

<u>Inhalt</u>	Seite
1 Bezug und Unterlagen	3
2 Lage und Variantenbeschreibung	6
3 Untersuchungsumfang	9
4 Baugrund	12
4.1 Allgemeiner Baugrundaufbau	12
4.2 Baugrundaufbau mit Bezug zu den Varianten	16
4.2.1 Variante A1 (Korridor Süd)	16
4.2.2 Variante B1 (Korridor Mitte)	19
4.2.3 Variante C1.1 (Korridor Nord)	21
4.2.4 Kombivariante AB1	23
5 Grundwasser	24
6 Eigenschaften von Böden und Fels	26
6.1 Ergebnisse der Feldversuche	27
6.2 Ergebnisse der Laborversuche	29
6.3 Chemische Untersuchungen	30
6.4 Klassifikation und charakteristische Kennwerte	31
6.5 Homogenbereiche	33
7 Bautechnische Folgerungen	35
7.1 Varianten und Bautechnik	35
7.2 Hinweise zum Erdbau	38
7.2.1 Aushub und Wiederverwendbarkeit	38
7.2.2 Witterungsempfindlichkeit und Schutzmaßnahmen	38
7.3 Erste Hinweise zum Planum	39
7.4 Entwässerungsmaßnahmen	39
7.5 Dämme	40
7.6 Böschungen und Erosionsschutz	42
8 Zusammenfassende Bewertung	43
9 Weiteres Vorgehen	44
<u>Anlagen</u>	
siehe Anlagenverzeichnis	46

1 Bezug und Unterlagen

Auftrag: Auf der Grundlage unseres Leistungs- und Honorar-Vorschlags vom 20.12.18 wurden wir mit Vertrag vom 04.07.19 vom Land Baden-Württemberg, vertreten durch das Regierungspräsidium Tübingen (RPT), Referat 42, Herrn Dipl.-Ing. R. Hölz, beauftragt, im Rahmen der Variantenabwägung im Zuge des Linienbestimmungsverfahrens nach § 16 FStrG für den Neubau der B 31 zwischen Meersburg und Immenstaad am Bodensee auf Voruntersuchungsniveau in Anlehnung an DIN EN 1997-2 eine Baugrunderkundung zu planen und durchzuführen sowie ein Geotechnisches Gutachten zur Variantenabwägung zu erstellen.

Mit Geotechnischem Vorbericht vom 14.05.19 erfolgte durch uns zunächst in einer ersten Stufe eine Vorbewertung der Varianten auf Grundlage von vorhandenen Unterlagen, Bohrungen und Gutachten sowie von ersten Ortsbegehungen mit ingenieurgeologischer Kartierung. In einer weiteren Stufe wurden nun Voruntersuchungen in den aus geotechnischer Sicht relevanten Abschnitten der Varianten und darauf aufbauend nachfolgend die abschließende geotechnische Beurteilung der Varianten durchgeführt. Bautechnische Detailfragen sollen, sofern sie nicht wesentlich für die Abwägung zwischen den Trassenvarianten sind, erst im Rahmen eines auf die endgültig gewählte Trasse abgestimmten Programms näher untersucht bzw. beurteilt werden.

An **Unterlagen** für die geplanten Varianten erhielten wir vom Auftraggeber, Herrn Dr. D. Eckert, am 26.10.18 per Post zusammen mit der Anfrage:

- Beschreibung des straßenbaulichen Vorhabens und der geforderten Leistungen;
- am 02.11.18 per E-Mail und Link folgende digitalen Unterlagen:
- Beschreibung der Leistungen und Bewertung für Geotechnik, Machbarkeitsstudie B 31;
 - Übersichtslageplan (M 1:10 000), Varianten A B C, Voruntersuchung, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 3, Regierungspräsidium Tübingen, Ref. 44 Planung, 10.2018;
 - Lageplan (ohne Maßstabsangabe), Geologische Übersichtskarte GK50 mit geologischen Einheiten, amtliche Geobasis-Daten, Anlage 2, ohne Datum;
 - Übersichtshöhenpläne (M 1:10 000/1 000) A 2900, A 1200 und A 4300, Variante A Korridor Süd, Variante B2 Korridor Mitte und Variante C 1.1 Korridor Nord, Voruntersuchung, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 4, Blatt Nr. 1, Nr. 4 und Nr. 7, Regierungspräsidium Tübingen, Ref. 44 Planung, 09.2018;
 - Lagepläne (M 1:7 500), Bohrdaten Bereich Hagnau, Meersburg und Stetten, Aufschlussdatenbank LGRB, amtliche Geobasis-Daten, Anlagen 6 bis 8, ohne Datum;

- Lageplan (ohne Maßstabsangabe), Ausschnitt des Übersichtslageplans, Einschnitte zwischen Kippenhausen und Reute, Anlage 9, ohne Datum;
- Schichtenverzeichnisse aus der Bohrdatenbank des LGRB, ADB Hagnau, ADB Meersburg und ADB Stetten, Anlagen 10 bis 12, ohne Datum;

am 21.12.18 per E-Mail und Link folgende digitalen Unterlagen:

- Fremdgutachten zu Baugrund, Schadensfällen und Altablagerungen
- Schichtenverzeichnisse aus der Bohrdatenbank des LGRB, TK 8221, TK 8321 und TK 8322;

am 10.01.19 per E-Mail und Link folgende digitale Unterlagen:

- Digitale Topografische Karten DTK25 im tif-Format;
- Querschnitt (M 1:100) Rampensystem, Station A1 10+960, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 15, Blatt Nr. 1, Regierungspräsidium Tübingen, Ref. 44 Planung, 09.2018;
- Übersichtslagepläne (M 1:10 000) A 2900, A 1200 und A 4300, Variante A Korridor Süd, Variante B2 Korridor Mitte und Variante C 1.1 Korridor Nord, Voruntersuchung, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 3, Blatt Nr. 1, Nr. 4 und Nr. 7, Regierungspräsidium Tübingen, Ref. 44 Planung, 10.2018;

am 22.01.19 und 01.02.19 per E-Mail folgende digitalen Unterlagen:

- Shapefiles der drei Varianten und
- ALKIS-Daten des LGL-BW;

am 08.04.19 per E-Mail und Link folgende digitalen Unterlagen:

- Übersichtslagepläne (M 1:10 000), Varianten A Korridor Süd, Variante B2 Korridor Mitte, Variante B2.1 Korridor Mitte mit Querspange Meersburg, Variante C1.1 Korridor Nord und Variante A-B Kombination, Voruntersuchung, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 3, Blätter 1, 4, 5.1, 7 und 10, Regierungspräsidium Tübingen, Ref. 44 Planung, Stand 03.2019;
- Übersichtshöhenpläne (M 1:10 000/1 000) A 1050, A 1200, A 2370, A 2900 bergm., A 2900 Aneu und A 7100, Querspange Meersburg, Variante C1.1 Korridor Nord, OU Stetten Variante 2, Variante A optimiert (bergm. und offen) und Variante A-B, Voruntersuchung, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 4, Blatt Nr. 1, Nr. 4 und Nr. 7, Regierungspräsidium Tübingen, Ref. 44 Planung, Stand 03.2019;
- Querschnitte (M 1:250), A 1200 und A 2900, Variante C1.1 Kompromiss_2, Station 0+000 – 0+750 und B31 Süd Variante A1 optimiert 03/19, Station 0+000 – 0+750, Voruntersuchung, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 15.1, Blatt Nr. 1, Stand 03.2019;

am 04.12.19 per E-Mail und Link folgende digitalen Unterlagen:

- Übersichtslagepläne (M 1:10 000), Varianten AB1 und AB2, Variante A1, Varianten B1 und B1.1, Varianten B2 und B2.1, Varianten C1 und C1.1, Varianten C2 und C2-1 und Variante A2, Voruntersuchung, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 5, Blätter 01.1 bis 12.1, Regierungspräsidium Tübingen, Ref. 44 Planung, Stand 09.2019;
- Übersichtshöhenpläne (M 1:10 000/1 000), Variante AB2, Variante A1, Varianten B1 und B1.1, Varianten B2 und B2.1, Varianten C1 und C1.1, Varianten C2 und C2-1 und Variante A2, Voruntersuchung, Neu- und Umbau der B 31 zwischen Meersburg/West und Immenstaad, B 31 neu, Unterlage 4, Blätter 1 bis 9 sowie 11 und 12, Regierungspräsidium Tübingen, Ref. 44 Planung, Stand 09.2019;

Vom Landratsamt Bodenseekreis, Amt für Wasser- und Bodenschutz, erhielten wir am 27.02.19 per E-Mail:

- Längsschnitt und Draufsicht (M 1:50) des Brunnens mit Pumpwerk der Wasserversorgung Stetten, Wasserwirtschaftsamt Konstanz, 02.03.1956.

Von der Arbeitsgemeinschaft Dipl.-Ing. B. Stocks, Büro für Umweltsicherung und Infrastrukturplanung, Tübingen, und Entwicklungs- u. Freiraumplanung Eberhard + Partner GbR, Konstanz, erhielten wir am 12.03.19 per E-Mail:

- Lageplan (M 1:10 000), Karte 9: Kulturgüter, Kulturdenkmale, Anlage 1, Karte 9, Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) zur Linienfindung, B 31 neu, Meersburg/West – Immenstaad, September 2018.

Außerdem standen uns zur Verfügung:

- Blatt 8221 Mainau der Geologischen Karte (M 1:25 000) von Baden-Württemberg mit Erläuterungen [m.E. nicht notwendig da Inhalt identisch (?)], Stuttgart 1986;
- Blatt 8222 Markdorf der Geologischen Karte (M 1:25 000) von Baden-Württemberg mit Erläuterungen, Stuttgart 1997;
- Blatt 8321 Konstanz der Geologischen Karte (M 1:25 000) von Baden-Württemberg mit Erläuterungen, Stuttgart 1986;
- Blatt 8322 Friedrichshafen der Geologischen Karte (M 1:25 000) von Baden-Württemberg mit Erläuterungen, Stuttgart 1976;
- Geologische Karte (M 1:50 000) GeoLa GK50, digital, mit Beschreibungen, LGRB, Stand 22.01.19;
- Rechtsverordnung und Wasserschutzgebietsabgrenzung WSG Stetten-Dürleberg (WSG-Nr. 435016) vom 01.04.1966, LUBW, Amtliche Geobasisdaten, Stand 22.01.19;
- Geotechnischer Vorbericht, Stufe 1: Variantenbewertung auf Grundlage vorhandener Unterlagen (607933-01) vom 14.05.19, Smolczyk & Partner GmbH, Stuttgart;

- Luftbildauswertungen auf Kampfmittel, Büro Hinkelbein, Filderstadt, 3 Gutachten vom 17.04.19 und 05.06.19 (2 Gutachten).

2 Lage und Variantenbeschreibung

Lage: Der Untersuchungsbereich liegt nordöstlich des Bodensees zwischen der Stadt Meersburg im Nordwesten und Immenstaad im Südosten. Die Linienbestimmung erstreckt sich über die Gemarkungen der Gemeinden Meersburg, Stetten, Hagnau am Bodensee, Markdorf und Immenstaad im Landkreis Bodenseekreis. Naturräumlich gehört der Bereich zum Bodenseebecken als Teil der Großlandschaft Voralpines Hügel- und Moorland (Naturraum 31)¹. Der Naturraum umfasst das zur Würmeiszeit eisbedeckte Stammbecken des alpinen Rheingletschers sowie sein entlang der heutigen Schussen weit ins nördliche Vorland geschobenes wichtigstes Zweigbecken. Der Beckenrand liegt bei rund 500 m über NN.

Über den weitflächigen Obersee, den eigentlichen Bodensee, reicht der Naturraum damit nach Norden bis an die auf über 750 m über NN ansteigenden Molasserücken (u.a. Gehrenberg, 754 m), die sich von Schönach über Heiligenberg bis Markdorf ziehen. Von dort greift er dann mit dem Schussenbecken noch einmal weit nach Norden aus, und zwar über Ravensburg und Weingarten bis an die ursprünglich mächtige Rückzugsmoräne des Altdorfer Waldes. Mit diesem geht er im Norden in das Oberschwäbische Hügelland (Naturraum 32) über.

Im Osten grenzt er an das Westallgäuer Hügelland (Naturraum 33), im Westen an den Hegau (Naturraum 30) und im Süden an das Schweizer Mittelland. Sowohl auf der Schweizer Seite als auch nördlich des heutigen Bodenseeufers hinterließ der Gletscher auf rund 10 km Breite eine Landschaft aus Kies- und Grundmoränenhügeln (Drumlinfelder), welche zahlreiche Bäche ausschließlich seewärts entwässern, u.a. über die breite Markdorfer (Schmelzwasser-) Rinne. Nach Nordosten reicht das subalpine Jungmoränenland über die Argen bis an den Nagelfluhrücken des Pfänders heran. Im Westen fällt das Vorland mit steilen, engen Terrassen ab, die – wie bei Meersburg – oft nur einen schmalen Uferstreifen zulassen.

Variantenbeschreibung: Die Straßen entlang der Nordseite des Bodensees sind überlastet. Mit dem Bau der B 31 neu zwischen Meersburg/West und Immenstaad soll sich die Verkehrssituation dort dauerhaft entspannen (Anlage 1.1).

¹ Landeskunde entdecken online, Landesarchiv Baden-Württemberg: www.leo-bw.de

Die geplante Strecke weist eine Gesamtlänge von ca. 10,5 km auf. Im Zuge des bisherigen Planungsprozesses wurden zwischenzeitlich zwölf potentielle Varianten und Zwischenvarianten der Linienführung ausgearbeitet. Die zwölf Varianten können prinzipiell drei Korridoren (A, B und C) zugeordnet werden.

Korridor Süd (A) umfasst mit den Varianten A1 und A2 im Wesentlichen den Bereich der bestehenden B 31 und somit die Variante des Ausbaus der bestehenden B 31.

Korridor Mitte (B) umfasst vier Varianten (B1, B2, B1.1 und B2.1), welche auf der Höhe von Hagnau südlich des Waldgebiets "Weingarten" verlaufen.

Korridor Nord (C) umfasst ebenfalls vier Varianten (C1, C2, C1.1 und C2.1), welche auf der Höhe von Hagnau nördlich des Waldgebiets verlaufen.

Dazu kommen noch zwei Varianten, die als Kombinationsvarianten AB1 und AB2 eine Kombination aus den Varianten A1 und B1 bzw. B2 sind.

In Abstimmung mit dem RPT erfolgt eine geotechnische und hydrogeologische Bewertung für folgende vier Varianten:

- Variante A1 (Korridor Süd, Ausbautrasse),
- Variante B1 (Korridor Mitte) und
- Variante C1.1 (Korridor Nord) sowie
- Variante AB1, eine Kombination aus Variante A1 bis Hagnau und anschließend B1.

Die Varianten für die geotechnische und hydrogeologische Bewertung wurden hierbei so gewählt, dass die aus geotechnischer Sicht relevanten Bereiche für alle zwölf Varianten abgedeckt sind.

Die Varianten beginnen nördlich von Meersburg im Bestand der B31, etwa an der Gemeindeverbindungsstraße K 7783 nach Daisendorf bei Bau-km 0+000. Die Varianten A1, B1 und AB1 folgen um Meersburg herum in Lage und Gradienten dem Bestand, bevor die Variante B1 bei ca. km 2+500 am Lerchenberg südlich von Stetten und die Variante AB1 bei ca. km 4+000 westlich von Hagnau jeweils nach Norden die Bestandstrasse verlassen. Die Variante C1.1 verlässt bereits nördlich von Meersburg bei ca. Bau-km 0+700 die Bestandstrasse in östlicher Richtung.

Die Variante A1 (Korridor Süd, Ausbautrasse) bleibt überwiegend im Bestand, soll aber südlich von Stetten in einem rund 1.100 m langen Einschnitt mit einem etwa 250 m langen Lärmschutztunnel (Tunnel "Stetten") geführt werden, wobei die Fahrbahnoberkante bis zu etwa 13 m unter der Geländeoberfläche liegt. Nördlich von Hagnau bei ca. km 4+250 verlässt die Variante die Bestandstrasse und umfährt Hagnau in einem weiten Bogen durch überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen. Die Trasse verläuft hier in einem bis zu 40 m tiefen und rund 1.750 m langen Tunnel (Tunnel "Hagnau").

Etwa bei km 6+750 westlich von Schloss Kirchberg wird die Bestandstrasse wieder erreicht, wobei dann entlang des Schlosses ein etwa 350 m langer Einschnitt mit einem etwa

140 m langen Lärmschutztunnel (Tunnel "Kirchberg") bei einer Einschnittstiefe von bis zu ca. 10 m gebaut werden soll. Im weiteren Verlauf bleibt die Variante bis nach Immenstaad im Bestand, wobei weitere Lärmschutzmaßnahmen südlich von Schloss Hersberg zwischen etwa km 7+880 und 8+650 mit bis zu ca. 10 m Einschnittstiefe (Trog "Immenstaad") und am östlichen Ortsrand von Immenstaad zwischen etwa Bau-km 9+600 und 10+440 mit bis zu rund 15 m Einschnittstiefe (Tunnel "Immenstaad-Siedlung") vorgesehen sind.

Bei etwa km 11+500 verlässt die Trasse den Bestand, trifft bei ca. km 11+800 auf die nördlichen Varianten B1, AB1 sowie C1.1 und bindet wenige Meter weiter nördlich von Fischbach an die B31 neu der Ortsumfahrung Friedrichshafen an. Das Bauende der Variante A1 liegt bei Bau-km 12+350.

Nach dem Verlassen der Bestandstrasse bei Bau-km 2+500 am Lerchenberg südlich von Stetten verläuft die Variante B1 (Korridor Mitte) südlich und östlich von Stetten auf insgesamt etwa 1.250 m Länge in Einschnittslage, wovon südlich von Stetten ein etwa 300 m langer und rund 10 m tief eingeschnittene Lärmschutztunnel (Tunnel "Stetten-Lerchenberg") und dann, etwa 400 m weiter, erneut in einem kurzen, rund 250 m langen Tunnel (Tunnel "Stetten-Hülloh") mit rund 17 m Einschnittstiefe gebaut werden soll. Bei etwa km 3+850 wird der Dysenbach mit einer Brücke und ab etwa km 4+000 auf rund 2,5 km Länge das ausgedehnte Waldgebiet "Weingarten" gequert. Bei etwa km 6+500 ist eine rund 200 m lange Grünbrücke (Tunnel) geplant. Die Einschnittstiefe beträgt hier weniger als 10 m, weshalb nur auf einem kurzen Abschnitt ein Tunnel realisiert werden kann. Im Anschluss wird bei ca. km 7+800 der Seelbach in leichter Dammlage gequert. Bei etwa km 9+000 geht die Variante B1 in die Variante C1.1 über. Hier wird das Tal des Kniebachs überfahren, um dann nördlich des Ortsteils "Siedlung" der Gemeinde Immenstaad nach Osten abzubiegen. Bei etwa km 10+100 wird das breite Tal des Lipbachs in Dammlage und einer rund 100 m langen Talbrücke gequert, um dann ab etwa km 11+000 gemeinsam mit der Variante A1 bis zum Bauende bei km 11+600 an die B31 neu anzubinden.

Die Variante C 1.1 (Korridor Nord) verlässt bereits nördlich von Meersburg bei ca. Bau-km 0+700 die Bestandstrasse in östlicher Richtung und verläuft etwa zwischen km 0+720 und km 1+650 in einem bis zu rund 18 m tiefen Einschnitt, der zur Lärminderung zwischen etwa km 0+760 und 1+050 in einem Tunnel (Tunnel "Meersburg") durchfahren werden soll. Zwischen ca. km 2+700 und km 3+450 quert die Trasse etwa in Geländegleichlage die Zone III des rechtskräftig ausgewiesene Wasserschutzgebiets "Stetten-Dürleberg" (WSG-Nr. 435016) der Gemeinde Stetten und verläuft dann am nördlichen Rand des oben genannten Waldgebiets "Weingarten". Bei etwa km 6+000 verlässt die Trasse den Wald und folgt östlich von Reute dem flachen, nach Südosten entwässernden Tal des Kniebachs, um dann gemeinsam mit der Variante AB1 nördlich des Ortsteils "Siedlung" der Gemeinde Immenstaad nach Osten abzubiegen. Bei etwa km 9+500 wird das breite Tal des Lipbachs gequert,

um dann ab etwa km 10+500 gemeinsam mit der Variante A1 bis zum Bauende bei km 11+250 an die B31 neu anzubinden.

Die Kombivariante AB1 stellt eine Kombination aus der Variante A1 und B1 dar. Der Bypass zwischen den beiden Ausgangsvarianten verläuft nördlich von Hagnau. Diese Variante verläuft etwa ab km 4+470 bis 5+700 in Tunnellage (Tunnel Hagnau) unter bis zu rund 30 m Überdeckung. Bei etwa km 7+000 trifft die Variante auf die Variante B1 und folgt dieser bis zum Bauende bei km 11+350.

3 Untersuchungsumfang

Die vorliegende Variantenabwägung erfolgt auf Grundlage von vorhandenen Unterlagen, Bohrungen und Gutachten gemäß der Aufstellung in Abschnitt 1, von ersten Ortsbegehungen mit ingenieurgeologischer Kartierung sowie einer ersten Voruntersuchung mit Kernbohrungen.

Die Geländebegehungen wurden an fünf Tagen im Februar 2019 durchgeführt. Auf Basis der topografischen Karten im Maßstab 1:25 000, vergrößert auf M 1:10 000, wurden die Trassen begangen und morphologische sowie geologisch-hydrogeologische Erscheinungen kartiert und fotografisch dokumentiert. Die vorliegenden amtlichen Geologischen Karten (s. Abschnitt 1) wurden anhand der Kartierung überprüft und gegebenenfalls ergänzt bzw. korrigiert. In Anlage 1.3 ist die Geologische Karte auf Grundlage der amtlichen Geologischen Karte des LGRB (M 1:50 000) GeoLa GK50, digital, sowie der Ergebnisse der Kartierung dargestellt. Die Geländebegehungen haben die Karte des LGRB weitgehend bestätigt. Die geringfügigen Änderungen gegenüber der amtlichen Geologischen Karte sind gesondert markiert.

Auf dieser Grundlage wurde von uns im April 2019 ein Erkundungsprogramm geplant, das vom RPT im Mai ausgeschrieben und im Juni 2019 vergeben wurde.

Auf dieser Grundlage wurde am 23.05.19 beim Amt für Wasser- und Bodenschutz im Landratsamt Bodenseekreis gemäß § 43 des Wassergesetzes von Baden-Württemberg einen Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis für Bohrarbeiten eingereicht. Die vom Amt mit Erlaubnis vom 28.05.19 erteilten Auflagen wurden bei der Erkundung berücksichtigt.

Wegen Kampfmittelverdacht wurden die Bohrungen BK 8, BK 9, BK 18 und BK 20 von der Bohrfirma vorsondiert und freigemessen. Für die restlichen Standorte war Kampfmittelfreiheit gegeben.

Das Ziel der ersten Erkundung war es, in den aus geotechnischer Sicht relevanten Abschnitten der Varianten eine abschließende geotechnische Abwägung der Varianten durchzuführen.

Dazu wurden, entsprechend dem von uns ausgearbeiteten Erkundungskonzept, von der Bohrfirma drillexpert GmbH, Teningen, vom 30.07. bis 04.11.19 unter unserer fachtechnischen Aufsicht

22 Kernbohrungen nach DIN EN ISO 22 475, Tabelle 2, Zeile 7, im Fels Zeile 2, mit insgesamt

470 Bohrm Metern

niedergebracht.

In allen Bohrungen wurden während der Bohrarbeiten von der drillexpert GmbH

59 Bohrlochrammsondierungen nach DIN 4094-2: BDP (Borehole Dynamic Probing), Sondierungen mit geschlossener Spitze

durchgeführt, deren Ergebnisse in Anlage 2.1, links neben den Bohrprofilen, angegeben sind.

Insgesamt wurden 15 Bohrungen als Grundwasser-Messstelle DN 125 ausgebaut, wovon 12 Bohrungen (BK 2, BK 6, BK 7, BK 8, BK 10, BK 11, BK 14, BK 15, BK 16, BK 18, BK 21 und BK 22) in der Tettlinger-Subformation (Geschiebemergel), die BK 3 im Übergangsbereich Tettlinger-Subformation / Obere Süßwassermolasse und 2 Bohrungen (BK 4 und BK 5) in der Oberen Süßwassermolasse ausgebaut wurden. Der Messstellen-Ausbau ist in Anlage 2.1 dargestellt.

Die Bohrlöcher der anderen Bohrungen wurden nach Abschluss der Arbeiten auf den obersten Metern mit Ton, darunter mit Zement-Bentonit-Suspension verfüllt; nähere Angaben dazu siehe Anlage 2.

Sämtliche Erkundungspunkte wurden von der drillexpert GmbH genau nach Lage und Höhe eingemessen. Sie sind zusammen mit den "Fremd"-Bohrungen in den Anlagen 1.3 eingezeichnet. Aufgrund der fortschreitenden Straßenplanung, während der Planung und Ausführung der Erkundungsarbeiten, liegen die Erkundungspunkte nicht immer exakt auf den endgültigen Achsen der Varianten.

Die Böden und Festgesteine wurden durch **S&P** visuell und durch manuelle Feldversuche nach DIN EN ISO 14 688-1 und DIN EN ISO 14 689 angesprochen und ingenieurgeologisch aufgenommen.

Die Schichtenfolgen der Kernbohrungen sind in Anlehnung an DIN 4023 in Anlage 2.1 dargestellt und beschrieben und zusammen mit den Fremdbohrungen in vier geologischen

Geländeschnitten eingearbeitet (Anlagen 3.1). Die Signaturen, Zeichen und Bezeichnungen in den Anlagen 2 und 3 sind in Anlage 2.0 erläutert.

Dabei wurden für feinkörnige Böden die Konsistenzen gemäß DIN EN ISO 14 688 angegeben. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die deutschen und englischen Bezeichnungen mit den zugehörigen Konsistenzahlen I_c aufgeführt.

Bezeichnung	Konsistenzahl I_c
breiig / very soft	< 0,25
sehr weich / soft	0,25 bis 0,50
weich / firm	0,5 bis 0,75
steif / stiff	0,75 bis 1,00
halbfest / very stiff	1,00 bis 1,25
fest / hard	> 1,25

Tabelle 1: Konsistenzahl I_c von Schluffen und Tonen

Die Schichtenverzeichnisse der Kernbohrungen und die Verfüll-Protokolle, die von der Bohrfirma erstellt wurden, sowie Farbfotos der Bohrkerne, die wir zur Dokumentation aufgenommen haben, befinden sich in unseren Unterlagen.

Den Bohrungen wurden insgesamt

470 Bodenproben der Güteklasse 3 nach DIN EN 1997-2, Tab. 3.1 und DIN EN ISO 22 475

entnommen.

An ausgewählten Proben wurden insgesamt in unserem geotechnischen Labor Versuche durchgeführt:

- 102 Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts nach DIN EN ISO 17 892-1 (Anlage 2, rechts neben den Profilsäulen),
- 25 Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze nach DIN EN ISO 17 892-12 (Anlage 4.1),
- 16 Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17 892-4 (Anlage 4.2),

und an Gesteinen nach den DGGT-Empfehlungen für die Versuchstechnik im Fels im felsmechanischen Labor der Ruhr-Universität Bochum

- 2 einaxiale Druckversuche nach Empfehlung Nr. 1 und
- 2 Cerchar Abrasivitäts-Versuche nach Empfehlung Nr. 23.

Alle Proben werden nach Abgabe des Geotechnischen Berichts drei Monate lang aufbewahrt und danach, sofern sie der Auftraggeber nicht anfordert oder eine längere Einlagerung vereinbart, ohne Ankündigung entsorgt.

Die Ergebnisse der für die Bewertung des Untergrundes herangezogenen bodenmechanischen Versuche sowie Feldversuche werden in Abschnitt 6 erläutert und bewertet.

Für die erste orientierende abfallrechtliche Untersuchung des Untergrunds haben wir aus dem Bohrgut der Kernbohrungen BK 5, BK 9 und BK 22 schichtbezogene Mischproben gebildet und im chemischen Labor BVU Bioverfahrenstechnik und Umweltanalytik GmbH, Markt Rettenbach, akkreditiert mit DAkkS D-PL-14583-01-00, auf den Umfang der VwV Bodenverwertung² untersuchen lassen (Abschnitt 6.3).

4 Baugrund

Für die untersuchten Varianten haben wir durch Interpolation zwischen den zwangsläufig punktuellen Aufschlüssen, unter Einbeziehung der geologischen Karten, der Ortsbegehungen und unter Berücksichtigung geologischer Zusammenhänge ein räumliches **Modell des Untergrundes** erarbeitet, das im nachfolgenden Abschnitt 4.1 zusammenfassend beschrieben und in 4 geologischen Längsschnitten (Anlagen 3) dargestellt wird.

Im Abschnitt 4.2 wird der Bezug zu den einzelnen Streckenabschnitten hergestellt.

4.1 Allgemeiner Baugrundaufbau

Die Varianten durchfahren eine Landschaft, deren hügelige Geländeformen sehr stark eiszeitlich geprägt sind. Früher, bis zum Beginn der Nacheiszeit vor etwa 10.000 Jahren, war das Gelände von den mächtigen Eismassen des Rheingletschers bedeckt, der bei Bregenz aus den Alpen ins Vorland austrat und dessen Eismassen hier eine Mächtigkeit von über 800 m erreichten. Diese letzte Vergletscherung des Alpenvorlandes erstreckte sich fast bis zum heutigen Bad Saulgau nach Norden und entstand in der jüngsten, insgesamt etwa 100.000 Jahre andauernden, sogenannten Würm-Eiszeit, benannt nach einem Fluss in Bayern, der dort die jüngste Eisrandlage markiert.

Nahezu überall haben nacheiszeitlich mehr oder weniger mächtige **Bodenbildungen** stattgefunden, so dass als oberste Schicht abseits der bestehenden Straßen und Wege nahezu

² Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial ("VwV Bodenverwertung") vom 14. März 2007

überall Oberboden angetroffen wird. Neben organischen Anteilen beinhalten die obersten Dezimeter auch Bodenlebewesen, so dass hier im Sinne der DIN 18 320 ein Oberboden vorliegt, der geschützt werden muss.

Im bodenkundlichen Sinne ist ein Oberboden der obere Teil des Mineralbodens, der einen der jeweiligen Bodenbildung am jeweiligen Standort entsprechenden Anteil an Humus und Bodenorganismen enthält und der sich meist durch dunklere Bodenfarbe vom Unterboden abhebt.

Nach dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA)³ und der Bodenkarten 1:50 000 (GeoLa BK5) des LGRB B.-W. treten im Untersuchungsbereich vor allem Parabraunerden aus würmzeitlichen Morändensedimenten sowie Rigosol aus Fließerden auf. Daneben kommen vor allem Braunerden aus Beckensedimenten und Gleye vor, die sich aus glazifluvialen und glazilimnischen, also eiszeitlichen Fluss- und See-Sedimenten gebildet haben. Vereinzelt werden auch Anmoorgley, Nassgley, Humus- und Moorgley aus Abschwemmassen sowie Niedermoor, Gley-Niedermoor und Hochmoor aus Torf angetroffen.

Das erarbeitete vorläufige **Baugrundmodell** besteht unter dem Oberboden stark vereinfacht aus bis zu neun Schichten:

- Zuoberst liegen hauptsächlich im Bereich der vorhandenen Straßen, Wege und Plätze künstliche **Auffüllungen**. Sie bestehen meist aus der Oberflächenbefestigung aus Asphalt oder Schotter und darunter aus einem mehr oder minder inhomogenen Schluff-Sand-Kiesgemisch als Tragschichtmaterial. Bei der Erkundung 2019 wurde vereinzelt geringmächtige Auffüllung aus bindigem und nicht bindigem Erdaushub mit sehr geringen Mengen an Fremdbestandteilen (meist Ziegelbröckchen) angetroffen.
- Mit Ausnahme der Variante A1, die vorwiegend im Bereich der Ausbautrasse verläuft, setzt die Schichtenfolge oben überwiegend mit natürlichen **Deckschichten** ein. In den Tälern, Senken und Mulden finden sich die meist von den umliegenden Hängen abgeschwemmten und im Talgrund abgelagerten jüngsten Sedimente. Sie werden zusammenfassend als "Quartäre Süßwasserablagerungen" (qS) bezeichnet. Dabei werden "Holozäne Auensedimente" von den "Holozänen Abschwemmassen" und den "Jungen Moorbildungen" unterschieden.
 - Die "Holozänen Auensedimente" (qH Ta, Lf, h, qj, al, a), kurz auch als Auenlehm bezeichnet, wurden in den bei Hochwasser gefluteten Bereichen der Talböden abgelagert. Sie bestehen häufig aus einem braunen bis braungrauen, tonigen und sandigen, z. T. kalkhaltigen Schluff, der häufig humos und lokal auch anmoorig ausgebildet sein kann.

³ WaBoA - Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz und Umweltministerium Baden-Württemberg, 3. Auflage 2007

- An Unterhängen oder in kleineren Gerinnesohlen finden sich vereinzelt postglazial verschwemmte Feinsedimente. Diese "Holozänen Abschwemmassen" (qhz, hat, ah, h), sog. Auenschwemmlehm, bestehen aus einem mehr oder weniger humosen, graubraunen bis gelbbraunen, lokal schwach kalkhaltigen, wechselnd tonig-sandigen Schluff, in dem örtlich grusig-kiesige Einschaltungen vorkommen können.
- Zu den Deckschichten zählen auch die lokal auftretenden "Jungen Moorbildungen" (Hn, qht, at', at), die auch als Niedermoor oder Flachmoor bezeichnet werden. Diese Torfbildungen treten unmittelbar an der Geländeoberfläche oder unter anthropogener Bedeckung als Höhenmoore, Quellmoore, Talmoore, Verlandungsmoore u. a. auf. Der dunkelbraune bis schwarzbraune Niedermoor torf ist häufig zersetzt und erdig, lokal auch schluffig-tonig und zeigt alle Übergänge zu Anmoor oder Mudde, z. T. auch mit Kalktuff- oder Wiesenkalklagen.

Diese jungen Ablagerungen wurden in den Bohrungen 2019 nicht angetroffen. Ihre Konsistenz liegt erfahrungsgemäß meist zwischen breiig und weich, örtlich auch bei steif. Die Mächtigkeit wird typischerweise zwischen 1 m und 3 m geschätzt.

- Örtlich treten **Verwitterungs- bzw. Umlagerungsbildungen** (qum, qDu, as) auf, die durch bodenbildende Prozesse des unterlagernden Materials entstanden sind und entweder an Ort und Stelle verblieben sind oder umgelagert wurden. Je nach Liefergebiet kann das Gesteinsmaterial aus Ton, Schluff, Sand, Kies und Steingeröllen bzw. Steingrus sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein und dann entsprechend als Fließerde, Hangschutt oder Verschwemmungssedimente bezeichnet werden. Auch diese Schichten wurden in den aktuellen Bohrungen nicht angetroffen.
- Die geologisch jungen Deckschichten werden von ebenfalls quartären, jedoch deutlich älteren **glazial geprägten Sedimenten (qpG)**, die als "Hasenweiler-Formation" (qHW) zusammengefasst werden, unterlagert.
 - In den subglazial übertieften Becken aus dem Rheingletscher-Vorstoß zur Inneren Jungendmoräne, aber auch in proglazialen Eisstauseen bildeten sich glaziolakustrine Ablagerungen, die als "Hasenweiler-Beckensedimente" (qHWb, Wlb) oder als Beckensedimente des Innenwallwürm bezeichnet werden. Nach den Erkundungsergebnissen in der BK 7 und BK 9 sind es überwiegend sehr schwach tonige bis schwach tonige Schluffe und Grobschluffe, in die in dünnschichtiger Wechsellagerung mm-dünne Feinsand- und Tonlagen eingeschaltet sind. Diese Feinschichtung ist ein Ergebnis der häufig jahreszeitlich unterschiedlich abgelagerten Schwebfracht und führte zu der früher gebräuchlichen Bezeichnung „Bänderton“. Es kommen aber auch mehrere Meter mächtige schluffige Feinsandlagen vor, in die vereinzelt dünne kiesige Lagen eingeschaltet sind. Die Konsistenz der meist wenig bindigen Sedimente ist häufig steif und halbfest, daneben auch weich und fest, selten breiig. Die Mächtigkeit der Beckenablagerungen variiert zwischen wenigen Metern in den Randberei-

chen und kann mehrere Zehnermeter in tieferen Rinnen betragen. In der BK 7 westlich Immenstaad beträgt sie mehr als 17 m, in der BK 9 am östlichen Ortsrand 14 m.

- Vor allem im südlichen und im östlichen Bereich des Untersuchungsgebiets stehen mächtige eiszeitliche Schotter und Sande, sogenannte Vorstoßschotter an, die dort durch eiszeitliche Schmelzwasserströme aufgeschüttet wurden. Sie werden als "Hassenweiler-Schotter" (qHWg, Wlg, δS5) bezeichnet und bestehen aus einem sandigen, teilweise auch stark sandigen Mittel- bis Grobkies, der mehrere Meter mächtig werden kann. In den Schottern können gelegentlich Diamikte, d. h. wenig oder nicht sortierte Gesteinsfragmente in einer tonigen oder schluffigen Matrix auftreten. Die vom fließenden Wasser abgelagerten Sedimente sind in der Regel sortiert und geschichtet. Ein typischer glazifluvialer Schotter des Alpenvorlandes enthält z. B. 2% Ton und Schluff, 20% Sand, 50% Kies und 28% Steine und Blöcke⁴. In den aktuellen Bohrungen wurden die Schotter lediglich in der BK 7 westlich Immenstaad in sehr geringer Mächtigkeit von 1,7 m angetroffen.
- Unter den Beckensedimenten – oft auch direkt unter den Deckschichten – folgen fast im gesamten Untersuchungsgebiet eiszeitliche Geschiebemergel, die als "Tettang-Subformation" (qHWT, Wlm, Wm, δm) bezeichnet werden. Sie sind die Hinterlassenschaft des abgeschmolzenen Gletschers und entstanden als Grundmoräne durch die Aufarbeitung des vom Eis überfahrenen und in die Gletscherbasis eingearbeiteten Untergrundes.

Ganz überwiegend bestehen die Geschiebemergel aus grauen bis olivgrauen, feinsandigen Schluffen und schluffigen Feinsanden, in die meist geringe Anteile an Kalksteingeröllen eingelagert sind. Auf kurze Entfernung rasch wechselnd, können örtlich in unterschiedlichen Tiefen auch die Kies- und Sandlagen überwiegen.

Gelegentlich können Findlinge von Stein- oder Blockgröße vorkommen, die bei den Bohr- und Bauarbeiten zu erheblichen Behinderungen führen können. Die Konsistenz der bindigen Anteile ist erfahrungsgemäß ganz überwiegend halbfest, untergeordnet auch steif, sehr selten auch weich. Charakteristische geomorphologische Formen für die Landschaft sind sog. "Drumlins", in Eisströmungsrichtung längsgestreckte, stromlinienförmige Hügel mit steiler Luv- und flacher Leeseite, die aus Grundmoränen-Material aufgebaut sind. Sie sind bis einige 100 m lang, ihre Breite ist meist $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Länge, ihre Höhe über der Umgebung beträgt 10 m bis 60 m.

- Etwa 700 m nordwestlich der Variante C 1.1 gibt es ein kleines Vorkommen aus Schotter und Feinsedimenten des Rheingletscher-Vorstoßes, das als "Illmensee-Formation" (qIL) bezeichnet wird. Da diese Ablagerungen für unsere Varianten keine Bedeutung haben, werden sie nachfolgend nicht weiter berücksichtigt.

⁴ SCHREINER, A.: Einführung in die Quartärgeologie, Stuttgart 1992.

Den tieferen Untergrund unter den quartären, also eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Ablagerungen, bilden die Schichten des **Tertiärs (tMo)**, die stratigraphisch der sogenannten Oberen Süßwassermolasse (tOS, OSM, mio, m4) zuzuordnen sind. Sie wurde nördlich von Hagnau in den Bohrungen BK 3, BK 4, BK 5 und BK 22 erbohrt.

Ihre Oberfläche liegt im Bereich der Varianten meist mehrere Meter unter Gelände und hat voraussichtlich nur für die Variante A1 im Abschnitt Tunnel "Hagnau" Bedeutung. In den Bohrungen wurde die Obere Süßwassermolasse überwiegend als grauer und graubrauner bis braungrauer, hellbrauner bis brauner, schwach bis stark feinglimmerführender Tonstein/Tonmergelstein aufgeschlossen. Die Festigkeit des feinlamierten Gesteins ist meist gering bis mäßig hoch. Lagenweise ist der Tonstein stärker schluffig ausgebildet und liegt dann als sehr gering bis gering fester Schlufftonstein vor. In die eher tonige Serie sind einzelne bis zu rund 2 m mächtige, hellgraue und braungraue Kalkstein-/Kalkmergelstein-Lagen mit hoher bis sehr hoher Druckfestigkeit eingeschaltet. In der BK 3 und BK 4 trat jeweils eine bis knapp 2 m mächtige, glimmerführende, graue bis hellgraue Feinsandstein-Lage auf, die je nach Verwitterungsgrad geringe bis sehr hohe Festigkeiten erreichen kann. In der BK 5 ist dieser Bereich vollständig zu einem rund 5,5 m mächtigen Verwitterungslehm aus tonigem Schluff und Feinsand von halbfester Konsistenz und leichter Plastizität zersetzt.

Aufgrund der sehr wechselvollen erdgeschichtlichen Vorgänge im Quartär⁵ aus Aufschotterung, Gletschererosion und fluviatiler Erosion entstand eine sehr unruhige, wellige Oberfläche der tOS, die generell zum Bodensee hin absinkt.

4.2 Baugrundaufbau mit Bezug zu den Varianten

Nachfolgend werden die nach derzeitigem Kenntnisstand zu erwartenden geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der Varianten beschrieben. Die Grundlage dafür bildet die mit Hilfe der eigenen Kartierung aktualisierte Geologische Karte der Anlage 1.3, die vorhandenen relevanten Fremdbohrungen und die 2019 durchgeführte erste Erkundung.

4.2.1 Variante A1 (Korridor Süd)

Die geologischen Verhältnisse entlang der Variante A1 sind im Längsschnitt der Anlage 3.1 dargestellt: Zwischen dem Baubeginn bei km 0+000 bis etwa km 2+500 südwestlich von Stetten folgen die Varianten A1 und B1 in Lage und Gradienten dem Bestand. Die Straße liegt überwiegend in Geländegleichlage, bei km 0+300 bis 0+950 in leichter Einschnittslage bis ca. 5 m unter Gelände. In diesem Abschnitt stehen geringmächtige Verwitterungsbil-

⁵ SCHREINER, A.: Zur Frage der tektonischen oder glazigen-fluviatilen Entstehung des Bodensees, Freiburg i. Br., 31.12.1975.

dungen über Geschiebemergel (qHWT) an (Bohrungen B 1 und B 2, Brücke über die Döbele, KB 1 bei BW 12 und BK 1 am Hinterberg). Bei etwa km 1+400 bis 1+580 wird ein kleines Tälchen in Dammlage überfahren. Hier sind geringmächtige postglazial verschwemmte Feinsedimente, sog. "Holozänen Abschwemmmassen", zu erwarten. Das Grundwasser dürfte nur wenige Dezimeter unter Gelände liegen.

Südlich von Stetten, zwischen km 2+300 und 3+700, liegt die Straße in bis zu 12 m tiefer Einschnittslage, wobei zwischen km 2+800 und 3+050 der Lärmschutztunnel "Stetten" geplant ist. Der Einschnitt liegt überwiegend in Geschiebemergel (LGRB-Bohrungen 8321-56, -96, -97 und -98, BK 2 GwM, BK 10 GwM). Das Grundwasser steht bereits wenige Meter unter Geländeoberfläche an (s. Abschnitt 5). In den Geschiebemergeln wird allerdings nur mit geringen Wasserandrangsmengen gerechnet, die zwar geotechnisch und baupraktisch gut beherrschbar sind aber voraussichtlich zusätzliche Maßnahmen (s. Abschnitt 7) erforderlich machen. Aufgrund der überwiegend geringen Einschnittstiefe von rund 4 m bis 6 m kann der Tunnel nur in offener Bauweise hergestellt werden.

Im Anschluss wird bis km 4+500 eine flache Senke im Bereich des Dysenbachs in Geländegleich- oder leichter Dammlage durchfahren. Es werden geringmächtige Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel erwartet, wobei örtlich auch verschwemmte Feinsedimente vorkommen können (Bohrung B 2, UF Fohrenbergstraße).

Bei etwa km 4+250 verlässt die Variante A1 den Bestand, um bis km 6+750 die Gemeinde Hagnau in einem nach Norden ausholenden Bogen überwiegend in Einschnitts- bzw. Tunnelage zu umfahren. Der Einschnitt erreicht bis zu ca. 40 m Tiefe und soll auf einer Länge von rund 1.750 m zwischen km 4+600 und 6+350 als Tunnel aufgefahen werden. Der Untergrund besteht nach den in diesem Abschnitt ausgeführten drei Bohrungen BK 3 GwM, BK 4 GwM und BK 5 GwM aus Geschiebemergel über den Schichten der Unteren Süßwassermolasse. Die aus diesem Bereich vorliegenden Archivbohrungen LGRB 8321-0543 und LGRB 8321-0856, die etwas südlich der Trasse liegen, ergaben unter einer 4 m mächtigen Verwitterungsschicht bis ca. 12 m Tiefe sandige Kiese der Vorstoßschotter, die erfahrungsgemäß stark grundwasserführend sind. Diese Sedimente wurden im Trassenabschnitt nicht angetroffen. Die Oberfläche der Oberen Süßwassermolasse wurde zwischen rund 17 m (BK 3 GwM) und rund 20 m (BK 4GwM) unter Gelände angetroffen und fällt leicht nach Osten hin ein. Das Grundwasser gehört einem gemeinsamen Grundwasserleiter an, der vorwiegend in der Oberen Süßwassermolasse ausgebildet ist. Er kann als schichtig gegliederter Kluftgrundwasserleiter bezeichnet werden. Grundsätzlich wird seine Durchlässigkeit als gering eingeschätzt. Die Kalksteinlagen können allerdings örtlich Verkarstungserscheinungen zeigen und dann auch höhere Durchlässigkeiten aufweisen. Die Grundwasser Oberfläche hatte am Stichtag 21.11.19 im mittleren Bereich des Tunnelabschnitts etwa bei km 5+500 mit rund 7 m unter Gelände den Höchststand und fällt erwartungsgemäß zu den Rändern hin bis auf das Niveau der lokalen Vorfluter hin ab. Die Gradienten liegen damit

bis zu etwa 25 m, die Firste bis zu rund 20 m unter der Grundwasseroberfläche. In der Oberen Süßwassermolasse wird in der Regel mit geringen Wasserandrangsmengen gerechnet, die zwar geotechnisch und baupraktisch gut beherrschbar sind aber voraussichtlich zusätzliche Maßnahmen (s. Abschnitt 7) erforderlich machen. Die Herstellung eines tief liegenden Tunnels, der überwiegend in der Oberen Süßwassermolasse liegen würde, kann sowohl in bergmännischer als auch theoretisch in offener Bauweise erfolgen, wobei der bergmännischen Bauweise aufgrund der Tiefenlage und der damit bei der offenen Bauweise verbundenen erheblichen Eingriffe in die Landschaft und der umfangreichen Sicherungsmaßnahmen der Vorzug gegeben werden sollte.

Bei etwa km 6+350 geht der Tunnel zunächst in Einschnittslage über, bevor bei km 6+750 die bestehende B31 wieder erreicht wird. Zwischen etwa km 6+940 und 7+080 ist ein Lärmschutztrog (Trog Kirchberg) geplant. Bei Einschnittstiefen bis rund 10 m muss der Tunnel in offener Bauweise hergestellt werden. Der Baugrund besteht nach den aktuellen Erkundungsergebnissen aus Geschiebemergel der Tettninger Subformation. Das Grundwasser stand am Stichtag 21.11.19 tief bei rund 13 m unter Gelände entsprechend rund 406 mNN (BK 6 GwM) an. Vermutlich ist es in dieser Senke des Mühlbachs und des Kobenbachs bereits auf den Bodensee, der nur 250 m bis 500 m in südlicher Richtung entfernt ist und dessen Ufer auf etwa 400 mNN liegt, eingestellt.

Im weiteren Verlauf schneidet die Trasse bis km 9+000 bis zu rund 10 m in den Untergrund ein, der hier oberflächennah aus geringmächtigen Kiesen und Sanden der Hasenweiler-Schotter über den Hasenweiler-Beckensedimenten besteht (LGRB-Bohrungen 8322-0581 und -1728, BK 7 GwM). Der Einschnitt liegt mehrere Meter über dem Grundwasser; in der BK 7 GwM wurde am 21.11.19 der Grundwasserstand bei 14,77 m unter Gelände entsprechend 398,06 mNN gemessen (Trog Immenstaad).

Bevor die Straße bei km 9+500 erneut in Einschnittslage übergeht, verläuft sie zunächst nördlich von Immenstaad über 500 m Länge in Geländegleich- bis leichter Dammlage. Der Untergrund besteht aus Verwitterungs- bzw. Umlagerungsbildungen des unterlagernden Hasenweiler-Schotters und der Hasenweiler-Beckensedimenten. Mit besonderen bautechnischen Maßnahmen ist in diesem Abschnitt nicht zu rechnen.

Zwischen km 9+500 bis 11+300 liegt die Straße wieder im Einschnitt, der Tiefen bis zu ca. 15 m erreicht. Im Gewinn Totenried nordöstlich Immenstaad soll von etwa km 9+700 bis 10+450 der Tunnel Immenstaad gebaut werden. Der Untergrund besteht bis ca. km 10+650 aus geringmächtigen Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel. Das Grundwasser steht in diesem Abschnitt wieder hoch an. In der BK 8 GwM stand es am 21.11.19 rund 4,2 m unter Gelände entsprechend 411,11 mNN an. Danach liegt der Tunnel überwiegend im Grundwasser, was aufgrund der Bebauung eine wasserdichte Ausführung voraussichtlich erforderlich macht.

Anschließend werden mächtige Hasenweiler-Beckensedimente erwartet, die ab etwa km 11+000 von Hasenweiler-Schotter überlagert werden. Die Obere Süßwassermolasse wurde bei über 20 m unter Gelände erbohrt (LGRB-Bohrungen 8322-0325 und -0327). In diesem Bereich ist mit hohen Grundwasserständen zu rechnen, die z. T. sehr ergiebig sein können. Im weiteren Verlauf bleibt die Trasse bis zum Bauende bei ca. km 12+200 in Geländegleich- bis leichter Dammlage. Mit besonderen bautechnischen Maßnahmen über den Hasenweiler-Schottern bzw. den Beckensedimenten ist in diesem Abschnitt nicht zu rechnen.

4.2.2 Variante B1 (Korridor Mitte)

Die geologischen Verhältnisse entlang der Variante B1 sind im Längsschnitt der Anlage 3.2 dargestellt: Wie Variante A1 verläuft die Variante B1 vom Baubeginn bei Bau-km 0+000 nördlich von Meersburg zunächst bis etwa Bau-km 2+500 im Bestand der B 31.

Anschließend verlässt die B 31 neu den Bestand und umfährt Stetten bis etwa km 3+700 in Einschnittslage. Aus Lärmschutzgründen ist hier zwischen ca. km 2+700 und 3+020 am Lerchenberg (Tunnel "Stetten-Lerchenberg") und km 3+400 und 3+620 im Gewinn Hülloh (Tunnel "Stetten Hüllo") jeweils ein Tunnel geplant. Der Einschnitt liegt fast vollständig in Geschiebemergel. Im Bereich des Tunnels Lerchenberg beträgt die maximale Einschnittstiefe um 8 m, im Bereich des Tunnels Hülloh wird mit rund 17 m die größte Einschnittstiefe erreicht. Während der Tunnel am Lerchenberg in offener Bauweise hergestellt werden muss, kann der Tunnel Hülloh aus geotechnischer Sicht auch bergmännisch aufgefahren werden. Der Einschnitt liegt im Grundwasser: Im Bereich Lerchenberg wurde am 21.11.19 in der BK 10 GwM der Grundwasserstand bereits bei 1,3 m unter Gelände entsprechend 449 mNN und in der BK 11 GwM bei 5,62 m unter Gelände entsprechend 468,55 mNN gemessen. In den Geschiebemergeln wird allerdings nur mit geringen Wasserandrangsmengen gerechnet, die im Allgemeinen zwar geotechnisch und baupraktisch gut beherrschbar sind aber voraussichtlich zusätzliche Maßnahmen (s. Abschnitt 7) erforderlich machen.

Zwischen km 3+700 und 4+000 wird das Dysenbachtal in Dammlage mit Dammhöhen von bis zu etwa 17 m und einer etwa 120 m langen Talbrücke gequert. In Talmitte werden geringmächtige, verschwemmte Feinsedimente (Holozäne Abschwemmmassen, qhz) erwartet, die nur eine geringe Tragfähigkeit aufweisen. Hier sind im Bereich der Dammaufstandsflächen und der Brückengründungen (Tiefgründungen) zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit erforderlich. Das Grundwasser wird hier nur wenige Dezimeter unter Gelände erwartet.

Bis km 4+380 folgt ein kurzer, bis 10 m tiefer Einschnitt in geringmächtigen Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel. In der BK 12 wurde während den Bohrarbeiten kein Grundwasser angetroffen. Die erwarteten Wasserandrangsmengen aus Schichtenwasser sind gering und gut beherrschbar.

Zwischen km 4+380 und 5+050 verläuft die Trasse in Dammlage mit Dammhöhen von bis zu rund 6 m. Hier wird das Tal des Stehlinsweiler Bachs gequert. Die Dammaufstandsfläche besteht überwiegend aus Verwitterungs- bzw. Umlagerungsbildungen der liegenden glaziolakustrinen Ablagerungen (Hasenweiler-Beckensedimente) bzw. aus den Beckensedimenten selbst. Das Grundwasser wird nur wenige Dezimeter unter Gelände erwartet.

Im anschließenden Einschnitt bis etwa km 5+500 werden zunächst geringmächtige Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel durchfahren, bevor ab ca. km 5+400 sich Hasenweiler-Beckensedimente einschalten. Die Einschnittstiefe beträgt bis 8 m. In der BK 13 wurde während den Bohrarbeiten kein Grundwasser angetroffen. Der Wasserandrang wird als vernachlässigbar eingeschätzt. Die erwarteten Wasserandrangsmengen aus Schichtenwasser sind gering und gut beherrschbar. Besondere bautechnische Maßnahmen sind nicht erforderlich.

Bis km 6+300 wird eine flache Senke in leichter Damm-, Geländegleich- oder leichter Einschnittslage durchfahren. Hier stehen glaziolakustrine Beckensedimente im Untergrund an. Hohe Grundwasserstände bis in Geländeoberfläche sind wahrscheinlich.

Zwischen km 6+300 und 7+300 folgt ein Einschnitt, in den zwischen etwa km 6+500 und 6+700 eine Grünbrücke (Tunnel) eingeschaltet werden soll. Die maximale Einschnittstiefe beträgt weniger als 10 m. Der Untergrund besteht aus geringmächtigen Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel. Am 21.11.19 stand das Grundwasser in der BK 14 GwM bei 5,47 m unter Gelände entsprechend 451,8 mNN an. Damit greift der Einschnitt bis unter die Grundwasseroberfläche. In den Geschiebemergeln wird allerdings nur mit geringen Wasserandrangsmengen gerechnet, die im Allgemeinen zwar geotechnisch und baupraktisch gut beherrschbar sind aber voraussichtlich zusätzliche Maßnahmen (s. Abschnitt 7) erforderlich machen. Die Grünbrücke ist in offener Bauweise herzustellen.

Zwischen etwa km 7+300 und 8+200 wird das breite Tal des Seelbachs in Dammlage gequert. Oberflächennah stehen hier geringmächtige, verschwemmte Feinsedimente (Holozäne Abschwemmmassen, qhz) über den Geschiebemergeln an, die nur eine geringe Tragfähigkeit aufweisen. Hier sind im Bereich der Dammaufstandsflächen zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit erforderlich. Das Grundwasser wird hier nur wenige Dezimeter unter Gelände erwartet.

Im Abschnitt km 8+200 bis 10+100 liegt die Trasse überwiegend in Einschnittslage mit Einschnittstiefen von bis zu rund 9 m. Es stehen meist Geschiebemergel an. Lediglich im Tal des Kniebachs bei etwa km 9+250 wird auf wenigen Metern Länge mit verschwemmten Feinsedimenten (Holozäne Abschwemmmassen, qhz) über den Geschiebemergeln gerechnet. In der BK 20 wurde während den Bohrarbeiten kein Grundwasser angetroffen. Es liegt in diesem Abschnitt so tief unter Gelände, dass es für die Baumaßnahme keine Bedeutung hat. Hydraulisch ist es bereits auf den Lipbach als regionalen Vorfluter eingestellt. Die er-

warteten Restwassermengen aus Schichtenwasser sind gering und gut beherrschbar. Besondere bautechnische Maßnahmen sind nicht erforderlich.

Ab etwa km 10+100 wird das breite Tal des Lipbachs in Dammlage und einer rund 100 m langen Talbrücke gequert, um dann ab etwa km 11+000 gemeinsam mit der Variante A1 bis zum Bauende bei km 11+600 an die B31 neu anzubinden. Der Untergrund besteht hier, abgesehen von einem kurzen Abschnitt mit Holozänen Auensedimenten, aus mächtigen eiszeitlichen Schottern und Sanden, den sogenannten Vorstoßschottern. Das Grundwasser wird nur wenige Dezimeter unter Gelände erwartet und korrespondiert mit dem Wasserspiegel des Vorfluters Lipbach. Besondere bautechnische Maßnahmen sind nicht erforderlich. Für die Gründung der Brücke ist voraussichtlich eine Tiefgründung vorzusehen.

4.2.3 Variante C1.1 (Korridor Nord)

Vom Beginn der Baustrecke bei km 0+000 bis km 0+650 verläuft die geplante Straße in Geländegleich- bis leichter Dammlage (Anlage 3.3). Die Dammhöhen betragen maximal um 3 m. Das Planum bzw. die Dammaufstandsflächen liegen in oberflächennah anstehenden Verwitterungs- bzw. Umlagerungsbildungen der unterlagernden Geschiebemergel.

Entlang des Hinterbergs und des Krähenbergs liegt die Straße von km 0+650 bis 1+650 in Einschnittslage, wobei etwa von km 1+050 bis 1+320 ein Lärmschutztunnel (Tunnel Meersburg) geplant ist. Die Einschnittstiefe beträgt bis zu rund 15 m. Unter einer sehr geringmächtigen Schicht aus Verwitterungsbildungen stehen Geschiebemergel an, die im Bereich sandiger Lagen schichtwasserführend sind. In der BK 1 wurde während den Bohrarbeiten kein Grundwasser angetroffen. In der Grundwassermessstelle BK 15 GwM stand das Grundwasser am 21.11.19 bei 24 m unter Gelände entsprechend 476,7 mNN an. Es hat damit für den Einschnitt keine Bedeutung. Die erwarteten Wasserandrangsmengen aus Schichtenwasser sind gering und gut beherrschbar. Besondere bautechnische Maßnahmen sind nicht erforderlich. Die Herstellung des Tunnels kann aus geotechnischer Sicht sowohl in bergmännischer als auch in offener Bauweise erfolgen.

Zwischen km 1+650 und 1+800 wird ein Tälchen in Dammlage in bis zu 3 m Höhe gequert. Die Dammaufstandsfläche besteht aus wenig tragfähigen postglazial verschwemmten Feinsedimenten, die voraussichtlich zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit erforderlich machen. Das Grundwasser wird mehrere Meter unter Gelände erwartet; die BK 16 GwM war am Stichtag 21.11.19 trocken.

Von km 1+800 bis 2+050 und von km 2+320 bis 2+600 verläuft die Trasse zumindest teilweise in Einschnittslage mit Tiefen bis rund 8 m unter Urgelände. Der Untergrund besteht aus geringmächtigen Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel. Der Wasserandrang aus Schichtenwasser wird als vernachlässigbar eingeschätzt. Zwischen den beiden Einschnitten liegt die Straße auf ca. 270 m Länge in Geländegleich- bis leichter Dammlage, wobei das Planum bzw. Dammaufstandsfläche voraussichtlich in verschwemmten Feinsedimen-

ten zu liegen kommt. Zusätzliche Maßnahmen zur Bodenverbesserung sind wahrscheinlich erforderlich.

Von km 2+600 bis 3+350 liegt die Trasse bis 3 m Höhe in leichter Damm-, bis etwa 2m Tiefe in leichter Einschnitts- und ansonsten in Geländegleichlage. Der Untergrund besteht aus verschwemmten Feinsedimenten und aus geringmächtigen Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel. Zwischen km 3+350 und 4+100 wird das Tal des Stehlinweiler Bachs in Dammlage mit Dammhöhen von bis zu rund 10 m gequert. Die Dammaufstandsfläche besteht überwiegend aus Verwitterungs- bzw. Umlagerungsbildungen der liegenden glaziolakustrinen Ablagerungen (Beckensedimente) bzw. aus den Beckensedimenten selbst. Das Grundwasser wird auch hier nur wenige Meter unter Gelände erwartet.

Zwischen ca. km 2+700 und 3+450 quert die Trasse etwa in Geländegleichlage die Zone III des rechtskräftig ausgewiesenen Wasserschutzgebiets "Stetten-Dürleberg" (WSG-Nr. 435016) der Gemeinde Stetten. Planung und Bau der Straße hat nach den Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten (RiStWag) zu erfolgen. Relevante quantitative Auswirkungen durch die neue Straße sind nicht zu befürchten. Die Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung wird nach derzeitigem Kenntnisstand als groß eingeschätzt. Bei etwa km 3+350, rund 50 m rechts der Achse, liegt eine weitere privat genutzte Trinkwasserversorgungsanlage.

Im Anschluss bis km 4+400 folgt ein flacher, maximal 5 m tiefer Einschnitt in geringmächtigen Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel. In der BK 17 GwM stand am 21.11.19 die Grundwasseroberfläche unter der Grundwassermessstelle; die Messstelle war trocken. Die bei feuchter Witterung möglichen Schichtwassermengen werden als vernachlässigbar eingeschätzt.

Zwischen km 4+400 und 4+830 wird das kleine Tälchen des Nonnenbachs in Dammlage mit Dammhöhen von bis zu ca. 8 m gequert, in dem lokal "Junge Moorbildungen", die auch als Niedermoor oder Flachmoor bezeichnet werden, auftreten. Der Untergrund ist als Dammaufstandsfläche nicht geeignet und muss mittels Bodenaustauschmaßnahmen tragfähig gemacht werden. Das Grundwasser steht vermutlich unmittelbar unter Gelände an.

Im weiteren Verlauf bis km 9+500 verläuft die Trasse überwiegend in leichter Dammlage mit Dammhöhen bis maximal 5 m und in Geländegleichlage. Unterbrochen wird der flache Streckenabschnitt von drei kurzen Einschnitten bei km 4+830 bis 5+300, bei km 6+100 bis 6+500 und bei km 9+000 bis 9+350 mit maximalen Einschnittstiefen von bis zu ca. 7 m. Der Untergrund besteht aus geringmächtigen Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel. Zwischen km 7+550 und 8+100, am Talrand des Kniebachs, dürften an der Geländeoberfläche zudem stellenweise verschwemmte Feinsedimente (Holozäne Abschwemmungen) vorhanden sein. Weder in der BK 18 GwM, der BK 19 oder der BK 20 wurde Grundwasser angetroffen. Die Grundwasseroberfläche wird mehrere Meter unter der Geländeoberfläche erwartet. Die bei feuchter Witterung erwarteten Schichtwassermengen in den Einschnitten wer-

den als vernachlässigbar eingeschätzt. Die Notwendigkeit besonderer bautechnischer Maßnahmen wird nicht erwartet.

Ab km 9+500 bis zum Bauende bei km 11+050 wird das breite Tal des Lipbachs in überwiegend Geländegleichlage gequert. Der Untergrund besteht hier, abgesehen von einem kurzen Abschnitt zwischen etwa km 9+770 und 9+870 mit Holozänen Auensedimenten, aus mächtigen eiszeitlichen Schottern und Sanden, den sogenannten Vorstoßschottern. Das Grundwasser wird nur wenige Dezimeter unter Gelände erwartet und korrespondiert mit dem Wasserspiegel des Vorfluters Lipbach. Besondere bautechnische Maßnahmen sind voraussichtlich nicht erforderlich.

4.2.4 Kombivariante AB1

Die Kombivariante AB1 stellt eine Kombination aus der Variante A1 und B1 dar (Anlage 3.3). Der Bypass zwischen den beiden Ausgangsvarianten verläuft nördlich von Hagnau. Vom Beginn der Baustrecke bis etwa km 4+400 entspricht der Verlauf der Variante A1 (s. Abschnitt 4.2.1). Die Trasse geht bei etwa 4+470 in Tunnellage über und verläuft dann in Richtung der Variante B1. Die geplante Tunnelstrecke hat eine Länge von rund 1.230 m. Der Untergrund besteht nach den in diesem Abschnitt ausgeführten zwei Bohrungen BK 3 GwM und BK 22 GwM aus Geschiebemergel über den Schichten der Oberen Süßwassermolasse. Die Oberfläche der Oberen Süßwassermolasse wurde zwischen rund 17 m (BK 3 GwM) und rund 33 m (BK 22 GwM) unter Gelände angetroffen und fällt leicht nach Osten hin ein. Das Grundwasser gehört einem gemeinsamen Grundwasserleiter an, der vorwiegend in der Oberen Süßwassermolasse ausgebildet ist. Die Grundwasseroberfläche stand am Stichtag in der BK 22 GwM bei 7,73 m unter Gelände entsprechend 454,5 mNN, in der BK 3 GwM bei 11,5 m unter Gelände entsprechend 437,5 mNN an. Danach fällt es erwartungsgemäß zu den Rändern hin bis auf das Niveau der lokalen Vorfluter hin ab. Die Herstellung eines bis zu rund 25 m unter Gelände liegenden Tunnels, der z. T. im Geschiebemergel, z. T. in der Oberen Süßwassermolasse liegen würde, kann sowohl in bergmännischer als auch in offener Bauweise erfolgen, wobei der bergmännischen Bauweise aufgrund der Tiefenlage und der sensiblen Landschaft der Vorzug gegeben werden sollte. Die offene Bauweise erfordert aufwendige Baugrubensicherungen bei einem verhältnismäßig großen bauzeitlichen Flächenverbrauch.

Bei etwa km 7+000 trifft die Variante AB1 auf die Variante B1 und folgt dieser bis zum Bauende bei km 11+350 in nahezu gleicher Gradientenlage (s. Abschnitt 4.2.2).

5 Grundwasser

Das Voralpine Hügel- und Moorland als Teil des Süddeutschen Molassebeckens mit seinen quartären glazialen Lockergesteinen wird geprägt durch Porengrundwasserleiter mit stark wechselnden Durchlässigkeiten und einem i. d. R. silikatisch-karbonatischen sowie karbonatischen Gesteinschemismus⁶. Im Allgemeinen wird das Voralpine Hügel- und Moorland charakterisiert durch einen kleinräumigen Wechsel von quartären mittel bis hoch durchlässigen fluvioglazialen Kiesen und Sanden, gering bis mäßig durchlässigen Moränenablagerungen und sehr gering durchlässigen Seeablagerungen. Diese verzahnen sich sowohl horizontal als auch vertikal miteinander. Aufgrund des häufigen Wechsels von grundwasserleitenden und –geringleitenden Horizonten kommen teils mehrere, übereinanderliegende Grundwasserstockwerke mit meist geringer lateraler Ausdehnung und bereichsweisen gespannten Verhältnissen vor. Den obersten Grundwasserleiter stellen häufig die fluvioglazialen Deckenschotter dar. In den Moränenablagerungen befinden sich lokal schwebende Grundwasserstockwerke, zumeist in grobklastischen Rinnenfüllungen.

Im Untersuchungsbereich zeichnen sich vor allem die fluvioglazialen Kiese und Sande der "Hasenweiler-Schotter" (qHWg, Wlg, δS5) durch hohe bis sehr hohe Durchlässigkeiten aus. Die glaziolakustrinen Ablagerungen, die sog. "Hasenweiler-Beckensedimente" (qHWb, Wlb) und die Ablagerungen der Grundmoräne (Geschiebemergel), die "Tett nang-Subformation" (qHWT, Wlm, Wm, δm), sind dagegen eher Grundwasseringeleiter mit z. T. äußerst geringen Durchlässigkeiten. Die Grundwasserführung beschränkt sich hier auf die geringmächtigen, höher durchlässigen sandig-kiesigen, linsenförmigen Einschaltungen. Die Grundwasserergiebigkeit ist aufgrund der begrenzten Vorkommen in der Regel sehr gering und stark von den jeweiligen Witterungsverhältnissen abhängig. Eine großräumige, zusammenhängende Grundwasseroberfläche ist nicht vorhanden. Die potentiell grundwasserführenden Schotter der Hasenweiler-Formation wurden nur bei Immenstaad (BK 7 GwM und BK 9) in geringer Ausdehnung und Mächtigkeit erbohrt. Sie führten zum Zeitpunkt der Erkundung kein Grundwasser.

Der tiefere Untergrund mit den Festgesteinsschichten der Oberen Süßwassermolasse kann als schichtig gegliederter Kluftgrundwasserleiter bezeichnet werden. Die Kalksteinlagen können dabei Verkarstungserscheinungen zeigen. In den tiefen Bohrungen bei Hagau wurde in der Oberen Süßwassermolasse Grundwasser angetroffen. Die bisher gemessenen Grundwasserstände zwischen rund 7 m und 11 m unter Gelände deuten auf eine zusammenhängende Grundwasseroberfläche, die auf den Bodensee als Vorfluter eingestellt ist, hin.

⁶ Regionale Hydrogeologie von Deutschland, Geologisches Jahrbuch, Reihe A, Heft 163, Hannover 2016.

Im Zuge des Erkundungsprogramms wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Grundwasserstände gemessen:

Bohrung	Datum	GW-Leiter	Wasserstand		
			m u. Gel	m u. ROK	mNN
BK 1	19.08.19	qHWT	k. Gw.	-	-
BK 2 GwM	21.11.19	qHWT	2,51	2,25	457,55
BK 3 GwM	21.11.19	tOS	11,49	11,35	437,45
BK 4 GwM	21.11.19	tOS	7,18	7,01	441,13
BK 5 GwM	21.11.19	tOS	8,88	8,80	431,56
BK 6 GwM	21.11.19	qHWT	13,12	13,01	405,98
BK 7 GwM	21.11.19	qHWT	14,77	14,65	398,06
BK 8 GwM	21.11.19	qHWT	4,23	4,08	411,11
BK 9	23.09.19	qHWT	10,45	-	398,70
BK 10 GwM	21.11.19	qHWT	1,30	1,14	448,96
BK 11 GwM	21.11.19	qHWT	5,62	5,55	468,55
BK 12	19.09.19	qHWT	k. Gw.	-	-
BK 13	18.09.19	qHWT	k. Gw.	-	-
BK 14 GwM	21.11.19	qHWT	5,47	5,31	451,78
BK 15 GwM	21.11.19	qHWT	24,03	23,90	476,69
BK 16 GwM	21.11.19	qHWT	k. Gw.	-	-
BK 17	27.08.19	qHWT	k. Gw.	-	-
BK 18 GwM	21.11.19	qHWT	k. Gw.	-	-
BK 19	30.07.19	qHWT	k. Gw.	-	-
BK 20	27.09.19	qHWT	k. Gw.	-	-
BK 21 GwM	21.11.19	qHWT	15,74	15,61	472,46
BK 22 GwM	21.11.19	tOS	7,73	7,54	454,52

Tabelle 2: Grundwasserstände während der Erkundung und bei der Stichtagsmessung am 21.11.19

Die Grundwasserverhältnisse sind in Kap. 4.2.1 ff., bezogen auf die einzelnen Streckenabschnitte, ausführlich beschrieben. Die Wechselwirkung zwischen den Einschnittslagen der geplanten Varianten und den Grundwasserverhältnissen wird vor allem von den gering durchlässigen und nur örtlich grundwasserführenden Geschiebemergeln und der meist in größerer Tiefe anstehenden Oberen Süßwassermolasse geprägt. In den Geschiebemergeln sind es insbesondere die stärker durchlässigen, sandigen und kiesigen Zwischenlagen, die Grundwasser führen. Angaben über die Grundwasserschwankungen sind noch nicht be-

kannt. Bei den untersuchten Varianten wird nur in einzelnen kurzen Streckenabschnitten in das Grundwasser eingegriffen, und zwar

- bei der Variante A1 im Bereich
 - des Tunnels "Stetten",
 - des Tunnels "Hagnau" und
 - des Tunnels "Immenstaad Siedlung";
- bei der Variante B1 im Bereich
 - des Tunnels "Stetten-Lerchenberg" und
 - des Tunnels "Stetten-Hüllo" und
 - des Einschnitts bei km 6+300 und 7+300
- bei der Variante C1.1 in keinem Bereich und
- bei der Variante AB1 im Bereich
 - des Tunnels "Hagnau".

Das o. g. Wasserschutzgebiet "Stetten-Dürleberg" (WSG-Nr. 435016) der Gemeinde Stetten, mit Rechtsverordnung vom 01.04.1966 ausgewiesen, das von der Variante C1.1 durchfahren wird, hat eine Gesamtfläche von rund 49,9 ha, wobei auf die Zone I rund 0,4 ha, auf die Zone II ca. 1,7 ha und auf die Zone III rund 47,8 ha fallen. Die Fassungsanlage besteht aus einem kleinen Pumpwerk und einem etwa 10 m davon entfernten Brunnen. Er besteht aus einem kreisrunden, ca. 2,6 m tiefen und innen 2 m breiten Schachtbauwerk, an dessen Sohle ein rund 8 m langes Brunnenrohr DN 800 eingebaut ist. Der vermutliche Ruhewasserstand ist mit ca. 466,30 mNN und damit ca. 2,5 m unter Gelände angegeben. Weitere Informationen über die Grundwassernutzung in diesem Wasserwerk liegen nicht vor.

Nach Auskunft des Landratsamtes Bodenseekreis liegt rund 400 m nordöstlich des Pumpwerks in der Hauptstraße 41 noch innerhalb der Zone III eine weitere Trinkwasserversorgungsanlage, die privat genutzt wird. Weitere Angaben dazu liegen nicht vor. Quantitative Auswirkungen durch die neue Straße sind nicht zu befürchten.

Weitere für Trinkwasserzwecke genutzte Grundwasservorkommen sind im Untersuchungsgebiet nicht bekannt.

6 Eigenschaften von Böden und Fels

Boden- und felsmechanische Versuche sind erforderlich, um die angetroffenen Böden und Gesteine mit Hilfe objektiver Vergleichswerte boden- und felsmechanisch klassifizieren

und charakteristische Werte für erdstatische Berechnungen festlegen zu können. Im vorliegenden Fall haben wir

- Feldversuche (Abschnitt 6.1):
 - Bohrlochrammsondierungen BDP und

- Laborversuche (Abschnitt 6.2) an ausgewählten Bodenproben:
 - Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts,
 - der Fließ- und Ausrollgrenzen und
 - der Kornverteilung an ausgewählten Bodenproben
 - sowie Einaxiale Druckversuche und Abrasivitätsuntersuchungen an ausgewählten Felsproben

durchgeführt.

Die Versuche erlauben, qualitative und quantitative Unterschiede der Baugrundeigenschaften zu erfassen. Zur Darstellung der Tiefenabhängigkeit sind sie teilweise in die Schichtenprofile (Anlagen 2.1) und in die geologischen Geländeschnitte (Anlage 3) eingearbeitet.

Die Klassifikationen und charakteristischen Kennwerte sind in Abschnitt 6.4 zusammengestellt. In Abschnitt 6.5 sind die Homogenbereiche des Baugrunds nach den Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) der VOB – Teil C, Ausgabe 2019, beschrieben. Die Tabellen geben aber nur einen ersten Überblick über die Verhältnisse auf Grundlage der ersten Voruntersuchungen. Aufgrund der geringen Aufschlussdichte wurden nicht alle wahrscheinlich anstehenden Schichten angetroffen.

6.1 Ergebnisse der Feldversuche

Sondierungen geben über den gemessenen Eindringwiderstand bzw. über die für 10 cm bzw. 30 cm Eindringung gemessenen Schläge N_{10} bzw. N_{30} einen Anhalt über die Lagerungsdichte nichtbindiger Böden sowie über die Konsistenz bzw. undrained Scherfestigkeit bindiger Böden.

Bei Kenntnis der Kornverteilung der Böden bzw. der Bodengruppen auf Grund von Indexversuchen (Abschnitt 6.2) lassen sich daraus bodenmechanische Kennwerte ableiten.

Während der Erkundung wurden in allen Bohrungen insgesamt 59 **Bohrlochrammsondierungen (BDP)** mit geschlossener Spitze durchgeführt. Sie erlauben, ähnlich wie die Rammsondierungen, bodenmechanische Kennwerte abzuleiten und punktuell tiefenabhängige Unterschiede im Baugrund zu erkennen. Die Ergebnisse der BDP-Versuche sind jeweils unter den Bohrprofilen der Bohrungen als drei Schlagzahlen N_{15} für je 15 cm Eindringung

angegeben. Die Schlagzahl für die Eindringung von 15 cm bis 45 cm heißt N_{30} und ist neben den Bohrprofilen in der Tiefenlage des Versuchs angegeben.

Für feinkörnige, gewachsene Böden sind nach LAMBE & WHITMAN (1969), MAINE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION; Geotechnical Section (2008) sowie gemäß DIN 4094-1 die Zusammenhänge zwischen der Konsistenz bindiger Böden mit der undrainierten Scherfestigkeit c_u und dem Spitzendruck q_c der Drucksonde (CPT) sowie N_{30} der Bohrlochrammsondierung (BDP) in Tabelle zusammengestellt.

Konsistenz	undrainingierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	Spitzendruck q_c in [MN/m ²]			Schlagzahl BDP N_{30}
		TL	TM	TA	
breiig	< 20	< 0,3	< 0,4	< 0,5	< 2
weich	20 - 60	0,3 - 0,7	0,4 - 1,0	0,5 - 1,3	2 - 6
steif	60 - 200	0,7 - 2,1	1,0 - 3,1	1,3 - 4,1	6 - 15
halbfest	> 200	2,1 - 4,1	3,1 - 6,1	4,1 - 8,1	15 - 30
fest	> 400	> 4,1	> 6,1	> 8,1	> 30

Tabelle 3: Zusammenhang zwischen der Konsistenz bindiger Böden mit der undrainingierten Scherfestigkeit c_u und dem Spitzendruck q_c der Drucksonde (DS) sowie N_{30} des Standard-Penetration-Tests (BDP).

- Die in den Geschiebemergeln, "Tettang-Subformation" (qHWT, Wlm, Wm, δm) durchgeführten 45 auswertbaren Versuche lieferten Schlagzahlen N_{30} zwischen einmalig 9 und 68, im Mittel 40.
Diese vergleichsweise hohen Schlagzahlen belegen die bei der Bohrkernaufnahme in den entsprechenden Tiefen festgestellte halbfeste bis feste Konsistenz, wobei einzelne dünne Lagen auch von weicher bis steifer Konsistenz sein können.
Die in den Bohrkernen angesprochene Festigkeit kann damit bestätigt werden.
- In den "Hasenweiler-Beckensedimente" (qHWb, Wlb) konnten 5 Versuche mit Werten zwischen 25 und 72 Schlagzahlen mit einem Mittelwert von 56 ermittelt werden.
Ihre Konsistenz ist damit überwiegend halbfest bis fest, was ebenfalls der Bohrkernaufnahme entspricht.
- Die Schichten der Oberen Süßwassermolasse (tOS) konnten nur im oberen zersetzten Abschnitt der Schichtenfolge untersucht werden. Bei zwei Versuchen lagen die Schlagzahlen N_{30} mit 84 und 75 weit über 30. Diese hohen Schlagzahlen belegen die hier nur schwache bis mäßige Verwitterung der Schlufftonsteine.

6.2 Ergebnisse der Laborversuche

Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt schichtbezogen für die Bodenschichten, an denen Versuche durchgeführt wurden.

Der Geschiebemergel, "Tettang-Subformation" (q_{HWT} , W_{lm} , W_m , δ_m), ist an 22 Versuchen nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 als fein- und gemischtkörniger Boden und mit Wassergehalten an der Fließgrenze w_L von 18 % bis 34 %, im Mittel von 23 %, und an der Ausrollgrenze w_P von 10 % bis 18 %, im Mittel von 11 %, als leichtplastischer Ton (TL) am Übergang zu Sand-Ton-Gemischen (ST) zu bezeichnen, siehe Anlage 4.1. Die mittlere Konsistenzzahl beträgt $I_c = 0,99$, was einer steifen bis halbfesten Konsistenz entspricht. Des Weiteren ist festzustellen, dass innerhalb der Standardabweichung alle untersuchten Böden leichtplastische Tone (TL) und Sand-Ton-Gemische (ST) sind.

Der natürliche Wassergehalt w_n wurde an 82 Proben bestimmt; er lag zwischen 7 % und 22 %, im Mittel bei 11 %. Im Vergleich mit den Fließ- und Ausrollgrenzen hatten damit die Proben steife bis halbfeste, untergeordnet auch feste Konsistenz.

Die Laborergebnisse bestätigen damit die manuelle Ansprache der Proben im Feld nach DIN EN ISO 14 688 als steif, fest, überwiegend halbfest.

Der Geschiebemergel ist nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 gemäß seiner 13 im Labor ermittelten Korngrößenverteilungen vom stark tonigen Schluff bis hin zum stark sandigen Kies (Anlagen 4.2) als Schluff (U) bis Kies-Ton-Gemisch (GU*) zu bezeichnen. Im Mittel stellt der Geschiebemergel einen feinkörnigen Boden dar. Lagenweise sind gröberkörnige Lagen eingeschaltet. Auf Grund der heterogenen Ablagerungsgeschichte der Geschiebemergel und den bereits in Abschnitt 4 beschriebenen, auch lokal stark wechselnden Verhältnissen, sind diese höher durchlässigen Schichten sehr unregelmäßig in den Geschiebemergel verteilt.

Die "Hasenweiler-Beckensedimente" (q_{HWb} , W_{lb}) sind an zwei Versuchen nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 als feinkörnige Böden und mit Wassergehalten an der Fließgrenze w_L von 20 und 23 % sowie an der Ausrollgrenze w_P von 11 % und 12 %, ebenfalls als leichtplastischer Ton (TL) am Übergang zu Sand-Ton-Gemischen (ST) zu bezeichnen, siehe Anlage 4.1. Der natürliche Wassergehalt w_n wurde an 8 Proben bestimmt; er lag zwischen 6 % und 25 %, im Mittel bei 13 %. Im Vergleich mit den Fließ- und Ausrollgrenzen hatten damit die Proben steife bis halbfeste, untergeordnet auch feste Konsistenz. Die Beckensedimente sind nach DIN EN ISO 14 688 und DIN 18 196 gemäß ihrer 3 im Labor ermittelten Korngrößenverteilungen vom stark tonigen Schluff bis hin zum schluffigen Sand (Anlage 4.2) als Ton (TL) an der Grenze zum Sand-Ton-Gemisch (ST) bis Sand-Schluff-Gemisch (SU) zu bezeichnen.

Der natürliche Wassergehalt w_n der Oberen Süßwassermolasse (tOS) wurde an 13 Proben bestimmt; er lag zwischen 4 % und 15 %, im Mittel bei 13 % und damit in der typischen Bandbreite für die Verwitterungsstufen VS3 bis VS1, also stark bis schwach verwitterte Halbfestgesteine.

An jeweils einem Handstück aus einer in der BK 5 erbohrten Mergelsteinbank aus rund 19,5 m Tiefe und einer Kalksteinbank aus rund 22,3 m Tiefe in der tOS haben wir die

- Einaxiale Druckfestigkeit σ_u
 - des Mergelsteins zu rund 113 MN/m² und
 - die des Kalksteins zu rund 61 MN/m² sowie
- den Cerchar Abrasivitäts-Indize
 - des Mergelsteins zu 1,0 (niedrige Abrasivität) und
 - die des Kalksteins zu 0,7 (sehr niedrige Abrasivität)

ermitteln lassen.

6.3 Chemische Untersuchungen

Die **Einzelergebnisse der chemischen Untersuchungen** sind in den beigefügten S&P-Auswertetabellen und in den Prüfberichten des chemischen Labors dokumentiert.

Danach ergeben sich die in folgender Tabelle 3 aufgeführten **Einstufungen**:

Probe	Einstufung VwV Bodenverwertung	Hinweise, Kommentar, Erläuterung zur Einstufung
BK 9: MP 1 (3 m - 5 m) (qHwB)	Z 0 (Bodenart Lehm/Schluff)	alle Zuordnungswerte sind eingehalten
BK 5: MP 1 (13,0 m - 18,50 m) (tOS: Verwitterungslehm)	Z 0 (Bodenart Lehm/Schluff)	alle Zuordnungswerte sind eingehalten
BK 5: MP 2 (18,50 m - 31,05 m) (tOS: UTst, Tst, Mst)	Z 0 (Bodenart Ton)	alle Zuordnungswerte sind eingehalten
BK 5: MP 3 (31,05 m - 32,90 m) (tOS: UTst)	Z 0 (Bodenart Lehm/Schluff)	alle Zuordnungswerte sind eingehalten
BK 5: MP 4 (32,90 m - 40,00 m) (tOS: Tst)	Z 0 (Bodenart Ton)	alle Zuordnungswerte sind eingehalten
BK 22: MP 1 (3,40 m - 22,00 m) (qHWT)	Z 0 (Bodenart Lehm/Schluff)	alle Zuordnungswerte sind eingehalten

Tabelle 3: Zusammenfassung der Einstufungen nach VwV Bodenverwertung

Die Proben stammen aus punktuellen Aufschlüssen, weshalb die Ergebnisse zwangsläufig orientierenden Charakter haben. Demnach sind alle untersuchten Böden aus Hasenweiler Beckensedimenten (qHWP), Geschiebemergel (qHWT), Verwitterungslehm und den Schlufftonsteinen, Tonsteinen und Kalksteinen der Oberen Süßwassermolasse in die Qualität Z 0 nach VwV Bodenverwertung einzustufen. Aufgrund zahlreicher Untersuchungen im benachbarten Streckenabschnitt der Ortsumfahrung Friedrichshafen im Zuge der B31 neu kann das Untersuchungsergebnis für die Geschiebemergel bestätigt werden.

In den Streckenabschnitten der Varianten ist nach derzeitigem Kenntnisstand in den natürlich anstehenden Schichten mit keinen geogenen Belastungen zu rechnen.

6.4 Klassifikation und charakteristische Kennwerte

Anhand der Bodenansprache im Gelände, der hier diskutierten Ergebnisse der Laborversuche sowie unseren Erfahrungen mit bodenmechanisch gleichartigen Böden im benachbarten Bauabschnitt der B31 im Zuge der Ortsumfahrung Friedrichshafen kann der angebroffene Baugrund in Anlehnung an bautechnische Regelwerke klassifiziert und durch charakteristische Kennwerte für erdstatische Untersuchungen beschrieben werden (Tabelle 4).

Die in der Tabelle 4 angegebene Kohäsion der Festgesteine ist eine sogenannte technische Kohäsion, ein rechnerischer Wert für die Gebirgsfestigkeit, dessen Größe Einflüsse wie Durchtrennungsgrad des Gebirges, Beschaffenheit der Trennflächen und mögliche Kluftfüllungen berücksichtigt. Die gesamte Scherfestigkeit, die sich aus den Angaben von Reibungswinkel und technischer Kohäsion ergibt, basiert auf der Modellvorstellung eines stark durchtrennten Gebirgskörpers, in dem sich zusammenhängende Scherfugen ausbilden können, auf denen ein Scherwiderstand wirksam ist.

Dabei erfassen die in nachfolgenden Tabellen beschriebenen Klassifikationen und Rechenwerte nur die tatsächlich 2019 erkundeten natürlichen Böden. Aufgrund der geringen Dichte der Aufschlüsse geben die Werte nur einen ersten orientierenden Überblick. Die Angaben sind im Zuge der weiteren Voruntersuchungen und der Hauptuntersuchung zu verifizieren.

Das Untersuchungsgebiet liegt nach DIN 4149:2005-04 und der entsprechenden regionalen Karte der Erdbebenzonen, hier für Baden-Württemberg, in Erdbebenzone 2. Die hier maßgebende Untergrundklasse ist S, die Baugrundklasse C. Der Untergrundparameter S und die Kontrollperioden des Antwortspektrums für die Untergrundverhältnisse C-S sind aus Tabelle 4 und 5 der DIN 4149:2005-04 zu entnehmen.

geol. Bezeichnung	Beckensedimente (qHWg)	Geschiebemergel Tettang-Subform. (qHWT)		Obere Süßwassermolasse (tOS)	
		bindig	nicht bindig	Verwitterungslehme	
Konsistenz (vorherrschend)	steif-halbfest selten weich	steif-halbfest	-	steif-halbfest	-
Lagerungsdichte	-	-	mitteldicht-dicht	-	-
Gesteinsfestigkeit (DIN EN ISO 14 689-1)	-	-	-	-	sehr gering – sehr hoch ¹⁾
Verwitterungsstufe (DIN EN ISO 14 689-1)	-	-	-	VS4 / VS5	VS0 bis VS3
Klassifikationen					
Bodengruppe (DIN 18 196)	TL, TM, ST, UL, UM	TL, ST, (X) ²⁾	SE, SW, SU, ST*, ST, GU, GU*, (X) ²⁾	TL, TM, SU	(Tst, TMst, Mst, MKst, UTst, FSst)
Bodenklasse (DIN 18 300: 2012-09)	3, 4	4, 5, (6, 7) ²⁾	3, 4, 5, (6, 7) ²⁾	3, 4	6, 7
Bodenklasse (DIN 18 301: 2012-09)	BB2, BB3	BB2, BB3, BB4, BS1, BS3	BN1, BN2, BS1, BS3	BB2, BB3	FV1-FV4, FD1-FD4
Felsgruppe (DIN EN 1997-1: 2009-09)	-	-	-	-	3, 4
Frostempfindlichkeit	sehr	sehr	mittel	sehr	sehr - mittel
Klasse nach ZTV E-StB 17	F3	F3	F2	F3	F3 – F2
Sackungsgefahr	groß	mittel	-	gering	keine
Schrumpfgefahr	groß	-	-	gering	keine - gering
charakteristische Kennwerte					
Wichte γ [kN/m ³]	19	20	22	20	23
unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	9	10	12	10	13
Reibungswinkel ϕ' [°]	25	27,5	32,5	25	25
Kohäsion c' [kN/m ²]	5-10	10-20	2,5	3 bis 10	35 bis 50 ³⁾
Steifemodul E_s [MN/m ²] für Setzungsberechnungen	4-15	10-20	20-40	10 bis 20	≥ 80

¹⁾ UTst, Tst: sehr gering bis gering; Kst, KMst, FSst: hoch bis sehr hoch

²⁾ eingelagerte Steine und Blöcke

³⁾ technische Kohäsion, siehe Erläuterung im Text

Tabelle 4: Vorläufige Klassifikationen und charakteristische Kennwerte der Böden (soweit angetroffen)

6.5 Homogenbereiche

Nach den Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) der VOB/C, Ausgabe 2019, ist der Baugrund in Homogenbereiche einzuteilen. Bei der Definition der Homogenbereiche sind die verfahrens- und gerätespezifischen Besonderheiten für jedes Gewerk zu berücksichtigen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand wird möglicherweise für das vorliegende Bauvorhaben mit Homogenbereiche folgender Gewerke des Tiefbaus entsprechend den ATVs gerechnet:
DIN 18 300, Erdarbeiten,
DIN 18 301, Bohrarbeiten sowie
DIN 18 312, Untertagebauarbeiten.

Zur Vereinfachung von Ausschreibung, Aufmaß und Abrechnung werden die Homogenbereiche einheitlich für die erwarteten Bauverfahren festgelegt und in den nachfolgenden Tabellen 5 und 6 anhand der Bandbreite ihrer Kennwerte definiert sowie zeichnerisch in Anlage 3 dargestellt.

Die Homogenbereiche nach DIN 18 300 für Erdarbeiten gelten für das Lösen, Laden, Fördern, Einbauen und Verdichten von Boden, Fels und sonstigen Stoffen. Die Homogenbereiche nach DIN 18 301 für Bohrarbeiten gelten für Bohrungen jeder Art und nach DIN 18 312 für den Ausbruch und Abbau von Boden und Fels in geschlossener Bauweise sowie bei der Deckelbauweise. Vermutlich werden weitere Gewerke wie beispielsweise die DIN 18 304, Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten hinzukommen.

Der Oberboden ist nach ATV DIN 18 320, Landschaftsbauarbeiten, unabhängig von seinem Zustand vor dem Lösen ein eigener Homogenbereich "O".

Die in den beiden nachfolgenden Tabellen genannten Homogenbereiche sind im Zusammenhang mit den angegebenen ATVs zu verwenden.

Homogenbereich Nr. geol. Bezeichnung	B 1 Beckensedimente	B 2 Geschiebemergel	B 3 Verwitterungs- lehm
Boden			
Bodengruppe (DIN 18 196)	TL, TM, ST, UL, UM	TL, ST, SE, SW, SU, ST*, ST, GU, GU*, (X) ²	TL, TM, SU
Korngrößenverteilung (DIN EN ISO 17892-4), s. Anl. 4.2, T/U/S/G in %	Oben: 20/50/30/0 Unten: 0/5/85/10	Oben: 25/65/10/0 Unten: 0/5/15/80	Oben: 10/70/20/0 Unten: 0/5/85/10
Stein- und Blockanteile [%] (DIN EN ISO 14 688-1)	↓ ↓	< 30 % Steine ¹⁾ < 10 % Blöcke ¹⁾	< 10 % Steine ¹⁾ keine Blöcke ¹⁾
Lagerungsdichte (DIN 18126)	-	- mitteldicht-dicht	-
Plastizitätszahl I _p (DIN 18 122-1)	< 30	< 30	< 30
Konsistenzzahl I _c (DIN 18 122-1)	> 0,5	> 0,5	> 0,5
Wassergehalte [%]	< 30 ¹⁾	< 30 ¹⁾	< 30 ¹⁾
undrainierte Kohäsion c _v [kN/m ²]	25 bis 300 ¹⁾	25 bis 300	25 bis 300
Dichte ρ [t/m ³]	1,8 bis 2,0	1,9 bis 2,2	1,9 bis 2,2
organische Anteile, Glühverlust [%] (DIN 18 128)	< 3 ¹⁾	< 3	< 3
Abrasivität nach NF P18-579 LAK [g/t]	50 bis 100	50 bis 500	50 bis 250

¹⁾ Steine bis Ø 200 mm, Blöcke bis Ø 630 mm

Tabelle 5: Homogenbereiche nach DIN 18 300, DIN 18301 und DIN 18312 – Erd-, Bohr- und Untertagearbeiten für Boden (vorläufig)

Homogenbereich Nr. geol. Bezeichnung	X1 Obere Süßwassermolasse (tOS)
Fels	
- Benennung	(Tst, TMst, Mst, MKst, UTst, FSst)
- Verwitterung	VS1, VS2, VS3
- Veränderlichkeit	veränderlich bis stark veränderlich
- Schichtflächenabstände	fein laminiert bis dick
- Kluftabstände	engständig bis sehr weitständig
- Gesteinskörperform	vielflächig
Dichte ρ [t/m ³]	2,2 bis 2,5
CERCHAR-Abrasivitäts-Index CAI [-] (NF P94-430-1)	0,3 bis 2,0 (kaum abrasiv bis abrasiv)
Einaxiale Druckfestigkeit [N/mm ²] (DIN 18 141-1)	FSst, Mst, KMst, Kst: 25 bis 150 Tst: 1 bis 25

Tabelle 6: Homogenbereiche nach DIN 18 300, DIN 18301 und DIN 18312 – Erd-, Bohr- und Ramm-, Untertagebauarbeiten für Fels (vorläufig)

7 Bautechnische Folgerungen

Die Lage der Trassen im Gelände und die Gradienten in Bezug zu den Untergrundverhältnissen können den Anlagen 3 entnommen werden.

Für den angetroffenen und beschriebenen Baugrund können zur weiteren Planung und Herstellung des Ausbaus Empfehlungen und Hinweise

- zu den Varianten und der Bautechnik (Abschnitt 7.1)
- zum Erdbau (Abschnitt 7.2),
- zum Planum (Abschnitt 7.3),
- zu den Entwässerungsmaßnahmen (Abschnitt 7.4) und
- zu den Dämmen (Abschnitt 7.5) sowie
- zu den Böschungen und dem Erosionsschutz (Abschnitt 7.6)

gemacht werden.

7.1 Varianten und Bautechnik

Die Gradienten werden aufgrund des leicht hügeligen Geländes meist im Wechsel zwischen Dammlage und Einschnitt geführt. Als aus geotechnischer Sicht besonders anspruchsvolle Abschnitte können nach den ersten Voruntersuchungen genannt werden:

- **Variante A1 (Korridor Süd)**
 - km 0+000 bis 0+950: Einschnittsverbreiterung mit über 20 m hohem Geländeanchnitt; auf ca. 300 m Länge konstruktive Böschungssicherungen und Stützbauwerke erforderlich;
 - km 2+300 bis 3+700: Einschnittslage mit Tunnel "Stetten" in unmittelbarer Nähe zur Bebauung; hohe Grundwasserstände bis wenige Meter unter Gelände; Eingriffe in das Grundwasser erforderlich; aufgrund der Tiefenlage der Gradienten kann der Tunnel nur in offener Bauweise hergestellt werden; zur Vermeidung dauerhafter Grundwasserableitung voraussichtlich weitere Anschluss-Trogbauwerke und aufwendige Grundwasserumlaufsysteme notwendig; Wasserandrangsmengen und Auswirkungen einer möglichen Grundwasserabsenkung auf die Bebauung ist zu untersuchen; zudem wird eine verformungsarmer Verbau empfohlen; bauzeitliche Verlegung der B31 erforderlich;
 - km 4+500 bis 6+350: Nordumfahrung Hagnau, Einschnittstiefen bis ca. 40 m, aufwendiger ca. 1,75 km langer Tunnel in empfohlener bergmännischer Bauweise; hohe Grundwasserstände mit ca. 20 m Wassersäule über der Firste mit überwiegend gut beherrschbaren, örtlich aber auch nicht auszuschließenden hohen Grundwasserandrangsmengen in der Oberen Süßwassermolasse; temporäre Grundwasserabsenkung

und dauerhaft druckwasserdichte Bauweise mit geschlossener Tunnelsohle erforderlich; sensible, hochwertige landwirtschaftliche Nutzung; u. a. vertiefte hydrogeologische Untersuchungen notwendig;

- km 6+350 bis 7+300: Einschnitt bis rund 10 m Tiefe mit etwa 140 m langem Trog "Kirchberg" in unmittelbarer Nähe zu Schloss Kirchberg; der Einschnitt liegt überwiegend oberhalb der Grundwasseroberfläche; Trog in offener Bauweise im Schutze eines verformungsarmen Baugrubenverbau; bauzeitliche Verlegung der B31 notwendig;
 - km 7+600 bis 8+400: Einschnitt bis rund 10 m Tiefe mit ca. 180 m langem Tunnel (Trog Immenstaad) nahe der Bebauung; der Einschnitt liegt überwiegend oberhalb der Grundwasseroberfläche; Tunnel in offener Bauweise im Schutze eines verformungsarmen Baugrubenverbau; bauzeitliche, aufwendige bauzeitliche Verlegung der B 31 in Einschnittslage im hügeligen Gelände mit Hanganschnitt und Böschungssicherungen notwendig;
 - km 9+500 bis 11+300: Einschnitt bis ca. 18 m Tiefe mit etwa 750 m langem Tunnel "Immenstaad" in zumindest teilweise offener und/oder geschlossener Bauweise in unmittelbarer Nähe zur Bebauung; hohe Grundwasserstände, örtlich bis wenige Meter unter Gelände; Eingriffe in das Grundwasser erforderlich; Herstellung in offener Bauweise im Schutze eines dichten, verformungsarmen Baugrubenverbau unter Vermeidung einer größeren Grundwasserabsenkung empfohlen; ggf. dauerhafte Auftriebssicherung; ab ca. km 10+900 Einschnitt in hoch durchlässigen Kiesen und Sanden; voraussichtlich Trogbauwerke und aufwendige Grundwasserumlaufigkeitssysteme erforderlich; aufwendige bauzeitliche Verlegung der B 31 notwendig.
 - Massenausgleich: Die Grundsätze des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, wonach Abfälle zu vermeiden und zu verwerten sind, sind bei dieser Variante nicht erfüllt. Es ist mit hohen Überschussmassen an Erdaushub zu rechnen, für den es nach derzeitigem Stand der Marktlage keine Verwertungsmöglichkeiten in der Region gibt. Voraussichtlich müssen die Massen auf entsprechenden Deponien beseitigt werden.
- **Variante B1 (Korridor Mitte)**
- km 2+500 bis 3+700: Einschnitt bis ca. 17 m Einschnittstiefe und etwa 320 m langem Tunnel "Stetten-Lerchenberg" und etwa 220 m langem Tunnel "Stetten-Hülloh" in offener (Tunnel Lerchenberg) und offener oder bergmännischer (Tunnel Hülloh) Bauweise in Geschiebemergel; Eingriffe in das Grundwasser erforderlich; zur Vermeidung dauerhafter Grundwasserableitung voraussichtlich weitere Anschluss-Trogbauwerke und aufwendige Grundwasserumlaufigkeitssysteme notwendig; u. a. vertiefte hydrogeologische Untersuchungen notwendig;
 - km 6+300 bis 7+300: Einschnitt bis rund 10m Tiefe mit etwa 200 m langer Grünbrücke (Tunnel) in Geschiebemergel; hohe Grundwasserstände, örtlich bis wenige Meter un-

ter Gelände; Eingriffe in das Grundwasser erforderlich; Herstellung in offener Bauweise im Schutze eines dichten, verformungsarmen Baugrubenverbaus unter Vermeidung einer größeren Grundwasserabsenkung empfohlen; ggf. dauerhafte Auftriebssicherung; voraussichtlich Trogbauwerke und aufwendige Grundwasserumlaufigkeitssysteme erforderlich; u. a. vertiefte hydrogeologische Untersuchungen notwendig;

▪ **Variante C 1.1 (Korridor Nord)**

- km 0+650 bis 1+650: Einschnitt bis zu rund 15 m Tiefe mit ca. 270 m langem Tunnel "Meersburg" in offener oder bergmännischer Bauweise in z. T. unmittelbarer Nähe zur Bebauung bzw. der bestehenden B31; aufgrund der geringen Länge und der z. T. geringen Überdeckung wird eine offene Bauweise im Schutze eines Baugrubenverbaus (Trägerbohlwand o. ähnl.) empfohlen; geringmächtige Verwitterungsbildungen über Geschiebemergel; Der Einschnitt liegt nach derzeitigem Kenntnisstand über der Grundwasseroberfläche.
- km 2+700 bis 3+450: Zone III des WSG "Stetten-Dürleberg" (WSG-Nr. 435016) der Gemeinde Stetten; Ausbau nach RiStWag;
- km 3+600 bis 4+500: Verlauf im Bereich der B33; provisorische Verkehrsführung erforderlich;
- km 4+400 bis 4+830: Talquerung mit lokalen Niedermoor-Vorkommen.

▪ **Kombivariante AB1**

- km 0+000 bis 4+400: s. Variante A1
- km 4+470 bis 7+000: Tunnel Hagnau, Einschnittstiefen bis ca. 30 m, aufwendiger ca. 1,23 km langer Tunnel in empfohlener bergmännischer Bauweise; hohe Grundwasserstände mit ca. 15 m Wassersäule über der Firste mit voraussichtlich hohem Grundwasserandrang in der Oberen Süßwassermolasse; temporäre Grundwasserabsenkung und dauerhaft druckwasserdichte Bauweise mit geschlossener Tunnelsohle erforderlich; sensible, hochwertige landwirtschaftliche Nutzung; u. a. vertiefte hydrogeologische Untersuchungen notwendig;
- km 7+000 bis Bauende: s. Variante B1

Im überwiegenden Teil der Trassen wird das Verhalten des Untergrunds durch den Geschiebemergel bestimmt, der hinsichtlich seiner Tragfähigkeit im nahezu ungestörten Zustand als unkritisch anzusehen ist. Brückenbauwerke können i. d. R. im Geschiebemergel flach gegründet werden. Er weist allerdings erfahrungsgemäß eine geringe Plastizität auf und wird daher sehr empfindlich auf Änderungen des Wassergehalts reagieren. Bereits bei geringen Wasserzutritten weicht er sehr rasch auf. Entsprechende Schutzmaßnahmen sind deshalb grundsätzlich erforderlich.

Die örtlich vorhandenen mächtigen Beckensedimente sind bezüglich ihres Setzungsverhaltens bautechnisch zu berücksichtigen. Hier können insbesondere an den Übergängen zwischen Ingenieurbauwerken und Erdbauwerken zusätzliche Maßnahmen notwendig werden.

Bei den Trassen ist zu beachten, dass die Grundwasseroberfläche örtlich nur wenig unter der Geländeoberfläche ansteht. Nahe den Fließgewässern ist der Flurabstand teilweise noch geringer. Auch gespanntes Grundwasser kann örtlich nicht ausgeschlossen werden, dessen Druckspiegel teilweise bis über das Geländeniveau ansteigen kann. Hinweise liegen dafür allerdings bislang keine vor.

Für diese Randbedingungen werden im Weiteren für die angetroffenen und beschriebenen Baugrundverhältnisse erste Empfehlungen und Hinweise für die weitere Planung zum Erdbau (Abschnitt 7.2), zur Herstellung des Planums (Abschnitt 7.3), zu Entwässerungsmaßnahmen (Abschnitt 7.4), zum Herstellen der Dämme (Abschnitt 7.5) und zu Böschungen (Abschnitt 7.6) gegeben.

7.2 Hinweise zum Erdbau

7.2.1 Aushub und Wiederverwendbarkeit

Im Rahmen der Erdarbeiten fallen sowohl Auftrags-, als auch Abtragsarbeiten in den Einschnitten an. Mit Ausnahme der stark organischen, untergeordnet auftretenden Auesedimente sind die zu lösenden Böden grundsätzlich für den Wiedereinbau geeignet, sie sind jedoch in ihrer Zusammensetzung lokal unterschiedlich und teilweise steinhaltig. Sie können in Dammstrecken wieder eingebaut werden. Gegebenenfalls sind Steine abzulesen, wenn sie gehäuft auftreten und beim Einbau zu Hohlräumbildungen führen. Auch die Beckensedimente sind bedingt für einen Wiedereinbau geeignet.

7.2.2 Witterungsempfindlichkeit und Schutzmaßnahmen

Die auszuhebenden bzw. regional als Dammschüttmaterial zur Verfügung stehenden Böden sind jedoch größtenteils leicht plastisch und damit sehr witterungsempfindlich. Durch eine Wasseraufnahme in aufgelockertem Zustand, z.B. aus Niederschlägen, oder bei dynamischer Belastung des Baustellenverkehrs auf dem Planum im Kapillarsaum des Grundwassers, verursacht dies einen raschen, festigkeitsmindernden Übergang in breiige Konsistenz, womit die Böden nicht mehr befahrbar und nicht mehr ohne zusätzliche Maßnahmen einbaufähig sind. Um eine für die Baustelle ausreichende Befahrbarkeit und eine langfristige Stabilisierung des Planums zu erreichen sowie für den Wiedereinbau der auszuhebenden Böden, können daher zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden. Zur Pla-

numsstabilisierung kommen hierzu ein Bodenaustausch oder eine Bodenverbesserung und beim Wiedereinbau eine Bodenverbesserung in Frage.

Im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Flächen ist mit Oberboden unterschiedlicher Mächtigkeit zu rechnen. Erfahrungsgemäß ist eine scharfe Grenzziehung zwischen belebtem Oberboden und unbelebten tieferliegenden Böden allein aufgrund einer ingenieurgeologischen Baugrundansprache nicht möglich und hier durch die anstehenden Bodentypen besonders schwierig. Wir empfehlen die frühzeitige Durchführung weitergehender bodenkundlicher Untersuchungen. Für die weitere Planung empfehlen wir zunächst von einem Vorabtrag von im Mittel von 0,3 m auszugehen, der an die örtlichen Verhältnisse anzupassen ist.

7.3 Erste Hinweise zum Planum

Unter Berücksichtigung einer Dicke des frostsicheren Oberbaus, der nach RSt0 12 für die einzelnen Streckabschnitte festzulegen ist, liegt das Planum über weite Strecken in feinkörnigen Böden nur knapp über dem Grundwasser oder bereits im Grundwasser.

Um die erforderliche Tragfähigkeit des Planums, sowohl bauzeitlich für den Baustellenverkehr, als auch langfristig im Endzustand der Straße, erreichen zu können, sind Maßnahmen zur Verbesserung und Entwässerung des Planums zu ergreifen.

Generell gilt für die Tragfähigkeit des Erdplanums nach ZTV E-StB 17 in F2- und F3-Böden, wie sie hier vorliegen, die Anforderung: $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$.

7.4 Entwässerungsmaßnahmen

Die Böschungen in den Einschnitten liegen z. T. unterhalb der Grundwasseroberfläche bzw. im Bereich lokaler Schichtwasserführung. Hier empfehlen wir grundsätzlich Sickerstützscheiben als Sicherungselemente zu berücksichtigen. Eingriffe in das Grundwasser sind wasserrechtlich genehmigen zu lassen.

Dort, wo das Planum im Grundwasser bzw. im Grundwasserschwankungsbereich liegt, sollte eine mindestens 50 cm dicke Planumssickerschicht angeordnet werden, mit der das Grundwasser abgesenkt werden kann. Die entsprechenden Trassenabschnitte sind in den vertieften Baugrunduntersuchungen festzulegen. Die Planumssickerschicht kann als Bestandteil des Bodenaustauschs angesehen werden, so dass hierdurch die Dicke des Bodenaustauschs nicht erhöht werden muss.

Die Planumssickerschicht bzw. der Bodenaustausch sollte sowohl gegen den Untergrund als auch gegen die Frostschutzschicht durch ein Geotextil-Vlies der Robustheitsklasse GRK 3 filterstabil getrennt werden. Auf das obere Geotextil-Vlies kann dann verzichtet werden, wenn bei Verwendung von hochwertigem Frostschutzmaterial mit geringem Feinanteil die Filterstabilität aufgrund der Kornverteilung nachgewiesen werden kann. Zusätzlich zur Planumssickerschicht ist zu deren Entwässerung ein Tiefensickergraben beidseitig der Straße vorzusehen um damit eine flächige Grundwasserabsenkung zu erreichen und den Oberbau vor ansteigendem Grundwasser zu schützen. Die Tiefensickergräben sind hydraulisch an die Planumssickerschicht anzuschließen und sollen mit einem Teilsickerrohr ausgeführt werden und eine freie Vorflut erhalten.

In den Vorstoßschottern, beispielsweise am Streckenende kann, sofern die Kiese in der Aushubfläche eine ausreichende Durchlässigkeit aufweisen, auf die Planumssickerschicht verzichtet werden.

In Einschnittsbereichen mit gespannten Grundwasserverhältnissen wäre beim Aushub unterhalb des Druckspiegels des Grundwassers die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs zu berücksichtigen. Da in sandigen Zwischenlagen des Geschiebemergels gespanntes Grundwasser angetroffen werden kann, empfehlen wir in diesen Fällen vorlaufend zum Aushub eine Grundwasserentspannung zu planen und auszuführen. Hierzu können beispielsweise vertikale Bohrungen vorgesehen werden, die mit gut durchlässigem Kies-Sand Gemisch gefüllt werden und so eine hydraulische Verbindung zwischen Sandlinsen im Geschiebemergel und dem Aushubniveau herstellen. Näheres werden die vertiefenden Baugrunduntersuchungen zeigen.

7.5 Dämme

In den Dammaufstandsflächen sind vor Beginn der Dammschüttungen die humosen Oberbodenschichten flächig abzutragen. Dabei kann vorab und vorbehaltlich der Ergebnisse der empfohlenen bodenkundlichen Kartierung von einer mittleren Abtragsstärke von etwa 0,3 m ausgegangen werden. Darunter stehen auf dem größten Teil der Strecken bindige Böden, vermutlich überwiegend nur weicher oder steifer Konsistenz an, die jedoch auch sehr wasserempfindlich sind. Das Erdplanum, wie auch die Dammaufstandsflächen, sind damit für eine Befahrung mit Baufahrzeugen im Zuge der Erdarbeiten nur stark eingeschränkt geeignet, bzw. sie weichen bei Wasserzutritten oder dynamischer Belastung schnell auf und werden "grundlos". Die starke Abhängigkeit von der Witterung, bzw. eine Verbesserung der Befahrbarkeit des Erdplanums erfordert entweder eine sofortige Überschüttung mit gut tragfähigem Material (z. B. Sohlfilter), oder aber zumindest die Stabili-

sierung des Planums durch eine Bodenverbesserung. Wir empfehlen, die entsprechenden Maßnahmen bei den weiteren Planungen zu berücksichtigen.

Da eine Bindemittelverbesserung der Aufstandsflächen nur bei tief liegendem Grundwasserstand möglich sein wird, empfehlen wir für die weitere Planung davon auszugehen, dass die Dammaufstandsflächen sofort nach dem Abschieben des Oberbodens mit einem Sohlfilter überschüttet werden, um einen ordnungsgemäßen Bauablauf für den anforderungsgerechten Einbau der Dammschüttung zu ermöglichen.

Die Bereiche der Dammschüttungen, in denen das Grundwasser nur wenige Dezimeter unter der Geländeoberfläche ansteht (Talauen der Bäche), sind in jedem Fall mit einem Sohlfilter herzustellen. Wir empfehlen den Einbau eines Sohlfilters bis mindestens 0,5 m über die Dammaufstandsfläche, um einerseits ein Aufweichen des Dammfußes zu vermindern, andererseits die Konsolidierung der bindigen Böden unter der Dammlast zu beschleunigen.

An der Basis des Sohlfilters sollte ein Geotextilvlies der Robustheitsklasse GRK 3 eingelegt werden. Aufgrund der Erfahrungen bei vergleichbaren Bauvorhaben kann auf den Einbau von Geotextil-Trennlagen an der Oberseite des Sohlfilters verzichtet und stattdessen die Bildung eines Filters, sofern die Filterstabilität nicht ohnehin gegeben ist, akzeptiert werden, wenn der Sohlfilter, wie oben beschrieben 0,5 m dick ausgebildet wird. Der Sohlfilter sollte aus einem witterungsbeständigen, abgestuften Kies-Sand-Gemisch oder einem Schotter-Splitt-Sand-Gemisch in den Grenzen der Sieblinien für Tragschichten nach ZTV SoB-StB 04 bestehen. Der Feinkornanteil ($d < 0,063$ mm) darf jedoch 5 % im eingebauten Zustand nicht überschreiten und der Feinsandanteil ($d < 0,25$ mm) sollte über 5 % liegen, um annähernd eine Filterstabilität einerseits und die Durchlässigkeit andererseits zu erreichen. Die Durchlässigkeit sollte bei $k \geq 10^{-4}$ m/s liegen.

Nach den Erfahrungen des benachbarten Streckenabschnitts der Ortsumfahrung Friedrichshafen kann davon ausgegangen werden, dass bei dem zur Verfügung stehenden bindigen Schüttmaterial für Regelböschungen mit $n = 1:1,5$ und flacher und für Dammhöhen bis 5 m mit den üblichen Verdichtungsanforderungen ausreichende Sicherheiten gegenüber Böschungsbruch bestehen.

Für Dammhöhen bis 10 m ergibt sich eine ausreichende Standsicherheit bei einer Neigung von 1:2. Steilere Neigungen können bei Festschreibung der erforderlichen Kennwerte für das Erdmaterial zugelassen werden. Die erforderlichen bodenmechanischen Kennwerte können dann im Zuge der weiteren Planung festgelegt werden.

Die in diesem Streckenabschnitt durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen wurden auch unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus Erdbebenereignissen durchgeführt.

Ggf. können hier jedoch in Abhängigkeit des eingesetzten Erdmaterials mit fortschreitendem Planungs- und Ausführungsstand detailliertere Untersuchungen erforderlich werden.

7.6 Böschungen und Erosionsschutz

Für die Ausführung der Damm- und Einschnittböschungen ist neben der Scherfestigkeit der anstehenden Schichten vor allem deren Erosionsempfindlichkeit entscheidend. Deshalb wird nachfolgend auf die Böschungen im Einschnitt und gesondert auf den Erosionsschutz eingegangen.

Erfahrungsgemäß können die Einschnittböschungen in dem erwarteten Untergrund grundsätzlich mit einer Böschungsneigung von $n = 1:1,5$ ausgeführt werden

Aufgrund der Geländetopographie und der wechselnden Durchlässigkeit der anstehenden Bodenschichten werden lokale Sickerwasseraustritte aus den Einschnittsböschungen oder Stauwasserzonen erwartet. Dadurch wird die Scherfestigkeit herabgesetzt und es kann zu lokalen Rutschungen kommen. Da derartige Bereiche durch eine punktuelle Baugrunderkundung nicht zuverlässig erfasst werden können, empfehlen wir, konstruktive Entwässerungsmaßnahmen planmäßig vorzusehen und je nach je nach vorgefundenen Wasserzutritten während der Baumaßnahme vor Ort nach Bedarf festzulegen. Diese Maßnahmen sollen das anfallende Sickerwasser fassen, bevor es an der Oberfläche frei austritt und dort Erosionen bewirkt, und durch eine gezielte Entwässerung der Stauwasserzonen die Standsicherheit der Böschung erhöhen.

Bei geringen Wasserzutritten oder bei vernässten Stellen kann eine Fassung des Wassers durch Faschinen oder Rigolen erfolgen. Die aus langen Zweigen gebündelten Hangfaschinen werden schräg zur Falllinie der Böschung in Gräben, bis zu 30 cm breit und 40 cm tief, verlegt, mit Pflöcken gesichert und mit filterstabilem Material, zum Beispiel einem Splitt-Sandgemisch ummantelt. Tote Faschinen sind in der Regel nur für vorübergehende Sicherungen geeignet und werden nach dem Einbau mit Oberboden bedeckt. Lebende Faschinen, die durch Steckhölzer ergänzt werden können, bieten den Vorteil, dass durch die Durchwurzelung eine langfristige Bewehrung an der Böschungsfläche entsteht und anfallendes Wasser zusätzlich von den Pflanzen aufgenommen wird. Lebende Faschinen können jedoch nur in den oberen Böschungsbereichen eingesetzt werden, wo die Pflanzen das Sichtfeld für den späteren Straßenverkehr nicht einschränken.

Dränfaschinen, die in Falllinie eingebaut werden und das von den geneigt verlegten Hangfaschinen gesammelte Wasser zur Vorflut leiten, sind aus totem Faschinenmaterial herzustellen. Sie sollten in einem 60 cm tiefen Graben zusammen mit einem Sickerrohr verlegt

werden. Anstelle von Dränfaschinen können auch einfache Rigolen mit einem Sickerrohr und einer Kiespackung ausgeführt werden.

Bei stärkerem oder flächigem Wasserandrang und im unteren Böschungsbereich ist bei Bedarf eine Böschungssickerschicht mit mindestens 0,5 m Dicke anzuordnen, die aus enggestuftem Kies, Schotter oder Steinwurf besteht, der vom anstehenden Untergrund und von der Böschungsandeckung filterstabil zu trennen ist.

Die Anordnung der Sickerschlitze sollte sich nach den örtlichen Gegebenheiten richten und dem Wasserzufluss angepasst sein. Dort wo ins Grundwasser eingeschnitten wird, empfehlen wir für die weitere Planung von einem Abstand der Sickerschlitze von etwa 15 m auszugehen. Wir weisen darauf hin, dass die Herstellung der Sickerschlitze in der Böschung im Schutze einer vorauslaufenden Bauwasserhaltung erfolgen sollte, da zum Herstellen der Sickerschlitze steile Böschungen mit begrenzter Breite hergestellt werden müssen.

Wegen der überwiegend stark erosionsgefährdeten Schluffe in den Einschnitts- und Dammböschungen muss dem Erosionsschutz gesonderte Bedeutung zugewiesen werden.

Aufgrund der Witterungsempfindlichkeit weichen die Oberflächen der Böschungen rasch auf und verlieren ihre Standfestigkeit. Nach der Fertigstellung von Böschungen sind daher unverzüglich Erosionsschutzmaßnahmen vorzusehen.

Zur Verminderung des Risikos von sogenannten Haut- oder Tapetenrutschungen an Einschnittsböschungen sollte die Böschungsneigung dort, wo es aus Platzgründen möglich ist, bei Böschungen oberhalb des Grundwassers auf $n = 1:2$ und Böschungen unterhalb des Gw-Spiegels auf $1:2,5$ abgeflacht werden. Damit wird das Risiko für Folgekosten für lokales Nachbessern von Hautrutschungen verringert, die Baukosten und der Flächenbedarf jedoch erhöht.

8 Zusammenfassende Bewertung

Das vorliegende geotechnische Gutachten zur Variantenabwägung erlaubt eine geotechnische Bewertung. Bei der Herstellung der Tunnelbauwerke oder in den sonstigen Streckenabschnitten ist mit keinen bautechnischen Erschwernissen zu rechnen, welche die grundsätzliche Realisierbarkeit dieser Variante in Frage stellen könnte. Aus ingenieurgeologischer Sicht ist grundsätzlich jede der Varianten realisierbar, wobei der bautechnische Aufwand und die daraus resultierenden geotechnischen Risiken im Bereich der Variante A1 im

Vergleich zu den beiden anderen Varianten bzw. der Kombivariante ungleich größer ist. Die geringsten Eingriffe in den Untergrund sind bei Variante C 1.1 zu erwarten.

Eine öffentliche Wassergewinnungsanlage und deren Schutzgebiet wird lediglich bei der Variante C 1.1 berührt.

Aus geotechnischer Sicht werden die Varianten wie folgt qualitativ bewertet:

Kriterium	Variante A1	Variante B1	Variante C1.1	Kombivariante AB1
Geotechnik/Bautechnik	--	+	++	-
Massenausgleich / Mengenbilanz	--	++	++	-
Hydrogeologie / Genehmigungsfähigkeit	-	+	+	-
Bauzeit	--	+	+	-
Erschwernisse aus provisorischen Verkehrsführungen	--	+	++	-
Baukosten	--	+	++	-
Gesamtbewertung	--	+	++	-

Tabelle 7: Qualitative Bewertungsmatrix aus geotechnischer Sicht

9 Weiteres Vorgehen

Die Auswertung der vorhandenen Unterlagen und die Voruntersuchungen zur Variantenabwägung geben einen guten und ausreichend belastbaren Überblick über die geologisch-hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse im Untersuchungsbereich. Auf dieser Grundlage wird empfohlen, nach der Variantenentscheidung im Zuge der Planfeststellung weitere Voruntersuchungen, insbesondere im Hinblick auf die Eingriffe ins Grundwasser und deren Auswirkungen sowie die geotechnischen Verhältnisse im Bereich der geplanten Bauwerke, durchzuführen.

Die Hauptuntersuchungen sollten erst nach Vorlage der Entwurfsplanung (HOAI §49, Lph 3) durchgeführt werden, damit die Erkundung sowohl in Lage als auch in Tiefe entsprechend angepasst und Geotechnische Berichte bauwerksbezogen erstellt werden können. Entsprechende Bearbeitungszeiten sind zu berücksichtigen.

Bei Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung.

<u>Anlagen</u>	Anlage
Lagepläne der geplanten Varianten	
▪ Übersichtslageplan (M 1:200 000) mit Lage des Untersuchungsbereichs	1.1
▪ Lageplan (M 1:10 000) mit Lage der Varianten, der Bohrungen 2019 und der vorhandenen Fremdbohrungen	1.2
▪ Geologische Karte (M 1:10 000) auf Grundlage GK 50 (LGRB) eigener Kartierung und der Erkundung 2019	1.3
Gelände-Erkundung (M 1:100)	
▪ Kurzzeichen und Abkürzungen	2.0
▪ Schichtenfolgen der Kernbohrungen	
- BK 1	2.1.1
- BK 2 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.2
- BK 3 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.3
- BK 4 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.4
- BK 5 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.5
- BK 6 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.6
- BK 7 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.7
- BK 8 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.8
- BK 9	2.1.9
- BK 10 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.10
- BK 11 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.11
- BK 12	2.1.12
- BK 13	2.1.13
- BK 14 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.14
- BK 15 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.15
- BK 16 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.16
- BK 17	2.1.17
- BK 18 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.18
- BK 19	2.1.19
- BK 20	2.1.20
- BK 21 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.21
- BK 22 mit Ausbau als Gw-Messstelle	2.1.22
Geologischer Geländeschnitte (M 1:20 000 / 1 000) entlang der Varianten	
▪ Variante A1	3.1
▪ Variante B1	3.2
▪ Variante C1.1	3.3
▪ Kombivariante AB1	3.4
Bodenmechanische Laborversuche	
▪ Zustandsgrenzen (8 Blatt)	4.1
▪ Korngrößenverteilungen (4 Blatt)	4.2
▪ Prüfbericht zu den Gesteinsmechanischen Untersuchungen der Oberen Süßwassermolasse (9 Blatt)	4.3

Chemische Untersuchungen

- Prüfberichte des chemischen Labors (18 Blatt) 5.1
- Auswertetabellen nach VwV Bodenverwertung
 - Hasenweiler-Beckensedimente 5.2.1
 - Verwitterungslehm 5.2.2
 - Tonstein (tSO) 5.2.3
 - Schlufftonstein (tSO) 5.2.4
 - Tonstein/Tonmergelstein (tSO) 5.2.5
 - Geschiebemergel (qHMT) 5.2.6