

Geotechnischer Bericht Baugrunduntersuchungen

Projekt-Nr. B-24076-bgr-01

Projekt: ALLERSBERG - SPERBERSLOHE Markt Wendelstein
St 2225 - Neubau Geh- und Radweg mit Straßenausbau

Auftraggeber: Markt Wendelstein
Schwabacher Straße 8
90530 Wendelstein

Planung: PETTER Ingenieure GmbH
Regensburger Straße 112
92318 Neumarkt i.d. OPf.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Robby Felder

Bayreuth, den 03.06.2024

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
1. Vorbemerkung	4
2. Unterlagen	4
3. Lage und Geologie	5
4. Bauvorhaben	7
5. Baugrund	8
5.1 Aufbau	8
5.2 Hydrologie	13
5.3 Versickerungsversuche	14
6. Bodenmechanische Kennwerte	15
6.1 Bodenmechanische Laborversuche	15
6.2 Charakteristische Bodenkenngößen	16
7. Chemische Analysen Boden, Asphalt, Grundwasser	17
7.1 Mischproben und Einstufung	17
7.2 Beurteilung der Ergebnisse gemäß Ersatzbaustoffverordnung	21
7.3 Beurteilung der Ergebnisse nach Verfüll-Leitfaden	21
7.4 Beurteilung der Ergebnisse nach Deponieverordnung	22
7.5 Asphaltuntersuchungen	23
7.6 Grundwasser-Betonaggressivität	25
8. Homogenbereiche	26
8.1 Festlegung der Homogenbereiche	26
8.2 Homogenbereich O1	27
8.3 Homogenbereich B1	27
8.4 Homogenbereich B2	29
8.5 Homogenbereich X1 / X2	30
9. Verkehrswege	31
9.1 Frostsicherer Oberbau	31
9.2 Planum - Erdbau	33
10. Gründung der Bauwerke	35
10.1 Gründungsart und Gründungstiefe	35
10.2 Bodenpressungen, Setzungen und Bettungsmodul	36
11. Baumaßnahmen	39
12. Bauüberwachung und Abnahme	40
13. Zusammenfassung	40

ANLAGEN

Anlagen 1.1 bis 1.14:	Lagepläne
Anlagen 2.1 bis 2.12:	Schnitte
Anlagen 3.1 bis 3.4:	Bodenmechanische Laborversuche
Anlagen 4.1 bis 4.24:	Chemische Laboranalysen nach Ersatzbaustoffverordnung
Anlagen 5.1 bis 5.4:	Chemische Laboranalysen nach Verfüll-Leitfaden
Anlagen 6.1 bis 6.6:	Chemische Laboranalysen nach Deponieverordnung
Anlagen 7.1 bis 7.2:	Chemische Asphaltanalysen

1. Vorbemerkung

Der Markt Wendelstein beabsichtigt entlang der Staatsstraße 2225 den Neubau eines Geh- und Radwegs sowie in Teilbereichen den Aus- und Umbau der St 2225 und beauftragte daher mit Schreiben vom 29.02.2024 das Ing.-Büro Dr. Ruppert & Felder, Bayreuth, Baugrunduntersuchungen durchzuführen und zum Baugrund sowie den baulichen Maßnahmen von bodenmechanischer Seite Stellung zu nehmen.

Wesentliche Ergebnisse der Felduntersuchungen wurden dem Planungsbüro bereits vorab mitgeteilt. Mit dem vorliegenden Bericht werden die Resultate der Baugrunduntersuchungen sowie die sich daraus ergebenden Folgerungen zusammenfassend dargestellt.

2. Unterlagen

Für die Bearbeitung wurden im Wesentlichen die folgenden Unterlagen verwendet:

- Digitale Geologische Karten von Bayern M 1 : 25 000
Blatt 6633 Feucht und Blatt 6733 Allersberg
- Von der PETTER Ingenieure GmbH, Neumarkt i.d. OPf.:
 - Übersichtslageplan Bohrungen M 1 : 10.000 (Vorabzug 21.02.2024)
 - Lagepläne 1 bis 14 M 1 : 500 (Vorabzug 05.03.2024)
 - Regelquerschnitte Abschnitte 1 bis 3 M 1 : 50 (Vorabzug 06.03.2024)
- Ergebnisse von Kleinrammbohrungen, Rammsondierungen, Schürfgrubenaufnahmen und bodenmechanischen Laborversuchen durch das Ing.-Büro Dr. Ruppert & Felder, Bayreuth
- Ergebnisse von chemischen Boden- und Asphaltanalysen durch die Agrolab Labor GmbH, Bruckberg
- Ergebnisse von Ortsbesichtigungen und Besprechungen mit Vertretern des Planungsbüros PETTER Ingenieure GmbH

3. Lage und Geologie

Der zu untersuchende Trassenabschnitt befindet sich zwischen dem nördlichen Ortsrand von Allersberg und der Ortschaft Sperberslohe. Die neue Radwegtrasse verläuft entlang der Staatsstraße 2225.

Insgesamt beträgt die Länge des neuen Radwegs knapp sieben Kilometer. Das Bauvorhaben gliedert sich dabei in drei Bauabschnitte. Dabei besitzt der Abschnitt 1 eine Länge von rund 2,31 km, der Abschnitt 2 von 3,12 km und der Abschnitt 3 von 1,55 km.

Der **Abschnitt 1** beginnt am nördlichen Ortsausgang von Allersberg am nördlichen Ende des Kreisverkehrs mit der Erik-Geiershoefer-Straße. Er verläuft zunächst auf einer Länge von ca. 1,75 km in nördlicher Richtung bis zum Abzweig der Straße nach Harrhof. In diesem Bereich sind zudem eine Verbreiterung der Staatsstraße nach Osten und der Ausbau des Einmündungsbereichs vorgesehen. Anschließend verläuft die Trasse bis zum Ende des Abschnitts 1 in nordwestlicher Richtung. Der Abschnitt 1 endet kurz vor der Einmündung in einen Kreisverkehr, welcher den Kreuzungsbereich zwischen der Staatsstraße 2225 und der Verbindungsstraße zwischen den Ortschaften Prubach und Harrlach bildet. Im Abschnitt 1 wird die neue Radwegtrasse im Bereich des östlichen Rands der Staatsstraße angebaut.

Direkt nördlich des Kreisverkehrs beginnt der **Abschnitt 2**. Von hier ab befindet sich die geplante Radwegtrasse am westlichen Fahrbahnrand der Staatsstraße. Bis etwa zur Ortschaft Birkenlach verläuft die Trasse auf einer Länge von ca. 2,1 km in nördlicher Richtung. Anschließend schwenkt der Trassenverlauf nach Nordwesten. Nach einem weiteren Kilometer endet der Abschnitt 2 kurz vor der Überquerung der Staatsstraße über die Bundesautobahn A9.

Im **Abschnitt 3** wird der neue Radweg ebenfalls im Bereich des westlichen Straßenrands der St 2225 errichtet. Der Abschnitt verläuft auf der gesamten Länge von ca. 1,55 km in nordwestlicher Richtung und endet am südöstlichen Ortseingang von Sperberslohe.

In der Ortschaft Sperberslohe ist zudem im Bereich der Allersberger Straße der Neubau einer **Querungshilfe** vorgesehen. Hier wird die Straße auf einer Länge von 92 m verbreitert und östlich und westlich ein neuer Geh- und Radweg angelegt.

Ab dem Ortsausgang von Allersberg steigt das Gelände zunächst sanft und ab der Anhöhe „Harbruck“ steiler bis zu einem Parkplatz östlich der St 225 an. Der Höhenunterschied beträgt dabei rund 30 Meter. Anschließend fällt das natürliche Gelände in die Talau des Geislachgrabens hin um rund 20 Höhenmeter ab. Anschließend verläuft das Geländeprofil wellig mit leichten An- und Abstiegen.

Der Baubereich wird von mehreren kleineren Bachläufen gequert. Der Geislachgraben quert die Staatsstraße im Abschnitt 1 etwa bei km 1+510. Im Bereich der Ortschaft Straßmühle befinden sich östlich der Staatsstraße die Straßweiher. Aus den Straßweihern fließt der Finsterbach in westlicher Richtung. Etwa bei km 2+090 im Abschnitt 2 wird die St 2225 vom Bachlauf des Lachgrabens gequert.

Unter den oberflächennahen Deckschichten sowie den künstlichen Auffüllungen infolge der früheren Bau- und Geländeregulierungsmaßnahmen sind entsprechend der **Geologischen Karte** bis in hier bautechnisch interessierende Tiefen die Löwenstein-Formationen aus dem **Oberen Burgsandstein** zu erwarten. Diese gehören zum Erdzeitalter des **Mittleren Keupers**. Dabei handelt es sich um graubraune, weißliche, rotgraue oder rotbraune Sandsteine im Wechsel mit rotbraunen Tonsteinen. Zum Teil können die Sandsteine auch Gerölle führen. Sie sind als grob- bis mittelkörnig zu bezeichnen und treten gebankt bis massig auf.

Im Bereich der Anhöhe „Harbruck“ stehen die Trossingen-Formationen der **Feuerletten** an, welche ebenfalls dem Erdzeitalter des **Mittleren Keupers** zuzurechnen sind. Diese bestehen aus roten bis tiefroten Ton-/Tonmergelsteinen mit lokal eingeschalteten Kalksteinbänken und –knollen oder Gerölle führenden Sandsteinen.

Zur Oberfläche hin sind die Festgesteine erfahrungsgemäß bis in wechselnde Tiefen unterschiedlich stark verwittert.

In den Niederungen sowie den Talauen der Fließgewässer werden die Keupergesteine von pleistozänen bis holozänen **Talfüllungen** aus dem **Quartär** überdeckt. In einer Entfernung von ca. 550 m westlich der Autobahntrasse befinden sich auf einer Länge von ca. 500 m pleistozäne (eiszeitliche) Ablagerungen aus **Flugsanden**. Die Sande besitzen Korngrößen von meist um 200 µm.

Eine tektonische Störungszone ist im unmittelbaren Baubereich nicht ausgewiesen.

4. Bauvorhaben

Im Rahmen der geplanten Baumaßnahme sind der Neubau eines straßenbegleitenden Geh- und Radwegs entlang der Staatsstraße 2225 sowie in Teilbereichen der Ausbau bzw. die Umverlegung der Staatsstraße vorgesehen. Zudem ist die Errichtung von Durchlässen oder kleineren Brückenbauwerken im Bereich der querenden Fließgewässer sowie von zwei Stützwänden notwendig.

Der Neubau des **Geh- und Radwegs** gliedert sich in drei Abschnitte mit einer Gesamtlänge von rund sieben Kilometern. Im Abschnitt 1 verläuft die Radwegtrasse östlich der Staatsstraße und den Abschnitten 2 und 3 auf der Westseite.

Im Regelfall befindet sich der Radweg in etwa auf dem Niveau der Fahrbahnoberfläche der Staatsstraße. Nur im Bereich der Anhöhe „Harbruck“ liegt die Radwegoberfläche aufgrund der dort vorhandenen Böschungen etwa ein bis zwei Meter tiefer.

Der **Ausbau bzw. die Umverlegung Staatsstraße** umfasst im Abschnitt 1 den Bereich zwischen Str-km 0+125 und Str-km 0+725 (Abschnittsnummer 680). Hier ist ein Ausbau der Staatsstraße auf eine Breite von 6,50 m vorgesehen. Ein weiterer Ausbaubereich befindet sich in der Ortschaft Straßmühle im Abschnitt 2. Hier ist ein Ausbau zwischen Str-km 1+405 und Str-km 1+530 geplant. Im Abschnitt 3 zwischen Str-km 1+455 und Str-km 2+085 befindet sich der dritte Ausbauabschnitt der St 2225.

Für die geplanten Verkehrsflächen wird der frostsichere Oberbau gemäß den Richtlinien und Festlegungen der RStO 12 bemessen. In den Abschnitten 1 und 3 erfolgt ein Vollausbau der St 2225 und im Abschnitt 2 ein Anbau an die bestehende Fahrbahn. Die Staatsstraße wird nach Angaben des Planungsbüros in die Belastungsklasse Bk1,8 eingeteilt.

Im Bereich der querenden Fließgewässer Geislachgraben (Abschnitt 1: km 1+150), Fins-
terbach (Abschnitt 2: 1+350) und Lachgraben (Abschnitt 2: km 2+090) ist der Neubau von **Durchlässen bzw. Radwegbrücken** notwendig.

Die beiden geplanten **Stützwände** befinden sich im Abschnitt 2. Eine Stützwand liegt in der Ortschaft Straßmühle zwischen km 1+325 und 1+380. Dort beträgt die Höhe der rund 56 m langen Stützwand zwischen 1,05 m und 2,05 m. Zwischen km 2+070 und 2+110 wird der Neubau einer weiteren Stützwand notwendig. Auf einer Länge von 40 m ergeben sich Stützwandhöhen zwischen 1,05 m und 1,30 m

Genauere Planunterlagen über die Bauwerke liegen uns derzeit noch nicht vor. Erfahrungsgemäß gründen solche Bauwerke auf Streifenfundamenten oder einer elastisch gebetteten Fundamentplatte.

5. Baugrund

5.1 Aufbau

Zur Erkundung des Untergrundaufbaus auf und neben der Staatsstraße wurden insgesamt 48 Kleinrammbohrungen sowie 6 Baggerschürfe durchgeführt. Dabei erfolgten 42 Bohrungen außerhalb der bestehenden Fahrbahnoberfläche (KRB) und 6 Bohrungen auf der Staatsstraße (BS). Im Bankettbereich der St 2225 wurden parallel zu den Bohrungen auf der Straße 6 Baggerschürfe angelegt. Zusätzlich wurden die Aufschlüsse im Bereich der geplanten Bauwerke bzw. Stützwände durch 3 Sondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH) ergänzt. Die Schichtenfolgen in den durchgeführten Aufschlüssen sind entsprechend den Kennzeichnungen der DIN 4023 in den zwölf Schnitten A bis L (s. Anlagen 2.1 bis 2.12) dargestellt.

In den Lageplänen I bis XIV (s. Anlagen 1.1 bis 1.14) wurde die Lage der Untersuchungspunkte eingetragen. Zusätzlich wurde dem Planungsbüro eine Tabelle mit den GPS Koordinaten übergeben.

Zur Vermessung der Ansatzpunkte in Lage und Höhe wurde, wo möglich, ein Global Positioning Systems (GPS) verwendet. In Bereichen, in denen aufgrund der Bewaldung keine ausreichende Satellitenabdeckung gegeben war, wurden die Aufschlusspunkte zusätzlich nivelliert.

Vereinfachend kann der angetroffene Untergrund in drei Horizonte unterteilt werden: Anschüttungshorizont, Deckhorizont und Felshorizont.

Unter den rund 11 cm bis 22 cm dicken Asphalten der vorhandenen Straße bzw. 10 cm bis 30 cm dicken Mutterboden- oder abdeckenden Schotter- oder Kiesschichten mit Dicken zwischen 5 cm und 40 cm folgen vor allem im Abschnitt 1 der Baumaßnahme zunächst die künstlichen Auffüllungen des **Anschüttungshorizonts**. Diese bestehen unter den Asphalten zumeist aus den Schottern des vorhandenen Straßenoberbaus. Ansonsten zeigen die Auffüllungsbereiche tonige, schluffige und kiesige Sande sowie weiche bis steife oder steife Tone mit schluffigen, sandigen und kiesigen Beimengungen. In Teilbereichen wurden auch Auffüllungen aus Schottern und Kiesen festgestellt. In der KRB15 besteht der Auffüllungsbereich aus steifen bis halbfesten Schluffen.

In den Auffüllungen zeigten sich teilweise auch anthropogenen Fremdbestandteile in Form von Ziegelbruch, Asphaltresten oder Kohlestücken.

Unterhalb der Auffüllungen bzw. bereits unter den vorhandenen Oberbodenabdeckungen folgen die natürlich gewachsenen Böden des **Deckhorizonts**. Dabei handelt es sich ganz überwiegend um schluffige, kiesige Sande und weiche, steife, steife bis halbfeste, halbfeste oder halbfeste bis feste Tone mit schluffigen und sandigen Bestandteilen. In der KRB12 wurden auch organische Schluffe von weicher bis steifer Konsistenz erbohrt.

Bei den Böden des Deckhorizonts handelt es sich um die Lockergesteine der anstehenden Keuperformationen bzw. um die pleistozänen Flugsande. In den tieferen Lagen und im Bereich der Fließgewässer bestehen die Böden auch aus den jüngeren Talfüllungen.

Vor allem im Abschnitt 1 der geplanten Maßnahmen wurden mit einem Teil der Kleinrammbohrungen bereits die Festgesteine der Keuperformationen erreicht und bilden den **Felshorizont**. Die Festgesteine bestehen aus meist stark verwitterten, mürben bis mäßig harten Ton- und Sandsteinen sowie festen Tönen. Ein weiterer Bohrfortschritt war mit den Kleinrammbohrungen in den Festgesteinen nicht möglich. Unterhalb der Aufschlussendtiefen muss auch mit härteren Gesteinen gerechnet werden.

Die **Untergrenzen der Horizonte** wurden in folgenden Tiefen unter den jeweiligen Ansatzpunkten eingemessen:

Aufschluss	Untergrenze Anschüttungs- horizont	Untergrenze Deckhorizont = Oberkante Fels
BS1	0,60 m (393,90 m NN)	2,60 m (391,90 m NN)
BS2	0,80 m (403,70 m NN)	nicht erreicht
BS3	1,50 m (373,20 m NN)	nicht erreicht
BS4	1,00 m (377,65 m NN)	3,90 m (374,75 m NN)
BS5	0,60 m (377,65 m NN)	0,80 m (377,45 m NN)
BS6	0,80 m (370,40 m NN)	2,40 m (368,80 m NN)
Sch1	0,20 m (394,30 m NN)	nicht erreicht
Sch2	0,50 m (404,00 m NN)	nicht erreicht
Sch3	nicht vorhanden	0,30 m (378,85 m NN)
Sch4	nicht erreicht	nicht erreicht
Sch5	nicht erreicht	nicht erreicht
Sch6	nicht erreicht	nicht erreicht
KRB1	0,40 m (391,90 m NN)	nicht erreicht
KRB2	0,40 m (394,65 m NN)	nicht erreicht
KRB3	0,40 m (396,40 m NN)	nicht erreicht
KRB4	nicht vorhanden	2,80 m (404,40 m NN)
KRB5	1,30 m (411,90 m NN)	4,80 m (408,40 m NN)
KRB6	nicht vorhanden	2,40 m (417,40 m NN)
KRB7	nicht vorhanden	2,00 m (419,20 m NN)
KRB8	0,70 m (419,55 m NN)	3,00 m (417,25 m NN)

Aufschluss	Untergrenze Anschüttungs- horizont	Untergrenze Deckhorizont = Oberkante Fels
KRB9	1,40 m (414,15 m NN)	4,00 m (411,55 m NN)
KRB10	0,35 m (404,70 m NN)	2,80 m (402,25 m NN)
KRB11	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB12	1,80 m (400,00 m NN)	nicht erreicht
KRB13	1,10 m (403,10 m NN)	nicht erreicht
KRB14	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB15	0,80 m (406,60 m NN)	nicht erreicht
KRB16	0,90 m (407,90 m NN)	1,20 m (407,60 m NN)
KRB17	0,60 m (405,55 m NN)	nicht erreicht
KRB18	1,00 m (399,00 m NN)	nicht erreicht
KRB19	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB20	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB21	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB22	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB23	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB24	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB25	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB26	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB27	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB28	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB29	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB30	0,80 m (386,50 m NN)	nicht erreicht

Aufschluss	Untergrenze Anschüttungs- horizont	Untergrenze Deckhorizont = Oberkante Fels
KRB31	0,60 m (385,90 m NN)	nicht erreicht
KRB32	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB33	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB34	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB35	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB36	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB37	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB38	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB39	nicht vorhanden	0,30 m (378,85 m NN)
KRB40	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB41	nicht vorhanden	nicht erreicht
KRB42	1,40 m (363,35 m NN)	nicht erreicht

Durch die **Sondierungen mit der schweren Rammsonde** werden die vorliegenden Aufschlüsse ergänzt. Bei den hier anstehenden Böden kann erfahrungsgemäß unter Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse ab Schlagzahlen von fünf Schlägen pro 10 cm Eindringung der Sondierspitze von einer mitteldichten Lagerung der Sande und Kiese bzw. einer vergleichbaren Festigkeit der bindigen Böden ausgegangen werden.

Die Böden des Anschüttungshorizonts sowie die oberen Zonen des Deckhorizonts zeigen zunächst relativ niedrige Schlagzahlen, was auf eine geringe Lagerungsdichte der Böden hinweist. Ein zumindest überwiegender Anstieg der Schlagzahlen wurde bei der Sondierung DPH1 ab einer Tiefe von 5,80 m, bei der DPH2 ab 5,20 m und bei der DPH3 ab etwa 2,50 m festgestellt. Der sprunghafte Anstieg der Schlagzahlen in den Endtiefen der Sondierungen zeigt den Übergang zu den Festgesteinen.

Abweichungen und Besonderheiten sind in einer unregelmäßigen Zusammensetzung und Dicke der Auffüllungen, in Schichtinhomogenitäten, einem unregelmäßigen Schichtgrenzenverlauf, in wechselnden Konsistenzen der bindigen Böden, einer unterschiedlichen Lagerungsdichte der Sande und Kiese sowie in einer unterschiedlichen Verwitterungsintensität und Klüftigkeit der anstehenden Festgesteine zu erwarten.

5.2 Hydrologie

Grundwasser wurde während der Feldarbeiten nur in einem Teil der Aufschlüsse angetroffen. Dabei wurden die folgenden Wasserstände unter den Ansatzpunkten eingemessen:

Aufschluss	GW angetroffen
KRB3	0,90 m (395,90 m NN)
KRB10	2,10 m (402,95 m NN)
KRB11	1,40 m (399,85 m NN)
KRB12	2,25 m (399,55 m NN)
KRB20	0,90 m (388,75 m NN)
KRB24	3,40 m (370,80 m NN)
BS3	3,00 m (371,70 m NN)
KRB27	4,04 m (378,36 m NN)
KRB33	1,50 m (382,90 m NN)
BS4	1,85 m (376,80 m NN)
KRB38	1,20 m (377,75 m NN)
KRB41	0,72 m (367,78 m NN)

Bei dem angetroffenen Wasser in den Bohrungen KRB3, KRB10, KRB20, KRB33, KRB38 und KRB41 handelt es sich um Sickerwasser, welches sich auf den undurchlässigeren Tonschichten oder Sandsteinen aufstaut.

Das Grundwasser der Bohrungen KRB11, KRB12, KRB24, BS3, KRB27 und BS4 ist als ständig drückendes Grundwasser anzusprechen. Die Wasserstände werden erfahrungsgemäß im Nahbereich der Fließgewässer zumindest indirekt von deren Wasserführung beeinflusst.

Die Grundwasserstände sind von den kurz- und langfristigen Witterungsverhältnissen abhängig und unterliegen daher jahreszeitlich bedingten Schwankungen.

5.3 Versickerungsversuche

Zur Bestimmung des zutreffenden Durchlässigkeitsbeiwerts (k_f -Wert) wurden an sechs Stellen der Trasse Sickerversuche durchgeführt. Hierzu wurden an den Untersuchungsstellen verrohrte Kleinrammbohrungen niedergebracht.

Anschließend wurden die verrohrten Bohrlöcher mit Wasser gefüllt. Um eine annähernde Sättigung des Untergrundes zu erreichen, begannen die Messungen erst nach einer Wartezeit von ca. 60 Minuten. Anschließend wurden die Absenkungen der Wasserstände über einen Zeitraum von einer weiteren Stunde gemessen.

Für die Berechnung der mittleren Durchlässigkeitskoeffizienten erfolgte der Ansatz eines hydraulischen Gefälles von $i = 1$.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Höhen der Ansatzpunkte, die Tiefen der Rohrsohlen, die in der Versickerungsfläche anstehenden Böden sowie die mittleren Durchlässigkeitskoeffizienten angegeben.

Aufschluss	Ansatzpunkt	Tiefe	Bodenart	mittlerer Durchlässigkeitskoeffizient
BS1	394,50 m NN	0,60 m	Sand, gemischtkörnig	$k_f = 3,00 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
KRB11	401,25 m NN	0,50 m	Sand, gemischtkörnig	$k_f = 3,06 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
KRB22	381,60 m NN	0,50 m	Sand, gemischtkörnig	$k_f = 3,22 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Aufschluss	Ansatzpunkt	Tiefe	Bodenart	mittlerer Durchlässigkeitskoeffizient
KRB25	378,45 m NN	0,50 m	Sand, gemischtkörnig	$k_f = 2,61 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
KRB32	385,70 m NN	0,50 m	Sand, gemischtkörnig	$k_f = 2,36 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
KRB37	381,05 m NN	0,50 m	Sand, gemischtkörnig	$k_f = 2,50 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

Entsprechend den Festlegungen der DIN 18 130-1 sind die anstehenden Sande der Bohrungen BS1, KRB11, KRB22 und KRB25 damit als **stark durchlässig** sowie die Sande der Bohrungen KRB32 und KRB37 als **durchlässig** zu bezeichnen.

6. Bodenmechanische Kennwerte

6.1 Bodenmechanische Laborversuche

Aus den Kleinrammbohrungen und den Schürfen wurden **insgesamt 93 Bodenproben** der Güteklasse 3 nach DIN EN ISO 22 475 entnommen. Zur Ermittlung der bodenmechanischen Eigenschaften des Untergrunds wurden an 12 Bodenproben kombinierte Sieb-Schlämmanalysen und an einer Probe eine Siebanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 3.1 bis 3.4 dargestellt.

Im Rahmen der **Korngrößenermittlung** ergaben sich gemischtkörnige Sande mit Feingehalten zwischen 2,1 % und 16,7 %. Die untersuchten Böden gehören nach DIN 18 196 zu der Bodengruppe SU und SU*. Sie sind als gering bis mittel frostempfindlich (SU: Frostempfindlichkeitsklasse F2) bzw. als sehr frostempfindlich (SU*: Frostempfindlichkeitsklasse F3) einzustufen.

Nach den empirischen Formeln von BEYER besitzen die untersuchten Sandböden **Durchlässigkeitskoeffizienten** in einer Größenordnung zwischen $k_f = 3,3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ und $k_f = 1,3 \times 10^{-7} \text{ m/s}$.

6.2 Charakteristische Bodenkenngrößen

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse können erfahrungsgemäß vereinfachend die folgenden charakteristischen Bodenkenngrößen angesetzt werden:

Tone und Schluffe, weich

Feuchtwichte	$\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$
Auftriebswichte	$\gamma' = 8,0 \text{ kN/m}^3$
Gesamtscherfestigkeit	$\varphi = 25,0^\circ$
Steifemodul	$E_s = 3 \text{ bis } 5 \text{ MN/m}^2$

Tone und Schluffe, steif

Feuchtwichte	$\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$
Auftriebswichte	$\gamma' = 9,0 \text{ kN/m}^3$
Gesamtscherfestigkeit	$\varphi = 27,5^\circ$
Steifemodul	$E_s = 7 \text{ bis } 10 \text{ MN/m}^2$

Tone und Schluffe, halbfest

Feuchtwichte	$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$
Auftriebswichte	$\gamma' = 10,0 \text{ kN/m}^3$
Gesamtscherfestigkeit	$\varphi = 32,5^\circ$
Steifemodul	$E_s = 20 \text{ bis } 30 \text{ MN/m}^2$

Sande

Feuchtwichte	$\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$
Auftriebswichte	$\gamma' = 10,0 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi = 32,5^\circ$
Steifemodul	$E_s = 20 \text{ bis } 30 \text{ MN/m}^2$

Kiese / Schotter

Feuchtwichte	$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$
Auftriebswichte	$\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi = 35,0^\circ$
Steifemodul	$E_s = 30 \text{ bis } 50 \text{ MN/m}^2$

Ton- oder Sandstein

Feuchtwichte	$\gamma = 22,0 \text{ kN/m}^3$
Auftriebswichte	$\gamma' = 12,0 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi = 35,0^\circ$
Kohäsion	$c = 10 \text{ kN/m}^2$
Steifemodul	$E_s = 50 \text{ bis } 70 \text{ MN/m}^2$

Diese Größen sind für erdstatische Berechnungen zu verwenden.

7. Chemische Analysen Boden, Asphalt, Grundwasser

7.1 Mischproben und Einstufung

Aus den Schürfen sowie den Kleinrammbohrungen wurden zur Abschätzung der möglichen Wiederverwertungs- bzw. Entsorgungswege zusätzliche Bodenproben gewonnen und im hauseigenen Labor fachgerecht zu Mischproben (MP) vereinigt. Diese wurden dem Labor Agrolab GmbH, Bruckberg, zur Analyse auf die Parameter der EBV-Richtlinie (Ersatzbaustoffverordnung) als Bodenmaterial / Baggergut überstellt.

Für die Mischprobe MP4 konnten aufgrund des zu geringen Probenmaterials keine Eluatwerte ermittelt werden.

In der folgenden Tabelle sind die Entnahmepunkte sowie die Einstufung gemäß der EBV-Richtlinie, des Verfüll-Leitfadens (VFL) sowie der Deponieverordnung (DepV) vorbehaltlich einer repräsentativen Beprobung zusammengefasst. In den Klammern sind die jeweils für die ungünstigste Einstufung zutreffenden Parameter angegeben.

Mischprobe	Aufschluss und Entnahmetiefe	Einstufung gemäß EBV	Einstufung gemäß VFL	Einstufung gemäß DepV
Sch1 (Bankettschälgut)	Sch1 (0,0 m - 0,9 m)	BM-F2 (PAK Feststoff)	Z 1.2 (Benzo(a)pyren Feststoff)	
Sch2 (Bankettschälgut)	Sch2 (0,0 - bis 0,8 m)	>BM-F3 (Arsen Eluat)	Z 1.2 (Arsen Eluat)	
Sch3 (Bankettschälgut)	Sch3 (0,1 m - 0,8 m)	BM-0* (PAK Feststoff)	Z 1.2 (Benzo(a)pyren Feststoff)	
Sch4 (Bankettschälgut)	Sch2 (0,0 m - 0,6 m)	BM-F3 (PAK Feststoff)	Z 1.2 (PAK und Benzo(a)pyren Feststoff)	
Sch5 (Bankettschälgut)	Sch5 (0,0 m - 0,7 m)	BM-F2 (PAK Feststoff)	Z 1.2 (Benzo(a)pyren Feststoff)	
Sch6 (Bankettschälgut)	Sch6 (0,0 m - 0,7 m)	BM-F2 (Arsen, Blei, Cadmium, Zink Eluat)	Z 0	
MP1 (Auffüllungen Straße)	BS1 (0,5 m) BS2 (0,3 m) BS2 (0,6 m)	BM-F1 (Arsen, PAK Eluat)	Z 1.2 (Benzo(a)pyren Feststoff)	DK 0
MP2 (Auffüllungen)	KRB2 (0,3 m) KRB3 (0,2 m - 0,8 m) KRB9 (0,4 m)	BM-F1 (PAK Eluat)	Z 0	DK 0

Mischprobe	Aufschluss und Entnahmetiefe	Einstufung gemäß EBV	Einstufung gemäß VFL	Einstufung gemäß DepV
MP3 (Auffüllungen / gewachsener Boden)	KRB1 (0,4 m - 1,0 m) KRB5 (0,2 m - 1,0 m) KRB6 (0,3 m - 1,0 m)	BM-F2 (Arsen Eluat)	Z 0	DK 0
MP4 (gewachsener Boden)	KRB7 (0,3 m - 1,0 m) KRB8 (0,8 m) KRB11 (0,3 m - 1,0 m)	BM-0	Z 1.1 (Arsen Feststoff)	DK 0
MP5 (Auffüllungen / gewachsener Boden)	KRB12 (0,8 m) KRB13 (0,8 m) KRB14 (0,2 m - 1,0 m)	BM-0	Z 0	DK 0
MP6 (Auffüllungen)	KRB15 (0,5 m) KRB16 (0,1 – 0,9 m)	BM-0* (PAK Feststoff)	Z 1.2 (PAK und Benzo(a)pyren Feststoff)	DK 0
MP7 (Auffüllung)	KRB17 (0,2 m - 0,6 m)	BM-0* (PAK Feststoff)	Z 1.2 (Benzo(a)pyren Feststoff)	DK 0
MP8 (gewachsener Boden)	KRB17 (0,6 m - 1,0 m) KRB19 (0,5 m) KRB20 (0,5 m)	BM-0	Z 0	DK 0
MP9 (gewachsener Boden)	KRB21 (0,5 m) KRB22 (0,5 m) KRB23 (0,5 m)	BM-0	Z 0	DK 0
MP10 (gewachsener Boden)	KRB24 (0,5 m) KRB25 (0,5 m) KRB26 (0,5 m)	BM-0	Z 0	DK 0
MP11 (gewachsener Boden)	KRB27 (0,5 m) KRB28 (0,5 m) KRB29 (0,5 m)	BM-0	Z 0	DK 0

Mischprobe	Aufschluss und Entnahmetiefe	Einstufung gemäß EBV	Einstufung gemäß VFL	Einstufung gemäß DepV
MP12 (Auffüllung)	KRB30 (0,5 m) KRB31 (0,4 m)	>BM-F3 (PAK Feststoff)	>Z 2 (PAK und Benzo(a)pyren Feststoff)	DK I (PAK und Benzo(a)pyren Feststoff)
MP13 (Auffüllung)	KRB17 (0,6 m - 1,0 m) KRB19 (0,5 m) KRB20 (0,5 m)	BM-F3 (PAK Feststoff und Eluat)	>Z 2 (Benzo(a)pyren Feststoff)	DK I (PAK und Benzo(a)pyren Feststoff)
MP14 (gewachsener Boden)	KRB34 (0,5 m) KRB35 (0,5 m) KRB36 (0,5 m) KRB37 (0,5 m)	BM-0	Z 0	DK 0
MP15 (gewachsener Boden)	KRB38 (0,5 m) KRB38 (1,5 m) KRB41 (0,5 m) KRB41 (1,5 m)	BM-0	Z 0	DK 0

Aufgrund der stofflichen Zusammensetzung der Mischproben sind bei der Beurteilung nach der EBV bzw. der Richtlinien für den Verfüll-Leitfaden die Zuordnungswerte für **Sand oder für Lehm, Schluff** anzusetzen. Die einzelnen Zuordnungen können den Tabellen der Anlagen 4.1 bis 4.12 entnommen werden.

Da es sich bislang nur um **stichprobenartige Ergebnisse** handelt, kann eine endgültige Beurteilung hinsichtlich der Wiederverwertung von Bodenaushub jedoch erst nach dem Aushub und einer repräsentativen Beprobung im Haufwerk entsprechend der anfallenden Kubatur erfolgen. Die Untersuchungen dienen lediglich als Planungs- und Ausschreibungsgrundlage. Für eine fachgerechte Entsorgung gemäß den gültigen Regelwerken ist dieser Analysenumfang **nicht ausreichend**.

7.2 Beurteilung der Ergebnisse gemäß Ersatzbaustoffverordnung

Die Einstufungen der untersuchten Böden hinsichtlich der EBV-Richtlinie sowie die dafür maßgebenden Parameter sind in der oben stehenden Tabelle angegeben. Die Einzelergebnisse der Untersuchungen sind in den Anlagen 4.1 bis 4.24 dargestellt.

Eine Wiederverwertung der Aushubböden als Bodenmaterial nach der EBV wäre demnach entsprechend der Einstufungen gemäß Anlage 2 nach Rücksprache mit dem örtlichen Verwerter möglich.

Die untersuchten **Auffüllungen** der **MP12** weisen stark erhöhte Eluatwerte für das Schwermetall Arsen auf. Im Feststoff des Bankettmaterials der **Sch2** wurden deutlich erhöhte Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) ermittelt. Beide Analysenergebnisse liegen oberhalb der Materialwerte BM-F3 der Ersatzbaustoffverordnung. Eine **Verwertung** dieser Auffüllungen in technischen Bauwerken im Sinne der **Ersatzbaustoffverordnung** wäre somit voraussichtlich **nicht mehr möglich**.

7.3 Beurteilung der Ergebnisse nach Verfüll-Leitfaden

Mit Ausnahme der MP4 zeigen die Mischproben aus den natürlich gewachsenen Böden sowie aus dem Bankettschälmaterial der Sch6 keine Überschreitungen der Z0-Zuordnungswerte nach dem Verfüll-Leitfaden. Für **Z0-Material** ist eine Ablagerung in einer nach Eckpunktepapier zugelassenen Grube der **Standortkategorie A** möglich.

Bei der Mischprobe MP4 ergeben sich Überschreitungen der Z0-Zuordnungswerte für den Parameter Arsen im Feststoff. Vorbehaltlich einer repräsentativen Beprobung im Haufwerk wären diese Böden daher voraussichtlich als **Z1.1-Material** einzustufen. Damit wäre eine Ablagerung in einer nach dem Eckpunktepapier zugelassenen Grube der **Standortkategorie B** möglich.

Die Mischproben Sch1 bis Sch5 aus dem Bankettmaterial sowie die Mischproben MP1, MP6 und MP7 aus den Auffüllungsbereichen überschreiten die Z1.1-Zuordnungswerte für die Parameter Benzo(a)pyren und / oder PAK im Feststoff bzw. Arsen im Eluat (Sch2). Vorbehaltlich einer repräsentativen Beprobung im Haufwerk wären die Auffüllungen voraussichtlich als **Z1.2-Material** nach den Richtlinien des Verfüll-Leitfadens einzustufen. Damit wäre für diese Materialeinstufung eine Ablagerung in einer nach dem Eckpunktepapier zugelassenen Grube der **Standortkategorie C1** möglich.

Für die beiden Mischproben MP12 und MP13 zeigen die Analysenergebnisse **Überschreitungen der Z2-Zuordnungswerte** für die Parameter Benzo(a)pyren und / oder PAK im Feststoff. Eine Verwertung dieser Auffüllungen nach dem Verfüll-Leitfaden ist daher voraussichtlich nicht möglich.

7.4 Beurteilung der Ergebnisse nach Deponieverordnung

Mit Ausnahme der beiden Mischproben MP12 und MP13 halten alle untersuchten Mischproben die **DK0-Zuordnungswerte** der Richtlinien der Deponieverordnung ein.

Hinsichtlich der **Deponieverordnung** werden für die beiden **Mischproben MP12 und MP13** gemäß des Merkblatts „Deponien der Klasse 0 - Inertabfalldeponien“ (Deponie-Info 10) die DK0-Richtwerte für Benzo(a)pyren und / oder PAK im Feststoff überschritten. Anhand dieser Ergebnisse ist das Material als **DKI-Material** einzustufen. Ob eine Ablagerung auf einer DK0-Deponie trotz der Richtwertüberschreitung möglich ist, müsste mit dem Deponiebetreiber abgeklärt werden.

Für die **Mischprobe MP3** überschreitet der Wert für den Glühverlust geringfügig die jeweiligen DK0-/DKI-Zuordnungswerte. Unter Beachtung der Rundungsregel 4.5.1 der DIN 1333 kann dieser Wert jedoch hinsichtlich einer Ablagerung auf einer Deponie der Klasse DK0 als eingehalten bewertet werden. Zudem kommt der Glühverlust mit Zustimmung der zuständigen Behörde nicht als alleiniges Ausschlusskriterium zum Tragen, sofern der jeweilige Zuordnungswert für den DOC eingehalten wird. Der DOC-Gehalt beträgt in der Mischprobe MP3 3,2 mg/l und hält somit den zulässigen DK0-Zuordnungswert ein.

Bei den **Mischproben MP3 und MP4** zeigen sich Überschreitungen der DK0-Zuordnungswerte für den Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen. Entsprechend der Fußnote 12, Tabelle 2 des Anhangs 3 der Deponieverordnung können die Parameter Chlorid, Sulfat und Gesamtgehalt gelöster Feststoffe gleichwertig zueinander angewandt werden. Demnach ist eine Ablagerung auf einer DK0-Deponie möglich, wenn zwei der Parameter die DK0-Bedingungen einhalten. Dies ist für die Werte Chlorid und Sulfat hier gegeben.

7.5 Asphaltuntersuchungen

Im Zuge der Felduntersuchungen wurden aus den Bohrungen, welche auf der Fahrbahn der St 2225 ausgeführt wurden, entsprechende Asphaltkerne mittels eines Nasskernbohrverfahrens (Ø 100 mm) entnommen. Die Asphaltproben wurden im chemischen Labor der AGROLAB GmbH, Bruckberg, quantitativ auf polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) mittels Gaschromatographie – Massenspektrometrie untersucht. Die Ergebnisse sind den Anlagen 7.1 bis 7.2 entnehmen.

Zusammenfassend sind in der folgenden Tabelle die ermittelten PAK-Werte sowie die Phenolindexe, die Einstufung gemäß dem LfW-Merkblatt 3.4/1 und die Verwertungs-kategorie gemäß RuVa-StB 01 dargestellt:

Aufschluss	PAK EPA(16)- Summe	Phenol- index	LfW-Merkblatt 3.4/1	RuVA-StB 01
BS14	1,1 mg/kg	<0,01 mg/l	nicht verunreinigt	Verwertungs- klasse A
BS2	2,3 mg/kg	<0,01 mg/l	nicht verunreinigt	Verwertungs- klasse A
BS3	0,64 mg/kg	<0,01mg/l	nicht verunreinigt	Verwertungs- klasse A
BS4	150 mg/kg	<0,01 mg/l	pechhaltig	Verwertungs- klasse B
BS5	9,7 mg/kg	<0,01mg/l	nicht verunreinigt	Verwertungs- klasse A

Aufschluss	PAK EPA(16)- Summe	Phenol- index	LfW-Merkblatt 3.4/1	RuVA-StB 01
BS6	2,8 mg/kg	<0,01mg/l	nicht verunreinigt	Verwertungs- klasse A

Die untersuchten Asphaltproben im Bereich der **Bohrungen BS1 bis BS3 und BS5** sind nach dem LfW-Merkblatt Nr. 3.4/1 als **nicht verunreinigt** einzustufen. Gemäß RuVA-StB 01 wäre dieser Straßenaufbruch der **Verwertungsklasse A** zuzuordnen. Die Wiederaufbereitung kann hier auch im Heißmischverfahren erfolgen. Die Verwertung von Ausbauasphalt ohne Verunreinigungen unterliegt in der Regel keinen wasserrechtlichen Einschränkungen und Auflagen.

Bei der Asphaltanalyse der **Bohrung BS4** ergibt sich nach dem LfW-Merkblatt Nr. 3.4/1 eine Einstufung als **pechhaltig**. Entsprechend der RuVA-StB 01 ergibt sich aufgrund des ermittelten Wertes für den Phenolindex eine Einteilung in die **Verwertungsklasse B**.

Für diesen pechhaltigen Straßenaufbruch wäre ein Wiedereinbau nur gebunden unter einer dichten Deckschicht möglich. Eine Aufbereitung mit Bindemitteln darf gemäß § 9 Abs. 2 Satz 2 KrWG nur in dafür immissionsschutzrechtlich genehmigten Anlagen im Kaltmischverfahren erfolgen. Entsprechend BImSchG ist eine Lagerung des Materials auf einer befestigten Fläche unter Bedachung vorzusehen.

Gemäß LfW-Merkblatt Nr. 3.4/1 sollte man aus Gründen der Vorsorge und Nachhaltigkeit **pechhaltigen Straßenaufbruch aus dem Stoffkreislauf ausschleusen**. Dies sollte über eine energetische Verwertung / thermische Behandlung oder eine Beseitigung auf einer abgedichteten Deponie geschehen.

Wegen der stichpunktartigen Probenentnahme kann die Existenz lokal unterschiedlicher Asphaltarten grundsätzlich nicht vollständig ausgeschlossen werden.

7.6 Grundwasser-Betonaggressivität

Aus den Kleinrammbohrungen wurden vier Grundwasserproben entnommen und Analysen auf Betonaggressivität gemäß DIN 4030 durchgeführt. Die Befunde lauten:

Aufschluss	pH-Wert	kalklösende Kohlensäure nach Heyer CO ₂	Ammonium NH ₄ ⁺	Sulfat SO ₄ ²⁻	Magnesium Mg ²⁺
KRB20	7,36	12,1 mg/l	0 mg/l	< 200 mg/l	100 mg/l
KRB24	7,35	13,2 mg/l	0 mg/l	< 200 mg/l	100 mg/l
KRB27	6,95	67,1 mg/l	0 mg/l	< 200 mg/l	200 mg/l
KRB41	6,68	72,6 mg/l	0 mg/l	< 200 mg/l	100 mg/l

Entsprechend den vorliegenden Untersuchungsergebnissen sind die Grundwasserproben der **KRB27 und der KRB41** aufgrund des **erhöhten Gehalts von kalklösender Kohlensäure** gemäß der DIN 1045-2 bzw. der DIN EN 206-1 als „**chemisch mäßig angreifend**“ einzustufen.

Für Betonbauteile, welche **dauerhaft** mit dem Grundwasser in Berührung kommen können, empfehlen wir daher entsprechend der DIN 1045 ein Beton mit der Expositions-klasse XA 2 zu wählen.

Die beiden Grundwasserproben aus den **Bohrungen KRB20 und KRB24** entsprechen gemäß der DIN 1045-2 bzw. der DIN EN 206-1 einer Einstufung als „**chemisch nicht angreifend**“.

8. Homogenbereiche

8.1 Festlegung der Homogenbereiche

Die Einteilung der Homogenbereiche erfolgt vorläufig auf Grundlage des aktuellen Planungsstands. Sollten sich im Verlauf der weiteren Planungsphase bzw. der Bauausführung Änderungen ergeben, ist die Einteilung der Homogenbereiche erneut zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen. Im Falle von maßgeblichen Änderungen der Bauausführung können weitere Untersuchungen bzw. die Fortschreibung der Homogenbereiche notwendig werden.

Bei der Bezeichnung der Homogenbereiche sind die Buchstaben B (überwiegend Boden), X (überwiegend Fels) und O (überwiegend Mutterboden) zu verwenden. Zudem werden die Homogenbereiche nummeriert.

Es sind der Neubau eines Geh- und Radweges sowie in Teilbereichen der Ausbau bzw. die Umverlegung der Staatsstraße 2225 geplant. Zusätzlich müssen im Bereich der queren Fließgewässer kleinere Brückenbauwerke oder Durchlässe errichtet werden. Zur Sicherung von Geländesprüngen wird zudem der Neubau von zwei Stützwänden notwendig.

Mit den voraussichtlichen Erdarbeiten für den Verkehrswegebau und die Bauwerke werden außerhalb der Bestandsstraße Mutterbodenschichten und darunter künstliche Auffüllungen oder die die natürlich gewachsenen Lockergesteine des Deckhorizonts erreicht. Zum Teil können in den Aushubbereichen auch bereits die Festgesteine der Keuperformationen anstehen.

Aus den durchgeführten Aufschlüssen ergibt sich auf Grund der Bearbeitbarkeit und ihrer umweltrelevanten Inhaltsstoffe die folgende Einteilung der Homogenbereiche:

Homogenbereiche	Bodenschicht	Benennung
O1	Oberboden	-
B1	Auffüllungen	Ton, Schluffe, Sande, Kiese und Schotter
B2	gewachsenen Lockergesteine	Tone, Schluffe und Sande
X1	Festgesteine des Keupers	mürbe bis mäßig harte Sand- und Tonsteine

Um die Böden besser beschreiben zu können, werden zudem noch die Bodenklassen entsprechend der alten DIN 18 300:2012-09 mit angegeben. Zur Einstufung der Homogenbereiche während der Arbeiten stehen wir gerne zur Verfügung.

Aufgrund der stichprobenhaften Probenentnahme sind Abweichungen in den Eigenschaften und Kennwerten innerhalb der einzelnen Homogenbereiche grundsätzlich möglich.

8.2 Homogenbereich O1

Außerhalb der bereits befestigten Flächen stehen größtenteils Oberbodenschichten an. Diese werden in den Homogenbereich O1 eingeteilt. Die Oberbodendicke wurde in den ausgeführten Aufschlüssen im Regelfall mit Dicken zwischen 10 cm und 30 cm festgestellt. Gemäß der ehemaligen DIN 18300:2012-09 entsprach der Mutterboden der Bodenklasse 1.

8.3 Homogenbereich B1

Die künstlichen Auffüllungen werden in den Homogenbereich B1 zusammengefasst. Sie können mit üblichen Hydraulikbaggern gut gelöst werden. Sie sind auf Grund ihrer anthropogenen Beeinflussung und ihrer Schadstoffgehalte getrennt von den gewachsenen Böden auszuheben, zu lagern und zu entsorgen.

Für einen fachgerechten Wiedereinbau eignen sich aus bodenmechanischer Sicht vor allem die Schotter und Kiese sowie die Sande mit geringeren Feingehalten. Die aufgeweichten bindigen Böden sind für eine Wiederverwendung unter späteren Bauwerken oder Verkehrsflächen nicht geeignet.

Die Eigenschaften und Kennwerte des Homogenbereichs B1 wurden im Rahmen der Felduntersuchungen sowie anhand von Erfahrungswerten ermittelt und werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Eigenschaften und Kennwerte für Boden (Auszug) nach VOB/C	
Ortsübliche Bezeichnung	Auffüllungen
Bodengruppen	TL, TM, TA, UL, UM, SU, SU*, GW, GU*, GU (Erfahrungswerte)
Massenanteile Steine [%]	< 10 (Schätzwert)
Lagerungsdichte (nichtbindige Böden)	Locker bis mitteldicht
Konsistenz (bindige Böden)	Weich, steif, halbfest (Feldversuche)
Organischer Anteil [%]	keine organoleptischen Hinweise
vorläufige Einstufung gemäß EBV	BM-0* bis >BM-F3
vorläufige Einstufung gemäß Verfüll-Leitfaden	Z0 bis >Z2
vorläufige Einstufung gemäß DepV	DK 0 bis DK I

Entsprechend der ehemaligen DIN 18 300:2012-09 wären die Böden des Homogenbereichs B1 in die Bodenklassen 3 bis 5 (leicht bis schwer lösbare Böden) eingeteilt worden.

8.4 Homogenbereich B2

Die natürlich gewachsenen Böden werden in den Homogenbereich B2 zusammengefasst. Sie können mit üblichen Hydraulikbaggern gut gelöst werden und sind größtenteils unter Berücksichtigung der Einstufung nach EBV und Verfüll-Leitfaden hinsichtlich ihrer geotechnischen Eigenschaften für einen fachgerechten Wiedereinbau gut geeignet. Die bindigen Böden müssen während der Zwischenlagerung vor Wasserzutritt geschützt werden.

Bindige Böden mit organogenen Bestandteilen sowie weiche oder weiche bis steife bindige Böden sind als feuchteempfindlich einzustufen und daher für eine Wiederverwertung im Bereich von baulichen Anlagen ohne zusätzliche Verbesserungsmaßnahmen nicht geeignet.

Die Eigenschaften und Kennwerte des Homogenbereichs B2 wurden im Rahmen der Felduntersuchungen sowie anhand von Erfahrungswerten und den durchgeführten Laborversuchen ermittelt und werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Eigenschaften und Kennwerte für Boden (Auszug) nach VOB/C	
Ortsübliche Bezeichnung	gewachsenen Lockergesteine
Bodengruppen	SU, SU* (Laborwerte) TL, TM, TA, UL, UM (Erfahrungswerte)
Korngrößenverteilung [%]	s. Körnungslinien Anlagen 3.1 bis 3.4
Massenanteile Steine [%]	< 10 (Schätzwert)
Lagerungsdichte (nichtbindige Böden)	locker bis mitteldicht
Konsistenz (bindige Böden)	weich, weich-steif, steif, steif-halbfest, halbfest, halbfest bis fest (Feldversuche)
Organischer Anteil [%]	Geringe Anteile in den Talauensedimenten möglich, ansonsten keine sensorischen Hinweise
vorläufige Einstufung gemäß EBV	BM-0 bis BM-F2

Eigenschaften und Kennwerte für Boden (Auszug) nach VOB/C	
vorläufige Einstufung gemäß Verfüll-Leitfaden	Z0 bis Z1.1
vorläufige Einstufung gemäß DepV	DK 0

Entsprechend der ehemaligen DIN 18 300:2012-09 wären die Böden des Homogenbereichs B2 in die Bodenklassen 3 bis 5 (leicht bis schwer lösbare Böden) eingeteilt worden.

8.5 Homogenbereich X1 / X2

Die mürben bis mäßig mürben Sandsteine werden in den Homogenbereich X1 eingeteilt. Diese treten in der Regel in Verzahnung mit Tonsteinen sowie feste Tönen auf. Mit dem Antreffen von Festgesteinen des Homogenbereichs X1 muss gemäß den durchgeführten Aufschlüssen vor allem im Bereich der Aufschlüsse KRB16, KRB39 und BS5 sowie bei tieferen Einschnitten gerechnet werden.

Für den Homogenbereich X1 können erfahrungsgemäß die folgenden Eigenschaften und Kennwerte angegeben werden:

Eigenschaften und Kennwerte für Fels (Auszug) nach VOB/C	
Ortsübliche Bezeichnung	Sand- und Tonsteine sowie feste Tone
Benennung	massiges bis geschichtetes klastisches Sedimentgestein
Rohdichte [g/cm³]	1,8 bis 2,6 (Erfahrungswerte)
Verwitterung und Veränderung	verfärbt bis zersetzt (nach Tabelle 2 DIN EN ISO 14689-1)
Veränderlichkeit des Gesteins	veränderlich (nach Tabelle 3 DIN EN ISO 14689-1)
Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m²]	1,25 bis 12,5 (Erfahrungswerte)
Trennflächenrichtung	etwa horizontale Lagerung

Eigenschaften und Kennwerte für Fels (Auszug) nach VOB/C	
Trennflächenabstand	ca. 5,0 cm bis 30 cm (Erfahrungswert)
Abrasivität	kaum abrasiv bis stark abrasiv (Erfahrungswert)
Gesteinskörperform	massig bis plattig (nach Tabelle 10 DIN EN ISO 14689-1)

Entsprechend der ehemaligen DIN 18 300:2012-09 gehörten die Festgesteine des Homogenbereichs X1 zur Felsklasse 6 (leicht lösbarer Fels).

Unterhalb der Aufschlussendtiefen ist das Auftreten von härteren, massigen Festgesteinen möglich. Diese Gesteine weisen dann eine höhere Druckfestigkeit sowie größere Trennflächenabstände auf, sodass das ein erhöhter Aufwand zum Lösen der Gesteine notwendig wird. Festgesteine ab einer Druckfestigkeit von größer 12,5 MN/m², deren durch Trennflächen begrenzte Gesteinskörper einen Rauminhalt von mehr als 0,1 m³ aufweisen, werden in den **Homogenbereich X2** eingeteilt.

Die Festgesteine des Homogenbereichs X2 wären gemäß den Festlegungen der ehemaligen DIN 18 300:2012-09 in die Felsklasse 7 (schwer lösbarer Fels) eingeteilt worden.

9. Verkehrswege

9.1 Frostsicherer Oberbau

Die Dicken des frostsicheren Oberbaus der Staatsstraße 2225 sowie des Geh- und Radwegs bestimmen sich nach den „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO 12“. Dabei wird die St 2225 in die Belastungsklasse Bk1,8 eingeteilt werden.

Im Erdplanum muss aufgrund der durchgeführten Baugrunderkundungen mit Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F2 oder F3 gerechnet werden. Die Staatsstraße soll in insgesamt drei Bereichen ausgebaut werden. Zumindest in den Abschnitten 1 und 2 stehen überwiegend F3-Böden an. Wir raten daher, für den Straßenoberbau einheitlich von **Böden der Klasse F3 im Planum** auszugehen. Für die hier zutreffende **Belastungsklassen Bk1,8** und die Frostempfindlichkeitsklasse F3 ist eine **Mindestdicke** des frostsicheren Straßenaufbaus **von 60 cm** erforderlich.

Für **Geh- und Radwege** wird bei Böden der **Frostempfindlichkeitsklassen F2 und F3** eine **Mindestdicke** des frostsicheren Oberbaus **von 30 cm** gefordert. Sollte der Geh- und Radweg auch mit schwereren Fahrzeugen befahren werden, kann eine andere Einstufung maßgebend sein.

Gemäß der Tabelle 7 der RStO 12 sind zusätzlich folgende Mehr- oder Minderdicken infolge örtlicher Verhältnisse zu berücksichtigen:

Frosteinwirkung: Zone II	+ 5 cm
Grund- und Schichtenwasser bis 1,5 m unter Planum (KRB3, KRB20, KRB40 und in den Talsenken)	+ 5 cm

Zudem sind kleinräumige Klimaunterschiede, die Lage der Gradienten (Einschnitt, Anschnitt, Damm) sowie die Entwässerung der Fahrbahn zu berücksichtigen. Unter Beachtung der genannten Randbedingungen sind die erforderlichen Mindestdicken des frostsicheren Oberbaus planerischerseits festzulegen.

Bei Bauweisen mit Asphalttragschichten ist auf der Oberkante der Schottertragschicht für Geh- und Radwege ein Verformungsmodul der Wiederbelastung von E_{v2} größer oder gleich 100 MPa gefordert, es sei denn es erfolgt keine Belastung durch Fahrzeuge des Unterhalts. In diesem Fall wäre ein Wert von E_{v2} größer oder gleich 80 MPa ausreichend. Für die Belastungsklasse Bk1,8 ist auf Oberkante der Frostschutzschicht ein Verformungsmodul der Wiederbelastung von E_{v2} größer oder gleich 120 MPa einzuhalten.

9.2 Planum - Erdbau

Die Mindestanforderungen für den Verdichtungsgrad von Bodenarten im Untergrund und Unterbau sind in der Tabelle 4 der ZTV E-StB 17 genannt. Bei den hier anstehenden bindigen Böden muss der Untergrund bzw. der Unterbau von Verkehrswegen bis 0,5 m unterhalb des Erdplanums einen Verdichtungsgrad von wenigstens $D_{pr} = 97\%$ besitzen. Für Kiese mit geringen Feingehalten muss der Untergrund bzw. der Unterbau analog einen Verdichtungsgrad von wenigstens $D_{pr} = 100\%$ aufweisen.

Bei einem Straßenoberbau mit einer ungebundenen Tragschicht bzw. Frostschutzschicht auf dem gegebenen frostempfindlichen Untergrund ist auf dem Planum zudem ein Verformungsmodul E_{v2} von wenigstens 45 MPa einzuhalten.

Werden mit dem Erdplanum die Sande mit geringeren Feingehalten oder zumindest halbfeste Tone erreicht, können bei trockener Witterung in diesen Böden die geforderten Tragfähigkeitswerte voraussichtlich erreicht werden. Zusätzliche Bodenaustausch- oder Bodenverbesserungsmaßnahmen sind dann nicht erforderlich.

In den weichen oder steifen bindigen sowie den Sanden mit höheren Feingehalten können die geforderten Verformungsmoduln erfahrungsgemäß nicht erreicht werden. Daher werden hier zusätzliche **Bodenaustauschmaßnahmen** notwendig. Die Austauschdicke hängt von den Wassergehalten der Böden ab. In den wenigstens steifen bindigen Böden sowie den stark schluffigen Sanden werden Bodenaustauschdicken von etwa 20 cm bis 30 cm und in den weichen bindigen Böden von etwa 30 cm bis 40 cm erwartet. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen können durch Aufweichungen der Böden größere Bodenaustauschdicken notwendig werden.

Auf den bindigen Böden ist unter dem Bodenaustausch ein Geotextil als Trennschicht zu verlegen. Entsprechend dem „Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen ist hier ein Geotextil der Robustheitsklasse GRK 3 zu wählen.

Alternativ zum Bodenaustausch wäre aus fachlicher Sicht auch die Verlegung eines **biaxialen Geogitters** mit Trennvlies auf dem Erdplanum zu Tragfähigkeitserhöhung möglich. Nachdem die Bemessungen der Tragschichtbewehrungen Hersteller- und Produktspezifisch variieren können, sollte eine Absprache über die Eignung mit dem für die Ausführung vorgesehenen Hersteller erfolgen. Für die Ausschreibung kann vorläufig eine mittlere Höchstzugkraft längs/quer von 30/30 kN/m angenommen werden. Es wird darauf hingewiesen, dass ein Nachweis des Verformungsmodul E_{v2} von 45 MPa im Erdplanum bei der Verwendung eines Geogitters nicht erfolgen kann. Es kann lediglich die Tragfähigkeit des Gesamtaufbaus auf der Oberkante der Frostschutzschicht geprüft werden.

Ebenso wäre auch eine **Bodenverbesserung** mit einem hydraulischen Bindemittel, z. B. aus einem Kalk-Zementgemisch, denkbar. Dabei eignen sich erfahrungsgemäß Mischbindemittel mit einem Verhältnis von Kalk/Zement von 50/50. Abhängig vom aktuellen Wassergehalt werden voraussichtlich Bindemittelgehalte zwischen 2% und 4% bezogen auf die Trockenmasse des Bodens notwendig. Bei aufgeweichten Böden kann sich die Zugabemenge erhöhen. Wegen der wechselnden Wassergehalte sowie der unterschiedlichen Böden im Trassenverlauf ist die Bindemittelmenge in Abhängigkeit von den bodenmechanischen Versuchsergebnissen vor Ort jeweils anzupassen. Die Frästiefe wäre mit von ca. 30 cm vorzusehen. Zur endgültigen Festlegung der geeigneten Bindemittel und Verfahren können entsprechende Eignungsprüfungen durchgeführt werden.

Zu Baubeginn sollten **Probefelder** angelegt und mittels Plattendruckversuchen geprüft werden. Abhängig von den Ergebnissen können dann die endgültigen Maßnahmen für die einzelnen Bereiche festgelegt werden.

Bei geänderten Voraussetzungen oder abweichenden Untergrundverhältnissen bitten wir um umgehende Rücksprache.

10. Gründung der Bauwerke

10.1 Gründungsart und Gründungstiefe

Aus Gründen der Frostsicherheit ist eine Mindestgründungstiefe von 1,20 m unter der Geländeoberfläche bzw. gegenüber dem jeweiligen Bachbett im Bereich der Fließgewässer einzuhalten.

Zur Querung der vorhandenen Fließgewässer werden Durchlässe bzw. kleinere Radwegbrücken erforderlich. Zudem sollen in zwei Bereichen Stützwände zur Sicherung von Geländesprüngen errichtet werden. Als ausreichend tragfähiger Untergrund zur Gründung der Bauwerke sind hier wegen der zu erwartenden relativ geringen Belastungen grundsätzlich die natürlich gewachsenen Sande sowie Tone von zumindest steifer Konsistenz anzusehen.

Zur Beurteilung des geplanten Bauwerks im Bereich des **Geislachgrabens** (Abschnitt 1: km 1+150) sind die beiden Kleinrammbohrungen KRB9 und KRB10 maßgebend. Abhängig von der endgültigen Höhenlage werden in diesem Bereich voraussichtlich mit den frostfreien Gründungstiefen bereits ausreichend tragfähige Böden erreicht. Sollten jedoch im Gründungsbereich noch aufgeweichte bindige Böden oder Auffüllungen anstehen, können Tieferführungen der konstruktiven Fundamente mittels Unterbeton oder der Einbau eines nichtbindigen Bodenaustauschpolsters erforderlich werden.

In der **Ortschaft Straßmühle** ist zwischen km 1+325 und 1+380 im Abschnitt 2 der Neubau einer Stützwand geplant. Zudem verläuft dort auch der Finsterbach (km 1+350), weshalb dort ein Durchlass oder Brückenbauwerk notwendig wird. Hier wurden die Kleinrammbohrungen KRB24 und BS3 sowie die Rammsondierung DPH2 niedergebracht. Vor allem im Bereich der dort gelegenen Talsenke stehen zunächst stark schluffige Sande mit dünnen Tonlinsen bzw. organischen Einlagerungen an. Ausreichend tragfähige Böden wurden erst in Tiefen zwischen rund fünf und sechs Metern erreicht.

Hier werden daher zusätzliche **Bodenaustauschmaßnahmen** erforderlich. Die stark schluffigen Sande sind mit einer Dicke von **zumindest 50 cm** durch ein gut abgestuftes, verdichtungswilliges, Schottermaterial, z. B. der Körnung 0/45 mm oder 0/56 mm, zu ersetzen. Das Schottermaterial ist lagenweise einzubauen und fachgerecht zu verdichten.

Im Abschnitt 2 der Baumaßnahme wird zwischen km 2+070 und km 2+110 eine weitere Stützwand gebaut. Etwa bei km 2+090 quert der **Lachgraben** die geplante Radwegtrasse. Daher muss dort ebenfalls ein Durchlass oder ein Brückenbauwerk errichtet werden. Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden dort die Kleinrammbohrung KRB27 und die Sondierung DPH3 ausgeführt. Hier werden voraussichtlich mit den frostfreien Gründungssohlen bereits ausreichend tragfähige Böden in Form von Sanden oder zumindest steifen Tonen erreicht.

Im folgenden Kapitel 8.2 werden die zulässigen Sohlpressungen für eine Gründung der Bauwerke auf dem beschriebenen Bodenaustauschpolster bzw. den tragfähigen Sand- und Tonböden unter Berücksichtigung der rechnerischen Setzungen angegeben. Gegebenenfalls können durch eine Erhöhung des Bodenaustauschpolsters höhere Bemessungswerte zugelassen werden. Falls erforderlich können diese Angaben nach Vorlage eines Bauwerksplans mit Lastangaben ergänzt werden.

Eventuelle Sondervorschläge für die Gründung sind uns zur Prüfung bodenmechanischer und gründungstechnischer Belange vorzulegen.

10.2 Bodenpressungen, Setzungen und Bettungsmodul

Zur Ermittlung der zulässigen vertikalen Bodenpressungen bzw. der Sohlwiderstände wurden Grundbruchberechnungen mit den charakteristischen Bodenkenngößen (Kapitel 6.2) durchgeführt. Dabei errechnet sich die Grundbruchsicherheit in Abhängigkeit von der Mindestbreite (b) und der Mindesteinbindetiefe (t = Fundamentsohle bis Fußboden- bzw. Geländeoberfläche) der Fundamente.

Im Folgenden werden die aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005 sowie die Bemessungswerte der Sohlwiderstände nach DIN 1054:2010-12 (Eurocode 7) angegeben.

Zur Berechnung der aufnehmbaren Sohldrücke nach dem **Globalsicherheitssystem** können die aufnehmbaren Sohldrücke gemäß DIN 1054:2005 voraussichtlich nach dem Verfahren für einfache Fälle, Kapitel 7.7 ermittelt werden.

Dabei kann der **charakteristische Sohldruck** σ_{vorh} dem **aufnehmbaren Sohldruck** σ_{zul} gegenübergestellt werden. Dazu werden **für den Lastfall LF 1 nach DIN 1054:2005** (ständige und vorübergehende Bemessungssituationen) die ermittelten charakteristischen Grundbruchwiderstände durch den **Sicherheitsbeiwert von 2,0** dividiert.

Bei der Berechnung mit dem **Teilsicherheitsverfahren** nach DIN 1054:2010-12 (EC7), Kapitel 6.10, kann voraussichtlich der vereinfachte Nachweis in Regelfällen angewendet werden. Hierfür wird der **Bemessungswert der Sohldruckbeanspruchung** $\sigma_{\text{E,d}}$ dem **Bemessungswert des Sohlwiderstands** $\sigma_{\text{R,d}}$ gegenübergestellt. Für die **Bemessungssituation BS-P** (ständige Bemessungssituation) und im **Grenzzustand GEO-2** (sehr große Verformungen oder Bruch im Baugrund), werden hierfür die charakteristischen Grundbruchwiderstände durch den **Sicherheitsbeiwert $\gamma_{\text{R,v}} = 1,4$** dividiert.

Für eine **Gründung wie im Kapitel 10.1 beschrieben** können unter Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse die folgenden **aufnehmbaren Sohldrücke** σ_{zul} [kN/m²] bzw. die **Bemessungswerte der Sohlwiderstände** $\sigma_{\text{R,d}}$ [kN/m²] angesetzt werden:

Streifenfundamente (Globaler Sicherheitsbeiwert $\eta = 2,0$, nach DIN 1054:2005)		Breite b [m]		
		0,5	1,0	
Einbindetiefe t [m]	0,5	180	210	
	1,5	210	230	
		σ_{zul} [kN/m²]		

