann es jedoch erforderlich werden, Brunnen auch innerhalb der Baugrube anzuordnen, um das gewünschte Absenkziel zu erreichen. In diesem Fall sind Zusatzmaßnahmen bei der Abdichtung des Bauwerkes vorzusehen.

Die Brunnen reichen im Allgemeinen bis mehrere Meter unterhalb der Baugrubensohle. Der Abstand der Brunnen ist abhängig vom gewählten Brunnendurchmesser, der Durchlässigkeit des Bodens und der Tiefe der Absenkung über hydrologische Berechnungen festzulegen.





Dabei ist ein Bemessungswasserstand vorzugeben, bis zu welchem die Wasserhaltungsanlage betrieben werden soll. Zur genauen Ermittlung der Durchlässigkeit wird ein Pumpversuch dringend empfohlen. Liegen nur Annahmen zur Durchlässigkeit vor, so sind die Berechnungen für untere und obere Grenzwerte der angenommenen Spanne der Durchlässigkeit durchzuführen. Dadurch kann sich evtl. eine unwirtschaftliche Bemessung der Wasserhaltungsanlage ergeben.

### **8.5 Wasserdichte Baugrubenumschließung**

Im Bereich des Wenzelbaches ist bei den vorliegenden Baugrund- und Grundwasserverhältnissen eine Wasserhaltung voraussichtlich nicht wirtschaftlich oder aufgrund der Höhenlage der Oberkante des Grundwasserstauers nicht möglich.

Es ist deshalb eine wasserdichte Umschließung der Baugrube zu empfehlen.

Es ist hierfür eine wasserdichte Wand herzustellen, welche die Baugrube vollständig umschließt. Diese kann mit stützender oder nicht stützender Funktion ausgeführt werden.

Eine wasserdichte stützende Wand übernimmt gleichzeitig als Verbau die Aufnahme der Erd- und Wasserdruckkräfte. Sie ist deshalb entsprechend statisch zu bemessen.

Die Ausführung kann als Schlitzwand oder Spundwand erfolgen. Auch die Ausführung als überschnittene Bohrfahlwand ist möglich, wobei diese erfahrungsgemäß nicht vollständig dicht wird.

Eine wasserdichte nicht stützende Wand übernimmt nur die Aufgabe den Wasserzufluss zu unterbinden. Die Baugrube selbst wird innerhalb der wasserdichten Umschließung nach dem Lenzen der Baugrube in geböschter Bauweise hergestellt.

Die Ausführung erfolgt üblicherweise als Spundwand oder Schmalwand. Im Vergleich zu einer gleichzeitigen Nutzung als Baugrubenverbau (bei einer Spundwand) entfällt der üblicherweise notwendige Aufwand für Aussteifung oder Verankerung.

Die wasserdichte Umschließung muss in die Böden des Homogenbereiches 5 (Tertiäre Tone) oder in die Zersatzböden (Homogenbereich 6) einbinden, welche eine nur sehr geringe Durchlässigkeit aufweisen. Diese Böden können deshalb als natürliche Dichtsole genutzt werden. Es sollte dabei eine Einbindung der wasserdichten Wand in diese Schichten von mindestens 0,5 m gewährleistet werden.



Nach dem Lenzen der Baugrube ist eine Restwasserhaltung zur gezielten Ableitung von Oberflächenwasser und Sickerwasser sowie gegebenenfalls Schloßwasser vorzusehen. Hierfür wird das von der Baugrube anfallende Wasser in Gräben zu sammeln und Pumpensumpfen zugeführt, von welchen das Wasser ständig oder zeitweise abgepumpt wird.

## **8.6 Hinterfüllen/Verdichten**

Nach ZTVE-StB 17 sind für Hinterfüllbereiche und Überschüttbereiche grobkörnige bis gemischtkörnige Bodenarten mit einem Anteil an Korn unter 0,063 mm von maximal 15 Gew.-% oder Rezyklierte Baustoffe, welche die oben genannten Kornverteilungskriterien einhalten, geeignet. Die Eignung der Rezyklierten Baustoffe ist im Einzelfall zu prüfen.

Auch die Verwendung von leicht- bis mittelplastischen feinkörnigen Böden und von gemischtkörnigen Böden mit einem Feinkorngehalt  $\geq 15$  Gew.-% ist möglich, wenn diese Böden einer qualifizierten Bodenverbesserung unterzogen werden.

Wird eine Dränanlage ausgeführt, so sind nur grobkörnige Böden (Feinkorngehalt  $< 5$  %) zu verwenden.

Wird gebrochenes Material verwendet, so ist die Bauwerksabdichtung zu schützen.

Hinsichtlich der Verdichtung sind die Anforderungen der ZTVE-StB 17 zu beachten. Demnach sind die zur Hinterfüllung geeigneten Böden in Hinterfüllbereichen und unmittelbar an die Bauwerke angrenzenden Überschüttbereichen unterhalb des Erdplanums so zu verdichten, dass ein Verdichtungsgrad von mindestens  $D_{Pr} = 100$  % erreicht wird.

Die genannten Anforderungen an Materialien und Verdichtung sind für alle Hinterfüllbereiche zu beachten, welche überbaut werden oder auf denen die Anlage von Verkehrsflächen vorgesehen ist.

Werden auf Hinterfüllbereichen Grünflächen angelegt, so kann von diesen Anforderungen abgewichen werden. Es sollte jedoch in diesen Hinterfüllbereichen ein Verdichtungsgrad  $D_{Pr} \geq 95$  % sichergestellt werden.

Die beim Bodenaushub gewonnenen Böden der Homogenbereiche 2 und 5 sind damit für einen Wiedereinbau grundsätzlich ungeeignet.



Die beim Bodenaushub gewonnenen Böden der Homogenbereiche 1, 3 und 4 sind damit nur für einen Wiedereinbau unter Grünflächen oder in Verbindung mit einer qualifizierten Bodenverbesserung geeignet, sofern keine Dränanlage ausgeführt wird.

## **9 HERSTELLUNG BEFESTIGTER FLÄCHEN**

### **9.1 Rahmenbedingungen**

Die geplante Straßentrasse verläuft im Bereich der Wenzenbachquerung und nördlich davon bis etwa km 0+400 in Dammlage. Der geplante Straßendamm wird eine Höhe von 2 m bis zu 6 m aufweisen. Der Baugrund besteht in diesem Abschnitt oberflächennah aus Auenlehm mit einer geringen Tragfähigkeit und starken Zusammendrückbarkeit.

Anschließend verläuft die Trasse bis etwa km 0+480 in einem Einschnittsbereich, welcher eine Einschnittstiefe von etwa 1 m aufweist. Nach den vorliegenden Aufschlüssen in diesem Bereich ist auf Höhe des Erdplanums und damit bei rund 1,5 bis 2,0 m unter derzeitigem Gelände mit den Sanden des Homogenbereiches 4 zu rechnen, bereichsweise können auch Tone des Homogenbereiches 5 angetroffen werden.

Die restliche Strecke verläuft etwa geländegleich, sodass das Erdplanum voraussichtlich wenige Dezimeter unter derzeitiger Geländeoberkante zu liegen kommt. Nach den Erkundungsergebnissen sind Decklehme des Homogenbereiches 1 sowie voraussichtlich überwiegend Sande des Homogenbereiches 4 zu erwarten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass außerhalb des Dammbereiches abwechselnd Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F2 bzw. F3 zu erwarten sind.

Erfolgt keine Unterteilung der Strecke ist für die Gemeindeverbindungsstraße einheitlich die Frostempfindlichkeitsklasse

F3 zugrunde zu legen.

### **9.2 Herstellung des Oberbaues**

Die Dicke der Asphaltsschichten, der Frostschutzschicht und gegebenenfalls zusätzlich vorzusehender Tragschichten ist nach Tafel 1 der RStO 12 festzulegen.



Es sind folgende Tragfähigkeitswerte bei der Bauausführung nachzuweisen:

Geforderte Tragfähigkeit auf dem Planum (Oberkante Frostschuttschicht):  
 $E_{V2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$

Geforderte Tragfähigkeit auf dem Erdplanum (Oberkante Untergrund):  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$

### **9.3 Ertüchtigung des Untergrundes**

Nach Abtrag der oberflächennahen Böden stehen im Erdplanumsbereich Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F2 bis F3 an. Nach ZTVE-StB 17 und RStO 12 ist auf der Oberkante des Erdplanums ein Verformungsmodul beim Plattendruckversuch von  $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  nachzuweisen.

Dieser Wert wird auf den anstehenden Tonen und Schluffen mutmaßlich nicht erreicht werden können. Es sollte daher ein Bodenaustausch oder eine Bodenverbesserung in Form der Zugabe von Feinkalk bzw. eines Kalk-Zement-Gemisches vorgesehen werden. In ausgeprägt plastischen Böden ist der Einsatz von Kalk zur Bodenverbesserung nicht empfehlenswert.

Die Verbesserungsmethode bzw. die erforderliche Kalk- bzw. Kalk-Zement-Zugabemenge kann durch IFB Eigenschenk kurzfristig über eine Eignungsprüfung ermittelt werden.

Die erforderliche Zugabemenge ist von den Wasserverhältnissen im Boden abhängig, welche jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. Zur Vorbemessung kann eine mittlere Zugabemenge von 3 % angenommen werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass insbesondere bei den tertiären Tonen auch ausgeprägt plastische Böden vorliegen können, welche einer Bodenverbesserung im Allgemeinen nicht zugänglich sind. In diesem Fall sollte ein Bodenaustausch ausgeführt werden.

Bei Ausführung eines Bodenaustausches wird empfohlen, ein gut verdichtbares Kies-Sand-Gemisch mit einem Anteil an Korn unter 0,063 mm von maximal 15 % im eingebauten Zustand einzubauen. Geeignet sind auch Recycling-Baustoffe und industrielle Nebenprodukte, welche die oben genannten Kornverteilungskriterien einhalten.



Die Dicke der zu verbessernden oder auszutauschenden Bodenschicht ist von der vorhandenen Tragfähigkeit der anstehenden Böden abhängig. Diese wird wiederum maßgeblich von den Wasserverhältnissen im Boden beeinflusst, welche jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. Es wird empfohlen, die erforderliche Dicke bei Baubeginn durch Anlage eines Probefeldes und Durchführung von Plattendruckversuchen zu ermitteln.

Zur Vorbemessung kann von einer Dicke der zu verbessernden bzw. auszutauschenden Schicht von mindestens 30 cm ausgegangen werden. Bei Ausführung eines Bodenaustausches kann die erforderliche Austauschdicke durch Verlegung eines knotensteifen Geogitters vor Einbau der ersten Schüttlage erfahrungsgemäß um etwa 30 bis 40 % reduziert werden.

Wie bereits angesprochen ist streckenweise mit Sanden auf Höhe des Erdplanums zu rechnen. Auf diesen Böden kann der geforderte Wert beim Plattendruckversuch von  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  voraussichtlich erreicht werden, gegebenenfalls ist eine intensive Nachverdichtung durchzuführen. Sollte der Wert auch dann nicht erreicht werden, so ist ein Bodenaustausch mit einer Dicke von 20 bis 30 cm vorzusehen.

#### **9.4 Hinweise für die Dammschüttung**

Die Dammschüttung erfolgt auf Auenlehm des Homogenbereiches 1, welcher eine geringe Scherfestigkeit und hohe Zusammendrückbarkeit aufweist. Es sind im Auelehm auch Torflagen in wechselnder Verbreitung zu erwarten.

Um die Standsicherheit des Straßendamms sicherstellen zu können, sollten deshalb Zusatzmaßnahmen in der Dammaufstandsfläche vorgesehen werden. Es wird empfohlen, einen Teilbodenaustausch durchzuführen und gegebenenfalls zusätzlich eine Bewehrung mit Geogittern vorzunehmen. Die Dimensionierung von Austauschdicke und Bewehrungslagen muss über erdstatische Berechnungen erfolgen.



Darüber hinaus ist mit Setzungen des Untergrundes in einer Größenordnung von mehreren Zentimetern zu rechnen, insbesondere im Bereich der hohen Dammschüttung bis zu 6 m können durchaus hohe Setzungsbeträge erwartet werden. Es wird empfohlen, detaillierte Setzungsberechnungen zur Ermittlung der zu erwartenden Setzungsbeträge durchzuführen. Darüber hinaus sollten während der Bauphase Setzungsbeobachtungen mit vermessungstechnischer Aufnahme und gegebenenfalls mit Horizontalinklinometer ausgeführt werden, um den Verlauf und das Abklingen der Setzungen kontrollieren zu können.

Es wird empfohlen, die Dammschüttung mit einem zeitlichen Vorlauf zur Herstellung der fertigen Fahrbahn und auch vor Fertigstellung des Brückenbauwerkes herzustellen, um eine Konsolidierung des Untergrundes zu ermöglichen. Bei den vorliegenden Böden werden die Setzungen nicht sofort mit dem Aufbringen der Last eintreten, sondern es ist ein größerer Zeitraum abzuwarten, in welchem die Setzungen eintreten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei den stark zusammendrückbaren Böden des Auenlehmes das Porenwasser beim Aufbringen der Last ausgepresst werden muss. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Böden nimmt dies einen größeren Zeitraum in Anspruch. Dies hat auch zur Folge, dass mit Aufbringen der Last diese anfangs vom Porenwasserdruck getragen wird. Aus diesem Grund ist auch die Anfangsfestigkeit der Dammschüttung und der Dammböschungen gesondert nachzuweisen. Maßgebend ist im Anfangszustand die undrainierte Scherfestigkeit.

Die Konsolidierungszeit, bei welcher die Setzungen zum Großteil abgeschlossen sein werden, kann grob mit mehreren Monaten bis zu einem Jahr angenommen werden. Wie oben bereits angesprochen wird deshalb empfohlen, den Zeitpunkt des Abklingens der Setzungen durch regelmäßige messtechnische Erfassung der Setzungen zu bestimmen. Anschließend kann dann die Fertigstellung des Oberbaues erfolgen.

Um die Setzungen zu beschleunigen und auch den Lasteinfluss der späteren Verkehrsbelastung bereits zu erfassen, empfiehlt es sich darüber hinaus die Dammschüttung mit einer Überschüttung von mindestens 1 m herzustellen, welche dann nach erfolgter Konsolidierung wieder abgetragen wird.

Wenn die Zeit zwischen Herstellung der Dammschüttung und Herstellung des Oberbaues begrenzt werden soll oder gar unmittelbar im Anschluss erfolgen soll, so sind Zusatzmaßnahmen im Untergrund vorzusehen um die Setzungen zu beschleunigen oder von Haus aus zu reduzieren.



Es bieten sich hierzu folgende Möglichkeiten an:

- Durchführung eines Bodenaustausches: Diese Variante wird als Vollbodenaustausch sehr aufwendig und kostenintensiv, da dies auch mit Wasserhaltungsmaßnahmen verbunden wäre. Es wird allenfalls ein Teilbodenaustausch zur Reduzierung der Setzungen als sinnvoll erachtet, ggf. kombiniert mit zusätzlichen Maßnahmen.
- Herstellung geotextilummantelter Sandsäulen: Durch den Einbau von Sandsäulen in einem regelmäßigen Raster können die Setzungen durch Beschleunigung des Porenwasserabflusses schneller ablaufen und werden zudem durch das grobkörnige Säulenmaterial reduziert. Die Ummantelung mit einem Vlies sorgt für die ausreichende seitliche Stützung in den teils breiigen und teils stark organischen Böden.
- Herstellung vermörtelter oder teilvermörtelter Stopfsäulen: herkömmliche Rüttelstopfsäulen sind bei den vorliegenden Böden nur eingeschränkt einsatzfähig, da teils breiige Konsistenzen und teils stark organische Anteile vorliegen. Rüttelstopfsäulen sind deshalb vermörtelt oder zumindest teilvermörtelt herzustellen und sind dann so zu bemessen, dass eine ausreichende Übertragung der Lasten in den Untergrund erfolgen kann. Über den Stopfsäulen ist eine lastverteilende Schicht oder eine Bewehrung mit Geogittern vorzusehen.
- Bodenverbesserung mit Stabilisierungssäulen: Es bieten sich hierbei verschiedene Verfahren wie z. B. CSV-Säulen und CMC-Säulen an. Aufgrund der organischen Böden ist dabei im Detail zu prüfen, welches Verfahren bzw. mit welchen Randbedingungen und Materialien ausgeführt werden kann. Die Säulen sind in einem regelmäßigen Raster anzuordnen und mit lastverteilenden Schichten zu überdecken.

Es wird empfohlen, eine detaillierte Planung mit Berücksichtigung des Bauablaufplanes und der zu berücksichtigenden Bauzeiten für die jeweiligen Gewerke der Dammschüttung und des Oberbaues zu erstellen und auch unter Abwägung der Kosten für Zusatzmaßnahmen und des möglichen Zeitgewinnes die Entscheidungen zu treffen.

## 9.5 Versickerung

Eine mögliche Versickerung des Niederschlagwassers soll vorzugweise auf dem Grundstück mit der Flurnummer 143 im Bereich der Bohrung RKB 13 durchgeführt werden.



Die Versickerung von Niederschlagsabflüssen erfüllt grundsätzlich einen wasserrechtlichen Tatbestand und ist bei der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde entsprechend zu beantragen. Unter gewissen Umständen ist die Versickerung von Niederschlagswasser in kleinem Umfang erlaubnisfrei. In Bayern gelten diesbezüglich die „Verordnung über die erlaubnisfreie schadlose Versickerung von gesammeltem Niederschlagswasser (MWFreiV)“ sowie die „Technischen Regeln zum schadlosen Einleiten von gesammeltem Niederschlagswasser in das Grundwasser (TRENGW)“.

Im Bedarfsfall kann die wasserrechtliche Beantragung einer Niederschlagsversickerung durch IFB Eigenschenk ausgeführt werden.

Grundlage zur Versickerung von unbedenklichen und tolerierbaren Niederschlagsabflüssen ist das Arbeitsblatt DWA-A 138: „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, April 2005, der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Demnach sind Böden dann zur Versickerung geeignet, wenn deren Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  für Fließvorgänge in der wassergesättigten Zone im Bereich  $1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \leq k_f \leq 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  liegt.

Die Böden im Bereich der Bohrung RKB 13 wurden überwiegend als Tone und Schluffe erkundet. Sie erfüllen die Anforderung nicht. Daher ist eine Versickerung an dieser Stelle nicht möglich.

An anderen Stellen wurden Böden mit höheren Durchlässigkeiten erkundet (RKB 11, 12 und 15). Während bei der Bohrung RKB 15 Grundwasser in 1,2 m unter Geländeoberkante erkundet wurde, das ebenfalls gegen eine Versickerung spricht, kommt eine Versickerung an den Punkten RKB 11 und 12 in Frage. Die genauen Durchlässigkeitsbeiwerte an diesen Stellen sind für die weitere Planung der Versickerungsanlage mittels Sickerversuchen im Feld zu ermitteln.

### **9.5.1 Anforderungen an den Untergrund**

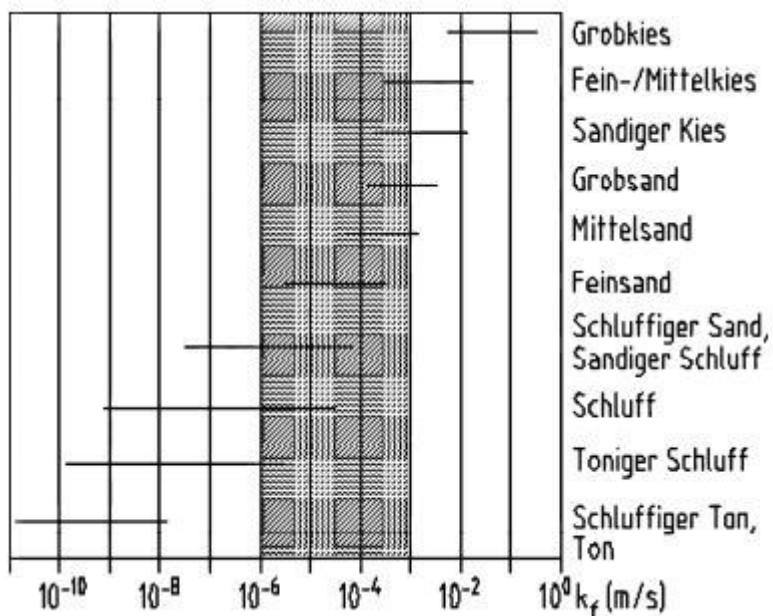
Das DWA-Arbeitsblatt A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, April 2005, der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) dient der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser und wird im Nachfolgenden abschnittsweise zitiert.

Gemäß DWA-Arbeitsblatt A 138 ist die Durchlässigkeit des Sickerraums eine wesentliche qualitative und quantitative Voraussetzung für das Versickern von Niederschlagswasser.



Die Durchlässigkeit der Lockergesteine hängt überwiegend von ihrer Korngröße, Kornverteilung und Lagerungsdichte ab, bei Böden entscheidend auch vom Bodengefüge und der Wassertemperatur und wird durch den Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) ausgedrückt. Bei Lockergesteinen variiert sie im Allgemeinen zwischen  $1 \cdot 10^{-2}$  m/s und  $1 \cdot 10^{-10}$  m/s (Abbildung 2). Die  $k_f$ -Werte gelten für Fließvorgänge in der wassergesättigten Zone.

Entscheidend für die Ausbreitung der Wasserinhaltsstoffe in der ungesättigten Zone und für die Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung ist nicht der für die gesättigte Zone bestimmte  $k_f$ -Wert, sondern der in der ungesättigten Zone geringere  $k_{f,u}$ -Wert.



**Abbildung 2:** Durchlässigkeitsbeiwerte von Lockergesteinen und entwässerungstechnisch relevanter Versickerungsbereich (Quelle: DWA-A 138)



Der entwässerungstechnisch relevante Versickerungsbereich liegt etwa in einem  $k_f$ -Bereich von  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s bis  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s (Abbildung 1).

Bei  $k_f$ -Werten größer als  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s sickern die Niederschlagsabflüsse bei geringen Grundwasserflurabständen so schnell dem Grundwasser zu, dass eine ausreichende Aufenthaltszeit und damit eine genügende Reinigung durch chemische und biologische Vorgänge nicht erzielt werden kann.

Sind die  $k_f$ -Werte kleiner als  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s, stauen die Versickerungsanlagen lange ein. Dann können anaerobe Verhältnisse in der ungesättigten Zone auftreten, die das Rückhalte- und Umwandlungsvermögen ungünstig beeinflussen können.

Die Mächtigkeit des Sickerraums sollte, bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand (MHGW), grundsätzlich mindestens 1 m betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für eingeleitete Niederschlagsabflüsse zu gewährleisten.

### **9.5.2 Bemessung der Versickerungsanlagen**

Es ist zu beachten, dass die Bestimmungsmethoden der  $k_f$ -Werte von unterschiedlichen Randbedingungen ausgehen.

Beispielsweise wird einerseits bei Anwendung einer Feldmethode in der ungesättigten Zone kaum eine vollständige Sättigung des Bodens oder Untergrundes zu erreichen sein, während andererseits die Koeffizienten, die bei der Auswertung von Sieblinien verwendet werden, sich auf einen gesättigten Grundwasserleiter mit horizontaler Strömungsrichtung beziehen.

Damit die Bemessung der Versickerungsanlagen nach gleichen Voraussetzungen erfolgen kann, ist ein sogenannter Bemessungs- $k_f$ -Wert zugrunde zu legen. Dieser ergibt sich, wenn der methodenspezifische  $k_f$ - bzw.  $k_{fu}$ -Wert mit einem empirisch ermittelten Korrekturfaktor multipliziert wird (Tabelle 9).

**Tabelle 18: Korrekturfaktoren zur Festlegung des Bemessungs- $k_f$ -Wertes**

Bestimmungsmethode		Korrekturfaktor
Abschätzung nach Bodenansprache		1
Labormethoden	Sieblinienauswertung	0,2
	Permeameter (ungestörte Probe, vertikale Probennahme)	1
Feldmethoden		2

Die Abschätzung des  $k_f$ -Wertes anhand der Bodenart setzt für eine abschließende Bemessung eine ausreichende Erfahrung voraus. Die Ergebnisse einer Sieblinienauswertung sind besonders stark zu korrigieren. Bei einem Laborversuch mit einem Permeameter ist nur dann eine Korrektur entbehrlich, wenn die ungestörte Probe in vertikaler Richtung entnommen wurde. Ein Korrekturfaktor von zwei für die Feldversuche bedeutet, dass durch Feldversuche genau die Durchlässigkeit festgestellt wird, mit der die Versickerungsanlagen bemessen werden. Das Versuchsergebnis entspricht also dem vertikalen Durchlässigkeitsbeiwert  $k_{f,u}$  in der ungesättigten Zone, welcher für die Berechnungen in den Gleichungen gemäß DWA-A 138 zum Bemessungs- $k_f$ -Wert verdoppelt wird.

### 9.5.3 Kornsummenlinien

In Nasssiebungen sowie kombinierten Sieb- und Schlämmanalysen wurden Kornsummenlinien der anstehenden Böden bestimmt. Um den für die Bemessung von Versickerungsanlagen erforderlichen Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  zu erhalten, sind die im Versuch ermittelten Werte mit dem Korrekturfaktor 0,2 zu multiplizieren. Die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte und die Bemessungswerte sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 19: Bemessungswerte für Versickerungsanlagen**

Bodenprobe	Homogenbereich	Durchlässigkeitsbeiwert k [m/s]	Bemessungswert k <sub>f</sub> [m/s]
RKB 11/E4	3/Kiese und Sande	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$
RKB 12/E2	3/Kiese und Sande	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$

Nach der DIN 18130-1 werden folgende Durchlässigkeitsbeiwerte unterschieden:

**Tabelle 20: Einstufung Durchlässigkeitsbereiche gemäß DIN 18130-1**

k <sub>f</sub> [m/s]	Bereich
unter $10^{-8}$	sehr schwach durchlässig
$10^{-8}$ bis $10^{-6}$	schwach durchlässig
$10^{-6}$ bis $10^{-4}$	durchlässig
$10^{-4}$ bis $10^{-2}$	stark durchlässig
über $10^{-2}$	sehr stark durchlässig

Die ermittelten Durchlässigkeiten im Homogenbereich 3 sind demnach gemäß DIN 18130-1 als schwach durchlässig bis durchlässig einzustufen.

Für den Homogenbereich 3 kann damit im Bereich der Bohrung RKB 11 und 12 ein Bemessungswert von  $k_f = 5 \cdot 10^{-6}$  m/s abgeschätzt werden. Die Böden dieses Homogenbereiches erfüllen damit die vorgenannte Anforderung im Bereich der Bohrung RKB 12 an sickerfähige Böden nur knapp. Im Bereich der Bohrung RKB 11 werden die Anforderungen nicht erreicht.



Bei der Planung und Errichtung von Versickerungsanlagen sind darüber hinaus die Grundwasserstände, Schwankungsbreiten des Grundwassers und die erforderlichen Sickerstrecken in der ungesättigten Bodenzone zu beachten. Nach dem Arbeitsblatt DWA-A 138 sollte die Mächtigkeit des Sickertraumes grundsätzlich mindestens 1 m betragen, womit ein Mindestabstand der Versickerungsanlage zum mittleren höchsten Grundwasserstand MHGW von 1 m einzuhalten ist. Falls hierzu von Seiten des zuständigen Wasserwirtschaftsamtes keine Angaben gemacht werden, ist dieser über die Auswertung hydrogeologischer Karten, Ganglinien längerfristig beobachteter Messstellen im Untersuchungsgebiet etc. zu ermitteln.

Darüber hinaus sind die Auflagen des Wasserwirtschaftsamtes zu berücksichtigen. Es wird deshalb empfohlen, die Planung von Versickerungsanlagen frühzeitig mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt abzustimmen. Es wird darauf hingewiesen, dass von einigen Ämtern beispielsweise einem Durchstoßen von gering durchlässigen Deckschichten nicht zugestimmt wird.

Die Abstimmung mit den Behörden, die Ermittlung relevanter Grundwasserstände sowie die Dimensionierung von Versickerungsanlagen kann bei Bedarf durch IFB Eigenschick ausgeführt werden.

## **10 HINWEISE FÜR DIE BAUAUSFÜHRUNG**

### **10.1 Frostsicherheit**

Für alle Bauteile ist eine frostsichere Mindesteinbindetiefe von 1,20 m unter der endgültigen Geländeoberkante vorzusehen. Beim Bauen in kalter Jahreszeit sind gesonderte Schutzmaßnahmen gegen das Eindringen von Frost in den Untergrund und gegen ein Aufweichen der oberflächennahen Schichten zu ergreifen.

### **10.2 Kolkschutz**

Die Widerlager und Gründungsteile sind ausreichend vor Unterspülungen zu schützen. Dies kann zweckmäßigerweise durch ein Belassen der vorgesehenen Spundwand oder alternativ durch einen ausreichend gestaffelten Steinwurf mit Wasserbausteinen erfolgen.



## **11 ERGÄNZENDE UNTERSUCHUNGEN**

### **11.1 Beweissicherung**

Aufgrund der Bautätigkeiten, die unvermeidlich Erschütterungen durch Baustellenverkehr, Rammarbeiten oder Verdichtungsarbeiten mit sich bringen, sowie durch eine eventuell erforderliche Grundwasserabsenkung sind Einflüsse auf die Nachbarbebauung nicht auszuschließen. Daher wird eine Beweissicherung des Ist-Zustandes von benachbarten Bauwerken und Straßen empfohlen.

Das Schadensrisiko für Gebäude durch Erschütterungseinwirkungen sollte durch Erschütterungsmessungen und eine Bewertung nach DIN 4150 minimiert werden. Somit kann eine Überwachung und Optimierung der Erschütterungsintensität vor Ort erfolgen sowie der Nachweis erbracht werden, dass die gemäß DIN 4150 Teil 3 geforderten Anhaltswerte nicht überschritten werden.

Da es sich vorliegend um erdbautechnische Maßnahmen handelt, sollten das Beweissicherungsverfahren sowie die Erschütterungsmessung von einem Baugrundsachverständigen durchgeführt werden. IFB Eigenschenk steht dazu zur Verfügung.

### **11.2 Altlasten**

Im Zuge der durchgeführten orientierenden Altlastenerkundung wurden in den untersuchten Bodenproben punktuell erhöhte Gehalte an MKW im Feststoff und Sulfat im Eluat festgestellt.

Anfallendes Aushubmaterial ist getrennt nach Hauptbodenarten und ggf. organoleptischen Auffälligkeiten auszuheben und zwischenzulagern. Material aus dem Bereich der RKB 14 ist aufgrund des erhöhten Sulfatgehaltes vom übrigen Aushub getrennt zu halten. Aushubmaterial aus den übrigen Bereichen kann, vorbehaltlich der bautechnischen Eignung, vor Ort im Zuge der Maßnahme in vergleichbarer Tiefenlage wiederverwendet werden.

Überschüssiges Aushubmaterial, das andernorts entsorgt werden soll, ist i. d. R. einer Deklarationsuntersuchung inkl. fachgerechter Probenahme gemäß LAGA PN 98 zu unterziehen. Aufbauend auf den Ergebnissen können mögliche Entsorgungswege festgelegt werden. Eine Wiederverwendung von Aushubmaterial aus dem Bereich der RKB 14 im Sinne der LAGA M20 ist nach derzeitigem Kenntnisstand voraussichtlich nicht zulässig.



### **11.3 Einholung der denkmalrechtlichen Erlaubnis**

Im Bereich eines bekannten Bodendenkmals bedarf ein Eingriff in den Boden der Erlaubnis nach Artikel 7 Abs. 1 des Bayerischen Denkmalschutzgesetzes.

Die denkmalrechtliche Erlaubnis muss vom Bauherrn parallel zur Baugenehmigung bei der Unteren Denkmalschutzbehörde beantragt werden.

Erst nachdem die im Benehmen mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege erteilte Erlaubnis der Unteren Denkmalschutzbehörde vorliegt und die darin enthaltenen Auflagen erfüllt wurden, kann mit den Baumaßnahmen begonnen werden.

### **11.4 Baubegleitende Überwachung**

Nach DIN EN 1997-1 und -2 ist während der Bauausführung zu überprüfen, ob die Bauverhältnisse den Annahmen entsprechen.

Es wird auf die Erfordernis von Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen gemäß ZTVE-StB 17 im Zuge von Verdichtungs- und Hinterfüllungsarbeiten hingewiesen.

### **11.5 Wasserrechtsverfahren**

Eine Bauwasserhaltung erfüllt gemäß § 9 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) den wasserrechtlichen Tatbestand einer Grundwasserbenutzung. Diese ist bei der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde im Vorfeld der Baumaßnahme zu beantragen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Bearbeitung wasserrechtlicher Anträge seitens der Behörden bis zu drei Monate in Anspruch nehmen kann. Da eine Bauwasserhaltung erst nach Vorliegen der wasserrechtlichen Erlaubnis eingerichtet werden darf, ist dieser Vorlauf bei der Bauplanung entsprechend zu berücksichtigen. Bei Bedarf übernimmt IFB Eigenschenk die Erstellung der wasserrechtlichen Antragsunterlagen sowie die fachgutachterliche Begleitung des Behördenverfahrens. Eingriffe in den Untergrund, wie beispielsweise Abgrabungen, Auffüllungen, Einbau von Materialien in den Untergrund, Geländemodellierungen etc. erfüllen vielfach wasserrechtliche Tatbestände, die bei den zuständigen Kreisverwaltungsbehörden entsprechend zu beantragen sind. Sollten im Zuge der geplanten Baumaßnahme solche Eingriffe vorgesehen sein, übernimmt IFB Eigenschenk bei Bedarf die Einzelfallprüfung, ob bzw. inwieweit es sich dabei um eine wasserrechtlich zu beantragende Maßnahmen handelt und bereitet die entsprechenden Antragsunterlagen in Abstimmung mit den Behörden vor.



## **12 SCHLUSSBEMERKUNGEN**

Im Zuge der Baugrunduntersuchung wurden Erkundungen niedergebracht und der aufgeschlossene Boden beurteilt. Die für die Ausschreibung, Planung und Baudurchführung erforderlichen Hinweise und bodenmechanischen Kennwerte wurden erarbeitet und sind im Text- und Anlagenteil dokumentiert. Die jeweils notwendigen Maßnahmen und Gründungsbedingungen wurden für die Verhältnisse an den Ansatzpunkten aufgezeigt.

IFB Eigenschenk ist zu verständigen, falls sich Abweichungen vom vorliegenden Gutachten oder planungsbedingte Änderungen ergeben. Zwischenzeitlich aufgetretene oder eventuell von der Planung abweichend erörterte Fragen werden in einer ergänzenden Stellungnahme kurzfristig nachgereicht.





Bei den durchgeführten Untersuchungen handelt es sich naturgemäß nur um punktförmige Aufschlüsse, weshalb Abweichungen im flächenhaften Anschnitt nicht auszuschließen sind. Eine Überprüfung des Baugrundaufbaus während des Aushubs und eine Inspektion der Baugrubensohle bleibt damit erforderlich. Ohne örtliche Abnahme gilt die Untersuchung des Baugrundes als nicht abgeschlossen.

### **IFB Eigenschenk GmbH**

Dipl.-Geol. Dr. Roland Kunz<sup>1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8)</sup>  
Geschäftsführer

Dipl.-Ing. (FH) Markus Piendl<sup>9)</sup>  
Abteilungsleiter Geotechnik

Christina Gartner M. Sc.  
Sachbearbeiterin

Florian Häckel M. Sc.<sup>3) 5) 8)</sup>  
Projektleiter

- 1) Von der Industrie- und Handelskammer für Niederbayern in Passau öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Hydrogeologie
- 2) Leiter des Prüflaboratoriums nach DIN EN ISO 17025:2005
- 3) Fachkundiger für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit in kontaminierten Bereichen und Sachkundiger nach DGUV – Regel 101-004, Anhang 6 A (BGR 128)
- 4) Privater Sachverständiger in der Wasserwirtschaft für thermische Nutzung, Bauabnahme Grundwasserbenutzungsanlagen, Beschneiungsanlagen, Eigenüberwachung von Wasserversorgungsanlagen gemäß § 1 VPSW 2010
- 5) zugelassener Probenehmer gemäß §15 Abs. 4 TrinkwV
- 6) Lehrbeauftragter der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg für Gebäuderückbau: Probenahme, Bewertung, Planung (MB-BB-23.1), Masterstudiengang Bauen im Bestand
- 7) Leiter der Untersuchungsstelle gemäß § 18 Bundes-Bodenschutzgesetz
- 8) geprüfter Probenehmer nach LAGA PN 98
- 9) Von der Industrie- und Handelskammer für Niederbayern in Passau öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baugrunderkundung und Gründung von Hochbauten