



## Hochwasser 2013 – S 202 Ersatzneubau der Stützwand BW 9 in Frankenberg

### Landkreis Mittelsachsen

Baugrunderkundung

Überarbeitung nach VOB 2012 (Ergänzungsband 2015)

Geotechnische Kategorie: GK 2

IFG-Projekt-Nr.: **076-04-15**

Bauherr:

Landesamt für Straßenbau und Verkehr  
Niederlassung Zschopau  
Sitz Chemnitz  
Hans-Link-Straße 4  
09131 Chemnitz  
Telefon: 0371 / 4660-0  
Fax: 0371 / 4660-199

Planung:

OBERMEYER Planen + Beraten GmbH  
Eberswalder Straße 1  
01097 Dresden  
Telefon: 0351 / 8089-300  
Fax: 0351 / 8089-333

Verfasser:

IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH  
Purschitzer Straße 13  
02625 Bautzen  
Telefon: 03591 / 6771-30  
Fax: 03591 / 6771-40

Bautzen, 25.08.2015  
überarbeitet am 05.11.2015

.....  
Dipl.-Ing. (FH) Sascha Hunold  
Projektbearbeiter

.....  
Dipl.-Ing. Arnd Böhmer  
Geschäftsführer



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Veranlassung und Zielstellung .....	5
2. Unterlagen .....	6
3. Erkundungsumfang .....	7
4. Baugrundbeschreibung .....	8
4.1 Allgemeine geologische und hydrogeologische Verhältnisse .....	8
4.2 Erkundungsergebnisse .....	9
4.2.1 Baugrundmodell .....	9
4.2.2 Straßenaufbau .....	9
4.3 Erkundungsergebnisse Baugrund .....	10
5. Umweltanalytische Laboruntersuchungen .....	11
5.1 Bestimmung Stahlaggressivität .....	11
5.2 Bestimmung Betonaggressivität (Expositionsklasse) .....	12
5.3 Verwertung bituminöser Straßenaufbruch .....	12
5.4 Verwertung Abtragsmassen (Auffüllung) .....	14
5.5 Ergänzungsuntersuchung nach DepV (2012) .....	16
6. Bodenmechanische Laboruntersuchungen .....	18
6.1 Bestimmung Korngrößenverteilung .....	18
6.2 Bestimmung natürliche Wassergehalte .....	18
6.3 Bestimmung Druckfestigkeit Festgestein .....	19
7. Baugrundmodell .....	20
7.1 Baugrundsichtung .....	20
7.2 Bodenmechanische Kennwerte .....	21
7.3 Homogenbereiche .....	22
8. Gründungsempfehlung .....	23
8.1 Flachgründung .....	23
8.2 Tiefgründung auf Pfählen .....	24
8.2.1 Mikropfähle .....	24
8.2.2 Bohrpfähle .....	25
9. Hinweise zum Erdbau .....	26
9.1 Baugrubensicherung .....	26
9.2 Wasserhaltung .....	26
9.3 Bodenaushub und Wiederverfüllung .....	26
10. Hinweise zum Straßenbau .....	27
11. Sonstige Hinweise .....	28

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1 Übersicht Erkundungsprogramm.....	7
Tabelle 2 Ergebnisse Wasseranalyse auf Stahlaggressivität.....	11
Tabelle 3 Ergebnisse Wasseranalyse auf Betonaggressivität.....	12
Tabelle 4 Verwertungsklassen nach RuVA-StB 01 .....	13
Tabelle 5 Analyseergebnisse Teererkenkung Asphalt.....	14
Tabelle 6 Ergebnisse Schadstoffuntersuchung Auffüllmaterial (Feststoff) .....	15
Tabelle 7 Ergebnisse Schadstoffuntersuchung Auffüllmaterial (Eluat).....	15
Tabelle 8 Ergebnisse zur Deponierbarkeit der Schicht 1 .....	17
Tabelle 9 Korngrößenverteilung fluviatiler Kies (Schicht 4).....	18
Tabelle 10 natürliche Wassergehalte (Schichten 2 und 3).....	18
Tabelle 11 Richtwerte $E_{v2}$ .....	19
Tabelle 12 Druckfestigkeiten Festgestein (Schichten 5b und 5c).....	19
Tabelle 13 Baugrundsichtung .....	20
Tabelle 14 Bodenmechanische Kennwerte .....	21
Tabelle 15 Homogenbereiche .....	22
Tabelle 16 Mantelreibung von Verpresspfählen.....	25
Tabelle 17 Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung von Bohrpfählen .....	25

## Anlagenverzeichnis

Blattzahl

Anlage 1	Übersichtskarte, M 1 : 10.000.....	1
Anlage 2	Lageplan mit Aufschlusspunkten, M 1 : 1.000 .....	1
Anlage 3	Schichtenverzeichnisse und Bohrprofile	
Anlage 3.1	Schichtenverzeichnisse .....	5
Anlage 3.2	Bohrprofile .....	4
Anlage 3.3	Bohrprofile mit Rammsondierung .....	4
Anlage 4	Baugrundprofilschnitte	
Anlage 4.1	Längsschnitt .....	1
Anlage 4.2	Querprofile .....	1
Anlage 5	Bodenmechanische Laborprotokolle	
Anlage 5.1	natürlicher Wassergehalt nach DIN 18121-1 .....	1
Anlage 5.2	Korngrößenverteilung durch Siebung nach DIN 18123 .....	2
Anlage 5.3	Punktlastversuch nach DIN EN 1926 und DGGT-Empfehlung Nr. 5 .....	1
Anlage 5.4	Einaxiale Druckfestigkeit nach DGGT-Empfehlung Nr. 1 .....	1
Anlage 6	Umweltanalytische Laborprotokolle	
Anlage 6.1	Beton- und Stahlaggressivität nach DIN 4030 und DIN 50929 .....	2
Anlage 6.2	Teerererkennung nach RuVA-StB 01 .....	2
Anlage 6.3	Schadstoffuntersuchung nach LAGA TR Boden (2004) .....	4
Anlage 6.4	Ergänzungsparameter nach DepV (2012) .....	3
Anlage 7	Grundbruch- und Setzungsberechnung.....	4
Anlage 8	Fotodokumentation Rotationskernbohrungen.....	6

## 1. Veranlassung und Zielstellung

Das Landesamt für Straßenbau und Verkehr, NL Zschopau, Sitz Chemnitz beabsichtigt die Beseitigung von Hochwasserschäden an einer Stützmauer am parallel zur S 202 (Mittweidaer Straße) verlaufenden Lützelbach nördlich der Ortslage Frankenberg. Die Schäden am Bauwerk sind so erheblich, dass ein Ersatzneubau der Stützwand erfolgen soll. Dabei soll die Stützwand etwas verlängert werden, so dass der Ersatzneubau über eine Gesamtlänge von ca. 180 m von der Brücke S 202 über den Lützelbach bis an die nördlich des Untersuchungsgebiets gelegene BAB 4 reichen wird.

Mit der Durchführung der Vor- und Entwurfsplanung für den Ersatzneubau der Stützwand wurde die OBERMEYER Planen und Beraten GmbH aus Dresden beauftragt. Für die Planung ist eine Baugrunderkundung an der beschädigten Stützwand bzw. der angrenzenden Staatsstraße S 202 erforderlich. Hierzu wurde die IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH mit den Erkundungsarbeiten an der Stützwand beauftragt. Erkundet werden sollen:

- die Untergrundverhältnisse in unmittelbarer Bauwerksnähe und
- der Straßenaufbau der S 202 im Bereich des Stützbauwerks.

Aus den Erkundungsergebnissen sollen Aussagen und Beurteilungen zu folgenden Schwerpunkten getroffen werden /1/, /2/:

- Geologische und hydrogeologische Verhältnisse,
- Angabe der Grundwasserstände,
- Bodengruppen nach DIN 18196,
- Homogenbereiche nach VOB 2012 (Ergänzungsband 2015) für Erd- und Bohrarbeiten,
- bodenmechanische Kennwerte und Frostempfindlichkeit erkundeter Bodenschichten,
- Beton- und Stahlaggressivität des Grundwassers,
- Lösbarkeit und Verdichtbarkeit der angetroffenen Erdstoffe,
- Gründungsempfehlung,
- Angabe des aufnehmbaren Sohldrucks und der zu erwartenden Setzungen,
- Angabe Spitzendruck und Mantelreibung bei Pfahlgründung,
- Empfehlungen zum Bauwerksschutz,
- Wiederverwendbarkeit von Aushubmaterial und Verwertung von Rückbaumassen,
- Angaben zur Baugrubensicherung und Wasserhaltung,
- Hinweise zum Schutz der Nachbarbebauung,
- Angaben zum Straßenbau für Anbindungsbereiche und
- Ausarbeitung von Empfehlungen für die Planung.

## 2. Unterlagen

Folgende Unterlagen wurden neben den einschlägig bekannten Normen und Regelwerken für die Planung der Feldarbeiten sowie für die Erarbeitung des Gutachtens verwendet:

- /1/ Angebotsabfrage mit Bauwerkshandbuch, Übersichtskarte und Übersichtsplan: Baugrunduntersuchung S 202 bei Frankenberg, Ersatzneubau einer Stützmauer am Lützelbach, OBERMEYER Planen und Beraten GmbH, per E-Mail am 01.04.2015.
- /2/ Angebot IFG: Angebot-Nr. AN/2015/093-0, S 202 bei Frankenberg – Ersatzneubau Stützmauer am Lützelbach - Baugrunduntersuchung, IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH, Bautzen vom 13.04.2015.
- /3/ Subunternehmervertrag: Projekt 213224 – Hochwasser 2013 - S 202 Ersatzneubau der Stützwand BW 9 in Frankenberg, OBERMEYER Planen und Beraten GmbH, Dresden vom 26.06.2015.
- /4/ Bestandsvermessung (Lage- und Höhenplan mit Kataster und Leitungsbestand): S 202 Frankenberg – Ersatzneubau Bauwerk 5044579, IBwNr S0202 0090 S, make\_int Vermessungsgesellschaft mbH, Hohenstein-Ernstthal, Juni 2015.
- /5/ Topographische Karte, Blatt 5044-SW Frankenberg/Sa., Hrsg.: Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen, Dresden 2009, 1. Auflage.
- /6/ Lithofazieskarte Quartär, Blatt 2766 Karl-Marx-Stadt, VEB Geologische Forschung & Erkundung Halle, 1986/87, 1. Auflage.
- /7/ Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen, Blatt 2766 Chemnitz, Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg 1998, 1. Auflage.
- /8/ Hydrogeologische Karte, Blatt 1308-1/2 Frankenberg/Freiberg, Zentrales Geologisches Institut, Berlin 1984, 1. Auflage.
- /9/ Leitungsauskünfte der Medienträger.
- /10/ Auszug aus der Vorplanung (Textteil): Hochwasser 2013 – S 202 Ersatzneubau der Stützwand BW 9 in Frankenberg, ASB-Nr.: 5044 579, Lfd-Nr.: S22\_161, OBERMEYER Planen und Beraten GmbH, Dresden vom 28.07.2015.
- /11/ Vorplanung: Grundriss, Ansicht und Schnitt für Varianten 1 bis 3 – Hochwasser 2013, S 202, Ersatzneubau der Stützwand BW 9 in Frankenberg, OBERMEYER Planen und Beraten GmbH, Stand: Juli 2015.

### 3. Erkundungsumfang

Die Erkundung der Baugrundverhältnisse und des Straßenbestands erfolgte vom 17.07. bis 24.07.2015. Entsprechend der Aufgabenstellung wurden folgende Aufschlüsse ausgeführt:

- vier Rotationskernbohrungen (BK 1 bis BK 4) im Straßenbereich bis 10,0 m u. OK Straße zur Erkundung der Baugrundverhältnisse,
- vier schwere Rammsondierungen (DPH 1 bis DPH 4) neben den Erkundungsbohrungen zur Ermittlung der Lagerungsdichte des anstehenden Baugrunds.

Eine Übersicht über die Lage der Aufschlüsse geben der Lageplan (Anlage 2) und die nachfolgende Tabelle 1.

**Tabelle 1 Übersicht Erkundungsprogramm**

Aufschluss	Lage	Rechtswert	Hochwert	Ansatzhöhe [m NHN]	Endteufe [m u. GOK]	
		Gauß-Krüger RD 83		Höhenbezug DHHN 92	geplant	ausgeführt
BK 1	südlich der Brücke über den Lützelbach im Zuge der S 202	45 72 974	56 43 478	251,26	10,0	10,0
DPH 1					10,0	5,4
BK 2	Straßenbereich S 202	45 72 999	56 43 441	251,39	10,0	10,0
DPH 2					10,0	6,1
BK 3	Straßenbereich S 202	45 73 028	56 43 401	251,69	10,0	10,0
DPH 3					10,0	4,8
BK 4	nördlich Autobahnbrücke BAB 4 über den Lützelbach in der S 202	45 73 059	56 43 356	253,46	10,0	10,0
DPH 4					10,0	4,0

Die Rotationskernbohrungen wurden bis zur geplanten Erkundungsendtiefe von 10,0 m abgesetzt. Dabei musste ab Bohrtiefen von 6,3 m (BK 1), 7,0 m (BK 2 und 3) bzw. 5,0 m (BK 4) Fremdwasser (Spülhilfe) eingesetzt werden, um das Festgestein bohren zu können.

Die vier schweren Rammsondierungen (DPH) hingegen mussten vor dem Erreichen der geplanten Erkundungstiefe von 10,0 m vorzeitig abgebrochen werden, da die anstehenden Böden ab 4,0 bis 6,1 m u. OK Straße nicht mehr rammbar waren. Als Abbruchkriterium für die schweren Rammsondierungen galt  $\hat{a} \ 3 \times N_{10, \text{DPH}} > 150$  bzw.  $1 \times N_{10, \text{DPH}} > 100$  (entspricht OK Festgestein).



Vor dem Absetzen der schweren Rammsondierungen wurde der gebundene Straßenaufbau (Asphalt) mittels Diamantkernbohrung entfernt. Die dabei gewonnenen Asphaltbohrkerne wurden als Asphaltproben aufgenommen und zu einer Mischprobe (MP-1 Asphalt) zusammengefasst. Zusätzlich wurden aus dem Bohrgut der Rotationskernbohrungen insgesamt 25 Einzelproben aus den einzelnen Bodenschichten entnommen und durch IFG für anschließende umwelttechnische und bodenmechanische Untersuchungen eingelagert.

Da in den Erkundungsbohrungen Grundwasser aufgeschlossen wurde, erfolgte die Entnahme einer Wasserprobe (WP-1) aus dem Bohrloch BK 3 aus einer Tiefe von 4,3 m zur Beurteilung der Beton- und Stahlaggressivität (Bestimmung Expositionsclassen).

Nach Beendigung der Bohrarbeiten wurden die Aufschlüsse bis 1,0 m u. OK Straße mit Bohrgut und im Bereich des ungebundenen Straßenaufbaus bis 0,20 m u. OK Straße mit Beton verfüllt. Anschließend wurden die Bohrlöcher mit Kaltmischgut (20 cm Asphalt) verschlossen.

Die lage- und höhenmäßige Einmessung der Bohransatzpunkte erfolgte auf Grundlage des vorliegenden Vermessungsplanes /4/.

## **4. Baugrundbeschreibung**

### **4.1 Allgemeine geologische und hydrogeologische Verhältnisse**

Im Umfeld des Untersuchungsgebiets werden nach geologischem Kartenmaterial /6/, /7/ oberflächennah fluviatile Sedimente der frühen Saale-Kaltzeit ( $fQ_{St}$ ) aus überwiegend sandigem Kies mit geringen Mächtigkeiten ausgewiesen. Nördlich des Untersuchungsgebiets können diese fluviatilen Sedimente auch von Gehängelehm der Weichsel-Kaltzeit ( $ldQ_{WV}$ ) überlagert sein. Unterhalb dieser Lockergesteinsmassen steht bereits das Festgestein bzw. dessen Zersatzprodukte bei ca. 240...250 m HN an. Das Festgestein besteht aus Gneis der Frankenger Einheit ( $PR_3FK$  – Augengneis, Paragneis mit metagranitischen Anteilen, stark blastomylonitisch).

Gemäß hydrogeologischem Kartenmaterial /8/ befindet sich im Untersuchungsgebiet kein ausgeprägter Grundwasserleiter. Das im Untersuchungsgebiet auftretende Grundwasser fließt überwiegend in den durchlässigen Kiessandsichten der fluviatilen Sedimente ab und wird stark durch die angrenzende Vorflut beeinflusst. Der anstehende Gneis weist eine nur sehr geringe Grundwasserführung auf. Die Grundwasserfließrichtung ist entsprechend der Geländemorphologie und der einfallenden Kiessandschichten nach Norden gerichtet. Die oberflächennahen Grundwasserverhältnisse sind mit der Vorflut korrespondierend anzunehmen. Das heißt, dass bei erhöhten Wasserständen in der Vorflut auch mit höheren Grundwasserständen im Straßen- bzw. Straßenrandbereich zu rechnen ist.



## 4.2 Erkundungsergebnisse

### 4.2.1 Baugrundmodell

Die Erkundungsergebnisse lassen sich zu folgendem Baugrundmodell zusammenfassen:

Schicht 0	Asphalt
Schicht 1	Schottertragschicht/Frostschuttschicht [GW]
Schicht 2	Hinterfüllung, Sand bis Kies, schluffig bis stark schluffig, schwach steinig, halbfest bis fest, locker [SU], [SU*], [GU], [GU*]
Schicht 3	Verwitterungslehm, Schluff, stark sandig (UL, SU*), steif bis weich
Schicht 4	Kies, sandig, schluffig (GU, GU*), locker gelagert
Schicht 5a	Gneiszersatz, kiesig, sandig (GU, GW, Zv), dicht gelagert
Schicht 5b	Gneis, verwittert bis stark verwittert (Zv)
Schicht 5c	Gneis, angewittert (Z)

Der Schichtenverlauf der einzelnen Schichten kann im Baugrundlängsschnitt (Anlage 4.1) sowie Details zu den angetroffenen Schichten in der Anlage 3 (Schichtenverzeichnisse und Bohrprofile) eingesehen werden.

### 4.2.2 Straßenaufbau

Die Baugrunderkundungsbohrungen erfolgten vom Straßenbestand der S 202 aus in den anstehenden Baugrund. Folgender Straßenaufbau wurde anhand der Erkundungsbohrungen ermittelt:

Die Asphaltdecke (**Schicht 0**) weist aufgrund vermutlich vorangegangener Straßenbauarbeiten (Reparaturarbeiten) wechselnde Schichtdicken von 10...34 cm auf. Die aus den Diamantkernbohrungen und Rotationskernbohrungen entnommenen Asphaltbohrkerne wiesen einen auffälligen Teergeruch auf.

Darunter folgt eine Schottertragschicht bzw. Frostschuttschicht (**Schicht 1**) bis 0,90...1,10 m u. OK Straße. Die Schicht 1 ist gem. DIN 18196 als sandiger bis stark sandiger Kies mit steinigen Einlagerungen in dichter Lagerung (**[GW]**) zu klassifizieren.

Das unter dem ungebundenen Straßenaufbau lagernde Straßenplanum besteht aus einer Auffüllung (**Schicht 2**) von standorttypischen Abtragsmassen (Verwitterungslehm, Gneiszersatz). Die Auffüllung wurde bis in eine Tiefe von 2,00...2,80 m u. OK Straße aufgeschlossen.

Schicht 2 steht in Form eines schluffigen bis stark schluffigen Sand-Kies-Gemisches mit steinigen Einlagerungen (**[SU]**, **[GU]**, **[SU\*]**, **[GU\*]**) an. Die Auffüllung weist eine halbfeste bis feste Konsistenz auf und ist teilweise verbacken. Nach Auswertung der schweren Rammsondierungen ist die Auffüllung als lediglich locker gelagert zu werten, d.h. beim Einbau von Schicht 2 erfolgte offensichtlich keine dem heutigen Stand der Technik entsprechende Verdichtung.

#### 4.3 Erkundungsergebnisse Baugrund

Den Auffüllungen folgen im Untersuchungsgebiet fluviatile Sedimente aus umgelagerten Verwitterungslehm (**Schicht 3**) und Kies (**Schicht 4**) bis in eine Tiefe von 3,4...5,8 m u. OK Straße. Teilweise sind die fluviatilen Sedimente wechselgelagert. In den Bohrungen BK 2 und BK 4 wurde die Schicht 4 nicht erbohrt.

Der fluviatil umgelagerte Verwitterungslehm steht in Form eines schwach kiesigen Sand-Schluff-Gemisches (**UL**, **SU\***) mit organischen Einlagerungen (Pflanzenreste) in steifer bis weicher Konsistenz an.

Der fluviatile Kies besteht aus einem stark sandigen, schluffigen bis stark schluffigen Kies (**GU**, **GU\***). Teilweise treten auch im fluviatilen Kies organische Einlagerungen auf. Nach Auswertung der schweren Rammsondierungen weist der fluviatile Kies eine lockere Lagerung auf.

Unterhalb der fluviatilen Sedimente wurde bereits der Festgesteinshorizont aus Gneis erreicht. In der Bohrung BK 4 steht der Gneis von 3,4 bis 4,7 m u. OK Straße im zersetzten Zustand an. Der zersetzte Gneis (**Schicht 5a**) besteht aus sehr mürben Gneisbruchstücken, welche unter leichtem Druck zu Kies und Sand zerfallen. Der Gneiszersatz weist eine dichte Lagerung auf und ist den Bodengruppen **GU**, **GW** und **Zv** zuzuordnen.

Der Gneis steht meist in verwittertem oder stark verwittertem Zustand (**Schicht 5b - Zv**) an. Schicht 5b ist stark klüftig (überwiegend plattig) und meist hart, liegt lokal jedoch auch in mürbem Zustand vor.

Eine Ausnahme davon bildet der Gneis in Bohrung BK 2 von 8,7 bis 10,0 m u. GOK. Hier wurde angewittertes Festgestein (**Schicht 5c - Z**) mit mäßiger Klüftung (dünnbankig) erbohrt.

Grundwasser wurde in den Bohrungen BK 1 bis BK 3 zwischen 3,5 und 4,1 m u. OK Straße innerhalb der Schicht 4 erkundet. In der Bohrung BK 4 war ein Grundwasseranschnitt nicht erkennbar.

## 5. Umweltanalytische Laboruntersuchungen

### 5.1 Bestimmung Stahlaggressivität

Die Untersuchung der Wasserprobe WP-1, welche aus dem Bohrloch der Bohrung BK 3 entnommen wurde, auf deren Stahlaggressivität erfolgte nach DIN 50929. Die Laborergebnisse der Analysen sind in Anlage 6.1 einzusehen. Folgende Werte zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch das Grundwasser im Bereich der Stützmauer wurden nach DIN 50929 T3 ermittelt:

**Tabelle 2 Ergebnisse Wasseranalyse auf Stahlaggressivität**

a) unlegierter Stahl

Unterwasserbereich	$W_0 = N_1 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_3/N_4$	=	<b>1,3</b>
Wasser/Luft-Grenze	$W_1 = W_0 - N_1 + N_2 \times N_3$	=	<b>-0,7</b>
Spritzwasserbereich	$W_1 = W_0 - N_1 + N_2 \times N_3$	=	<b>0,7</b>

DIN 50929 T3, Tab. 7. Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen in Wasser

$W_0$ - bzw. $W_1$ -Werte	Mulden- u. Lochkorrosion	Flächenkorrosion
> 0	sehr gering	sehr gering
-1 bis -4	gering	sehr gering
< -4 bis -8	mittel	gering
< -8	hoch	mittel

b) verzinkter Stahl

Unterwasserbereich	$W_D = M_1 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6$	=	<b>2,0</b>
Wasser/Luft-Grenze	$W_L = W_D + M_2$	=	<b>-4,0</b>
Spritzwasserbereich	$W_L = W_D + M_2$	=	<b>0,0</b>

DIN 50929 T3, Tab. 5. Beurteilung der Güte von Deckschichten auf feuerverzinkten Stählen

$W_D$ - bzw. $W_L$ -Werte	Güte der Deckschichten
> 0	sehr gut
-1 bis -4	gut
-5 bis -8	befriedigend
< -8	nicht ausreichend

Bei der Verwendung von unlegierten bzw. niedriglegierten Stählen im Bereich des Stützbauwerks besteht eine sehr geringe bis geringe Korrosionswahrscheinlichkeit im Unterwasser- und Spritzwasserbereich sowie an der Wasser/Luft-Grenze. Die Güte der Deckschichten auf feuerverzinkten Stählen wird im Unterwasser- und Spritzwasserbereich als sehr gut und an der Wasser/Luft-Grenze als gut beurteilt.

Damit sind für die **Verwendung von Stählen** im Bereich der Stützwand **keine besonderen Maßnahmen nötig** (kein zusätzlicher Korrosionsschutz).

## 5.2 Bestimmung Betonaggressivität (Expositionsklasse)

Die Untersuchung der Wasserprobe WP-1 auf ihre Betonaggressivität erfolgte nach DIN 4030, Teil 2. Ergebnisse der Untersuchung sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengefasst (siehe Anlage 6.1)

**Tabelle 3 Ergebnisse Wasseranalyse auf Betonaggressivität**

Bestimmungs- parameter	Prüfergebnis WP-1	Grenzwerte zur Beurteilung nach DIN 4030 Teil 1		
		schwach angreifend	stark angreifend	sehr stark angreifend
pH-Wert	7,5	6,5-5,5	<5,5-4,5	<4,5
Magnesium ( $Mg^{2+}$ )	17 mg/l	300 – 1000 mg/l	> 1000 – 3000 mg/l	> 3000 mg/l
Ammonium ( $NH_4^{+}$ )	< 0,06 mg/l	15 – 30 mg/l	> 30 – 60 mg/l	> 60 mg/l
Sulfat ( $SO_4^{2-}$ )	106 mg/l	200 – 600 mg/l	> 600 – 3000 mg/l	> 3000 mg/l
CO <sub>2</sub> (kalklösend)	< 5 mg/l	15 – 40 mg/l	> 40 – 100 mg/l	> 100 mg/l

Die Wasserprobe WP-1 weist keine erhöhten Konzentrationen der Untersuchungsparameter nach DIN 4030 Teil 1 auf. Daher ist das Grundwasser als **nicht betonangreifend** einzustufen. Der Betonangriffsgrad am Standort der Stützwand entspricht somit der **Expositionsklasse XA0**.

## 5.3 Verwertung bituminöser Straßenaufbruch

Zur Bestimmung der Verwertbarkeit des bei Bauarbeiten anfallenden bituminösen Straßenaufbruchs wurden die an den Bohransatzpunkten der schweren Rammsondierungen gewonnenen Asphaltbohrkerne zu einer Mischprobe MP-1 Asphalt (BK 1-4) zusammengefasst und im akkreditierten chemischen Laboratorium EUROFINS Umwelt Ost GmbH NL Freiberg auf Teerverdacht (PAK im Feststoff und Phenolindex im Eluat) untersucht. Der vollständige Prüfbericht ist in Anlage 6.2 enthalten.

Für Straßenausbaustoffe gelten nach den Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauphase im Straßenbau, RuVA-StB 01, Ausgabe 2005 die folgenden Verwertungsklassen:

**Tabelle 4 Verwertungsklassen nach RuVA-StB 01**

Verwertungs- klasse	Art der Straßenausbaustoffe		Hinter- grund <sup>1)</sup>	Gesamtgehalt im Feststoff PAK nach EPA mg/kg	Phenolindex im Eluat mg/l	Verwertungs- verfahren nach Abschnitt <sup>2)</sup>
A	Ausbauasphalt		AS, BS, GS	< 25 <sup>3)</sup>	< 0,1 <sup>3)</sup>	4.1 (4.2) (4.3)
B	Ausbaustoffe mit teer-/ pechtypischen Bestandteilen	vorwiegend steinkohlen- teertypisch	AS, BS, GS	> 25	< 0,1	4.2
C		vorwiegend braunkohlen- teertypisch	BS, GS	Wert ist anzugeben	> 0,1	4.2

Legende:

<sup>1)</sup> AS = Arbeitsschutz, BS = Bodenschutz, GS = Gewässerschutz<sup>2)</sup> in Klammern: nur in Ausnahmefällen, da keine hochwertige Verwertung<sup>3)</sup> Nachweis kann entfallen, wenn im Einzelfall zweifelsfrei nachgewiesen ist, dass ausschließlich Bitumen oder bitumenhaltige Bindemittel verwendet wurden.

Verwertungsverfahren nach RuVA-StB 01:

Abschn. 4.1: Heißmischverfahren (Asphaltmischanlagen, Baustellenmischverfahren)

Abschn. 4.2: Kaltmischverfahren mit Bindemitteln

Verwertung ist für Klassen B und C nur zulässig, wenn im Rahmen der Eignungsprüfung nachgewiesen wird, dass durch die Bindung mit Bindemittel im Eluat des Probekörpers die folgenden Grenzwerte eingehalten werden.

Verwertungsklasse	PAK nach EPA [mg/l]	Phenolindex [mg/l]
B	≤ 0,03	kein Nachweis erforderlich
C	≤ 0,03	≤ 0,01

Abschn. 4.3: Kaltverarbeitung ohne Bindemittel

Gilt nur für Ausbaustoffe der Verwertungsklasse A, wenn diese in Tragschichten unter wasserundurchlässigen Deckschichten eingebaut werden.

**Tabelle 5 Analyseergebnisse Teerererkennung Asphalt**

Aufschluss / Probennummer	$\Sigma$ PAK n. EPA [mg/kg OS]	Benzo(a)pyren [mg/kg OS]	Phenolindex [mg/l]	Verwertungsklasse
MP-1 Asphalt (DPH bei BK 1 bis BK 4)	219	6,6	< 0,01	<b>B</b>

Bei der aus dem Bestand der S 202 untersuchten Asphaltmischprobe liegt die Konzentration des Untersuchungsparameters PAK nach EPA deutlich oberhalb des Grenzwertes für die Verwertungsklasse A nach RuVA StB 01.

Der beim Straßenaufbruch anfallende Asphalt aus der S 202 nördlich Frankenberg ist somit der **Verwertungsklasse B** nach RuVA StB 01 zuzuordnen und kann im **Kaltmischverfahren mit Bindemittel** verwertet werden. Die entsprechenden Eignungsprüfungen nach RuVA-StB 01 sind bei einer Verwertung des Ausbauasphalts nachzuweisen.

Für den bituminösen Straßenaufbruch gilt die **Abfallschlüsselnummer: 17 03 02** (kein gefährlicher Abfall nach AVV).

#### 5.4 Verwertung Abtragsmassen (Auffüllung)

Für die Schadstoffuntersuchung der Auffüllungen (STS/FSS - Schicht 1 und Planum - Schicht 2) wurden alle Einzelproben aus den Schichten 1 und 2 jeweils zu einer Mischprobe MP-2 STS/FSS und MP-3 Planum zusammengefasst. Diese Mischproben wurden dem umwelttechnischen Labor EUROFINS Umwelt Ost GmbH zur Analyse nach LAGA TR Boden übergeben. Anlage 6.3 enthält den vollständigen Prüfbericht der Analyse. In den nachfolgenden Tabellen 6 und 7 sind die Analyseergebnisse den Grenzwerten der LAGA TR Boden gegenübergestellt.

Der Ansatz der Z 0 - Grenzwerte erfolgt für beide Mischproben für Sand, da das Bodenmaterial aus Schicht 1 als nicht bindig ([GW]) zu charakterisieren ist und das Material aus der Schicht 2 stark wechselnde Gehalte an feinkörnigem Material ([SU], [GU] - [SU\*], [GU\*]) aufweist (sichere Seite).

**Tabelle 6 Ergebnisse Schadstoffuntersuchung Auffüllmaterial (Feststoff)**

Parameter	Einheit	MP-2 (STS/FSS)	MP-3 (Planum)	Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden			
				Z 0 (Sand)	Z 0 <sup>*1)</sup>	Z 1	Z 2
MKW	mg/kg TS	< 40	< 40	100	200 (400) <sup>7)</sup>	300 (600) <sup>9)</sup>	1000 (2000) <sup>9)</sup>
EOX	mg/kg TS	< 1	< 1	1	1 <sup>6)</sup>	3 <sup>8)</sup>	10
PAK (EPA)	mg/kg TS	4,49	n.b.*	3	3	3 (9) <sup>10)</sup>	30
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,28	< 0,05	0,3	0,6	0,9	3
TOC	Ma.-% TS	0,2	0,2	0,5 (1,0) <sup>5)</sup>	0,5 (1,0) <sup>5)</sup>	1,5	5
Arsen	mg/kg TS	43	29	10	15 <sup>2)</sup>	45	150
Blei	mg/kg TS	30	23	40	140	210	700
Cadmium	mg/kg TS	0,3	0,4	0,4	1 <sup>3)</sup>	3	10
Chrom (ges.)	mg/kg TS	11	16	30	120	180	600
Kupfer	mg/kg TS	12	15	20	80	120	400
Nickel	mg/kg TS	9	15	15	100	150	500
Quecksilber	mg/kg TS	< 0,07	0,18	0,1	1,0	1,5	5
Zink	mg/kg TS	71	120	60	300	450	1500
<b>Bewertung Feststoffanalyse:</b>		<b>Z 2</b>	<b>Z 1</b>				

Legende:

- 1) maximale Feststoffgehalte für die Verfüllung von Abgrabungen unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen (siehe „Ausnahmen von der Regel“ für die Verfüllung von Abgrabungen in Nr. II.1.2.3.2 LAGA TR Boden)  
 2) bis 10) Erklärung siehe Prüfbericht (Anlage 6.3)  
 n.b.\* Summenparameter nicht berechenbar, da Einzelparameter unter der Nachweisgrenze liegen

**Tabelle 7 Ergebnisse Schadstoffuntersuchung Auffüllmaterial (Eluat)**

Parameter	Einheit	MP-2 (STS/FSS)	MP-3 (Planum)	Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden			
				Z 0 / Z 0 <sup>*1)</sup>	Z 1.1 <sup>2)</sup>	Z 1.2 <sup>2)</sup>	Z 2 <sup>2)</sup>
pH-Wert	-	8,7	7,4	6,5-9,5	6,5-9,5	6-12	5,5-12
el. Leitfähigkeit	µS/cm	118	99	250	250	1500	2000
Arsen	µg/l	76	16	14	14	20	60
Blei	µg/l	8	4	40	40	80	200
Cadmium	µg/l	< 0,3	< 0,3	1,5	1,5	3	6
Chrom (ges.)	µg/l	2	3	12,5	12,5	25	60
Kupfer	µg/l	< 5	< 5	20	20	60	100
Nickel	µg/l	1	2	15	15	20	70
Quecksilber	µg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	1	2
Zink	µg/l	20	20	150	150	200	600
<b>Bewertung Eluatanalyse:</b>		<b>&gt; Z 2</b>	<b>Z 1.2</b>				

Legende:

- 1) Zuordnungswerte für die Verwendung in bodenähnlichen Anwendungen nach Tab II.1.2-3 LAGA TR Boden  
 2) Zuordnungswerte für den eingeschränkten Einbau in technischen Bauwerken nach Tab. II.1.2-5 LAGA TR



Für die Mischprobe aus dem ungebundenen Straßenaufbau (**MP-2**) wurden ein mäßig erhöhter PAK- und Arsengehalt sowie ein leicht erhöhter Zinkgehalt im Feststoff nachgewiesen. Der mäßig erhöhte PAK-Gehalt lässt sich auf Einträge aus der Asphaltdecke zurückführen (vgl. Kap. 5.3). Der erhöhte Arsengehalt wurde auch im Eluat nachgewiesen, wobei hier der Z2-Grenzwert nach LAGA TR Boden um 16 µg/l überschritten wurde. Ein Einbau der Abtragsmassen aus dem ungebundenen Straßenaufbau am Untersuchungsstandort ist somit nicht möglich. Die Abtragsmassen aus dem ungebundenen Straßenaufbau sind auf einer Deponie zu entsorgen. Es wurden daher für die Mischprobe MP-2 (STS/FSS) nachträglich die Ergänzungsparameter nach DepV 2012 untersucht. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Kapitel 5.5 dargestellt.

In der Mischprobe **MP-3** aus dem Straßenplanum wurden ebenfalls erhöhte Arsen- und Zinkgehalte im Feststoff ermittelt. Zusätzlich ist auch der Gehalt an Quecksilber im Feststoff leicht erhöht. Ähnlich wie in der Mischprobe MP-2 wurde auch in Mischprobe MP-3 im Eluat ein erhöhter Arsengehalt nachgewiesen, jedoch unterschreitet dieser noch den Z 1.2 – Zuordnungswert nach LAGA TR Boden. Abtragsmassen aus dem Straßenplanum können somit in **Z 1.2** eingestuft werden. Die entspricht der **Einbauklasse 1 – eingeschränkter offener Einbau in hydrogeologisch günstigen Gebieten**. Am Untersuchungsstandort liegen jedoch keine hydrogeologisch günstigen Bedingungen vor (keine durchgängige bindige Deckschicht mit mindestens 1,0 m Mächtigkeit oberhalb des Grundwasserleiters vorhanden). Alternativ dazu könnte das Material unter einer besonders abdichtenden Deckschicht (Asphaltdecke) eingebaut werden, hierbei ist jedoch sicherzustellen, dass das Material einen Mindestabstand zum Grundwasserleiter von 1,0 m einhält. Grundwasser wurde zwischen 3,5 und 4,1 m u. OK Straße erkundet. Abzüglich einer 0,5 m hohen jahreszeitlichen Schwankung kann als Grundwasserstand 3,0...3,6 m u. OK Straße angesetzt werden. Somit kann das Abtragsmaterial bis 2,0 m u. OK Straße wieder eingebaut werden. Sollte eine Entsorgung der Abtragsmassen aus dem Straßenplanum angestrebt werden, so kann das Bodenmaterial auf einer Erdstoffdeponie entsorgt werden, welche Z 1.2-Material annehmen darf. Es gilt der **Abfallschlüssel 17 05 04** (Boden und Steine ohne gefährliche Stoffe gem. AVV).

## 5.5 Ergänzungsuntersuchung nach DepV (2012)

Da in der Untersuchung der Schottertragschicht bzw. Frostschuttschicht (Schicht 1) der Parameter Arsen im Eluat den Z 2 – Zuordnungswert nach LAGA TR Boden überschreitet, wurden zusätzlich zur LAGA-Untersuchung noch die Ergänzungsparameter für die Beurteilung nach DepV (2012) analysiert. In der folgenden Tabelle 8 sind die Ergebnisse der LAGA-Untersuchung (s. Anlage 6.3) und die Ergänzungsparameter nach DepV (s. Anlage 6.4) den Grenzwerten nach DepV (2012) gegenübergestellt.

**Tabelle 8 Ergebnisse zur Deponierbarkeit der Schicht 1**

Parameter	Einheit	MP-2 (STS/FSS)	Grenzwerte nach DepV(2012)			
			DK 0	DK I	DK II	DK III
Glühverlust	M.-% TS	1,1	3	3	5	10
TOC	M.-% TS	0,2	1	1	3	6
extrahierbare lipophile Stoffe	M.-% OS	0,08	0,1	0,4	0,8	4
pH-Wert	-	8,7	5,5-13	5,5-13	5,5-13	4-13
DOC	mg/l	1,9	50	50	80	100
Phenole	mg/l	< 0,01	0,1	0,2	50	100
Arsen	mg/l	<b>0,076</b>	0,05	0,2	0,2	2,5
Blei	mg/l	0,008	0,05	0,2	1	5
Cadmium	mg/l	< 0,0003	0,004	0,05	0,1	0,5
Chrom (ges.)	mg/l	0,002	0,05	0,3	1	7
Kupfer	mg/l	< 0,005	0,2	1	5	10
Nickel	mg/l	0,001	0,04	0,2	1	4
Quecksilber	mg/l	< 0,0002	0,001	0,005	0,02	0,2
Zink	mg/l	0,02	0,4	2	5	20
Cyanid, leicht freisetzbar	mg/l	< 0,005	0,01	0,1	0,5	1
Fluorid	mg/l	< 2	1	5	15	50
Barium	mg/l	0,020	2	5	10	30
Molybdän	mg/l	0,003	0,05	0,3	1	3
Antimon	mg/l	0,002	0,006	0,03	0,07	0,5
Selen	mg/l	< 0,001	0,01	0,03	0,05	0,7
wasserlöslicher Anteil	mg/l	92	400	3.000	6.000	10.000
<b>Bewertung Eluatanalyse:</b>		<b>DK I</b>				

Die Untersuchtenparameter nach DepV (2012) der Mischprobe MP-2 unterschreiten alle die Grenzwerte für die Deponieklasse DK I. Abtragsmaterial aus der Schottertragschicht bzw. Frostschutzschicht (Schicht 1) ist somit als DK I-Material zu deklarieren und kann auf einer Deponie mit einer Zulassung für DK I entsorgt werden. Es gilt der **Abfallschlüssel 17 05 04** (Boden und Steine ohne gefährliche Stoffe gem. AVV).

## 6. Bodenmechanische Laboruntersuchungen

### 6.1 Bestimmung Korngrößenverteilung

Zur genaueren Bestimmung der bodenmechanischen Kennwerte des anstehenden fluviatilen Kiesel (Schicht 4) wurden die Proben P 3 aus Bohrung BK 2 und P 4 aus Bohrung BK 3 auf ihre Korngrößenverteilung nach DIN 18123 hin untersucht. Der Prüfbericht zur Korngrößenverteilung ist der Anlage 5.2 zu entnehmen.

**Tabelle 9 Korngrößenverteilung fluviatiler Kies (Schicht 4)**

Entnahmestelle / Probe	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Schicht-Nr.	Kieskornanteil > 2 mm [%]	Feinkornanteil < 0,063 mm [%]	Bodengruppe DIN 18196
BK 2 / P 3	4,0...4,1	4	65,7	6,1	GU
BK 3 / P 4	4,4...4,5	4	56,9	15,2	GU*

Die Kiese der Schicht 4 sind überwiegend schluffig bis stark schluffig und weitgestuft. Aufgrund des Feinkornanteils ist die Probe BK 2 / P 3 als mäßig frostempfindlich (F 2) und die Probe BK 3 / P 4 als stark frostempfindlich (F 3) zu bewerten. Als maßgebende Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09 wird die **Frostempfindlichkeitsklasse F 3** angesetzt (sichere Seite).

Die ermittelten Wasserdurchlässigkeiten für beide Proben lagen bei  $k_f = 5,3 \times 10^{-5} \dots 2,1 \times 10^{-4}$  m/s. Es wird eine durchschnittliche Wasserdurchlässigkeit für die Schicht 4 von  $\varnothing k_f = 1,3 \times 10^{-4}$  m/s angesetzt.

### 6.2 Bestimmung natürliche Wassergehalte

Zur Bestimmung der Tragfähigkeit des Straßenplanums sowie zur Festlegung der bodenmechanischen Eigenschaften der bindigen und gemischtkörnigen Bodenschichten (Schichten 2 und 3) wurden für vier Einzelproben die natürlichen Wassergehalte gem. DIN 18121-1 bestimmt. Der Prüfbericht zur Bestimmung der natürlichen Wassergehalte ist der Anlage 5.1 zu entnehmen.

**Tabelle 10 natürliche Wassergehalte (Schichten 2 und 3)**

Entnahmestelle / Probe	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Schicht-Nr.	nat. Wassergehalt $w_n$ [M-%]	Bodengruppe DIN 18196
BK 1 / P 4	3,2...3,3	3	44,6	SU*-UL
BK 2 / P 2	1,5...1,6	2	9,4	[SU], [GU], [SU*], [GU*]
BK 3 / P 3	3,3...3,4	3	17,6	SU*-UL
BK 4 / P 2	1,5...1,6	2	11,8	[SU*]

Auf fein- und gemischtkörnigen Böden können folgende Richtwerte für die Beurteilung des zu erwartenden Verformungsmoduls  $E_{V2}$  angenommen werden:

**Tabelle 11 Richtwerte  $E_{V2}$**

Porenanteil $n$ [%]	Wassergehalt $w_n$ [M-%]	$E_{V2}$ -Modul [MN/m <sup>2</sup> ]
$n \leq 30$	$7 \leq w \leq 15$	$\geq 45$
$30 < n \leq 36$	$15 \leq w \leq 20$	$20 < E_{V2} < 45$
$n > 36$	$w \geq 20$	$\leq 20$

Quelle: Grundbautaschenbuch, Teil 2, Seite 657

Der durchschnittliche natürliche Wassergehalt der im Straßenplanum anstehenden Auffüllung (Schicht 2) beträgt  $\bar{w}_n = 10,6$  M.-%. Dies deckt sich mit den erkundeten Konsistenzen der Schicht 2 von halbfest bzw. fest. Es kann somit für die Schicht 2 von einem Verformungsmodul  $E_{V2} \geq 45$  MN/m<sup>2</sup> ausgegangen werden.

Die ermittelten natürlichen Wassergehalte des fluvial umgelagerten Verwitterungslehms (Schicht 3) schwanken stark und wurden mit  $w_n = 17,6 \dots 44,6$  M.-% ermittelt. Es kann daher für die Schicht 3 nur ein Verformungsmodul von  $E_{V2} < 20$  MN/m<sup>2</sup> angesetzt werden.

### 6.3 Bestimmung Druckfestigkeit Festgestein

Zur Bestimmung der bodenmechanischen Kennwerte bzw. zur Festlegung der Bodenklassen wurden an charakteristischen Einzelproben des anstehenden Festgesteins (Schicht 5b und 5c) die einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit gem. DGGT- Empfehlung Nr. 1 sowie die Druckfestigkeit mittels Punktlastversuch gem. DGGT- Empfehlung Nr. 5 ermittelt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengefasst und die Prüfprotokolle in der Anlage 5.3 und Anlage 5.4. einzusehen.

**Tabelle 12 Druckfestigkeiten Festgestein (Schichten 5b und 5c)**

Entnahmestelle / Probe	Entnahmetiefe [m]	Schicht-Nr.	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
BK 2 / P 4	7,8...7,9	Schicht 5b	n.b.*	7,9...59,2 ( $\bar{\sigma}$ 20,24)
BK 2 / P 5	9,4...9,6	Schicht 5c	2,59	50,07

Legende:

n.b.\* wurde nicht bestimmt (Punktlastversuch)

Das anstehende, stark verwitterte Festgestein der Schicht 5b ist angesichts der ermittelten Druckfestigkeiten von  $\bar{\sigma}$  7,9...59,2 N/mm<sup>2</sup> der Bohrbarkeitsklasse FD 1 bis FD 2 gemäß DIN 18301 zuzuordnen. Die Lösbarkeit von Schicht 5b wechselt angesichts der sehr inhomogenen Gesteinsfestigkeit häufig und unregelmäßig zwischen BK 6 und BK 7. Es empfiehlt sich, diesen Horizont zu jeweils 50 % in BK 6 bzw. 7 einzuordnen.

Das angewitterte Festgestein der Schicht 5c weist eine Druckfestigkeit von  $\sim 50 \text{ N/mm}^2$  auf. Die Schicht 5c entspricht daher der Bohrbarkeitsklasse FD 2 gemäß DIN 18301. Die Lösbarkeit gemäß DIN 18300 dieses Horizonts ist generell in BK 7 einzuordnen.

## 7. Baugrundmodell

### 7.1 Baugrundsichtung

In Auswertung der vorliegenden Aufschluss- und Laborergebnisse sind im Bereich der Stützwand folgende Bodenhorizonte vorhanden (vgl. Anlage 3 und Anlage 4):

**Tabelle 13 Baugrundsichtung**

Schicht-Nr.	Bezeichnung	Schichtunterkante [m u. OK Straße]	Kurzzeichen	Zustandsform
0	<b>Asphalt</b>	0,10...0,34	-	-
1	<b>Schottertragschicht/ Frostschuttschicht</b> Kies, sandig bis stark sandig, schwach steinig	0,90...1,10	[GW]	dicht gelagert
2	<b>Auffüllung (Hinterfüllung)</b> Sand bis Kies, schluffig bis stark schluffig, schwach steinig	2,00...2,80	[SU], [GU], [SU*], [GU*]	halbfest bis fest, locker gelagert
3	<b>fluvial umgelagerter Verwitterungslehm<sup>1)</sup></b> Sand bis Schluff, schwach kiesig, organische Einlagerungen, vereinzelt Steine	4,10...4,50	UL, SU*	steif bis weich
4	<b>fluvialer Kies</b> Kies, stark sandig, schluffig bis stark schluffig, vereinzelt Steine und organische Einlagerungen	3,40...5,80	GU, GU*	locker gelagert
5a	<b>Gneis, zersetzt<sup>2)</sup></b> kiesig, sandig, teilweise schluffig	4,70	GU, GW, Zv	dicht gelagert, Bruchstücke mürbe
5b	<b>Gneis, verwittert bis stark verwittert</b>	8,70...10,0	Zv	stark klüftig, überwiegend hart, teilweise mürbe
5c	<b>Gneis, angewittert<sup>3)</sup></b>	> 10,0	Z	klüftig, hart, frisch

Legende:

- 1) nur in BK 1 und BK 3 aufgeschlossen
- 2) nur in BK 4 aufgeschlossen
- 3) nur in BK 2 aufgeschlossen

## 7.2 Bodenmechanische Kennwerte

Zur Durchführung von erdstatischen Berechnungen sowie für Tiefbauplanungen werden folgende bodenmechanische Kennwerte in Tabelle 14 angegeben, welche in Auswertung der ingenieurgeologischen Feldansprache, der Laborergebnisse sowie mit Hilfe tabellierter und regionaler Erfahrungswerte nach EAU und DIN 1055 festgelegt wurden.

**Tabelle 14 Bodenmechanische Kennwerte**

Nr.	Bodenart	Kurz- zeichen	cal. g	cal. g'	cal. f'	cal. c'	cal. Es	cal. k <sub>f</sub>
0	<b>Asphalt</b>	-	-	-	-	-	-	-
1	<b>Schottertragschicht/ Frostschuttschicht</b> Kies, sandig bis stark sandig, schwach steinig, dicht	[GW]	21	12	40	0	120	1,0x10 <sup>-3</sup>
2	<b>Auffüllung (Hinterfüllung)</b> Sand bis Kies, schluffig bis stark schluffig, schwach steinig, halbfest bis fest, locker	[SU], [GU], [SU*], [GU*]	20	10	30	3	15	1,0x10 <sup>-7</sup>
3	<b>fluvial umgelagerter Verwitterungslehm</b> Sand bis Schluff, schwach kiesig, organische Einlagerungen, vereinzelt Steine, steif bis weich	UL, SU*	19	9	27	5	3	1,0x10 <sup>-9</sup>
4	<b>fluvialer Kies</b> Kies, stark sandig, schluffig bis stark schluffig, vereinzelt Steine und organische Einlagerungen, locker	GU, GU*	21	11	32	2	30	1,3x10 <sup>-4</sup>
5a	<b>Gneis, zersetzt</b> kiesig, sandig, teilweise schluffig, dicht	GU, GW, Zv	22	13	42	1	80	1,0x10 <sup>-4</sup>
5b	<b>Gneis, verwittert bis stark verwittert</b>	Zv	23	13	45	50	150	-
5c	<b>Gneis, angewittert</b>	Z	24	14	50	120	300	-

Legende:

cal. g cal. Bodendichte, erdfeucht [kN/m<sup>3</sup>]  
cal. f' cal. Reibungswinkel [°]  
cal. E<sub>s</sub> cal. Steifemodul [MN/m<sup>2</sup>]

cal. g' cal. Bodendichte unter Auftrieb [kN/m<sup>3</sup>]  
cal. c' cal. Kohäsion [kN/m<sup>2</sup>]  
cal. k<sub>f</sub> cal. Durchlässigkeitskoeffizient [m/s]

### 7.3 Homogenbereiche

Zur Ausschreibung von Tiefbauleistungen (Erd- und Bohrarbeiten) sind dem Baugrund am Untersuchungsstandort folgende Homogenbereiche zuzuordnen:

**Tabelle 15 Homogenbereiche**

Homogenbereiche	A	B	C	D	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
dazugehörige Schichten	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4	Schicht 5a	Schicht 5b	Schicht 5c
Bodengruppe	[GW]	[SU], [GU], [SU*], [GU*]	UL, SU*	GU, GU*	GU, GW, Zv	Zv	Z
ortsübliche Bezeichnung	STS/FSS	Auffüllung	Verwitterungslehm, umgelagert	fluvialer Kies	Gneis- zersatz	Gneis	Gneis
Benennung von Fels	-	-	-	-	Augengneis, Paragneis mit metagranitischen Anteilen, stark blastomylonitisch		
Verwitterung, Veränderungen und Veränderlichkeit	-	-	-	-	zersetzt	verwittert bis stark verwittert, nicht veränderlich	angewittert, nicht veränderlich
Massenanteil Ton [%]	0...3 <sup>1)</sup>	0...10 <sup>1)</sup>	5...15 <sup>1)</sup>	0...5	0...5 <sup>1)</sup>	-	-
Massenanteil Schluff [%]	0...3 <sup>1)</sup>	10...30 <sup>1)</sup>	30...60 <sup>1)</sup>	5...20	0...10 <sup>1)</sup>	-	-
Massenanteil Sand [%]	10...30 <sup>1)</sup>	30...60 <sup>1)</sup>	30...60 <sup>1)</sup>	30...40	10...20 <sup>1)</sup>	-	-
Massenanteil Kies [%]	50...80 <sup>1)</sup>	30...60 <sup>1)</sup>	5...10 <sup>1)</sup>	50...70	30...60 <sup>1)</sup>	-	-
Massenanteil Steine [%]	0...5 <sup>1)</sup>	5...10 <sup>1)</sup>	0...5 <sup>1)</sup>	0...5	0...30 <sup>1)</sup>	-	-
Massenanteil Blöcke [%]	0	0...5 <sup>1)</sup>	0	0	0...30 <sup>1)</sup>	-	-
Trennflächenrichtung	-	-	-	-	-	n.b. <sup>2)</sup>	n.b. <sup>2)</sup>
Trennflächenabstand [mm]	-	-	-	-	-	10...200 grob laminiert bis dünn	100...200 sehr dünn bis dünn
Gesteinskörperform	-	-	-	-	-	rhombisch, tafelförmig <sup>1)</sup>	rhombisch, tafelförmig <sup>1)</sup>
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,9...2,3 <sup>1)</sup>	1,8...2,2 <sup>1)</sup>	1,7...2,1 <sup>1)</sup>	1,9...2,3 <sup>1)</sup>	2,0...2,4 <sup>1)</sup>	2,1...2,5 <sup>1)</sup>	2,5...2,7
Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	-	-	-	-	-	5...60	30...70
undrainierte Scherfestigkeit [kN/m <sup>2</sup> ]	n.b.	5...10 <sup>1)</sup>	5...15 <sup>1)</sup>	0...5 <sup>1)</sup>	n.b.	-	-
Kohäsion [kN/m <sup>2</sup> ]	0	1...5 <sup>1)</sup>	3...7 <sup>1)</sup>	0...4 <sup>1)</sup>	0...2 <sup>1)</sup>	-	-
Wassergehalt [%]	1...5 <sup>1)</sup>	5...15	15...50	5...20 <sup>1)</sup>	3...8 <sup>1)</sup>	-	-
Konsistenz	n.b.	halbfest bis fest	steif bis weich	n.b.	n.b.	-	-
Konsistenzzahl I <sub>c</sub>	n.b.	1...1,5 <sup>1)</sup>	0,5...1,0 <sup>1)</sup>	n.b.	n.b.	-	-
Plastizitätszahl I <sub>p</sub>	n.b.	5...15 <sup>1)</sup>	5...10 <sup>1)</sup>	n.b.	n.b.	-	-
Lagerungsdichte I <sub>D</sub>	0,55...0,75	0,05...0,30	n.b.	0,25...0,50	0,60...0,80	-	-
organischer Anteil [%]	< 0,5	< 0,5	1...5 <sup>1)</sup>	1...5 <sup>1)</sup>	< 0,5 <sup>1)</sup>	-	-
Abrasivität	LAK [g/t]	500...1250 <sup>1)</sup>	250...500 <sup>1)</sup>	50...100 <sup>1)</sup>	500...1250 <sup>1)</sup>	1250...2000 <sup>1)</sup>	1250...2000 <sup>1)</sup>
	CAI	2,0...4,0 <sup>1)</sup>	1,0...2,0 <sup>1)</sup>	0,3...0,5 <sup>1)</sup>	2,0...4,0 <sup>1)</sup>	4,0...6,0 <sup>1)</sup>	4,0...6,0 <sup>1)</sup>
	Bewertung	stark abrasiv	abrasiv	kaum abrasiv	stark abrasiv	stark abrasiv	extrem abrasiv
Frostempfindlichkeit (nach ZTVE StB 09)	F 1	F 3	F 3	F 2...F 3	F 2	-	-

Legende:

- 1) an Hand von Erfahrungswerten und der ingenieurgeologischen Feldansprache geschätzt  
 2) keine Pilotbohrung  
 n.b. nicht bestimmbar



## 8. Gründungsempfehlung

### 8.1 Flachgründung

Nach Auswertung der Erkundungs- und Laborergebnisse steht im Untersuchungsgebiet ab ca. 2,0...4,0 m u. OK Straße ausreichend tragfähiger Baugrund für eine Flachgründung des geplanten Ersatzneubaus der Stützmauer (BW 9) am Lützelbach an. Aus geotechnischer Sicht ist die Flachgründung des Stützbauwerks zu bevorzugen. Eine Tiefgründung ist weder notwendig noch sinnvoll.

Die Gründung muss in Schicht 4 bzw. 5a/5b erfolgen. Unter das Fundament der Stützmauer ist eine Sauberkeitsschicht aus Magerbeton von mindestens 10 cm einzubauen. Die Gründung sollte mindestens bei 1,2 m unter Gewässersohle (ca. 247,3...248,8 m NHN) erfolgen, daher ist ggf. eine Abtreppung sinnvoll. Sollte in der Gründungssohle weiches Material der Schicht 3 anstehen, so ist dieser Boden zu entfernen und durch eine verstärkte Sauberkeitsschicht aus Magerbeton (d ~ 50...60 cm) zu ersetzen. Dies gilt vor allem für die Bereiche um BK 1 und BK 3 (vgl. Anlage 4.2).

In Anlage 7 wurden zur Ermittlung der zu erwartenden Setzungen, Grundbruch- und Setzungsberechnungen gemäß DIN 4017, DIN 4019 in Verbindung mit dem Teilsicherheitskonzept EC 7 durchgeführt. Dabei wurde jeweils für jedes Bohrprofil eine separate Berechnung durchgeführt, um etwaige Setzungsdifferenzen abschätzen zu können. Die geplanten Gründungen wurden dabei als Streifenfundament mit folgenden Randbedingungen betrachtet:

- Gründungssohle: ca. 247,3 m NHN an BK 1,  
ca. 247,8 m NHN an BK 2,  
ca. 248,3 m NHN an BK 3 und  
ca. 248,8 m NHN an BK 4
- Sauberkeitsschicht: 10 cm Magerbeton BK 2 und BK 4 und  
60 cm Magerbeton BK 1 und BK 3
- Einbindetiefe: ca. 1,2 m unter Gewässersohle
- Fundamentbreiten:  $b = 1,0 \dots 2,5$  m
- Maßgebende Bohrprofile: BK 1 (Anlage 7, Blatt 1),  
BK 2 (Anlage 7, Blatt 2),  
BK 3 (Anlage 7, Blatt 3) und  
BK 4 (Anlage 7, Blatt 4).

Der Bemessungswert des Sohldruckwiderstands wird rechnerisch auf  $\sigma_{R,d} = 750 \text{ kN/m}^2$  (entspricht zulässiger Bodenpressung  $\sigma_{zul} / \sigma_{E,k} \sim 538 \text{ kN/m}^2$ ) begrenzt.

Bei voller Ausnutzung der zulässigen Bodenpressung bzw. des Bemessungswertes des Sohldruckwiderstands ergeben sich am Bohrpunkt BK 1 Setzungen von  $s \sim 1,1 \dots 1,8$  cm (vgl. Anlage 7, Blatt 1), am Bohrpunkt BK 2 Setzungen von  $s \sim 1,9 \dots 2,9$  cm (vgl. Anlage 7, Blatt 2), am Bohrpunkt BK 3 Setzungen von  $s \sim 1,2 \dots 1,9$  cm (vgl. Anlage 7, Blatt 3) und am Bohrpunkt BK 4 Setzungen von  $s \sim 0,5 \dots 1$  cm (vgl. Anlage 7, Blatt 4).

Bei einem angenommenen Bemessungswert des Sohldruckwiderstands von  $\sigma_{R,d} = 200$  kN/m<sup>2</sup> (entspricht zulässiger Bodenpressung  $\sigma_{zul} / \sigma_{E,k} \sim 143$  kN/m<sup>2</sup>) sind Setzungen im gesamten Bau-  
feld von  $s < 8$  mm zu erwarten. Die dabei auftretenden maximalen Setzungsdifferenzen betragen  $Ds_{max} \sim 5$  mm und gelten als bauwerksunschädlich.

## 8.2 Tiefgründung auf Pfählen

Eine Tiefgründung ist aus geotechnischer Sicht nicht notwendig. Die folgenden Angaben sind als informativ zu verstehen, falls eine Tiefgründung aus konstruktiven Gründen erwogen werden sollte.

### 8.2.1 Mikropfähle

Für die Gründung der Widerlager auf kleinen Verpresspfählen (Mikropfähle  $D_s \leq 0,30$  m) fordert die EA Pfähle eine Krafteintragungslänge in ausreichend tragfähigem Baugrund von 3,0 m, welche bei Fels oder felsähnlichen Böden angemessen auf bis zu 0,5 m herabgesetzt werden kann. Als ausreichend tragfähiger Baugrund gelten nicht bindige Böden mit einem Sondier-  
spitzenwiderstand  $q_{ck} > 10$  MN/m<sup>2</sup> sowie bindige Böden mit einer Kohäsion des undrainierten Bodens  $c_u > 0,1$  MN/m<sup>2</sup>. Unter diesen Voraussetzungen kann die Gefahr des Durchstanzens sowie bauwerksschädlicher Setzungen aus liegenden Schichten ausgeschlossen werden.

Am Untersuchungsstandort erfüllen diese Anforderung der zersetzte Gneis (Schicht 5a) sowie der stark verwitterte bis angewitterte Gneis (Schicht 5b/5c). Die Verpresspfähle müssen somit bei Ansatz der o.g. Krafteintragungslängen bis mindestens in folgendes Niveau reichen:

- BK 1: 245,45 m NHN
- BK 2: 245,10 m NHN
- BK 3: 246,30 m NHN
- BK 4: 248,25 m NHN

Die in der folgenden Tabelle 16 angegebenen Mantelreibungskennwerte zur Vorbemessung gelten für Druckpfähle und sind bei auf Zug beanspruchten Verpresspfählen (Anker) zu halbieren. Die Kennwerte sind durch Pfahlprobelastungen zu präzisieren.

**Tabelle 16 Mantelreibung von Verpresspfählen**

Schicht	Bodenart	Kurzzeichen	charakteristische Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
0...4	Straßenaufbau, Auffüllung und fluviatile Sedimente	[GW], [SU], [GU], [SU*], [GU*], UL, SU*, GU, GU*	0
5a	Gneis, zersetzt	GW, GU, Zv	250
5b	Gneis, verwittert bis stark verwittert	Zv	315
5c	Gneis, angewittert	Z	315

### 8.2.2 Bohrpfähle

Sollten Mikropfähle aus statischer Sicht nicht ausführbar sein, müsste auf großkalibrige Bohrpfähle ausgewichen werden. Bezüglich der Mindesteinbindetiefe gelten dabei o.g. Angaben gleichermaßen. Für die Ermittlung des horizontalen Bettungsmoduls  $k_s$  zur Ableitung von Horizontallasten bei Bohrpfählen kann der Steifemodul aus Tabelle 17 mit  $k_s = E_s/D$  verwendet werden. Für die Berechnung von Bohrpfählen dürfen folgende Kennwerte angesetzt werden:

**Tabelle 17 Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung von Bohrpfählen**

Schicht	Bodenart	Kurzzeichen	Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]		
				$s/D_s = 0,02$	$s/D_s = 0,03$	$s/D_s = 0,10$ ( $= s_q$ )
0...4	Straßenaufbau, Auffüllung und fluviatile Sedimente	[GW], [SU], [GU], [SU*], [GU*], UL, SU*, GU, GU*	-	-	-	-
5a	Gneis, zersetzt	GW, GU, Zv	120	1.750	2.250	4.000
5b	Gneis, verwittert bis stark verwittert	Zv	500	7.000		
5c	Gneis, angewittert	Z	500	10.000		

## 9. Hinweise zum Erdbau

### 9.1 Baugrubensicherung

Für eine bauzeitliche Böschung wäre eine Neigung von 1:1 oder flacher nötig. Da dies auf Grund der beengten Verhältnisse nicht möglich ist (halbseitige Sperrung der S 202 während der Baumaßnahme), wird eine Baugrubensicherung notwendig.

Aufgrund der unzureichend rambaren Böden (ab ca. 5,0 m GOK Festgestein) gelten Spundwände als ungeeignet.

Es wird daher ein Verbau mit eingebohrten Trägerbohlwänden (Berliner Verbau) empfohlen. Bei Ausführung des Trägerverbaus ist zu beachten, dass teilweise nicht standfeste Böden vorliegen und somit generell verrohrt gebohrt werden muss.

Sollten es die örtlichen Verhältnisse zulassen, kann eine übersteil geböschte Baugrube mit Spritzbetonsicherung als geotechnisch gleichwertige Alternative empfohlen werden.

### 9.2 Wasserhaltung

Grundwasser wurde ca. 1...2 m unterhalb der Sohle des Lützelbachs erkundet. Es ist davon auszugehen, dass das Grundwasser über den unmittelbar angrenzenden Lützelbach gespeist und innerhalb der anstehenden Schicht 4 abgeleitet wird. Ein besonders starker Grundwasserandrang war während der Bohrarbeiten nicht erkennbar.

Bei einer **Verrohrung** des Lützelbachs wird eine Grundwasserabsenkung mittels **offener Wasserhaltung** bei den Gründungsarbeiten als ausreichend eingeschätzt. Zur Minimierung des dazu erforderlichen Aufwands kann es hilfreich sein, für die Sauberkeitsschicht Unterwasserbeton einzusetzen.

### 9.3 Bodenaushub und Wiederverfüllung

Der beim Baugrubenaushub zu lösende Erdstoff kann bis ca. 5,0 m u. OK Straße mittels Bagger mit normalem Aufwand gelöst werden. Danach folgt leicht lösbarer Fels, welcher mittels Reißen bzw. Meißelarbeiten noch relativ gut zu lösen ist. In der Bohrung BK 2 wurde ab 8,70 m u. OK Straße schwer lösbarer Fels (Schicht 5c) erkundet.

Es ist zu beachten, dass innerhalb der Schicht 5b weniger verwitterte Gneisbereiche vorhanden sein können, die ein Lösen erschweren. Auch können innerhalb der Lockergesteinsschichten grobe Steine und Blöcke auftreten, die ebenso ein Lösen erschweren.

Für die Hinterfüllung der Stützwand ist die WAS 7 anzuwenden. Da der im Gründungsbereich anstehende fluvatile Kies (Schicht 4) wasserdurchlässig ist, kann auf den Einbau eines Grundrohrs zur Entwässerung verzichtet werden.

Rückseitig anfallendes Sickerwasser kann in Schicht 4 infiltriert werden. Dazu ist es erforderlich, dass der Hinterfüllbereich in den Bereichen mit verstärkter Sauberkeitsschicht ebenfalls bis auf Schicht 4 reicht.

Der Entwässerungsbereich ist mit grobkörnigem Material der Bodengruppe GW zu verfüllen. Hierfür würde sich Abtragsmaterial aus Schicht 1 eignen, jedoch kann dieses Material aus umwelttechnischen Gründen nicht am Untersuchungsstandort eingebaut werden (vgl. Kap. 5.4 und 5.5). Für den übrigen Hinterfüllbereich könnten formal die Abtragsmassen aus Schicht 2, 4 und 5a eingebaut werden. Es ist jedoch zu beachten, dass das Abtragsmaterial aus Schicht 2 mindestens 1,0 m oberhalb des Grundwasserleiters einzubauen ist (Einbau bis max. 2,0 m u. OK Straße), was baupraktisch schwierig sein wird. Abtragsmaterial aus Schicht 3 kann generell nicht zu Verfüllung der Stützwand genutzt werden und muss entsorgt werden.

Angesichts dieser Randbedingungen sind daher für die gesamte Baugrubenverfüllung Liefermassen (z.B. Mineralgemisch 0/32) einzuplanen. Die Bauwerkshinterfüllung ist in Lagen  $d < 30$  cm einzubauen und auf  $D_{Pr} = 100$  % gem. ZTV E-StB 09 zu verdichten.

## 10. Hinweise zum Straßenbau

Es wird davon ausgegangen, dass kein Ausbau der gesamten Straße erfolgt, sondern nur eine Wiederherstellung der Fahrbahn im Bereich der Baugrube.

Im Straßenplanum (Bestand) steht überwiegend gemischtkörniges Auffüllmaterial der Boden Gruppen [SU], [GU], [SU\*] und [GU\*] (Schicht 2) an, welches als maßgebend zur Bemessung gilt. Dieser Boden ist der Frostepfindlichkeitsklasse F 3 nach ZTV E-StB 09 zuzuordnen (vgl. Tabelle 15).

Bei einer angenommenen Zuordnung der Straße in die Belastungsklasse Bk1,0 bis Bk3,2 ergibt sich gemäß Tabelle 6 der RStO 12 in Abhängigkeit der Frostepfindlichkeitsklasse F 3 ein Ausgangswert für die Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaus von 60 cm. Zusätzlich sind gemäß Tabelle 7 der RStO 12 die folgenden Mehr- bzw. Minderdicken infolge örtlicher Verhältnisse zu berücksichtigen:

Minstdicke des frostsicheren Straßenaufbaus für Belastungsklasse Bk1,0...Bk3,2	+ 60 cm
Frosteinwirkungszone III	+ 15 cm
Keine besonderen Klimaeinflüsse	+/- 0 cm
Kein Grund- oder Schichtenwasser bis 1,5 m u. Planum	+/- 0 cm
Lage der Gradiente, geländegleich	+/- 0 cm
Entwässerung über Mulden, Gräben bzw. Böschungen	+/- 0 cm
<b>Gesamtdicke des frostsicheren Straßenaufbaus:</b>	<b>75 cm</b>

Der im Straßenplanum anstehende Boden (Schicht 2) weist im erkundeten Zustand eine ausreichende Verdichtungsfähigkeit bzw. Tragfähigkeit auf. Die Verfüllung der Baugrube soll mit gut tragfähigen Liefermassen (MG 0/32) erfolgen.

Unter diesen Randbedingungen sind keine besonderen Maßnahmen zur Planumsstabilisierung nötig. Eine Querneigung des Planums von 3 % gilt als ausreichend.

## 11. Sonstige Hinweise

Ergeben sich während der Planung bzw. Bauausführung Abweichungen, welche die Grundlagen für diese Baugrundaussage beeinflussen oder ändern, so ist das unterzeichnende Ingenieurbüro darüber zu informieren. In Auswertung dieser Information können die Aussagen dieses Gutachtens präzisiert und der neuen Situation angeglichen werden.