

Straßenbauverwaltung:	Freistaat Bayern, Staatliches Bauamt Weilheim
Straßenklasse und Nr.:	Bundesstraße 2
Streckenbezeichnung:	München – Weilheim
Baumaßnahme/Bauwerk:	B 2 Tunnel Starnberg Neubau
Bauwerks-Nr. (ASB-ING):	8034 655

Träger der Baumaßnahme:	Bundesrepublik Deutschland
-------------------------	----------------------------

Unterlage 18
Wassertechnische Untersuchungen
Teil 18.2 „Tunnel“
- Erläuterungsbericht -

<p>Aufgestellt: Weilheim, den 08.03.2024 Staatliches Bauamt Weilheim  Scheckinger, Ltd. Baudirektor</p>	<p>Geprüft:</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------

<p>Gesehen:</p>	<p>Genehmigt:</p>
------------------------	--------------------------



Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	5
1.1	Allgemeine Projektbeschreibung	5
1.2	Verwendete Unterlagen	5
2	Zusammenfassung der Schutzziele, der Antragsgegenstände und der Wassermengen	7
2.1	Schutzziele	7
2.2	Zusammenfassung der Antragsgegenstände	8
2.3	Zusammenfassung der berechneten und der zu beantragenden Wassermengen	8
2.3.1	Bauzeitliche Wassermengen	8
2.3.2	Wassermengen im Endzustand	8
2.4	Bewertung hinsichtlich der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	9
3	Projekthistorie	9
4	Geologischer und hydrogeologischer Überblick	10
4.1	Allgemeine geologische Verhältnisse	10
4.2	Geologische Verhältnisse gemäß den Erkundungsergebnissen	12
4.3	Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse	14
4.4	Geogene und anthropogene Belastungen und Altlastenverdachtsflächen	15
4.4.1	Geogene Belastungen	15
4.4.2	Anthropogene Belastungen	15
4.5	Grundwassernutzungen	16
5	Untersuchungen und Untersuchungsergebnisse	16
5.1	Erkundungsprogramme	16
5.2	Aufschlussbohrungen nach DIN 4021 bzw. DIN EN ISO 22475-1	16
5.3	Stichtagsmessung am 26.02.2019 und 27.02.2019	20
5.4	Durchlässigkeitsversuche	23
5.5	Geophysikalische Bohrlochversuche	26
5.6	Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030	27
6	Beurteilung der Baugrundverhältnisse	27
6.1	Eigenschaften der anstehenden Böden	27
6.1.1	Allgemeines	27
6.1.2	Oberboden	28
6.1.3	Auffüllungen	28
6.1.4	Nichtbindige Moräne	28
6.1.5	Bindige Moräne	29



6.1.6	Fluviatil abgelagerte Kiese.....	30
6.1.7	Fluviatil abgelagerte Sande mit Tonzwischenschichten.....	30
6.1.8	Seeton.....	31
6.1.9	Konglomerat.....	32
6.1.10	Tertiäre Tone, Schluffe und Sande sowie Ton-, Schluff- und Sandsteine	32
6.2	Geotechnische Streckenabschnitte.....	33
6.2.1	Übersicht über die Streckenabschnitte des Tunnels Starnberg.....	33
6.2.2	Streckenabschnitt 1: Bau-km 0+225 bis Bau-km 0+486.....	34
6.2.3	Streckenabschnitt 2: Bau-km 0+486 bis Bau-km 0+815.....	35
6.2.4	Streckenabschnitt 3: Bau-km 0+815 bis Bau-km 0+975.....	35
6.2.5	Streckenabschnitt 4: Bau-km 0+975 bis Bau-km 1+350.....	36
6.2.6	Streckenabschnitt 5: Bau-km 1+350 bis Bau-km 1+850.....	37
6.2.7	Streckenabschnitt 6: Bau-km 1+850 bis Bau-km 2+025.....	37
6.2.8	Streckenabschnitt 7: Bau-km 2+025 bis Bau-km 2+100.....	38
6.2.9	Streckenabschnitt 8: Bau-km 2+100 bis Bau-km 2+213.....	38
6.2.10	Streckenabschnitt 9: Bau-km 2+213 bis Bau-km 2+405.....	39
7	Hydrologie und Hydrogeologie	39
7.1	Oberflächengewässer.....	39
7.2	Niederschlagssituation und Bemessungsniederschlag	39
7.3	Wasserschutzgebiete	40
7.4	Grundwasserverhältnisse.....	40
7.4.1	Grundwasserverhältnisse entlang des Tunnels.....	40
7.4.2	Bemessungsgrundwasserstände	57
7.4.3	Rechnerische Durchlässigkeitsbeiwerte.....	57
8	Grundwasserbezogene Folgerungen für die Baumaßnahme.....	58
8.1	Allgemeine Hinweise	58
8.1.1	Bauzeitliche Grundwasserversickerung und -einleitung.....	58
8.1.2	Grundwasseraufstau im Bau- und Endzustand	59
8.1.3	Beeinflussung des Grundwassers sowie von Grundwassernutzungen durch Zement.....	59
8.1.4	Bauzeitlicher Einsatz wassergefährdender Stoffe und Gefährdungsanalyse.....	59
8.1.5	Bauzeitliche Prozesswässer	59
8.1.6	Risikominimierung für die Fischzucht des Instituts für Fischerei, den Siebenquellenbach und den Georgenbach.....	59
8.1.7	Kontrollen und Grundwassermessstellen	60



8.2	Strecke Bau-km 0+225 bis Bau-km 2+405	60
8.2.1	Startbaugrube Süd in offener Bauweise mit Düker 1.....	60
8.2.2	Maschiner Tunnelvortrieb (Bau-km 0+486 bis Bau-km 2+213).....	63
8.2.3	Wartungsbahnhof beim Düker 3	68
8.2.4	Pannenbucht 1/2.....	68
8.2.5	Pannenbucht 3/4.....	70
8.2.6	Trog und Tunnel in offener Bauweise Nord mit Düker 4 und 5	72
8.3	Sonstige ins Grundwasser einbindende Ingenieurbauwerke.....	76
8.3.1	Notausstieg 1 und Düker 2	76
8.3.2	Notausstieg 2.....	83
8.3.3	Notausstieg 3.....	86
8.3.4	Notausstieg 4.....	88
8.3.5	Notausgang 5 mit Anbindung an Notausstieg 4.....	90
8.3.6	Notausstieg 6.....	92
8.3.7	Düker 3	94
8.3.8	Schacht der Lüftungszentrale (LZE)	99
8.4	Hochbauten und Betriebsflächen.....	102
8.4.1	Baustelleneinrichtungsfläche Süd bzw. Betriebsgebäude und Betriebsflächen	102
8.4.2	Behelfsbrücke über den Georgenbach.....	104
8.4.3	Eisenbahnüberführung Münchner Straße.....	104



1 ALLGEMEINES

1.1 Allgemeine Projektbeschreibung

Zur Verkehrsentlastung der Stadt Starnberg wird ein Tunnel geplant, durch den die Bundesstraße B 2 führen soll.

Das Bauvorhaben beginnt in der Weilheimer Straße (Bundesstraße B 2) bei Bau-km 0+000 mit einem ca. 200 m langen Straßenbauabschnitt, anschließend folgen zunächst etwa 75 m westlich der Franz-Heidinger-Straße ein ca. 200 m langes Rampenbauwerk und dann ein ca. 61 m langer Tunnelabschnitt in offener Bauweise. Der bergmännische Tunnelabschnitt verläuft zuerst unter der Weilheimer Straße und ab ca. Bau-km 0+850 östlich davon, wobei der Almeidaberg mit einer maximalen Überdeckung von etwa 31 m unterquert wird. Anschließend wird das Gebäude Weilheimer Str. 7 mit einem Abstand von ca. 10,8 m unterfahren, gefolgt vom Schlossberg, bei dem die Überdeckung auf maximal etwa 47,5 m ansteigt. Im beschriebenen Bereich fällt der Tunnel mit 4,2 % und erreicht bei ca. Bau-km 1+620 seinen Tiefpunkt. Danach erfolgt ein Abschnitt von ca. 300 m mit einer etwa einprozentigen Steigung. Nach der Unterquerung des Georgenbaches steigt die Trasse mit 4,5 %, unterquert einige Bauwerke mit einer Überdeckung von minimal ca. 8,6 m (Münchner Str. 1) und folgt ab etwa Bau-km 2+100 wieder dem Straßenverlauf der Bundesstraße B 2 (hier Münchner Straße). Der bergmännische Tunnelabschnitt endet bei ca. Bau-km 2+213. Im Anschluss daran wird der Tunnel über 192 m in offener Bauweise bzw. als Trogbauwerk erstellt. Über die nördliche Rampe bindet die Trasse am Projektende bei Bau-km 3+120 etwa 25 m westlich der Bahnlinie München-Garmisch an die bestehende Bundesstraße B 2 an.

Außer der Tunnelröhre und den Rampen sind zwei Querschnittserweiterungen für Pannenbuchten, sechs Notausstiege und ein Lüftungsbauwerk mit Anbindungen an den Tunnel sowie fünf Dükerbauwerke und ein Betriebsgebäude zu erstellen.

Die Trassenlage und die Gradienten sind in den Anlagen 1 und 2 des vorliegenden Berichts dargestellt.

1.2 Verwendete Unterlagen

- [U1] Planfeststellungsbeschluss B 2 München-Weilheim, Entlastungstunnel Starnberg der Regierung von Oberbayern vom 22.02.2007
- [U2] Planänderung zum Tunnel Starnberg, Erläuterungsbericht des Staatlichen Bauamts Weilheim vom 02.06.2020
- [U3] 1. Tektur vom 15.11.2023 zur Planänderung vom 02.06.2020 zum Tunnel Starnberg, Erläuterungsbericht des Staatlichen Bauamts Weilheim vom 15.11.2023
- [U4] Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7934 Starnberg Nord; H. Jerz; Bayerisches Geologisches Landesamt München 1987
- [U5] Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 8034 Starnberg Süd; H. Jerz; Bayerisches Geologisches Landesamt München 1987
- [U6] „Wanderungen in die Erdgeschichte (8). Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München - östlicher Teil - “; R.K.F. Mayer, H. Schmidt-Kaler; Verlag Dr. Friedrich Pfeil München 1997
- [U7] „Wanderungen in die Erdgeschichte (9). Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München - westlicher Teil - “; R.K.F. Mayer, H. Schmidt-Kaler; Verlag Dr. Friedrich Pfeil München 1997
- [U8] Geologische Oberflächenaufnahme im Trassenbereich vom 29.05.2009, Proj.-Nr. 11485/025, Zentrum Geotechnik TU München mit den dort angegebenen Unterlagen



- [U9] Geotechnischer Bericht Teil 1 zum Tunnel Starnberg, Proj.-Nr. 11485/340b, Prof. Dr.-Ing. R. Cudmani, Zentrum Geotechnik TU München mit den darin angegebenen Unterlagen
- [U10] Hydrogeologischer Bericht Teil 1 zum Tunnel Starnberg, Proj.-Nr. 11485/341b, Prof. Dr.-Ing. R. Cudmani, Zentrum Geotechnik TU München mit den darin angegebenen Unterlagen
- [U11] Geotechnischer Bericht Teil 2 zum Tunnel Starnberg, Proj.-Nr. 11485/342b, Prof. Dr.-Ing. R. Cudmani, Zentrum Geotechnik TU München mit den darin angegebenen Unterlagen
- [U12] Hydrogeologischer Bericht Teil 2 zum Tunnel Starnberg, Proj.-Nr. 11485/343b, Prof. Dr.-Ing. R. Cudmani, Zentrum Geotechnik TU München mit den darin angegebenen Unterlagen
- [U13] Stellungnahme zu FE-Modellierung Grundwasserabschnitt 1 unter Berücksichtigung des 5.EKP, Proj.-Nr. 11485W/19b (26.07.2023), Prof. Dr.-Ing. R. Cudmani, Zentrum Geotechnik TU München mit den darin angegebenen Unterlagen
- [U14] Stellungnahme zu 3D-FE-Berechnungen zu den Grundwasserverhältnissen im GWA2 vom 14.10.2019, Proj.-Nr. 11485/348, Prof. Dr.-Ing. R. Cudmani, Zentrum Geotechnik TU München mit den darin genannten Unterlagen
- [U15] Prüfbericht zu Aufstauberechnungen für Grundwasserabschnitt 3 vom 13.08.2019, Proj.-Nr. 11485/366, Zentrum Geotechnik TU München mit den darin genannten Unterlagen
- [U16] Geotechnisches Gutachten vom 23.10.1990, Projekt Nr.: 4972, Obermeyer Planen + Beraten mit den darin genannten Unterlagen
- [U17] Gemeinsame wasserwirtschaftliche Stellungnahme zu den geplanten Maßnahmen zum Bau des Tunnels B2 in Starnberg des Wasserwirtschaftsamts Weilheim und des Landratsamts Starnberg vom 16.02.2011
- [U18] Bericht zur Abschätzung der geogenen Belastung vom 29.08.2018, Projekt-Nr. 34074G-1, Frank + Bumiller + Kraft Grundbauingenieure VBI GmbH
- [U19] Schreiben zur Untersuchung des Baugrunds hinsichtlich geogener Belastung vom 19.09.2018, Projekt-Nr. 34074G, Frank + Bumiller + Kraft Grundbauingenieure VBI GmbH
- [U20] Kurzbericht zur Untersuchung von Bohrkernabschnitten der Bohrung B 401 auf Arsen vom 25.03.2020, Projekt-Nr. 34074G-5, Frank + Bumiller + Kraft Grundbauingenieure VBI GmbH
- [U21] Bericht zur Abschätzung der anthropogenen Belastung vom 31.08.2018, Projekt-Nr. 34074G-2, Frank + Bumiller + Kraft Grundbauingenieure VBI GmbH
- [U22] Schreiben zur Schadstoffbelastung der Böden im Bereich der Shell-Tankstelle vom 07.11.2018, Projekt-Nr. 34074G, Frank + Bumiller + Kraft Grundbauingenieure VBI GmbH
- [U23] Kurzbericht zur Deklaration von Bohrkernabschnitten aus dem Bereich der Tunneltrasse vom 31.01.2019, Projekt-Nr. 34074G-3, Frank + Bumiller + Kraft Grundbauingenieure VBI GmbH
- [U24] Kurzbericht zur Deklaration von Bohrkernabschnitten aus dem Bereich der Tunneltrasse, vom 07.08.2019, Projekt-Nr. 34074G-4, Frank + Bumiller + Kraft Grundbauingenieure VBI GmbH
- [U25] Hochwassernachrichtendienst des Bayerischen Landesamts für Umwelt, Messstellenummer 16663002 (www.hnd.bayern.de, abgerufen am 31.03.2021)
- [U26] Deutscher Wetterdienst, Climate Data Center, Jährliche Niederschlagssumme für die Station Starnberg (<https://cdc.dwd.de/portal/202102121428/mapview>, abgerufen am 31.03.2021)
- [U27] Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie (2015): KOSTRA-DWD-2010, Starkniederschlagshöhen für Deutschland (Bezugszeitraum 1951 bis 2010), Abschlussbericht.- 40 S.; Offenbach am Main.



- [U28] Schneider, G. (1981): Berechnung der Beeinflussung des Grundwasserstromes durch Baumaßnahmen.- Bautechnik 2 (1981), S. 67-69
- [U29] Schneider, G. (1983): Grundwasseraufstau vor Bauwerken bei gleichzeitiger Unter- und Umströmungsmöglichkeit.- Bautechnik 11 (1983), S. 391-394
- [U30] Ingenieurbüro EDR, Planunterlagen zum Bauvorhaben Tunnel Starnberg, mitgeteilt per E-Mail im Zeitraum vom 26.03.2021 bis 28.05.2021
- [U31] Landratsamt Starnberg, Grundwassernutzungen im Umfeld des Tunnels Starnberg, mitgeteilt per E-Mail vom 19.05.2021
- [U32] Wasserwirtschaftsamt Weilheim, Grundwassernutzungen im Umfeld des Tunnels Starnberg, mitgeteilt per E-Mail am 08.07.2022 an das Staatliche Bauamt Weilheim
- [U33] Staatliches Bauamt Weilheim/Ingenieurbüro EDR, Bestandsunterlagen zu den Bauwerken im Nahbereich des Tunnel Starnberg, mitgeteilt per E-Mail vom 21.04.2022
- [U34] Ingenieurbüro BNGF, Präsentation zum Beweissicherungsverfahren für die Fischzuchtanlage des IFI vom 07.11.2019
- [U35] Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.), BAW Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB), Ausgabe 2013 (<https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/102471>)
- [U36] Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.), BAW Merkblatt Standsicherheit von Dämmern an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011 (<https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/102478>)
- [U37] Albert, A., Schneider, K.-J., Goris, A. (2022): Bautabellen für Ingenieure: mit Berechnungshinweisen und Beispielen.- 25. Auflage; Reguvis Verlag.

2 ZUSAMMENFASSUNG DER SCHUTZZIELE, DER ANTRAGSGEGENSTÄNDE UND DER WASSERMENGEN

2.1 Schutzziele

Der Tunnel Starnberg verläuft in weiten Bereichen unterhalb des Grundwasserspiegels und beeinflusst somit unweigerlich die Grundwasserverhältnisse. Um nachhaltig negative Auswirkungen des Tunnels auf das Grundwasser auszuschließen, wurden nachfolgende Schutzziele definiert und deren mögliche Beeinträchtigung durch den Tunnel untersucht:

- 1) Für Bestandsgebäude war nachzuweisen, dass keine signifikanten negativen Auswirkungen des Tunnels auf die Gebäude, insbesondere ein Einstauen der Keller auf der Anströmseite, auftreten.
- 2) Für Grundwassernutzungen, insbesondere Grundwasser-Wärmepumpen, war nachzuweisen, dass keine signifikanten negativen Beeinflussungen der geothermischen Nutzungen im Einflussbereichs des Tunnels auftreten.
- 3) Für die Grundwasserdüker war nachzuweisen, dass keine Suffosionsgefahr und somit keine Gefährdung von Bauwerken durch Setzungen vorliegt.
- 4) Für die Fischzucht des Instituts für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft war nachzuweisen, dass der Tunnel keine signifikant negativen Auswirkungen hinsichtlich der Verfügbarkeit von Grundwasser verursacht.
- 5) Für den Siebenquellenbach war nachzuweisen, dass keine signifikante negative Beeinflussung der Wasserverfügbarkeit sowie -qualität auftritt.



- 6) Für das FFH-Gebiet Starnberger See war nachzuweisen, dass keine negative Beeinträchtigung durch den Tunnelbau durch Trübstoffe oder pH-Wert-Änderungen zu erwarten sind.
- 7) Für die Bereiche mit artesisch gespanntem Grundwasser war nachzuweisen, dass die gespannten Grundwasserverhältnisse durch den Tunnelvortrieb nicht temporär oder dauerhaft entspannt werden und somit auch weiterhin artesische Verhältnisse vorliegen.

Die Schutzziele 1 bis 5 werden bei den jeweiligen Unterkapiteln in Abschnitt 8 behandelt.

Hinsichtlich des Schutzziels Starnberger See wird in Übereinstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt Weilheim davon ausgegangen, dass aufgrund des Filtervermögens der anstehenden Böden keine Trübstoffe aus der Tunnelherstellung den Starnberger See erreichen werden. Zudem wird davon ausgegangen, dass durch die Pufferkapazität des Bodens, die hohen Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers aufgrund des vorliegenden hohen Grundwassergefälles sowie aufgrund des Bauablaufs – es werden immer nur einzelne Schlitzwandlamellen oder Bohrpfähle hergestellt – eine Verdünnung der Wässer mit hohem pH-Wert durch unbeeinflusstes Grundwasser erfolgt und somit am Starnberger See keine pH-Wert-Veränderungen mehr vorliegen.

Die Bereiche mit artesisch gespanntem Grundwasser liegen im Anstrombereich des Tunnels, weshalb keine Reduktion des Grundwasserdruckspiegels zu erwarten ist. Durch die Abdichtung des Ringspalts zwischen den Tübbingungen und dem anstehenden Boden durch die Ringspaltverpressung kann zudem davon ausgegangen werden, dass sich keine präferenziellen Fließwege einstellen, die eine relevante Verringerung des artesischen Drucks bewirken. Somit ist keine Beeinflussung der Arteser in Starnberg zu erwarten.

2.2 Zusammenfassung der Antragsgegenstände

Die Zusammenfassung der Antragsgegenstände ist in Anlage 6 enthalten. Die bauzeitlichen Belange mit Ausnahme des durch die Bauwerke hervorgerufenen Grundwasseraufstaus sind nicht Gegenstand der Planfeststellung und werden in einem gesonderten Wasserrechtsverfahren nach § 15 WHG bzw. § 15 BayWG behandelt.

2.3 Zusammenfassung der berechneten und der zu beantragenden Wassermengen

2.3.1 Bauzeitliche Wassermengen

Die bauzeitlichen Belange mit Ausnahme des durch die Bauwerke hervorgerufenen Grundwasseraufstaus sind nicht Gegenstand der Planfeststellung und werden in einem gesonderten Wasserrechtsverfahren nach § 15 WHG bzw. § 15 BayWG behandelt.

2.3.2 Wassermengen im Endzustand

2.3.2.1 Versickerung und Einleitung

Für eine detaillierte Beschreibung der Entwässerung im Endzustand wird auf Abschnitt 2.38 des Erläuterungsberichts zur 1. Tektur der Planänderung für den Tunnel Starnberg [U3] verwiesen.



2.3.2.2 Düker im Endzustand

Die Auswirkungen der Düker auf den Grundwasserstand im Endzustand wurden in [U13] und [U14] untersucht. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 8.2.2.3.1 zusammenfassend dargestellt. Demnach sind die geplanten Düker in der Lage, den Grundwasseraufstau auf das maximal zulässige Maß zu begrenzen, wie er in [U17] (in Anlage 12 enthalten) festgelegt wurde. Insofern wird das gültige Baurecht hinsichtlich der wasserwirtschaftlichen Vorgaben gemäß dem Planfeststellungsbeschluss 2007 [U1] eingehalten.

2.3.2.3 Grundwasserspitzen Trog Nord: Einleiten in die Vorflut

Im Bereich des Trogs Nord besteht bei sehr hohen, selten auftretenden Grundwasserständen die Gefahr, dass Grundwasser in den Tunnel eindringen kann (Abschnitt 8.2.6.3.2). Die Lösung zur Vermeidung einer Flutung des Tunnels sieht Pumpbrunnen vor, die im Grundhochwasserfall schätzungsweise maximal ca. 60 l/s Grundwasser fördern. Das geförderte Grundwasser soll in den Georgenbach eingeleitet werden.

2.4 Bewertung hinsichtlich der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)

Eine Bewertung hinsichtlich der Wasserrahmenrichtlinie wird im gesonderten Wasserrechtsverfahren nach § 15 WHG bzw. § 15 BayWG vorgenommen und ist nicht Gegenstand der Planfeststellung.

3 PROJEKTHISTORIE

Die rechtliche Genehmigung zum Bau des Tunnels Starnberg erfolgte mit dem Planfeststellungsbeschluss der Regierung von Oberbayern vom 22.02.2007 [U1] auf Grundlage der Planung vom 18.08.1999, der 1. Tektur vom 05.12.2002, der 2. Tektur vom 15.09.2005, der 3. Tektur vom 13.04.2006 sowie der 4. Tektur vom 22.01.2007.

Hinsichtlich der wasserrechtlichen Belange des Bauvorhabens wird im Planfeststellungsbeschluss unter Absatz A3.2.1 darauf hingewiesen, dass die Ausführungsunterlagen noch zu erstellen sind und rechtzeitig dem Wasserwirtschaftsamt Weilheim zur Prüfung vorzulegen sind. Die grundsätzliche wasserrechtliche Erlaubnis zur Entnahme und zum Ableiten von Grundwasser, zum Einleiten von Stoffen in das Grundwasser während der Bauphase und zum Aufstauen, Absenken und Umlenken von Grundwasser durch das Tunnelbauwerk sowie die Einbringung von Injektionen in den Baugrund erfolgt durch den Planfeststellungsbeschluss unter Abschnitt 4 unter Verweis auf das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), das Bayerische Wassergesetz (BayWG) sowie die Verordnung über Pläne und Beilagen in wasserrechtlichen Verfahren (WPBV). Im Zuge des Planfeststellungsverfahrens wurde zudem eine Umweltverträglichkeitsprüfung eingereicht, welche keiner Aktualisierung bedarf.

Im Jahr 2020 wurde durch das Staatliche Bauamt Weilheim mit dem Erläuterungsbericht zur Planänderung vom 02.06.2020 [U2] ein Planänderungsverfahren eingeleitet. Die Notwendigkeit für die Planänderung ist gemäß [U2] auf eine fortgeschrittene Detailplanung, auf zusätzliche Erkenntnisse zu den Baugrund- und Grundwasserverhältnissen sowie auf sich zwischenzeitlich geänderte Richtlinien, Vorgaben und Regelwerke zurückzuführen. Der vorliegende Erläuterungsbericht wurde auf Grundlage der Planänderungen vom 02.06.2020 [U2] erstellt und ist Gegenstand der 1. Tektur vom 15.11.2023 [U3].



4 GEOLOGISCHER UND HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK

4.1 Allgemeine geologische Verhältnisse

Der für das geplante Tunnelbauwerk in Starnberg relevante oberflächennahe geologische Untergrundaufbau und die vielfältigen geomorphologischen Formen im Bereich des geplanten Baufelds sind das Ergebnis von Ablagerungen, Abtragungen, Umlagerungen und Überformungen der jüngeren Tertiär- und der gesamten Quartärzeit.

Vor ca. 18 Millionen Jahren kam es nach dem endgültigen Rückzug des sogenannten Molassemeeres zu terrestrischen und limnischen Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse. Das Molassematerial, überwiegend Sande und Tone (Mergel), seltener auch Kiese, besteht überwiegend aus dem Abtragungsschutt des sich im Tertiär heraushebenden Alpengebirges. Es wurde durch Flüsse in ein sich stetig absenkendes Vorlandbecken des Gebirges verfrachtet. Die jüngeren pliozänen Sedimentserien der Oberen Süßwassermolasse sind erodiert, so dass zwischen den verbliebenen jüngsten Molasseschichten und den quartären eiszeitlichen Ablagerungen eine Schichtlücke von mehreren Millionen Jahren besteht.

Im Quartär, beginnend vor ca. 2,4 Millionen Jahren, führten tiefgreifende Klimaänderungen zu längeren Kaltzeiten mit Eiszeiten, in denen wiederholt Gletscher aus dem Alpenraum bis weit in das Vorland vorstießen und weite Teile des Alpenvorlands mit Gletschereis bedeckten. Die Jahresmitteltemperaturen lagen in etwa 10°C unter den heutigen Werten, bei ca. -2°C. In den mindestens sechs Vorlandvergletscherungen im Verlauf des Quartärs, der Bieber-, Donau-, Günz-, Mindel-, Riß- und Würm-Kaltzeit, stießen der Isargletscher rd. 45 km und der Loisachgletscher bis rd. 70 km weit vom Alpenrand nach Norden vor, zuletzt vor ca. 18.000 Jahren. Im Gebiet der Stadt Starnberg gestaltete der Isarvorlandgletscher die tertiäre Landoberfläche neu. Er räumte in weiten Bereichen die weichen Molasseschichten aus und schüttete an deren Stelle großflächig Moränen und Glazialschotter auf.

Die Kaltzeiten waren wiederholt von kürzeren und längeren Warmzeiten unterbrochen. In den längeren Warmzeiten zwischen den Kaltzeiten der Vergletscherungen, den Interglazialen, war das Klima ähnlich wie das heutige, zeitweise auch etwas wärmer. Als Zeugen dieser Warmzeiten finden sich vielfach unter jüngeren Ablagerungen begrabene fossile Böden und organische Bildungen wie z.B. Torfe.

Vor ca. 25.000 Jahren baute sich ein zusammenhängendes Eisstromnetz auf und es rückten die Gletscher aus dem Alpenraum in das Vorland vor. Vor etwa 20.000 Jahren, im Hochglazial, erreichten die Vorlandgletscher ihre maximalen Randlagen, der Isarvorlandgletscher nur wenige Kilometer vor München. Während der hochglazialen Phase wurden Isar- und Loisachgletscher vom Inngletscher mit zentralalpinem Material gespeist (nach Jerz 1987, [U4] und [U5]).

Am Austritt vor den Alpentoren verbreiterten sich die Gletscherströme zu großen Gletscherkuchen mit anschließenden Gletscherzungen. Die vom Eisstrom ausgearbeiteten Zungenbecken waren in diesen Bereichen etwas flacher als innerhalb der Alpen. Der Starnberger See entstand aus einem dieser aus der tertiären Molasse ausgearbeiteten Zungenbecken mit ca. 150 m Tiefe.

Am abschmelzenden Ende des Gletscherstroms wurde der mittransportierte Gesteinsschutt abgelagert. Die hier teilweise in so genannten Gletschertoren austretenden Schmelzwässer verfrachteten Kiese und Sande und lagerten sie in Sanderflächen (z.B. Münchener Schotterebene) ab. Bei stärkerem Abschmelzen



des Gletschereises blieb sein gesamter Gesteinsschutt am Boden liegen und bildete die mergelreiche Grundmoräne.

Das Abschmelzen des Gletschereises, beginnend vor mehr als 15.000 Jahren zum Ende der letzten Eiszeit (Würmeiszeit), erfolgte in sog. Rückzugsphasen (siehe Abbildung 1). Bei längeren Stillstandsphasen kam es dabei zur Bildung von Endmoränenwällen halbkreisförmig um die Zungenbecken. Bei kürzeren Stillständen bildeten sich weitere meist kleinere Rückzugsmoränenwälle. Dadurch entstand das komplexe Bild der Moränenwälle, die sich girlandenartig um die Zungenbeckenseen, wie auch den heutigen Starnberger See anordneten (nach Meyer & Schmidt-Kaler 1997, [U6] und [U7]). Die Moränenwälle am Nordende des Starnberger Sees gehören zur 2. Rückzugsphase des Isar-Loisach Gletschers (rot in Abbildung 1). Die Rückzugsmoränen können bedingt durch Ihre Lage zur Gletscherzunge als End- oder Seitenmoränen bezeichnet werden. Im Stadtgebiet von Starnberg und in der nordwestlichen Fortsetzung finden sich mehrere mehr oder weniger parallel verlaufende Seitenmoränenwälle. Sie werden als das Ergebnis eines verstärkten Eisrückzugs aus nordwestlicher Richtung interpretiert. Die Moränen bestehen aus unsortierten Geschieben und großen Blöcken in mergeliger Grundmasse. Schrammen auf der Oberfläche der Geschiebe zeugen vom schiebenden Transport durch das Eis.

Innerhalb der Moränenwälle kam es durch das schrittweise Zurückschmelzen des Gletschereises zur Ausbildung von peripheren Abflussrinnen. Auch bei Starnberg sind die Wallzüge von einer ganzen Reihe dieser Schmelzwasserrinnen begleitet und sicherlich auch von diesen (seewärts) durchbrochen. Sie sind durch Kies und Sandablagerungen gekennzeichnet. Diese sind zum Teil sehr gut sortiert. Es kam zur Ausbildung so genannter Rollkieslagen.

Am Nordende des Starnberger Sees sind im Stadtgebiet von Starnberg Schotterterrassen ausgebildet, die sich an die Innenflanken der Starnberger Moränenphase anlehnen und ca. 4 - 5 m über dem heutigen mittleren Seespiegel (ca. 584 müNN) liegen. Die Terrassen entstanden im frühen Spätglazial, zu einer Zeit, als das Würmseebcken (Starnberger See) noch vom verbliebenen Gletschereis erfüllt war. Die zwischen dem Toteis und den ansteigenden Moränenwällen abgelagerten Schotter wurden von Schmelzwässern vom damaligen Eisrand zugeführt. Nachfolgend hat fließendes Wasser des heutigen Georgenbachs zum Einschnitt in die eiszeitlichen Randterrassen geführt (nach Jerz 1987, [U4] und [U5]). Ähnliche Bildungs- und Ablagerungsformen von Kies- und Schotterterrassen finden sich entlang der heutigen Moränenwälle, aber auch aus Warmphasen oder Warmzeiten innerhalb der Moränenablagerungen. Weitere Kiesablagerungen, vor allem auch oberflächennah, sind das Ergebnis postglazialer fluviatiler Erosion und Akkumulation. Als Ergebnis von Kalksinterbildungen aus stark kalkhaltigen Wässern sind vor allem in diesen kiesigen Ablagerungen Verfestigungen, die Bildung des so genannten Nagelfluhs, häufig zu finden. Sie kann vereinzelt vorkommen oder schichtweise bänderhaft ausgebildet sein und so genannte Nagelfluhbänke bilden.

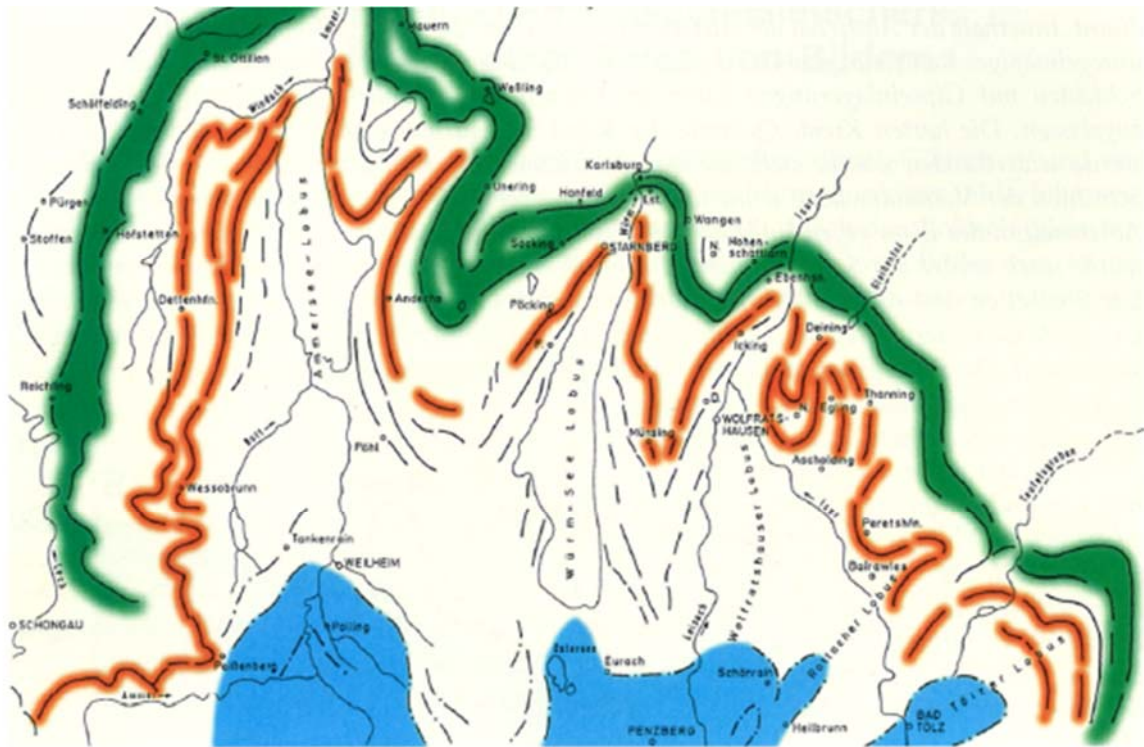


Abbildung 1: Maximale Eisrandlagen und Rückzugsstadien des Isar-Loisach-Gletschers aus [U6]

Mit dem Rückzug des Gletschers wurden die Zungen- und Stammbecken schrittweise von Norden nach Süden eisfrei und füllten sich mit Schmelzwasser. Zum Teil blieben auch einzelne größere Eismassen zurück, das so genannte Toteis. Aus größeren Toteisgebieten entstanden ausgedehnte Seenlandschaften. In den Seen lagerte sich tonige Gletschertrübe als Seeton ab. Erhielten sich nach dem Zurückschmelzen des Gletschers Zuflüsse, wurden die Seen durch Seeton und Deltaschotter schnell wieder aufgefüllt und es blieben nur Teile erhalten. Das Becken des gesamten Starnberger Sees war auch mit Toteis gefüllt. Ohne nennenswerten Zulauf blieb er bis heute fast vollständig erhalten. In seinem Beckenbereich sedimentierten weitläufig Seetone und Feinsandlagen. Die Ablagerungen reichen bis in das Stadtgebiet von Starnberg. Seetonablagerungen früherer Rückzugsphasen in Warmphasen oder Warmzeiten finden sich auch innerhalb der Moränenablagerungen in den Moränenwällen.

4.2 Geologische Verhältnisse gemäß den Erkundungsergebnissen

Die geologischen Verhältnisse im Einflussbereich des Tunnels Starnberg sind detailliert im Geotechnischen Bericht Teil 1 [U9] beschrieben.

Die im Bereich der Tunneltrasse erkundeten geologischen Verhältnisse sind in Abbildung 2 im Überblick dargestellt.

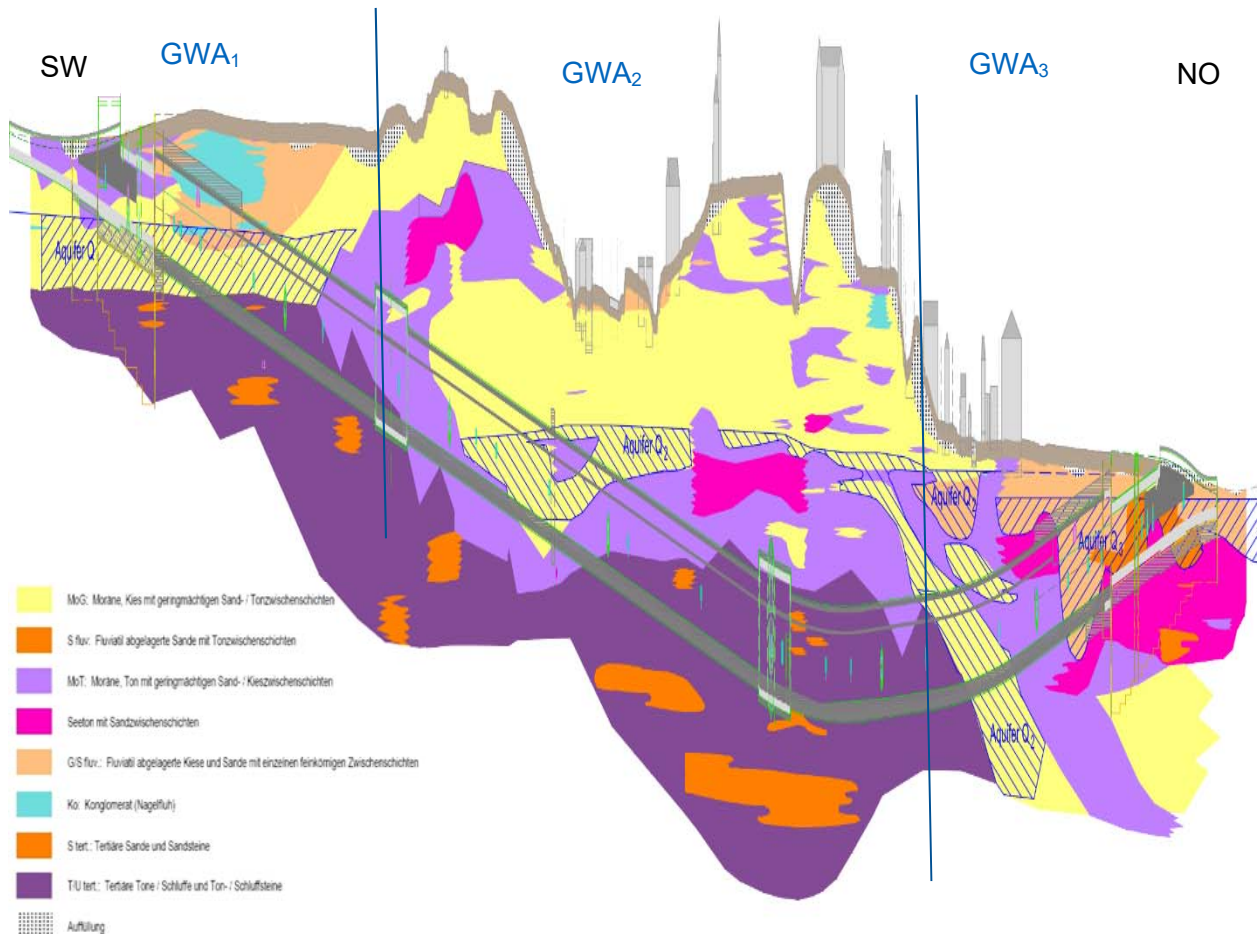


Abbildung 2: Schematischer geologischer Längsschnitt mit Eintragung der Quartäraquifere Q₁ bis Q₃

Im südlichen Bereich des Tunnels Starnberg werden die Tertiärsedimente direkt von eiszeitlichen Ablagerungen, die den Seiten- oder Endmoränen zuzuordnen sind, überlagert. Es handelt sich überwiegend um schwach bindige, sandige bis stark sandige Kiesablagerungen. Im südlichsten Teil des Untersuchungsgebiets werden die Seiten- oder Endmoränen von jüngeren Moränen bestehend aus unsortiertem grobkörnigem Material mit auffallend hohem Stein- bzw. Blockanteil in einer bindigen Matrix aus Ton und untergeordnet Schluff überlagert. Nach Norden wird diese Moräne durch Schmelzwassersedimente bestehend aus stark sandigem Kies und untergeordnet aus kiesigen Sandablagerungen durchbrochen, was in diesem Bereich auf die Präsenz von ehemaligen peripheren Abflussrinnen hindeutet. Der Wechsel von Kies- und Sandablagerungen mit der Tiefe lässt auf verschiedenartige Ablagerungsaktivität in den Abflussrinnen schließen. In den Schmelzwassersedimenten entstanden hier, als Ergebnis von Kalksinterbildungen aus stark kalkhaltigen Wässern, vor allem in den kiesigen Ablagerungen Verfestigungen in Form von Konglomerat (Nagelfluh). Der Nagelfluh bildet hier dünne bis dickbankige Schichten in mehreren Lagen. Die Ausdehnung längs der Tunnelachse konnte in drei Bohrungen (GWM 308, GWM 404, GWM 310) nachgewiesen werden, ist allerdings über diesen Bereich hinausgehend zu erwarten (siehe auch Prüfbericht Proj.-Nr. 11485/025 des Zentrums Geotechnik der TU München zur geologischen Oberflächenaufnahme im Trassenbereich vom 29.05.09 [U8]).

Im mittleren Bereich des Untersuchungsgebiets deutet das vorhandene komplexe Bild von Moränensedimenten auf verschiedene Auf- und Rückzugsphasen hin. Somit sind die Tertiärsedimente von Moränen, bestehend aus unsortiertem grobkörnigem Material mit Stein- und Blockanteil in einer bindigen Matrix



aus Ton und untergeordnet Schluff überlagert. Teilweise zwischengeschaltet (in südlicher Richtung), überwiegend aber diese Moränen überlagernd, wurden schwach bindige, sandige bis stark sandige Kiesablagerungen angetroffen, die den Seiten- oder Endmoränen zugeordnet werden können. In den Kiesablagerungen der Seiten- oder Endmoränen wurden kiesige bis stark kiesige Sande ohne bzw. mit geringem Feinanteil festgestellt. Diese Sande weisen Mächtigkeiten bis zu einigen Metern auf. Sie können in Form von Linsen eng begrenzt sein, sich aber auch über größere Bereiche erstrecken. Seetonablagerungen als Ergebnis von Sedimentationsprozessen in vorgelagerten Gletscherseen während Rückzugsphasen in Warmphasen oder Warmzeiten wurden sowohl im Norden als auch im mittleren Bereich innerhalb der Moränenablagerungen festgestellt. Der Seeton besteht hier überwiegend aus feinsandigem Ton in Wechsellaagerung mit feingeschichtetem tonigem Feinsand (mm bis cm Bereich). Der Seeton weist in Abhängigkeit von der Tiefenlage, der Entstehungsgeschichte und der Präsenz von Schicht- oder Grundwasser eine variierende Konsistenz auf.

Der nördliche Abschnitt des Untersuchungsgebietes ist durch die Präsenz einer ehemaligen tiefen Rinne als Ergebnis der Ausbreitung der Eismasse von dem Gebiet des heutigen Starnberger Sees nach Norden geprägt. Die Erkundungsergebnisse deuten wiederum auf mehrere Auf- und Rückzugsphasen der Eismasse hin. Die tiefsten erkundeten Ablagerungen bestehen aus sandigen bis stark sandigen Kiesen bzw. kiesigen bis stark kiesigen Sanden (Seiten- oder Endmoräne). Oberhalb dieser Ablagerungen wurde z.B. in den Bohrungen B 346 und GWM 427 Seeton festgestellt. Die Seiten- oder Endmoräne wird von Moräne bestehend aus unsortiertem grobkörnigem Material mit hohem Stein- und Blockanteil in einer bindigen Matrix aus Ton und untergeordnet Schluff überlagert. Teilweise in diesen Moränen zwischengeschaltet, aber auch seitlich übergehend, wurden mächtige Seeton- und schluffige/tonige Feinsandlagen als Ergebnis ausgedehnter Seenlandschaften angetroffen. Der Seeton, der dünne Feinsandzwischenlagen aufweist, besitzt überwiegend eine weiche bis steife Konsistenz. Die Seetone und die Feinsandlagen sind durch Zuflüsse teilweise erodiert. Die so entstandenen Becken und Rinnen wurden durch Schmelzwassersedimente (stark sandige Kiese und untergeordnet kiesige Sande) wieder aufgefüllt. Ein Rest der Feinsandlagen mit einer Mächtigkeit von mehreren Metern wurde zwischen den Bohrungen B 335 und GWM 338 im nördlichsten Abschnitt des Untersuchungsgebietes in den Schmelzwassersedimenten angetroffen.

Entsprechend den angetroffenen geologischen Verhältnissen wurde der Tunnel in neun Bereiche untergliedert. Diese sind in Abschnitt 5 beschrieben (siehe auch Anlage 2).

4.3 Allgemeine hydrogeologische Verhältnisse

Die Grundwasserverhältnisse im Einflussbereich des Tunnels Starnberg sind detailliert im Hydrogeologischen Bericht Teil 1 [U10] beschrieben. Dieser ist als Anlage 13.1 dem vorliegenden Erläuterungsbericht beigefügt. Eine ausführliche Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse folgt in Abschnitt 7.4.1.

Demnach können im Bereich des Tunnels die drei Grundwasserabschnitte GWA_1 bis GWA_3 unterschieden werden, die die drei Aquifere Q_1 bis Q_3 umfassen. Zusätzlich liegen horizontale Barrieren aus bindigen Böden vor, so dass sich auch in unterschiedlicher Tiefe verschiedene Aquifere mit unterschiedlichen Druckhöhen ausgebildet haben. In vertikaler Richtung sind je nach Grundwasserabschnitt bis zu drei Aquifere zu unterscheiden:

- Schichtwasseraquifer
- Quartäraquifer (quartäre Hauptgrundwasserleiter Q_1 bis Q_3)



– Tertiäraquifer

Der quartäre Hauptgrundwasserleiter mit den Aquiferen Q_1 bis Q_3 ist im schematischen geologischen Längsschnitt (Abbildung 2 in Abschnitt 4.2) dargestellt.

4.4 Geogene und anthropogene Belastungen und Altlastenverdachtsflächen

4.4.1 Geogene Belastungen

Für die erkundeten tertiären Böden kann eine geogene Belastung mit Arsen und Schwermetallen nicht ausgeschlossen werden, weshalb vom Ingenieurbüro Frank + Bumiller + Kraft bodenchemische Untersuchungen empfohlen wurden [U18]. In [U19] werden die Untersuchungsergebnisse an 14 Bodenproben mitgeteilt, die auf Arsen untersucht wurden. Drei Proben wurden zudem hinsichtlich verschiedener Schwermetalle untersucht. Die Einstufung der Ergebnisse erfolgte gemäß dem „Leitfaden zu Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen“. Alle Proben weisen Zuordnungswerte Z 0 und somit keine relevanten Gehalte an Arsen oder Schwermetallen auf. Weitere Untersuchungsergebnisse von Bodenproben hinsichtlich Arsen werden in [U20] mitgeteilt. Hier liegen die Arsengehalte ebenfalls im Bereich der Zuordnungswerte Z 0, sowohl gemäß dem Leitfaden als auch gemäß LAGA.

4.4.2 Anthropogene Belastungen

Das Vorliegen möglicher anthropogener Belastungen wurde vom Ingenieurbüro Frank + Bumiller + Kraft in [U21] beurteilt. Anhand einer historischen Recherche wurden mögliche Verdachtsflächen im Bereich des Notausstiegs 4, des Notausstiegs 5 sowie der Rampe Nord verzeichnet.

Die Schadstoffbelastung der Böden im Bereich der beim Grundwasserdüker 4 gelegenen Shell-Tankstelle wurde vom Ingenieurbüro Frank + Bumiller + Kraft untersucht [U22]. Dabei wurden keine Verunreinigungen des Bodens nachgewiesen.

Des Weiteren wurden auf Grundlage eines Bodenverwertungs- und Entsorgungskonzepts der igi CONSULT GmbH durch das Ingenieurbüro Frank + Bumiller + Kraft umwelttechnische Untersuchungen an Bodenproben aus Tiefen zwischen 0,0 m und 50,0 m uGOF vorgenommen [U23], die auch die in [U21] genannten Verdachtsbereiche umfassen. Von den 27 gemäß dem „Leitfaden zu Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen“ untersuchten Proben wies lediglich eine Probe der Bohrung GWM 422 (Tiefe 0,2 m bis 2,3 m uGOF) einen Wert von $> Z 2$ auf (Überschreitungen der Parameter pH, Kohlenwasserstoffe, PAK und Benzo(a)pyren), eine weitere Probe der Bohrungen GWM 424 (Tiefe 0,1 m bis 0,9 m uGOF) zeigte einen Wert Z 1.1 (Überschreitung des Parameters Kohlenwasserstoffe). Ansonsten wurden keine Überschreitungen der Z 0-Werte festgestellt. An den beiden zuvor genannten Proben mit Überschreitungen gemäß dem Leitfaden wurden bei den nach LAGA durchgeführten Untersuchungen ebenfalls Überschreitungen der Z 0-Werte festgestellt (jeweils $> Z 2$). Die restlichen acht untersuchten Bodenproben, die aus Tiefen bis zu 24,0 m stammten, wiesen einen Zuordnungswert Z 0 auf.

In einer weiteren, ebenfalls auf dem Konzept der igi CONSULT GmbH beruhenden Untersuchung durch das Ingenieurbüro Frank + Bumiller + Kraft wurden weitere umwelttechnische Untersuchungen an insgesamt 19 Bodenproben aus Tiefen zwischen 2,3 m und 60,0 m uGOF vorgenommen und gemäß dem Leitfaden zu „Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen“ untersucht [U24]. Dabei wurden keine Überschreitungen der Z 0-Werte festgestellt.



4.5 Grundwassernutzungen

Im Umfeld des geplanten Tunnels befinden sich mehrere Grundwassernutzungen in Form von Wärmepumpen, Erdwärmesonden und Brunnen. Informationen zu den Grundwassernutzungen wurden in Listen vom Landratsamt Starnberg [U31] sowie vom Wasserwirtschaftsamt Weilheim [U32] mitgeteilt. Die einzelnen Grundwassernutzungen sind in Abschnitt 8 bei den jeweiligen Teilbauwerken aufgeführt.

5 UNTERSUCHUNGEN UND UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

5.1 Erkundungsprogramme

In den Jahren 1988 und 1990 wurden zwei Erkundungsprogramme für den Tunnel Starnberg durchgeführt. Die Ergebnisse der Erkundungsarbeiten sind in einem geotechnischen Gutachten des Ingenieurbüros Obermeyer [U16] zusammengefasst.

In den Jahren 2009 bis 2010, 2018 sowie 2022 bis 2023 wurden ein drittes, ein viertes und ein fünftes Erkundungsprogramm ausgeführt, in denen die Aufschlussdichte auf die überarbeiteten Planungen und den notwendigen Aussagetiefgang ausgerichtet wurde. Die Ergebnisse der Erkundungsarbeiten sind in [U9] zusammengefasst und werden darin bewertet.

5.2 Aufschlussbohrungen nach DIN 4021 bzw. DIN EN ISO 22475-1

Die Koordinaten, Höhenkoten und Tiefen der Bohrungen nach DIN 4021 aus den ersten beiden Erkundungsprogrammen, die zur Baugrundbeschreibung verwendet wurden, sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Baugrundaufschlüsse aus dem 1. und 2. Erkundungsprogramm

Aufschluss	Bau-km	Lage zur Trasse [m] links (l) / rechts (r) der Achse	Koordinaten		Ansatz [müNN]	Maximale Tiefe [m]	Projekt
			Rechtswert [m]	Hochwert [m]			
B 3'	1+734	41 (r)	4450878,33	5318103,89	604,60	20	Fremdprojekt
B 3	1+927	47 (r)	4451014,13	5318211,45	590,00	25	Fremdprojekt
BR 10	1+924	19 (r)	4450993,60	5318247,62	592,44	17	Fremdprojekt
BR 11	1+925	69 (r)	4451027,02	5318211,45	590,93	17	Fremdprojekt
B 16	2+497	56 (r)	4451453,88	5318411,13	587,00	10	Fremdprojekt
B 101	2+348	17 (r)	4451332,89	5318467,45	588,89	20	Erkundung 1988
B 102	2+192	8 (l)	4451179,17	5318443,37	589,66	20	Erkundung 1988
B 103	1+992	91 (r)	4451092,09	5318237,97	590,38	25	Erkundung 1988
B 105	1+944	6 (r)	4451000,12	5318270,39	591,46	28	Erkundung 1988
B 106	1+639	50 (r)	4450828,56	5318027,96	605,61	32,9	Erkundung 1988
B 107	0+823	10 (r)	4450370,52	5317362,25	624,99	27,5	Erkundung 1988
B 111	0+741	2 (l)	4450293,37	5317331,87	625,03	18	Erkundung 1988
B 120	2+094	7 (l)	4451104,96	5318379,11	590,19	25	Erkundung 1990
B 121	2+055	7 (r)	4451084,89	5318342,78	590,81	27	Erkundung 1990
B 122	1+990	24 (r)	4451046,05	5318287,50	590,84	28	Erkundung 1990
B 124	1+837	43 (r)	4450946,91	5318173,71	603,40	36	Erkundung 1990
B 125	1+621	24 (l)	4450757,48	5318053,58	618,47	38	Erkundung 1990
B 126	1+525	20 (l)	4450709,62	5317968,26	617,75	44	Erkundung 1990
B 127	1+406	19 (l)	4450656,97	5317858,57	609,86	32	Erkundung 1990
B 130	0+779	66 (l)	4450302,40	5317409,08	624,88	30	Erkundung 1990



Aufschluss	Bau-km	Lage zur Trasse [m] links (l) / rechts (r) der Achse	Koordinaten		Ansatz	Maximale Tiefe	Projekt
			Rechtswert	Hochwert			
			[m]	[m]	[müNN]	[m]	
B 131	0+709	4 (l)	4450263,80	5317319,23	625,33	30	Erkundung 1990
B 133	0+654	20 (l)	4450204,28	5317314,01	624,78	26	Erkundung 1990
B 134	0+423	13 (r)	4449995,82	5317218,87	623,05	20	Erkundung 1990

Im Zuge des dritten Erkundungsprogramms wurden im Zeitraum von April 2009 bis März 2010 von der Fa. Abt GmbH 67 Aufschlussbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1 als Rammkern- bzw. Rotationskernbohrungen abgeteuft, von denen 41 Bohrungen als Einfach- bis Dreifachgrundwassermessstellen ausgebaut wurden. Eine Übersicht über die Bohrungen ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Aufschlussbohrungen des 3. Erkundungsprogramms

Aufschluss	Bau-km	Lage zur Trasse [m] links (l) / rechts (r) der Achse	Koordinaten		Ansatzpunkt	Maximale Tiefe
			Rechtswert	Hochwert		
			[m]	[m]	[müNN]	[m]
B 301	0+252	65 (l)	4449809,831	5317246,259	621,988	18,00
B 302	0+284	22 (l)	4449851,977	5317213,850	619,310	16,00
GWM 303	0+343	17 (r)	4449920,014	5317192,944	622,895	22,00
B 304	0+359	20 (l)	4449924,858	5317232,261	618,622	18,00
GWM 305	0+367	225 (r)	4450000,098	5316999,437	634,050	35,00
GWM 306	0+447	99 (l)	4449988,154	5317332,377	616,407	19,70
GWM 307	0+481	20 (l)	4450042,471	5317266,115	622,895	28,00
GWM 308	0+553	11 (l)	4450114,560	5317276,928	626,380	30,00
GWM 309	0+548	231 (l)	4450076,907	5317495,793	620,829	29,10
GWM 310	0+666	11 (r)	4450228,723	5317289,995	625,445	33,00
GMW 311	0+670	113 (r)	4450266,061	5317194,837	634,470	33,00
GWM 312	0+917	115 (l)	4450360,650	5317512,466	612,440	22,00
B 313	0+885	18 (l)	4450403,455	5317421,006	623,660	39,20
GWM 314	1+007	15 (l)	4450487,396	5317503,934	627,555	47,00
GWM 315	0+964	13 (r)	4450481,071	5317453,220	628,422	60,00
B 316	1+014	82 (l)	4450438,592	5317550,254	607,810	25,00
GWM 317	1+127	27 (l)	4450540,773	5317608,230	620,698	52,00
GWM 318	1+139	37 (r)	4450603,811	5317590,761	623,066	53,70
GWM 319	1+238	10 (r)	4450621,261	5317691,610	606,744	37,20
GWM 320	1+311	19 (l)	4450621,261	5317770,058	610,271	36,60
GWM 321	1+477	20 (r)	4450721,797	5317907,092	613,505	50,00
GWM 322	1+619	1 (r)	4450776,001	5318037,910	619,620	60,00
B 323	1+641	57 (l)	4450741,083	5318089,893	599,782	41,65
GWM 324	1+678	15 (l)	4450798,318	5318095,512	620,141	62,40
B 325	1+703	169 (l)	4450694,281	5318213,165	594,099	7,50
GWM 326	1+746	13 (r)	4450863,024	5318130,175	610,854	55,00
GWM 327	1+800	12 (l)	4450881,566	5318186,885	609,774	57,20
B 328	1+785	49 (l)	4450844,210	5318201,326	596,384	58,00
GWM 329	1+850	187 (r)	4451054,008	5318076,153	589,179	25,00



Aufschluss	Bau-km	Lage zur Trasse [m] links (l) / rechts (r) der Achse	Koordinaten		Ansatzpunkt [müNN]	Maximale Tiefe [m]
			Rechtswert	Hochwert		
			[m]	[m]		
GWM 330	1+873	27 (l)	4450924,807	5318249,001	593,334	38,00
GWM 331	1+960	211 (l)	4450869,442	5318445,222	594,479	19,50
GWM 332	1+944	29 (l)	4450977,301	5318297,188	590,641	35,40
GWM 333	2+131	237 (r)	4451293,230	5318219,452	588,826	28,00
GWM 334	2+153	22 (r)	4451168,172	5318395,985	589,261	30,10
B 335	2+201	15 (r)	4451199,898	5318430,616	589,736	26,00
GWM 336	2+295	9 (r)	4451278,808	5318470,711	588,626	21,00
GWM 337	2+263	16 (l)	4451241,049	5318486,558	588,925	23,00
GWM 338	2+345	19 (l)	4451326,974	5318504,112	588,516	18,00
GWM 339	2+417	18 (r)	4451396,288	5318460,695	587,355	20,00
B 341	2+441	15 (l)	4451424,019	5318491,021	586,441	16,00
B 343	1+048	9 (l)	4450516,580	5317532,458	626,378	51,00
B 344	1+574	20 (l)	4450733,702	5318011,131	617,542	66,00
GWM 345	1+649	29 (r)	4450815,976	5318046,144	605,151	46,00
B 346	2+319	26 (l)	4451298,126	5318509,176	588,480	39,50
GWM 348	0+591	98 (l)	4450126,277	5317371,397	623,600	20,00
B 349	1+604	41 (l)	4450732,364	5318048,733	617,650	12,00
GWM 350	2+030	19 (r)	4451073,130	5318318,343	590,536	38,00
GWM 351	1+013	11 (r)	4450512,472	5317492,290	630,703	51,00
GWM 352	1+020	44 (l)	4450472,912	5317531,241	620,798	34,00
GB 1	0+413	19 (r)	4449987,849	5317210,047	623,028	16,00
GB 2	0+561	41 (r)	4450832,906	5318048,408	604,891	27,00
B 353 (30° geneigt)	1+035	14 (l)	4450505,289	5317525,181	626,388	55,60
GWM 354	1+240	81 (r)	4450688,388	5317669,256	599,399	25,00
GWM 355	1+191	104 (l)	4450499,468	5317698,009	601,841	20,00
B 356 (35° geneigt)	1+597	23 (l)	4450744,061	5318032,690	617,780	73,00
GWM 357 (15° geneigt)	1+613	35 (l)	4450743,081	5318053,456	617,815	62,00
B 358 (40° geneigt)	1+647	52 (l)	4450749,461	5318091,650	600,139	52,00
GWM 359	1+645	13 (l)	4450779,455	5318067,400	606,854	55,00
GWM 360	1+776	2 (l)	4450871,826	5318161,979	609,654	60,00
GWM 361	1+857	2 (r)	4450394,190	5317388,434	624,558	34,00
GWM 362	1+067	47 (r)	4450574,004	5317517,920	623,186	45,00

Das 4. Erkundungsprogramm umfasste 26 Bohrungen nach DIN EN ISO 22465-1, die im Zeitraum von September bis Dezember 2018 von der Fa. Baugrund Süd abgeteuft wurden. Im Jahr 2020 wurden acht weitere Bohrungen niedergebracht. 29 Bohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Die Bohrungen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.



Tabelle 3: Bohrungen des 4. Erkundungsprogramms

Aufschluss	Bau-km (ca.)	Lage zur Trasse [m] links (l) / rechts (r) der Achse	Koordinaten		Ansatzpunkt [müNN]	Maximale Tiefe [m]
			Rechtswert	Hochwert		
			[m]	[m]		
B 401	0+276	52 (r)	4449841,99	5317176,25	622,13	16,00
GWM 402	0+516	197 (r)	4450137,54	5317067,65	641,32	37,00
GWM 403	0+653	188 (r)	4450266,37	5317115,47	637,99	35,00
GWM 404	0+606	8 (l)	4450165,23	5317289,83	625,96	35,00
B 405	0+843	20 (l)	4450370,05	5317397,69	623,90	50,00
GWM 406	0+928	16 (l)	4450435,91	5317448,06	623,66	55,00
GWM 407	0+986	225 (l)	4450311,25	5317619,53	621,18	40,00
GWM 408	0+998	10 (l)	4450486,32	5317492,93	627,69	55,00
GWM 409	0+988	221 (r)	4450658,14	5317338,99	590,24	15,00
GWM 410	1+122	28 (l)	4450539,85	5317604,48	621,15	44,20
GWM 411	1+102	44 (r)	4450590,94	5317551,60	622,70	45,00
GWM 412	1+156	199 (l)	4450395,21	5317701,53	610,26	25,00
GWM 413	1+221	14 (l)	4450591,63	5317685,76	611,13	37,00
GWM 414	1+190	30 (r)	4450619,52	5317639,02	613,46	38,00
B 415	1+324	277 (l)	4450386,58	5317877,40	600,57	25,30
GWM 416	1+191	151 (r)	4450730,66	5317590,02	595,81	20,00
GWM 417 (27° Neigung)	1+313	15 (l)	4450625,80	5317770,71	610,19	56,50
B 418	1+475	208 (l)	4450515,24	5318004,22	595,97	20,00
GWM 419	1+444	11 (l)	4450678,83	5317891,17	612,86	60,00
GWM 420	1+497	134 (r)	4450831,53	5317871,05	592,63	20,00
GWM 421	1+647	15 (r)	4450807,85	5318051,95	605,31	70,00
GWM 422	2+226	8 (l)	4451208,38	5318463,47	589,40	37,50
GWM 423	1+027	14 (l)	4450504,08	5317519,11	627,12	55,00
GWM 424	2+204	6 (l)	4451188,65	5318453,19	589,39	37,00
GWM 427	2+320	11 (r)	4451295,85	5318474,10	588,48	35,00
GWM 428	0+695	64 (l)	4450235,23	5317377,04	622,66	20,00
B 429	1+014	82 (l)	4450438.062	5317549.521	608,03	32,00
GWM 430	1+589	34 (l)	4450729.696	5318032.203	617,46	80,65
GWM 431	1+618	11 (l)	4450765.666	5318044.103	619,59	80,40
GWM 432 (15° Neigung)	1+645	21 (r)	4450807.103	5318048.119	605,44	70,00
GWM 433 (10° Neigung)	1+580	23 (l)	4450733.841	5318018.116	617,33	61,00
GWM 434 (10° Neigung)	1+589	24 (l)	4450738.639	5318027.084	617,46	60,30
GWM 436	0+829	53 (l)	4450337.183	5317414.578	623,68	18,00
GWM 437	0+756	3 (l)	4450306.222	5317338.768	625,01	49,70

Im Zuge des fünften Erkundungsprogramms wurden im Zeitraum von November 2022 bis Januar 2023 von der Fa. Baugrund Süd 14 Aufschlussbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1 als Rammkern- bzw. Rotationskernbohrungen abgeteuft, von denen 13 Bohrungen als Einfachgrundwassermessstellen ausgebaut wurden. Eine Übersicht über die Bohrungen ist in Tabelle 4 zusammengestellt.



Tabelle 4: Aufschlussbohrungen des 5. Erkundungsprogramms

Aufschluss	Bau-km	Lage zur Trasse [m] links (l) / rechts (r) der Achse	Koordinaten		Ansatzpunkt [müNN]	Maximale Tiefe [m]
			Rechtswert	Hochwert		
			[m]	[m]		
GWM 501	0+030	25 (l)	4449609,87	5317118,21	631,10	25,00
GWM 502	0+066	71 (r)	4449690,42	5317056,45	622,94	23,00
GWM 503	0+115	207 (r)	4449785,10	5316952,12	638,49	32,50
GWM 504	0+267	286 (r)	4449909,51	5316910,04	632,99	26,00
GWM 505	0+354	441 (r)	4450046,69	5316788,09	635,34	35,00
GWM 506	0+319	128 (r)	4449927,04	5317078,79	633,73	35,00
GWM 507	0+215	17 (l)	4449787,05	5317189,76	624,10	27,30
GWM 508	0+470	109 (r)	4450067,96	5317139,04	630,95	25,00
GWM 509	0+691	13 (r)	4450250,97	5317295,98	624,37	18,3
GWM 510	0+773	101 (r)	4450371,51	5317255,08	631,82	31,00
GWM 511	0+783	65 (l)	4450298,55	5317404,99	623,39	18,00
GWM 512	0+937	167 (l)	4450335,74	5317560,74	608,29	6,00
B 513	0+216	62 (l)	4449775,00	5317233,62	622,46	18,00
GWM 514	0+603	50 (r)	4450179,02	5317232,23	627,00	21,20

Die Lage der in Tabelle 1 bis Tabelle 4 aufgelisteten Bohrungen ist im Lageplan in Anlage 1 dargestellt.

Neben den Bohrungen wurden im Zuge der Erkundungsarbeiten auch Bohrlochversuche (Bohrlochrammsondierungen BDP, Bohrlochaufweitungs- und Pressiometerversuche) sowie Ramm- und Drucksondierungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in [U9] zusammengefasst. Im Rahmen der Erkundungsprogramme wurden zudem Bodenproben aus den Bohrungen entnommen. An ausgewählten Bodenproben wurden bodenmechanische Laboruntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in [U9] zusammengestellt.

5.3 Stichtagsmessung am 26.02.2019 und 27.02.2019

Alle Grundwassermessstellen der vier Erkundungsprogramme wurden bei einer Stichtagsmessung am 26.02.2019 und 27.02.2019 gemessen [U10] (siehe Anlage 13.1). Die Grundwasserstände dieser Messung sind für ein besseres Verständnis der vorliegenden Stellungnahme in Tabelle 5 nochmals wiedergegeben und in den Schnitten in Anlage 2 und 3 dargestellt.

Alle Grundwassermessstellen wurden seit ihrer Herstellung in der Regel mindestens einmal monatlich gemessen. Zum Teil wurden in den Grundwassermessstellen auch Datenlogger eingebaut, so dass zudem kontinuierlich aufgezeichnete Messdaten aus den letzten 10 Jahren vorliegen. Diese so erhaltenen Grundwasserganglinien bilden die Grundlage für die Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse im Einflussbereich des geplanten Tunnels Starnberg.



Tabelle 5: Ergebnisse der Stichtagsmessung vom 26.02.2019 und 27.02.2019

Bohrung		Lage			Filterrohr im Aquifer		GW-Stand	
Bezeichnung	Ausbau- Ø	ca.	links (l) / rechts (r) der Trasse	GOK	Tiefe von	bis	Eintrag in An- lage 2 und 3	Messung vom
	[mm]	[Bau-km]	[m]	[müNN]	[m]	[m]	[müNN]	
GWM 303	125	0+343	17 (r)	622,90	5,20	15,20	615,08	27.02.2019
GWM 305	125	0+367	225 (r)	634,05	24,60	26,60	615,05	27.02.2019
GWM 306	125	0+447	99 (l)	616,41	13,35	15,35	615,01	27.02.2019
GWM 307-f	125	0+481	20 (l)	622,90	9,50	12,90	614,16	27.02.2019
GWM 307-t	65	0+481	20 (l)	622,90	18,20	20,20	614,12	27.02.2019
GWM 308	125	0+553	11 (l)	626,38	11,30	20,30	614,16	27.02.2019
GWM 309	125	0+584	231 (l)	620,83	20,10	21,10	610,07	26.02.2019
GWM 310-f	125	0+666	11 (r)	625,45	12,60	18,60	613,43	27.02.2019
GWM 310-t	65	0+666	11 (r)	625,45	28,65	30,65	607,49	27.02.2019
GWM 311	125	0+670	113 (r)	634,47	21,60	27,60	614,05	27.02.2019
GWM 312	125	0+917	115 (l)	612,44	6,15	7,15	-	-
GWM 314-f	65	1+007	15 (l)	627,55	10,60	12,60	618,19	27.02.2019
GWM 314-m	65	1+007	15 (l)	627,55	17,35	18,35	614,58	27.02.2019
GWM 314-t	125	1+007	15 (l)	627,55	40,40	43,40	600,77	27.02.2019
GWM 315-f	65	0+964	13 (r)	628,42	10,30	13,30	618,77	27.02.2019
GWM 315-t	125	0+964	13 (r)	628,42	21,50	23,50	615,73	27.02.2019
GWM 317	125	1+127	27 (l)	620,70	28,30	36,30	593,99	27.02.2019
GWM 318	125	1+139	37 (r)	623,07	34,60	40,60	590,80	27.02.2019
GWM 319-f	65	1+238	10 (r)	606,74	15,10	16,10	593,85	27.02.2019
GWM 319-t	125	1+238	10 (r)	606,74	21,65	24,65	594,04	27.02.2019
GWM 320	125	1+311	19 (l)	610,27	17,10	23,10	593,95	26.02.2019
GWM 321	125	1+477	20 (r)	613,51	25,30	26,30	592,05	26.02.2019
GWM 322	125	1+619	1 (r)	619,62	38,30	39,30	591,34	26.02.2019
GWM 324	125	1+678	15 (l)	620,14	34,30	35,30	591,27	26.02.2019
GWM 326-f	65	1+746	13 (r)	610,85	21,00	23,00	588,66	26.02.2019
GWM 326-t	125	1+746	13 (r)	610,85	29,40	30,40	588,88	26.02.2019
GWM 327	125	1+800	12 (l)	609,77	24,00	26,00	590,26	26.02.2019
GWM 329-f	65	1+850	187 (r)	589,18	3,00	5,00	584,82	26.02.2019
GWM 329-t	125	1+850	187 (r)	589,18	13,55	14,55	585,19	26.02.2019
GWM 330-f	65	1+873	27 (l)	593,33	8,10	9,10	588,17	26.02.2019
GWM 330-t	125	1+873	27 (l)	593,33	15,20	20,20	588,25	26.02.2019
GWM 331	125	1+960	211 (l)	594,48	14,00	19,00	-	-
GWM 332	125	1+944	29 (l)	590,64	18,60	24,60	-	-
GWM 333	125	2+131	237 (r)	588,83	8,30	14,30	584,77	26.02.2019
GWM 334	125	2+153	22 (r)	589,26	6,00	22,00	585,05	26.02.2019
GWM 336	125	2+295	9 (r)	588,63	4,20	6,20	584,66	26.02.2019
GWM 337	125	2+263	16 (l)	588,95	5,60	11,60	584,93	26.02.2019
GWM 338	125	2+345	19 (l)	588,52	4,60	11,60	584,92	26.02.2019
GWM 339	125	2+417	18 (r)	587,36	3,60	7,00	584,69	26.02.2019
GWM 345	125	1+649	29 (r)	605,15	16,10	19,10	589,44	26.02.2019
GWM 348	125	0+591	98 (l)	623,60	11,30	16,30	-	Fremdmessung
GWM 350-f	125	2+030	19 (r)	590,54	6,60	9,60	584,83	26.02.2019



Bohrung		Lage			Filterrohr im Aquifer		GW-Stand	
Bezeichnung	Ausbau- Ø	ca.	links (l) / rechts (r) der Trasse	GOK	Tiefe von	bis	Eintrag in An- lage 2 und 3	Messung vom
	[mm]	[Bau-km]	[m]	[müNN]	[m]	[m]	[müNN]	
GWM 350-t	65	2+030	19 (r)	590,54	25,35	35,35	587,97	26.02.2019
GWM 351-f	65	1+013	11 (r)	630,70	18,60	19,60	615,26	27.02.2019
GWM 351-m	65	1+013	11 (r)	630,70	22,15	23,15	613,66	27.02.2019
GWM 351-t	125	1+013	11 (r)	630,70	41,40	42,40	590,77	27.02.2019
GWM 352	125	1+020	44 (l)	620,80	20,60	21,60	-	-
GWM 354	125	1+240	81 (r)	599,40	16,30	20,30	590,78	27.02.2019
GWM 355	125	1+191	104 (l)	601,84	8,90	10,90	594,02	26.02.2019
GWM 357 (15° geneigt)	125	1+613	35 (l)	617,82	37,80	39,80	592,04	26.02.2019
GWM 359	125	1+645	13 (l)	606,85	27,60	30,60	591,25	26.02.2019
GWM 360-f	65	1+776	2 (l)	609,65	25,15	26,15	590,32	26.02.2019
GWM 360-t	125	1+776	2 (l)	609,65	57,00	60,20	575,15	26.02.2019
GWM 361	125	1+857	2 (r)	624,56	24,80	26,80	611,58	27.02.2019
GWM 362-f	65	1+067	47 (r)	623,19	12,30	13,30	611,08	27.02.2019
GWM 362-t	125	1+067	47 (r)	623,19	32,55	43,55	590,78	27.02.2019
GWM 402	319	0+516	197 (r)	641,32	26,00	34,00	614,42	27.02.2019
GWM 403	324	0+653	188 (r)	637,99	23,20	31,20	614,20	27.02.2019
GWM 404	324	0+606	8 (l)	625,96	11,30	19,30	613,50	27.02.2019
GWM 406-f	420	0+928	16 (l)	623,66	9,00	12,00	-	-
GWM 406-m	255	0+928	16 (l)	623,66	31,00	35,00	-	-
GWM 406-t	255	0+928	16 (l)	623,66	52,00	55,00	-	-
GWM 407	324	0+986	225 (l)	621,18	10,80	11,80	611,29	26.02.2019
GWM 408-f	324	0+998	10 (l)	627,69	28,00	31,00	599,92	27.02.2019
GWM 408-t	324	0+998	10 (l)	627,69	38,90	39,90	598,75	27.02.2019
GWM 409	324	0+988	221 (r)	590,24	3,00	5,00	587,39	27.02.2019
GWM 410	324	1+122	28 (l)	621,15	19,00	34,00	594,07	27.02.2019
GWM 411	324	1+102	44 (r)	622,70	30,00	42,00	590,68	27.02.2019
GWM 412	324	1+156	199 (l)	610,26	18,00	21,00	600,82	26.02.2019
GWM 413-f	419	1+221	14 (l)	611,13	13,00	20,00	593,95	27.02.2019
GWM 413-t	324	1+221	14 (l)	611,13	33,50	34,50	594,18	27.02.2019
GWM 414	324	1+190	30 (r)	613,46	25,80	32,80	594,00	27.02.2019
GWM 416	324	1+191	151 (r)	595,81	10,00	16,00	587,81	27.02.2019
GWM 417 (27° geneigt)	219	1+313	15 (l)	610,19	18,30	23,30	593,89	26.02.2019
GWM 419	419	1+444	11 (l)	612,86	8,00	24,00	592,83	26.02.2019
GWM 420	324	1+497	134 (r)	592,63	14,00	18,00	588,95	27.02.2019
GWM 421	324	1+647	15 (r)	605,31	23,50	24,50	591,17	26.02.2019
GWM 422	324	2+226	8 (l)	589,40	34,50	35,50	586,82	26.02.2019
GWM 423	324	1+027	14 (l)	627,12	25,50	33,50	593,10	27.02.2019
GWM 424	219	2+204	6 (l)	589,39	25,60	30,60	586,91	26.02.2019
GWM 427	219	2+320	11 (r)	588,48	21,00	23,00	584,96	26.02.2019
GWM 428	324	0+695	64 (l)	622,66	10,00	16,00	611,88	26.02.2019



Bohrung		Lage			Filterrohr im Aquifer		GW-Stand	
Bezeichnung	Ausbau- Ø	ca.	links (l) / rechts (r) der Trasse	GOK	Tiefe von	bis	Eintrag in An- lage 2 und 3	Messung vom
	[mm]	[Bau-km]	[m]	[müNN]	[m]	[m]	[müNN]	
BR 11	51	1+925	69 (r)	590,93	3,00	16,00	588,09	26.02.2019
BR 12	51	1+493	322 (r)	586,29	-	-	-	-
B 102	51	2+192	8 (l)	589,65	3,20	7,20	584,99	26.02.2019
B 104	102	1+988	13 (l)	590,62	2,65	12,65	588,17	26.02.2019
B 105A	102	1+961	23 (r)	591,26	7,70	11,70	-	zugeparkt
B 107	51	0+823	10 (r)	624,99	10,80	20,80	613,93	27.02.2019
B 111	102	0+741	2 (l)	625,11	10,70	18,70	612,54	27.02.2019
B 121	51	2+055	7 (r)	590,81	6,00	10,00	584,95	26.02.2019
B 122	102	1+989	24 (r)	590,84	8,00	18,00	588,06	26.02.2019
B 123	152	1+949	26 (l)	590,73	5,00	18,00	588,25	26.02.2019
B 125	50,8	1+621	24 (l)	618,47	28,00	33,00	591,64	26.02.2019
B 130	102	0+779	66 (l)	623,50	10,00	20,00	611,59	26.02.2019
B 131	152	0+709	4 (l)	625,11	10,00	20,00	613,06	27.02.2019
B 133	102	0+654	20 (l)	624,78	10,00	20,00	613,39	27.02.2019
B 134	51	0+423	13 (r)	622,98	5,00	16,00	614,66	27.02.2019
B 429	-	1+014	82 (l)	608,03	-	-	601,83	19.03.2020
GWM 430	80	1+589	34 (l)	617,46	56,00	60,00	590,83	10.04.2020
GWM 431	80	1+618	11 (l)	619,59	51,50	53,50	589,27	10.04.2020
GWM 432 (15° Neigung)	80	1+645	21 (r)	605,44	55,50	58,50	590,77	10.04.2020
GWM 433 (10° Neigung)	80	1+580	23 (l)	617,33	56,50	58,5	592,01	10.04.2020
GWM 434 (10° Neigung)	80	1+589	24 (l)	617,46	56,50	58,5	588,88	10.04.2020
GWM 436	125	0+829	53 (l)	623,68	10,70	17,70	605,48	03.04.2020
GWM 437	125	0+756	3 (l)	625,01	11,00	19,00	612,44	10.04.2020

5.4 Durchlässigkeitsversuche

Im Zeitraum von Juni bis März 2010 (3. EKP), September bis Dezember 2018 (4. EKP) sowie November 2022 bis Februar 2023 (5. EKP) wurden für den Tunnel Starnberg in grundwasserführenden Schichten insgesamt 92 Durchlässigkeitsversuche zur Ermittlung der k-Werte in den ausgebauten Grundwassermessstellen durchgeführt. Nähere Informationen zu den durchgeführten Versuchen enthält der hydrogeologische Bericht, Teil 1 [U10] (siehe Anlage 13.1). Die Zusammenstellung der Versuchsergebnisse aus [U10] wird für ein besseres Verständnis der vorliegenden Stellungnahme nochmals in Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 6: Ergebnisse der Durchlässigkeitsuntersuchungen

Bezeichnung	GOK	Filterbereich		Versuchsart	gemittelte Durchlässigkeit k	Besonderheiten bei der Auswertung durch Fa. HPC / TUM-ZG
		von	bis			
	[müNN]	[m]	[m]		[m/s]	
GWM 303	622,90	5,20	15,20	PV	$5 \cdot 10^{-3}$	



Bezeichnung	GOK	Filterbereich		Versuchsart	gemittelte Durchlässigkeit k	Besonderheiten bei der Auswertung durch Fa. HPC / TUM-ZG
		von	bis			
	[müNN]	[m]	[m]		[m/s]	
GWM 305	634,05	24,60	26,60	PV	$8 \cdot 10^{-4}$	
GWM 306	616,41	13,35	15,35	EV	$3 \cdot 10^{-7}$	
GWM 307-f	622,90	9,50	12,90	PV	$4 \cdot 10^{-3}$	
GWM 307-t	622,90	18,20	20,20	PV, EV	$9 \cdot 10^{-6}$	Inhomogene Aquiferdurchlässigkeit
GWM 308	626,38	11,30	20,30	PV	$3 \cdot 10^{-3}$	
GWM 310-f	625,45	12,60	18,60	PV	$6 \cdot 10^{-3}$	
GWM 310-t	625,45	28,65	30,65	EV	$3 \cdot 10^{-6}$	
GWM 311	634,47	21,60	27,60	PV	$5 \cdot 10^{-3}$	
GWM 312	612,44	6,15	7,15	PV, EV	$9 \cdot 10^{-4}$	
GWM 314-m	627,45	17,35	18,35	EV	$1 \cdot 10^{-6}$	
GWM 314-t	627,45	40,40	43,40	EV	$4 \cdot 10^{-7}$	
GWM 315-t	628,42	21,50	23,50	PV	$2 \cdot 10^{-5}$	
GWM 317	620,70	28,30	36,30	PV	$4 \cdot 10^{-3}$	Inhomogene Aquiferdurchlässigkeit
GWM 318	623,07	34,60	40,60	PV	$2 \cdot 10^{-3}$	
GWM 319-f	606,74	15,10	16,10	PV	$1 \cdot 10^{-4}$	
GWM 319-t	606,74	21,65	24,65	PV	$9 \cdot 10^{-4}$	
GWM 320	610,27	17,10	23,10	PV	$4 \cdot 10^{-3}$	Inhomogene Aquiferdurchlässigkeit
GWM 321	613,51	25,30	26,30	PV	$6 \cdot 10^{-7}$	
GWM 322	619,54	38,30	39,30	PV	$2 \cdot 10^{-6}$	
GWM 324	620,14	34,30	35,30	PV	$2 \cdot 10^{-4}$	
GWM 326-f	610,85	21,00	23,00	PV	$1 \cdot 10^{-6}$	
GWM 326-t	610,85	29,40	30,40	PV	$5 \cdot 10^{-9}$	
GWM 327	609,77	24,00	26,00	PV, EV	$4 \cdot 10^{-4}$	
GWM 329-t	589,18	13,55	14,55	PV	$1 \cdot 10^{-5}$	
GWM 330-f	593,33	8,10	9,10	PV	$3 \cdot 10^{-3}$	
GWM 330-t	593,33	15,20	20,20	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	
GWM 331	594,48	14,00	19,00	PV	$3 \cdot 10^{-4}$	Inhomogene Aquiferdurchlässigkeit
GWM 332	590,64	18,60	24,60	PV	$1 \cdot 10^{-4}$	
GWM 334	589,26	6,00	22,00	PV	$6 \cdot 10^{-3}$	
GWM 336	588,63	4,20	6,20	PV	$6 \cdot 10^{-5}$	
GWM 337	588,80	5,60	11,60	PV	$8 \cdot 10^{-5}$	
GWM 338	588,52	4,60	11,60	PV	$6 \cdot 10^{-5}$	
GWM 339	587,36	3,60	7,00	PV	$4 \cdot 10^{-3}$	
GWM 345	605,15	16,10	19,10	PV	$7 \cdot 10^{-5}$	
GWM 348	623,60	11,30	16,30	PV	$3 \cdot 10^{-4}$	Inhomogene Aquiferdurchlässigkeit
GWM 350-f	590,54	6,60	9,60	PV	$2 \cdot 10^{-3}$	
GWM 350-t	590,54	25,35	35,35	PV	$5 \cdot 10^{-5}$	
GWM 351-m	630,70	22,15	23,15	EV	$1 \cdot 10^{-6}$	
GWM 351-t	630,70	41,40	42,40	PV	$3 \cdot 10^{-3}$	
GWM 352	630,70	20,60	21,60	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	



Bezeichnung	GOK	Filterbereich		Versuchsart	gemittelte Durchlässigkeit k	Besonderheiten bei der Auswertung durch Fa. HPC / TUM-ZG
		von	bis			
	[müNN]	[m]	[m]		[m/s]	
GWM 354	599,40	16,30	20,30	PV	$9 \cdot 10^{-5}$	
GWM 355	601,84	8,90	10,90	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	
GWM 357	617,82	37,80	39,80	PV	$2 \cdot 10^{-8}$	
GWM 359	606,85	27,60	30,60	PV	$2 \cdot 10^{-5}$	
GWM 360-f	609,65	25,15	26,15	PV	$5 \cdot 10^{-5}$	
GWM 360-t	609,65	57,00	60,20	PV	$3 \cdot 10^{-5}$	
GWM 362-t	623,19	32,55	43,55	PV	$2 \cdot 10^{-2}$	
GWM 402	641,32	26,00	34,00	PV	$3 \cdot 10^{-3}$	
GWM 403	637,99	23,20	31,20	PV	$2 \cdot 10^{-4}$	
GWM 404	625,96	11,30	19,30	PV	$8 \cdot 10^{-5}$	
GWM 406-f	623,66	9,00	12,00	PV	$7 \cdot 10^{-6}$	
GWM 406-m	623,66	31,00	35,00	PV	$2 \cdot 10^{-6}$	
GWM 406-t	623,66	52,00	55,00	PV	$3 \cdot 10^{-7}$	
GWM 407	621,18	10,80	11,80	PV	-	Auswertung nicht möglich
GWM 408-t	627,69	38,90	39,90	PV	$7 \cdot 10^{-7}$	
GWM 409	590,24	3,00	5,00	PV	$1 \cdot 10^{-4}$	
GWM 410	621,15	19,00	34,00	PV	$1 \cdot 10^{-2}$	
GWM 411	622,70	30,00	42,00	PV	$7 \cdot 10^{-3}$	
GWM 412	610,26	18,00	21,00	PV	$1 \cdot 10^{-5}$	
GWM 413-f	611,13	13,00	20,00	PV	$2 \cdot 10^{-3}$	
GWM 413-t	611,13	33,50	34,50	PV	$4 \cdot 10^{-7}$	
GWM 414	613,46	25,80	32,80	PV	$2 \cdot 10^{-3}$	
GWM 416	595,81	10,00	16,00	PV	$8 \cdot 10^{-4}$	
GWM 417	610,19	18,30	23,30	PV	$7 \cdot 10^{-3}$	
GWM 419	612,86	8,00	24,00	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	
GWM 420	592,63	14,00	18,00	PV	$3 \cdot 10^{-4}$	
GWM 421	605,31	23,50	24,50	PV, EV	$2 \cdot 10^{-6}$	
GWM422	589,40	34,50	35,50	PV, EV	$7 \cdot 10^{-4}$	
GWM 424	589,39	25,60	30,60	PV, EV	$1 \cdot 10^{-4}$	
GWM 428	622,66	10,00	16,00	PV	$9 \cdot 10^{-4}$	
GWM 430	617,46	56,00	60,00	PV	$6 \cdot 10^{-8}$	
GWM 431	619,59	51,50	53,50	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	
GWM 432 (15° Neigung)	605,44	55,50	58,50	PV	$5 \cdot 10^{-8}$	Inhomogene Aquiferdurchlässigkeit
GWM 433 (10° Neigung)	617,33	56,50	58,50	PV	$4 \cdot 10^{-7}$	
GWM 434 (10° Neigung)	617,46	56,50	58,50	PV	$3 \cdot 10^{-7}$	Inhomogene Aquiferdurchlässigkeit
GWM 436	623,68	10,70	17,70	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	
GWM 437	625,01	11,00	19,00	PV	$3 \cdot 10^{-4}$	
B 122	590,84	8,00	18,00	PV	$7 \cdot 10^{-4}$	
B 123	590,73	5,00	18,00	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	
GWM 501	631,10	16,40	24,40	PV	$5 \cdot 10^{-4}$	



Bezeichnung	GOK	Filterbereich		Versuchsart	gemittelte Durchlässigkeit k	Besonderheiten bei der Auswertung durch Fa. HPC / TUM-ZG
		von	bis			
	[müNN]	[m]	[m]		[m/s]	
GWM 502	622,94	9,90	15,90	PV	$3 \cdot 10^{-4}$	
GWM 503	638,49	25,20	31,20	PV	$5 \cdot 10^{-4}$	
GWM 504	632,99	18,80	24,80	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	
GWM 505	635,34	17,00	27,00	PV	$5 \cdot 10^{-5}$	
GWM 506	633,73	19,70	25,70	PV	$6 \cdot 10^{-4}$	
GWM 507	624,10	10,90	16,90	PV	$7 \cdot 10^{-5}$	
GWM 508	630,95	15,50	24,50	PV	$3 \cdot 10^{-3}$	
GWM 509	624,37	10,70	17,70	PV	$8 \cdot 10^{-4}$	
GWM 510	631,82	16,00	24,00	PV	$8 \cdot 10^{-5}$	
GWM 511	623,39	10,00	16,00	PV	$1 \cdot 10^{-3}$	
GWM 512	608,29	3,20	5,20	PV	$6 \cdot 10^{-6}$	
GWM 514	627,00	13,90	20,90	PV	$4 \cdot 10^{-3}$	

5.5 Geophysikalische Bohrlochversuche

In 13 Grundwassermessstellen wurden geophysikalische Versuche zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung des Grundwassers im Zeitraum von Juli 2009 bis Januar 2010 durchgeführt. Nähere Informationen zu den durchgeführten Versuchen enthält der hydrogeologische Bericht, Teil 1 [U10] (siehe Anlage 13.1). Die Zusammenstellung der Versuchsergebnisse aus [U10] wird für ein besseres Verständnis der vorliegenden Stellungnahme nochmals in Tabelle 7 wiedergegeben.

Tabelle 7: Ergebnisse der geophysikalischen Bohrlochversuche

Bezeichnung	Pegeloberkante (POK)	auswertbarer Messabschnitt (bezogen auf POK)		Filtergeschwindigkeit v_f	Abstandsgeschwindigkeit v_a (für $n = 0,3$)	Teufe für die Ermittlung der Fließrichtung (bezogen auf POK)	Fließrichtung (bezogen auf Norden)	Bemerkung
		von	bis					
	[müNN]	[m]	[m]	[m/d]	[m/d]	[m]	[°]	
GWM 307	623,98	11,4	12,5	1,21	4,03	12,0	20	Fließrichtung weitgehend eindeutig
GWM 308	626,31	14,1	19,6	0,95	3,17	18,5	10	Fließrichtung eindeutig
GWM 310	625,30	14,0	14,9	0,78	2,60	-	-	
GWM 310	625,30	14,9	17,4	0,43	1,43	16,5	30	Fließrichtung eindeutig
GWM 318	622,99	34,6	40,6	3,54	11,80	38,0	100	Fließrichtung weitgehend eindeutig
GWM 320	610,12	18,0	21,3	0,47	1,57	21,5	140	Fließrichtung gemittelt
GWM 332	590,51	18,6	24,6	0,52	1,73	21,5	170	Fließrichtung gemittelt
GWM 334	589,34	7,7	17,5	0,95	3,17	14,0	50	Fließrichtung weitgehend eindeutig



Bezeichnung	Pegeloberkante (POK) [müNN]	auswertbarer Messabschnitt (bezogen auf POK)		Filtergeschwindigkeit v_f [m/d]	Abstandsgeschwindigkeit v_a (für $n = 0,3$) [m/d]	Teufe für die Ermittlung der Fließrichtung (bezogen auf POK) [m]	Fließrichtung (bezogen auf Norden) [°]	Bemerkung
		von [m]	bis [m]					
B 122	590,71	8,0	12,3	0,35	1,17	9,0	35	Fließrichtung eindeutig ¹
B 122	590,71	12,3	16,0	0,43	1,43	-	-	¹
B 123	590,53	8,7	14,7	1,12	3,73	11,00	75	Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung gemittelt

¹ In B 122 wurden anhand unterschiedlicher Leitfähigkeit bei der Nullmessung 2 verschiedene Aquifere von 8,0 m bis 12,3 m und von 12,3 m bis 16,0 m unter POK identifiziert.

5.6 Grundwasseruntersuchungen nach DIN 4030

Aus fertig gestellten Grundwassermessstellen wurden im Bereich grundwasserführender Schichten, die im Einflussbereich der Tunnelbauwerke liegen, gleichmäßig über die gesamte Trasse verteilt insgesamt 14 Grundwasserproben zur Untersuchung hinsichtlich Betonaggressivität nach DIN 4030 (Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase) entnommen und im Labor untersucht.

Die Protokolle der chemischen Laboruntersuchungen nach DIN 4030 liegen den Dokumentationsunterlagen der Fa. Abt sowie Baugrund Süd bei. Die Ergebnisse sind zudem in [U10] (siehe Anlage 13.1) enthalten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass gemäß den Ergebnissen der chemischen Untersuchungen die meisten Grundwasserproben gemäß DIN 4030 als nicht betonangreifend einzustufen sind. Vier Grundwasserproben aus der GWM 308, der GWM 321, der GWM 413 und der GWM 332 sind aufgrund der Höhe ihres Kohlensäureanteils als schwach betonangreifend einzustufen.

6 BEURTEILUNG DER BAUGRUNDVERHÄLTNISSSE

6.1 Eigenschaften der anstehenden Böden

6.1.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten werden die Eigenschaften der folgenden Bodenformationen in gekürzter Form getrennt dargestellt:

- Oberboden
- Auffüllungen
- Nichtbindige Moräne
- Bindige Moräne
- Fluvial abgelagerte Kiese
- Fluvial abgelagerte Sande mit Tonzwischenschichten
- Seeton
- Konglomerat
- Tertiäre Tone, Schluffe und Sande sowie Ton-, Schluff- und Sandsteine



Eine ausführliche Beurteilung der Baugrundverhältnisse ist dem Geotechnischen Bericht, Teil 1 zum Tunnel Starnberg [U9] und den darin enthaltenen Anlagen zum 3. und 4. Erkundungsprogramm sowie dem Gutachten von Obermeyer Planen + Beraten [U16] zu entnehmen.

6.1.2 Oberboden

Humose bzw. schwach humose Oberböden wurden nur lokal und in geringer Mächtigkeit angetroffen. Eine genauere Beschreibung der Eigenschaften des Oberbodens erfolgt deshalb nicht.

6.1.3 Auffüllungen

Anthropogene Auffüllungen sind aufgrund der langjährigen intensiven Flächennutzung im Starnberger Stadtgebiet weit verbreitet. Insbesondere durch Bautätigkeiten wurden oberflächennahe Bodenschichten aus dem natürlichen Verband entnommen, bewegt und teilweise durch Fremdmaterial ersetzt. Gemäß den Aufschlussergebnissen wurden im Untersuchungsgebiet Auffüllungen bis in maximal ca. 6,5 m Tiefe unter GOK erkundet. Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auffüllungen können kleinräumig stark variieren. Es lassen sich grob zwei Ausbildungstypen unterscheiden:

- nichtbindige Auffüllungen ($A_{G/S}$): Sie sind im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitet und bestehen im Regelfall aus Quartärkies, der im Zusammenhang mit Profilierungsarbeiten (Geländeaufrhöhungen bzw. Verfüllung von Gruben) in unterschiedlichem Ausmaß mit Oberboden (teils mit organischen Beimengungen) und künstlichen Beimengungen (Beton-, Ziegel-, Holz-, Metall-, Asphaltreste) vermengt ist. Die nichtbindigen Auffüllungen $A_{G/S}$ weisen häufig oberflächennah eine mittlere bis hohe Lagerungsdichte auf, insbesondere wenn sie durch Verkehr oder andere Einflüsse an der Oberfläche verdichtet wurden. Mit zunehmender Tiefe (ab 0,5 m bis 1,0 m unter GOK) nimmt die Lagerungsdichte meist deutlich ab.
- bindige Auffüllungen ($A_{T/U}$): In geringerem Umfang wurden feinkörnige Auffüllungen angetroffen. Sie setzen sich aus Tonen und/oder Schluffen mit variablen Anteilen an Kies, Sand und künstlichen Beimengungen (s.o.) zusammen. Der natürliche Hauptbestandteil feinkörniger Auffüllungen stammt häufig aus Oberboden, bindigem quartären Moränenmaterial sowie untergeordnet aus feinkörnigen Tertiärschichten. Dementsprechend können bindige Auffüllungen organische Beimengungen enthalten. Die bindigen Auffüllungen mit stark unterschiedlichem Feinkornanteil liegen überwiegend in weicher, bereichsweise in steifer und vereinzelt in halbfester Konsistenz vor. Im Bereich von Staunässen können die obersten Zentimeter der Schicht eine breiige Konsistenz aufweisen. Abhängig von der Entstehungsgeschichte können in den bindigen Auffüllungen nichtbindige Zwischenschichten auftreten.

6.1.4 Nichtbindige Moräne

Die nichtbindige Moräne wurde über die gesamte Strecke in beinahe allen Bohrungen erkundet. Die Mächtigkeit und die Höhenlage der nichtbindigen Moräne schwankt entstehungsbedingt stark.

Die im Untersuchungsgebiet angetroffene nichtbindige Moräne lagerte sich am Eisrand ab (Seiten- und Endmoränen) oder blieb beim Abschmelzen des Eises am Grund zurück (Grundmoräne). Aufgrund des Transports im Eis können in Moränenböden grundsätzlich alle Kornfraktionen enthalten sein. Bei der



nichtbindigen Moräne handelt es sich um Ablagerungen mit geringem Feinkornanteil bzw. mit in unterschiedlichem Maße ausgewaschenem Feinkornanteil, so dass ihre Eigenschaften vom Grobkorn bestimmt werden.

Bodenmechanisch wird die nichtbindige Moräne überwiegend als schwach schluffige bis schluffige, sandige Kiese klassifiziert. Entsprechend den Ablagerungsbedingungen wechseln sich unterschiedlich stark sandige und unterschiedlich stark schluffige Lagen mit fast sand- und schlufffreien Lagen ab.

Bautechnisch von Bedeutung sind sand- und feinkornfreie Kieslagen (Rollkiese), die insbesondere die Standsicherheit der Ortsbrust mindern können. Aufgrund von Vermischungsvorgängen beim Bohren sind Rollkieslagen anhand der Bohrprofile schwer zu lokalisieren und zu quantifizieren. Sie können an Stellen gehäuft vermutet werden, an denen die Bohrprofile "schwach sandige Kiese" oder evtl. "schwach schluffige Kiese" anzeigen, doch ist ihr Auftreten an keiner Stelle auszuschließen.

Steine und Blöcke (größer 63 mm bzw. 200 mm Korndurchmesser) sind in der nichtbindigen Moräne häufig erkundet worden. Bildungsbedingt ist in Moränenboden grundsätzlich mit Steinen und Blöcken unbestimmter Größe zu rechnen. Weiterhin wurde in mehreren Bohrungen eine Verfestigung der nichtbindigen Moräne zu Konglomerat (Nagelfluh) angetroffen.

Vereinzelt können in der nichtbindigen Moräne auch Sand- oder Schlufflinsen in unterschiedlicher Mächtigkeit eingelagert sein. Da sie im Untersuchungsgebiet nur lokal mit geringen Mächtigkeiten angetroffen wurden, wird ihnen insgesamt eine untergeordnete Bedeutung beigemessen. Weiterhin treten im Übergangsbereich zum Tertiär teilweise in der Quartärzeit umgelagerte tertiäre Sande, Schluffe oder Tone auf, die dann mit der Moräne vermischt sind. Entsprechend ihrer unterschiedlichen Zusammensetzungen weist die nichtbindige Moräne auch kleinräumig stark unterschiedliche Eigenschaften auf.

6.1.5 Bindige Moräne

Die bindige Moräne ist über die gesamte Strecke in einem Großteil der Bohrungen erkundet worden. Die Mächtigkeit und die Höhenlage der bindigen Moräne schwankt bildungsbedingt stark.

Gegenüber der nichtbindigen Moräne ist für die bindige Moräne eine Matrix aus Ton und untergeordnet Schluff charakteristisch, in die in unterschiedlichem Ausmaß Grobkorn eingelagert ist. Im Untersuchungsgebiet handelt es sich überwiegend um kiesige bis stark kiesige, sandige Tone.

Steine und Blöcke (größer 63 mm bzw. 200 mm Korndurchmesser) sind in der bindigen Moräne häufig erkundet worden. Bildungsbedingt ist in Moränenboden grundsätzlich mit Steinen und Blöcken unbestimmter Größe zu rechnen.

Weiterhin treten im Übergangsbereich zum Tertiär teilweise in der Quartärzeit umgelagerte tertiäre Sande, Schluffe oder Tone auf, die dann mit der Moräne vermischt sind. Entsprechend ihrer unterschiedlichen Zusammensetzungen weist die bindige Moräne auch kleinräumig unterschiedliche Eigenschaften auf.



6.1.6 Fluvial abgelagerte Kiese

Fluvial abgelagerte Kiese wurden nur in begrenzten Abschnitten des Tunnels Starnberg und zwar von ca. Bau-km 0+350 bis Bau-km 0+850, von ca. Bau-km 1+300 bis Bau-km 1+450 und ab ca. Bau-km 1+850 bis zum nördlichen Tunnelende erbohrt.

Die fluvial abgelagerten Kiese im Untersuchungsgebiet wurden von einem verzweigten und sich laufend ändernden Netz aus Schmelzwasserströmen transportiert und geschüttet. Entsprechend der variablen Fließgeschwindigkeiten im Ablagerungsraum wechseln sich bei diesen Kiesen unterschiedlich stark sandige, unterschiedlich stark schluffige Lagen mit fast sand- und schlufffreien Lagen ab. Überwiegend handelt es sich um schwach schluffige bis schluffige, sandige Kiese. Die Feinschichtung kommt in den Bohrprofilen nicht deutlich zum Ausdruck, da technisch bedingt beim Bohrvorgang eine begrenzte Vermischung der Bodenschichten stattfindet.

Bautechnisch von Bedeutung sind sand- und feinkornfreie Kieslagen (Rollkiese), die insbesondere auf die Standsicherheit der Ortsbrust einen negativen Einfluss haben. Aufgrund von Vermischungsvorgängen beim Bohren sind Rollkieslagen anhand der Bohrprofile meist weder genau quantifizierbar noch genau lokalisierbar. Sie können dort gehäuft vermutet werden, wo die Bohrprofile „schwach sandige Kiese“ oder evtl. „schwach schluffige Kiese“ anzeigen, doch ist ihr Auftreten an keiner Stelle auszuschließen.

Steine größer 63 mm Korndurchmesser sind in den untersuchten Kiesen bereichsweise enthalten. Blöcke mit mehr als 200 mm Korndurchmesser sind erfahrungsgemäß nur sehr vereinzelt anzutreffen. Verfestigungen in den fluvial abgelagerten Kiesen zu Konglomerat (Nagelfluh) sind in Starnberg insbesondere im südlichen Trassenbereich häufig anzutreffen. Mit lokalem Auftreten von verfestigtem Kies muss jedoch auch in anderen Bereichen gerechnet werden.

Vereinzelt können in den fluvial abgelagerten Kiesen auch Sand- oder Schlufflinsen in unterschiedlicher Mächtigkeit eingelagert sein. Da sie im Untersuchungsgebiet nur lokal mit geringen Mächtigkeiten angetroffen wurden, wird ihnen insgesamt eine untergeordnete Bedeutung beigemessen. Entsprechend der unterschiedlichen Zusammensetzung weisen die einzelnen Kiesschichten auch kleinräumig unterschiedliche Eigenschaften auf.

6.1.7 Fluvial abgelagerte Sande mit Tonzwischenschichten

Fluvial abgelagerte Sande wurden nur in begrenzten Abschnitten des Tunnels Starnberg und zwar von ca. Bau-km 0+470 bis Bau-km 0+930 und ab ca. Bau-km 2+200 bis zum nördlichen Tunnelende erbohrt.

Die fluvial abgelagerten Sande wurden, wie die fluvial abgelagerten Kiese, durch Schmelzwasserströme transportiert und geschüttet. Die durch die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten auftretende Feinschichtung kommt in den Bohrprofilen nicht deutlich zum Ausdruck, da technisch bedingt beim Bohrvorgang eine begrenzte Vermischung der Bodenschichten stattfindet. Es handelt sich überwiegend um schluffige, teilweise auch kiesige Sande im Wechsel mit dünnen Schichten aus sandigem Ton oder Schluff.

Gleichkörnige, fluvial abgelagerte Sande neigen bereits bei geringem Wasserzutritt bzw. hydraulischem Gefälle, z.B. in der Nähe von Brunnen, Bohrungen unter dem Grundwasserspiegel, vertikalem Anschnitt bei nicht vollständiger Entwässerung etc. im Zusammenhang mit einer freien Oberfläche zum Fließen („Fließsande“). Beispielsweise ist es mit großer Wahrscheinlichkeit bei Bohrung GWM 427 bei geringem Druckwasserspiegel zu einem Sohlaufbruch und einem Einfließen der Sande in das Bohrloch gekommen.



Weiterhin sind die fluviatilen Sande stark erosionsempfindlich und verhalten sich bei höheren Feinkornanteilen auch stark wasserempfindlich. Sie können an der Oberfläche bei dynamischer Beanspruchung und Wasserzutritt von einem dichten Zustand in einen fließenden Zustand übergehen und sind dann als Erdbaustoff oder für eine Lastabtragung ungeeignet.

6.1.8 Seeton

Eingelagert in die Moräne wurden Seetone von ca. Bau-km 0+950 bis Bau-km 1+100 und von ca. Bau-km 1+450 bis Bau-km 1+700 angetroffen. Ab ca. Bau-km 2+000 bis zum südlichen Tunnelende wurden Seetone erbohrt, die in erster Linie von fluviatilen Ablagerungen überdeckt werden. Bei den Seetonen ab ca. Bau-km 2+000 wird zwischen Seeton Schicht A und Seeton Schicht B unterschieden. Entsprechend ihres Entstehungsalters weisen die Seetonschichten unterschiedliche Dichten, Steifigkeiten und Scherfestigkeiten auf.

Bei den Seetonen handelt es sich überwiegend um aus der Moräne ausgewaschenes Feinkorn, welches in weitgehend unbewegtem Wasser sedimentierte. Charakteristisch für alle Seetone ist eine Wechsellagerung von Feinsanden mit Tonen bzw. Schluffen im Millimeter- bis Zentimeterbereich.

Seetone wurden entlang der Trasse in mehreren Bereichen angetroffen, wobei anhand der Bildungszeiträume eine Unterscheidung getroffen werden kann. Unter dem Almeida- und Schlossberg sind die Seetone in Moränenboden eingelagert, woraus geschlossen werden kann, dass sie vor der letzten Eiszeit entstanden sind und damit vom Eis und den Moränen der letzten Eiszeit überlagert wurden. Aufgrund der Überlagerung und der längeren Liegedauer weisen diese Seetone eine weiche bis halb feste Konsistenz auf. Im nördlichen Tunnelabschnitt wurden Seetone erbohrt, die sich vermutlich während oder am Ende der letzten Eiszeit gebildet haben und anschließend mehrere Meter von den Sedimenten der Schmelzwasserströme (fluviatil abgelagerte Kiese und Sande) überlagert wurden. Die Konsistenz dieser Seetone ist überwiegend weich bis steif, zum Teil breiig.

Die Seetone im Untersuchungsgebiet sind in der Regel als feinsandige Tone anzusprechen. Vereinzelt findet sich in den Seetonen auch Kieskorn. Hierbei handelt es sich vermutlich um Bodenmaterial, welches von auf dem Wasser treibenden Eisresten des Gletschers stammt (so genannte „dropstones“).

Insgesamt weisen die im Trassenbereich angetroffenen Seetone aufgrund der vorhandenen Überlagerung keine derart ungünstigen Baugrundeigenschaften auf, wie sie aus Bereichen Starnbergs in unmittelbarer Seenähe bekannt sind. Beispielsweise wurden bei einem Bauvorhaben nahe des Starnberger Bahnhofs bei Bohrlochrammsondierungen Schlagzahlen N30 von im Mittel weniger als 10 Schlägen erreicht. Demgegenüber liegen bei den im nördlichen Tunnelbereich durchgeführten Bohrlochrammsondierungen die Schlagzahlen N30 in den meisten Fällen über 20 und erreichen vereinzelt Werte von über 50.

Es ist zu beachten, dass die Durchlässigkeit durch die eingelagerten Feinsandschichten in horizontaler Richtung höher ist als in vertikaler Richtung, was beispielsweise beim Nachweis der Auftriebssicherheit von Baugrubensohlen im Grundwasser zu berücksichtigen ist.



6.1.9 Konglomerat

Nagelfluh wurde entlang der Trasse des Tunnels Starnberg in zwei Bereichen, von ca. Bau-km 0+250 bis Bau-km 0+700 und bei ca. Bau-km 1+800 erbohrt. Hinsichtlich des Vorkommens von Nagelfluh wird auch auf die geologische Oberflächenaufnahme im Trassenbereich in [U8] verwiesen.

Nagelfluh wurde entlang der Trasse eingelagert in fluviatil abgelagerten Kiesen und in nicht bindiger Moräne angetroffen. Es handelt sich dabei um Kiese, die wahrscheinlich durch Kalk verkittet sind. Die Festigkeit dieser Verkittung ist nicht gleichmäßig verteilt, sondern es können sich Schichten mit hoher und Schichten mit geringer Festigkeit abwechseln.

Grundsätzlich können örtlich begrenzte Verfestigungen zu Nagelfluh in den genannten Bodenschichten entlang der gesamten Trasse auftreten. Etwa zwischen Bau-km 0+250 und Bau-km 0+700 ist gemäß den Erkundungsergebnissen mit mehrere Meter mächtigen Nagelfluhbänken im Querschnitts- und Firstbereich des Tunnels zu rechnen.

6.1.10 Tertiäre Tone, Schluffe und Sande sowie Ton-, Schluff- und Sandsteine

Die tertiären Tone und Schluffe wurden von ca. Bau-km 0+250 bis ca. Bau-km 1+950 erbohrt. Weiter im Norden tauchen sie in eine Tiefe ab, die mit den durchgeführten Bohrungen nicht mehr erreicht wurde.

Die tertiären Schichten wurden im späten Tertiär im Ablagerungsraum der Oberen Süßwassermolasse abgelagert. Aufgrund von fortwährenden Sedimentations- und Erosionsprozessen in diesem Ablagerungsraum treten in den tertiären Bodenschichten engräumige Wechsel von Schluffen und Tonen sowie Sanden auf. Da die Überlagerung der tertiären Sedimente wie in Abschnitt 4.1 erläutert ehemals größer war als heutzutage, sind die tertiären Bodenschichten überkonsolidiert.

Bei den feinkörnigen tertiären Bodenschichten handelt es sich überwiegend um leicht plastische bis ausgeprägt plastische Tone oder schluffige Tone mit wechselndem Sandanteil. Häufig sind diese Böden auch zu Tonstein verfestigt. Selten treten tonige Schluffe oder Schluffe mit wechselndem Sandanteil (meist Fein- bis Mittelsand) bzw. die entsprechend verfestigten Schluffsteine auf. Die feinkörnigen Tertiärschichten besitzen überwiegend eine halb feste oder feste Konsistenz bzw. sind zu Tonstein verfestigt. Im unmittelbaren Übergang zu quartären Bodenschichten und zu tertiären Sanden treten in dünnen Lagen auch weiche und steife Konsistenzen auf.

Die nicht verfestigten Tone/Schluffe können einen hohen Anteil an Konkretionen aufweisen. Diese Kalkausfällungen innerhalb der Tone und Schluffe liegen im Bohrgut meist in Kies Korngröße vor und beeinflussen somit die Festigkeit nicht wesentlich. Neben festen Tonen mit hohem Kalkanteil bzw. Kalkausfällungen (Konkretionen) treten in den Bohrungen karbonatisch verfestigte Tone und Schluffe auf, die in den Bohrungen als Tonstein, Schluffstein oder allgemein als Mergelstein angesprochen wurden. Die beschriebenen Festgesteine weisen erfahrungsgemäß einaxiale Druckfestigkeiten von über 5 MN/m² auf. Der Übergang von halbfest bis festen tertiären Tonen zu Tonstein ist fließend und lässt sich nicht eindeutig festlegen.

Sowohl die festen Tone als auch die Ton- und Schluffsteine verhalten sich im Allgemeinen bei Trocknung und Wiederbefeuchtung, Frosteinwirkung oder mechanischer Beanspruchung veränderlich fest, d.h. sie verlieren an Festigkeit und Steifigkeit. Ausgehend vom bergfeuchten Zustand führt kurzfristige Wassereinwirkung jedoch nur zu einer vergleichsweise geringen Entfestigung des Materials.



Insbesondere die ausgeprägt plastischen Tone und teils auch die mittelplastischen Tone sind, sofern sie keine Konkretionen aufweisen, teilweise bröckelig und von Press- und Gleitflächen durchzogen. Örtlich treten auch hochdurchtrennende, durch den ganzen Bohrkern verlaufende Harnischflächen auf. Der größere Anteil der Tone ist jedoch frei von Harnischflächen und Klüften.

In den feinkörnigen Tertiärschichten sind Einlagerungen weitgehend horizontal verlaufender, wasser-durchlässiger und druckwasserführender Sandschichten und -linsen vorhanden und können dort erfahrungsgemäß kleinräumig wechselnd an beliebiger Stelle auftreten. Insgesamt ist die Auftretenshäufigkeit und Schichtmächtigkeit der tertiären Sande eher gering.

Die tertiären Sande stehen überwiegend als schwach bis stark schluffige oder tonige Fein- oder Fein- bis Mittelsande an. Sehr häufig und insbesondere im Bereich der Pannenbucht 3 und 4 sind die Sande auch zu Sandstein verfestigt. Weiterhin treten in den tertiären Sanden häufiger Feinkornlagen auf. Im ungestörten Zustand weisen die tertiären Sande eine dichte bis sehr dichte Lagerung auf.

Die nicht verfestigten, gleichkörnigen Sande mit geringem Feinkornanteil neigen bereits bei geringem Wasserzutritt bzw. hydraulischem Gefälle, z.B. in der Nähe von Brunnen, Bohrungen unter dem Grundwasserspiegel, vertikalem Anschnitt bei nicht vollständiger Entwässerung etc. im Zusammenhang mit einer freien Oberfläche zum Fließen („Fließe-sande“). Sie sind stark erosionsempfindlich und verhalten sich bei höheren Feinkornanteilen auch stark wasserempfindlich. Sie können an der Oberfläche bei dynamischer Beanspruchung und Wasserzutritt von einem dichten Zustand in einen fließenden Zustand übergehen und sind dann als Erdbaustoff oder für eine Lastabtragung ungeeignet. Allerdings sind die tertiären Sande im Bereich des Tunnel Starnberg überwiegend verfestigt.

In der hier angegebenen Bodenschicht wurden die Locker- und Festgesteine zusammengefasst, da die Sande und Festgesteine keine durchgängige Schicht bilden. Die Sande/Sandsteine treten vergleichsweise selten auf und der Übergang von den Tonen/Schluffen zu den Tonsteinen ist fließend. Der fließende Übergang zeigt sich auch daran, dass bei der Bodenansprache neben den Bezeichnungen Tone/Schluffe und Tonsteinen sehr häufig auch die Bezeichnung verfestigte Tone gewählt wurde, was bedeutet, dass die Bohrkern nicht eindeutig den Tonen oder den Tonsteinen zugeordnet werden konnten.

6.2 Geotechnische Streckenabschnitte

6.2.1 Übersicht über die Streckenabschnitte des Tunnels Starnberg

Gemäß der bautechnischen Untergliederung der Strecke und unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse wurden in [U9] insgesamt 9 Streckenabschnitte gebildet. Diese sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Die beiden Abschnitte von Bau-km 0 bis Bau-km 0+225 sowie von Bau-km 2+405 bis Bau-km 3+125, bei denen es sich um reine Straßenbauabschnitte handeln, werden im Weiteren nicht behandelt und sind deshalb auch in der Tabelle nicht aufgeführt.

Tabelle 8: Zusammenstellung der Streckenabschnitte

Nr.	Streckenabschnittabschnitt [Bau-km]	Streckenverlauf / Bauwerke
1	0+225 - 0+486	Rampenbauwerk und offene Bauweise Süd
2	0+486 - 0+815	Bergmännischer Vortrieb, Notausstieg 1
3	0+815 - 0+975	Bergmännischer Vortrieb, Pannenbucht 1 und 2
4	0+975 - 1+350	Bergmännischer Vortrieb, Notausstiege 2 und 3



Nr.	Streckenabschnittabschnitt [Bau-km]	Streckenverlauf / Bauwerke
5	1+350 - 1+850	Bergmännischer Vortrieb, Pannenbuchten 3 und 4, Notausstiege 4 und 5, Lüfterbauwerk
6	1+850 - 2+025	Bergmännischer Vortrieb
7	2+025 - 2+100	Bergmännischer Vortrieb, Notausstieg 6
8	2+100 - 2+213	Bergmännischer Vortrieb
9	2+213 - 2+405	Offene Bauweise Nord und Rampenbauwerk Nord

In [U9] wurden die Baugrundverhältnisse in den einzelnen Streckenabschnitten basierend auf den vorliegenden Erkundungsergebnissen beschrieben. Aus Vollständigkeitsgründen und zum besseren Verständnis des vorliegenden Gutachtens werden die Beschreibungen in den folgenden Abschnitten 6.2.2 bis 6.2.10 nochmals wiederholt.

Wie bereits in [U9] erläutert, wird nochmals darauf hingewiesen, dass aufgrund der im Starnberger Raum bekannten engräumigen horizontalen und vertikalen Wechsel der Untergrundverhältnisse in den quartären und tertiären Schichten eine Prognose zu den Baugrundverhältnissen zwischen den Aufschlussbohrungen mit entsprechenden Unsicherheiten verbunden ist.

6.2.2 Streckenabschnitt 1: Bau-km 0+225 bis Bau-km 0+486

Der Streckenabschnitt 1 umfasst das südliche Rampenbauwerk, den sich anschließenden Tunnelabschnitt in offener Bauweise sowie Düker 1.

In Tabelle 9 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 1 liegenden Aufschlussergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 9: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 1

Topographie	ebenes Gelände, Trasse verläuft unter der Bundesstraße 2.
Lage der Gradienten	ab GOK im Süden bis 10,5 m unter GOK im Norden.
Angeschnittener Aquifer	Quartäraquifer Q ₁
Relevante Bohrungen	B 401; B 302; GWM 303; B 304; B 134; GWM 307
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auffüllungen gemäß Bohrerergebnis	bis zu 1,80 m, sowohl mit Kies als auch mit Schluff als Hauptbodenanteil, teilweise Asphaltreste.
Zusammensetzung der quartären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	nichtbindige Moräne im Wechsel mit bindiger Moräne. Nichtbindige Moräne kann lagenweise (< 1 m) zu Nagelfluh verfestigt sein. Am nördlichen Ende des Abschnitts im Firstbereich fluviale Kiese möglich, welche häufig zu meterdicken Nagelfluhbänken verfestigt sind.
Lagerungsverhältnisse der quartären Bodenschichten	nichtbindige Moräne überwiegend dicht bis sehr dicht, zum Teil mitteldicht gelagert. Bindige Moräne überwiegend von weicher, seltener von steifer, zum Teil von halbfester bis fester Konsistenz. Fluviale Kiese mitteldicht bis dicht, teilweise dicht bis sehr dicht gelagert und z.T. zu Nagelfluh verfestigt.
Grenze Quartär/Tertiär	ca. 16,5 m bis 19,0 m unter GOK.
Zusammensetzung der tertiären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	überwiegend Tone und Schluffe bzw. Ton- und Schluffsteine, teilweise geringmächtige Sandschichten am Übergangsbereich zum Quartär. Im nördlichen Abschnitt eingelagerte Sand- bzw. Sandsteinschichten bis zu ca. 1 m Mächtigkeit. Teilweise sind die tertiären Bodenschichten verfestigt bzw. liegen als Tst vor (GWM 307).



Lagerungsverhältnisse der tertiären Bodenschichten	Tone und Schluffe von überwiegend halbfester bis fester oder fester Konsistenz, z.T. Ton-/Schluffsteine
----------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

6.2.3 Streckenabschnitt 2: Bau-km 0+486 bis Bau-km 0+815

Der Streckenabschnitt 2 umfasst einen Tunnelbereich in geschlossener Bauweise, der sich nördlich an den Streckenabschnitt 1 anschließt, den Notausstieg 1 sowie den Düker 2.

In Tabelle 10 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 2 liegenden Aufschlussergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 10: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 2

Topographie	ebenes Gelände, Trasse verläuft unter der Bundesstraße 2.
Lage der Gradiente	10,5 m unter GOK im Süden bis 24 m unter GOK im Norden.
Angeschnittener Aquifer	Quartäraquifer Q ₁ , Tertiäraquifer
Relevante Bohrungen	GWM 308; GWM 410; GWM 310; B 131; B 111; B 130; B 107
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auffüllungen gemäß Bohrerergebnis	bis zu 3,00 m, sowohl mit Kies als auch mit Schluff als Hauptbodenanteil, teilweise Ziegelreste.
Zusammensetzung der quartären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	Von Süden nach Norden nehmen bis ca. Abschnittsmittle (GWM 404) die fluviatilen Kiese von der Firste bis fast zur Vortriebssohle zu. Im Sohlbereich tertiäre Tone/Schluffe. Fluviatile Kiese sind häufig zu meterdicken Nagelfluhbänken verfestigt. Danach steigt zum Abschnittsende von der Sohle aus der Anteil feinkörnigen Tertiärs bzw. bindiger Moräne im Vortriebsquerschnitt an. Im oberen Querschnittsbereich nichtbindige Moräne, lagenweise Verfestigung zu Nagelfluh möglich. Am Streckenabschnittsende fast ausschließlich bindige Moräne und Tertiär im Querschnittsbereich. In bindiger Moräne Einlagerung von Steinen, Blöcken und nichtbindiger Moräne. Tertiäre Schichten im Ausbruchsquerschnitt überwiegend Tone/Schluffe mit zwischen gelagerten Sand-/Sandsteinschichten. Tertiär z.T. verfestigt bzw. Tst/Sst.
Lagerungsverhältnisse der quartären Bodenschichten	nichtbindige Moräne überwiegend dicht bis sehr dicht, zum Teil mitteldicht gelagert. Bindige Moräne von steifer bis halbfester Konsistenz. Fluviatile Kiese mitteldicht bis dicht, teilweise dicht bis sehr dicht gelagert und häufig zu Nagelfluh verfestigt.
Grenze Quartär/Tertiär	ca. 18,5 m bis 26,5 m unter GOK.
Zusammensetzung der tertiären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	Von Streckenabschnittsmittle nach Norden Zunahme der tertiären Schichten von der Sohle bis ca. Querschnittsmittle im Streckenabschnittsende. Tertiäre Schichten im Ausbruchsquerschnitt überwiegend Tone/Schluffe mit zwischen gelagerten Sand-/Sandsteinschichten. Tertiär z.T. verfestigt bzw. Tst/Sst.
Lagerungsverhältnisse der tertiären Bodenschichten	Tone und Schluffe von überwiegend halbfester bis fester oder fester Konsistenz, teilweise verfestigt.

6.2.4 Streckenabschnitt 3: Bau-km 0+815 bis Bau-km 0+975

Der Streckenabschnitt 3 umfasst einen Tunnelbereich in geschlossener Bauweise. Weiterhin kommen die Pannnbuchten 1 und 2 in diesem Streckenabschnitt zu liegen.

In Tabelle 11 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 3 liegenden Aufschlussergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 11: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 3

Topographie	Gelände steigt an, die Trasse erreicht den Almeidaberg.
-------------	---------------------------------------------------------



Lage der Gradiente	24 m unter GOK im Süden bis 31,5 m unter GOK im Norden.
Angeschnittener Aquifer	ggf. Quartäraquifer Q ₁ bzw. schwebendes Grundwasser.
Relevante Bohrung	B 405; GWM 361; B 313, GWM 406; GWM 315; GWM 436
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auffüllungen gemäß Bohrerergebnis	bis 3,50 m, mit Kies als Hauptbodenanteil.
Zusammensetzung der quartären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	bindige Moräne, seltener Zwischenlagen aus Sanden, nichtbindiger Moräne und Seetonen möglich.
Lagerungsverhältnisse der quartären Bodenschichten	nichtbindige Moräne überwiegend dicht bis sehr dicht, zum Teil mitteldicht gelagert. Bindige Moräne von steifer bis halbfester Konsistenz. Seetone von weicher bis überwiegend steifer Konsistenz.
Grenze Quartär/Tertiär	ca. 22,5 m bis 41 m unter GOK.
Zusammensetzung der tertiären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	zum Teil im Sohlbereich bis in den mittleren Ausbruchsquerschnitt einstreichende tertiäre Tone/Schluffe bzw. Ton-/Schluffsteine mit geringmächtigen Sand-/Sandsteinzwischenschichten. Teilweise sind die tertiären Bodenschichten verfestigt bzw. Tst/Sst.
Lagerungsverhältnisse der tertiären Bodenschichten	Tone und Schluffe von überwiegend halbfester bis fester oder fester Konsistenz

6.2.5 Streckenabschnitt 4: Bau-km 0+975 bis Bau-km 1+350

Der Streckenabschnitt 4 umfasst einen Tunnelbereich in geschlossener Bauweise, die Notausstiege 2 und 3 sowie den Düker 3.

In Tabelle 12 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 4 liegenden Aufschlussergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 12: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 4

Topographie	unebenes Gelände, die Trasse unterquert den Almeidaberg.
Lage der Gradiente	23,5 m unter GOK (Unterfahrung Lindenweg) bis 39 m unter GOK (Unterfahrung Almeidaberg).
Angeschnittener Aquifer	Quartäraquifer Q ₂ , ggf. Tertiäraquifer
Relevante Bohrungen	GWM 408; GWM 314; B 316; GWM 351; GWM 423; GWM 352; B 343; GWM 362; GWM 411; GWM 410; GWM 317; GWM 318; GWM 414; GWM 413; GWM 319; GWM 320; GWM 417; B 429
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auffüllungen gemäß Bohrerergebnis	bis 3,50 m, mit Kies als Hauptbodenanteil, teilweise Ziegelreste.
Zusammensetzung der quartären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	Am Anfang des südlichen Abschnitts Übergang von bindiger zu nichtbindiger Moräne über gesamten Ausbruchsquerschnitt, Einbettung von bindiger Moränelinsen und häufiger geringmächtiger Sandzwischen-schichten. Im weiteren Trassenverlauf von der Sohle zur Firste einstreichende bindige Moräne, z.T. mit geringmächtigen Sand- und Kiesschichten.
Lagerungsverhältnisse der quartären Bodenschichten	nichtbindige Moräne überwiegend dicht bis sehr dicht, zum Teil mitteldicht gelagert. Bindige Moräne von steifer bis halbfester, vereinzelt weicher Konsistenz.
Grenze Quartär/Tertiär	ca. 22,5 m bis 50 m unter GOK.
Zusammensetzung der tertiären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	Zum Streckenabschnittsende hin Einstreichen tertiärer Sande, Tone und Schluffe in der Sohle
Lagerungsverhältnisse der tertiären Bodenschichten	Tone und Schluffe von überwiegend halbfester bis fester oder fester Konsistenz bzw. Ton- und Schluffsteine



6.2.6 Streckenabschnitt 5: Bau-km 1+350 bis Bau-km 1+850

Der Streckenabschnitt 5 umfasst einen Tunnelbereich in geschlossener Bauweise, das Lüftungsbauwerk, die Pannenbuchten 3 und 4 sowie den Notausstieg 4 und den Notausgang 5.

In Tabelle 13 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 5 liegenden Aufschluss-ergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 13: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 5

Topographie	unebenes Gelände, die Trasse unterquert den Schlossberg.
Lage der Gradiente	28 m unter GOK (Unterfahrung Söckinger Str.) bis 56 m unter GOK (Unterfahrung Schlossberg).
Angeschnittener Aquifer	ggf. Quartäraquifer Q ₂ , Tertiäraquifer
Relevante Bohrungen	B 127; GWM 419; GWM 321; B 126; B 344; B 356; B 349; GWM 322; GWM 359; GWM 421; B 323; GWM 345; GWM 324; GWM 326; B 328; GWM 360; GWM 327; B 124, GWM 430 bis GWM 434
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auf-füllungen gemäß Bohrerergebnis	bis 3,10 m, mit Kies als Hauptbodenanteil, teilweise Ziegelreste.
Zusammensetzung der quartären Boden-schichten im Einflussbereich des Tunnels	am südlichen Anfang des Abschnitts überwiegend bindige Moräne mit Steinen und Blöcken. Im Norden im oberen Querschnittsbe-reich teilweise bindige Moräne mit Steinen und Blöcken möglich.
Lagerungsverhältnisse der quartären Boden-schichten	bindige Moräne überwiegend von halbfester Konsistenz. Seetone von überwiegend steifer Konsistenz.
Grenze Quartär/Tertiär	ca. 27 m bis 45,5 m unter GOK.
Zusammensetzung der tertiären Boden-schichten im Einflussbereich des Tunnels	Im südlichen Bereich in der Sohle Tone und Schluffe. Im Norden überwiegend Tone und Schluffe, im oberen Querschnittsbereich im Wechsel mit quartären Schichten möglich. In die Tone und Schluffe können Sandzwischen-schichten eingelagert sein. Die ter-tiären Bodenschichten sind häufig verfestigt.
Lagerungsverhältnisse der tertiären Boden-schichten	Tone und Schluffe von überwiegend halbfester bis fester oder fes-ter Konsistenz, tertiäre Sande verfestigt.

6.2.7 Streckenabschnitt 6: Bau-km 1+850 bis Bau-km 2+025

Der Streckenabschnitt 6 umfasst einen Tunnelbereich in geschlossener Bauweise.

In Tabelle 14 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 6 liegenden Aufschluss-ergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 14: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 6

Topographie	im Süden abfallendes (Unterquerung Schlossberg), im Norden ebenes Gelände.
Lage der Gradiente	36 m unter GOK im Süden bis 22 m unter GOK im Norden.
Angeschnittener Aquifer	Quartäraquifer Q ₂ , Tertiäraquifer
Relevante Bohrungen	GWM 330; GWM 332; B 122
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auf-füllungen gemäß Bohrerergebnis	bis 1,70 m, mit Kies als Hauptbodenanteil.
Zusammensetzung der quartären Boden-schichten im Einflussbereich des Tunnels	Vom südlichen Abschnittsrand an steigt der Anteil an nichtbindi-ger Moräne an und bedeckt bei Bohrung B 122 den gesamten Querschnitt. Zwischenlagen aus Sand und bindiger Moräne mög-lich.
Lagerungsverhältnisse der quartären Boden-schichten	nichtbindige Moräne mit dichter bis sehr dichter, zum Teil mittel-dichter Lagerung. Untergeordnet bindige Moräne in weicher bis steifer Konsistenz.



Grenze Quartär/Tertiär	ca. 27,5 m unter GOK bis in unbekannte Tiefe (nicht mehr erbohrt).
Zusammensetzung der tertiären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	Tone und Schluffe, die am südlichen Abschnittsrand fast den gesamten Querschnitt überdecken, fallen nach Norden steil ab. Die tertiären Bodenschichten sind teilweise verfestigt.
Lagerungsverhältnisse der tertiären Bodenschichten	Tone und Schluffe von überwiegend halbfester bis fester oder fester Konsistenz

6.2.8 Streckenabschnitt 7: Bau-km 2+025 bis Bau-km 2+100

Der Streckenabschnitt 7 umfasst einen Tunnelbereich in geschlossener Bauweise sowie den Notausstieg 6.

In Tabelle 15 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 7 liegenden Aufschlussresultate zusammengestellt.

Tabelle 15: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 7

Topographie	ebenes Gelände
Lage der Gradiente	22 m unter GOK im Süden bis 18 m unter GOK im Norden.
Angeschnittener Aquifer	Quartäraquifer Q ₂
Relevante Bohrungen	GWM 350; B 121; B 120
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auffüllungen gemäß Bohrerergebnis	bis 1,40 m, mit Kies als Hauptbodenanteil, teilweise Ziegelreste.
Zusammensetzung der quartären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	Über den gesamten Streckenabschnitt überwiegend bindige Schichten aus bindiger Moräne und Seetonen. Im südlichen Abschnittsbereich auch nichtbindige Moräneschichten/Sandschichten möglich.
Lagerungsverhältnisse der quartären Bodenschichten	nichtbindige Moräne mit dichter bis sehr dichter, zum Teil auch mitteldichter Lagerung. Bindige Moräne von weicher bis halbfester Konsistenz. Seetone von weicher bis steifer Konsistenz.

6.2.9 Streckenabschnitt 8: Bau-km 2+100 bis Bau-km 2+213

Der Streckenabschnitt 8 umfasst einen Tunnelbereich in geschlossener Bauweise.

In Tabelle 16 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 8 liegenden Aufschlussresultate zusammengestellt.

Tabelle 16: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 8

Topographie	ebenes Gelände, Trasse verläuft unter Bundesstraße 2.
Lage der Gradiente	18 m unter GOK im Süden bis 13 m unter GOK im Norden.
Angeschnittener Aquifer	Quartäraquifer Q ₃
Relevante Bohrungen	GWM 334; B 335; B 102; GWM 424
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auffüllungen gemäß Bohrerergebnis	bis zu 2,50 m, sowohl mit Kies als auch mit Schluff als Hauptbodenanteil, teilweise Ziegelreste.
Zusammensetzung der quartären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	rascher Übergang von Seetonen und bindiger Moräne zu fluviatilen Kiesen, eventuell mit Rollkieslagen. In Strosse und Sohle bindige Moräne und Seeton möglich.
Lagerungsverhältnisse der quartären Bodenschichten	fluviatile Kiese mit mitteldichter bis dichter, teilweise dichter bis sehr dichter Lagerung. Bindige Moräne von steifer bis halbfester, vereinzelt weicher Konsistenz. Seetone von weicher bis steifer Konsistenz.



6.2.10 Streckenabschnitt 9: Bau-km 2+213 bis Bau-km 2+405

Der Streckenabschnitt 9 umfasst einen Tunnelbereich in offener Bauweise, der sich an den Streckenabschnitt 8 anschließt, das nördliche Rampenbauwerk sowie die Düker 4 und 5.

In Tabelle 17 sind die wichtigsten Angaben und Koten der im Streckenabschnitt 9 liegenden Aufschlussergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 17: Übersicht und geologische Verhältnisse, Streckenabschnitt 9

Topographie	ebenes Gelände, Trasse verläuft unter Bundesstraße 2.
Lage der Gradiente	11 m u. GOK im Süden bis GOK.
Angeschnittener Aquifer	Quartäraquifer Q ₃
Relevante Bohrungen	GWM 422; GWM 337; GWM 336, GWM 427; B 346, B 101, GWM 338
Mächtigkeit und Zusammensetzung der Auffüllungen gemäß Bohrerergebnis	bis zu 2,80 m, sowohl mit Kies als auch mit Schluff als Hauptbodenanteil, teilweise Ziegelreste.
Zusammensetzung der quartären Bodenschichten im Einflussbereich des Tunnels	Im Aushubbereich unter Auffüllungen überwiegend fluviatile Sande und Kiese. Zur Sohle hin zunehmend Seetone.
Lagerungsverhältnisse der quartären Bodenschichten	Auffüllungen locker bis mitteldicht gelagert. Fluviatile Sande und Kiese mitteldicht bis z.T. dicht. Seetone breiig bis steif

7 HYDROLOGIE UND HYDROGEOLOGIE

7.1 Oberflächengewässer

Der Tunnel Starnberg unterquert bei ca. Bau-km 1+965 den in diesem Bereich unterirdisch verlaufenden Georgenbach mit einer Überdeckung von ca. 13,0 m. Der Georgenbach fließt dort in einer Betonrinne, die als weitgehend dicht angenommen werden kann, da Grundwassermessstellen in unmittelbarer Umgebung gegenüber dem Bachwasserspiegel niedrigere Wasserstände anzeigen. Gemäß dem Planfeststellungsbeschluss ist für diesen Bereich eine Beweissicherung der Betonrinne vorgesehen. Weitere Oberflächengewässer werden nicht unterfahren.

Allerdings befindet sich von ca. Bau-km 0+600 bis 0+900 etwa 150 m nordwestlich des Tunnels das Institut für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Die dortigen Fischzuchtbecken werden von sieben Quellen gespeist. Der Abfluss aus den Fischzuchtbecken erfolgt über den Siebenquellenbach, der in den Georgenbach mündet. Südlich der Fischzucht und ca. 50 m nördlich bis nordwestlich der Bundesstraße B 2 befindet sich das Quellgebiet des Siebenquellenbachs, welches als Biotop klassifiziert ist.

Der Georgenbach mündet in den Starnberger See, dessen Ufer südöstlich der Trasse mit einem minimalen Abstand von etwa 300 m verläuft und der ein FFH-Gebiet darstellt. Für den Starnberger See wird vom Bayerischen Landesamt für Umwelt [U25] ein mittlerer Seepiegel von 584,25 müNN angegeben. Der höchste bzw. niedrigste gemessene Wasserstand beträgt 585,12 müNN bzw. 583,82 müNN (Messreihe 1908 bis 2016).

7.2 Niederschlagsituation und Bemessungsniederschlag

Die jährlichen Niederschläge belaufen sich für die Station Starnberg des Deutschen Wetterdienstes auf ca. 1.136 mm [U26].



Die aus KOSTRA-DWD-2010 [U27] entnommene Regenspende für den 15-minütigen Starkregen mit 5-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit kann mit $r_{15(0,2)} = 223 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ angegeben werden. Zusammen mit dem für die Bemessung von gering geneigten, befestigten Dach- und Freiflächen üblicherweise herangezogenen Abflussbeiwert $\psi = 0,9$ ergibt sich der zugehörige maximale Abfluss zu $Q_{r15(0,2)} = 201 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$.

7.3 Wasserschutzgebiete

Etwa 300 m nordwestlich des südlichen Rampenbauwerks (Bau-km 0+225) liegt die Grenze eines Wasserschutzgebiets - Zone III. Wasserschutzgebiete der Zone II und I folgen in einem Abstand von etwa 500 m bzw. 675 m zum Rampenbauwerk (siehe [U10]).

Gemäß [U10] ist aufgrund der ermittelten Fließrichtungen im Bauwerksbereich, die zwischen Norden, Osten und Süden liegen, eine Beeinflussung der Wasserschutzgebiete durch den Tunnel Starnberg nicht zu erwarten.

7.4 Grundwasserverhältnisse

7.4.1 Grundwasserverhältnisse entlang des Tunnels

7.4.1.1 Allgemeines

Die Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet sind aufgrund der sehr heterogenen geologischen Verhältnisse sehr komplex. Um sie in ausreichendem Tiefgang beschreiben zu können, wurde auch abseits des Tunnelbauwerks ein dichtes Grundwassermessstellennetz angelegt. Zudem wurden zu zwei der drei vorliegenden Grundwasserabschnitte sehr umfangreiche dreidimensionale Grundwasserströmungsberechnungen mit und ohne Berücksichtigung der neuen Bauwerke durchgeführt. Die daraus abgeleiteten Grundwasserverhältnisse sind ausführlich in den Hydrogeologischen Berichten, Teil 1 [U10] (siehe Anlage 13.1) und Teil 2 [U12] (siehe Anlage 13.2), beschrieben und werden im Folgenden zum besseren Verständnis nochmals wiedergegeben.

Nachfolgend werden anhand der Bohrungen und Feldversuche die Grundwasserverhältnisse allgemein mit einem Grundwassermodell beschrieben. Dieses Grundwassermodell besitzt aus nachfolgenden Gründen gewisse Unschärfen:

- Die Grundwasserverhältnisse beim Tunnel Starnberg sind sehr komplex. Dies ergibt sich aus der extremen Heterogenität des Untergrunds sowie der Wechselhaftigkeit der Topographie.
- Es liegen mehrheitlich Bohrungen entlang des Tunnels vor, die Grundwasserströmung verläuft teilweise jedoch auch senkrecht zum Tunnel.
- Aufgrund der geologischen Entstehung des Baugrunds ist zu erwarten, dass die durchlässigen Schichten nicht homogen durchflossen werden, sondern dass es Bereiche gibt, die bevorzugt und mit entsprechend größerer Fließgeschwindigkeit bzw. Wassermenge durchflossen werden. Derartig bevorzugt durchflossene Bereiche besitzen keine einheitliche Strömungsrichtung und können sich verzweigen und wieder zusammenlaufen.

Dem Grundwassermodell liegt jedoch eine Vielzahl von Informationen zugrunde, so dass trotz der heterogenen Verhältnisse insgesamt eine fundierte Aussage hinsichtlich der hydrogeologischen Verhältnisse getroffen werden kann.



7.4.1.2 Verteilung der Grundwasseraquifere und Grundwasserhemmer

Nach der Auswertung der Ergebnisse des 3. und 4. Erkundungsprogramms ist in den quartären durchlässigen Schichten entlang der Tunneltrasse keine einheitliche Grundwasseroberfläche vorhanden, sondern es gibt drei nachfolgend als Grundwasserabschnitte GWA₁ bis GWA₃ bezeichnete Bereiche, die durch vertikale oder schräge Barrieren voneinander getrennt sind. Diese Barrieren befinden sich südlich von Notausstieg 2 sowie nördlich der Hanfelder Straße. Die Grundwasserabschnitte zwischen diesen Barrieren zeigen zum Teil deutlich unterschiedliche Grundwasserniveaus, wobei teilweise ein Gefälle von Süden nach Nordwesten und teilweise in Richtung Starnberger See, also nach Osten, vorhanden ist. Die Fließrichtung wechselt also zwischen den Grundwasserabschnitten, ist aber auch innerhalb der Grundwasserabschnitte nicht einheitlich. Sie ist nicht zwangsläufig mit dem Verlauf der Geländeoberfläche identisch.

Zusätzlich liegen horizontale Barrieren aus bindigen Böden vor, so dass sich auch in unterschiedlicher Tiefe verschiedene Aquifere mit unterschiedlichen Druckhöhen ausgebildet haben.

In vertikaler Richtung sind je nach Grundwasserabschnitt bis zu drei Aquifere zu unterscheiden:

Schichtwasseraquifer:

In verschiedenen Aufschlüssen wurde Grundwasser über grundwasserstauenden Schichten in sehr unterschiedlicher Höhenlage (siehe Anlage 2 zu [U10]) angetroffen. Aufgrund der geologischen Randbedingungen und der Ergebnisse von Durchlässigkeitsversuchen wurde dieses Grundwasser als in Linsen eingeschlossenes Grundwasser oder Schichtwasser – sogenanntes „schwebendes Grundwasser“ – eingestuft. Die Mächtigkeit und die Ergiebigkeit dieser Aquifere ist mit großer Wahrscheinlichkeit gering. Unter den stauenden Schichten dieser Aquifere folgen teils Kiese, die nicht grundwasserführend sind bzw. einen freien Grundwasserspiegel aufweisen (z.B. GWM 314, GWM 351).

Quartäraquifer (quartärer Hauptgrundwasserleiter):

In durchlässigen Moränekiesen oder fluviatil abgelagerten Kiesen und seltener auch Sanden haben sich – getrennt durch die oben beschriebenen bindigen Barrieren – drei quartäre Hauptgrundwasserleiter ausgebildet, die jeweils eine geschlossene Grundwasseroberfläche aufweisen und nachfolgend mit Q₁ bis Q₃ bezeichnet werden (siehe Abbildung 2).

Tertiäraquifer:

Wasserführende Tertiärsande wurden vereinzelt erkundet. In allen Aufschlüssen ist das tertiäre Grundwasser gespannt und erreicht vereinzelt Druckhöhen (siehe GWM 314) über denen des Quartäraquifers. Ob es sich um einen durchgängigen Tertiäraquifer handelt, kann anhand der wenigen vorhandenen Aufschlüsse nicht belegt werden.

Für das nachfolgende Grundwassermodell werden vorwiegend die Quartäraquifere näher betrachtet. Diese werden in größerem Umfang vom geplanten Tunnel beeinflusst und wurden daher auch am häufigsten durch Grundwassermessstellen aufgeschlossen.

Schichtwasseraquifere sind immer zu erwarten, wenn Wechsellagerungen zwischen bindigen und nicht bindigen Schichten auftreten. Über die Wasserspiegelhöhen können keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden. Im Teil 2 des hydrogeologischen Gutachtens [U12] (siehe Anlage 13.2) werden soweit



möglich Angaben zu erwartenden Schichtwasserspiegelhöhen für räumlich eng begrenzte Bauwerke (Schächte und Stollen) gemacht.

7.4.1.3 Grundwasserabschnitt 1 (GWA₁)

Der GWA₁ befindet sich im südlichen Tunnelabschnitt bis ca. Bau-km 0+900 (siehe Anlage 1 und Anlage 2 zu [U10] sowie Abbildung 3). Der Aquifer Q₁ des GWA₁ wird im Nordwesten durch überwiegend bindige Moräneablagerungen begrenzt, die durch die Bohrungen B 513, B 301, GWM 306 und GWM 309 belegt sind. Südöstlich fällt das Gelände zum Starnberger See hin ab, dessen Wasserstand deutlich unter dem Grundwasserniveau von Q₁ liegt. Da in diesem Bereich keine Quellaustritte bekannt sind, müssen auch hier wenig durchlässige Bodenschichten vorhanden sein. Im Osten sind wenig durchlässige Moräneablagerungen durch die Bohrungen GWM 505, B 313, GWM 315, B 405, GWM 361 und GWM 406, bzw. auch durch den um mehrere Meter niedrigeren Grundwasserstand in GWM 351 und GWM 352 belegt.

Unter Zugrundelegung dieser geologischen Begrenzungen und der daraus begründeten Annahme, dass die Quellen bei der Landesanstalt für Fischerei aus diesem Aquifer gespeist werden, ist eine Grundwasserströmung im GWA₁ in Richtung Nord-Nordost anzunehmen. Diese Annahme wird, wie man Abbildung 3 entnehmen kann, durch die Auswertung der Stichtagsmessung vom 26. u. 27.02.2019 von 17 Grundwassermessstellen in diesem Bereich, sowie durch drei Fließrichtungsmessungen bestätigt.

Für die Auswertung der Stichtagsmessung wurde ein Netz mit Dreiecksmaschen erzeugt, dessen Knoten die jeweils betrachteten Grundwassermessstellen bilden. Entlang der Kanten dieser Dreieckselemente können durch lineare Interpolation Punkte mit gleichem Wasserstand berechnet werden. Diese Punkte bilden die Stützstellen für die in Abbildung 3 dargestellten Isohypsen (Grundwassergleichen), zu denen die Grundwasserströmung immer senkrecht erfolgt. Aus dem Abstand zweier Isohypsen und deren Wasserspiegeldifferenz lässt sich das hydraulische Gefälle berechnen.

Im Aquifer Q₁ ergibt sich aus den Wasserständen der Stichtagsmessung in der Hauptströmungsrichtung ein mittleres hydraulisches Gefälle von $i = 1,4 \%$. Hierbei wurden die Messstellen GWM 306 und B 107 nicht in die Ermittlung der Isohypsen mit einbezogen, da deren direkter Anschluss an Q₁ fraglich ist. Bei GWM 306 wurde nur eine 0,60 m mächtige Wechselfolge aus Ton und tonigem Sand bzw. eine 0,35 m mächtige tonige Feinsandschicht erbohrt und verfiltert.

Die Messstelle B 107 (1. Erkundungsprogramm) ist, wie mit einem Lot ermittelt wurde, von 12,7 m bis 21,9 m unter GOK verschlammt. Es können zwar noch Messungen mit einem Lichtlot durchgeführt werden, eine Pumpe zum Klarpumpen bzw. für Pumpversuche konnte aber aufgrund einer Verengung oder eines Knicks im Pegelrohr nicht eingeführt werden. Damit ist zu befürchten, dass die Grundwassermessstelle B 107 nicht mehr funktionsfähig ist.

Im Aquifer Q₁ wurden bei Pumpversuchen k-Werte zwischen $k = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ und $k = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ermittelt.

Schichtwässer wurden in diesem Bereich nicht angetroffen, können aber über und in den bindigen Deckschichten nicht ausgeschlossen werden.

Der Tertiäraquifer wurde in den Messstellen GWM 307, GWM 310 und B 405 erschlossen. Bei GWM 307 entspricht der Tertiärwasserstand bei der Stichtagsmessung bis auf wenige Zentimeter dem des Aquifers



Q₁. Vermutlich sind beide Aquifere in unmittelbarer Nähe direkt miteinander verbunden. Weiter nordöstlich bei GWM 310 fällt der Wasserdruck des Tertiäraquifers ab und liegt mehr als 5,5 m unter dem des Aquifers Q₁.

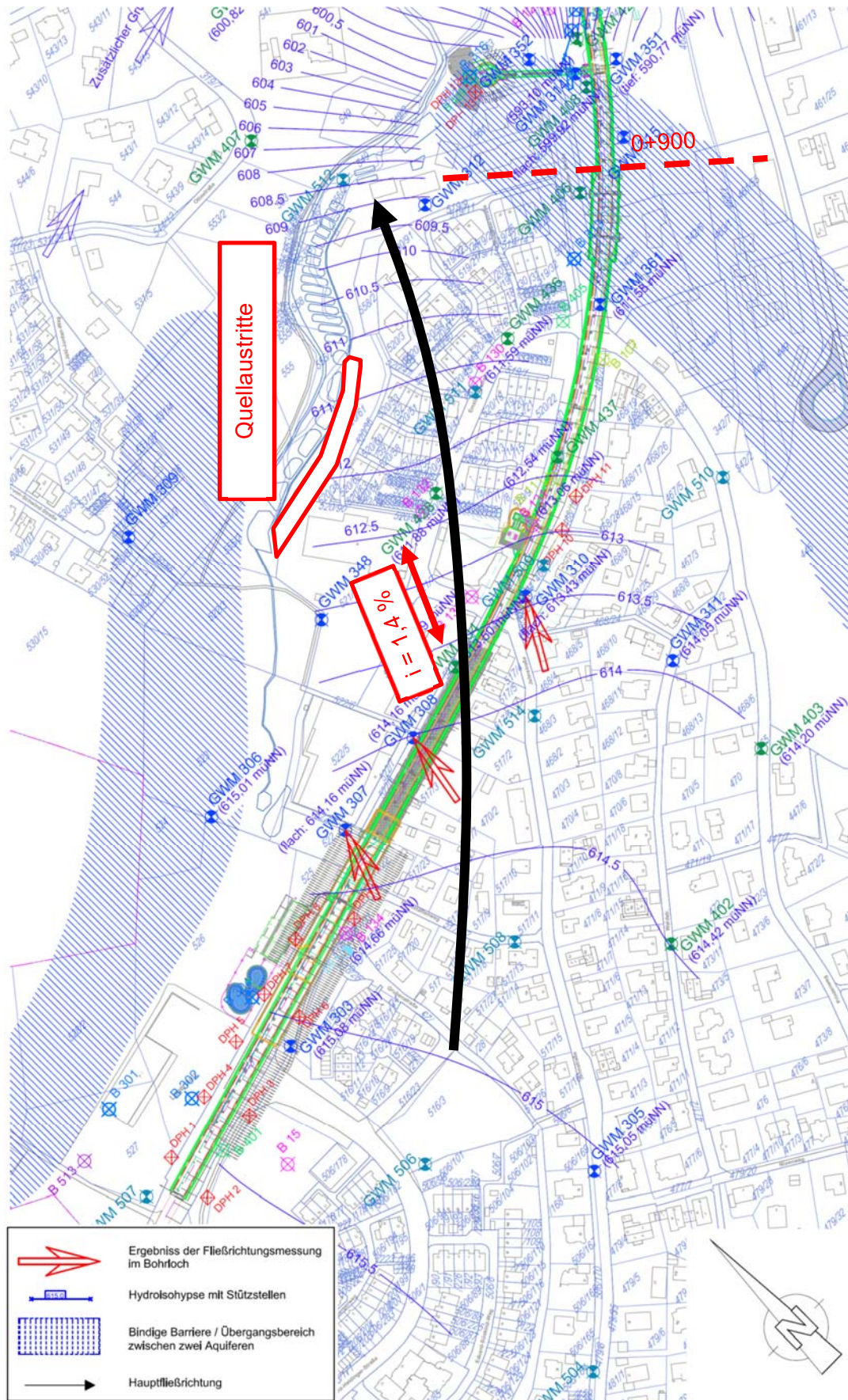


Abbildung 3: Isohypsen und Ergebnisse der Fließrichtungsmessung des Aquifers Q₁ im GWA₁



7.4.1.4 Übergangsbereich von Grundwasserabschnitt 1 zu Grundwasserabschnitt 2

Wie man Anlage 2 zu [U10] und Abbildung 4 entnehmen kann, fällt der Grundwasserspiegel zwischen Bau-km 0+900 und Bau-km 1+000 um mehr als 20 m. Dieser Sprung im Grundwasserniveau wird durch die in Abschnitt 7.4.1.2 beschriebene und in Abbildung 4 schematisch dargestellte bindige Barriere verursacht. Eingelagert in diese feinkörnigen Bodenschichten wurden teilweise geringmächtige und wenig durchlässige wasserführende Schichten erkundet (B 313, GWM 314, GWM 315, B 343, GWM 351, B 405 und GWM 406). Diese Schichten wurden aufgrund ihrer geringen Durchlässigkeit von $k = 8 \cdot 10^{-8}$ m/s bis $k = 2 \cdot 10^{-5}$ m/s und den teilweise in tieferen Schichten anstehenden trockenen Kiese als Schichtwasseraquifer eingestuft. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass diese Schichten teilweise mit dem Aquifer Q_1 in Verbindung stehen.

Im Bereich des Siebenquellenbachtals (Abbildung 3) wurden in B 316 Kiesschichten von 4,4 m Mächtigkeit aufgeschlossen, die einen Wasserstand zwischen den Niveaus von Q_1 und Q_2 aufweisen. In GWM 512 wurden ebenfalls geringmächtige Kiese angetroffen. Daraus lässt sich schließen, dass das Grundwasser aus Q_1 , soweit es nicht an den Quellen an der Landesanstalt für Fischerei austritt, die bindige Barriere im Einschnitt des Siebenquellenbaches überwindet, seine Fließrichtung ändert und – wie nachfolgend gezeigt wird – im Bereich des GWA_2 in Richtung Starnberger See strömt.

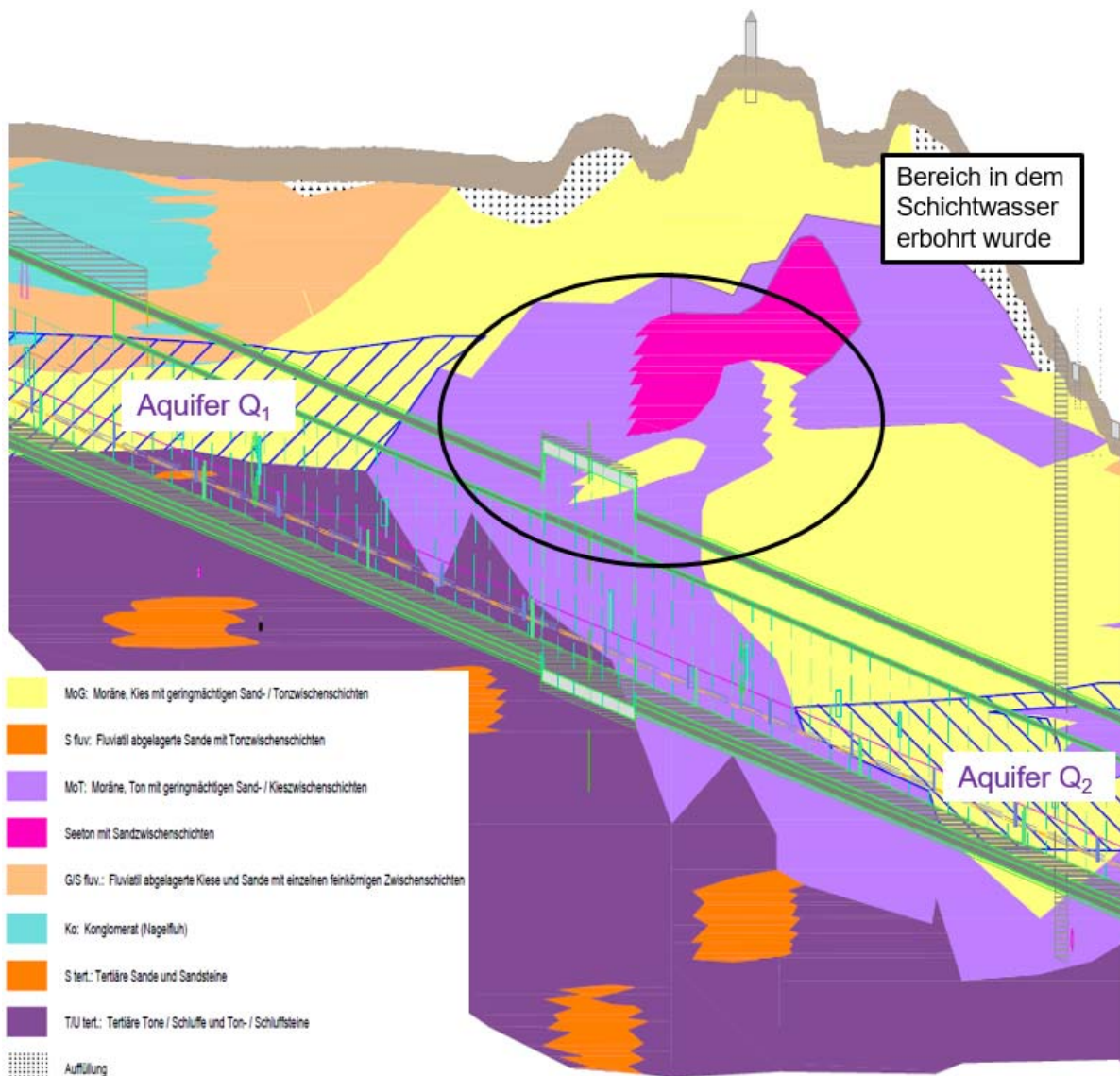


Abbildung 4: Übergangsbereich von GWA₁ zu GWA₂

Ob die bindige Barriere insbesondere westlich des Tunnels flächig vorhanden ist, lässt sich nicht direkt nachweisen. Zum einen liefern die Baugrundaufschlüsse nur punktuelle Informationen zu den Baugrundverhältnissen, sodass ein direkter flächiger Nachweis des Sprungs der Aquiferunterkante zwischen dem GWA₁ und dem GWA₂ nicht möglich ist. Zum anderen ist der betroffene Bereich durch die topographische Situation und durch den Bewuchs nur eingeschränkt zugänglich. Insgesamt unterstützen die vorhandenen Baugrundaufschlussbohrungen im Übergangsbereich jedoch die Annahme, dass die quartären Kiese hier abtauchen, wie sich auch aus dem schematischen Schnitt in Abbildung 5 ableiten lässt. Der ungefähre Verlauf des Schnitts sowie die für den Schnitt verwendeten Bohrungen sind aus Abbildung 6 ersichtlich.

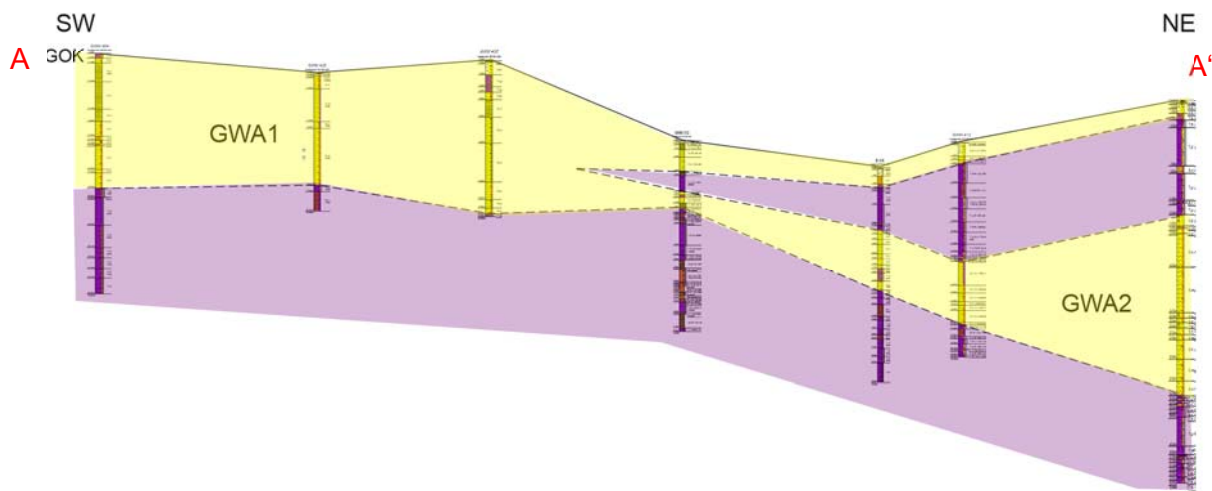


Abbildung 5: Schematischer Schnitt entlang der Bohrungen GWM 404, GWM 436, GWM 312, B 316, GWM 412 und GWM 410 mit möglichem Verlauf der Schichtgrenzen (nicht maßstäblich); die Aquifere GWA₁ und GWA₂ sind in gelber Farbe dargestellt, stauende Schichten in violetter Farbe

Die Fließrichtung des Grundwassers weist ebenfalls deutlich darauf hin, dass ein Sprung vorliegt. Das Fließgefälle wurde hierbei einerseits über Stichtagsmessungen in den umliegenden Grundwassermessstellen, andererseits auch über Fließgeschwindigkeitsmessungen insbesondere in der Grundwassermessstelle GWM 318 nachgewiesen. Anhand des Isohypsenplans (Abbildung 6) lässt sich erkennen, dass es im Bereich des Übergangs vom GWA₁ zum GWA₂ zu einer Zunahme des Grundwassergefälles kommt, was sich in den eng aneinander liegenden Isohypsen äußert.

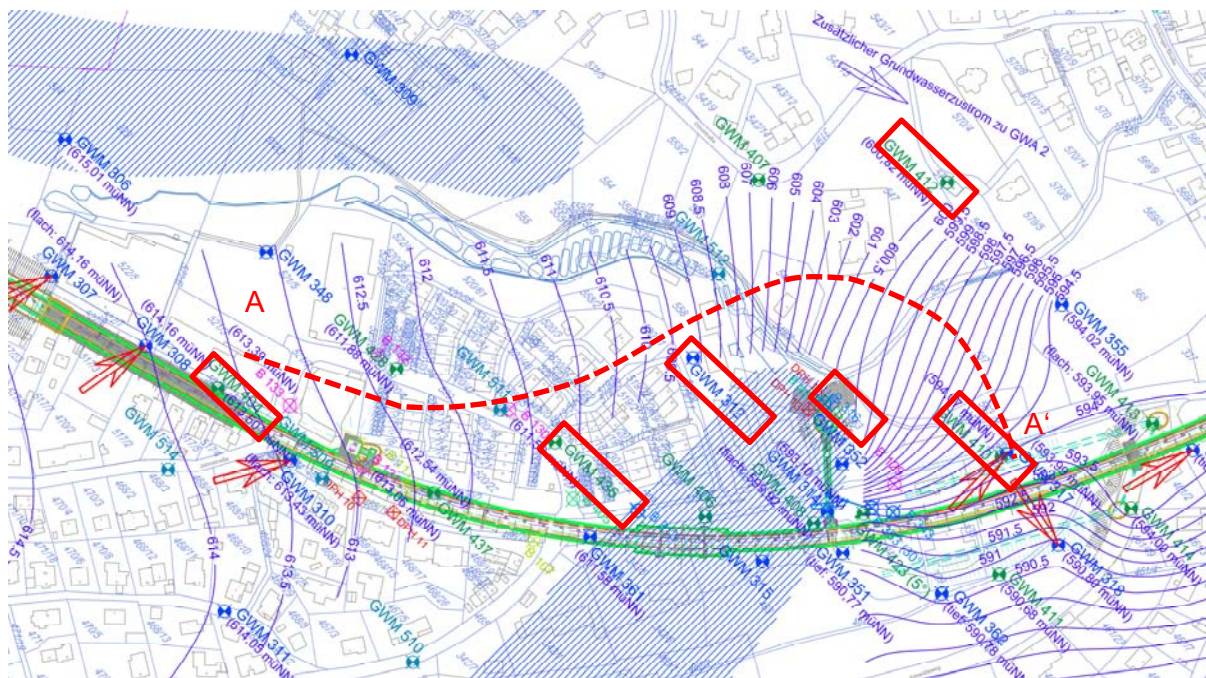


Abbildung 6: Isohypsenplan mit Lage der Grundwassermessstellen im Übergangsbereich GWA₁/GWA₂; Verlauf des schematischen Schnitts aus Abbildung 5 als gestrichelte rote Linie eingezeichnet; die für den Schnitt verwendeten Bohrungen sind mit roten Kästchen umrandet



7.4.1.5 Grundwasserabschnitt 2 (GWA₂)

Der Aquifer GWA₂ befindet sich zwischen Bau-km 1+000 und Bau-km 2+000. Die Mächtigkeit und Durchlässigkeit der wasserführenden Schichten des Aquifers Q₂ im GWA₂ variiert stark. Es wird nachfolgend zwischen drei Bereichen, dem Bereich zwischen Bau-km 1+000 und Bau-km 1+450, zwischen Bau-km 1+450 und Bau-km 1+800 und zwischen Bau-km 1+800 und Bau-km 2+000 unterschieden.

Zwischen Bau-km 1+000 und Bau-km 1+450 sind großteils Kiese mit einer Durchlässigkeit zwischen $k = 1 \cdot 10^{-2}$ m/s und $k = 7 \cdot 10^{-3}$ m/s vorhanden.

Bei GWM 319 wurde eine horizontale Trennung von Q₂ aufgeschlossen. Im oberen Grundwasserstockwerk wurde durch Pumpversuche die Durchlässigkeit $k = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s und im unteren Grundwasserstockwerk $k = 9 \cdot 10^{-4}$ m/s ermittelt. Der Wasserdruck beider Grundwasserstockwerke unterscheidet sich bei der Stichtagsmessung um etwa 0,25 m. Wie diese Trennung zustande kommt, ist aus den umliegenden Aufschlüssen nicht klar ersichtlich. Denkbar wäre es, dass es sich beim unteren Stockwerk um eine getrennte Schicht handelt, die ihren höheren Wasserdruck aus einer Verbindung zu Q₂ weiter stromaufwärts erhält (siehe auch GWM 318 zwischen 43,7 m und 45,2 m unter GOK). Vereinfachend wurde für die Ermittlung der Isohypsen nur der höhere Wasserstand des unteren Stockwerks berücksichtigt, wobei es aufgrund der vorhandenen hohen hydraulischen Gefälle nicht maßgeblich ist, welcher der beiden Wasserspiegel berücksichtigt wird.

Die ermittelten Fließrichtungen aus der Auswertung der Stichtagsmessung vom 26. und 27.02.2019, des Seewasserspiegels sowie der Fließrichtungsmessungen in zwei Messstellen zeigen eine Strömung in Richtung Südosten zum Starnberger See (siehe Abbildung 7).

Das maximale hydraulische Gefälle ergibt sich aus der Stichtagsmessung in diesem Bereich zu $i = 6,7$ %. Zur Kontrolle wurde eine von der Betrachtung der Stichtagsmessung unabhängige Berechnung des hydraulischen Gefälles aus der Fließgeschwindigkeit und der Durchlässigkeit bei der GWM 318 durchgeführt. Demnach ergibt sich ein hydraulisches Gefälle von $i = 2,05$ %. Beide ermittelten hydraulischen Gefälle wurden zunächst als ungewöhnlich hoch erachtet. Zur Überprüfung wurde die sich daraus ergebende erforderliche Durchflussmenge für den Bereich zwischen GWM 351 und GWM 319 ermittelt. Bei einer Durchlässigkeit von $k = 2 \cdot 10^{-3}$ m/s (GWM 318) und einem angenommenen durchflossenen Querschnitt von etwa 1240 m² (im Mittel 5,5 m Aquifermächtigkeit, 225 m breiter Bereich) ergibt sich je nach zu Grunde gelegtem hydraulischem Gefälle ein Durchfluss von 51 l/s bis 166 l/s. Es ist nachvollziehbar, dass derartige Wassermengen aus dem Grundwasserabschnitt GWA₁ und dem westlichen anschließenden Bereich dem Grundwasseraquifer GWA₂ zufließen. Die zuströmende Wassermenge aus den westlich bzw. nordwestlich des GWA₂ gelegenen Bereichen Maisinger Schlucht und Söcking wurde in Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt Weilheim abgeschätzt. Diese liegt zwischen ca. 81 l/s und ca. 590 l/s und somit etwas bis deutlich höher als die zuvor berechnete Wassermenge, wobei jedoch die Annahme sehr hoher Zustrommengen den Ergebnissen der Fließgeschwindigkeitsmessungen in der Grundwassermessstelle GWM 318 widerspricht und dementsprechend als eher unwahrscheinlich erachtet wird.

Die ermittelten Fließrichtungen sind plausibel, wenn man die Topographie berücksichtigt. An der Geländeoberfläche ist ein Einschnitt zwischen dem Almeidaberg und dem Schlossberg sichtbar, der seinen Tiefpunkt etwa bei der GWM 319 hat. Im Untergrund ist dieser Einschnitt in die bindige Moräne – etwas nach



Südwesten unter den Almeidaberg verschoben – ebenfalls vorhanden. In dieser flachen Kiesrinne etwa zwischen der GWM 351 und der GWM 319 strömt das Grundwasser aus dem Siebenquellenbachtal im Südwesten und dem Hanfelder Hang im Nordwesten in Richtung Starnberger See. Die hohen hydraulischen Gefälle ergeben sich aus dem Höhenunterschied, der bis zum See überwunden werden muss.

Weiter nördlich zwischen der GWM 319 und Bau-km 1+450 ist im Längsschnitt eine ähnliche Rinnenform sichtbar. Allerdings wurden in dieser Messstelle deutlich niedrigere Fließgeschwindigkeiten als in der GWM 318 gemessen (siehe Tabelle 7). Daraus lässt sich schließen, dass in diesem Bereich keine durchgängige Rinne mit einer hohen Durchlässigkeit, wie bei GWM 318 ($k = 2 \cdot 10^{-3}$ m/s), vorhanden ist.

Wie bereits in Abschnitt 7.4.1.4 beschrieben, wurden in der GWM 314, GWM 351, B 343, GWM 408 und GWM 423 geringmächtige wasserführende Schichten angetroffen, die als Schichtwasser eingestuft wurden. Weitere Schichtwasseraquifere können aufgrund der Wechsellagerung zwischen bindigen und nichtbindigen Schichten in diesem Bereich nicht ausgeschlossen werden.

Der Tertiäraquifer wurde in der Messstelle GWM 314 in einer Sandschicht zwischen 40,4 m und 43,4 m unter GOK erschlossen. Der gemessene Druckwasserspiegel reicht etwa 9,5 m über den freien Wasserspiegel des Aquifers Q₂. Es ist durchaus möglich, dass diese Sandschicht indirekt und eventuell auch über längere Fließwege mit dem Tertiäraquifer des GWA₁ verbunden ist, der Druckwasserspiegel ist allerdings um ca. 7,0 m geringer als in der GWM 310.

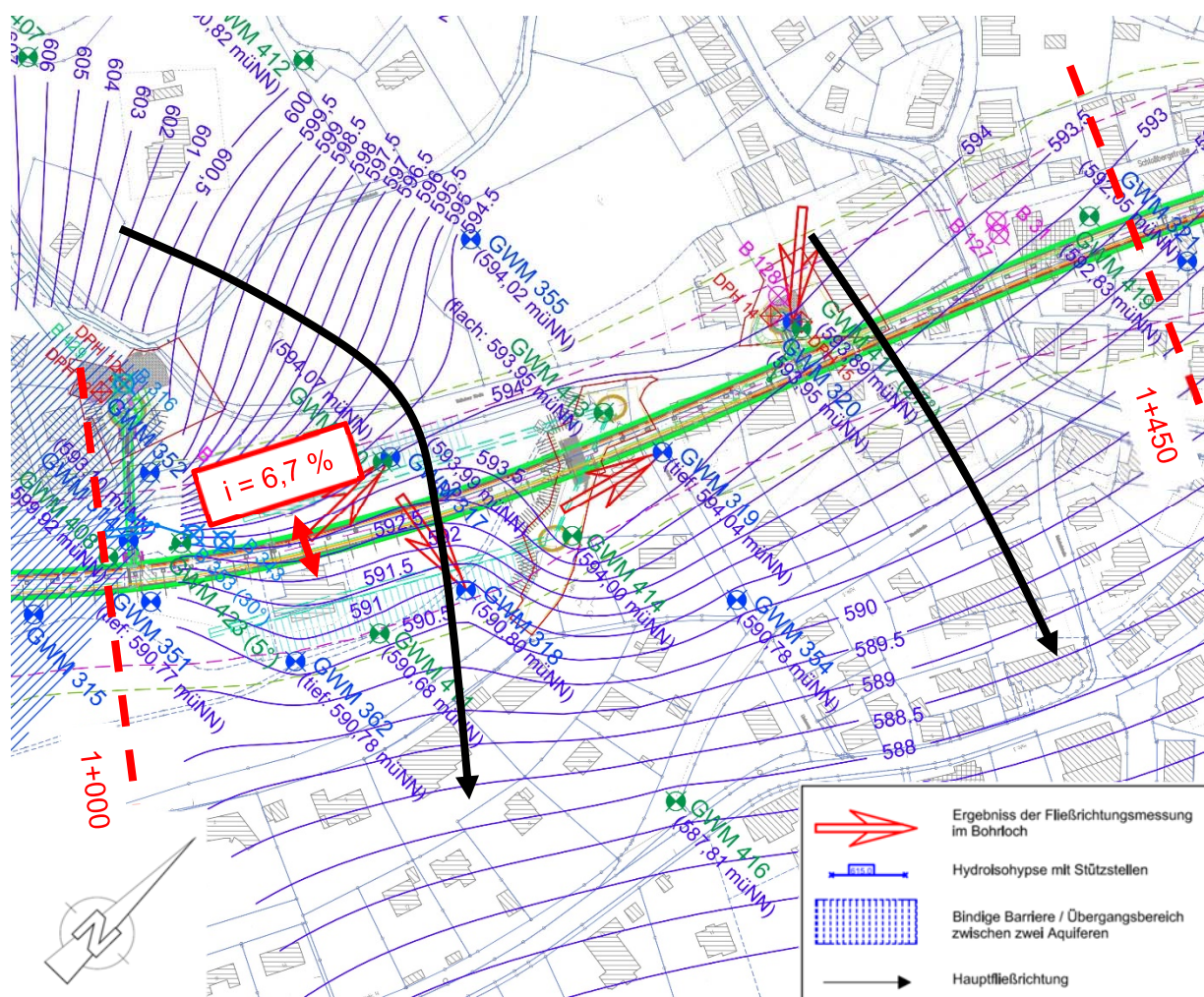


Abbildung 7: Isohypsen und Ergebnisse der Fließrichtungsmessung des Aquifers Q₂ von Bau-km 1+000 bis Bau-km 1+450 (GWA₂)

Zwischen Bau-km 1+450 und Bau-km 1+800 wurde der Aquifer Q₂ nur in geringmächtigen, durchlässigen Zwischenschichten angetroffen, die in die bindige Moräne eingelagert sind (siehe Anlage 2.2 zu [U10]). Die Durchlässigkeiten wurden zwischen $k = 5 \cdot 10^{-9}$ m/s und $k = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s (bei sehr geringer Schichtmächtigkeit) ermittelt. Da nach dem Durchlässigkeitsversuch in der durch GWM 326-t aufgeschlossenen Kies-schicht ($k = 5 \cdot 10^{-9}$ m/s) davon ausgegangen werden kann, dass der Anschluss dieses Kieses an den Aquifer, wenn überhaupt, dann nur bedingt vorhanden ist, wurde der Wasserstand in dieser Grundwassermess-stelle nicht bei der Ermittlung der Isohypsen berücksichtigt.

Gemäß der Auswertung der Stichtagsmessung vom 26. u. 27.02.2019 von acht Grundwassermess-stellen strömt in diesem Abschnitt des Aquifers Q₂ das Grundwasser nach Osten zum Starnberger See, mit einem hydraulischen Gefälle von $i = 2,5 \%$ (siehe Abbildung 8).

Grundsätzlich ist aufgrund der Topographie auch die ermittelte Fließrichtung vom Hanfelder Hang im Nordwesten in Richtung Starnberger See plausibel. Da in diesem Bereich aber nur geringmächtige grund-wasserführende Schichten anstehen, deren Tiefe in den einzelnen Bohrungen variiert, ist die Durchgän-gigkeit des Aquifers in diesem Bereich nicht eindeutig belegt. Die beim Pumpversuch ermittelten geringen Durchlässigkeiten in Kiesen, die aufgrund der Korngrößenverteilung als stark durchlässig beurteilt wurden,



lassen vermuten, dass die Strömungsgeschwindigkeit von weniger durchlässigen Bereichen begrenzt ist und eventuell auch die Strömungsrichtung variiert.

Schichtwässer wurden in diesem Bereich über dem Aquifer Q_2 nicht angetroffen, können aber bei den vorhandenen Wechsellagen von bindigen und nichtbindigen Schichten nicht ausgeschlossen werden.

In den angetroffenen tertiären Sanden konnte kein Druckwasserspiegel ermittelt werden. Vermutlich wurde der tertiäre Wasserdruckspiegel aufgrund des Bohrverfahrens (Rotationskernbohrung mit Spülung) nicht erkannt. Es ist aber davon auszugehen, dass die tertiären Sandschichten einen Wasserdruckspiegel aufweisen, der etwa dem Niveau des Tertiäraquifers im zuvor beschriebenen Abschnitt entspricht.

Zu beachten ist, dass nordwestlich der Tunneltrasse in einem Abstand von etwa 100 m bis 200 m in den Aufschlüssen B 325, GWM 331, B 135 und B 136 artesisch gespanntes Grundwasser erbohrt wurde. Der Wasserdruck reicht dort bis etwa 4 m über GOK und damit mehrere Meter über das Grundwasserniveau des Aquifer Q_2 . In sämtlichen Aufschlüssen entlang des Tunnels wurde dieses artesisch gespannte Grundwasser nicht angetroffen. Wahrscheinlich befindet sich unmittelbar westlich der geplanten Trasse eine weitere vertikale Barriere, die das vom Hanfelder Hang unter hohem hydraulischem Gefälle zufließende Wasser am Hangfuß artesisch aufstaut. Aufgrund des geringen Abstands und der Heterogenität des Untergrunds kann es jedoch nicht mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden, dass beim Tunnelvortrieb eine wasserführende Schicht mit diesem Druckniveau angetroffen wird. Es ist auch durchaus möglich, dass keine vollkommene Absperrung vorhanden ist und Wasser aus diesem artesisch gespannten Aquifer durch wenig durchlässige Schichten dem Aquifer Q_2 zuströmt.

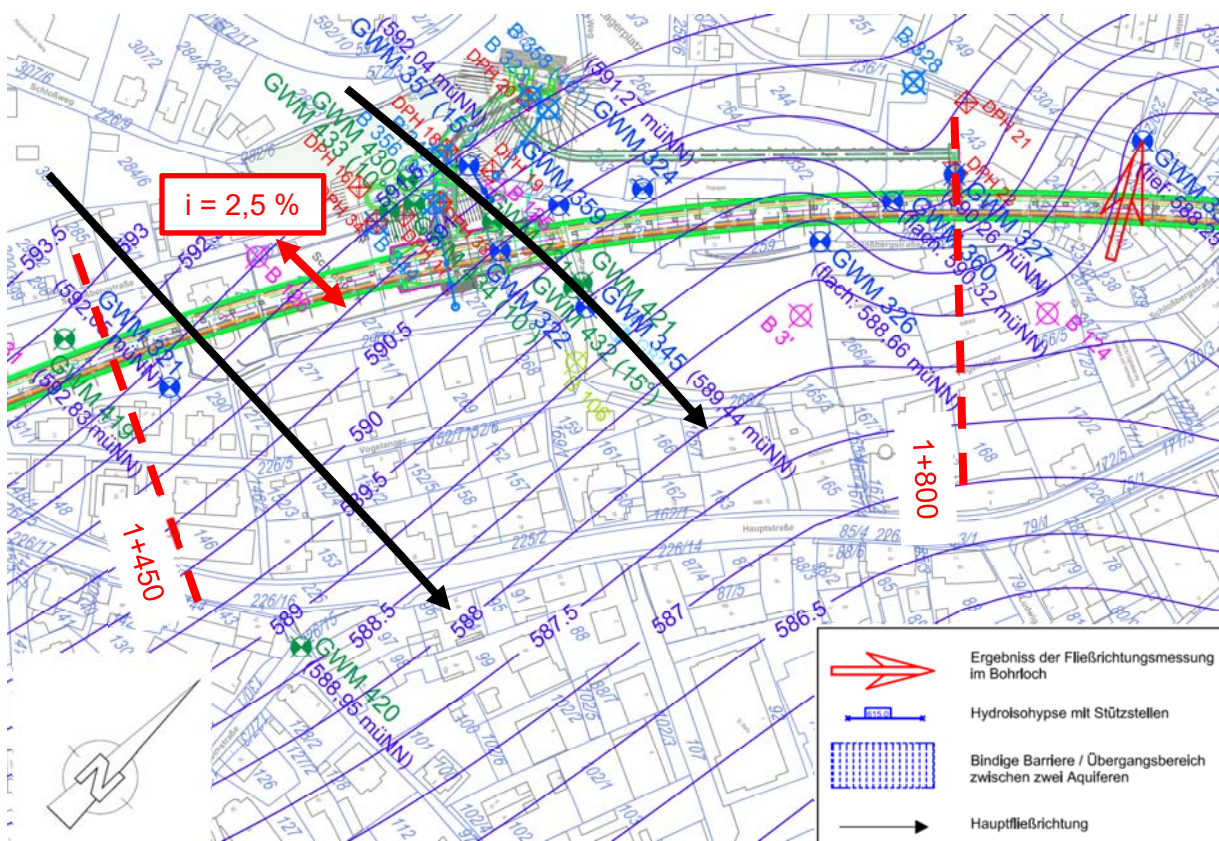


Abbildung 8: Isohypsen und Ergebnisse der Fließrichtungsmessung des Aquifers Q₂ von Bau-km 1+450 bis Bau-km 1+800 (GWA₂)

Ab Bau-km 1+800 bis Bau-km 2+000 sind wieder mächtigere Kiesschichten vorhanden, an denen Durchlässigkeiten zwischen $k = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ und $k = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ermittelt wurden. Zusätzlich ist in einzelnen Bohrungen eine Trennung des Aquifers Q₂ in zwei Grundwasserstockwerke aufgeschlossen, wobei sich in diesem Bereich die Wasserstände der beiden Grundwasserstockwerke nur bei GWM 330 geringfügig um 0,08 m unterscheiden (siehe Anlage 2.3 zu [U10]). Zur Ermittlung der Isohypsen wurden die Wasserstände des unteren Grundwasserstockwerks von GWM 330 herangezogen, da dieses die größere Mächtigkeit aufweist und der direkte Anschluss an Q₂ wahrscheinlicher ist.

Die Fließrichtungen sind in diesem Bereich des Aquifers Q₂ weniger eindeutig. Ab etwa GWM 327 erhält die bisher nach Osten weisende Fließrichtung, wie man Abbildung 9 entnehmen kann, auch Komponenten nach Süd- und Nordosten. Damit verlaufen die Isohypsen in ähnlicher Form wie die Höhenlinien des Moränenrückens (Schlossberg), der in diesem Bereich endet. Sobald das Grundwasser den durchlässigeren und mächtigeren Aquiferbereich um den Tutzinger-Hof-Platz erreicht, verringert sich das hydraulische Gefälle (anfänglich $i = 2,9\%$) deutlich.

Die Wasserspiegeldifferenzen der Messstellen (GWM 330-t, GWM 350-t, B 104, B 122, B 123, BR 11) in diesem Bereich betragen nur einige Zentimeter bis Dezimeter. Die ermittelte Fließrichtung aus der Auswertung der Stichtagsmessung vom 26. u. 27.02.2019 von sechs Grundwassermessstellen und von drei Fließrichtungsmessungen zeigt keine eindeutige Richtung, sondern einen Richtungsbereich zwischen Südosten und Nordosten (siehe Abbildung 9).



Mit Schichtwässern ist nicht oder nur in sehr geringem Umfang zu rechnen, da über dem Grundwasserspiegel überwiegend durchlässige Schichten erbohrt wurden.

In den angetroffenen tertiären Sanden konnte kein Druckwasserspiegel ermittelt werden. Vermutlich wurde der tertiäre Wasserdruckspiegel aufgrund des Bohrverfahrens (Rotationskernbohrung mit Spülung) nicht erkannt. Es ist aber davon auszugehen, dass die tertiären Sandschichten einen Wasserdruckspiegel aufweisen, der etwa dem Niveau des Aquifers Q₂ entspricht.

Auch in diesem Bereich kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass der im vorherigen Abschnitt beschriebene artesisch gespannte Aquifer westlich des Tunnels, dessen Grundwasserniveau mehrere Meter über dem des Aquifers Q₂ liegt, beim Tunnelvortrieb angetroffen wird.

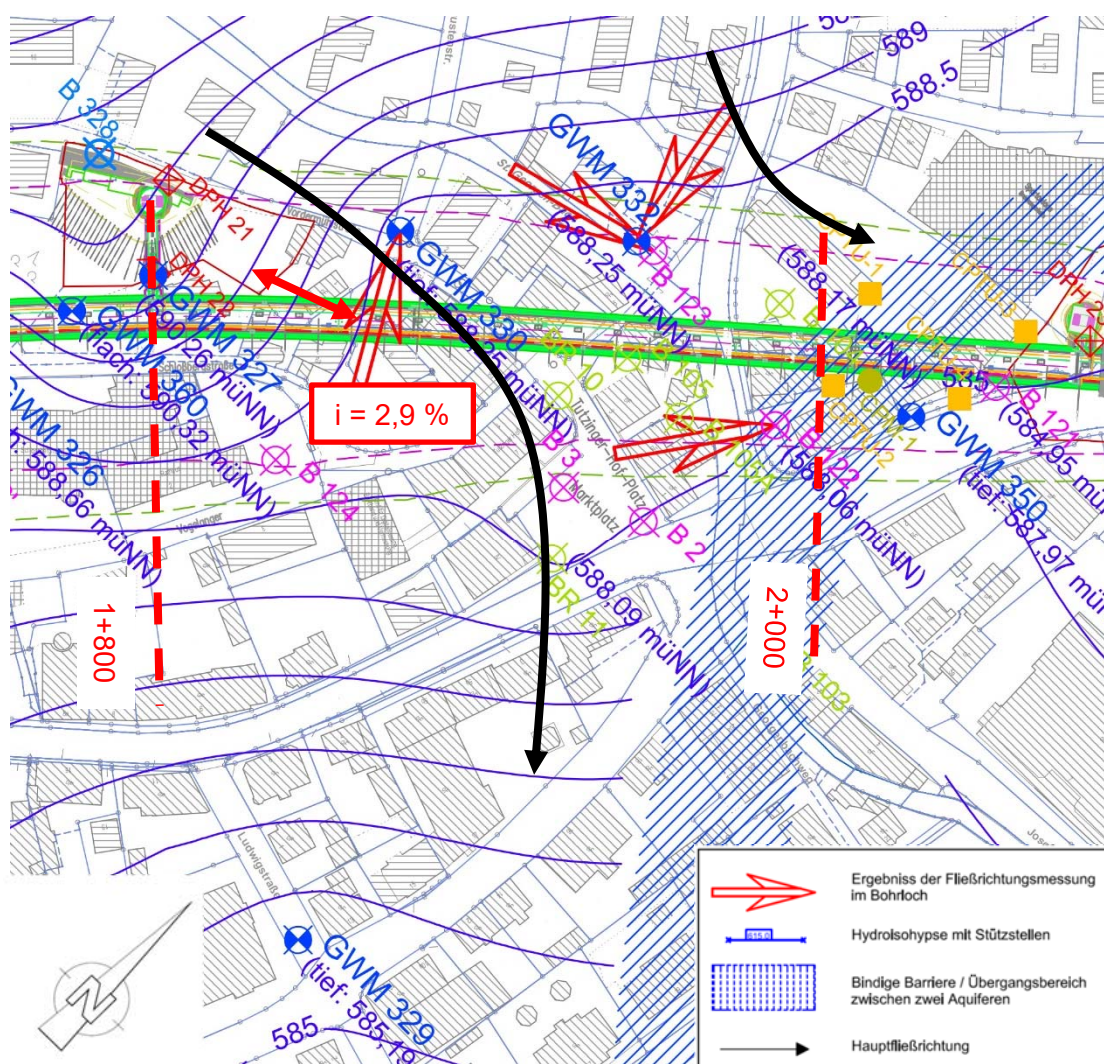


Abbildung 9: Isohypsen und Ergebnisse der Fließrichtungsmessung des Aquifers Q₂ von Bau-km 1+800 bis Bau-km 2+000 (GWA₂)

7.4.1.6 Übergangsbereich von Grundwasserabschnitt 2 zu Grundwasserabschnitt 3

Wie man Abbildung 10 entnehmen kann, ist zwischen dem GWA₂ und dem GWA₃ eine bindige Barriere vorhanden, die einen Sprung im Grundwasserniveau des quartären Hauptgrundwasserleiters von etwa 3 m verursacht.



Anders als im Übergangsbereich von GWA₁ zu GWA₂ überlappen sich in diesem Bereich die Aquifere Q₂ und Q₃. Sie sind gemäß GWM 350 durch einen schräg verlaufenden Stauer getrennt (siehe Anlage 2.3 zu [U10]). Die ab 22,5 m unter GOK anstehenden durchlässigen Schichten zeigen einen Wasserdruck auf dem Niveau von Q₂. Der Wasserstand in den hoch liegenden durchlässigen Schichten bis 9,9 m unter GOK ist um etwa 3 m niedriger und liegt auf dem Niveau des nachfolgend beschriebenen Aquifers Q₃. Es ist davon auszugehen, dass sich Q₂, getrennt durch feinkörnige Schichten, noch weiter unter Q₃ fortsetzt. Dies lassen auch die Bohrungen GWM 422 und GWM 424 vermuten (siehe hierzu nachfolgenden Abschnitt).

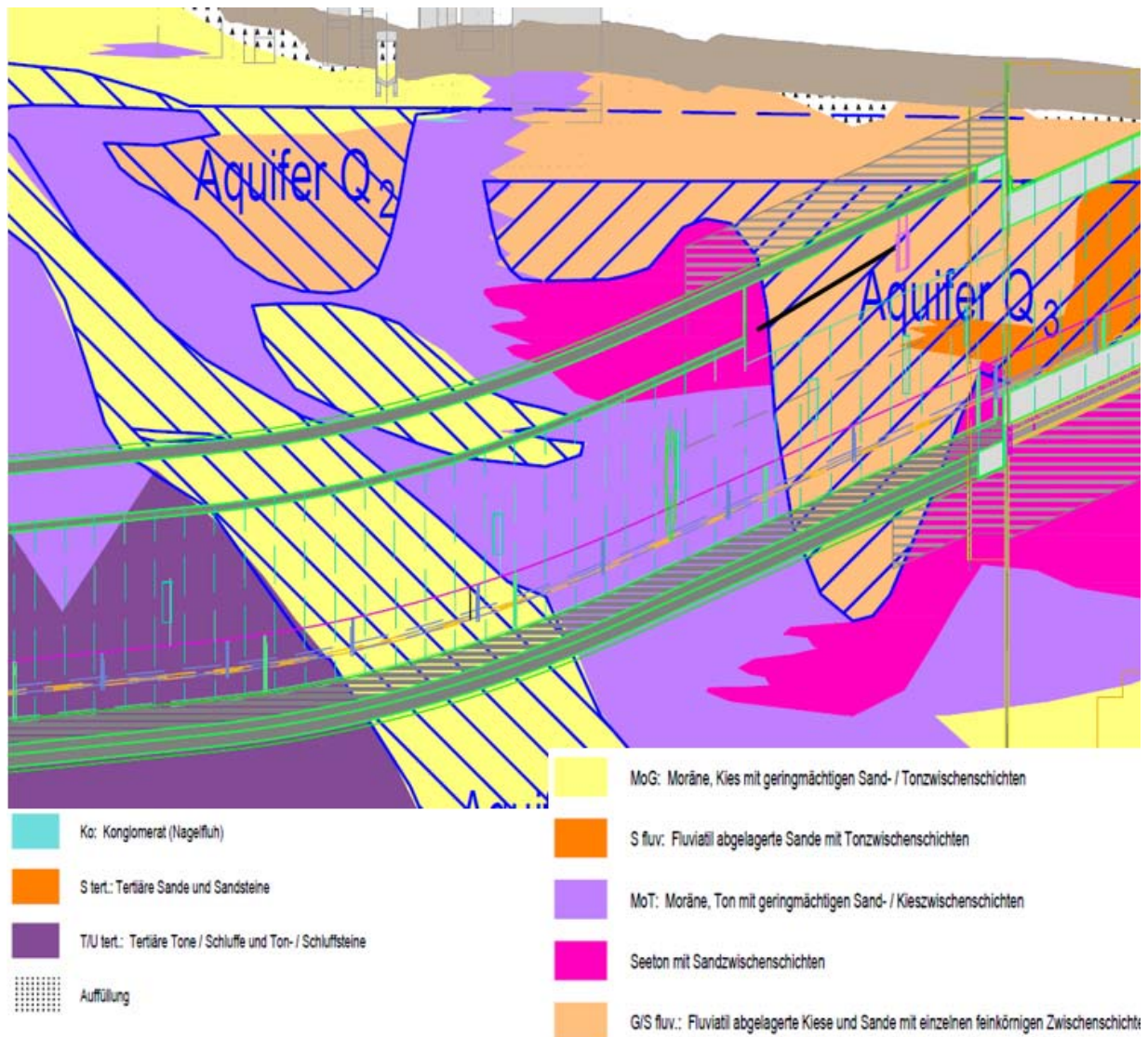


Abbildung 10: Übergangsbereich von GWA₂ zu GWA₃

Ähnlich wie beim Übergang vom GWA₁ zum GWA₂ kann die Trennschicht anhand der vorliegenden Bohrergergebnisse ebenfalls nicht flächig nachgewiesen werden. In der Bohrung B 122 wurde in geringer Tiefe eine annähernd 10 m mächtige Schicht aus Schluffen erbohrt, unterhalb derer quartäre Kiese anstehen (Abbildung 11) und die vermutlich ein Teil der Barriere zwischen den beiden Aquifern ist. Die Grundwasserdruckniveaus in der Bohrung B 122 und der weiter westlich gelegenen Bohrung GWM 332 liegen deutlich über den Grundwasserständen des obersten Grundwasserleiters der östlich gelegenen Bohrung



GWM 350. Hieraus lässt sich ableiten, dass keine hydraulische Verbindung zwischen den beiden Aquiferen vorliegt.

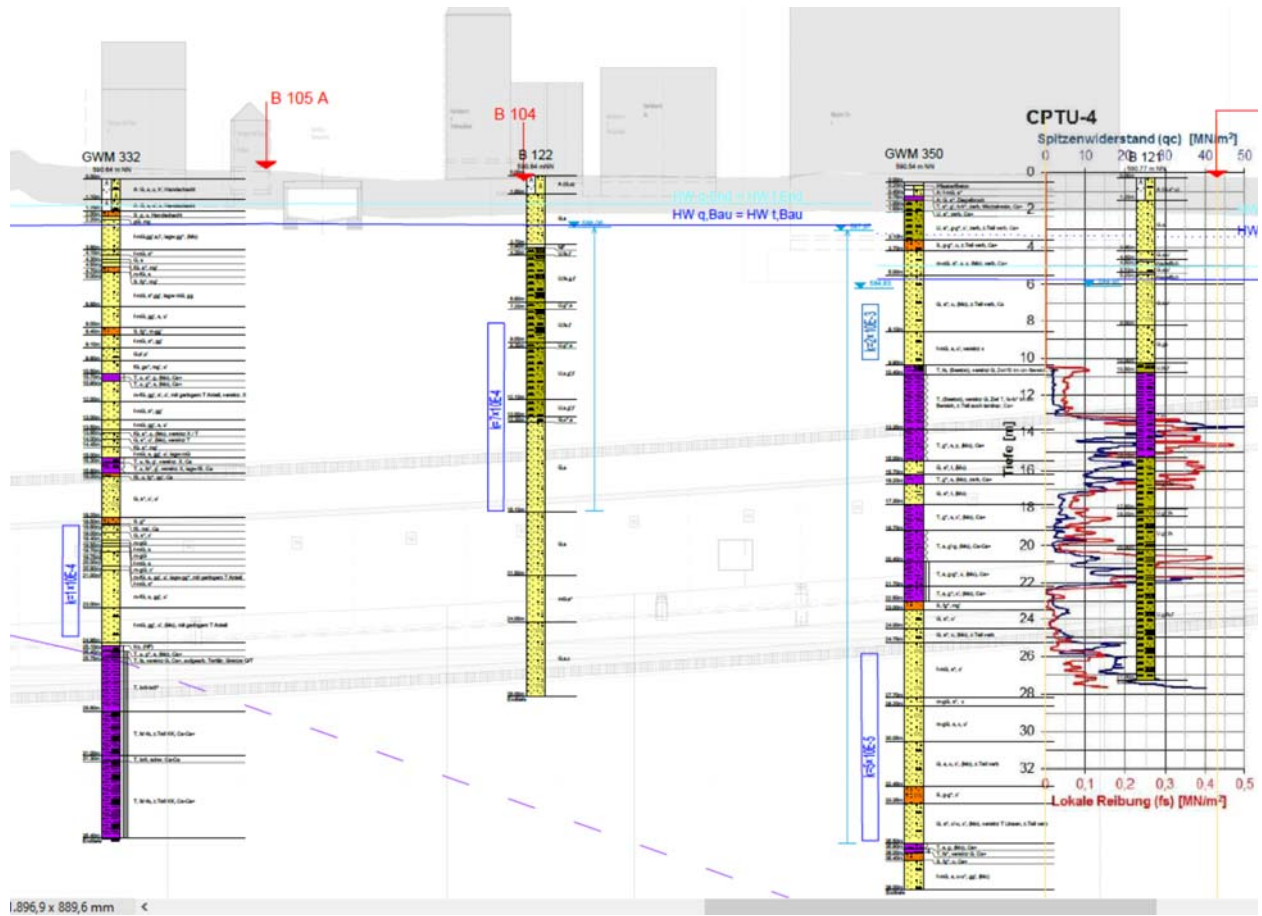


Abbildung 11: Nicht maßstäblicher Schnitt im Bereich des Übergangs von GWA₂ zu GWA₃

7.4.1.7 Grundwasserabschnitt 3 (GWA₃)

Der Aquifer Q₃ befindet sich im nördlichen Tunnelabschnitt ab Bau-km 2+040. Die ermittelten Durchlässigkeiten von Q₃ variieren stark zwischen $k = 6 \cdot 10^{-5}$ m/s in weniger durchlässigen Bereichen und $k = 6 \cdot 10^{-3}$ m/s in sehr durchlässigen, mächtigen Kiesen.

Wie man Abbildung 12 entnehmen kann, zeigt bei der Stichtagsmessung am 26. und 27.02.2019 die GWM 334 im Aquifer Q₃ den höchsten Wasserstand von insgesamt 13 Grundwassermessstellen. Grund hierfür ist vermutlich, dass im Bereich der GWM 334 ein Zufluss vom Hanfelder Hang und/oder vom Georngbachtal erfolgt. Als Folge kommt es zu den in Abbildung 12 dargestellten halbkreisförmigen Isohypsen und den sich daraus ergebenden radial nach außen zeigenden Fließrichtungen zwischen Norden, Osten und Süden. Die Fließrichtungsmessung in GWM 334 zeigt eine Strömung in Richtung Nordost.

Das hydraulische Gefälle ist in diesem Bereich im Vergleich zu GWA₁ und GWA₂ deutlich geringer und beträgt maximal etwa $i = 0,3 \%$ zwischen Bau-km 2+345 und Bau-km 2+375.

Da das Grundwasserniveau des Aquifers Q₃ in der Regel einige Dezimeter über dem Wasserspiegel des Starnberger Sees liegt, ist die ermittelte Strömung Richtung Starnberger See bzw. dessen Ablauf, der Würm, plausibel. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei Hochwasser der Seepiegel auch über den



Grundwasserstand ansteigen kann und sich daher die Fließrichtungen zumindest in Teilbereichen umkehren können.

Mit Schichtwässern ist nicht oder nur in sehr geringem Umfang zu rechnen, da über dem Grundwasserspiegel überwiegend durchlässige Schichten erbohrt wurden.

Das Tertiär wurde im hier betrachteten Bereich nicht mehr erbohrt und ist für das Tunnelbauwerk nicht mehr relevant.

Auch in diesem Bereich kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass der im vorherigen Abschnitt beschriebene artesisch gespannte Aquifer westlich des Tunnels beim Tunnelvortrieb angetroffen wird. Ein geringer Grundwasserzustrom aus dem artesisch gespannten Aquifer in den Aquifer Q₃ über wenig durchlässige Schichten ist, wie zuvor beschrieben, sogar wahrscheinlich.

Mit den Grundwassermessstellen GWM 424 und GWM 422 wurden in der bindigen Moräne durchlässige Kiesschichten erbohrt, deren Druckwasserspiegel ca. 2 m über dem Grundwasserspiegel des Aquifer Q₃ liegen. Es ist möglich, dass in diesem Bereich noch der Aquifer Q₃ durch den Aquifer Q₂ unterlagert wird oder aber der höhere Druckwasserspiegel infolge einer Verbindung zum zuvor genannten artesisch gespannten Druckwasserspiegel besteht. Diese erhöhten Grundwasserstände können dementsprechend nur in der Moräne auftreten.

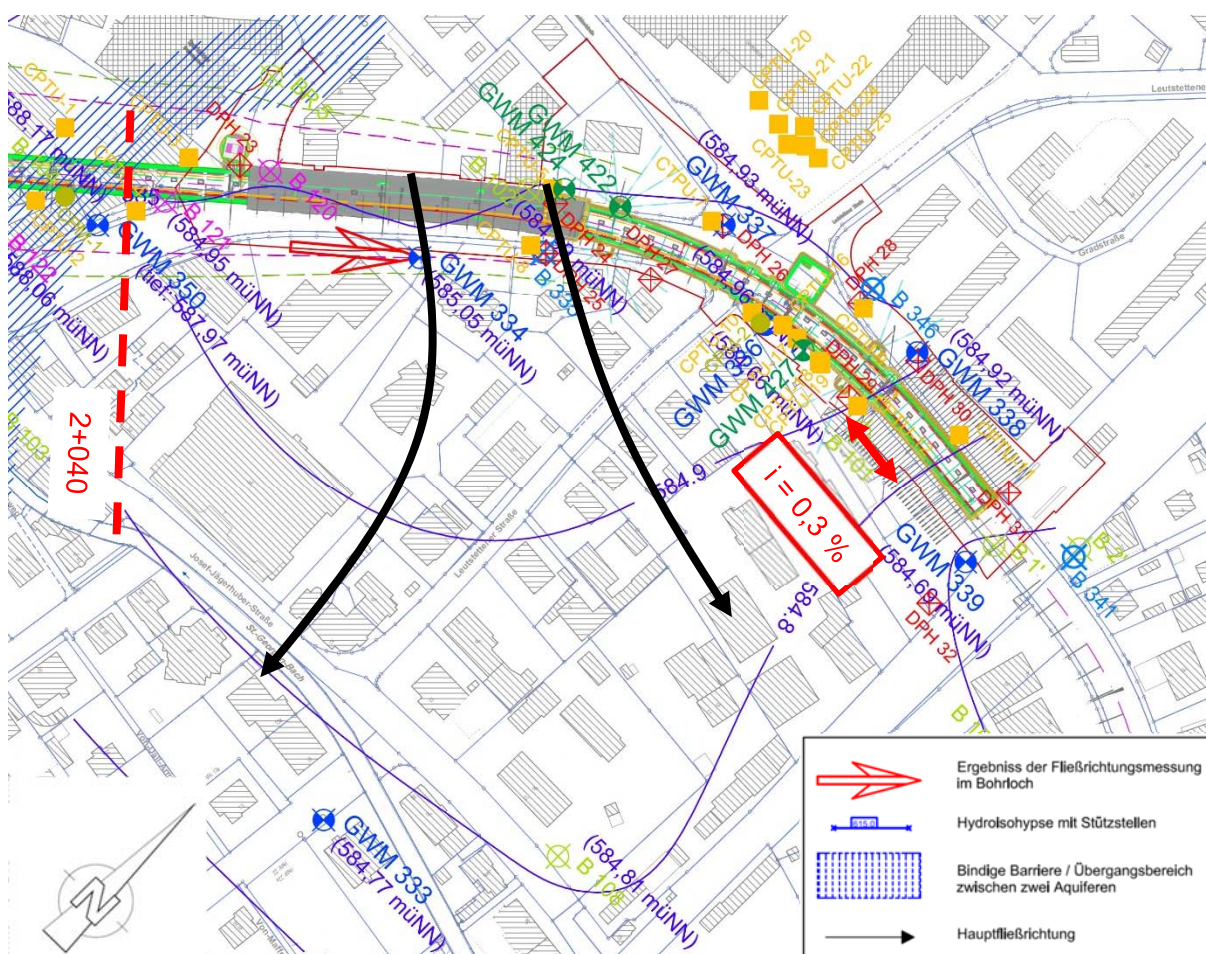


Abbildung 12: Isohypsen und Ergebnisse der Fließrichtungsmessung des Aquifers Q₃ (GWA₃)



7.4.2 Bemessungsgrundwasserstände

Die Festlegung der Bemessungsgrundwasserstände für den Tunnel erfolgte im Hydrogeologischen Bericht, Teil 2 [U12] (siehe Anlage 13.2), weshalb für eine ausführliche Darstellung der Bemessungsgrundwasserstände auf diesen Bericht verwiesen wird. Die darin festgelegten Bemessungsgrundwasserstände HW_{Bau} und HW_{End} für den quartären Aquifer sind in den Längsschnitten in Anlage 2 dargestellt. Für die einzelnen Bauwerke können die Bemessungsgrundwasserstände durch Interpolation aus den Angaben im Längsschnitt ermittelt werden. Zudem werden die Bemessungsgrundwasserstände im jeweils zugehörigen Unterabschnitt in Abschnitt 8 sowie in den Berechnungen in Anlage 4.1 aufgeführt.

Gemäß [U12] werden für die tertiären Aquifere die in Tabelle 18 zusammengefassten Grundwasserstände als Bemessungsgrundwasserstände angesetzt.

Tabelle 18: Bemessungsgrundwasserstände im Tertiär

Bau-km [müNN]	GWM	Aquifer	Stichtagsmessung [müNN]	HW_{Bau} [müNN]	HW_{End} [müNN]
0+481	Wasserstand in GWM 307-t	Tertiär	614,1	615,2	616,7
0+666	Wasserstand in GWM 310-t	Tertiär	607,5	610,8	612,3
0+928	GWM 406-t	Tertiär	Zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung wurde GWM 406 saniert.	607,8	611,3
1+007	Wasserstand in GWM 314-t	Tertiär	600,1	609,6	611,1
bis 1+350	Wasserstand entsprechend Quartär	Tertiär	-	609,6	611,1
1+776	Wasserstand in GWM 360-t (nicht berücksichtigt)	Tertiär	575,2	590,8	592,4
Ab Bau-km 1+350	Bemessungswasserstände entsprechend Quartär				

7.4.3 Rechnerische Durchlässigkeitsbeiwerte

In [U9] sind die für die unterschiedlichen Bodenschichten zu erwartenden Durchlässigkeiten angegeben. Diese sind in Tabelle 19 zusammengefasst. In der Tabelle sind auch die für die Berechnungen angenommenen Durchlässigkeitsbeiwerte aufgeführt.

Tabelle 19: k-Werte für die unterschiedlichen Bodenschichten gemäß [U9]

Bodenschicht	Zu erwartende hydraulische Durchlässigkeit gemäß [U9] k [m/s]	Rechnerische Durchlässigkeit k [m/s]
Nichtbindige Auffüllungen	$k_n = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ bis $1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ [durchlässig bis stark durchlässig]	$5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
Bindige Auffüllungen	$k \leq 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ (schwach durchlässig)	$1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$



Bodenschicht	Zu erwartende hydraulische Durchlässigkeit gemäß [U9] k [m/s]	Rechnerische Durchlässigkeit k [m/s]
	d. h. die Durchlässigkeit der bindigen Auffüllungen ist in vertikaler Richtung im baupraktischen Sinn vernachlässigbar klein, sofern nicht mit Bauwerksresten durchsetzt.	
Nichtbindige Moräne	GW, GI, GU, GT, GU*, GT*: $k_h = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s bis } 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ [durchlässig bis stark durchlässig] In Rollkies- und Steinlagen: $k_h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ bis } 5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ [stark bis sehr stark durchlässig] k_h kann infolge Anisotropie ein Vielfaches von k_v erreichen	$5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
Bindige Moräne	$k = < 1 \cdot 10^{-5}$ (durchlässig bis sehr schwach durchlässig)	$1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
Fluviatil abgelagerte Kiese	GW, GI, GU, GT, GU*, GT*: $k_h = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s bis } 1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ [stark durchlässig bis durchlässig] In Rollkies- und Steinlagen: $k_h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ bis } 5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ [stark- bis sehr stark durchlässig] k_h kann infolge Anisotropie ein Vielfaches von k_v erreichen	$5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ bzw. $5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ für Versickerung
Fluviatil abgelagerte Sande	SU, ST: $k_h = > 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s bis } 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ [durchlässig] SU*, ST*: $k_h = 1 \cdot 10^{-8} \text{ bis } 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ [schwach durchlässig] k_h kann infolge Anisotropie ein Vielfaches von k_v erreichen	$5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
Seetone	$k_v \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ [schwach bis sehr schwach durchlässig] k_h kann infolge Anisotropie (Feinsandlagen) ein Vielfaches von k_v erreichen	$1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
Konglomerat	Gebirgsdurchlässigkeit gering bis hoch, abhängig vom Porenanteil	
Tertiäre Tone, Schluffe und Sande, Ton- und Schluffsteine	$T_{T/U}, S_{T/U}$; Tonsteine / Schluffsteine: $k_v \leq 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ (sehr schwach durchlässig) d. h. die Durchlässigkeit der Schluffe und Tone ist in vertikaler Richtung im baupraktischen Sinn vernachlässigbar klein. Bei Wechsellagerung mit Sandschichten kann die horizontale Durchlässigkeit k_h ein Vielfaches von k_v betragen T_s zwischen $k_h = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ und $k_h = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ (stark bis schwach durchlässig) k_h kann aufgrund der Feinschichtung mit eingeregelt Glimmerblättchen und dünnen Feinkornlagen ein Vielfaches von k_v betragen.	$1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ (Tone und Schluffe), $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (Sande)

8 GRUNDWASSERBEZOGENE FOLGERUNGEN FÜR DIE BAUMAßNAHME

8.1 Allgemeine Hinweise

8.1.1 Bauzeitliche Grundwasserversickerung und -einleitung

Es ist vorgesehen, die bauzeitlich anfallenden Wassermengen zu versickern. Nur in den Fällen, in denen aufgrund vorliegender (hydro-)geologischer Verhältnisse – zu hohe Grundwasserstände oder nicht ausreichend durchlässiger Untergrund – oder aufgrund baupraktischer Bedingungen wie beengten Platzverhältnissen keine Versickerung der geförderten Grund- und Niederschlagswässer möglich ist, werden die



geförderten Wässer in Oberflächengewässer eingeleitet. Die bauzeitlichen Wassermengen sowie die bauzeitliche Entnahme, Versickerung und Einleitung sind jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.1.2 Grundwasseraufstau im Bau- und Endzustand

Bauwerke, die ins Grundwasser reichen, beeinflussen den Grundwasserstrom. Stromaufwärts des Bauwerks entsteht ein Grundwasseranstieg, stromabwärts ein etwa gleich großer Sunk. Die Aufstauberechnungen werden nur für den quartären Grundwasserleiter durchgeführt. In den tertiären gespannten Grundwasserleitern liegt ein Druckspiegel vor, die Grundwasseroberfläche (= Oberkante Grundwasserleiter) verändert sich hier durch die ins Grundwasser reichende Bauwerke nicht. In dem vorliegenden Erläuterungsbericht wird sowohl der im Bau- als auch im Endzustand durch die Bauwerke erzeugte Grundwasseraufstau behandelt.

8.1.3 Beeinflussung des Grundwassers sowie von Grundwassernutzungen durch Zement

Die bauzeitliche Beeinflussung von Grundwasser und -nutzungen durch Zement ist nicht Gegenstand der Planfeststellung. Im Endzustand ist nicht davon auszugehen, dass es durch abgebundenen Zement zu einer Beeinflussung des Grundwassers kommt.

8.1.4 Bauzeitlicher Einsatz wassergefährdender Stoffe und Gefährdungsanalyse

Der bauzeitliche Einsatz von wassergefährdenden Stoffen ist nicht Gegenstand der Planfeststellung. Sie werden außerhalb des planrechtlichen in einem gesonderten wasserrechtlichen Antragsverfahren nach § 15 WHG bzw. § 15 BayWG behandelt.

Es wird darauf hingewiesen, dass die ausführenden Firmen für die einzelnen Baumaßnahmen und jeweiligen Baustelleneinrichtungsflächen Havariekonzepte mit Gefährdungsanalyse und Gegenmaßnahmen vorlegen müssen.

8.1.5 Bauzeitliche Prozesswässer

Bauzeitlich anfallende Prozesswässer sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.1.6 Risikominimierung für die Fischzucht des Instituts für Fischerei, den Siebenquellenbach und den Georgenbach

Für die Minimierung der Risiken für die Fischzucht des Instituts für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft ist eine bauzeitliche Ersatzwasserversorgung geplant, die die Fischzucht während des Zeitraums der Baumaßnahme, in dem diese Auswirkungen auf die Fischzucht haben könnte, mit unbeeinflusstem Grundwasser versorgen wird. Die Ersatzwasserversorgung wird im Gutachten „Wasser-technische Untersuchungen, Bauzeitliche Ersatzwasserversorgung IFI“ behandelt.

Es ist hierbei festzuhalten, dass beim Schildvortrieb Havarien nur sehr eingeschränkt möglich sind, da lediglich der vorderste Bereich der Maschine mit dem Boden in Berührung kommt. Der sich hinter dem Kopf der Maschine befindliche Bereich wiederum ist gegen den Boden und das Grundwasser abgedichtet. Auf den obertägigen Baustellenbereichen ist das Risikopotential für Havarien, wie es auch bei anderen Baustellen üblich ist, sehr gering.



Sollte es dennoch zu einer Havarie kommen, so strömt das Grundwasser im GWA₁ aufgrund der Einrahmung durch undurchlässiges Moränenmaterial und die unterlagernden tertiären Schichten trichterförmig auf die Quellen der Fischzucht zu und kann nur dort zu Tage treten. Sollte Grundwasser oberhalb der Fischzucht verunreinigt werden, lässt sich das verunreinigte Grundwasser somit beim IFI nahezu vollständig fassen. Eine darüberhinausgehende, nennenswerte Ausbreitung in den unterstromigen Grundwasserleiter GWA₂ ist somit ausgeschlossen und weitreichendere Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse sind nicht zu erwarten. Bei den vergleichsweise geringen Fließgeschwindigkeiten von Grundwasser besteht darüber hinaus die Möglichkeit, zusätzliche Maßnahmen vorzunehmen (beispielsweise Grundwasserentnahme aus Messstellen und Reinigung), bis eine Grundwasserverunreinigung die Fischzucht bzw. den Siebenquellenbach erreicht. Zur Beobachtung der pH-Werte im Abstrom der Baumaßnahme ist ein Monitoring vorgesehen, welches für den unwahrscheinlichen Fall einer bedenklichen pH-Werterhöhung ein Handeln ermöglicht.

Hinsichtlich der Schutzgüter Siebenquellenbach und Georgenbach wird davon ausgegangen, dass im Planfall keine nachteilige Beeinflussung auftreten wird. Aufgrund der Vermischung des möglicherweise durch den Tunnelbau beeinflussten Grundwassers, das direkt aus dem Aquifer bzw. indirekt über die Quellen dem Siebenquellenbach und später dessen Vorflut, dem Georgenbach, zufließt, mit dem unbeeinflussten Abfluss aus der Fischzucht (aus der Ersatzwasserversorgung) kommt es zu einer erheblichen Verdünnung potentieller Schadstoffe. Es ist davon auszugehen, dass eine vorübergehende gewässerökologische Beeinträchtigung mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Sollte es trotzdem zu dem Fall kommen, dass der Siebenquellenbach durch signifikant verunreinigtes Wasser beeinträchtigt wird, kann der Siebenquellenbach auch über einen Kanal, der wenige Meter abstromig der Fischzucht abzweigt und später in den Georgenbach mündet, abgeleitet werden. Es sind entsprechende Materialien vorzuhalten, um den Bachlauf abzusperren. Im Georgenbach kann aufgrund dessen deutlich höheren Wassermengen von einer ausreichenden Verdünnung potentieller Schadstoffe ausgegangen werden. Zum Schutz der Fauna des Siebenquellenbachs ist eine Rohrleitung vorzusehen, die den Ablauf des IFI dem Siebenquellenbach unterhalb der Barriere zuführt und so die Wasserführung des Siebenquellenbachs aufrechterhält.

8.1.7 Kontrollen und Grundwassermessstellen

Bauzeitliche Kontrollen des Grundwasserstands sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

Für den Nachweis der dauerhaften Funktionstüchtigkeit der Grundwasserüberleitungen sind regelmäßig die Grundwasserstände ober- und unterstromig der Bauwerke sowie die Durchflussmengen zu dokumentieren und ca. alle fünf Jahre eine Funktionsprüfung durchzuführen. Die Zuständigkeit für den Erhalt der Bauwerke liegt beim Staatlichen Bauamt Weilheim.

8.2 Strecke Bau-km 0+225 bis Bau-km 2+405

8.2.1 Startbaugrube Süd in offener Bauweise mit Düker 1

8.2.1.1 Bauwerksbeschreibung

Die am südlichen Ende des geplanten Tunnels gelegene Startbaugrube Süd beginnt im oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands HW_{Bau} gelegenen Abschnitt zunächst als Rampenbauwerk (Anlage 7.1). Ab



ca. Bau-km 0+340 verläuft der Tunnel innerhalb eines Verbaus aus überschnittenen Bohrpfählen, die bis in tertiäre Schichten einbinden. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 20.

Tabelle 20: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene Bohrpfähle Ø 1,2 m, Einbindung ins Tertiär
Abmessungen	ca. 104 m x 12 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	ca. 614,7 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	ca. 611,8 müNN
UK Verbau	i.M. ca. 601,6 müNN (zwischen 605,95 müNN und 594,70 müNN)
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich quartäre Kiese, ggf. bindige Moräne
Bauzeit	ca. 42 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 29 Monate

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 21 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf den Bohrungen GWM 303, B 304 und GWM 307, die sich unmittelbar nördlich und südlich der geplanten Baugrube befinden.

Tabelle 21: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 623,3 müNN
OK Tertiär	ca. 607,0 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (feinkörniges Tertiär)	ca. 606,8 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2009)	quartärer GWL: ca. 615,4 müNN tertiärer GWL: ca. 607,6 müNN
HW _{Bau}	Quartär: Süd 616,90 müNN, Nord 616,15 müNN Tertiär: Süd 616,05 müNN, Nord 614,80 müNN
HW _{End}	Quartär: Süd 617,65 müNN, 616,90 müNN Tertiär: Süd 617,55 müNN, Nord 616,25 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 22 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 22: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=623,3 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
	[müNN]	[m unter GOK]	HW _{Bau}	HW _{End}
			[m uGw] i.M.	[m uGw] i.M.
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 614,7	ca. 8,6	Q: ca. 1,8 T: ca. 0,7	Q: ca. 3,1 T: ca. 2,2
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 611,8	ca. 11,5	Q: ca. 4,7 T: ca. 3,6	Q: ca. 6,0 T: ca. 5,1



8.2.1.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll versickert werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.2.1.3 Beeinflussung des Grundwassers und von Oberflächengewässern

Alle Berechnungen sind in Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 3, zusammengestellt.

8.2.1.3.1 Grundwasseraufstau

Durch die Baugrubenumschließung aus Bohrpfählen wird der quartäre Grundwasserstrom behindert. Hierdurch entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein in etwa gleich großer Sunk. Da die Bohrpfähle voraussichtlich ins Tertiär einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich beidseitig umströmt werden.

Zur Bestimmung des Aufstaus wurden am Zentrum Geotechnik der TU München Berechnungen mit einem numerischen Grundwassermodell für den Grundwasserstand HW_{End} durchgeführt. Die Ergebnisse sind in [U13] dargestellt. Demnach führt die Startbaugrube Süd zu Aufstau- und Sunkbeträgen bis zu ca. 1,4 m.

Zur Reduktion des Grundwasseraufstaus im Bereich der Startbaugrube Süd ist der Düker 1 geplant, bei dem jeweils fünf Vertikalfilterbrunnen mit einem Bohrdurchmesser von 1,2 m beidseits des Bauwerks angeordnet werden (Abbildung 13). In der Bauphase werden die Brunnen auf der Anstromseite des Bauwerks gepumpt, das Grundwasser in die Versickerungsbrunnen auf der Abstromseite übergeleitet und dort wieder versickert. Eine Übersicht des Dükers enthält Anlage 7.9.

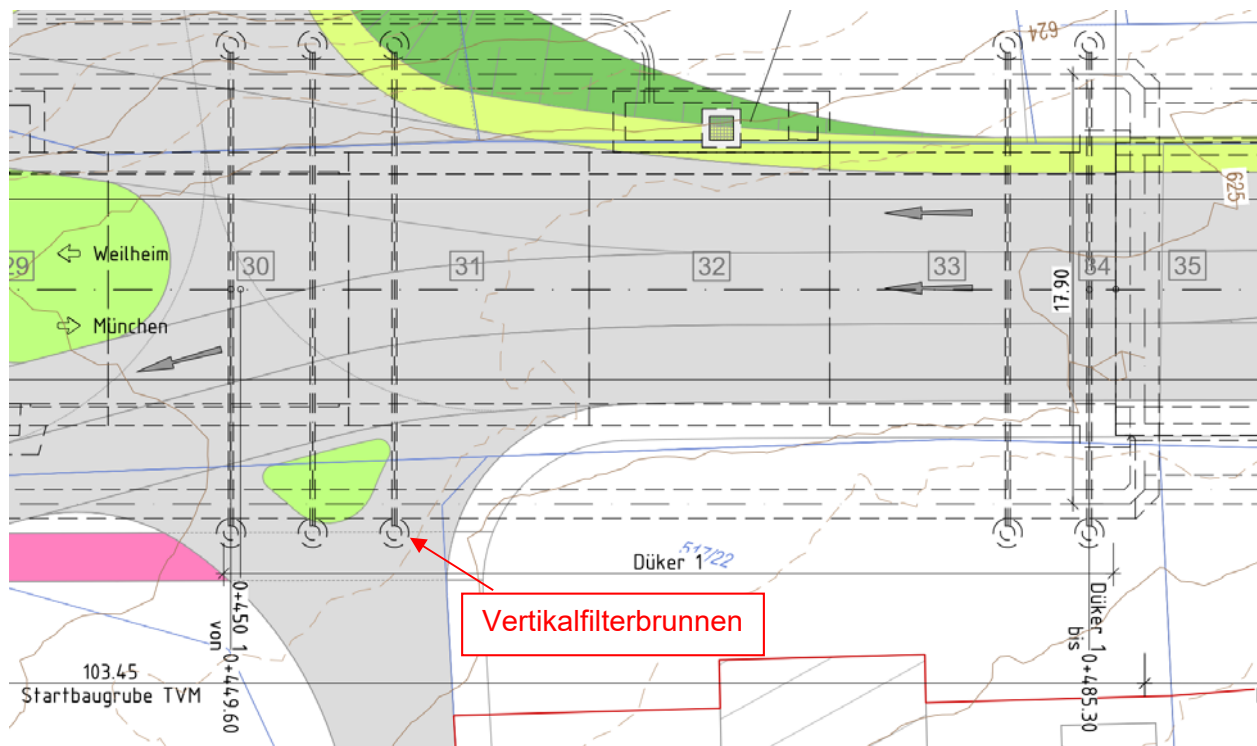


Abbildung 13: Mit Querleitung verbundene Vertikalfilterbrunnenpaare des Dükers 1 am nördlichen Ende der Startbaugrube



Eine Berechnung zur Leistungsfähigkeit des Dükers ist in Anlage 4.2 enthalten. Hierbei werden die Ergebnisse von analytischen Berechnungen des Fassungsvermögens der Vertikalfilterbrunnen sowie der Leistungsfähigkeit der Querleitungen (Vollfüllungsleistung unter Verwendung von [U37]) mit einer Abschätzung der anströmenden Grundwasserwassermenge basierend auf den Ergebnissen der numerischen Strömungsmodellierung verglichen. Es ergibt sich überschlägig eine ca. 5- bis 6-fache Überdimensionierung der Düker. Die Düker können demnach rechnerisch etwa das 5- bis 6-fache der anströmenden Wassermenge überleiten.

In Anlage 4.3 wurden Auswertungen hinsichtlich der Suffosionsstabilität und somit hinsichtlich der Gefahr von Erosionsvorgängen im Boden im Nahbereich des Dükers durchgeführt. Hierfür wurden Korngrößenverteilungskurven von Proben der Bohrung GWM 307 ausgewertet. Gemäß dem vereinfachten Kriterium nach BAW-Merkblatt „Materialtransport im Boden“ [U35] besteht bei den Böden teilweise aufgrund ihres Kornaufbaus die Möglichkeit für Suffosionsvorgänge im Untergrund. Die auftretenden hydraulischen Gradienten reichen jedoch nicht aus, dass die Schleppkraft des Wassers auch zu einem Materialtransport führt (siehe hydraulisches Kriterium in BAW-Merkblatt „Standicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen“ [U36]). Die Gefahr von Setzungen ist deshalb bei sachgerechter Ausführung der Vertikalfilterbrunnen aufgrund des geringen hydraulischen Gefälles zwischen An- und Abstromseite nicht gegeben.

Die Bohrpfähle verbleiben im Untergrund, weshalb die Baugrube auch im Endzustand nicht unter-, sondern nur umströmt werden kann. Die Vertikalfilterbrunnen sind im Endzustand durch Querleitungen, die unterhalb der Baugrubensohle verlaufen, miteinander verbunden und funktionieren gemäß dem Prinzip der kommunizierenden Röhren ohne zusätzliche Pumpleistung. Gemäß [U13] wird der Aufstau im Bereich der Startbaugrube Süd durch diese Maßnahme auf unter 0,2 m begrenzt, der Sunk auf Werte unter 0,5 m.

8.2.1.3.2 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.2.2 Maschineller Tunnelvortrieb (Bau-km 0+486 bis Bau-km 2+213)

8.2.2.1 Bauwerksbeschreibung

Die Hauptröhre des Tunnels Starnberg wird gemäß der vorliegenden Planung im maschinellen Tunnelvortrieb mit einer Schildmaschine mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust und einem Durchmesser von ca. 12,6 m hergestellt. Die Tunnelschale wird mittels Tübbingern erstellt, die Verpressung des Ringspalts erfolgt voraussichtlich mit einem zementbasierten Ringspaltmörtel, ggf. auch mit einem Zweikomponentenmörtel. Die Vortriebsdauer wird mit ca. neun bis elf Monaten abgeschätzt. Die Höhenlage des Tunnels ist aus Anlage 7.1 ersichtlich.

Am nördlichen und südlichen Ende des maschinellen Tunnels befindet sich jeweils ein ca. 15 m langer Dichtblock aus DSV-Körpern, von dem aus der maschinelle Tunnelvortrieb startet bzw. in dem er endet. In den Anschlussbereichen des Tunnels an die Startbaugrube Süd sowie an die offene Bauweise Nord (OBW Nord) sind zudem Abdichtungsinjektionen mit dem Düsenstrahlverfahren zur Setzungsreduzierung und zur Erhöhung der Ausblärsicherheit beim TVM-Vortrieb geplant. Zur Reduzierung des Grundwasseraufstaus liegen die Düker 2 und 3 im Bereich des maschinellen Tunnelvortriebs.



Die Anlagene Genehmigung für die TVM gemäß der Verordnung über den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) ist nicht Teil der Planfeststellung und wird in einem gesonderten wasserrechtlichen Antragsverfahren nach § 15 WHG bzw. § 15 BayWG behandelt.

8.2.2.2 Wasserhaltung während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grundwasser soll versickert werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.2.2.3 Beeinflussung des Grundwassers

8.2.2.3.1 Grundwasseraufstau

Bereich Grundwasserabschnitt 1 (GWA₁)

Zur Bestimmung des Aufstaus im quartären Grundwasserleiter wurden am Zentrum Geotechnik der TU München Berechnungen mit einem numerischen Grundwassermodell durchgeführt. Die Ergebnisse für den Grundwasserabschnitt 1 (GWA₁), der den Bereich von ca. Bau-km 0+140 bis ca. Bau-km 0+960 umfasst, sind in [U13] dargestellt. Die Lage des GWA₁ ist aus Abbildung 2 ersichtlich (als „Aquifer Q1“ bezeichnet). Demnach führt der Tunnel ohne Düker zu einem Aufstau von maximal ca. 1,8 m und einem Sunk von maximal ca. 1,7 m. Gemäß den Modellberechnungen werden durch die im GWA₁ vorgesehenen Düker 1 (siehe Abschnitt 8.2.1.3.1) und Düker 2 (siehe Abschnitt 8.3.1) der Aufstau auf der Anstromseite auf maximal ca. 0,2 m und der Sunk auf der Abstromseite auf maximal ca. 0,7 m begrenzt (Abbildung 14). Die Modellberechnungen zeigen somit, dass der in [U17] festgelegte maximale Grundwasseraufstau von 0,60 m bis 0,80 m [U17] im Bereich des Aquifers Q1 durch die Dükermaßnahmen eingehalten wird. Aufgrund der gegenüber der natürlichen Durchlässigkeit höheren Leistungsfähigkeit der Düker und der vergleichsweise großen Wasserspiegeldifferenz zwischen An- und Abstromseite kommt es zu einem deutlichen Sunk auf der Anstromseite und einem Aufstau auf der Abstromseite, die gemäß den Berechnungsergebnissen ca. 1,1 m bzw. ca. 1,0 m betragen. Durch eine Anpassung der Durchflussmengen im Düker können diese Beträge reduziert werden (siehe Abschnitt 8.3.1.3.2).

Zur Bewertung der Auswirkungen des Tunnels auf Dritte wurden durch das Landratsamt Starnberg [U31] und das Wasserwirtschaftsamt Weilheim [U32] Unterlagen zu geothermischen Nutzungen im Bereich des GWA₁ sowie durch das Staatliche Bauamt [U33] Unterlagen zu den Gebäudeunterkanten im Bereich des GWA₁ zur Verfügung gestellt. Unter Berücksichtigung der Berechnungsergebnisse [U13] ist nach dem uns vorliegenden Informationsstand keine nachteilige Beeinflussung Dritter gegeben (siehe Anlage 10).

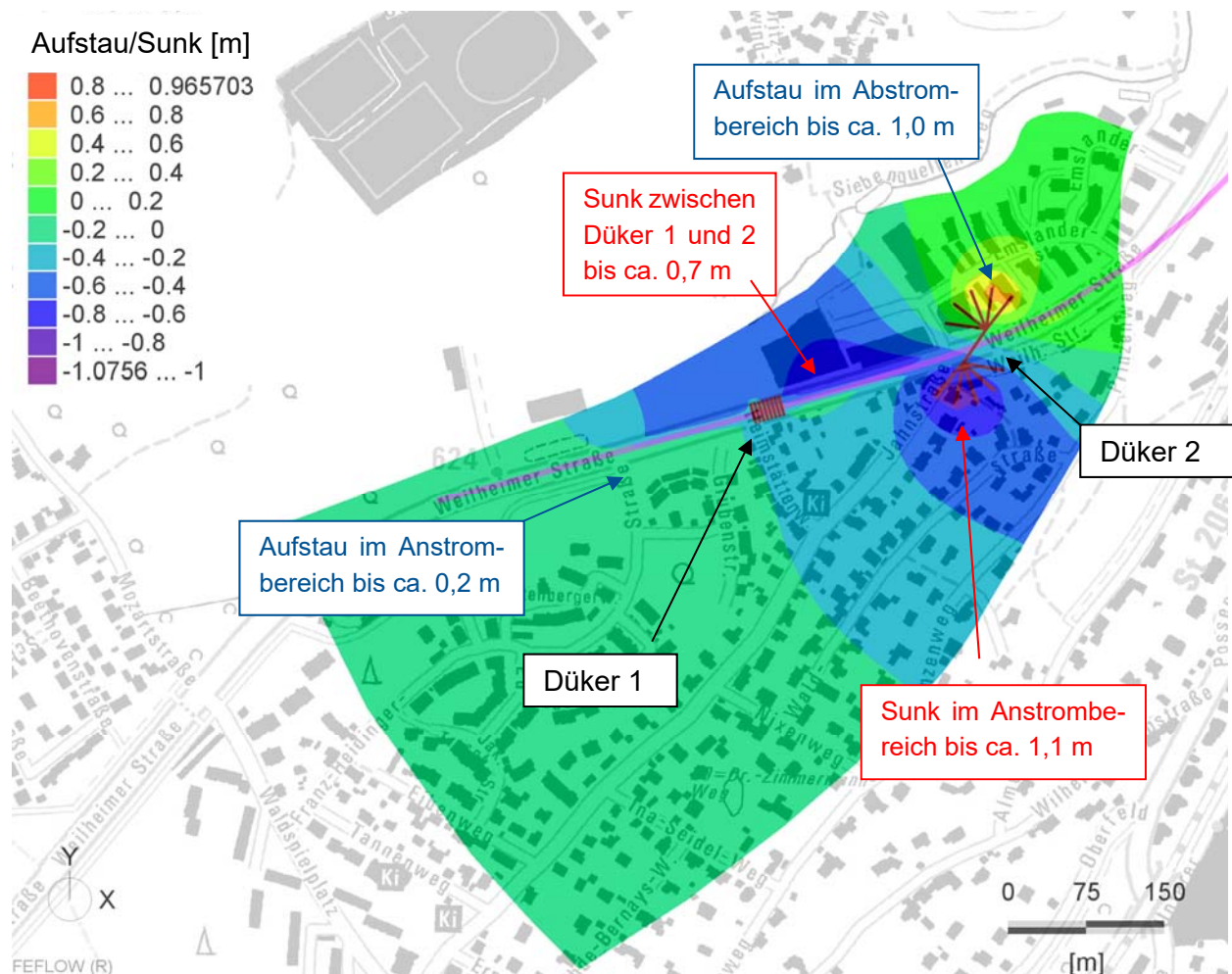


Abbildung 14: Ergebnisse der Aufstauberechnungen mit dem numerischen Grundwassermodell unter Berücksichtigung der Düker 1 und 2 [U13]

Bereich Grundwasserabschnitt 2 (GWA₂)

Analog zu dem Vorgehen für den GWA₁ wurden am Zentrum Geotechnik der TU München Berechnungen mit einem weiteren Grundwassermodell durchgeführt, um die Auswirkungen des Tunnels auf die Grundwasserverhältnisse im Grundwasserabschnitt 2 (GWA₂) zu untersuchen [U14]. Der GWA₂ umfasst den Bereich von ca. Bau-km 1+000 bis ca. Bau-km 2+000. Die Lage des GWA₂ ist aus Abbildung 2 ersichtlich (als „Aquifer Q2“ bezeichnet). Gemäß [U14] kommt es jedoch im nördlichen Bereich des GWA₂ ab ca. Bau-km 1+450 aufgrund der Tiefenlage des Tunnels zu keiner Beeinträchtigung des quartären Grundwasserleiters durch den Tunnel, weshalb das Grundwassermodell nur den Bereich bis ca. Bau-km 1+700 umfasst.

Gemäß den Berechnungsergebnissen führt der Tunnel ohne Düker zu einem maximalen Aufstau von ca. 6,4 m auf der Westseite des Tunnels bei ca. Bau-km 1+050. Der maximale Sunk liegt bei ca. 3,2 m bei ca. Bau-km 1+100. Durch den im GWA₂ angeordneten Grundwasserdüker 3 (siehe Abschnitt 8.3.7) reduziert sich der maximale Aufstau im Anstrombereich auf ca. 0,6 m. Der maximale Sunk im Abstrombereich beträgt ca. 0,5 m.

Zur Bewertung der Auswirkungen des Tunnels auf Dritte wurden durch das Landratsamt Starnberg [U31] und das Wasserwirtschaftsamt Weilheim [U32] Unterlagen zu geothermischen Nutzungen im Bereich des GWA₂ sowie durch das Staatliche Bauamt [U33] Unterlagen zu den Gebäudeunterkanten im Bereich des



GWA₂ zur Verfügung gestellt. Unter Berücksichtigung der Berechnungsergebnisse [U14] ist nach dem uns vorliegenden Informationsstand keine nachteilige Beeinflussung Dritter gegeben. Die Tiefgarage des Bauwerks Weilheimer Straße 1 reicht gemäß den durchgeführten numerischen Grundwasserberechnungen bereits im Istzustand beim Bemessungsgrundwasserstand für den Endzustand in das Grundwasser. Durch den Tunnel verringert sich die Eintauchtiefe geringfügig (siehe Anlage 10).

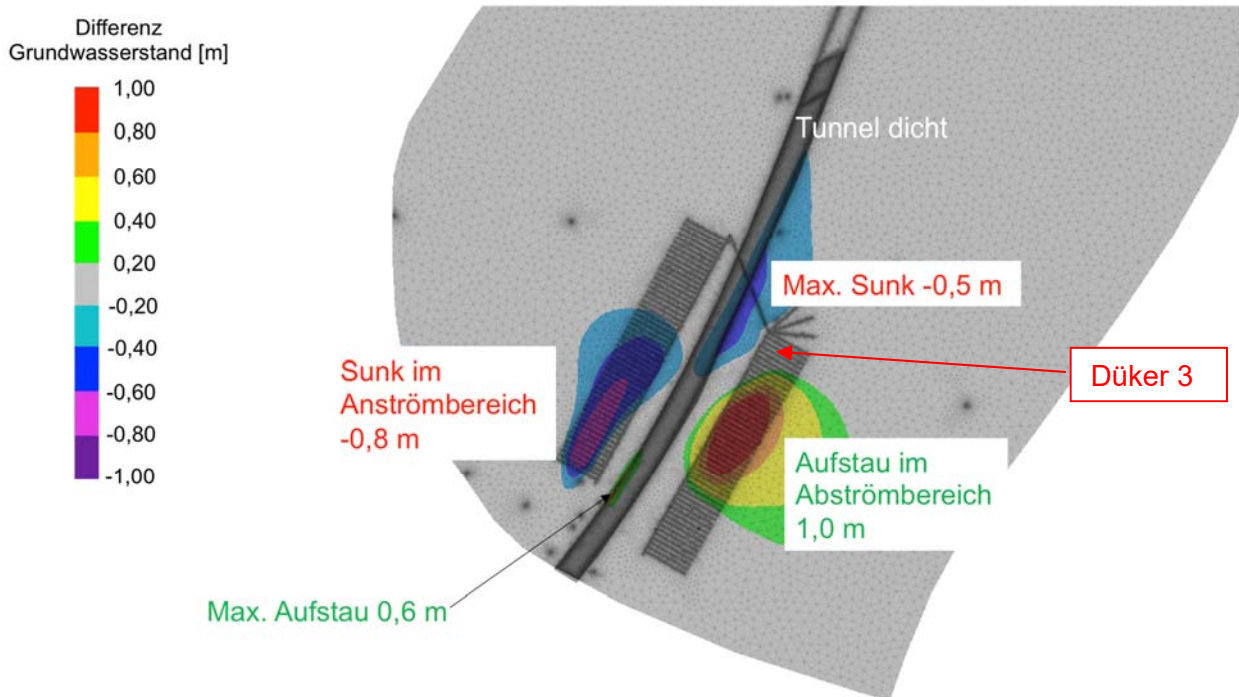


Abbildung 15: Ergebnisse der Aufstauberechnungen mit dem numerischen Grundwassermodell unter Berücksichtigung des Dükers 3 [U14]

In der ursprünglichen Planfeststellung waren im GWA₂ zusätzlich innerstädtische Düker vorgesehen. Aufgrund der geänderten Tiefenlage des Tunnels und der durch die vertiefte Erkundung erzielten Erkenntnisse zu den (hydro-)geologischen Verhältnissen sind diese Düker nicht mehr notwendig.

Bereich Grundwasserabschnitt 3 (GWA₃)

Der GWA₃ umfasst den Bereich ab Bau-km 2+040 und somit auch die OBW Nord ab etwa Bau-km 2+210. Der durch die OBW Nord und den Einfahrbereich verursachte Grundwasseraufstau wird in Abschnitt 8.2.6.3.1 behandelt.

Auf die Erstellung eines numerischen Grundwassermodells wie in den zuvor behandelten Grundwasserabschnitten GWA₁ und GWA₂ wurde im Bereich des GWA₃ verzichtet. Wie die umfangreichen Erkundungsarbeiten belegen, sind die Baugrundverhältnisse im Grundwasserabschnitt GWA₃ stark heterogen und die Fließrichtungen wechseln in Abhängigkeit von den Grundwasserständen, sodass eine numerische Grundwassermodellierung in diesem Bereich als nicht sinnvoll erachtet wird. Des Weiteren sind die Aufstauhöhen so gering und die beeinflussten Bereiche so begrenzt, dass der Aufwand für die Durchführung einer numerischen Modellierung nicht gerechtfertigt wäre. Stattdessen wurde eine auf der sicheren Seite liegende Ermittlung des Aufstaus mit dem Verfahren nach Schneider [U28] unter Berücksichtigung ungünstiger Randbedingungen vorgenommen.



Gemäß den vorliegenden Aufschlussbohrungen B 120, B 335 und GWM 350 und dem geologischen Längsschnitt (Abbildung 2) weist die Quartärunterkante im Abschnitt zwischen Bau-km 2+040 und Bau-km 2+210 ein lebhaftes Relief auf. Die Bohrungen weisen hierbei eine Höhe der Quartärunterkante zwischen ca. 573,5 müNN und ca. 583,4 müNN auf. Anhand der drei Aufschlussbohrungen wurde eine durchschnittliche Höhenlage der Quartärunterkante von ca. 579,2 müNN abgeschätzt. Die Höhenlage des Tunnels liegt in diesem Bereich zwischen ca. 565,0 müNN und 570,0 müNN für die Tunnelsohle und ca. 578,0 müNN und 587,0 müNN für die Tunnelfirste. Anhand der vorliegenden Höhenkoten ist somit davon auszugehen, dass insbesondere im Südosten des Tunnelabschnitts eine Überströmung des Tunnels möglich ist. Da für die Tunnelüberströmung keine analytische Lösung vorliegt, wurde eine Unterströmung nach Schneider [U29] berechnet, bei der der Unterströmungsquerschnitt dem Wasserstand über dem Tunnel bei HW_{Bau} (ca. 1,0 m) bzw. HW_{End} (ca. 2,0 m) entspricht. Für den Fall HW_{Bau} ergibt sich ein Grundwasseraufstau von ca. 0,04 m, für HW_{End} von ca. 0,03 m.

8.2.2.3.2 Wasserwegigkeit entlang des Tunnels zwischen den Grundwasserabschnitten GWA_1 und GWA_2

Der Tunnel Starnberg durchfährt von Süden kommend zunächst den Aquifer 1. Anschließend verläuft er in bindigen Moränenablagerungen sowie tertiären Tonen und Schluffen. In diesem Bereich kommt zusätzlich die Pannenbucht 1/2 zu liegen. Im weiteren Verlauf bindet der Tunnel dann in den Aquifer 2 ein. Im Bereich des Ringspalts des Tunnels sowie im Bereich zwischen Außen- und Innenschale der Pannenbucht 1/2 bestünde theoretisch die Möglichkeit einer Wasserwegigkeit, sodass Grundwasser des höher gelegenen Aquifers 1 entlang des Tunnels in den Aquifer 2 gelangen könnte. Dem kann durch folgende Maßnahmen begegnet werden:

Zur Verringerung der möglichen Fließquerschnitte wird der Ringspalt planmäßig auf der gesamten Länge des Vortriebs in den bindigen Moränenablagerungen und den tertiären Tonen und Schluffen verpresst und dokumentiert kontrolliert, wodurch sich die hydraulische Durchlässigkeit des Ringspalts stark verringert. Im Bereich der Pannenbucht besteht zudem die Möglichkeit, das Vlies zwischen Außen- und Innenschale durch Bentonitmatten zu ersetzen, die bei Wasserkontakt aufquellen und somit eine abdichtende Wirkung aufweisen. Aufgrund der so erzielbaren geringen Durchlässigkeit des Ringspalts bzw. des Zwischenraums zwischen den Tunnelschalen im Bereich der Pannenbucht ist nicht mit einem nennenswerten Volumenstrom vom GWA_1 zum GWA_2 als Folge des Tunnelvortriebs zu rechnen.

Nach dem Auffahren der Pannenbucht, nach Beendigung der Druckluftbeaufschlagung und bei vorhandenem Anschluss der Pannenbucht an den Ringspalt des Tunnels kann der Zufluss aus dem Ringspalt in die Pannenbucht gemessen werden. Sollten entgegen der Erwartungen nennenswerte Zuflüsse auftreten, kann der Tunnelumgriff mittels Injektionen abgedichtet werden.

8.2.2.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Die zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ist nicht Gegenstand der Planfeststellung.



8.2.3 Wartungsbahnhof beim Düker 3

8.2.3.1 Bauwerksbeschreibung

Bei dem Wartungsbahnhof handelt es sich um einen ca. 8 m langen und ca. 20 m breiten Dichtkörper aus Beton, der mittels nebeneinander angeordneter Schlitzwandlamellen hergestellt wird. Die Schlitzwandlamellen werden bis ca. 3 m oberhalb der Tunneloberkante mit Beton und darüber mit einem durchlässigen Material (z.B. Kies) verfüllt. Der Wartungsbahnhof befindet sich ca. bei Bau-km 1+200 (Anlage 7.1).

8.2.3.2 Beeinflussung des Grundwassers

8.2.3.2.1 Grundwasseraufstau

Der durch den Wartungsbahnhof verursachte Grundwasseraufstau ist in den Betrachtungen zum Grundwasseraufstau des Tunnels in Abschnitt 8.2.2.3.1 enthalten. Eine gesonderte Betrachtung entfällt deshalb.

8.2.3.2.2 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.2.4 Pannenbucht 1/2

8.2.4.1 Bauwerksbeschreibung

Die Pannenbucht 1/2 stellt eine in Spritzbetonbauweise zu erstellende Aufweitung des in maschineller Bauweise erstellten Tunnels dar. Der Vortrieb erfolgt im getrennten Kalotten- und Strossen-/Sohlvortrieb. Die Sicherung der Aufweitung wird im Bauzustand mit Spritzbeton, Baustahlgittern, Gitterböden, Rohrschirm und Spießen im Firstbereich sowie Ankern in den Ulmen vorgenommen. Angaben zu Abmessungen und Bauzeit sind in Tabelle 23 wiedergegeben. Die Lage ist aus Anlage 7.1 ersichtlich.

Tabelle 23: Angaben zu Abmessungen und Bauzeit

Abmessungen	ca. 16 m hoch, ca. 18 m breit, ca. 57 m lang
Tiefe der Baugrubensohle	ca. 592,0 müNN (S) bis ca. 589,5 müNN (N)
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich tertiäre Sande, tertiäre Tone, bindige oder nichtbindige Moräne
Bauzeit	ca. 11 Monate
Bauzeit (mit Wasserhaltung)	ca. 5 Monate

Ein Querschnitt durch die Pannenbucht 1/2 ist in Abbildung 16 dargestellt.

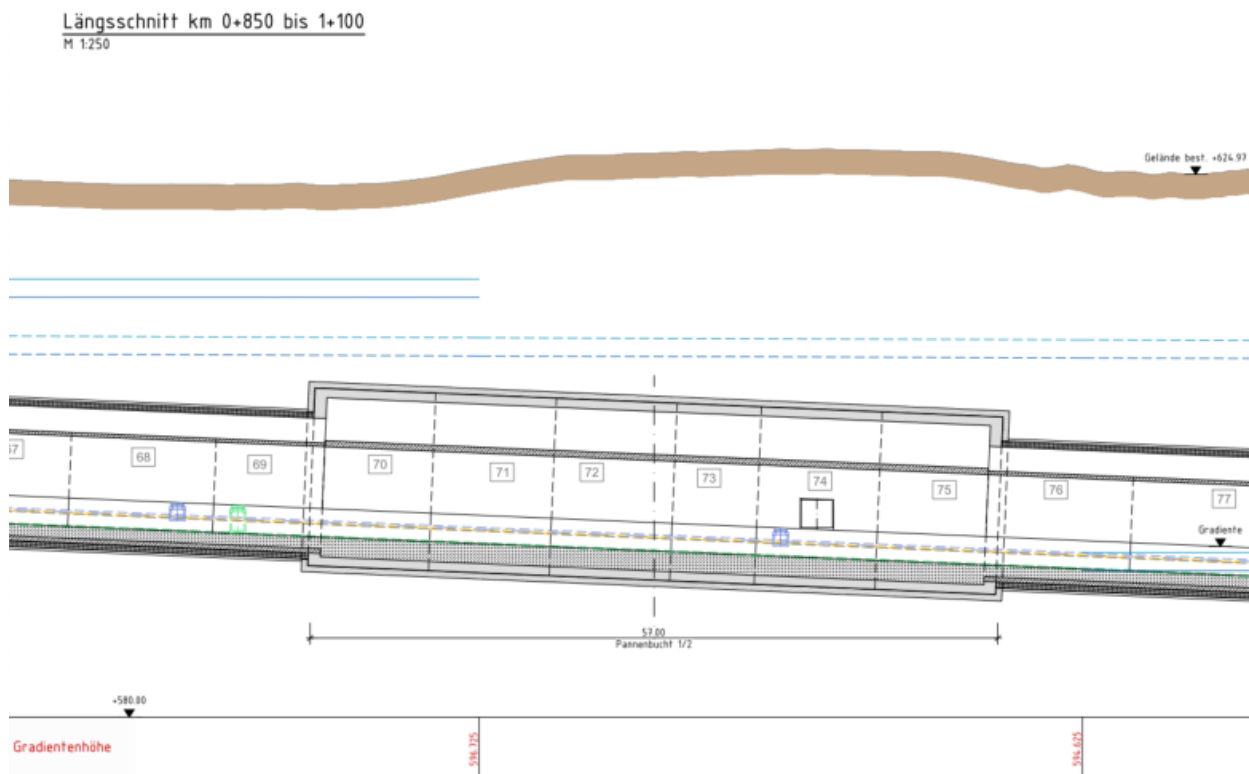


Abbildung 16: Längsschnitt durch die Pannenbucht 1/2 [U30]

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 24 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung GWM 406, die sich unmittelbar westlich der geplanten Pannenbucht befindet.

Tabelle 24: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 623,7 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (nichtbindige Moräne)	ca. 610,1 müNN
OK Tertiär	ca. 593,7 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2018)	quartärer GWL: 613,96 müNN
HW _{Bau}	Quartär: ca. 614,8 müNN Tertiär: ca. 610,0 müNN (S) bis ca. 609,8 müNN (N)
HW _{End}	Quartär: ca. 616,3 müNN Tertiär: ca. 611,5 müNN (S) bis ca. 611,3 müNN (N)

8.2.4.2 Wasserhaltung beim Spritzbetonvortrieb während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grundwasser soll versickert werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.



8.2.4.3 Beeinflussung des Grundwassers

8.2.4.3.1 Grundwasseraufstau

Die Pannenbucht liegt überwiegend in undurchlässigen Schichten aus bindiger Moräne und tertiären Tonen. Eine nennenswerte Grundwasserströmung und somit eine nennenswerte Beeinflussung des Grundwasserspiegels in Form eines Aufstaus sind dementsprechend durch die Pannenbucht nicht zu erwarten. Auf eine Berechnung des Grundwasseraufstaus wurde deshalb verzichtet.

8.2.4.3.2 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.2.5 Pannenbucht 3/4

8.2.5.1 Bauwerksbeschreibung

Die Pannenbucht 3/4 wird vor dem Tunnel erstellt. Im Verlauf des maschinellen Tunnelvortriebs wird die Tunnelvortriebsmaschine in die Pannenbucht 3/4 einfahren und durch die Pannenbucht durchgezogen. Am Ende der Pannenbucht setzt die Maschine ihren Vortrieb fort.

Die Pannenbucht wird vom Notausstieg 4 aus bergmännisch in Spritzbetonbauweise erstellt. Der Vortrieb erfolgt als getrennter Kalotten- und Strossen-/Sohlvortrieb. Die Sicherung der Aufweitung wird im Bauzustand mit Spritzbeton, Baustahlgittern, Gitterböden, Rohrschirm und Spießen im Firstbereich sowie Anker in den Ulmen vorgenommen. Angaben zu Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 25. Die Lage ist aus Anlage 7.1 ersichtlich.

Tabelle 25: Angaben zu Abmessungen und Bauzeit

Abmessungen	ca. 17 m hoch, ca. 19 m breit, ca. 57 m lang
Firsthöhe	ca. 579,0 müNN (S) bis ca. 576,5 müNN (N)
Sohlhöhe	ca. 562,5 müNN (S) bis ca. 560,0 müNN (N)
Boden im Bereich der Gründungssohle	tertiäre Tone, ggf. tertiäre Sande bzw. Ton- und Sandsteine
Bauzeit	ca. 28 Monate
Bauzeit (mit Wasserhaltung)	ca. 5 Monate

Ein Querschnitt durch die Pannenbucht 3/4 ist in Abbildung 17 dargestellt.

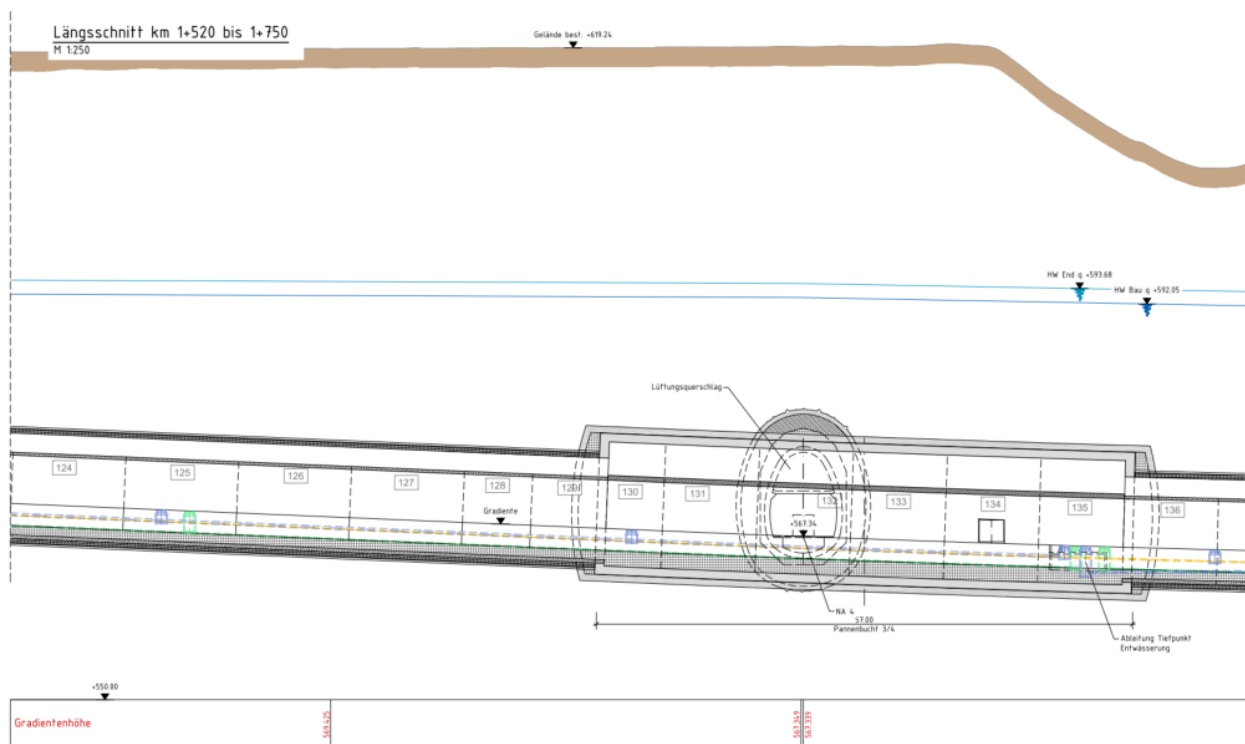


Abbildung 17: Längsschnitt im Bereich der Pannenbucht 3/4 [U30]

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 26 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung GWM 322, die sich unmittelbar im Bereich der geplanten Pannenbucht befindet.

Tabelle 26: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 619,6 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (bindige Moräne)	ca. 590,9 müNN
OK Tertiär	ca. 580,3 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten	tiefer quartärer GWL: 591,49 müNN
HW _{Bau}	Quartär: ca. 592,7 müNN (S) bis ca. 592,1 müNN (N)
HW _{End}	Quartär: ca. 594,3 müNN (S) bis ca. 593,7 müNN (N)

8.2.5.2 Wasserhaltung beim Spritzbetonvortrieb während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grundwasser soll in den Georgenbach eingeleitet werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.



8.2.5.3 Beeinflussung des Grundwassers

8.2.5.3.1 Grundwasseraufstau

Die Pannenbucht liegt überwiegend in undurchlässigen Schichten aus tertiären Tonen. Eine nennenswerte Grundwasserströmung und somit eine nennenswerte Beeinflussung des Grundwasserspiegels in Form eines Aufstaus ist dementsprechend durch die Pannenbucht nicht zu erwarten. Auf eine Berechnung des Grundwasseraufstaus wurde deshalb verzichtet.

8.2.5.3.2 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.2.6 Trog und Tunnel in offener Bauweise Nord mit Düker 4 und 5

8.2.6.1 Bauwerksbeschreibung

Der Trog und Tunnel in offener Bauweise Nord (OBW Nord) stellt den nördlichen Abschluss des geplanten Tunnelbauwerks dar. Die Baugrubenumschließung wird aus überschnittenen Bohrpfählen erstellt. Zur Aussteifung der Baugrubensohle ist eine DSV-Sohle geplant, die die Baugrube jedoch nicht von unten abdichtet. Der Grundwasseraufstau wird durch die Düker 4 und 5 begrenzt. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 27. Die Lage ist aus Anlage 7.1 ersichtlich. Details zu den Dükern 4 und 5 sind der Anlage 7.11 zu entnehmen.

Tabelle 27: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene Bohrpfähle Ø 1,2 m
Abmessungen	ca. 191 m x 14 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	ca. 577,1 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	ca. 572,60 müNN
UK Verbau	i.M. ca. 566,85 müNN (zwischen 560,10 müNN und 573,60 müNN)
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich überwiegend Seetone und fluviatil abgelagerte Sande
Bauzeit	ca. 31 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 10 Monate

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 28 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf den Bohrungen GWM 336 und GWM 338, die sich unmittelbar nördlich und südlich der geplanten Baugrube befinden.

Tabelle 28: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 589,2 müNN
OK fluviatiler Sand	ca. 583,3 müNN



Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
OK 1. Grundwasserstauer (Seeton)	ca. 580,0 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten	quartärer GWL: 584,2 müNN bis 585,3 müNN
HW _{Bau}	Quartär: 585,20 müNN
HW _{End}	Quartär: 585,90 müNN

Aus der Bauwerksbeschreibung folgen die in Tabelle 29 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 29: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=589,2 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
			HW _{Bau}	HW _{End}
	[müNN]	[m unter GOK]	[m uGW]	[m uGW]
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 577,1	ca. 12,1	ca. 8,1	ca. 8,8
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 572,6	ca. 16,6	ca. 12,6	ca. 13,3

8.2.6.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll in den Georgenbach eingeleitet werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.2.6.3 Beeinflussung des Grundwassers

8.2.6.3.1 Grundwasseraufstau im Bau- und Endzustand

Durch die Baugrubenumschließung aus Bohrpfählen, die auch nach der Fertigstellung des Bauwerks im Untergrund verbleiben, wird der quartäre Grundwasserstrom während der Bauzeit und nach Fertigstellung behindert. Hierdurch entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein in etwa gleich großer Sunk. Da die Bohrpfähle voraussichtlich in die Seetone einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich umströmt werden, wobei die Umströmung am südwestlichen Ende durch das Tunnelbauwerk beeinträchtigt wird.

Zur Bestimmung des Grundwasseraufstaus durch den Tunnel Starnberg im Bereich des Grundwasserabschnitts 3, also insbesondere im Bereich des Trogs Nord, wurden vom Zentrum Geotechnik der TU München analytische Aufstauberechnungen nach Schneider [U28] durchgeführt und in [U15] mitgeteilt. Demnach ist beim Grundwasserstand HW_{End} im Umfeld des Dükers 4 mit einem maximalen Aufstau von ca. 0,25 m zu rechnen und zwischen den Dükern 4 und 5 mit einem maximalen Aufstau von ca. 0,08 m. Eine räumliche Abschätzung des Aufstaus basierend auf Schneider [U28] ist in Abbildung 18 dargestellt. Zwischen den Dükern 4 und 5 ist nicht mit einer Beeinflussung von Bauwerken zu rechnen, da die Gebäude in diesem Bereich einen großen Abstand vom Tunnel aufweisen.

Hinsichtlich der Beeinflussung der Bauwerke im Umfeld des Dükers 4 wurde wie folgt vorgegangen:

- Aufstauhöhen unter 10 cm wurden aufgrund ihrer Geringfügigkeit nicht weiter betrachtet (Marginalitätsgrenze, Analogie zur Vorgehensweise in LH München).



- Im Bereich von Aufstauhöhen > ca. 10 cm wurde für jeden Einzelfall die Höhenlage der Fundamentunterkante [U33] mit dem Grundwasserstand $HW_{\text{End}} + \text{Aufstau}$ verglichen. Lediglich der tiefste Teil der Tiefgarage des Bauwerks Ferdinand-Maria-Straße 2 a bis c liegt bereits im Ist-Zustand beim Bemessungsgrundwasserstand für den Endzustand im Grundwasser. Durch den Tunnel vergrößert sich die Eintauchtiefe geringfügig um maximal ca. 0,25 m. Gemäß den vorliegenden Bauwerksplänen ist davon auszugehen, dass es sich bei der Tiefgarage um eine wasserdichte Wanne handelt, die über Flutöffnungen zur Gewährleistung der Auftriebssicherheit verfügt. Die Flutöffnungen befinden sich ca. auf Höhe 587,0 müNN und somit ca. 1,0 m über HW_{End} , weshalb sich durch die geänderte Situation keine nachteilige Beeinflussung des Bauwerks ergibt. Insgesamt ergaben die Auswertungen, dass bei den vorhandenen Bauwerken im GWA_3 nach dem uns vorliegenden Informationsstand keine nachteilige Beeinflussung gegeben ist.
- Die Fließrichtung weist zumeist Richtung See. Bei niedrigen Grundwasserständen kann sich die Fließrichtung auch umkehren (vom See weg). Dieser Fall wird nicht betrachtet, da er nur bei niedrigen Grundwasserständen auftritt. Somit kommt es nicht zu negativen Beeinflussungen durch einen Grundwasseraufstau im Bereich der südöstlich des Tunnels gelegenen Gebäude.
- Der Sunk wurde nicht berücksichtigt, da durch ihn keine negative Beeinflussung der Keller hervorgerufen wird (siehe Anlage 10).

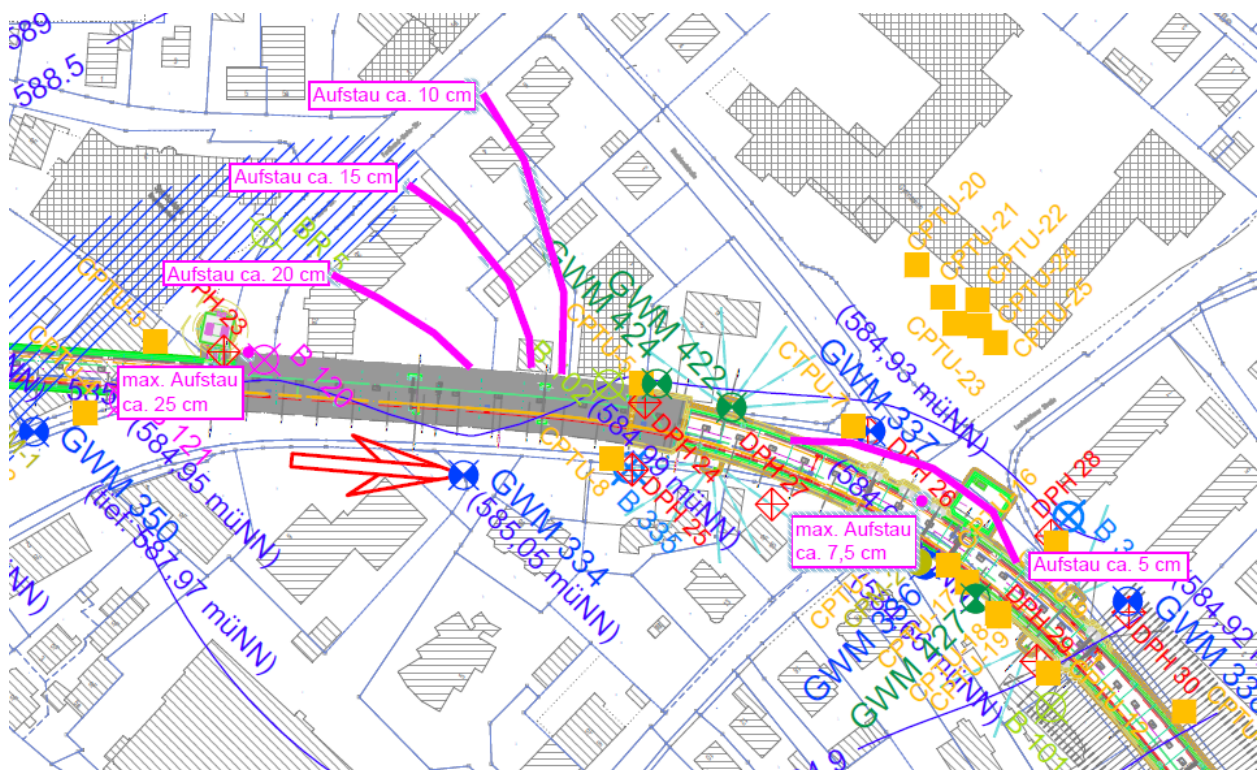


Abbildung 18: Grundwasseraufstau im Bereich des Trops Nord

Zur Reduzierung des bauzeitlichen Grundwasseraufstaus ist vorgesehen, zunächst die Bohrpfähle in den Bereichen der Düker und der Betriebszentrale Nord herzustellen, dann die Düker fertigzustellen und die weiteren Bohrpfähle zu bohren. Erst wenn die Düker in Betrieb sind, werden die Lücken in der Bohrpfahlwand geschlossen.



Eine Berechnung zur Leistungsfähigkeit der Düker ist in Anlage 4.2 enthalten. Hierbei werden die Ergebnisse von analytischen Berechnungen des maximalen Zustroms zu den Filtersträngen, der maximalen Leistungsfähigkeit der Filterstränge sowie der Leistungsfähigkeit der (Vollfüllungsleistung unter Verwendung von [U37]) mit einer Abschätzung der anströmenden Grundwasserwassermengen basierend auf der Darcy-Gleichung verglichen. Es ergibt sich überschlägig eine etwa 6-fache Überdimensionierung des Dükers 4 und eine etwa 16-fache Überdimensionierung des Dükers 5. Die Düker können demnach rechnerisch etwa das 6- bzw. 16-fache der anströmenden Wassermenge überleiten.

In Anlage 4.3 wurden Auswertungen hinsichtlich der Suffosionsstabilität und somit hinsichtlich der Gefahr von Erosionsvorgängen im Boden im Nahbereich der Düker durchgeführt. Hierfür wurden Korngrößenverteilungskurven von Proben der Bohrungen GWM 334, GWM 337 und GWM 338 ausgewertet. Gemäß dem vereinfachten Kriterium nach BAW-Merkblatt „Materialtransport im Boden“ [U35] besteht bei den Böden teilweise aufgrund ihres Kornaufbaus die Möglichkeit für Suffosionsvorgänge im Untergrund. Die auftretenden hydraulischen Gradienten reichen jedoch nicht aus, dass die Schleppkraft des Wassers auch zu einem Materialtransport führt (siehe hydraulisches Kriterium in BAW-Merkblatt „Standicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen“ [U36]). Die Gefahr von Setzungen ist deshalb bei sachgerechter Ausführung der Horizontalfilter aufgrund des geringen hydraulischen Gefälles zwischen An- und Abstromseite nicht gegeben.

Im Portalbereich des Tunnel ist zudem vorgesehen, zwei Vertikalfilterbrunnen herzustellen, um das Eindringen von Grundwasser über die Trogababschlusswand in den Tunnel bei hohen Grundwasserständen zu verhindern (siehe Abschnitt 8.2.6.3.2). Diese reduzieren den Grundwasseraufstau bei hohen Ständen zusätzlich.

8.2.6.3.2 Ableitung des Grundwassers im Endzustand bei hohen Grundwasserständen

Im Endzustand kann es bei selten vorkommenden hohen Grundwasserständen vorkommen, dass Grundwasser aufgrund der Tiefenlage der nördlichen Trogababschlusswand in den Tunnel fließen kann. Zur Vermeidung des Eindringens von Grundwasser in den Tunnel ist vorgesehen, zwei Absenkbrunnen vor der Trogeinfahrt anzuordnen, die bei hohen Grundwasserständen Grundwasser fördern, um so den Grundwasserspiegel unterhalb des Niveaus der Trogababschluss (ca. 585,9 müNN) zu halten. Für den Grundwasserstand HW_{End} wurde hierfür eine Wassermenge von ca. 60 l/s abgeschätzt (siehe Anlage 5). Auf Basis der vorliegenden Grundwassermessungen in der Grundwassermessstelle GWM 339, die sich unmittelbar südöstlich der geplanten Trogeinfahrt befindet, kann davon ausgegangen werden, dass die Grundwasserstände an nur wenigen Tagen im Jahr einen Stand oberhalb des Niveaus der Trogababschlusswand erreichen und dementsprechend nur in einem sehr begrenzten Zeitraum Grundwasser entnommen werden muss.

Aufgrund der hohen Grundwasserstände im Umfeld des Trogs Nord im Allgemeinen und bei den Pumpereignissen im Besonderen ist vorgesehen, die geförderten Wassermengen in den Georgenbach zu leiten. Kapazitätsberechnungen zu den Auswirkungen der Einleitung auf den Wasserstand des Georgenbachs wurden vom Ingenieurbüro EDR durchgeführt und sind in Anlage 8 enthalten. Die Berechnungen zeigen, dass der Georgenbach das geförderte Grundwasser ohne eine relevante Aufhöhung seines Wasserstands ableiten kann (Wasserspiegelanstieg um ca. 1,6 mm bei einer Einleitung von 120 l/s in den Georgenbach).



8.2.6.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3 Sonstige ins Grundwasser einbindende Ingenieurbauwerke

8.3.1 Notausstieg 1 und Düker 2

8.3.1.1 Bauwerksbeschreibung

Düker 2 (Anstromseite)

Der auf der Anstromseite gelegene Teil des Grundwasserdükers 2 wird in einem kreisrunden Schacht aus überschnittenen Bohrpfählen erstellt, die ins Tertiär einbinden. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 30. Eine Übersicht des Bauwerks enthält Anlage 7.9.

Tabelle 30: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene Bohrpfähle Ø 1,2 m, Einbindung ins Tertiär
Abmessungen (Außendurchmesser)	ca. 7,6 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	596,55 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	596,55 müNN
UK Verbau	592,55 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich tertiäre Tone oder tertiäre Sande
Bauzeit	ca. 13 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 9 Monate

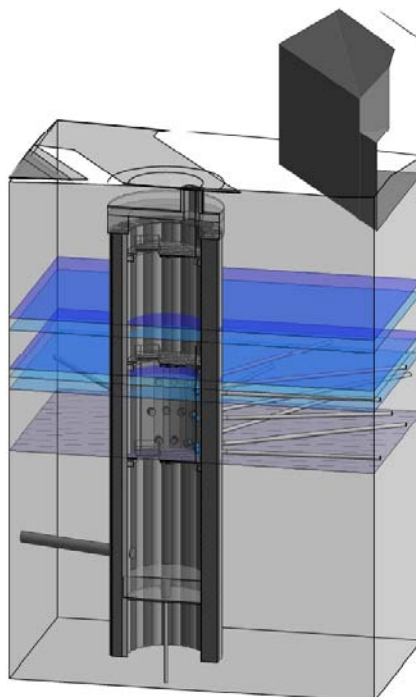


Abbildung 19: 3D-Darstellung des anstromseitigen Schachts des Dükers 2 mit Lage der Bemessungsgrundwasserstände (blaue Flächen) [U30]

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 31 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung GWM 310, die sich unmittelbar neben der geplanten Baugrube befindet.

Tabelle 31: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 625,5 müNN
OK Tertiär	ca. 606,7 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (feinkörniges Tertiär)	ca. 606,7 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2009)	quartärer GWL: 613,38 müNN
HW _{Bau}	Quartär: 614,84 müNN Tertiär: 610,59 müNN
HW _{End}	Quartär: 615,70 müNN Tertiär: 612,09 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 32 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 32: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=625,45 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
	[müNN]	[m unter GOK]	HW _{Bau}	HW _{End}
			[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 596,55	ca. 28,90	Q: ca. 18,29	Q: ca. 19,15



	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=625,45 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
			HW _{Bau}	HW _{End}
	[müNN]	[m unter GOK]	[m uGw]	[m uGw]
			T: ca. 14,04	T: ca. 15,54
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 596,55	ca. 28,90	Q: ca. 18,29 T: ca. 14,04	Q: ca. 19,15 T: ca. 15,54

Notausstieg 1 und Düker 2 (Abstromseite)

Der Notausstieg 1 und der auf der Abstromseite gelegene Teil des Grundwasserdükers 2 werden in einem gemeinsamen Bauwerk untergebracht, das aus einem kreisrunden Schacht aus überschnittenen Bohrpfählen, die ins Tertiär einbinden, und einem darüber erstellten eingeschossigen Gebäude besteht. Die Anbindung des Schachts an den Tunnel erfolgt in einer Tiefe von ca. 20 m unter GOK über einen ca. 15 m bis 20 m langen, L-förmigen Stollen, für dessen Herstellung Dichtpfähle zur Abdichtung des quartären Grundwasserleiters vorgesehen sind. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit sind in Tabelle 33 enthalten. Eine Übersicht des Bauwerks enthalten Anlage 7.1 und Anlage 7.9.

Tabelle 33: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene Bohrpfähle Ø 1,2 m, Einbindung ins Tertiär
Abmessungen (Außenseite)	ca. 25,0 m x 14,0 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	593,30 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	596,55 müNN
UK Verbau	592,55 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich tertiäre Tone oder tertiäre Sande
Bauzeit	ca. 15 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 9 Monate

Eine 3D-Darstellung des Notausstiegs 1 und des Dükers 2 ist in Abbildung 20 enthalten.

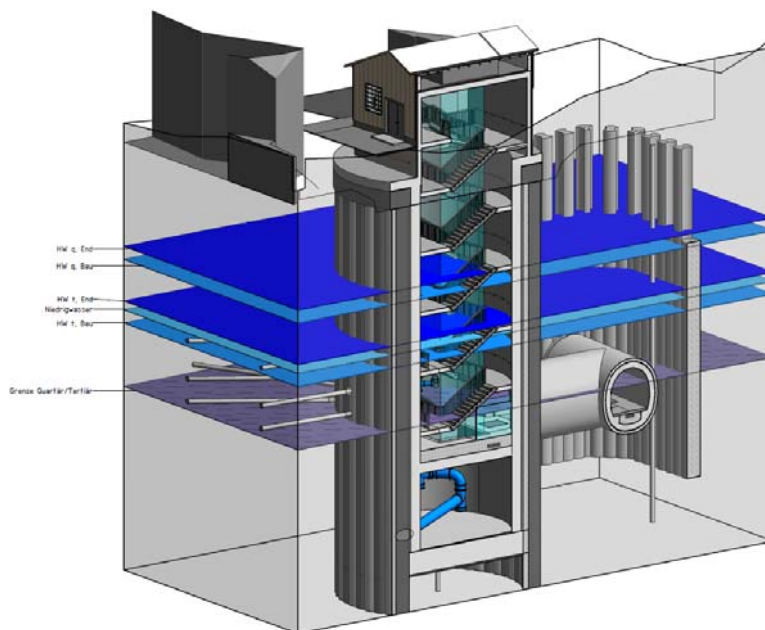


Abbildung 20: 3D-Darstellung des Notausstiegs 1 und Dükers 2 mit Lage der Bemessungsgrundwasserstände (blaue Flächen) [U30]

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 34 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung GWM 310, die sich ca. 30 m südlich der geplanten Baugrube befindet.

Tabelle 34: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 625,01 müNN
OK Tertiär	ca. 606,70 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (feinkörniges Tertiär)	ca. 606,70 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2009)	quartärer GWL: 613,38 müNN
HW _{Bau}	Quartär: 614,84 müNN Tertiär: 610,59 müNN
HW _{End}	Quartär: 615,70 müNN Tertiär: 612,09 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 35 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 35: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=625,01 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
	[müNN]	[m unter GOK]	HW _{Bau}	HW _{End}
			[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 596,55	ca. 28,46	Q: ca. 18,29 T: ca. 14,04	Q: ca. 19,15 T: ca. 15,54
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 596,55	ca. 28,46	Q: ca. 18,29	Q: ca. 19,15



	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=625,01 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
			HW _{Bau}	HW _{End}
	[müNN]	[m unter GOK]	[m uGw]	[m uGw]
			T: ca. 14,04	T: ca. 15,54

8.3.1.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll versickert werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.1.3 Beeinflussung des Grundwassers

Alle Berechnungen sind in Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 3, zusammengestellt.

8.3.1.3.1 Grundwasseraufstau im Bauzustand

Durch die Baugrubenumschließungen aus Bohrpfählen wird der quartäre Grundwasserstrom behindert. Hierdurch entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein in etwa gleich großer Sunk. Da die Bohrpfähle voraussichtlich ins Tertiär einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich beidseitig umströmt werden.

Düker 2 (Anstromseite)

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte nach Schneider [U28]. Zur Bestimmung des Aufstaus während der Bauzeit wurde ein Grundwassergefälle von $i = 0,006$ angenommen. Rechnerisch ergibt sich ein Aufstau von ca. 0,02 m. Eine Beeinflussung durch den Tunnel wurde nicht berücksichtigt.

Es ist geplant, den Düker vor der Durchfahrt des Tunnels fertigzustellen, um die Auswirkungen des Tunnels auf die Grundwasserverhältnisse zu minimieren. Für den Fall, dass dies nicht rechtzeitig gelingt, ist die Funktionsfähigkeit des Dükers durch Überpumpen des geförderten Grundwassers von der Anstrom- auf die Abstromseite zu gewährleisten.

Notausstieg 1 und Düker 2 (Abstromseite)

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte analog zur Situation auf der Anstromseite, das Grundwassergefälle wurde ebenfalls mit $i = 0,006$ angenommen. Es ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,08 m. Der Rettungstollen wurde bei der Berechnung vernachlässigt, da er voraussichtlich nur zu einem geringen Maß in den Aquifer hineinreicht und überströmt werden kann. Zudem vergrößert er einerseits aufgrund seiner Lage zur Grundwasserfließrichtung im direkten Anstrom des Schachts nicht die angeströmte Fläche und andererseits liegt er im Strömungsschatten des Tunnels.

8.3.1.3.2 Grundwasseraufstau im Endzustand

Im Endzustand bewirkt der Grundwasserdüker 2 eine Vergleichmäßigung des Grundwasserstroms beidseitig des Tunnels. Eine Betrachtung der Aufstaueträge der Dükerschächte selbst wird folglich nicht vorgenommen. Hinsichtlich des Gesamtzustands inkl. Bauwerke und Tunnel wird auf Abschnitt 8.2.2.3.1 verwiesen.



Eine Berechnung zur Leistungsfähigkeit des Dükers ist in Anlage 4.2 enthalten. Hierbei werden die Ergebnisse von analytischen Berechnungen des maximalen Zustroms zu den Filtersträngen, der maximalen Leistungsfähigkeit der Filterstränge sowie der Leistungsfähigkeit der Querleitung (Vollfüllungsleistung unter Verwendung von [U37]) mit einer Abschätzung der anströmenden Grundwasserwassermenge basierend auf den Ergebnissen der numerischen Strömungsmodellierung verglichen. Es ergibt sich überschlägig eine etwa 3-fache Überdimensionierung des Dükers. Der Düker kann demnach rechnerisch etwa das 3-fache der anströmenden Wassermenge überleiten.

In Anlage 4.3 wurden Auswertungen hinsichtlich der Suffosionsstabilität und somit hinsichtlich der Gefahr von Erosionsvorgängen im Boden im Nahbereich der Düker durchgeführt. Hierfür wurden Korngrößenverteilungskurven von Proben der Bohrung GWM 310 ausgewertet. Gemäß dem vereinfachten Kriterium nach BAW-Merkblatt „Materialtransport im Boden“ [U35] besteht bei den Böden aufgrund ihres Kornaufbaus die Möglichkeit für Suffosionsvorgänge im Untergrund. Die auftretenden hydraulischen Gradienten reichen jedoch nicht aus, dass die Schleppkraft des Wassers auch zu einem Materialtransport führt (siehe hydraulisches Kriterium in BAW-Merkblatt „Standicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen“ [U36]). Die Gefahr von Setzungen ist deshalb bei sachgerechter Ausführung der Horizontalfilter aufgrund des geringen hydraulischen Gefälles zwischen An- und Abstromseite nicht gegeben.

Eine Steuerung bzw. Reduzierung der überzuführenden Wassermengen kann mittels Schiebern im Bereich der Querleitung und am abstromseitigen Schacht erfolgen (Abbildung 21). Hierbei kann sowohl die Querleitung vom anströmigen zum abströmigen Schacht abgesperrt bzw. im Durchfluss beschränkt werden als auch alle einzelnen Filterstränge auf der Abstromseite. Im anstromseitigen Schacht ist aufgrund der baulichen Ausbildung keine Abschieberung der Zuleitungen möglich. Hier enden die Filterstränge direkt im wassererfüllten Schacht.

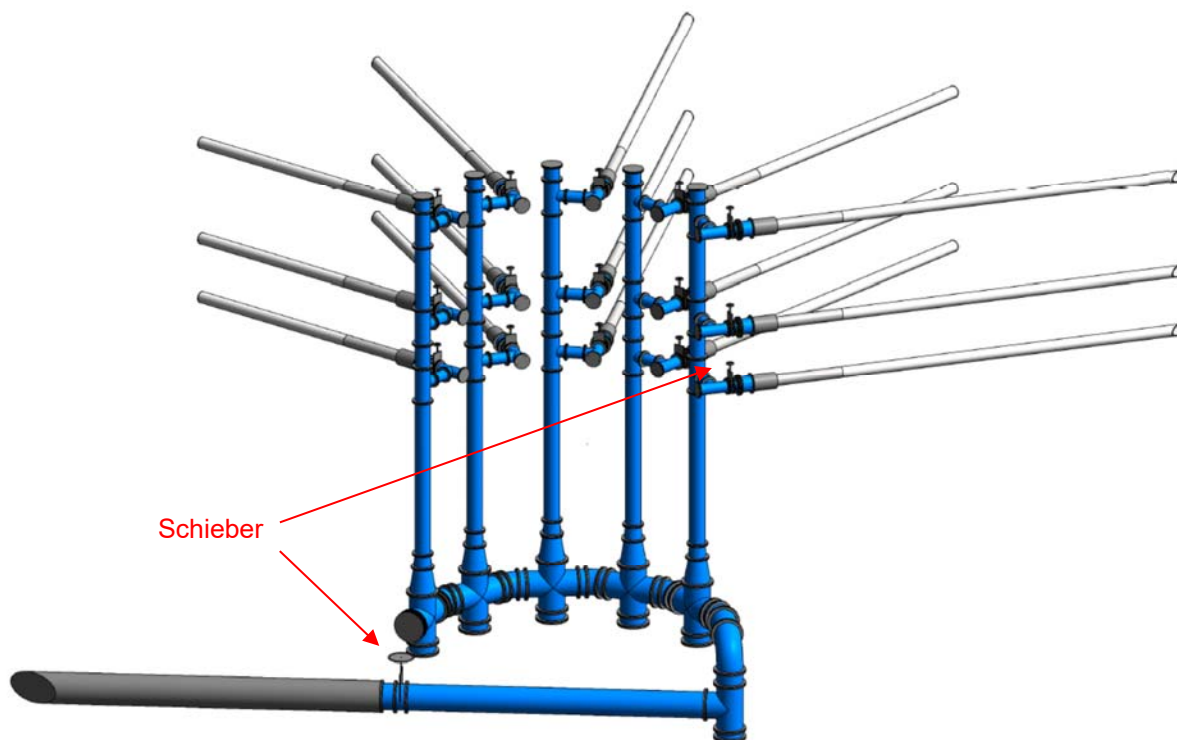


Abbildung 21: Leitungssystem im Schacht des Dükers 2 [U30] mit Darstellung der einzelnen Schieber zur Reduzierung des Durchflusses bzw. zur kompletten Absperrung von Leitungen

Das Monitoring der Grundwasserstände und eine Vermeidung einer zu großen Durchflussmenge kann über Grundwassermessstellen im Anstrom und im Abstrom erfolgen. Im Anstrom eignen sich hierfür eine Grundwassermessstelle im Bereich der Jahnstraße sowie die Messstellen GWM 509, GWM 311 und GWM 310, im Abstrom die Grundwassermessstellen GWM 404, GWM 428, GWM 437 (soweit diese erhalten wird) und GWM 511. Die Messstellen sollen hierfür mit einer automatischen Datenfernübertragung ausgestattet werden, die eine laufende Beobachtung der Grundwasserstände und somit der Grundwasserstandsdifferenzen im An- und Abstrom ermöglichen. Durch fernsteuerbare elektronische Schieber kann im Bedarfsfall die überzuleitende Grundwassermenge geregelt werden.

Zur Ermittlung der optimalen Durchflussrate sollten bereits vor Herstellung des Tunnels und der Düker die Grundwasserstände ausgewertet werden, um die unbeeinflusste Grundwassersituation zu erfassen. Nach Herstellung des Tunnels und der Düker sind die Durchflussraten dann so anzupassen, dass eine geringstmögliche Abweichung zwischen der Grundwassersituation vor der Herstellung der Bauwerke und den dann aktuellen Grundwasserständen erreicht wird, also im Vergleich zur Situation vor der Erstellung der Bauwerke möglichst ähnliche Grundwasserstandsunterschiede zwischen den Messstellen.

8.3.1.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.



8.3.2 Notausstieg 2

8.3.2.1 Bauwerksbeschreibung

Schacht des Notausstiegs 2

Der Notausstieg 2 wird als kreisrunder Schacht aus überschnittenen Bohrpfählen hergestellt, die in tertiäre Tone einbinden. Auf dem Schacht ist ein eingeschossiges Gebäude geplant, das in den dortigen Hang hineingebaut wird. Zur Anbindung des Schachts an den Tunnel zweigt ein ca. 60 m langer Stollen in einer Tiefe von ca. 15 m unter GOK vom Stollen ab, der als Rohrvortrieb geplant ist. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 36. Eine Übersicht des Bauwerks enthält Anlage 7.2.

Tabelle 36: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene Bohrpfähle Ø 1,2 m, Einbindung ins Tertiär
Abmessungen (Außendurchmesser)	ca. 15,20 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	591,19 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	591,19 müNN
UK Verbau	587,19 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich tertiärer Sand oder tertiäre Tone
Bauzeit	ca. 24 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 8 Monate

Abbildung 22 zeigt eine 3D-Darstellung des Notausstiegs 2.

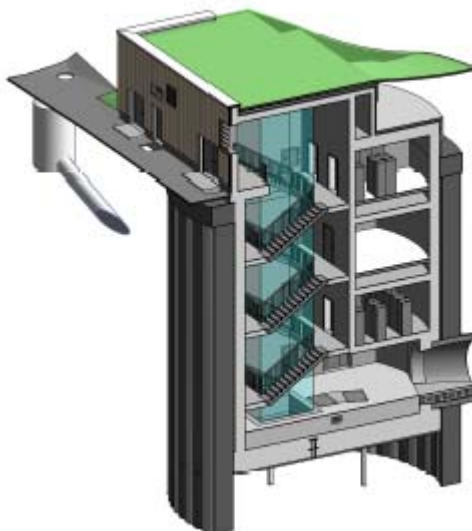


Abbildung 22: 3D-Darstellung des Notausstiegs 2 [U30]

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 37 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung B 316, die sich unmittelbar nördlich der geplanten Baugrube befindet.

Tabelle 37: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 609,0 müNN



Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
OK Tertiär	ca. 592,5 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (feinkörniges Tertiär)	ca. 592,5 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2009)	1. quartärer GWL: 602,41 müNN 2. quartärer GWL: 599,34 müNN
HW _{Bau}	Quartär: 607,80 müNN Tertiär: 609,53 müNN
HW _{End}	Quartär: 608,60 müNN Tertiär: 611,03 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 38 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 38: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (= ca. 609,00 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
	[müNN]	[m unter GOK]	HW _{Bau}	HW _{End}
			[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	591,19	ca. 17,81	Q: 16,61 T: 18,34	Q: 17,41 T: 19,84
Tiefste Bauwerkssohle	591,19	ca. 17,81	Q: 16,61 T: 18,34	Q: 17,41 T: 19,84

Anschluss an Tunnel

Zum Anschluss des Rettungsstollens des Notausstiegs 2 an den Tunnel wird vom Tunnel aus eine Querschlagsöffnung erstellt, in die der Rohrvortrieb einfährt. Hierfür werden die Tübbinge in dem entsprechenden Bereich geöffnet und eine Kaverne in bergmännischer Bauweise erstellt. Zudem wird der Boden mit einem nicht zementbasierten Injektionsgut (voraussichtlich Acrylatgel) injiziert, um einen dichten Einfahrtsbereich für den Rohrvortrieb zu gewährleisten. Angaben zu Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 39.

Tabelle 39: Angaben zu Abmessungen und Bauzeit

Abmessungen	ca. 4 m hoch, ca. 4 m breit
Tiefe der Baugrubensohle	ca. 591,0 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich bindige, ggf. nichtbindige Moräne
Bauzeit	ca. 3 Monate
Bauzeit (mit Wasserhaltung)	ca. 1 Monat

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Anschlusses wird von den in Tabelle 41 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung GWM 423, die sich unmittelbar nördlich des geplanten Anschlusses befindet.



Tabelle 40: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 627,1 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (bindige Moräne)	ca. 593,7 müNN
OK Tertiär	ca. 583,0 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2018)	quartärer GWL: 594,08 müNN
HW _{Bau}	Quartär: ca. 592,1 müNN Tertiär: ca. 609,5 müNN

8.3.2.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll in den Siebenquellenbach eingeleitet werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.2.3 Beeinflussung des Grundwassers und von Oberflächengewässern

Alle Berechnungen sind in Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 3, zusammengestellt.

8.3.2.3.1 Grundwasseraufstau im Bauzustand

Durch die Baugrubenumschließung aus Bohrpfählen wird der quartäre Grundwasserstrom behindert. Hierdurch entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein in etwa gleich großer Sunk. Da die Bohrpfähle voraussichtlich ins Tertiär einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich beidseitig umströmt werden.

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte nach Schneider [U28]. Zur Bestimmung des Aufstaus während der Bauzeit wurde ein Grundwassergefälle von $i = 0,005$ angenommen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass sich der Notausstieg 2 gemäß den vorliegenden Unterlagen (siehe Anlage 1 zu [U10]) in einem vergleichsweise undurchlässigen Bereich befindet, in dem keine zuverlässigen Angaben zu den Grundwasserströmungsverhältnissen vorliegen. Rechnerisch ergibt sich ein Aufstau von ca. 0,04 m. Der Rettungstollen wurde bei der Berechnung vernachlässigt, da er sich vermutlich im Strömungsschatten des Rettungsschachts befindet. Der Tunnel wurde bei den Berechnungen aufgrund der vergleichsweise großen Entfernung von ca. 60 m ebenfalls nicht berücksichtigt. Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung im Bauzustand sind aufgrund des geringen errechneten Aufstaus bzw. Sunks nicht erforderlich.

8.3.2.3.2 Grundwasseraufstau im Endzustand

Die Bohrpfähle verbleiben nach Fertigstellung des Bauwerks im Untergrund. Eine Unterströmung des Bauwerks ist somit auch nach Fertigstellung nicht möglich und das Gebäude wird nach der Fertigstellung lediglich beidseitig umströmt.

Die Bestimmung des Aufstaus für den Endzustand erfolgte unter Berücksichtigung der gleichen Annahmen wie für den Bauzustand. Nach Schneider [U28] ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,04 m. Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung sind aufgrund des geringen Aufstaus nicht erforderlich.



8.3.2.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.3 Notausstieg 3

8.3.3.1 Bauwerksbeschreibung

Der Notausstieg 3 wird in einem Bauwerk untergebracht, das aus einem kreisrunden Schacht aus überschnittenen Bohrpfählen und einem darüber erstellten eingeschossigen Gebäude besteht. Die Anbindung des Schachts an den Tunnel erfolgt in einer Tiefe von ca. 29 m unter GOK über einen ca. 11 m langen Stollen, der bergmännisch im Schutze eines Vereisungskörpers vorgetrieben wird. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 41. Eine Übersicht des Bauwerks enthält Anlage 7.3.

Tabelle 41: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene Bohrpfähle Ø 1,2 m, Einbindung ins Tertiär
Abmessungen (Außendurchmesser)	ca. 11,6 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	577,75 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	577,75 müNN
UK Verbau	566,05 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich tertiäre Tone
Bauzeit	ca. 18 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 9 Monate

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 42 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung B 320, die sich unmittelbar nördlich der geplanten Baugrube befindet.

Tabelle 42: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 610,2 müNN
OK Tertiär	ca. 579,0 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (bindige Moräne)	ca. 586,3 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2008)	quartärer GWL: 593,65 müNN
HW _{Bau}	Quartär: 594,13 müNN Tertiär: 609,53 müNN
HW _{End}	Quartär: 595,63 müNN Tertiär: 611,03 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 43 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.



Tabelle 43: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=610,20 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
			HW _{Bau}	HW _{End}
	[müNN]	[m unter GOK]	[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	577,75	ca. 32,45	Q: 16,38 T: 31,78	Q: 17,88 T: 33,28
Tiefste Bauwerkssohle	577,75	ca. 32,45	Q: 16,38 T: 31,78	Q: 17,88 T: 33,28

8.3.3.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll versickert werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.3.3 Beeinflussung des Grundwassers

Alle Berechnungen sind in Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 3, zusammengestellt.

8.3.3.3.1 Grundwasseraufstau im Bauzustand

Durch die Baugrubenumschließung aus Bohrpfählen wird der quartäre Grundwasserstrom behindert. Hierdurch entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein Sunk. Da die Bohrpfähle in die bindige Moräne und ins Tertiär einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich beidseitig umströmt werden.

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte nach Schneider [U28]. Zur Bestimmung des Aufstaus während der Bauzeit wurde ein Grundwassergefälle von $i = 0,01$ angenommen. Es ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,06 m. Der Rettungstollen und der Tunnel wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da beide in tertiären Tonen zu liegen kommen und aufgrund ihrer Höhenlage keinen bzw. im Fall des Tunnels, wenn überhaupt, nur einen äußerst geringen Einfluss auf den Grundwasserstrom ausüben. Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung im Bauzustand sind aufgrund des geringen errechneten Aufstaus bzw. Sunks nicht erforderlich.

8.3.3.3.2 Grundwasseraufstau im Endzustand

Die Bohrpfähle verbleiben nach Fertigstellung des Bauwerks im Untergrund. Eine Unterströmung des Bauwerks ist somit auch nach Fertigstellung nicht möglich und das Gebäude wird nach der Fertigstellung lediglich beidseitig umströmt.

Die Bestimmung des Aufstaus für den Endzustand erfolgte analog zu dem Vorgehen und unter Berücksichtigung der gleichen Annahmen wie für den Bauzustand. Nach Schneider [U28] ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,06 m. Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung im Endzustand sind aufgrund des geringen errechneten Aufstaus bzw. Sunks nicht erforderlich.



8.3.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.4 Notausstieg 4

8.3.4.1 Bauwerksbeschreibung

Der Notausstieg 4 wird in einem Bauwerk untergebracht, das aus einem annähernd kreisförmigen Schacht aus sich überlappenden Schlitzwandlamellen und einem darüber zu erstellenden eingeschossigen Gebäude besteht. Die Anbindung des Schachts an den Tunnel erfolgt in einer Tiefe von ca. 27 m unter GOK über einen ca. 70 m langen, L-förmigen Stollen mit einem Durchmesser von ca. 9 m, der in bergmännischer Bauweise erstellt werden soll. Zusätzlich ist ein Rohrvortrieb mit einem Außendurchmesser von ca. 0,9 m und einer Länge von ca. 50 m als Hydroschildvortrieb geplant, in dem nach Fertigstellung des Bauwerks die im Tunnel anfallenden Wässer zur Entwässerung in den Schacht des NA 4 geleitet werden. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 44. Eine Übersicht des Bauwerks enthält Anlage 7.4.

Tabelle 44: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene, 1,2 m dicke Schlitzwand mit Einbindung ins Tertiär
Abmessungen (Außendurchmesser)	ca. 17,0 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	556,68 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	556,68 müNN
UK Verbau	552,68 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich tertiäre Tone
Bauzeit	ca. 53 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 12 Monate

Eine Übersicht über das geplante Bauwerk, den Rettungsstollen sowie den Rohrvortrieb enthält Abbildung 23.

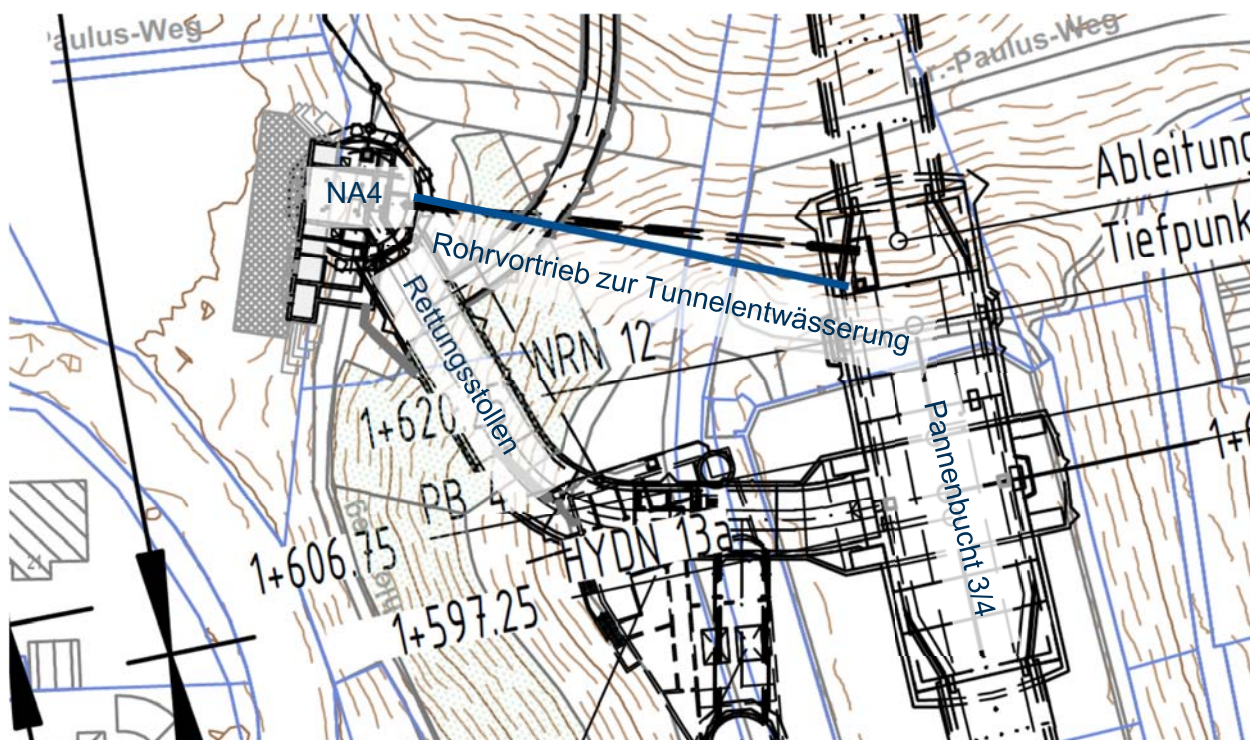


Abbildung 23: Übersichtlageplan zum Notausstieg 4

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 45 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung B 323, die sich unmittelbar südlich der geplanten Baugrube befindet.

Tabelle 45: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 600,0 müNN
OK Tertiär	ca. 589,8 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (feinkörniges Tertiär)	ca. 589,8 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2009)	quartärer GWL: keine Angabe
HW _{Bau} (Quartär und Tertiär)	593,72 müNN
HW _{End} (Quartär und Tertiär)	595,22 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 46 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 46: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=600,0 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
	[müNN]	[m unter GOK]	HW _{Bau}	HW _{End}
			[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 556,68	ca. 43,3	ca. 37,04	ca. 38,54
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 556,68	ca. 43,3	ca. 37,04	ca. 38,54



8.3.4.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll in den Georgenbach eingeleitet werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.4.3 Beeinflussung des Grundwassers und von Oberflächengewässern

Alle Berechnungen sind in Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 3, zusammengestellt.

8.3.4.3.1 Grundwasseraufstau im Bauzustand

Durch die Baugrubenumschließung aus Schlitzwandlamellen wird der quartäre Grundwasserstrom behindert, wobei in der Bohrung B 323 nur ein ca. 2 m mächtiger quartärer Grundwasserleiter erkundet wurde. Durch die Schlitzwandlamellen entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein Sunk. Da die Bohrpfähle in bindige Moräne und ins Tertiär einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich beidseitig umströmt werden.

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte nach Schneider [U28]. Zur Bestimmung des Aufstaus während der Bauzeit wurde ein Grundwassergefälle von $i = 0,025$ angenommen. Es ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,21 m. Der Rettungsstollen und der Tunnel wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da diese unterhalb der nichtbindigen Moräne zu liegen kommen.

8.3.4.3.2 Grundwasseraufstau im Endzustand

Die Bohrpfähle verbleiben nach Fertigstellung des Bauwerks im Untergrund. Eine Unterströmung des Bauwerks ist somit auch nach dessen Fertigstellung nicht möglich, das Gebäude wird nach der Fertigstellung lediglich beidseitig umströmt.

Die Bestimmung des Aufstaus für den Endzustand erfolgte analog zu dem Vorgehen und unter Berücksichtigung der gleichen Annahmen wie für den Bauzustand. Nach Schneider [U28] ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,21 m. Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung werden in Anbetracht dieses Ergebnisses für nicht erforderlich gehalten.

8.3.4.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.5 Notausgang 5 mit Anbindung an Notausstieg 4

8.3.5.1 Bauwerksbeschreibung

Der Notausgang 5 bindet über einen ca. 200 m langen Stollen vom Tunnel an den Stollen des Notausstiegs 4 an. Er verläuft in einer Tiefe von ca. 25 m bis 30 m unter GOK und wird in bergmännischer Bauweise erstellt. Der Stollen des Notausgangs 5 zweigt zunächst senkrecht vom Tunnel ab, knickt nach ca. 12 m



um 90°, verläuft dann annähernd tunnelparallel zum Stollen des Notausstiegs 4 und schließt dort orthogonal an. Angaben zu Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 47. Eine Übersicht des Bauwerks enthält Anlage 7.5.

Tabelle 47: Angaben zur Lage des Stollens NA5

Abmessungen (Außendurchmesser)	ca. 5,1 m
Tiefe der Tunnelfirste	ca. 569,2 müNN bis ca. 572,1 müNN
Tiefe der Tunnelsohle	ca. 564,2 müNN bis ca. 567,1 müNN
Boden im Bereich des Vortriebsquerschnitts	voraussichtlich tertiäre Tone
Bauzeit	ca. 10 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 9 Monate

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 48 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf den Bohrungen GWM 327 (Nordost), GWM 324 (Mitte) und B 323 (Südwest), die sich in etwa am Anfang, in der Mitte und am Ende des Bauwerks befinden.

Tabelle 48: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 609,8 müNN (Nordost) bis 620,1 müNN (Mitte) bis 599,8 müNN (Südwest)
OK Tertiär	ca. 572,9 müNN (Nordost) bis 585,1 müNN (Südwest)
OK 1. Grundwasserstauer (feinkörniges Tertiär)	ca. 572,9 müNN (Nordost) bis 585,1 müNN (Südwest)
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2009)	quartärer GWL: 590,08 müNN (Nordost) bis 591,39 müNN (Mitte)
HW _{Bau} (Quartär und Tertiär)	592,10 müNN (Nordost) bis 593,60 müNN (Südwest)
HW _{End} (Quartär und Tertiär)	590,60 müNN (Nordost) bis 592,10 müNN (Südwest)

8.3.5.2 Wasserhaltung im Vortrieb während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grundwasser soll vor der Anbindung an den Notausstieg 4 im Bereich der BE Süd versickert werden. Nach Anschluss des Stollens des Notausgangs 5 an den Stollen des Notausstiegs 4 wird das abzuleitende Grundwasser in den Georgenbach eingeleitet. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.5.3 Beeinflussung des Grundwassers

8.3.5.3.1 Grundwasseraufstau

Der Stollen, der den Notausgang 4 mit dem Notausstieg 5 verbindet, liegt überwiegend in undurchlässigen Schichten aus tertiären Tonen. Eine nennenswerte Grundwasserströmung und somit eine nennenswerte Beeinflussung des Grundwasserspiegels in Form eines Aufstaus sind dementsprechend durch den Stollen nicht zu erwarten. Auf eine Berechnung des Grundwasseraufstaus wurde deshalb verzichtet.



8.3.5.3.2 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.6 Notausstieg 6

8.3.6.1 Bauwerksbeschreibung

Der Notausstieg 6 wird in einem Bauwerk untergebracht, das aus einem kreisrunden Schacht aus überschnittenen Bohrpfählen und einem darüber erstellten eingeschossigen Gebäude besteht. Die Anbindung des Schachts an den Tunnel erfolgt in einer Tiefe von ca. 18 m unter GOK über einen ca. zwei Meter langen Stollen, der innerhalb eines Dichtblocks aus Bohrpfählen erstellt werden soll. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 49. Eine Übersicht des Bauwerks enthält Anlage 7.6.

Tabelle 49: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene Bohrpfähle \varnothing 1,2 m mit Unterwasserbetonsohle
Abmessungen (Außendurchmesser)	ca. 11,6 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	566,77 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	566,77 müNN
UK Verbau	565,40 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich bindige oder nichtbindige Moräne
Bauzeit	ca. 16 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 5 Monate

Eine 3D-Darstellung des Notausstiegs 6 ist in Abbildung 24 enthalten.

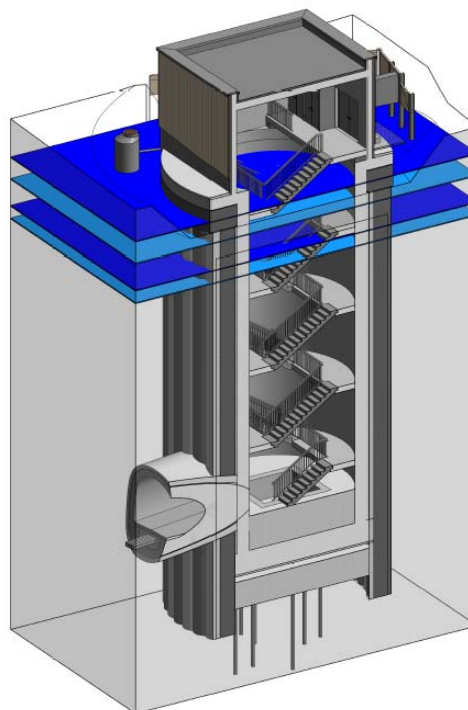




Abbildung 24: 3D-Darstellung des Notausstiegs 6 mit Lage der Bemessungsgrundwasserstände (blaue Flächen) [U30]

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 50 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung B 120, die sich wenige Meter nördlich der geplanten Baugrube befindet.

Tabelle 50: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 590,5 müNN
OK Seeton (Gw-Hemmer)	ca. 583,4 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (1990)	quartärer GWL: 585,16 müNN
HW _{Bau}	Quartäre Kiese: 585,30 müNN Quartäre Moräne: 587,49 müNN Tertiär: 587,50 müNN
HW _{End}	Quartäre Kiese: 586,00 müNN Quartäre Moräne: 588,69 müNN Tertiär: 588,70 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 35 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 51: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=590,50 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
	[müNN]	[m unter GOK]	HW _{Bau}	HW _{End}
			[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 566,77	ca. 23,73	ca. 18,53	ca. 19,23
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 566,77	ca. 23,73	ca. 18,53	ca. 19,23

8.3.6.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll versickert oder in den Georgenbach eingeleitet werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.6.3 Beeinflussung des Grundwassers

Alle Berechnungen sind in Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 3, zusammengestellt.

8.3.6.3.1 Grundwasseraufstau im Bauzustand

Durch die Baugrubenumschließung aus Bohrpfählen wird der quartäre Grundwasserstrom behindert. Hierdurch entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein in etwa gleich großer Sunk. Da die Bohrpfähle voraussichtlich in Seetone einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich beidseitig umströmt werden.

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte nach Schneider [U28]. Zur Bestimmung des Aufstaus während der Bauzeit wurde ein Grundwassergefälle von $i = 0,002$ angenommen. Es ergibt sich rechnerisch ein Aufstau



von ca. 0,01 m. Der Dichtblock wurde bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da dessen Oberkante bereits in den sehr geringdurchlässigen Seetonen zu liegen kommt. Der Tunnel liegt ebenfalls unterhalb der quartären Kiese, sodass er ebenfalls nicht berücksichtigt werden muss.

8.3.6.3.2 Grundwasseraufstau im Endzustand

Die Bohrpfähle verbleiben nach Fertigstellung des Bauwerks im Untergrund. Eine Unterströmung des Bauwerks ist somit auch nach Fertigstellung nicht möglich und das Gebäude wird nach der Fertigstellung lediglich beidseitig umströmt.

Die Bestimmung des Aufstaus für den Endzustand erfolgte analog zu dem Vorgehen und unter Berücksichtigung der gleichen Annahmen wie für den Bauzustand. Nach Schneider [U28] ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,01 m. Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung sind nicht vorgesehen.

8.3.6.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.7 Düker 3

8.3.7.1 Bauwerksbeschreibung

Grundwasserdüker 3 (Anstromseite)

Der auf der Anstromseite gelegene Teil des Grundwasserdükers 3 ($\hat{=}$ seeabgewandte Seite) wird in einem ovalen Schacht aus überschnittenen Schlitzwandlamellen erstellt. In einer Tiefe von ca. 22 m unter GOK verläuft vom Schacht aus in südlicher Richtung ein ca. 159 m langer, als Rohrvortrieb zu erstellender Stollen mit einem Durchmesser DN3000, von dem aus 30 Filterstränge (\hat{a} 15,0 m Länge, DN300) senkrecht zum Stollen in Richtung Osten gebohrt werden. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit werden in Tabelle 52 gemacht. Eine Übersicht des Bauwerks enthält Anlage 7.10.

Tabelle 52: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene, 1,2 m dicke Schlitzwand, Einbindung in bindige Moräne
Abmessungen (Achsenlängen außen)	ca. 13,5 m x 11,0 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	573,00 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	573,00 müNN
UK Verbau	569,10 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich bindige, ggf. nichtbindige Moräne
Bauzeit	ca. 21 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 10 Monate

Abbildung 25 zeigt einen Lageplan des Dükers.

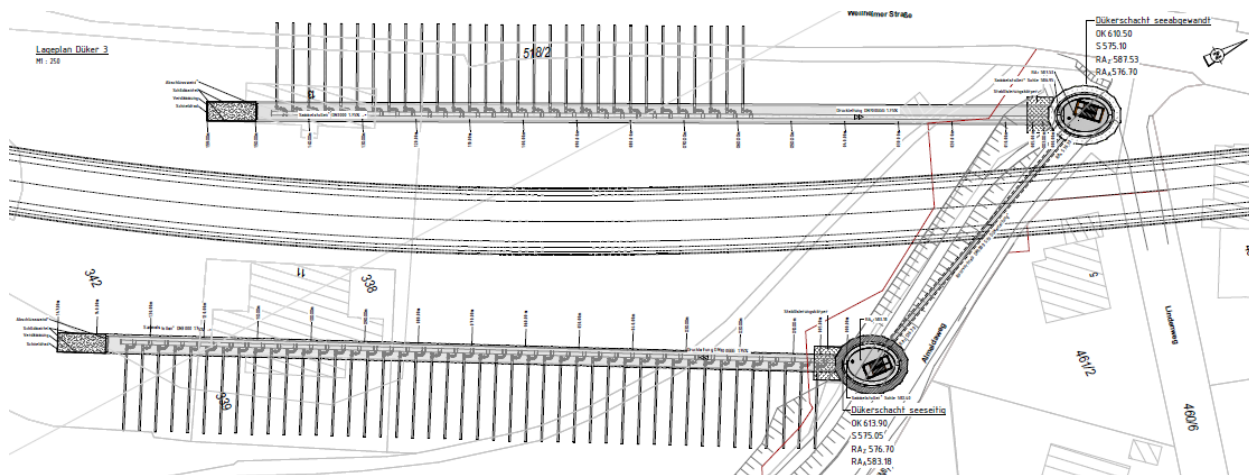


Abbildung 25: Lageplan des Dükers 3 [U30]

Hinsichtlich der hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 53 aufgeführten Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung GWM 413, die sich unmittelbar im Bereich der geplanten Baugrube befindet, und der Bohrung B 343, die am Südende des Stollens gelegen ist.

Tabelle 53: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote (Südende Stollen)	Kote (Schacht)
Mittlere Geländehöhe	ca. 626,0 müNN	ca. 611,0 müNN
OK bindige Moräne (Gw-Hemmer)	ca. 589,3 müNN	ca. 591,0 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2009 bzw. 2018)	1. quart.GWL: 589,33 müNN	1. quart.GWL: 593,83 müNN 2. quart.GWL: 593,43 müNN
HW _{Bau}	Quartär: 593,48 müNN Tertiär: 609,53 müNN	Quartär: 592,77 müNN Tertiär: 609,83 müNN
HW _{End}	Quartär: 594,98 müNN Tertiär: 611,03 müNN	Quartär: 594,27 müNN Tertiär: 611,33 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 54 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 54: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=611,00 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
	[müNN]	[m unter GOK]	HW _{Bau}	HW _{End}
			[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 573,00	ca. 38,00	ca. 19,77	ca. 21,27
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 573,00	ca. 38,00	ca. 19,77	ca. 21,27

Grundwasserdüker 3 (Abstromseite)

Der auf der Abstromseite gelegene Teil des Grundwasserdükers 3 (≙ seeseitig) wird ebenfalls in einem ovalen Schacht aus überschnittenen Schlitzwandlamellen erstellt. In einer Tiefe von ca. 30 m unter GOK



verläuft vom Schacht aus in südlicher Richtung ein ca. 147 m langer, als Rohrvortrieb zu erstellender Stollen mit einem Durchmesser DN3000, von dem aus 44 Filterstränge (à 15,0 m Länge, DN300) senkrecht zum Stollen in Richtung Westen gebohrt werden. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit werden in Tabelle 55 gemacht.

Tabelle 55: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

Art der Gründung	überschnittene, 1,2 m dicke Schlitzwand, Einbindung in bindige Moräne
Abmessungen (Achsenlängen außen)	ca. 13,5 m x 11,0 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	572,95 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	572,95 müNN
UK Verbau	568,55 müNN
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich bindige, ggf. nichtbindige Moräne
Bauzeit	ca. 21 Monate
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 10 Monate

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 56 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf der Bohrung GWM 414, die sich unmittelbar im Bereich der geplanten Baugrube befindet, sowie den Bohrungen GWM 351 und GWM 362, zwischen denen das südliche Ende des Stollens liegt.

Tabelle 56: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote (Südende Stollen)	Kote (Schacht)
Mittlere Geländehöhe	ca. 627,0 müNN	ca. 614,5 müNN
OK bindige Moräne (Gw-Hemmer)	ca. 583,4 müNN	ca. 578,2 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2009/2010 bzw. 2018)	quart. GWL: ca. 589,50 müNN	quart. GWL: 593,46 müNN
HW _{Bau}	Quartär: 594,37 müNN Tertiär: 609,53 müNN	Quartär: 594,37 müNN Tertiär: 609,53 müNN
HW _{End}	Quartär: 595,30 müNN Tertiär: 611,03 müNN	Quartär: 595,30 müNN Tertiär: 611,03 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 57 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 57: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=614,50 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
			HW _{Bau}	HW _{End}
	[müNN]	[m unter GOK]	[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 572,95	ca. 41,55	ca. 21,42	ca. 22,35
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 572,95	ca. 41,55	ca. 21,42	ca. 22,35



8.3.7.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll in den Siebenquellenbach eingeleitet werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.7.3 Beeinflussung des Grundwassers

Alle Berechnungen sind in Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 3, zusammengestellt.

8.3.7.3.1 Grundwasseraufstau im Bauzustand

Durch die Baugrubenumschließungen aus Schlitzwänden wird der quartäre Grundwasserstrom behindert. Hierdurch entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein in etwa gleich großer Sunk. Da die Schlitzwände voraussichtlich in die bindige Moräne einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich beidseitig umströmt werden.

Grundwasserdüker 3 (Anstromseite)

Die Berechnung des Aufstaus durch den Schacht erfolgte nach Schneider [U28]. Zur Bestimmung des Aufstaus während der Bauzeit wurde ein Grundwassergefälle von $i = 0,01$ angenommen. Zur Berechnung des Aufstaus wurde von zwei Extremfällen ausgegangen. Im ersten Fall wurde davon ausgegangen, dass der Sammelstollen die Umströmung nicht beeinflusst und somit eine beidseitige Umströmung möglich ist. Hierfür ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,07 m. Im zweiten Fall wurde davon ausgegangen, dass der Sammelstollen den Grundwasserstrom behindert und der Düker nur einseitig umströmt werden kann. Hierbei ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,14 m. Der tatsächliche Aufstau wird zwischen den beiden Extremwerten liegen.

Wie erwähnt beeinflusst der Sammelstollen den Grundwasserstrom im Bauzustand zusätzlich, wobei der Sammelstollen überströmt werden kann. Da für Strömungssituationen mit Überströmung keine analytische Lösung vorliegt, wurde eine Aufstauberechnung mit reiner Unterströmung nach Schneider [U29] durchgeführt, bei der es zu einer ähnlichen Einengung des Grundwasserstroms wie bei der Überströmung kommt. Anhand der Berechnung ergibt sich ein Aufstau von ca. 0,02 m.

Aufgrund des geringen Aufstaus werden keine Grundwasserüberleitungsmaßnahmen vorgesehen.

Grundwasserdüker 3 (Abstromseite)

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte analog zur Situation auf der Anstromseite, das Grundwassergefälle wurde jedoch mit $i = 0,025$ angenommen. Aufgrund des hohen Grundwassergefälles ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,17 m bei beidseitiger und ca. 0,34 m bei einseitiger Umströmung. Unter Berücksichtigung des Einflusses des Sammelstollens liegt der Aufstau zwischen beiden Werten und folglich vermutlich bei ca. 0,25 m.

Der Einfluss des Sammelstollens auf der Abstromseite auf die Grundwasserverhältnisse wurde ebenfalls analog zum Sammelstollen auf der Anstromseite ermittelt. Nach Schneider [U29] ergibt sich ein Aufstau von ca. 0,68 m.



Aufgrund der Tiefenlage der Stollen ist mit keiner Beeinträchtigung der umliegenden Bebauung durch den durch die Stollen verursachten Grundwasseraufstau zu rechnen. Da es sich zudem um einen zeitlich begrenzten Einfluss handelt und das vorherrschende hydraulische Gefälle extrem groß ist, werden keine Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung im Bauzustand vorgesehen.

8.3.7.3.2 Grundwasseraufstau im Endzustand

Im Endzustand bewirkt der Grundwasserdüker 3 eine Vergleichmäßigung des Grundwasserstroms beidseitig des Tunnels. Eine Betrachtung der Aufstaubeträge der Dükerschächte selbst ist in der numerischen Modellierung enthalten (siehe Abschnitt 8.2.2.3.1).

Eine Berechnung zur Leistungsfähigkeit des Dükers ist in Anlage 4.2 enthalten. Hierbei werden die Ergebnisse von analytischen Berechnungen des maximalen Zustroms zu den Filtersträngen, der maximalen Leistungsfähigkeit der Filterstränge sowie der Leistungsfähigkeit der Querleitung (Vollfüllungsleistung unter Verwendung von [U37]) mit einer Abschätzung der anströmenden Grundwasserwassermenge basierend auf der Darcy-Gleichung verglichen. Aufgrund der komplexen hydrogeologischen Situation im Anstrombereich des Dükers 3 werden in Anlage 4.2 für die anströmende Wassermenge Minimal- und Maximalwerte angegeben. Es ergibt sich überschlägig eine etwa 2-fache bis 13-fache Überdimensionierung des Dükers. Der Düker kann demnach rechnerisch etwa das 2- bis 13-fache der anströmenden Wassermenge überleiten.

In Anlage 4.3 wurden Auswertungen hinsichtlich der Suffosionsstabilität und somit hinsichtlich der Gefahr von Erosionsvorgängen im Boden im Nahbereich der Düker durchgeführt. Hierfür wurden Korngrößenverteilungskurven von Proben der Bohrungen GWM 317 und GWM 318 ausgewertet. Gemäß dem vereinfachten Kriterium nach BAW-Merkblatt „Materialtransport im Boden“ [U35] besteht bei den Böden teilweise aufgrund ihres Kornaufbaus die Möglichkeit für Suffosionsvorgänge im Untergrund. Die auftretenden hohen hydraulischen Gradienten im Bereich des Dükers 3 reichen jedoch nicht aus, dass die Schleppkraft des Wassers auch zu einem Materialtransport führt (siehe hydraulisches Kriterium in BAW-Merkblatt „Standicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen“ [U36]). Die Gefahr von Setzungen ist deshalb bei sachgerechter Ausführung der Horizontalfilter selbst bei dem angenommenen hohen Gefälle zwischen An- und Abstromseite nicht gegeben.

Eine Steuerung bzw. Reduzierung der überzuführenden Wassermengen kann mittels Schiebern im Bereich der Querleitung sowie am an- und am abstromseitigen Schacht erfolgen (Abbildung 21). Hierbei kann sowohl die Querleitung vom anströmigen zum abströmigen Schacht abgesperrt bzw. im Durchfluss beschränkt werden als auch alle einzelnen Filterstränge.

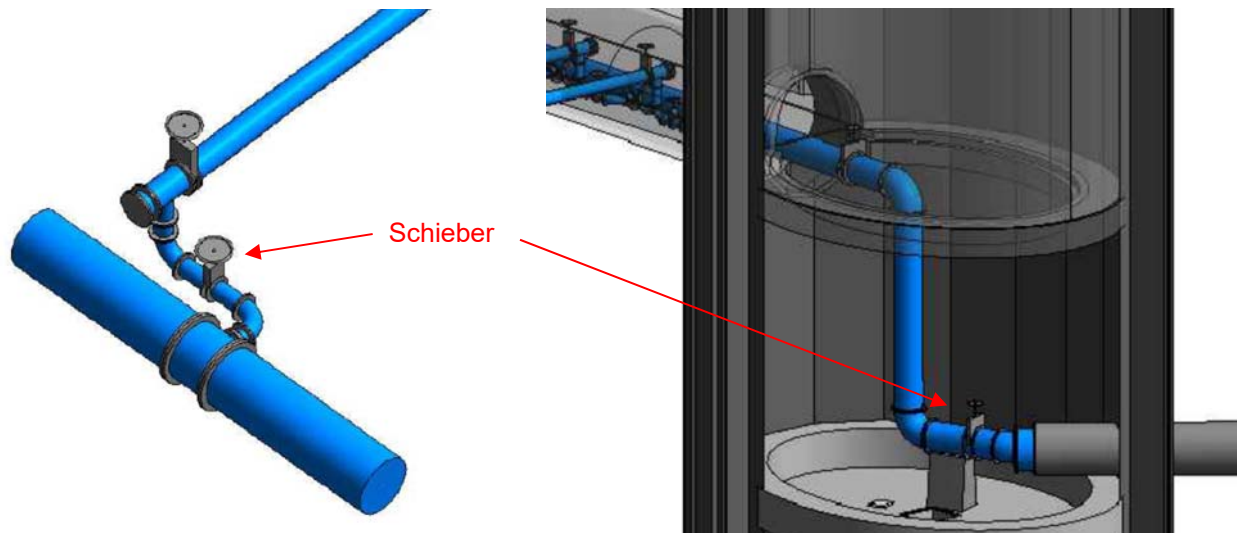


Abbildung 26: Leitungssystem am Übergang Filterstrang zu Sammelleitung (links) und im Bereich der Querleitung (rechts) [U30] mit Darstellung der einzelnen Schieber zur Reduzierung des Durchflusses bzw. zur kompletten Absperrung von Leitungen

Das Monitoring der Grundwasserstände und eine Vermeidung einer zu großen Durchflussmenge kann über Grundwassermessstellen im Anstrom und im Abstrom erfolgen. Hierfür eignen sich im Anstrom die Grundwassermessstellen GWM 410, GWM 317 sowie ggf. GWM 423 und im Abstrom die Grundwassermessstellen GWM 362, GWM 411, GWM 318 und GWM 414. Die Messstellen sollen hierfür mit einer automatischen Datenfernübertragung ausgestattet werden, die eine laufende Beobachtung der Grundwasserstände und somit der Grundwasserstandsunterschiede im An- und Abstrom ermöglichen. Durch fernsteuerbare elektronische Schieber kann im Bedarfsfall die überzuleitende Grundwassermenge geregelt werden.

Zur Ermittlung der optimalen Durchflussrate sollten bereits vor Herstellung des Tunnels und der Düker die Grundwasserstände ausgewertet werden, um die unbeeinflusste Grundwassersituation zu erfassen. Nach Herstellung des Tunnels und der Düker sind die Durchflussraten dann so anzupassen, dass eine geringstmögliche Abweichung zwischen der Grundwassersituation vor der Herstellung der Bauwerke und den dann aktuellen Grundwasserständen erreicht wird, also im Vergleich zur Situation vor der Erstellung der Bauwerke möglichst ähnliche Grundwasserstandsunterschiede zwischen den Messstellen.

8.3.7.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.8 Schacht der Lüftungszentrale (LZE)

8.3.8.1 Bauwerksbeschreibung

Die geplante Lüftungszentrale besteht aus einem kreisrunden Schacht aus überschnittenen Schlitzwandlamellen und einem unterirdischen, eingeschossigen Bauwerk, welches oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands HW_{End} zu liegen kommt und deshalb nicht weiter betrachtet wird. Der Schacht wird von diesem aus in einer Tiefe von ca. 43 m unter GOK über einen ca. 19 m langen Lüftungsstollen mit dem



Rettungsstollen des Notausstiegs 4 verbunden und innerhalb des Stollens oberhalb des Fluchtwegs bis zum Tunnel geführt. Hierfür weist der Rettungsstollen des NA4 in dem Abschnitt zwischen der Anbindung des Lüftungsstollens und dem Tunnel einen vergrößerten Querschnitt auf. Der Vortrieb erfolgt in bergmännischer Spritzbetonbauweise mit vorausseilender Entwässerung. Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit enthält Tabelle 58. Eine Übersicht des Bauwerks enthält Anlage 7.7.

Tabelle 58: Angaben zu Gründung, Abmessungen und Bauzeit

	Schacht	Lüftungszentrale
Art der Gründung	überschnittene, 1,2 m dicke Schlitzwand, Einbindung ins Tertiär	Flächengründung
Abmessungen	Außendurchmesser ca. 10,8 m	ca. 40 m x 22 m
Tiefe der mittleren Baugrubensohle	570,29 müNN	611,06 müNN
Tiefe der tiefsten Baugrubensohle	570,29 müNN	611,06 müNN
UK Verbau	565,29 müNN	kein Verbau (geböschte Baugrube)
Boden im Bereich der Gründungssohle	voraussichtlich tertiäre Tone oder Tonsteine	voraussichtlich nichtbindige Moräne
Bauzeit	ca. 21 Monate	
Bauzeit mit Wasserhaltung	ca. 12 Monate	

In Abbildung 27 ist eine 3D-Darstellung der Lüftungszentrale und deren Schacht enthalten.

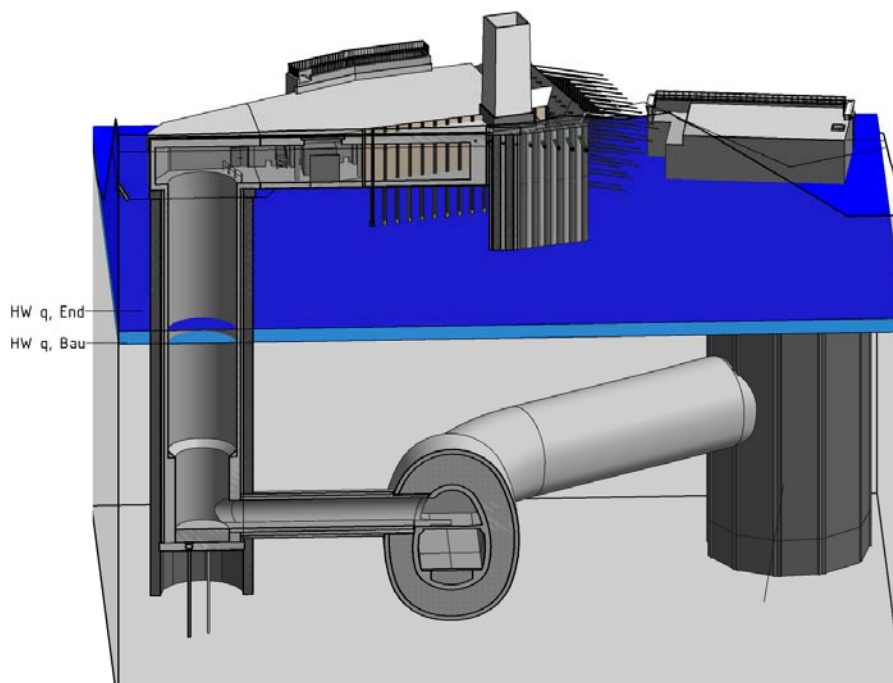


Abbildung 27: 3D-Darstellung der Lüftungszentrale, des Schachts sowie des Anschlusses an den Rettungsstollen des Notausstiegs 4

Hinsichtlich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Bauwerks wird von den in Tabelle 59 aufgeführten Schichtgrenzen und Grundwasserständen ausgegangen. Diese beruhen auf den



Bohrungen GWM 430 und GWM 433, die sich nur wenige Meter nördlich und östlich der geplanten Baugrube befindet.

Tabelle 59: Relevante Schichtgrenzen und Grundwasserstände im Bereich des Bauwerks

Schichtgrenzen / Grundwasserstände	Kote
Mittlere Geländehöhe	ca. 617,7 müNN
OK 1. Grundwasserstauer (Seeton)	ca. 586,7 müNN
OK Tertiär	ca. 580,8 müNN
Grundwasserstand, gemessen während Bohrarbeiten (2020)	quartärer GWL: ca. 590,53 müNN tertiärer GWL ca. 560,10 müNN
HW _{Bau} (Quartär und Tertiär)	593,77 müNN
HW _{End} (Quartär und Tertiär)	595,27 müNN

Aus den Bauwerksbeschreibungen folgen die in Tabelle 60 genannten maßgeblichen Koten sowie die in der Tabelle genannten Abstände zu den Bemessungsgrundwasserständen HW_{Bau} und HW_{End}.

Tabelle 60: Maßgebliche Koten und höhenbezogene rechnerische Zuordnungen

	Höhe bezogen auf mittlere Geländehöhe (=617,70 müNN)		Höhe im Vergleich zu	
	[müNN]	[m unter GOK]	HW _{Bau}	HW _{End}
			[m uGw]	[m uGw]
Mittlere Bauwerkssohle	ca. 570,29	ca. 47,41	ca. 23,48	ca. 24,98
Tiefste Bauwerkssohle	ca. 570,29	ca. 47,41	ca. 23,48	ca. 24,98

8.3.8.2 Wasserhaltung in der Baugrube während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Grund- und Niederschlagswasser soll in den Georgenbach eingeleitet werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.3.8.3 Beeinflussung des Grundwassers und von Oberflächengewässern

Alle Berechnungen sind in Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 3, zusammengestellt.

8.3.8.3.1 Grundwasseraufstau im Bauzustand

Durch die Baugrubenumschließung aus Schlitzwänden wird der quartäre Grundwasserstrom behindert. Hierdurch entsteht auf der Anstromseite ein Aufstau und auf der Abstromseite ein in etwa gleich großer Sunk. Da die Schlitzwände voraussichtlich ins Tertiär einbinden, kann das Bauwerk nicht unterströmt, sondern lediglich beidseitig umströmt werden.

Die Berechnung des Aufstaus erfolgte nach Schneider [U28]. Zur Bestimmung des Aufstaus während der Bauzeit wurde ein Grundwassergefälle von $i = 0,025$ angenommen. Es ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,14 m. Der Lüftungsquerschlag wurde bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da er unterhalb der quartären Kiese bzw. der nichtbindigen Moräne zu liegen kommt. Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung werden nicht vorgesehen.



8.3.8.3.2 Grundwasseraufstau im Endzustand

Die Schlitzwände verbleiben nach Fertigstellung des Bauwerks im Untergrund. Eine Unterströmung des Bauwerks ist somit auch nach Fertigstellung nicht möglich und das Gebäude wird nach der Fertigstellung lediglich beidseitig umströmt.

Die Bestimmung des Aufstaus für den Endzustand erfolgte analog zu dem Vorgehen und unter Berücksichtigung der gleichen Annahmen wie für den Bauzustand. Nach Schneider [U28] ergibt sich rechnerisch ein Aufstau von ca. 0,14 m. Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung werden nicht vorgesehen.

8.3.8.3.3 Zusätzliche Beeinflussung des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.4 Hochbauten und Betriebsflächen

8.4.1 Baustelleneinrichtungsfläche Süd bzw. Betriebsgebäude und Betriebsflächen

8.4.1.1 Bauwerksbeschreibung

Die Baustelleneinrichtungsfläche Süd (BE Süd) befindet sich am südlichen Ende des Tunnels (Abbildung 28). Im Bauzustand befinden sich dort u.a. ein Tübbinglager, eine Separationsanlage mit Kammerfilterpressen, mehrere Silos, eine Druckluft- und eine Kühlwasseranlage für den Tunnelvortrieb, Baubüros, Waschplatz und Reifenwaschanlage sowie ein Besucher- und Informationszentrum.

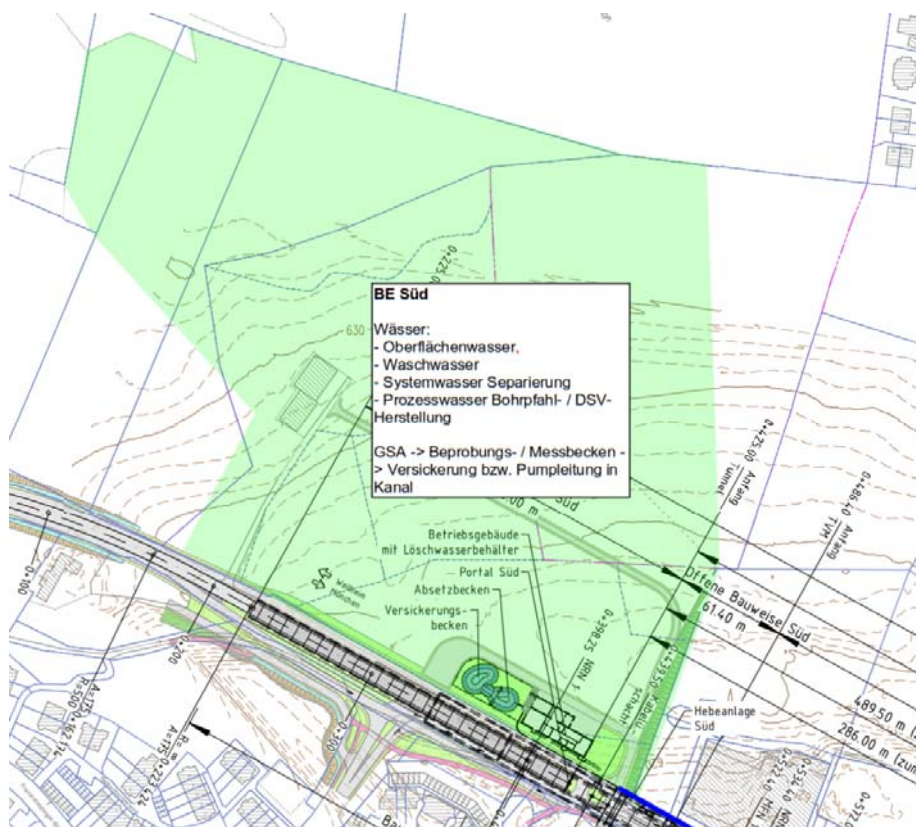


Abbildung 28: Fläche der BE Süd (grüne Fläche)

Im Endzustand befinden sich die Betriebsflächen und das Betriebsgebäude innerhalb der BE Süd. Letzteres wird als zweigeschossiges Gebäude aus einem Erd- und einem Kellergeschoss hergestellt, welches oberhalb des Bemessungsgrundwasserstands HW_{End} zu liegen kommt und deshalb aus wasserrechtlicher Sicht nicht weiter betrachtet werden muss (Anlage 7.12).

Des Weiteren wird innerhalb der Betriebsflächen für den Endzustand ein Versickerungsbecken angeordnet.

8.4.1.2 Versickerung während der Bauzeit

Das im Bauzustand anfallende Niederschlagswasser soll versickert werden. Die bauzeitliche Wasserhaltung ist jedoch nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.4.1.3 Versickerung im Endzustand

Erläuterungen zu den Versickerungsanlagen im Endzustand des Gebäudes und für den Endzustand für die Betriebsflächen finden sich in Anlage 18.1 zu den Tekturunterlagen.

8.4.1.4 Beeinflussung des Grundwassers und von Oberflächengewässern

8.4.1.4.1 Beeinflussung von Grundwasser

Zusätzliche Beeinflussungen des Grundwassers sowie bestehender Gebäude und Grundwassernutzungen durch die Baumaßnahme ergeben sich nur im Bauzustand und sind nicht Gegenstand der Planfeststellung.



8.4.2 Behelfsbrücke über den Georgenbach

Die Behelfsbrücke über den Georgenbach ist nicht Gegenstand der Planfeststellung.

8.4.3 Eisenbahnüberführung Münchner Straße

Die wasserrechtlichen Belange der Eisenbahnüberführung Münchner Straße sind nicht Gegenstand der vorliegenden Planfeststellung, sondern wurden in einem gesonderten Wasserrechtsverfahren behandelt.



Anlagenübersicht

Anlage	1	Lageplan mit Grundwasserisohypsen
	2.1 bis 2.6	Geotechnische Längsschnitte
	3	Schematischer geologischer Längsschnitt
	4.1 bis 4.3	Hydrogeologische Berechnungen Bauwerke und Grundwasserdücker sowie Suffosionsstabilität
	5	Hydrogeologische Berechnung Grundwasserspitzen
	6	Tabellarische Zusammenfassung je Bauwerk
	7.1 bis 7.12	Pläne EDR
	8	Auswirkungen der Einleitung von Grundwasser in den Georgenbach (Kapazitätsberechnung EDR)
	9	- nur im Wasserrechtsgutachten zum Tunnel Starnberg -
	10	Beeinflussung Dritter durch den Tunnel
	11	- nur im Wasserrechtsgutachten zum Tunnel Starnberg -
	12	Gemeinsame wasserwirtschaftliche Stellungnahme zu den geplanten Maßnahmen zum Bau des Tunnels B2 in Starnberg des Wasserwirtschaftsamts Weilheim und des Landratsamts Starnberg vom 16.02.2011
	13.1 bis 13.2	Hydrogeologischer Bericht Teil 1 und Teil 2