

Straßenbauverwaltung Freistaat Bayern

Straße / Abschnitt / Station: B 15n in Bau bis K LAs 14 / 120 / 5,575

B 15neu, Essenbach (A 92) – B 299

Neubau der Ost-Umfahrung Landshut

Bauabschnitt I von Essenbach (A92) bis Dirnau (LAs 14)

PROJIS-Nr.: 09 00 99 19 30

FESTSTELLUNGSENTWURF

Hydrogeologisches Gutachten

**Bauabschnitt I von Essenbach (A 92) bis Dirnau (LAs 14)
Bau-km 48+110 bis 49+900**

aufgestellt:
Staatliches Bauamt Landshut



Bayerstorfer, Baudirektor
Landshut, den 10.01.2020

B 15neu
Neubau der Ost-Umfahrung Landshut
Bauabschnitt I von Essenbach (A92)
bis Dirnau (LAs14)
Bauwerk 48/1-3 Tunnel Ohu mit
Grundwasserwanne
Unterlagen zum Wasserrechtsantrag
vom 15.03.2019

Vorhabensträger: Staatliches Bauamt Landshut
Innere Regensburger Straße 7 - 8
84034 Landshut

Verfasser:

Dr. Blasy - Dr. Overland
Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG

Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee
☎ 08143 / 997 100 info@blasy-overland.de
🌐 08143 / 997 150 www.blasy-overland.de

ea-SBaLA-002.01

Verzeichnis der Unterlagen

I Erläuterungsbericht

II Anlagen

- Anlage 01: Übersichtslageplan; Maßstab 1:25.000
- Anlage 02: Lagepläne Grundwassergleichen HHW; Maßstab 1:2.500
- a) mit Grundwasserwanne Essenbach bis Bau km 48+110; Differenzhöhen zum Ist-Zustand ohne Bauwerk
 - b) Endzustand bis Bau km 48+679,5 (Tunnel/Trogende) ohne Grundwasserüberleitungen im PFA; Differenzhöhen zum Ur-Zustand ohne Bauwerk
 - c) Endzustand bis Bau km 48+679,5 (Tunnel/Trogende) mit Grundwasserüberleitungen im PFA; Differenzhöhen zum Ur-Zustand ohne Bauwerk
- Anlage 03: Lagepläne Grundwassergleichen HW; Maßstab 1:2.500
- a) mit Bauwerksabschnitten Tunnel Bahn (5634) und Tunnel St 2074; Differenzhöhen Grundwasserstand zum Ur-Zustand ohne Bauwerk
 - b) mit Umspundung des gesamten restlichen Bauabschnittes ohne Abhilfemaßnahmen; Differenzhöhen zum Ur-Zustand ohne Bauwerk
 - c) mit Umspundung des gesamten restlichen Bauabschnittes mit temporären Überleitungsbrunnen; Differenzhöhen zum Ur-Zustand ohne Bauwerk
- Anlage 04: Lageplan: Vorschlag der Beweissicherungsmessstellen; Maßstab 1:5.000
- Anlage 05: Lageplan: Bauabschnitte mit erforderlicher Tertiärentspannung; Maßstab 1:2.500
- Anlage 06: Analytische Berechnungen zur erforderlichen Tertiärentspannung (Verf.: Crystal Geotechnik)
- Anlage 07: Modellrechnungen Auswirkungen der Tertiärentspannung
- a) Lagepläne BA IV (Dock Nord); Maßstab 1:5.000
 - b) Lagepläne BA Ia (Dock Bahn); Maßstab 1:5.000
 - c) Lagepläne BA IV + II (bei gleichzeitiger Bauausführung); Maßstab 1:5.000
- Anlage 08: Lageplan: Lage der geplanten Brunnen zur Tertiärentspannung; Maßstab 1:1.000

Erläuterungsbericht

1.	Vorhabensträger	1
2.	Zweck des Vorhabens	1
3.	Beantragte Erlaubnis	2
4.	Bestehende Verhältnisse	3
4.1	Überblick: Geologie und Hydrogeologie	3
4.2	Auswertung bisheriger Grundwasserstandsaufzeichnungen	4
4.2.1	Grundwasser Quartär	4
4.2.2	Grundwasser Tertiär	6
4.2.3	Vorflutverhältnisse	7
5.	Art und Umfang der geplanten Maßnahmen	7
5.1	Angaben zur konstruktiven Gestaltung des Tunnel- und Trogbauwerks.....	7
5.1.1	Bauabschnitt Ia - Bahnunterführung 5634 (Bahndock, Tunnelbauweise)	9
5.1.2	Bauabschnitt Ib - Querung St 2074 (Dock St 2074, Tunnelbauweise).....	10
5.1.3	Bauabschnitt IV (Dock Nord, Trogbauweise)	11
5.1.4	Bauabschnitte II und III (Tunnelbauweise)	11
5.1.5	Bauabschnitt V (Dock Süd, Trogbauweise).....	12
5.2	Erwartete Auswirkungen der Baumaßnahmen auf die Grundwasserverhältnisse im oberen Grundwasserstockwerk.....	12
5.3	Maßnahmen zur Minimierung der Grundwasserbeeinträchtigungen.....	14
5.3.1	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Beeinträchtigungen und der Bemessung von Maßnahmen zur Minimierung	14
5.3.2	Numerisches Grundwassermodell	15
5.3.3	Aufstau und Absenkung im Endzustand ohne Minimierungsmaßnahmen	17
5.3.4	Art, Umfang und Wirkung von Minimierungsmaßnahmen im Endzustand	17
5.3.5	Grundwasserbeeinträchtigungen und Maßnahmen zu deren Minimierung während der Bauphase	18
5.4	Wasserhaltungsmaßnahmen während der Bauzeit	20
5.4.1	Restwasserhaltung in der Baugrube	20
5.4.2	Gewährleistung der Auftriebssicherheit der Baumaßnahme – Tertiärentspannung	23
5.4.3	Ableitung /Versickerung des Förderwassers	33
5.4.4	Ableitung des Niederschlagswassers während der Betriebsphase	34
6.	Beweissicherungsmaßnahmen	34

6.1	Prüfung der Wirksamkeit der Grundwasserüberleitungen (Endzustand)	35
6.2	Grundwasserstand (Quartär) im Umfeld der Baumaßnahme	35
6.3	Grundwasserstand (Tertiär) im Umfeld der Trinkwasserbrunnen Ohu.....	36
7.	Auswirkungen des Vorhabens	36
8.	Zusammenstellung der beantragten Benutzungen.....	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht der gesamten Baumaßnahme	1
Abbildung 2:	Grundwasserstandsganglinien der Messstellen im Bereich der Baumaßnahme (2009 bis 2013).....	4
Abbildung 3:	Grundwasserstandsganglinien 2006 bis 2013; Vergleich von drei Hochwasserereignissen	5
Abbildung 4:	Grundwasserstandsganglinien der Beweissicherungsmessstellen der Gesamtbaumaßnahme seit 2015.....	5
Abbildung 5:	Grundwasserstandsganglinien der tertiären Beweissicherungsmessstellen der Gesamtbaumaßnahme seit 2010.....	6

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Berechnete Überleitungsmengen der Grundwasserüberleitungen im Endzustand bei HHW.....	18
Tabelle 2:	Lenzwassermengen während der Bauzeit.....	21
Tabelle 3:	Schlosswassermengen während der Bauzeit	21
Tabelle 4:	Niederschlagswassermengen während der Bauzeit	22
Tabelle 5:	Gesamtableitungsraten während der Bauzeit	22
Tabelle 6:	Gesamtableitungsmengen während der Bauzeit	23
Tabelle 7:	Zusammenstellung der Daten zur Tertiärentspannung (Absenkung des Druckwasserspiegels).....	25
Tabelle 8:	Zusammenstellung der Bemessung der Versickerungsbecken	33
Tabelle 9:	Zusammenstellung der beantragten Grundwasserbenutzungen	38

1. Vorhabensträger

Vorhabensträger ist das

Staatliches Bauamt Landshut
Innere Regensburger Straße 7 - 8
84034 Landshut.

2. Zweck des Vorhabens

Im Zuge des Neubaus der Bundesstraße B 15 neu wird derzeit im Abschnitt Ergoldsbach – Essenbach der Anschluss an die Bundesautobahn A 92 in Form eines Fernstraßenkreuzes errichtet. Dazu wird ein Unterführungsbauwerk für die B 15 neu in Form einer Grundwasserwanne hergestellt. Der Planfeststellungsabschnitt (PFA) dieses Bauwerks endet im Süden bei Bau-km 48+110 mit den südlichen Auffahrtsrampen von der B15 neu auf die A 92.

Im weiteren Verlauf der B 15 neu in Richtung Süden wird zunächst die Bahnlinie 5634 bei Bau-km 48+187 und anschließend die Staatsstraße St 2074 bei Bau-km 48+491 mit einem insgesamt rd. 361 m langen Tunnelbauwerk unterfährt. Im südlichen Anschluss wird die B 15 neu in einem rd. 162 m langen Trogbauwerk wieder an die Geländeoberfläche (bis Bau-km 48+679,5) geführt. Die folgende Abbildung zeigt das gesamte Bauwerk in der Übersicht. Der konkret behandelte Abschnitt zwischen Bau-km 48+110 und 48+679,5 ist rot umrandet.



Abbildung 1: Übersicht der gesamten Baumaßnahme

Die geplanten Bauwerke reichen zum Teil erheblich in das Grundwasser hinein, so dass während der Bau- und Betriebsphase Benutzungen des Grundwassers erforderlich sind, die gemäß § 8 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) einer Erlaubnis bedürfen.

Mit den hier vorgelegten Unterlagen zum Wasserrechtsantrag werden die Auswirkungen der geplanten Baumaßnahme im Bereich des Tunnel- und Trogbauwerks von Bau-km 48+110 bis 48+679,5 auf die Grundwasserverhältnisse dargestellt und bewertet. Sofern Maßnahmen

zur Minimierung dieser Auswirkungen erforderlich sind, werden diese konzipiert, dimensioniert und hinsichtlich ihrer Wirkung beschrieben.

Als Grundlage für die Bearbeitung des Wasserrechtsantrags wurden Unterlagen des Planungsbüros SSF Ingenieure AG München (Bauwerksdaten, Planunterlagen, Bauzeitenplan) sowie des Instituts für Erd- und Grundbau Crystal Geotechnik, Utting a. A. (Berechnungen zur erforderlichen Tertiärentspannung; Kapitel 5.4.2) verwendet.

Außerdem wurden die Unterlagen zum Wasserrechtsantrag „Grundwasserwanne Essenbach“ vom 08.10.2010⁽¹⁾ mit Tektur vom 14.01.2015 verwendet, in denen die großräumig bestehenden Untergrund- und Grundwasserverhältnisse ausführlich beschrieben wurden. Bei der Erstellung dieser Unterlagen wurde seinerzeit auf eine umfassende hydrogeologische Bearbeitung des gesamten Bauvorhabens der Grundwasserwanne Essenbach einschließlich des Tunnels Ohu zurückgegriffen.⁽²⁾ Für die Bearbeitung dieser nachfolgend als HGU (Hydrogeologische Grundlagenuntersuchung) bezeichneten Unterlagen wurde ein numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt. Damit wurden unterschiedliche Bauvarianten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Grundwasser untersucht. Für die letztlich gewählte Variante Schwergewichtswanne wurden außerdem Modellrechnungen für mehrere Bauzustände bis zum vorläufigen Endzustand bei Bau-km 48+110 durchgeführt.

Die Modellrechnungen enthalten einen Vergleich der Grundwasserspiegellagen im Urzustand ohne Bauwerk mit dem Planungszustand. Nach dem Ergebnis dieser Berechnungen ist die Erstellung von 9 Grundwasserüberleitungen vorgesehen, um die Auswirkungen des Bauwerks „Grundwasserwanne Essenbach“ soweit zu minimieren, dass die Differenzhöhen zwischen dem Planungs- und dem Istzustand einen Betrag von 20 cm nicht übersteigen.

Für den nun geplanten Bauabschnitt „Tunnel Ohu“ zwischen Bau-km 48+110 und 48+679,5 wurden analog hierzu Modellrechnungen einzelner Bauphasen und für den Endzustand des Gesamtbauwerks durchgeführt. Als Referenzwasserstand für die Betrachtung der Differenzhöhen wird weiterhin der Urzustand ohne Grundwasserwanne und Tunnelbauwerk verwendet. Dabei wird vorausgesetzt, dass mit Beginn der Baumaßnahmen im hier behandelten Planfeststellungsabschnitt die nördlich anschließende Grundwasserwanne Essenbach fertiggestellt und die 9 Grundwasserüberleitungen funktionsfähig sind.

3. Beantragte Erlaubnis

Mit den hier vorgelegten Unterlagen wird die Erlaubnis für folgende Benutzungen beantragt:

- ▷ Aufstauen und Absenken von Grundwasser durch die in das Grundwasser eintauchende Bauwerksteile inkl. Auftriebssicherung (§9, Nr. 2 Abs. 1 WHG),
- ▷ Umleiten von Grundwasser mittels Grundwasserüberleitungen zur Minimierung des Aufstaus und der Absenkungen während der Betriebsphase (§9, Nr. 2 Abs. 1 WHG),
- ▷ Entnahme und Wiedereinleitung von Grundwasser während der Bauphase durch Entnahme- und Versickerungsbrunnen zur Minimierung des Aufstaus und der Absenkungen während der Bauphase (§9, Nr. 1 Abs. 5 WHG).

¹ Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, „B15 neu, Neubauabschnitt Ergoldsbach – Essenbach, Grundwasserwanne Essenbach; Unterlagen zum Wasserrechtsantrag“, Eching am Ammersee 08.10.2010

² Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, „B15 neu, Grundwasserwanne Essenbach - Hydrogeologische Bearbeitung“, Eching am Ammersee 26.11.2010

- ▷ Entnahme und Wiedereinleitung von Grundwasser aus dem tertiären Grundwasserstockwerk zur Reduzierung des Druckpotenzials und zur Gewährleistung der Sohlaufbruchssicherheit während der Bauphase (§9, Nr. 1 Abs. 5 WHG).

4. Bestehende Verhältnisse

4.1 Überblick: Geologie und Hydrogeologie

Eine detaillierte Beschreibung der bestehenden geologischen, hydrogeologischen und naturräumlichen Verhältnisse ist in der HGU enthalten (vgl. Fußnote 2). Für die vorliegenden Unterlagen erfolgt daher nur eine zusammenfassende Beschreibung.

Das Maßnahmenggebiet liegt rund 8 km nordöstlich von Landshut bei Ohu auf der nördlichen Isarseite.

Am Isarufer beträgt die Geländehöhe rund 375 m üNN. Das Gelände steigt nach Nordwesten zunächst leicht bis zum Ortsrand von Essenbach auf rund 385 m üNN und im weiteren Verlauf steiler bis zum Rand des Modellgebietes des numerischen Grundwassermodells (siehe Kap. 5.3.2) bis auf rund 430 m üNN an. Das Modellgebiet ist im Übersichtslageplan der Anlage 01 dargestellt.

Das Untersuchungsgebiet wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Es befinden sich darin die Ortschaften Mirskofen, Essenbach, Unterwattenbach, Altheim, Ohu und Oberahrain.

Am südwestlichen Rand des Untersuchungsgebietes befinden sich die Brunnen des Zweckverbands zur Wasserversorgung Isar-Gruppe 1 bei Ohu, mit denen Wasser aus dem tiefen tertiären Grundwasserstockwerk gefördert wird. In den beiliegenden Lageplänen ist der Umfang der ausgewiesenen Schutzgebietszonen I bis III eingetragen.

Im Untersuchungsgebiet stehen quartäre Kiese und Schotter an, die von einer verbreiteten, mehrere Dezimeter bis wenige Meter mächtigen Schicht aus Oberböden, Torf und Lößlehm überdeckt werden. Die Grenze zwischen rißeiszeitlichen Hochterrassenschottern und würmeiszeitlichen Niederterrassenschottern wird durch eine Geländekante markiert und verläuft von Südwesten nach Nordosten parallel zum Verlauf der Isar in etwa entlang der Straße von Essenbach nach Unterwattenbach.

Im Liegenden der quartären Sedimente folgen die tertiären Kiese und Sande mit tonig-mergeligen Einschaltungen der Oberen Süßwassermolasse.

Zwischen dem quartären und dem tertiären Grundwasserleiter befindet sich i.d.R. eine schluffig-tonige Bodenschicht mit einer Mächtigkeit von mehreren Metern, die als Stauer für das oberflächennahe, quartäre Grundwasserstockwerk wirkt. In Bereichen, wo diese bindige Bodenschicht fehlt, bilden die quartären Kies-Sande mit den tertiären Kies-Sanden einen gemeinsamen Grundwasserleiter.

An der Basis der quartären Kiese ist eine bis ca. 2 m mächtige Schicht tertiärer Kiese verbreitet, die vermutlich eine geringere hydraulische Durchlässigkeit aufweisen, als die quartären Kiese. Exakte Angaben hierzu sind nicht verfügbar, da die vorliegenden Pumpversuche ausschließlich über den gesamten oberen quartären und tertiären Grundwasserleiter durchgeführt werden konnten und somit ein durchschnittlicher Durchlässigkeitsbeiwert ermittelt wurde. Im numerischen Grundwassermodell wurde die tertiäre Kiesschicht oberhalb des Grundwasserstauern mit plausiblen Erfahrungswerten so berücksichtigt, dass die berechneten Auswirkungen eher auf der sicheren Seite liegen.

Die Oberkante des bindigen Tertiärs liegt im Bereich der Trasse in einer Tiefe zwischen rund 7 m und 13 m unter GOK. Die Bohrungen der Bohrkampagne 2010 haben den Stauer meist durchteuft. Seine Mächtigkeit beträgt rund 6 m bis 10 m.

4.2 Auswertung bisheriger Grundwasserstandsaufzeichnungen

4.2.1 Grundwasser Quartär

4.2.1.1 Ganglinienaufzeichnungen vor 2009

Bei der Bearbeitung HGU als Grundlage für den Wasserrechtsantrag für die Grundwasserwanne Essenbach wurden Auswertungen der Grundwasserstandsaufzeichnungen seit 1990 (manuelle, wöchentliche Aufzeichnungen ausgewählter Messstellen), Dataloggeraufzeichnungen von Messstellen im Bereich der Baumaßnahme seit September 2004 sowie Jahreshöchstwerte von Grundwasserständen einiger e-on Messstellen berücksichtigt. Der Grundwasserhöchststand während dieses Beobachtungszeitraums trat im April 2006 auf. Dieser Hochwasserstand wurde als Grundlage für die HW-Berechnung der Bauzustände verwendet.

Eine ausführliche Analyse und Bewertung der Entwicklung der Grundwasserstände vor 2009 kann den HGU entnommen werden. Dort sind auch die Ergebnisse einer Stichtagsmessung vom 12.06.2009 dokumentiert, die u.a. zur Kalibrierung des Grundwassermodells diente. Dabei wurde eine Grundwasserspiegellage in der Größenordnung des Mittelwasserstands (MW) festgestellt.

4.2.1.2 Ganglinienaufzeichnungen seit 2009

Die Dataloggeraufzeichnungen der ausgewählten Beweissicherungsmessstellen wurden zwischenzeitlich weitergeführt. Die bislang letzte monatliche Auswertung erfolgte am 20.11.2018. In der Abbildung 2 sind in der Übersicht die Ganglinien der Grundwasserstände zwischen 2009 und 2013 dargestellt.

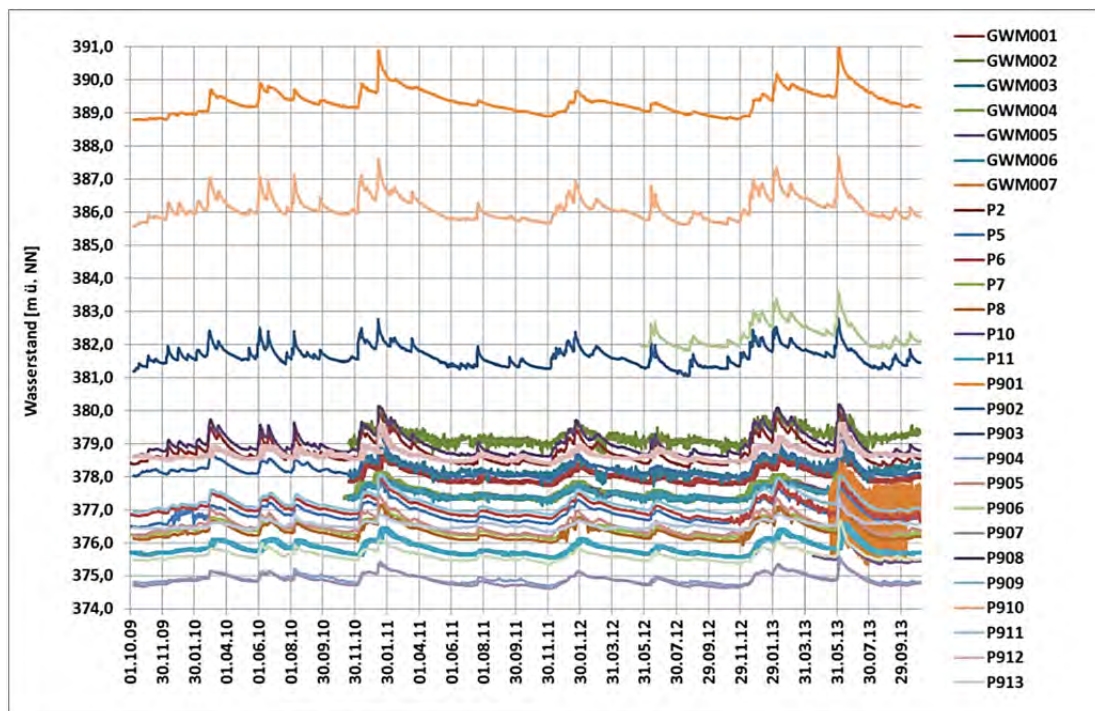


Abbildung 2: Grundwasserstandsganglinien der Messstellen im Bereich der Baumaßnahme (2009 bis 2013)

In diesem Zeitraum sind zwei etwa gleich hohe signifikante Hochwasserstände aufgetreten (Mitte Januar 2011 und Anfang Juni 2013).

Ein Vergleich mit dem Hochwasserstand vom April 2006 (siehe Diagramm der Abbildung 3) zeigt, dass diese drei Hochwasserereignisse etwa die gleichen Höchststände erreichten. Dies bestätigt die bisherige Vorgehensweise bei der Bestimmung des maßgeblichen Hochwasserstandes HW für die Bauzustände.

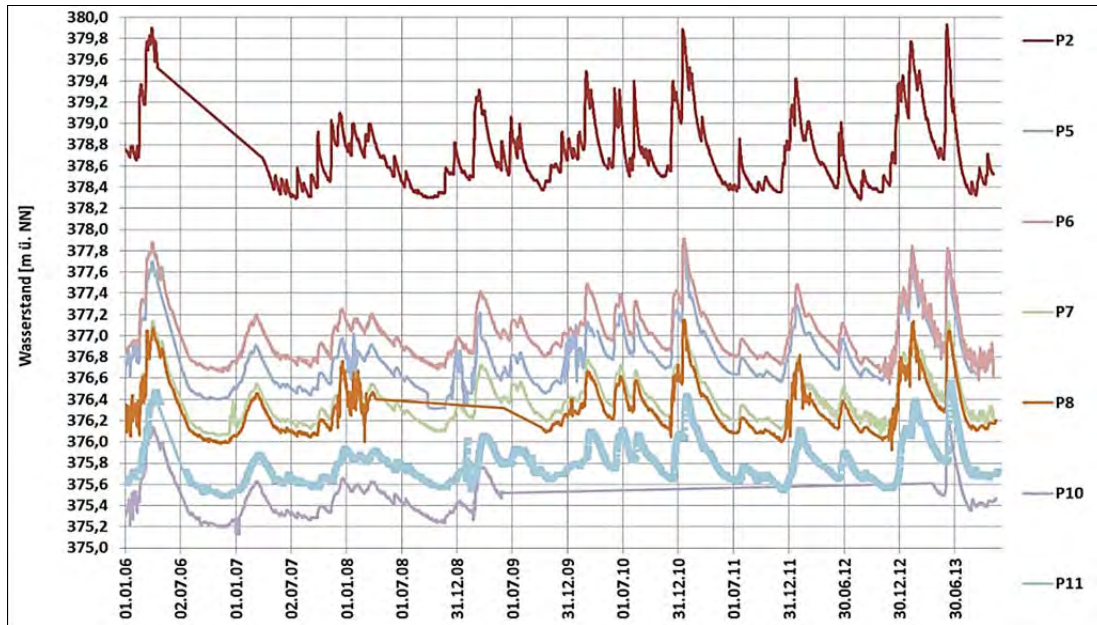


Abbildung 3: Grundwasserstandsganglinien 2006 bis 2013; Vergleich von drei Hochwasserereignissen

In der Abbildung 4 sind die Grundwasserstandsganglinien der Beweissicherungsmessstellen der Gesamtbaumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach seit Juli 2015 dargestellt.

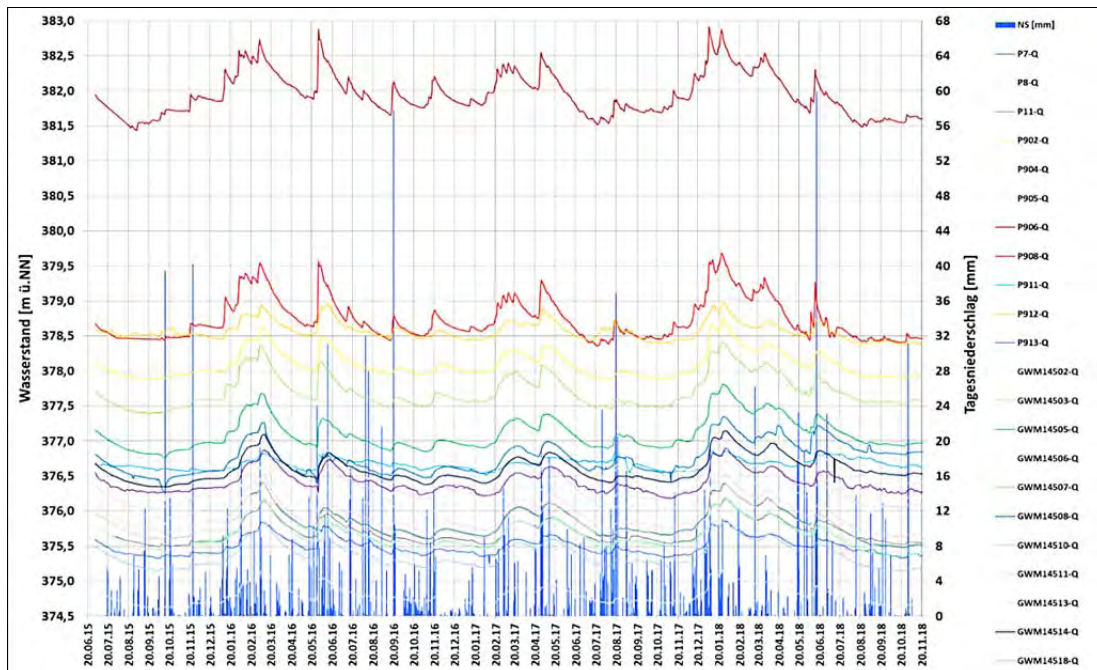


Abbildung 4: Grundwasserstandsganglinien der Beweissicherungsmessstellen der Gesamtbaumaßnahme seit 2015

In diesem Zeitraum traten im Juni 2016, im Mai 2017 und im Januar/Februar 2018 relative Grundwasserhochstände auf, welche jedoch in keinem Fall die o.g. Höchststände 2006 und 2013 erreichten. Insbesondere das in weiten Teilen Bayerns verheerende Hochwasser im Juni 2016 führte im Raum Landshut zu keinen Höchstwasserständen.

4.2.2 Grundwasser Tertiär

Die im Zuge der Bohrkampagne in den Jahren 2009 und 2010 erstellten tertiären und quartären Grundwassermessstellen zeigen, dass der tertiäre Druckwasserspiegel in etwa auf der Höhe des quartären Grundwasserstands liegt. Dies deckt sich mit den Angaben der Hydrogeologischen Karte der Planungsregion 13 Landshut (Bayer. Landesamt für Umwelt, 2007). In Bereichen mit einer lückenhaften Verbreitung einer bindigen Oberkante des Tertiärs kann es demnach zu einem Aufstieg von tertiärem Grundwasser in den quartären Grundwasserleiter kommen.

Bei den Berechnungen und den Überlegungen zur konstruktiven Gestaltung der Baumaßnahmen für die Grundwasserwanne Essenbach wurde unterstellt, dass der tertiäre Druckwasserspiegel auf der Höhe des jeweils angesetzten quartären Wasserspiegels liegt. Das ist insbesondere für die Berechnungen mit dem höchsten möglichen Grundwasserstand HHW (vgl. Kap. 5.3.2.2) ein Ansatz, der i.d.R. auf der sicheren Seite liegt.

In der folgenden Abbildung sind die Grundwasserstandsganglinien der tertiären Beweissicherungsmessstellen dargestellt. Der Verlauf des Druckpotenzials verläuft qualitativ parallel zum quartären Grundwasserstand. Die natürliche Schwankungsbreite zwischen Niedrig- und Hochwasserstand liegt bei rd. 1 m. An den der Wasserversorgung Ohu nächstgelegenen Messstellen sind die Auswirkungen des sequenziellen Pumpenbetriebs zu erkennen (siehe auch Erläuterungen im Kapitel 5.4.2).

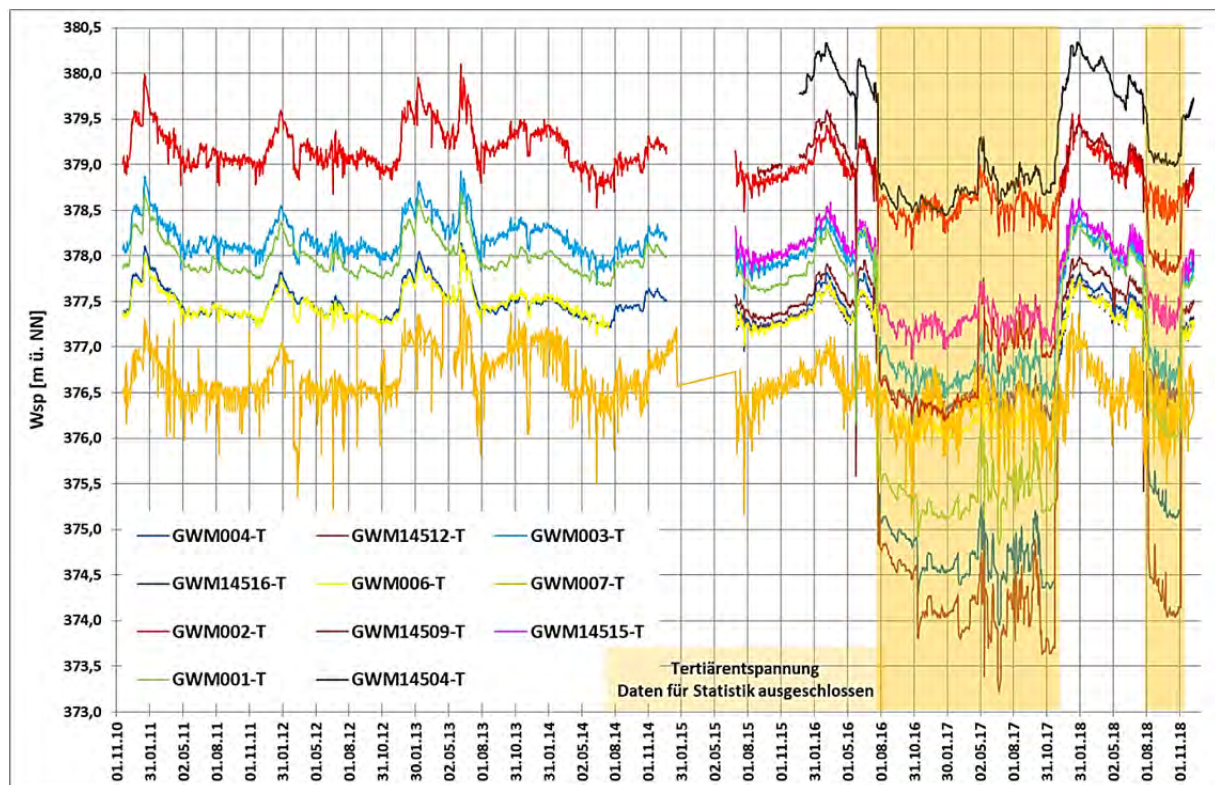


Abbildung 5: Grundwasserstandsganglinien der tertiären Beweissicherungsmessstellen der Gesamtbaumaßnahme seit 2010

Die in der Abbildung 5 gelb markierten Zeiträume von Juli 2016 bis Dezember 2017 sowie von August bis Oktober 2018 zeigen die Potenzialabsenkungen, die im Zuge der Entspannung des Druckwasserspiegels im tertiären Grundwasserstockwerk erreicht wurden. Diese Entspannung wurde zur Gewährleistung der Auftriebssicherheit in diesbezüglich kritischen Bereichen der Baugrube für die Grundwasserwanne Essenbach erforderlich.

4.2.3 Vorflutverhältnisse

Hauptvorfluter für den unterstromigen Rand des Untersuchungsgebietes bilden zum einen die Isar mit einem nördlichen Begleitgraben und zum anderen der oberstromig vorgelagerte Mühlbach, welcher in etwa isar-parallel in einer Entfernung von rund 600 m nördlich der Isar von Westsüdwesten nach Ostnordosten fließt.

Innerhalb des Untersuchungsgebietes existieren noch die Gräben bzw. Bäche Moosgraben, Sendelbach und Einsiedelbach mit jeweils kleineren Zuflüssen. Im Zuge der Kalibrierung und der Festlegung der Randbedingungen des Grundwassermodells sowie der Auswertung der der Modellkalibrierung zugrunde liegenden Stichtagsmessung wurde festgestellt, dass diese Oberflächengewässer Vorflutfunktion besitzen.

5. Art und Umfang der geplanten Maßnahmen

5.1 Angaben zur konstruktiven Gestaltung des Tunnel- und Trogbauwerks

Der vorläufige Endpunkt der Grundwasserwanne Essenbach liegt am südlichen Ende des Bauabschnitts Ergoldsbach – Essenbach bei Bau-km 48+110. Bis zur Weiterführung des Baus der B 15 neu in Richtung Rosenheim wird die Wanne hier mit einem provisorischen Querschott abgeschlossen.

Hinsichtlich der Lage des Anfangs- und des Endpunkts des im vorliegenden Antrag behandelten Bauabschnitts, der südlich an die Grundwasserwanne Essenbach anschließt, können folgende Angaben gemacht werden:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| ▷ Anfangspunkt PFA, Trogbeginn: | Bau-km 48+110 |
| ▷ Trogende / Tunnelanfang: | Bau-km 48+156,5 |
| ▷ Querung Bahnlinie: | Bau-km 48+146,75 - 48+212,75 |
| ▷ Querung St 2074: | Bau-km 48+470 - 48+510 |
| ▷ Tunnelende / Troganfang: | Bau-km 48+517,5 |
| ▷ Trogende: | Bau-km 48+679,5 |
| ▷ Endpunkt PFA: | Bau-km 49+900 |

Die detaillierten Pläne der Baumaßnahme können den entsprechenden Planungsunterlagen des Vorhabensträgers entnommen werden. In den beiliegenden Lageplänen der Anlagen ist der hydrogeologisch relevante Umfang des Tunnel- und Trogbauwerks nach den vorliegenden Plänen eingetragen.

In der Abbildung auf der Seite 8 sind die o.g. Bau- und Streckenabschnitte des hier behandelten PFA in Form einer Übersicht mit den Bezeichnungen dargestellt, die nachfolgend weiter verwendet werden.

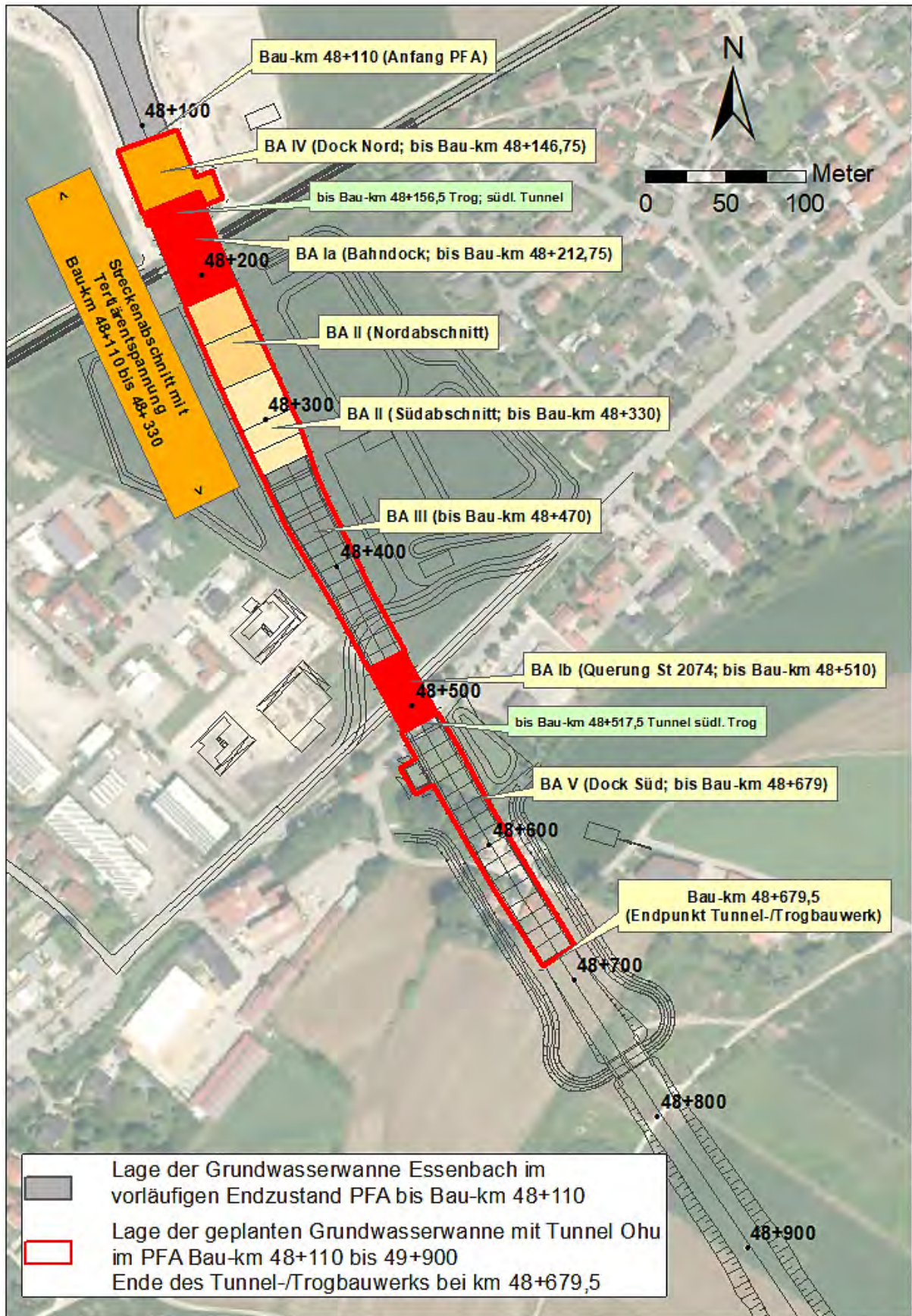


Abbildung 6: Übersicht des PFA mit Bauabschnitten und Bau-Kilometrierung

Die Herstellung des Tunnelabschnitts erfolgt im Schutz eines Baugrubenverbaus in einer Mischbauweise mit Spundwänden und Bohrpfählen, die in die grundwasserstauenden tertiären Bodenschichten einbinden. Im Schutz dieses Verbaus erfolgt der Aushub bis zur Tunnelsohle. Anschließend wird der Tunnelabschnitt hergestellt. Die Spundwände des nördlichen und südlichen Querschotts werden bauzeitlich für den Bau der räumlich anschließenden Abschnitte im Boden belassen.

Die quer zur Bahnlinie auf einer Streckenlänge von jeweils rd. 12 m verlaufenden Bohrpfähle auf der West- und der Ostseite verbleiben dauerhaft im Untergrund.

Für diesen Abschnitt können folgende Höhenkoten angegeben werden:

- ▷ Unterkante der Bodenplatte: rd. 370,8 bis 371,1 m üNN
- ▷ Höchster Grundwasserstand HHW: rd. 378,8 m üNN
- ▷ mittlerer Grundwasserstand MW: rd. 376,2 m üNN
- ▷ Oberkante der tertiären Kiese und Sande: rd. 374,3 m üNN
- ▷ Staueroberkante der tertiären Schluffe und Tone: rd. 370,2 m üNN

5.1.2 Bauabschnitt Ib - Querung St 2074 (Dock St 2074, Tunnelbauweise)

Mit dem Bauabschnitt Ib zwischen Bau-km ca. 48+469,5 und 48+509,5 wird die Unterführung der Staatsstraße St 2074 hergestellt. Die Bauausführung erfolgt analog zur Unterführung der Bahnlinie. Zunächst wird eine temporäre Umgehungsstraße St 2074 errichtet und es werden die Spartenleitungen nördlich um den Baubereich verlegt.

Die Herstellung des Tunnelabschnitts erfolgt im Schutz eines Baugrubenverbaus mit Spundwänden, die in die grundwasserstauenden tertiären Bodenschichten einbinden. Nach Fertigstellung der Tunnelbauarbeiten werden die seitlichen Spundwände wieder gezogen. Die Spundwände des nördlichen und südlichen Querschotts werden für den Bau der räumlich anschließenden Abschnitte im Boden belassen.

Für diesen Abschnitt können folgende Höhenkoten angegeben werden:

- ▷ Unterkante der Bodenplatte: rd. 372,9 bis 373,3 m üNN
- ▷ Höchster Grundwasserstand HHW: rd. 378,0 m üNN
- ▷ mittlerer Grundwasserstand MW: rd. 375,6 m üNN
- ▷ Oberkante der tertiären Kiese und Sande: rd. 373,8 m üNN
- ▷ Staueroberkante der tertiären Schluffe und Tone: rd. 367,0 m üNN

Im Bereich des BA Ib kreuzt ein Mischwasserkanal (Hauptsammler) des Marktes Essenbach den Tunnel. Dabei handelt es um einen Oberflächenwasserkanal DN 800 und einen Schmutzwasserkanal DN 200. Im Kreuzungsbereich müssen diese Kanäle mit einem Düker unter dem Tunnel durchgeführt werden. Nach derzeitigen Planungsstand befindet er sich im Block 137 zwischen km 48+499,5 und km 48+509,5. Die Unterkante des für die vorliegenden Untersuchungen maßgeblichen Oberflächenwasserkanals DN 800 wird im Bereich des Dükers voraussichtlich 2,0 m unter der Unterkante der Tunnelsohle, d.h. auf rd. 371 m ü. NN und damit im Bereich der tertiären Kiese und Sande liegen. Bei den Berechnungen der Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Grundwasserverhältnisse wurde der Düker berücksichtigt. Aufgrund der vergleichsweise geringen Abmessungen und vor allem wegen seiner

Lage nahezu parallel zur Grundwasserfließrichtung bewirkt der Düker unabhängig von seiner endgültigen Position keine signifikanten zusätzlichen Auswirkungen.

5.1.3 Bauabschnitt IV (Dock Nord, Trogbauweise)

Der BA IV zwischen Bau-km ca. 48+110 und 48+148,5 umfasst den südlichen Anschluss an den vorläufigen Endzustand der Grundwasserwanne Essenbach bis zur geplanten Bahnunterführung und wird in Trogbauweise ausgeführt.

Die Herstellung des Trogs erfolgt im Schutz eines Baugrubenverbaus mit Spundwänden, die in die grundwasserstauenden tertiären Bodenschichten einbinden. Im Schutz dieses Verbaus erfolgt der Aushub bis zur Trogsohle. Anschließend wird der Trog hergestellt. Nach Fertigstellung dieser Arbeiten werden die seitlichen Spundwände wieder gezogen. Für diesen Abschnitt können folgende Höhenkoten angegeben werden:

- ▷ Unterkante der Bodenplatte: rd. 370,7 - 370,8 m üNN
- ▷ Höchster Grundwasserstand HHW: rd. 378,7 m üNN
- ▷ mittlerer Grundwasserstand MW: rd. 376,3 m üNN
- ▷ Oberkante der tertiären Kiese und Sande: rd. 373,5 - 374,9 m üNN
- ▷ Staueroberkante der tertiären Schluffe und Tone: rd. 370,5 m üNN

Im Bereich des BA IV ist auf der östlichen Seite der Wanne nördlich der Bahnunterführung ein Havariebecken (rd. 11 x 18 m) vorgesehen. Bei der Ermittlung der Auswirkungen Bau- maßnahme auf die Grundwasserverhältnisse wurde die Unterkante des Beckens auf Höhe der Unterkante der Tunnelsohle angenommen. Diese Annahme liegt im Hinblick auf die Auswirkungen des Havariebeckens auf den Grundwasserabstrom auf der sicheren Seite

5.1.4 Bauabschnitte II und III (Tunnelbauweise)

Zwischen den BA Ia (Bahndock) und Ib (Querung der St 2074) liegen die beiden Bauabschnitte BA II und III. Der BA II liegt zwischen den Bau-km 48+209,5 und 48+339,5, der BA III schließt südlich zwischen Bau-km 48+339,5 und Bau-km 48+471,5 an.

Für den BA II ist ebenso wie für die nördlich angrenzenden Abschnitte eine Entspannung des tertiären Druckwasserspiegels erforderlich (siehe Kapitel 5.4.2). Im BA III liegen diesbezüglich günstigere Verhältnisse vor. Eine Tertiärentspannung ist hier nicht mehr erforderlich.

Für diese Bereiche können folgende Höhenkoten angegeben werden:

BA II

- ▷ Unterkante der Bodenplatte: rd. 371,1 – 371,7 m üNN
- ▷ Höchster Grundwasserstand HHW: rd. 378,6 m üNN
- ▷ mittlerer Grundwasserstand MW: rd. 376,1 m üNN
- ▷ Oberkante der tertiären Kiese und Sande: rd. 372,8 – 373,6 m üNN
- ▷ Staueroberkante der tertiären Schluffe und Tone: rd. 366,7 - 370,1 m üNN

BA III

- ▷ Unterkante der Bodenplatte: rd. 371,7 – 372,9 m üNN
- ▷ Höchster Grundwasserstand HHW: rd. 378,4 m üNN
- ▷ mittlerer Grundwasserstand MW: rd. 375,9 m üNN
- ▷ Oberkante der tertiären Kiese und Sande: rd. 373,6 - 375,0 m üNN
- ▷ Staueroberkante der tertiären Schluffe und Tone: rd. 366,7 – 368,0 m üNN

5.1.5 Bauabschnitt V (Dock Süd, Trogbauweise)

Südlich der Querung der St 2074 (BA Ib) folgt der BA V zwischen Bau-km 48+508 und 48+681,5. Bis Bau-km 48+517,5 wird dieser BA als Tunnel ausgeführt, im weiteren Verlauf in Trogbauweise.

Für diesen Bereich können folgende Höhenkoten angegeben werden:

- ▷ Unterkante der Bodenplatte: rd. 373,3 - 376,25 m üNN
- ▷ Höchster Grundwasserstand HHW: rd. 378,0 m üNN
- ▷ mittlerer Grundwasserstand MW: rd. 375,4 m üNN
- ▷ Oberkante der tertiären Kiese und Sande: rd. 373,1 m üNN
- ▷ Staueroberkante der tertiären Schluffe und Tone: rd. 367,2 m üNN

Im Bereich des BA V ist auf der westlichen Seite der Wanne südlich der Unterführung der St2074 ein Betriebsgebäude (rd. 12 x 20 m) vorgesehen. Bei der Ermittlung der Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Grundwasserverhältnisse wurde die Unterkante des Gebäudes auf der sicheren Seite liegend auf Höhe der Unterkante der Tunnelsohle angenommen.

5.2 Erwartete Auswirkungen der Baumaßnahmen auf die Grundwasserverhältnisse im oberen Grundwasserstockwerk

Hinsichtlich der Absperrung des Grundwassers ergeben sich folgende Situationen:

▷ Bau-km 48+146,75 - 48+212,75 (BA Ia, Unterführung Bahnlinie 5634)

Der quartäre Grundwasserstrom wird während der Bauphase vollständig abgesperrt. Senkrecht zur Grundwasserfließrichtung hat das Strömungshindernis eine Länge von rd. 75 m. Eine analytische Berechnung ergibt einen oberstromigen Aufstau und eine korrespondierende unterstromige Grundwasserabsenkung unmittelbar an der Spundwand von bis zu 6 cm.

Die einzelnen Bauphasen dieses Bauabschnitts (Erstellen Bahnblock, Einschieben in die Endlage, Erstellen der nördlichen und südlichen Blöcke) werden aufgrund der geringen Auswirkungen nachfolgend nicht differenziert betrachtet.

Nach dem Ziehen der Spundwände liegen nur noch der Tunnelabschnitt selbst sowie die auf einer Länge von rd. 12 m im unmittelbaren Bahnbereich verbleibenden Bohrpfahlwände als dauerhaftes Hindernis im Grundwasserstrom. Zwischen der Bauwerksunterkante (Tunnel) und dem Grundwasserstauer (tertiäre Tone und Schluffe) verbleibt eine wasserdurchlässige tertiäre Sand-/Kiesschicht mit einer Mächtigkeit von rd. 0,6 m bis 1,0 m. In dieser Schicht erfolgt eine Unterströmung des Bauwerks, so dass die Auswir-

kungen auf die Grundwasserverhältnisse während der Herstellung der nördlich und südlich angrenzenden Abschnitte verringert werden können.

Die im Untergrund verbleibenden Bohrpfahlabchnitte können nicht unterströmt werden. Aufgrund ihrer geringen Länge quer zur Grundwasserfließrichtung hat dies hydraulisch keine messbaren Auswirkungen. Rechnerisch ergibt sich ein maximaler Aufstau unmittelbar vor der Bohrpfahlwand von rd. 1 cm.

Die Auswirkungen im Endzustand werden für das gesamte Bauwerk betrachtet (siehe Kapitel 5.3.3 und 5.3.4).

▷ **Bau-km 48+467,5 - 48+511,25 (BA Ib Unterführung der St 2074)**

Der quartäre Grundwasserstrom wird während der Bauphase vollständig abgesperrt. Senkrecht zur Grundwasserfließrichtung hat das Strömungshindernis eine Länge von rd. 50 m. Eine analytische Berechnung ergibt einen oberstromigen Aufstau und eine korrespondierende unterstromige Grundwasserabsenkung unmittelbar an der Spundwand von bis zu 4 cm.

Analog zum Bauabschnitt der Unterführung der Bahnlinie 5634 (BA Ia) liegt nach dem Ziehen der Spundwände nur noch der Tunnelabschnitt selbst als dauerhaftes Hindernis im Grundwasserstrom. Zwischen der Bauwerksunterkante und dem Grundwasserstauer (tertiäre Tone und Schluffe) verbleibt eine wasserdurchlässige tertiäre Sand-/Kiesschicht mit einer Mächtigkeit von mehr als 6 m. In dieser Schicht erfolgt eine Unterströmung des Bauwerks, so dass die Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse während der Herstellung der südlich und nördlich angrenzenden Abschnitte verringert werden können.

Die Auswirkungen im Endzustand werden für das gesamte Bauwerk betrachtet (siehe Kapitel 5.3.3 und 5.3.4).

▷ **Bau-km 48+110 - 48+679,5 (Gesamtbereich mit Unterströmungslücken an der bereits fertiggestellten Unterführung der St2074 sowie für den mittels Spundwandverbau hergestellten Teilabschnitt der Unterführung der Bahnlinie)**

Nach Fertigstellung der Unterführungen der Bahnlinie 5634 und der St 2074 werden die seitlichen Spundwände dieser Bauabschnitte gezogen und die restlichen drei Streckenabschnitte jeweils vollständig eingespundet.

Dadurch ergeben sich drei gleichzeitig umspundete Abschnitte:

- (1) Bau-km 48+110 - 48+150 (BA IV, Dock Nord, Trog im südlichen Anschluss an die Grundwasserwanne Essenbach)
- (2) Bau-km 48+209,5 - 48+471,5 (BA II+III, Tunnelabschnitt zwischen den Unterführungen)
- (3) Bau-km 48+508 - 48+681,5 (BA V, Tunnel und auftauchender Trog)

Der quartäre Grundwasserstrom wird während der Bauphase in diesen Abschnitten vollständig abgesperrt. Der behandelte Streckenabschnitt des Bauwerks verläuft auf einer Länge von rd. 570 m in einem Winkel von rd. 45° schräg zur Grundwasserfließrichtung. Senkrecht zur Grundwasserfließrichtung ergibt sich daraus eine Länge von rd. 500 m. Ohne Berücksichtigung der Durchströmungslücken in den fertiggestellten Unterführungen der St 2074 und der Bahnlinie 5634 (mit Einschränkung der Bohrpfahlstrecken) ergibt eine abschätzende analytische Berechnung einen oberstromigen Aufstau und eine korrespondierende unterstromige Grundwasserabsenkung von bis zu rd. 0,5 m.

Nach Fertigstellung der Baumaßnahme werden die Spundwände wieder gezogen.

Die Bauwerksunterkante bindet zwar weitestgehend in die tertiären Kiese und Sande ein, jedoch nicht in den liegenden Stauer (tertiäre Tone und Schluffe).

In der tertiären Sand-/Kiesschicht erfolgt im Endzustand eine Unterströmung des Bauwerks. Auch wenn diese Unterströmung aufgrund der geringeren Wasserdurchlässigkeit dieser Bodenschicht weniger ausgeprägt ist als in den quartären Kiesen, ist zu erwarten, dass die dauerhafte Beeinträchtigung der Grundwasserverhältnisse selbst ohne Grundwasserüberleitungen vergleichsweise gering ist.

5.3 Maßnahmen zur Minimierung der Grundwasserbeeinträchtigungen

5.3.1 Vorgehensweise bei der Ermittlung der Beeinträchtigungen und der Bemessung von Maßnahmen zur Minimierung

Wie vorstehend erläutert, wird es durch die Errichtung des hier behandelten Bauwerks (Trog und Tunnel) zu einer Beeinträchtigung der Grundwasserverhältnisse kommen. Die Ermittlung des vor dem Bauwerk zu erwartenden Aufstaus in Höhe und Reichweite und der entsprechenden unterstromigen Absenkung erfolgte mit dem Grundwassermodell, das bereits für die Bearbeitung der Gesamtmaßnahme aufgestellt wurde (vgl. Angaben im Kap. 2). Für die nachfolgend beschriebenen Berechnungen wurde dieses Modell hinsichtlich der geplanten Bauwerksabmessungen überprüft, bezüglich des Verlaufs der Sohlhöhen aktualisiert und an den vorliegenden Stand der Planung des Tunnel- und Trogbauwerks angepasst.

Damit nachteilige Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse sicher vermieden werden können, sind bauliche Maßnahmen zur Minimierung erforderlich. Dies soll durch den Bau und den dauerhaften Betrieb von Grundwasserüberleitungen erreicht werden. Während der Bauphase ist zusätzlich der temporäre Betrieb von Entnahme- und Versickerungsbrunnen zur Reduzierung der Auswirkungen vorgesehen.

Analog zu den Auflagen des Planfeststellungsbeschlusses für die nördlich anschließende Grundwasserwanne Essenbach wird als Zielvorgabe für das hier behandelte Tunnel- und Trogbauwerk ein maximaler Aufstau bzw. eine maximale Absenkung im Nahbereich von 0,2 m angestrebt. Somit werden für die Gesamtmaßnahme einheitliche Bemessungsvorgaben verwendet.

Entsprechend den bereits vorgelegten Berechnungen im Wasserrechtsantrag für den Bauabschnitt Grundwasserwanne Essenbach und für die Gesamtmaßnahme im Rahmen der Bearbeitung der HGU erfolgte auch bei der aktualisierten Berechnung für den hier behandelten Bauabschnitt zunächst die Ermittlung der Veränderungen der Grundwasserspiegellage, die ohne Maßnahmen zur Minimierung zu erwarten wären. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Dimensionierung von Grundwasserüberleitungen, mit denen eine hinreichende Minimierung der Auswirkungen erreicht werden soll. Die Wirkung der Überleitungen kann ebenfalls durch Berechnungen mit dem Grundwassermodell ermittelt werden. Durch eine iterative Vorgehensweise bei den Berechnungen wurde die Anzahl, Lage und Größe der Überleitungen so bestimmt, dass der o.g. Zielwert sicher erreicht wird.

Die Berechnungen wurden zunächst für den Zustand nach Fertigstellung des Gesamtbauwerks bis zum Bau-km 48+679,5 durchgeführt. Anschließend erfolgten Berechnungen für folgende drei Bauphasen. Diese *Bauphasen* entsprechen unterschiedlichen hydraulischen Zuständen während des Baufortschritts und sind nicht mit den im Kap. 5.1 beschriebenen Bauabschnitten identisch.

- ▷ Bauphase 1: Herstellung der Unterföhrung der Bahnlinie 5634 (BA Ia),
- ▷ Bauphase 2: Herstellung der Unterföhrung der St 2074 (BA Ib),
- ▷ Bauphase 3: Streckenabschnitte zwischen den o.g. Unterföhrungen, sowie nördlich und südlich anschließende Bereiche (BA II+III, BA IV und BA V).

Aufgrund der großen Entfernung beeinflussen sich die Bauphasen 1 und 2 grundwasserhydraulisch nicht gegenseitig. Sie werden daher in den Modellberechnungen und im Lageplan zusammengefasst.

Die berechneten Differenzwerte der Grundwasserstände werden jeweils zum Referenzwasserstand vor Errichtung der Grundwasserwanne Essenbach angegeben, d.h. es ist der als zulässig angesehene Restaufstau $< 0,2$ m für den vorläufigen Endzustand nach Fertigstellung der Wanne mit sämtlichen funktionsfähigen Überleitungen in den Plänen dargestellt.

5.3.2 Numerisches Grundwassermodell

Aufgrund der komplexen Untergrundverhältnisse und der Größe der Gesamtmaßnahme wurden die Auswirkungen im Endzustand für das gesamte Bauwerk unter Verwendung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells berechnet. Mit diesem Modell wurden auch Optimierungsberechnungen mit Grundwasserüberleitungen zur Minimierung der Beeinträchtigungen durchgeführt (siehe Kapitel 5.3.3 und 5.3.4).

Eine umfassende Beschreibung des Grundwassermodells für die Gesamtplanung (Grundwasserwanne Essenbach und Tunnel Ohu) ist in den Erläuterungen der HGU enthalten. Nachfolgend werden deshalb nur die wesentlichen Aspekte und Parameter des Modells für den hier behandelten Abschnitt zusammenfassend beschrieben.

5.3.2.1 Software und Modellaufbau

Für die Erstellung des numerischen Grundwassermodells wurde die Software Feflow (DHI-Wasy) in der Version 6.2 verwendet. Das Modell wurde zwischenzeitliche in die aktuelle Version 7.0 überführt.

Es wurde ein stationäres 3D-Modell mit 6 Schichten (*Layer*) und insgesamt rund 175.000 Knoten erstellt. Das Quartär wurde mit drei Schichten modelliert, so dass eine quartäre Unterströmung des in den Schichten 1 und 2 implementierten Bauwerks möglich ist (vgl. auch Darstellung in Abbildung 8.). Schicht 4 stellt den kiesigen tertiären Grundwasserleiter über dem Stauer dar, Schicht 5 gibt die bindigen oberen tertiären Einheiten wieder, Schicht 6 stellt den im Liegenden hierzu folgenden Tertiärkies dar. Die Schichtgrenzen wurden unter Verwendung aller verfügbarer Bohrprofile mit Hilfe eines Interpolationsverfahrens zugewiesen. Die Schichtgrenze Quartärkies/Tertiärkies wurden nach den Ergebnissen des Baugrundgutachtens (Büro Crystal Geotechnik vom 10.04.2013) detailliert eingebaut.

Das geplante Bauwerk wurde als ein Bereich mit sehr geringer Wasserdurchlässigkeit ($k_f = 1 \times 10^{-09}$ m/s) in den Layern 1 und 2 implementiert. Die folgende Abbildung zeigt einen schematischen Profilschnitt der Schichthöhen entlang des Trassenverlaufs.

Die Unterkante des Bauwerks wurde nach den Plänen des Vorhabensträgers angesetzt. Dabei wurde eine variable Dicke der Bodenplatte berücksichtigt, die zur Gewährleistung der Auftriebssicherheit erforderlich ist. Die Bohrpfahlwände im Bereich des Kreuzungsbauwerks B 15 neu / A92 von Bau-km 47+770 bis 48+825 wurden bis zum tertiären Stauer geführt.

Die Bauwerksunterkante im hier behandelten Streckenabschnitt ab Bau-km 48+110 wurde den Planschnitten des Büros SSF Ingenieure AG (per Mail erhalten am 02.07.2018) entnommen.

Bei den Berechnungen für die drei betrachteten Bauphasen (siehe Kapitel 5.3.1) sowie für den Endzustand wurde unterstellt, dass die Grundwasserwanne Essenbach einschließlich der hier vorgesehenen Grundwasserüberleitungen bereits fertiggestellt ist.

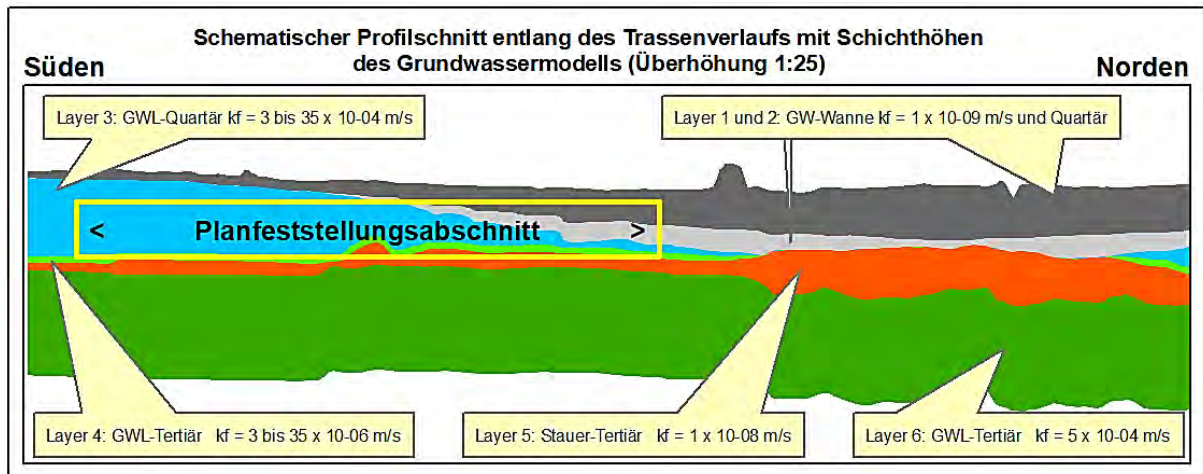


Abbildung 8: Schematischer Profilschnitt der Schichthöhen im Grundwassermodell entlang des Trassenverlaufs

5.3.2.2 Modellversionen HW und HHW

Für die Berechnung der Auswirkungen des Bauwerks auf die Grundwasserströmungsverhältnisse wurden zwei Modellversionen erstellt:

▷ **gemessener Grundwasserhochstand HW (maßgeblich für die Modellrechnungen der Bauzustände)**

Für das Modell HW wurden die Randbedingungen bei der Erstellung des Modells iterativ dahingehend angepasst, dass eine bestmögliche Darstellung des Hochwassers Anfang April 2006 erreicht wurde, welches durch die mit Datalogger ausgerüsteten Grundwassermessstellen gut erfasst wurde.

Zwischenzeitlich wurde durch die Dataloggeraufzeichnungen zwei weitere signifikante Hochwasserereignisse im Januar 2011 und im Juni 2013 erfasst. Seit Juli 2015 erfolgt die Datenerfassung im Rahmen des Messnetzes der Grundwasserbeweissicherung der Baumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach. Weitere Erläuterungen hierzu sowie zu den seither aufgetretenen Hochwasserereignissen werden im Kapitel 4.2 gegeben.

▷ **theoretisch höchstmöglicher Grundwasserstand HHW (maßgeblich für die Modellrechnung des Endzustandes)**

Für das Modell HHW wurde der theoretisch höchstmöglich erreichbare Grundwasserstand im Modell mit einer iterativen Vorgehensweise durch eine maximale Anhebung der Wasserstandshöhen in den Vorflutern bei gleichzeitiger Berücksichtigung plausibler Flurabstandsverhältnisse erzeugt. Dabei sind in Bereichen mit bindigen Deckschichten auch Potenzialhöhen über der Geländeoberfläche möglich. An den Grundwassermessstellen der Beweissicherung (vgl. Kap. 7.2) beträgt die Differenz zwischen dem berechneten HHW und dem o.g. HW im Mittel rund 1,3 m.

5.3.3 Aufstau und Absenkung im Endzustand ohne Minimierungsmaßnahmen

In den Lageplänen der Anlage 02 sind die Ergebnisse folgender Modellrechnungen dargestellt:

- a) Auswirkungen der Baumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach im vorläufigen Endzustand bis Bau-km 48+110 mit wirksamen Grundwasserüberleitungen zur Minimierung des Aufstaus und der Absenkung. Dargestellt sind die Grundwassergleichen im Ur-Zustand ohne Bauwerk und im vorläufigen Endzustand sowie die Differenzhöhen.
- b) Auswirkungen der Baumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach inkl. Tunnel- und Trogbauwerk im Endzustand mit wirksamen Grundwasserüberleitungen bis Bau-km 48+110 und ohne Überleitungen im hier betrachteten Abschnitt zwischen Bau-km 48+110 und 48+679,5. Dargestellt sind die Grundwassergleichen im Ur-Zustand ohne Bauwerk und im Endzustand sowie die Differenzhöhen.
- c) Auswirkungen der Baumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach inkl. Tunnel- und Trogbauwerk im Endzustand mit wirksamen Grundwasserüberleitungen im gesamten Bauabschnitt. Dargestellt sind die Grundwassergleichen im Ur-Zustand ohne Bauwerk und im Endzustand sowie die Differenzhöhen.

In der Modellrechnung b) ist erkennbar, dass sich nach der Herstellung des an die Grundwasserwanne Essenbach anschließenden *Tunnel- und Trogbauwerks* ein maximaler Grundwasseraufstau unmittelbar vor dem Bauwerk (und eine korrespondierende Absenkung hinter dem Bauwerk) von bis zu rd. 0,3 m einstellen würde, wenn auf Maßnahmen zur Minimierung der Auswirkungen verzichtet würde. Die Reichweite der Isolinie des Aufstaus $> 0,2$ m liegt in einer Entfernung von rd. 65 m zum Bauwerk. Die Isolinie des Aufstaus $> 0,1$ m liegt in einer Entfernung von rd. 350 m.

5.3.4 Art, Umfang und Wirkung von Minimierungsmaßnahmen im Endzustand

Um die berechneten Auswirkungen des Aufstaus vor und der Absenkung hinter dem Bauwerk zu minimieren, ist der Einbau von Grundwasserüberleitungen vorgesehen.

Eine Optimierung der Lage und Anzahl der erforderlichen Überleitungen mit Hilfe des Grundwassermodells erfolgte unter Berücksichtigung der bautechnischen Vorgaben und der wasserwirtschaftlichen Zielvorgabe einer maximal zulässigen Grundwasserstandsveränderung von $\pm 0,2$ m unmittelbar vor bzw. hinter dem Bauwerk.

Im Lageplan der Anlage 02c) ist der Endzustand des gesamten Bauwerks mit Wirksamkeit aller geplanten Überleitungen dargestellt. Um die o.g. Zielvorgabe auf ganzer Länge zu erfüllen, sind im hier behandelten Planfeststellungsabschnitt zusätzlich zu den 9 Überleitungen für die Grundwasserwanne Essenbach noch zwei weitere Überleitungen erforderlich.

Die Lage der geplanten Überleitungen bei Bau-km 48+280 und Bau-km 48+400 ist vorläufig. Eine Präzisierung im Bereich einiger Meter kann nach planungstechnischen Erfordernissen noch erfolgen. Dies wird keine messbaren Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse haben.

In der folgenden Tabelle sind die mit Hilfe des Modells berechneten Überleitungsmengen für alle Überleitungen im Endzustand für einen Grundwasserstand HHW zusammengestellt.

Tabelle 1: Berechnete Überleitungsmengen der Grundwasserüberleitungen im Endzustand bei HHW

		Düker-Nr.	Überleitungsmenge		rechnerisch erforderliche Länge
			[m³/d]	[l/s]	[m]
Schwergewichts-wanne Endzustand (HHW)	PFA bis km 48+110	1 (km 47+405)	90	1,0	1,6
		2 (km 47+510)	371	4,3	6,4
		3 (km 47+550; Rampe NO)	305	3,5	5,3
		4 (km 47+705)	185	2,1	3,2
		5 (km 47+865)	210	2,4	3,6
		6 (km 47+935)	283	3,3	4,9
		7 (km 47+975; Rampe SW)	106	1,2	1,8
		8 (km 47+975; Rampe SO)	256	3,0	4,5
		9 (km 48+110)	125	1,4	2,2
	Summe	1.932	23,0		
	PFA km 48+110 bis km 49+900	10 (km 48+280)	92	1,1	1,6
	11 (km 48+400)	78	0,9	1,3	
	Summe	169	2,0		

Für den hier behandelten PFA wurde eine Überleitungsmenge von insgesamt rd. 2 l/s berechnet. Die Einzelmengen der beiden Überleitungen liegen jeweils bei rd. 1 l/s.

Die konstruktive Gestaltung der Überleitungen wird durch die Bauweise des Tunnels und Troges vorgegeben. Eine einfache technische Lösung ist die Anordnung von Längsdränagen an beiden Seiten des Bauwerks, die während der Bauphase noch innerhalb des Baugrubenverbau verlegt und mit einer Transportleitung in der Bodenplatte verbunden werden.

Für die Festlegung der Länge der Horizontalfilter ist zusätzlich die Wasserdurchlässigkeit der Kiese relevant. Sie liegt in dem Bereich des Untersuchungsgebiets, in dem die Grundwasserüberleitungen angeordnet werden müssen, bei Werten $k_f > 1 \times 10^{-3}$ m/s. Auf der sicheren Seite wird bei der Dimensionierung ein geringerer Wert $k_f = 5 \times 10^{-4}$ m/s angesetzt. Überschlägig ergibt sich damit rechnerisch eine erforderliche Mindestlänge [m] von $1,5 \times$ Überleitungsmenge [l/s]. Die vorgesehene Lage (Strecken-km) der Überleitungen sowie die rechnerisch berechnete Mindestlänge der Horizontalfilter ist ebenfalls der Tabelle oben zu entnehmen.

Aus baupraktischen und sicherheitstechnischen Gründen sollen die Horizontalfilter generell mit einer Länge von 15 m hergestellt werden.

5.3.5 Grundwasserbeeinträchtigungen und Maßnahmen zu deren Minimierung während der Bauphase

Relevante Beeinträchtigungen der Grundwasserströmungsverhältnisse können nicht nur während der Betriebsphase sondern bereits während der Herstellung des Tunnel- und Trogbauwerks auftreten.

Nach derzeitigem Kenntnisstand sollen zunächst die beiden Unterführungen der Bahnlinie 5634 (BA Ia) und der Staatsstraße 2074 (BA Ib) und anschließend der restliche Streckenabschnitt zwischen Bau-km 48+110 und Bau-km 48+679,5 hergestellt werden. Da die beiden Unterführungen aufgrund ihrer geringen Abmessungen nur sehr geringe Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse haben, wurden sie bei den Modellrechnungen abweichend vom tatsächlich geplanten Bauablauf zusammengefasst.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für den Bauzustand können den Lageplänen der Anlage 03 entnommen werden. Dargestellt sind die Grundwassergleichen im Ur-Zustand ohne

Bauwerk und im jeweils beschriebenen Bauzustand sowie die Differenzhöhen. Betrachtet wurden die Auswirkungen folgender Zustände:

- a) Die Grundwasserwanne Essenbach ist bis zum vorläufigen Endzustand bei Bau-km 48+110 fertiggestellt. Die dort vorgesehenen 9 Grundwasserüberleitungen sind funktionsfähig und in Betrieb. Zusätzlich sind die wasserundurchlässigen Baugruben für die Unterführungen der Bahnlinie und der St 2074 (BA Ia und Ib) eingerichtet.
- b) In der nachfolgenden Bauphase sind die Spundwände im Bereich der BA Ia und Ib gezogen, so dass in diesen Bereichen eine Unterströmung der fertiggestellten Tunnelabschnitte möglich ist. Diese Unterströmung ist allerdings auf die tertiären Kiese und Sande beschränkt. Die Baugruben für die restlichen Abschnitte sind vollständig mit Spundwänden verbaut, die bis in den Grundwasserstauer reichen.

Im BA Ia verbleiben im unmittelbaren Bahnbereich auf einer Länge von rd. 12 m die Bohrpfähle im Untergrund. Diese kleinräumige Einschränkung der Unterströmung zeigt keine messbaren Auswirkungen.

- c) Der dargestellte Zustand entspricht dem Zustand b). Abweichend davon werden jedoch 3 temporäre Brunnendubletten betrieben, mit denen jeweils oberstrom der Baugruben Grundwasser entnommen und unterstrom wieder versickert wird. Damit sollen die nachteilige Auswirkungen der wasserundurchlässigen Baugruben auf die Grundwasserströmungsverhältnisse minimiert werden.

Die Berechnungen für den Zustand a) zeigen, dass die geplante Bauweise keine nennenswerten Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse haben wird. Temporär wirksame Maßnahmen zur Minimierung sind in dieser Bauphase nicht erforderlich.

Im Unterschied dazu zeigen die Berechnungen für den Zustand b) einen relevanten Grundwasseraufstau vor den wasserdichten Baugruben, der unmittelbar vor dem Bauwerk Werte $> 0,4$ m erreicht. Unterstrom der Baugruben ergeben sich entsprechenden Grundwasserabsenkung. Die auf die tertiären Kiese beschränkte Unterströmung im Bereich der fertiggestellten Unterführungen der Bahnlinie 5634 und der St 2074 reicht somit nicht aus, um die Veränderung der Grundwasserspiegellage auf Werte $< \pm 0,2$ m zu beschränken.

Daher wird als zusätzliche Maßnahme vorgesehen, oberstrom der Baugrube drei Brunnen zur temporären Entnahme von Grundwasser zu betreiben. Dadurch entsteht jeweils ein Absenktrichter, durch den bei geeigneter Anordnung und Dimensionierung der Brunnen eine Begrenzung des Grundwasseraufstaus erreicht werden kann. Das geförderte Wasser wird mittels Transportleitungen zu den entsprechenden Versickerungsbrunnen geleitet, die unterstrom der Baugrube angeordnet werden. Im Versickerungsbereich ergibt sich eine Aufhöhung des Grundwasserspiegels, durch die die hier zu erwartende Absenkung ausgeglichen werden kann.

In der Modellrechnung c) ist der Betrieb von drei Brunnendubletten mit Fördermengen von 5, 4 und 3 l/s dargestellt. Durch den Betrieb dieser Brunnen können die Auswirkungen der Baugruben auf die Grundwasserströmungsverhältnisse soweit minimiert werden, dass in unmittelbarer Nähe der wasserdichten Baugruben nur noch Differenzhöhen des Aufstaus und der Absenkung von bis zu rd. 0,15 m zu erwarten sind. Die Reichweite der Isolinie $> 0,1$ m liegt bei rd. 30 m.

Eine zusammenfassende Betrachtung der Auswirkungen in den Bauabschnitten zeigt, dass die farblich hinterlegten Bereiche mit Aufstau- und Absenkungshöhen > 10 cm jeweils außerhalb bebauter Flächen liegen. Von den relativ geringen Veränderungen der Grund-

wasserströmungsverhältnisse sind somit nur landwirtschaftlich genutzte Flächen betroffen. Da die während der Bauzeit zu erwartenden Änderungen der Grundwasserspiegellage deutlich geringer sind als die natürlich vorkommenden Schwankungen des Grundwasserspiegels, sind keine relevanten Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen im Umfeld der Baustelle zu erwarten.

Während der Bauausführung sind auch keine Auswirkungen auf die Trinkwasserbrunnen Ohu zu erwarten, weil die Bereiche mit Aufstau- und Absenkungsbeträgen > 10 cm nicht bis zum Schutzgebiet der Brunnen reichen.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass die Beeinträchtigungen der Grundwasserströmungsverhältnisse gering bleiben, wenn während der Bauausführung die beschriebenen Minimierungsmaßnahmen erfolgen.

5.4 Wasserhaltungsmaßnahmen während der Bauzeit

5.4.1 Restwasserhaltung in der Baugrube

Nach Angaben des Vorhabensträgers und des Planungsbüros SSF Ingenieure AG können nach derzeitigem Planungsstand folgende Bauzeiten für die Ausführung der einzelnen Abschnitte angesetzt werden:

- ▷ BA IV (Dock Nord): 30 Wochen
- ▷ BA Ia (Dock Bahn): 40 Wochen
- ▷ BA Ib (Querung St2074): 40 Wochen
- ▷ BA II + BA III + BA V: 100 Wochen

Während der Bauphase sind in den Baugruben jeweils Restwasserhaltungen für die Entnahme folgender Wassermengen erforderlich:

- (1) Lenzwasser (Porenwasser der grundwassererfüllten Kiese, das während des Aushubs der umspundeten Baugruben gefördert werden muss),
- (2) Schlosswasser (Grundwasser, das von außen über Spundwandschlösser in die umspundeten Baugruben gelangt),
- (3) Niederschlagswasser.

Es ist vorgesehen, das anfallende Restwasser in 5 Sickerbecken entlang der Trasse zu versickern. Die geplante Lage dieser Sickerbecken ist im Lageplan der Anlage 05 dargestellt. Angaben zur Dimensionierung dieser Becken können dem Kapitel 5.4.3 entnommen werden.

Nachfolgend werden die Wassermengen zusammengestellt, die voraussichtlich im Rahmen der jeweiligen Restwasserhaltungen anfallen.

zu (1) Lenzwasser

Nach dem Einbau der in den Grundwasserstauer einbindenden Spundwände müssen die einzelnen Baugruben einmalig gelenzt werden, damit der Aushub bis zur Baugrubensohle weitgehend im trockenen erfolgen kann. Zur Berechnung der anfallenden Wassermenge wird ein zu entwässerndes Porenvolumen der Kiese von $n = 25\%$ angesetzt.

Für die Dauer der Baugrubenlenzung wird ein Zeitraum von jeweils 3 Tagen angesetzt. Damit ergeben sich Fördermengen von bis zu 22 l/s.

Tabelle 2: Lenzwassermengen während der Bauzeit

Bauabschnitt	Lenzwassermengen			
	Fläche des Bauabschnitts	mittlere Absenktiefe	Lenzwassermenge (bei n = 25 %)	Lenzrate bei angenommener Lenzzeit von 3 Tagen
	[m ²]	[m]	[m ³]	[l/s]
BA IV (Dock Nord)	1.452	5,0	1.815	7
BA Ia (Bahndock)	2.099	5,6	2.939	11
BA II + III	8.720	2,6	5.668	22
BA Ib (Dock St 2074)	1.000	5,4	1.350	5
BA V (Dock Süd)	4.157	2,0	2.079	8

zu (2) Schlosswasser

Die Baugrube wird während der Bauphase mit vertikalen Spundwänden gegen das Grundwasser abgesperrt, so dass eine Restwasserhaltung für die Ableitung geringer Wassermengen betrieben werden muss, die durch die Schlösser der Spundwände sickern können.

Für die Berechnung der Schlosswassermengen wird ein auf der sicheren Seite liegender Wert von rd. 3 l/s x 1.000 m² benetzter Spundwandfläche angesetzt. Damit ergeben sich die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Fördermengen:

Tabelle 3: Schlosswassermengen während der Bauzeit

Bauabschnitt	Schlosswassermengen			
	Spundwandlänge während der Bauphase	mittlere Benetzungshöhe (MW)	Benetzte Spundwandfläche	Schlosswassermenge (3 l/s x 1.000 m ²)
	[m]	[m]	[m ²]	[l/s]
BA IV (Dock Nord)	152	5,0	762	2
BA Ia (Bahndock)	194	5,6	1.084	3
BA II + III	584	2,6	1.517	5
BA Ib (Dock S t2074)	130	5,4	702	2
BA V (Dock Süd)	387	2,0	774	2

zu (3) Niederschlagswasser

Während der Bauphase muss das Niederschlagswasser abgeleitet werden, das in den einzelnen Baugruben anfällt.

Bei Starkniederschlagsereignissen kann das Wasser teilweise im Porenvolumen des Kiesel unter der Baugrubensohle bzw. der Bodenplatte gepuffert werden, so dass eine Auslegung der Pumpen auf relativ geringe Wassermengen ausreichend ist. Als Bemessungsereignis wird auf der sicheren Seite ein 1-jährlicher Starkniederschlag mit einer Dauer von 24 h angesetzt. Die Pumpen werden so dimensioniert, dass die dabei anfallenden Wassermengen spätestens nach 24 h aus der Baugrube abgeleitet sind.

Der nachfolgenden Ermittlung der zulaufenden Wassermengen liegt damit ein Ausgangswert von $h_N = 37,5 \text{ mm}^2$ zugrunde. Für die einzelnen Baugruben können damit folgende Fördermengen ermittelt werden:

Tabelle 4: Niederschlagswassermengen während der Bauzeit

Bauabschnitt	Niederschlagswassermenge (Starkniederschlag)		
	Fläche des Bauabschnitts	Niederschlagsmenge (h_N 24h; $n = 1$)	NS-Pumpmenge bei 24h Förderung
	[m ²]	[m ³]	[l/s]
BA IV (Dock Nord)	1.452	54	0,6
BA Ia (Bahndock)	2.099	79	0,9
BA II + III	8.720	327	3,8
BA Ib (Dock St 2074)	1.000	38	0,4
BA V (Dock Süd)	4.157	156	1,8

Für die Bemessung der erforderlichen Förderanlage ist der Niederschlagswasseranfall zusammen mit dem permanent anfallenden Schlosswasser maßgebend. Für den Fall eines Starkniederschlagsereignisses während der Baugrubenlenzung verlängert sich der Lenzvorgang bei gleichbleibender Förderrate entsprechend.

In der folgenden Tabelle sind die maximal anfallenden Wassermengen bzw. Förderraten für den Fall zusammengestellt, dass der jeweilige Baugrubenabschnitt in drei Tagen gelenzt werden soll und gleichzeitig ein Starkniederschlagsereignis auftritt. Es ergibt sich damit eine kurzfristige maximale Ableitungsmenge von rd. 30 l/s.

Tabelle 5: Gesamtableitungsraten während der Bauzeit

Bauabschnitt	maximale Gesamtableitungsraten			
	Lenzwasser (3 Tage)	Niederschlagswasser (bei h_N 24h; $n = 1$)	Schlosswasser (permanent)	Gesamtfördermenge
	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]
BA IV (Dock Nord)	7	0,6	2,3	10
BA Ia (Bahndock)	11	0,9	3,3	16
BA II + III	22	3,8	4,6	30
BA Ib (Dock St 2074)	5	0,4	2,1	8
BA V (Dock Süd)	8	1,8	2,3	12

Die zu erwartende Gesamtableitungsmenge kann mit den angegebenen Fördermengen unter Berücksichtigung der Zeiträume berechnet werden, in denen die Restwasserhaltung jeweils betrieben werden muss. Für eine mittleren Jahresniederschlagshöhe von 750 mm/a und den zu erwartenden Bauzeiten ergeben sich die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Gesamtableitungsmengen.

² Kostra-DWD 2000, Spalte 55, Zeile 86 für Essenbach

Tabelle 6: Gesamtableitungsmengen während der Bauzeit

Bau- abschnitt	Gesamtableitung				
	Bauzeit	Lenzwasser- menge	Schloss- wassermenge	Niederschlags- wassermenge	Gesamt- ableitung
	[Wochen]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
BA IV (Dock Nord)	30	1.805	41.368	625	43.798
BA Ia (Bahndock)	40	3.315	82.098	1.366	86.779
BA II + III + V	100	8.317	419.126	19.862	447.306
BA Ib (Dock St2074)	40	1.350	50.948	577	52.875
Summe		14.788	593.541	22.430	630.759

Die Förderung und Ableitung bzw. Versickerung des während der Bauzeit im Zuge der Bauwasserhaltung anfallenden Grundwassers wird im Kapitel 5.4.3 erläutert.

5.4.2 Gewährleistung der Auftriebssicherheit der Baumaßnahme – Tertiärentspannung

Wie im Kapitel 4.1 erläutert, existiert unter dem oberflächennahen, quartären Grundwasserstockwerk, welches hydraulisch mit den oberen tertiären Kiesen und Sanden in Verbindung steht, ein zweites, tertiäres Grundwasserstockwerk in den unteren tertiären Kiesen und Sanden. Diese beiden Stockwerke sind durch eine mehrere Meter mächtige bindige Schicht aus tertiären Schluffen und Tonen hydraulisch voneinander getrennt.

Das Druckpotential des gespannten, unteren Stockwerks liegt in etwa auf der Höhe des freien, quartären Grundwasserspiegels. Durch den Aushub der Baugruben in den einzelnen Docks wird die Erdauflast auf dem Stauer reduziert, so dass die Gefahr eines Sohlaufbruchs steigt, der zu einer Flutung der Baugrube mit dem gespannten, tertiären Grundwasser und zu einer dauerhaften Störung der Trennschicht zwischen den beiden Grundwasserstockwerken führen würde. Zur Vermeidung dieser Gefährdungen und der damit auch verbundenen Sicherheitsrisiken für die Bauausführung ist eine Entspannung des tertiären Grundwasserpotentials (unterhalb der tertiären Schluffe und Tone) vorgesehen. Diese Entspannung wird durch die Förderung von Grundwasser aus dem tertiären Grundwasserstockwerk erreicht.

5.4.2.1 Berechnung der erforderlichen Absenkungen

Auf der Grundlage der Sohlauftriebsnachweise des Planungsbüros SSF Ingenieure AG wurden die Absenkziele für den tertiären Druckwasserspiegel und die daraus voraussichtlich resultierenden Fördermengen vom Büro Crystal Geotechnik mittels analytischer Berechnungen ermittelt. Die nachfolgend erläuterten Berechnungen sind in der Anlage 06 beigefügt. Ein entsprechender Lageplan ist in der Anlage 05 enthalten. Die nachfolgend erläuterten Berechnungen weist darauf hin, dass die vorliegenden Berechnungen überschlägig zur Ermittlung der zu fördernden Wassermengen ausgeführt wurden. Für die Bauausführung und Umsetzung der Maßnahme ist eine differenzierte Ausführungsplanung der Grundwasserentspannungsmaßnahmen erforderlich.

Der Abschnitt, in dem eine Entspannung des Druckpotenzials im tertiären Aquifer erforderlich ist, erstreckt sich von Bau-km 48+110 bis 48+330. Somit sind die folgenden Bauabschnitte betroffen:

- ▷ BA IV (Dock Nord) von Bau-km 48+110 bis Bau-km 48+146,75
- ▷ BA Ia (Bahndock) von Bau-km 48+146,75 bis Bau-km 48+211
- ▷ BA II von Bau-km 48+212,75 bis Bau-km 48+330

Die erforderliche Entspannung des Druckniveaus im unteren Grundwasserstockwerk soll durch die Errichtung und den Betrieb von Vertikalfilterbrunnen erreicht werden. Die Lage der Brunnen ist nach den Ergebnissen der Berechnungen des Büros Crystal Geotechnik schematisch im Lageplan der Lagepläne BA IV + II (bei gleichzeitiger Bauausführung); Maßstab 1:5.000

Anlage 08 dargestellt. Je nach den konkreten Bedingungen auf der Baustelle kann sich die tatsächliche Lage gegenüber der Plandarstellung noch verschieben. Das wird jedoch keine relevanten Auswirkungen auf den Umfang der Wasserhaltung zur Tertiärentspannung haben.

Für die Berechnung der Förderraten der Tertiärentspannung ist der Durchlässigkeitsbeiwert ein maßgeblicher Faktor. Aus den Erfahrungen, die im Zuge der Erstellung der nördlich angrenzenden Grundwasserwanne Essenbach gewonnen wurden, kann ein Wert von etwa $k_f = 1,5 \times 10^{-4}$ m/s angesetzt werden³. Die durch Crystal Geotechnik durchgeführten Berechnungen erfolgten auch unter Berücksichtigung der Erfahrungen und insbesondere der Nachrechnungen von bereits ausgeführten Entspannungsmaßnahmen im ersten Bauabschnitt für die Grundwasserwanne Essenbach und liefern deshalb vergleichsweise zuverlässige Ergebnisse.

Gemäß den Angaben von Crystal Geotechnik liegen die Berechnungen hinsichtlich der zu fördernden Wassermengen auf der sicheren Seite, da jeweils vom höchstmöglichen Druckniveau in den unteren tertiären Kiesen und Sanden ausgegangen wurde. So wurde beispielsweise für das Dock Nord (Bauabschnitt BA IV) ein Druckniveau des Grundwasserspiegels von 379,00 m üNN angesetzt, wobei das Druckniveau an der Grundwassermessstelle GWM 14512-T zum Zeitpunkt der Berechnung (Anfang Dezember 2018) bei etwa 377,55 m üNN lag. Die Grundwasserstände waren Anfang Dezember 2018 allerdings vergleichsweise niedrig, was dem trockenen Sommer und Herbst geschuldet ist.

Die nächstgelegene tertiäre Grundwassermessstelle GWM003-T Messstelle liegt oberstrom des Bauwerks mit einem gegenüber dem Dock Nord um rd. 0,2 m höheren Druckniveau. An dieser Messstelle wurde seit Beginn der Messwertaufzeichnung Ende 2010 einmal der HHW von 379,04 m üNN erreicht. Der o.g. Wert von 379 m üNN liegt somit um rd. 0,16 m über dem bisher aufgetretenen HHW.

Die erforderlichen Tertiär-Entspannungsmaßnahmen werden nachfolgend erläutert und sind in der Tabelle 7 zusammengestellt. Die zu erzielenden Entspannungshöhen bzw. Absenkhöhen [m] beziehen sich auf den jeweils angesetzten Höchstwasserstand im tertiären Grundwasserleiter. Die von Crystal Geotechnik durchgeführten Berechnungen legen einen Brunnendurchmesser DN 600 zugrunde. Die benötigte Anzahl der Brunnen ist jeweils angegeben.

³ Der angegebene Wert gilt für tertiären Kiese und Sande unterhalb der Schluff- und Tonschicht, die die beiden Grundwasserstockwerke trennt.

- ▷ BA IV (Dock Nord) von Bau-km 48+110 bis Bau-km 48+146,75 (Länge: rd. 37 m):
Tertiärentspannung: 4,0 m mit 4 Brunnen
- ▷ BA Ia (Bahndock) von Bau-km 48+146,75 bis Bau-km 48+212,75 (Länge: rd. 66 m):
Tertiärentspannung 4,0 bis > 6,0 m mit 6 Brunnen
- ▷ BA II, nördlicher Abschnitt Bau-km 48+210 bis Bau-km 48+270 (Länge: rd. 60 m):
Tertiärentspannung i.M. 3,5 m mit 6 Brunnen
- ▷ BA II, südlicher Abschnitt Bau-km 48+270 bis Bau-km 48+330 (Länge: rd. 60 m):
Tertiärentspannung i.M. 2,0 m mit 4 Brunnen

Tabelle 7: Zusammenstellung der Daten zur Tertiärentspannung (Absenkung des Druckwasserspiegels)

Abschnitt	Bau-km	Grundwasserabsenkung Tertiär	Baugrube		Förder-rate	Geländeoberkante	Baugrubensohle	Grundwasserstand		
			Länge	Breite				Tertiär HHW	Tertiär MHW	Tertiär MW
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[l/s]	[m ü. NN]	[m ü. NN]	[m ü. NN]	[m ü. NN]	[m ü. NN]
BA IV Dock Nord	48+110 - 48+146,75	4,0	40,0	39,0	24,0	379,5	370,2	379,0	378,4	378,1
BA Ia Bahndock	48+146,75 - 48+175	4,0	66,0	38,0	34,0	379,5	369,3	378,8	378,2	377,9
	48+175 - 48+212,75	> 6,0								
BA II Nordabschnitt	48+212,75 - 48+240	3,5	60,0	37,0	24,0	379,5	370,2	378,6	378,2	377,9
	48+240 - 48+270	3,0								
BA II Südabschnitt	48+270 - 48+300	2,0	60,0	37,0	22,0	379,5	371,0	378,6	378,1	377,8
	48+300 - 48+315	1,5								
	48+315 - 48+330	1,0								

5.4.2.2 Allgemeine Auswirkungen im tertiären Grundwasserstockwerk

Die erforderliche Absenkung des tertiären Druckwasserspiegels in den o.g. Bauabschnitten des Tunnel- und Trogbauwerks verursacht einen radialen Absenktrichter um die jeweiligen Entspannungsbrunnen. Da die berechneten Absenkziele oberhalb der Oberkante des tertiären Grundwasserleiters liegen, liegen auch während der Druckspiegelabsenkung weiterhin gespannte Verhältnisse vor.

In gespannten Grundwasserverhältnissen erfolgt die trichterförmige Druckspiegelabsenkung unmittelbar nach Inbetriebnahme der Brunnen, da keine (langsam verlaufende) Entwässerung der Porenräume erfolgt.

Das oberflächennahe quartäre Grundwasser ist hiervon nicht betroffen. Der Zustrom des quartären Grundwassers zur Baugrube wird mittels Spundwänden unterbunden. Eine Absenkung des freien quartären Grundwasserspiegels, d.h. eine Entwässerung des Porenraums der quartären Kiese erfolgt nicht.

Eine Entleerung der Porenräume findet auch in den Kiesen und Sanden des unteren, tertiären Grundwasserstockwerk nicht statt, da keine Absenkung des Druckwasserspiegels bis unter die Unterkante der bindigen Bodenschichten erforderlich ist, die als Grundwasser-

stauer für das obere Grundwasserstockwerk wirken. Eine Setzung der oberflächennahen quartären Kiese und damit eine mögliche Gefährdung von Gebäuden ist somit ausgeschlossen.

5.4.2.3 Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung Ohu

Die Brunnen der Wasserversorgung Ohu fördern Trinkwasser aus dem tertiären Grundwasserstockwerk. Sie befinden sich in einer Entfernung von rd. 900 m südwestlich der Bauabschnitte, für die eine Tertiärentspannung erforderlich ist.

Im Mai 2016 wurde ein Probetrieb der tertiären Grundwasserabsenkung im BA1 der Grundwasserwanne Essenbach durchgeführt, die nördlich des Tunnel- und Trogbauwerks gebaut wird. Aus der gemessenen Förderrate und der Absenkung wurde eine hydraulische Durchlässigkeit von $k_f = 1,58 \times 10^{-04}$ m/s ermittelt. Dieser k_f -Wert kann auch für die hier behandelten Bauabschnitte als realistisch angesehen werden und wurde deshalb dem tertiären Grundwasserleiter für die Berechnungen mit dem Grundwassermodell zugewiesen.

Zur Ermittlung möglicher schädlicher Auswirkungen der Tertiärentspannung auf die Trinkwasserversorgung Ohu wurden Berechnungen mit dem numerischen Grundwasserströmungsmodell für die o.g. größten Druckspiegelabsenkungen im BA IV und im BA Ia durchgeführt. Gemäß den im vorstehenden Kapitel erläuterten Berechnungen sind in diesen Bauabschnitten mit 4 m (BA IV, Dock Nord) und mit 6 m (BA Ia, Bahndock) die größten Absenkungsbeträge zur Tertiärentspannung erforderlich. Im weiteren Verlauf der Trasse nach Südosten ergeben sich im Bauabschnitt II mit auftauchender Bauwerkssohle und gleichzeitig abfallendem Druckspiegel des tertiären Grundwassers entsprechend abnehmende Absenkungsbeträge von 3,5 m bis 1,0 m. Die Auswirkungen nehmen damit mit fortlaufendem Baufortschritt nach Süden hin ab.

Es bestehen Überlegungen hinsichtlich einer gleichzeitigen Ausführung der Bauabschnitte IV und II (nach Fertigstellung der beiden Unterführungen der Bahn- und der St2074 in den BA Ia und Ib). Im Bereich des Bauabschnitts II sind die in der Tabelle 7 aufgeführten Tertiärentspannungen zwischen 3,5 m am Nordende und 1,0 m am Südende erforderlich. Diese erforderlichen Absenkungen liegen weitgehend im Absenktrichter der 4 m – Absenkung des BA IV.

In den Lageplänen der Anlage 07a, 07b und 07c sind die Modellrechnungen für die Bauabschnitte BA IV und Ia sowie für den Fall einer gleichzeitigen Bauausführung der Bauabschnitte BA IV und BA II dargestellt. Jeweils drei Plandarstellungen zeigen die Potenzialdifferenzen des tertiären Druckwasserspiegels für folgende Situationen:

(1) Differenz 1: Betrieb der Wasserversorgung Ohu <> Ruhepotenzial Tertiär ohne Trinkwasserentnahme

Die Darstellung zeigt die allein durch die Trinkwasserentnahme verursachte Absenkung des Druckwasserspiegels im tertiären Grundwasserstockwerk.

(2) Differenz 2: Betrieb der WV Ohu und gleichzeitige Tertiärentspannung im Bauabschnitt <> Ruhepotenzial Tertiär ohne Trinkwasserentnahme und ohne Tertiärentspannung

Die Darstellung zeigt die Absenkung des Druckwasserspiegels im tertiären Grundwasserstockwerk, die durch die Trinkwasserentnahme und die

gleichzeitig stattfindende Tertiärentspannung für die Tunnelbauahme verursacht wird (Gesamtentspannung).

(3) Differenz 3: Betrieb der WV Ohu und gleichzeitige Tertiärentspannung im Bauabschnitt <> Betriebspotenzial bei Trinkwasserentnahme aber ohne Tertiärentspannung

Die Darstellung zeigt den durch die Tertiärentspannung der Baumaßnahme verursachten Anteil der Absenkung des Druckwasserspiegels, der zusätzlich zur Absenkung durch die Trinkwasserentnahme entsteht.

zu (1)

Der Brunnenbetrieb der WV Ohu erfolgt alternierend in ca. 2-stündigen Ruhe- und Betriebsphasen. Diese Bewirtschaftung spiegelt sich in den entsprechend alternierenden Druckspiegelschwankungen wider. Wie erwähnt, breiten sich diese Druckspiegelschwankungen bei gespannten Verhältnissen im Grundwasserleiter unmittelbar ohne nennenswerte Verzögerungen aus. Die Schwankungsbreite, d.h. die Amplitude der Schwankungen nimmt mit zunehmender Entfernung zum Brunnen ab. Im Diagramm der Abbildung 8 sind beispielhaft die Ganglinien von zwei tertiären Grundwassermessstellen dargestellt. Die Messstelle GWM007 ist rd. 260 m von den Brunnen entfernt und zeigt mit einer Amplitude von rd. 1,8 m eine entsprechend größere Schwankung als die Messstelle GWM002 mit einer Amplitude von rd. 0,2 bis 0,4 m in einer Entfernung von rd. 530 m zu den Brunnen.

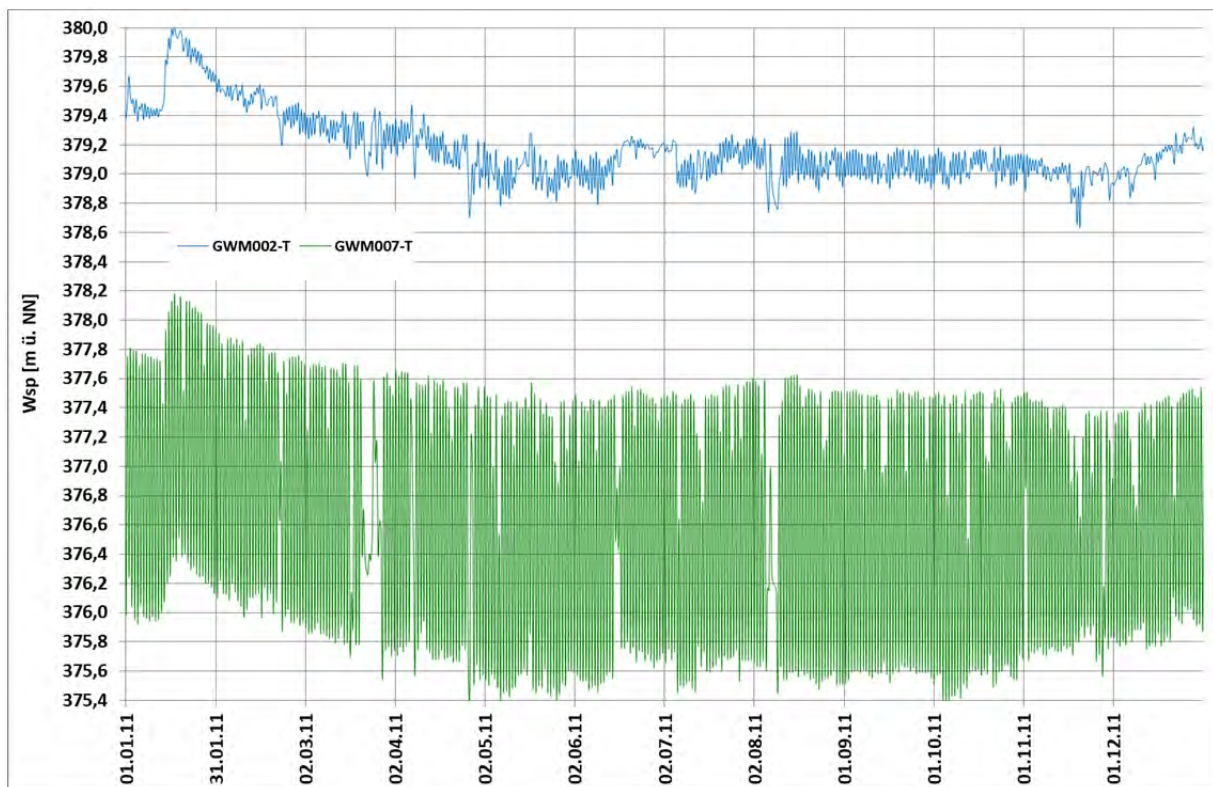


Abbildung 8: Grundwasserstandsschwankungen (tertiärer Druckspiegel) aufgrund des zyklischen Brunnenbetriebs der WV Ohu an den Messstellen GWM 002-T (blau) und GWM 007-T (grün) (beispielhaft im Zeitraum vor Beginn der Baumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach)

Für den tertiären Grundwasserleiter liegen nur eingeschränkt Kenntnisse hinsichtlich Grundwassermächtigkeit und hydraulischer Durchlässigkeit vor. Um belastbare Aussagen hinsichtlich der Reichweiten der Tertiärentspannung zu erhalten, wurde das Modell daher „invers“

kalibriert, d.h. es wurde an den Brunnen der WV Ohu für den Betriebszustand eine Potenzialhöhe angesetzt, die an den tertiären Grundwassermessstellen GWM002 und GWM007 die tatsächlich gemessenen Absenkungen (s.o.) erzeugt. Die numerischen Modellrechnungen erfolgten dabei stationär, d.h. der Brunnenbetrieb wurde als konstant angesetzt. Es ergeben sich daraus mittlere konstante Förderraten der Brunnen von rd. 20 l/s.

Der mit dem Modell berechnete Absenktrichter, welcher durch den Betrieb der Wasserversorgung verursacht wird, ist in den Lageplänen der Anlage 07 jeweils in der linken Abbildung (a) dargestellt. Im Bereich der Messstellen GWM002 und GWM007 stehen die Absenkungen in guter Übereinstimmung mit den gemessenen Druckspiegelschwankungen.

zu (2)

In den Lageplänen der Anlage 07 ist jeweils in der mittleren Abbildung (b) die Situation bei gleichzeitigem Betrieb der Wasserversorgung Ohu und Betrieb der Tertiärentspannung im Zuge der Baumaßnahme dargestellt.

▷ BA IV

Aufgrund der Tertiärentspannung um 4 m im Bauabschnitt IV (Dock Nord) entsteht mit der durch die Trinkwasserentnahme verursachten Absenkung ein „Doppel-Absenkungstrichter“, wobei die Absenkungsbereiche < 1,5 m miteinander verbunden sind.

Für eine Tertiärentspannung um 4 m im BA IV wird durch das Modell eine erforderliche Förderrate von rd. 20 l/s berechnet. Dieser Wert ist etwas geringer, als die durch das Büro Crystal Geotechnik mit rd. 24 l/s berechnete Förderrate. Die Differenz ist plausibel, da das Modell eine durch die Brunnen der WV Ohu bewirkte Vorabsenkung von knapp 0,5 m berücksichtigt (siehe Absenkungsreichweite in der Plandarstellung (a) Anlage 7).

▷ BA Ia

Aufgrund der Tertiärentspannung um 6 m im Bauabschnitt Ia (Bahndock) entsteht mit der durch die Trinkwasserentnahme verursachten Absenkung ein „Doppel-Absenkungstrichter“, wobei die Absenkungsbereiche < 2,0 m miteinander verbunden sind.

Für eine Tertiärentspannung um 6 m im BA I wird durch das Modell eine erforderliche Förderrate von rd. 25 l/s berechnet. Aus den o.g. Gründen liegt die analytisch berechnete Förderrate mit rd. 34 l/s auch hier über dem mit dem Modell berechneten Wert.

▷ BA IV + II

Die Auswirkungen bei gleichzeitiger Bauausführung der BA IV und II unterscheiden sich nur geringfügig von den Verhältnissen der separaten Bauausführung BA IV (s.o.). Die Modellrechnung ergibt eine Gesamtförderrate von rd. 23 l/s. Davon entfallen rd. 17 l/s auf den BA IV und rd. 6 l/s auf den nördlichen Bereich des BA II (Absenkungsziel 3,5 m bis 3,0 m). Der südliche Bereich des BA II mit Absenkzielen zwischen 2,0 m und 1,0 m liegt im Absenktrichter des nördlichen Abschnitts und erfordert daher keine zusätzliche Absenkung.

zu (3)

In den jeweiligen rechten Plandarstellungen (c) der Anlagen 7a und 7b sind die Druckdifferenzhöhen dargestellt, welche ausschließlich auf die Tertiärentspannung während der Bauabschnitte IV bzw. Ia zurückzuführen sind. Als Referenzwasserspiegel wird die durch den Brunnenbetrieb der WV Ohu abgesenkte Druckhöhe verwendet.

▷ **BA IV**

Bei der Tertiärentspannung um 4 m im BA IV erstreckt sich die Reichweite der Restabsenkung von 0,5 m bis fast an die Grenze der Schutzzone II der WV Ohu und damit bis auf eine Entfernung von rd. 280 m bis zum nördlichsten Brunnen.

▷ **BA Ia**

Die Tertiärentspannung von 6 m im BA Ia verursacht eine Reichweite der Restabsenkung von 0,5 m bis in die Schutzzone II hinein und damit bis auf eine Entfernung von rd. 150 m zum nördlichsten Brunnen.

▷ **BA IV + II**

▷ Bei der Tertiärentspannung um 4 m im BA IV und gleichzeitiger Tertiärentspannung im Bauabschnitt II zwischen 3,5 m im nördlichen Abschnitt und nach Süden bis 1,0 m hin abnehmend erstreckt sich die Reichweite der Restabsenkung von 0,5 m bis an die Grenze der Schutzzone II der WV Ohu und damit bis auf eine Entfernung von rd. 240 m bis zum nördlichsten Brunnen.

Im Diagramm der Abbildung 9 sind die Grundwasserstandsganglinien der tertiären Grundwassermessstellen GWM 002-T, -007-T und -001-T dargestellt. Die den Brunnen Ohu nächstgelegene Messstelle GWM 007-T zeigt naturgemäß die größte Beeinflussung durch den Brunnenbetrieb, erkennbar an den durch den zyklischen Betrieb der Brunnen verursachten Schwankungen. Die weit entfernte Messstelle GWM 001-T zeigt keine Beeinflussung. Aus den Daten dieser Messstelle ist ein natürlicher Schwankungsbereich des tertiären Grundwasserstandes im Erfassungszeitraum seit Anfang 2011 von rd. 1 m abzulesen. Die durch die Tertiärentspannung in den Bauabschnitten BA IV und BA Ia verursachte Absenkung des Druckwasserspiegels an den Brunnen der Wasserversorgung Ohu von deutlich weniger als 0,5 m liegt somit unterhalb des natürlichen Schwankungsbereiches des Tertiärwasserstandes von rd. 1 m (Referenzzeitraum Anfang 2011 bis Ende 2018).

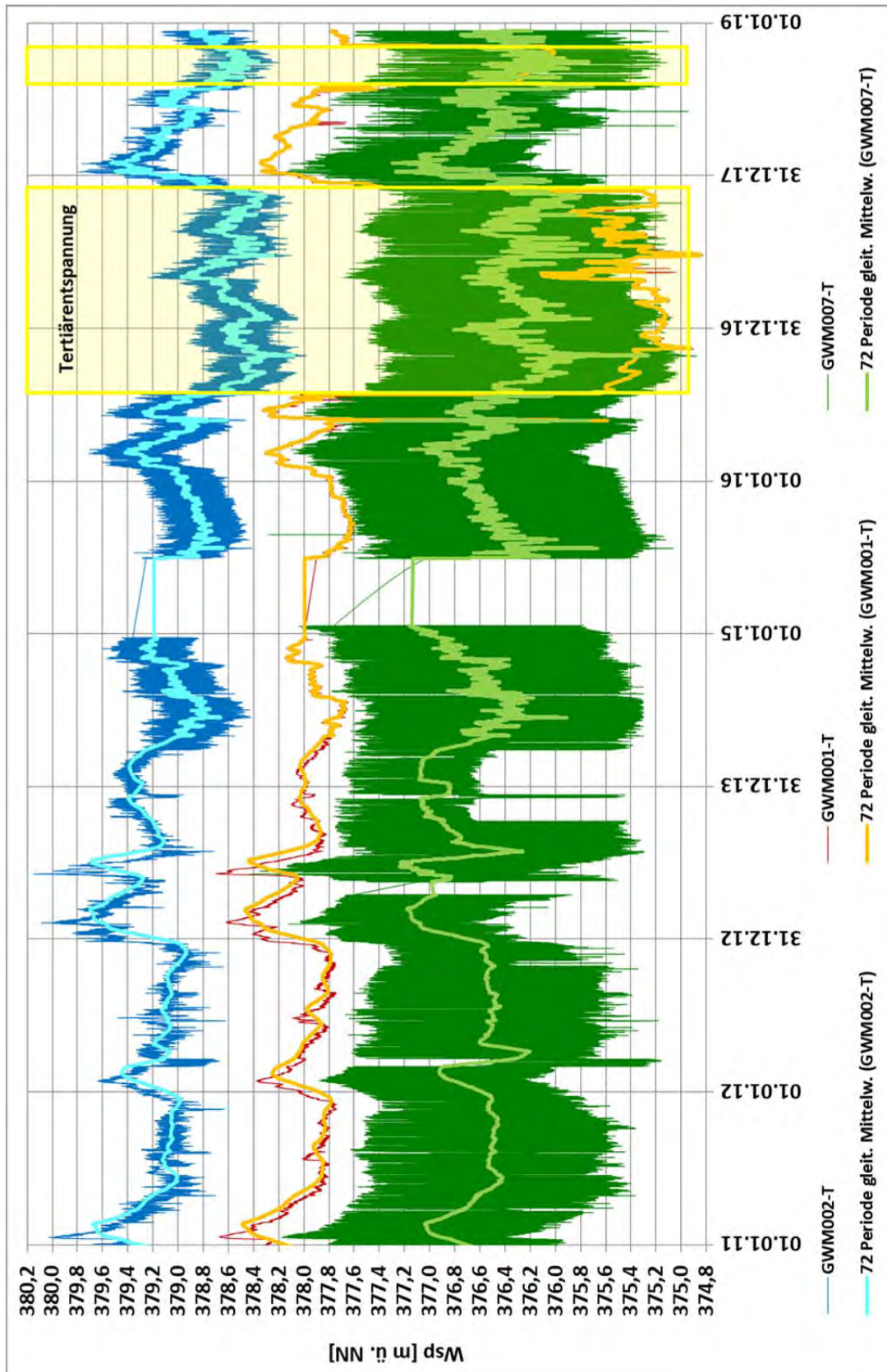


Abbildung 9: Grundwasserstandsganglinien tertiärer Messstellen; Stundenwerte und gleitende Mittelwerte (72h)

Im Diagramm der Abbildung 10 sind die Grundwasserstandsganglinien der Quartär/Tertiär-Messstellenpaare P902-Q/GWM002-T sowie GWM15519/ GWM007-T seit Beginn der

Messwertaufzeichnung im Juli 2015 dargestellt. Für die Zeiträume Juli 2016 bis Dezember 2017 und August bis Oktober 2018 sind die im Zuge der nördlich gelegenen Bauabschnitte der Grundwasserwanne Essenbach durchgeführten Tertiärentensionen zu erkennen.

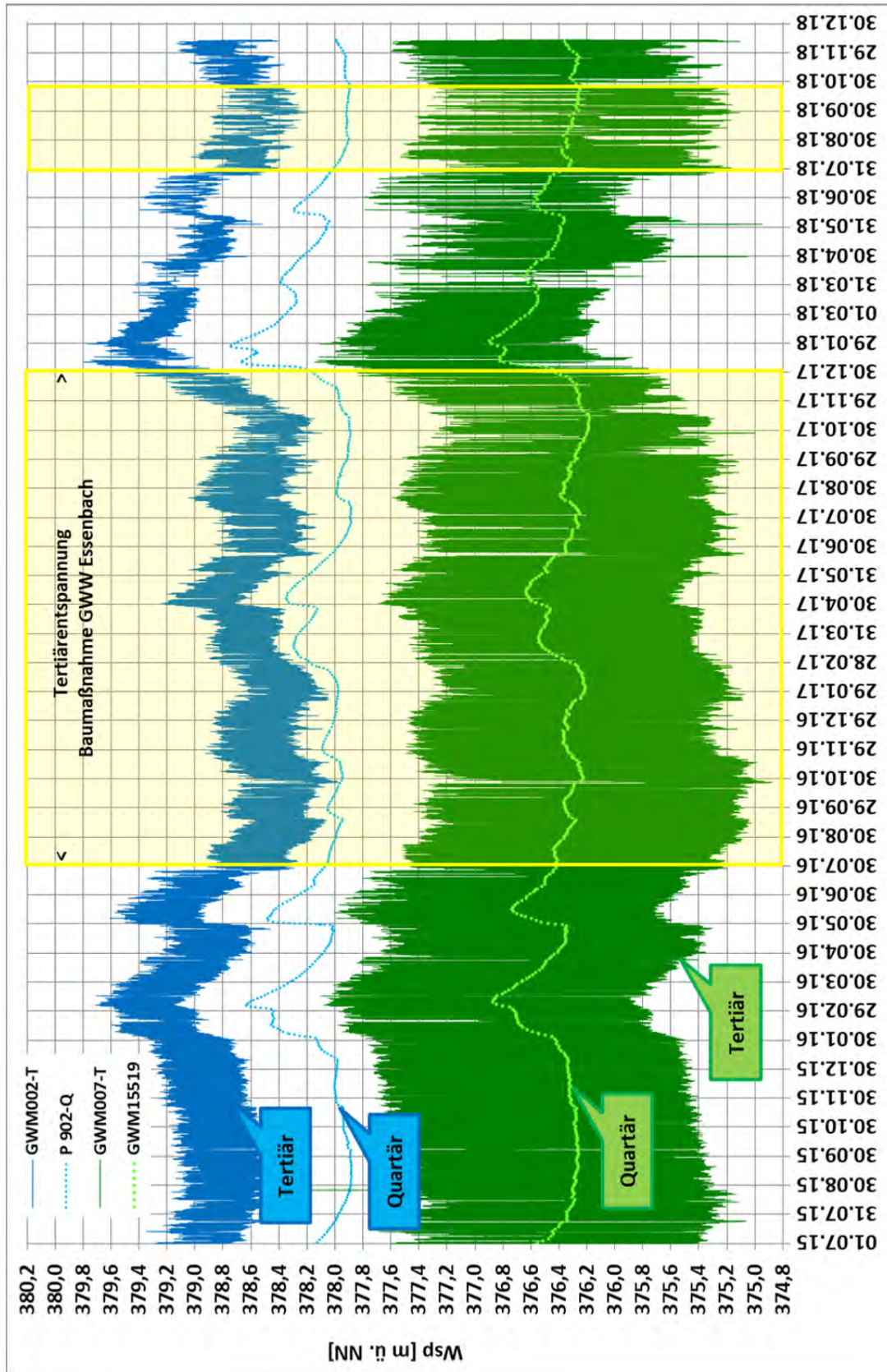


Abbildung 10: Grundwasserstandsganglinien von Messstellenpaaren Quartär/Tertiär

Im unbeeinflussten Zustand liegt bei GWM002-T der tertiäre Druckwasserspiegel je nach Betriebszustand der Brunnen rd. 0,6 m bis 1,2 m über dem quartären Grundwasserstand bei P902-Q. Da die beiden Messstellen nicht unmittelbar nebeneinander liegen, ist für den gemessenen Quartärwasserstand noch eine Korrektur von – 0,2 m anzubringen (s.u. Auszug aus Planfeststellungsbeschluss zur Grundwasserwanne Essenbach), d.h. der tertiäre Druckwasserspiegel liegt zwischen 0,8 m und 1,4 m über dem quartären Grundwasserstand.

Bei GWM007-T sinkt das Tertiärpotenzial während der Förderzeiten der Brunnen auch im unbeeinflussten Zustand temporär unter den Quartärwasserstand an der Messstelle GWM15519-Q. Im Ruhezustand (ohne Betrieb der Brunnen der WV) liegt der Quartärwasserstand hier rd. 1,2 m unterhalb des tertiären Druckpotenzials.

Unter der Annahme eines homogenen k_f -Wertes wird für den Bauabschnitt Ia (Bahndock) an der Grundwassermessstelle GWM007-T eine durch die Bauwasserhaltung verursachte Absenkung des tertiären Druckspiegels von rd. 0,6 m berechnet. An der Messstelle GWM 002-T wird eine Absenkung von rd. 0,7 m prognostiziert (siehe Lageplan der Anlage 07b).

Damit liegt das tertiäre Druckpotenzial bei GWM002-T je nach Betriebszustand der Förderbrunnen der WV Ohu noch zwischen rd. 0,1 m und 0,7 m über dem quartären Grundwasserspiegel. Bei GWM007-T verbleibt im Ruhezustand der Brunnen Ohu noch ein tertiärer Überdruck von rd. 0,6 m. Im Betriebszustand der Brunnen liegt der tertiäre Druckspiegel unter dem Quartärwasserstand. Dies bedeutet, dass im Nahbereich der Brunnen je nach Betriebszustand alternierend eine nach oben bzw. nach unten gerichtete Potentialdifferenz zwischen quartärem und tertiärem Stockwerk besteht. Quartärwasser wird somit phasenweise in den unterlagernden Stauer eindringen und phasenweise durch aufsteigendes Tertiärwasser wieder zurückgedrängt werden. Ein Zufluss von ggfs. belastetem Quartärwasser in den durch die Wasserversorgung erschlossenen tertiären Grundwasserleiter kann somit nicht erfolgen.

Für die vorlaufende Baumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach wurde im Punkt 3.3 Wasserwirtschaft des 2. Änderungsbeschlusses zum Planfeststellungsbeschluss vom 16.12.2011 (vom 21.07.2015) folgende Auflage erlassen:

Es ist zu gewährleisten, dass der tertiäre Druckspiegel [...] am Ostrand des Wasserschutzgebietes nicht unter den Wasserspiegel des oberen Grundwasserleiters sinkt.

Weiterhin wurde die Einleitung von Maßnahmen zum Schutz der Trinkwasserversorgung vereinbart, sobald im Bereich des Messstellenpaares GWM 902-Q und GWM 002-T eine Potentialdifferenz von kleiner als 10 cm (= Warnwert) auftritt. Da die Messstellen nicht unmittelbar nebeneinander liegen, ist bei GWM 902-Q eine Korrektur von -0,2 m zu berücksichtigen, d.h. der Tertiär-Druckspiegel bei GWM 002-T darf nicht mehr als 0,1 m unterhalb des gemessenen Wasserspiegels bei GWM 902-Q liegen.

Wie oben erläutert, wird bei einer unbeeinflussten Druckdifferenz [T-Q] von 0,8 m bis 1,4 m (je nach Betriebszustand der Brunnen der Wasserversorgung Ohu) und einer prognostizierten zusätzlichen Absenkung durch die Tertiär-Entspannungsmaßnahmen von 0,7 m eine Druckdifferenz [T-Q] von 0,1 m bis 0,7 m eingehalten.

Die entsprechenden Auflagen im Bescheid für die Grundwasserwanne Essenbach werden somit auch für den hier behandelten Planfeststellungsabschnitt des Tunnel- und Trogbauwerks erfüllt.

Im Bauabschnitt IV (Dock Nord) sind die o.g. Absenkungen bzw. Auswirkungen um jeweils rd. 0,2 m geringer als im BA Ia (Bahndock) und werden daher nicht detailliert beschrieben.

5.4.3 Ableitung /Versickerung des Förderwassers

Während der Bauphase ist vorgesehen, das Förderwasser der Tertiärentspannung, des Lenzens der Baugruben, des anfallenden Schlosswassers sowie des Niederschlagswassers in 5 Versickerungsbecken entlang der geplanten Trasse einzuleiten. Die Lage dieser Becken ist schematisch im Lageplan der Anlage 05 dargestellt. Die genaue Lage wird im Zuge der Bauausführung entsprechend der kleinräumigen Gegebenheiten im Baustellenbereich festgelegt.

Die Versickerungsbecken können nach den Vorgaben im DWA Arbeitsblatt A 138 bemessen und gestaltet werden. Danach soll ein Abstand der Sohle der Versickerungsanlage zum mittleren höchsten Grundwasser (MHW) von einem Meter nicht unterschritten werden, um eine hinreichende Passage durch die ungesättigte Bodenzone vor dem Eintritt in das Grundwasser zu gewährleisten. Im Bereich der geplanten Versickerungsbecken beträgt der Flurabstand des quartären Grundwassers (bei HW) rd. 3,5 bis 4 m. Die entsprechende Vorgabe des Arbeitsblatts wird somit sicher eingehalten.

Für den Nachweis der ausreichenden Versickerungsleistung wird i.d.R. die Hälfte der gesättigten hydraulischen Durchlässigkeit $k_f = 5 \times 10^{-03} \text{ m/s} / 2 = k_u = 2,5 \times 10^{-03} \text{ m/s}$ angesetzt. Zur Vermeidung einer Unterdimensionierung erfolgt die Bemessung mit einem Wert von $k_f = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$.

Bei geringen Einstauhöhen kann die Leistung von Versickerungsanlagen gemäß DWA-A 138 wie folgt ermittelt werden:

$$\text{Versickerungsrate } (Q_s) = \frac{k_f}{2} \times A_s$$

mit: k_f = Durchlässigkeitsbeiwert ($1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$)

A_s = Versickerungsfläche

In der folgenden Tabelle sind die Daten zur Bemessung der Versickerungsbecken differenziert für die einzelnen Bauabschnitte zusammengestellt. Die Bezeichnung der Becken entspricht der Beschriftung im Lageplan der Anlage 05. Die Beckengröße entspricht dabei der berechneten Versickerungsfläche, d.h. die Versickerung über die Böschungsflanken wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

Tabelle 8: Zusammenstellung der Bemessung der Versickerungsbecken

Bauabschnitt	Tertiärentspannung	Schlosswassermengen	Lenzrate bei Lenzzeit von 3 Tagen	Niederschlagswasser (siehe Kap. 5.4.1 (3))	Gesamtversickerung	Versickerungsbecken Nr.	Beckengröße
[-]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[-]	[m²]
IV	24	2	7	0,6	34	SB 1	67
la	34	3	13	0,9	51	SB 2	102
II (Nord)	24	5	6	1,0	36	SB 2	72
II (Süd)	22	5	6	1,0	34	SB 3	68
III	0	5	12	2,1	19	SB 4	38
lb	0	2	5	0,4	7	SB 4	15
V	0	2	8	1,8	12	SB 5	24

Auf den zur Verfügung stehenden Flächen ist die Errichtung entsprechender Sickerbecken und die Versickerung des Förderwassers ohne Gefährdung benachbarter Bauwerke möglich.

Das zu versickernde Wasser ist aufgrund seiner Herkunft voraussichtlich weitgehend feinteilfrei. Mitgeführte Feinteile sollen gleichwohl in hinreichendem Umfang abgeschieden werden, damit die Versickerungsfähigkeit der Sohle der Sickerbecken aufrechterhalten wird und um qualitative Auswirkungen auf das Grundwasser weiter zu reduzieren. Zu diesem Zweck wird

das geförderte Wasser über Absetzcontainer (nacheinander geschaltete Container mit $B \times T = 6 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$) in die Sickerbecken eingeleitet. Diese Container werden für eine Oberflächenbeschickung von $q_a = 10 \text{ m/h}$ ausgelegt.

Für die erforderliche Oberfläche A der Container ergibt sich somit:

$$A = Q [\text{m}^3/\text{s}] \times 3600 / q_a [\text{m/h}]$$

Die größte Versickerungsmenge ergibt sich voraussichtlich für die Wasserhaltung im BA Ia. Für die prognostizierte maximale Ableitungsmenge von 51 l/s bzw. $0,051 \text{ m}^3/\text{s}$ wird eine Oberfläche des Absetzcontainers von $18,4 \text{ m}^2$ erforderlich. Somit müsse zwei nacheinander geschaltete Container mit einer Oberfläche von insgesamt 30 m^2 vorgehalten werden. Für die Restwasserhaltung in allen alle anderen Bauabschnitten genügt jeweils ein Container.

5.5 Ableitung des Niederschlagswassers während der Betriebsphase

Während der Betriebsphase wird das im Bereich des Tunnel- und Trogbauwerks anfallende Niederschlagswasser gesammelt werden und über eine Pumpanlage mit vorgeschaltetem Havariebecken in ein Absetz- und Rückhaltebecken gefördert werden, das als offenes Erdbecken im südwestlichen Quadranten des Fernstraßenkreuzes (RRB 8) angeordnet wird. Von dort wird das Wasser über eine Druckleitung in den Mühlbach geleitet. Dieser Teil der Entwässerungsplanung wird bereits in der Planfeststellung des vorangehenden Bauabschnitts (Grundwasserwanne Essenbach) behandelt und genehmigt.

Für die Ableitung des Niederschlagswassers während der Betriebsphase ist somit keine Benutzung des Grundwassers erforderlich, so dass im Rahmen der hier vorgelegten Unterlagen zum Wasserrechtsantrag auch keine Erlaubnis dafür beantragt wird.

6. Beweissicherungsmaßnahmen

Wie die hier vorgelegten Berechnungen zeigen, können die Auswirkungen des hier behandelten Tunnel- und Trogbauwerks auf die Grundwasserströmungsverhältnisse im quartären Grundwasserstockwerk auch unter Berücksichtigung der Wirkung der nördlich anschließenden Grundwasserwanne Essenbach gering gehalten werden. Das gilt sowohl während der Bauphase als auch im dauerhaften Betrieb. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist die Herstellung und der Betrieb ausreichend dimensionierter Grundwasserüberleitungen. Während der Bauphase des restlichen Streckenabschnitts nach Herstellung der Überführungen der Bahnlinie 5634 und der St 2074 ist ein temporärer Betrieb zusätzlicher Entnahme- und Versickerungsbrunnen erforderlich.

Im Zuge der Planungen der vorlaufenden Baumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach wurde ein Netz von Grundwassermessstellen errichtet, mit dem Veränderungen der Grundwasserspiegellage festgestellt werden können, die ggf. durch die in das Grundwasser eintauchenden Bauwerke verursacht werden. Dieses Messnetz deckt den Bereich der Gesamtbaumaßnahme ab, so dass auch die Veränderungen erfasst werden, die durch das Tunnel- und Trogbauwerk verursacht werden. Das Messnetz der quartären Grundwassermessstellen ist im Lageplan der Anlage 04 dargestellt.

Die Messwertaufzeichnung aller Messstellen mittels Datalogger erfolgt seit Juli 2015 (Gangliniendiagramm in der Abbildung 4). Im Rahmen der Beweissicherung der Baumaßnahme Grundwasserwanne Essenbach werden seit April 2016 monatlich Grundwassergleichenpläne zum Stichtag des 20. eines jeden Monats erstellt und hinsichtlich möglicher Auswirkungen

der laufenden Baumaßnahme auf die Grundwasserverhältnisse ausgewertet. Diese Vorgehensweise soll für den hier behandelten Planfeststellungsabschnitt beibehalten werden.

Um zu prüfen, ob die berechneten und diesem Antrag zugrunde gelegten Zustände tatsächlich erreicht werden, sind folgende Beweissicherungsmaßnahmen vorgesehen:

6.1 Prüfung der Wirksamkeit der Grundwasserüberleitungen (Endzustand)

Die Wirksamkeit der Überleitungen soll durch Funktionskontrollen festgestellt werden. Das ist mit Durchflussmessungen und ggf. mit Kamerabefahrungen der Rohrleitungen möglich. Durch einen Vergleich der gemessenen und prognostizierten Mengen kann die Wirksamkeit festgestellt werden. Außerdem kann festgestellt werden, ob die Überleitungsmengen mit der Zeit allmählich abnehmen, so dass ggf. eine Regeneration der Überleitungen erforderlich wird. In Anlehnung an vergleichbare Maßnahmen erfolgt eine erste Kontrolle unmittelbar nach Fertigstellung der Überleitungen. Während des Betriebs sind Prüfungen im Abstand von 3 Jahren vorgesehen.

6.2 Grundwasserstand (Quartär) im Umfeld der Baumaßnahme

Durch die bereits erfolgte Errichtung und Beobachtung von Beweissicherungsmessstellen vor Beginn der Baumaßnahme konnten und können die derzeit vorhandenen Verhältnisse dokumentiert werden. Während und nach der Baumaßnahme kann dadurch festgestellt werden, ob es zu einer Veränderung der Grundwasserverhältnisse gekommen ist, die über den berechneten bzw. den zulässigen Werten liegt.

Nachfolgend sind die Messstellen für die Gesamtmaßnahme aufgeführt. Die für den Bereich des hier behandelten Planfeststellungsabschnitts maßgeblichen Messstellen sind fett markiert.

- ▷ Für den Zustrombereich sind folgende quartären Grundwassermessstellen vorgesehen (von Norden nach Süden):
 - GWM908n, GWM14503, GWM14505, GWM14508,
 - **GWM14514-Q, P8, P11**
- ▷ Für den Abstrombereich sind folgende quartären Grundwassermessstellen vorgesehen:
 - GWM14502, GWM14506, GWM14511, GWM14513, P10
- ▷ Zur Überprüfung der Auswirkungen auf das Wohngebiet Ohu sind folgende quartären Grundwassermessstellen vorgesehen:
 - GWM14507, P11, P10
 - **GWM14510, GWM14511, GWM14513, GWM14518-Q, P904-Q**
- ▷ Im Zusammenhang mit der Überprüfung möglicher Auswirkungen auf den Tertiärwasserstand hinsichtlich einer Beeinträchtigung der Wasserversorgung Ohu können folgende Quartärmessstellen verwendet werden:
 - **GWM902, GWM14514, GWM913**
- ▷ Als vom Bauwerk unbeeinflusste Referenzmessstellen können folgende quartären Grundwassermessstellen verwendet werden:
 - GWM911, GWM912, GWM906 (oberstrom), GWM905, GWM907 (unterstrom)

6.3 Grundwasserstand (Tertiär) im Umfeld der Trinkwasserbrunnen Ohu

Um nachzuweisen, dass die geplante Grundwasserwanne im Endzustand sowie während der Bauphase keine nachteiligen Auswirkungen auf den Betrieb der Trinkwasserbrunnen hat, soll eine Überwachung des Grundwasserstandes an den i. F. vorgeschlagenen Messstellen erfolgen.

- ▷ Folgende tertiäre Grundwassermessstellen sind für die Beweissicherung möglicher Auswirkungen auf die WV Ohu geeignet:
 - GWM002, GWM14515, GWM007
- ▷ Für den Zustrombereich oberstrom des Bauwerks sind folgende tertiären Grundwassermessstellen vorgesehen (von Norden nach Süden):
 - GWM14504, GWM14509, GWM003, GWM14516
- ▷ Für den Abstrombereich unterstrom des Bauwerks sind folgende tertiären Grundwassermessstellen vorgesehen (von Norden nach Süden):
 - GWM001, GWM14512, GWM006

Die Messstelle GWM 004 liegt östlich der Grundwasserwanne und damit deutlich außerhalb des Trinkwasserschutzgebietes. Sie wird in das Messprogramm aufgenommen, damit die Wasserspiegellage und die Grundwasserfließrichtung des tertiären Grundwassers großräumiger bewertet werden kann.

7. Auswirkungen des Vorhabens

Durch die geplante konstruktive Gestaltung des Tunnel- und Trogbauwerks werden die Eingriffe in das Grundwasser soweit minimiert, wie das unter Berücksichtigung der vorliegenden technischen Zwangspunkte (Unterquerung der Bahnlinie 5634 und der St 2074 etc.) und bei Beachtung einer wirtschaftlichen Bauweise möglich ist.

Ausschlaggebend für diese Bewertung ist der Umstand, dass das Bauwerk im Schutz eines dichten Baugrubenverbau hergestell wird, so dass während der Bauzeit lediglich eine Restwasserhaltung mit relativ geringem Umfang betrieben werden muss. Außerdem werden Maßnahmen vorgesehen, durch die die Beeinträchtigung der Grundwasserströmungsverhältnisse auf ein sehr geringes Maß reduziert werden können. Das wird im Endzustand im Wesentlichen durch die Errichtung und den Betrieb von Grundwasserüberleitungen erreicht, durch deren Wirkung der oberstromige Aufstau und die unterstromige Absenkung des Grundwasserspiegels im Nahbereich des Bauwerks auf Werte von maximal 20 cm begrenzt werden können. Während der Bauzeit können die Werte für den Aufstau- und die Absenkung im Nahbereich ebenfalls auf maximal 20 cm begrenzt werden. Zu diesem Zweck ist bereichsweise zusätzlich der temporäre Betrieb von Brunnen zur Grundwasserentnahme und –wiederversickerung vorgesehen.

Aufgrund der geplanten Bauweise ist im Endzustand weitgehend eine Unterströmung des Bauwerks in den tertiären Kiesen und Sanden möglich. Unter Berücksichtigung der Wirkung der geplanten Grundwasserüberleitungen werden die Auswirkungen des Bauwerks auf die Grundwasserströmungsverhältnisse nach Fertigstellung der vollständigen Wanne dadurch soweit reduziert, dass die Reichweiten des Aufstaus/ der Absenkung $\pm 0,1$ m in geringer Entfernung < 50 m zur Wanne liegen. Die maximalen Veränderungen liegen bei $< 0,2$ m im unmittelbaren Nahbereich der Wanne.

Nachteilige Auswirkungen auf die Trinkwasserbrunnen Ohu sind ebenfalls nicht zu erwarten, obwohl in den nördlichen Abschnitten der Maßnahme (BA IV, Ib und II) Wasserhaltungsmaßnahmen zur Entspannung des Druckwasserspiegels im tertiären Grundwasserstockwerk betrieben werden müssen. Das ist möglich, weil die Tertiärentspannung so dimensioniert und betrieben werden kann, dass der tertiäre Druckwasserspiegel auch während des Betriebs dieser Wasserhaltung noch über dem quartären Grundwasserstand liegt und somit ein Eindringen von Quartärwasser in das erschlossene tertiäre Grundwasserstockwerk vermieden wird.

Da durch die Entspannung des tertiären Druckwasserspiegels keine Entwässerung des Porenraums erfolgt, sind keine wasserhaltungsbedingten Setzungen mit schädlichen Auswirkungen auf die Bebauung von Ohu und Essenbach zu erwarten.

Der Umfang der Auswirkungen auf die Grundwasserströmungsverhältnisse, der sich durch den Bau und Betrieb der Gesamtmaßnahme (Grundwasserwanne Essenbach und Tunnel- und Trogbauwerk Ohu) tatsächlich einstellt, wird durch Beweissicherungsmaßnahmen festgestellt. Wenn die berechneten Auswirkungen mit den geplanten Minimierungsmaßnahmen nicht eingehalten werden können, ist es auch nachträglich noch möglich, die Wirksamkeit der vorgesehenen Grundwasserüberleitungen zu verbessern. Soweit dies erforderlich sein sollte, können ggf. auch zusätzliche Grundwasserüberleitungen eingerichtet werden.

Auswirkungen des Bauvorhabens auf die Qualität des Grundwassers sind aus folgenden Gründen nicht zu erwarten:

- ▷ In den Grundwasserüberleitungen erfolgt lediglich eine Ableitung des natürlich anströmenden Grundwassers in den Bereich unterstrom der Grundwasserwanne, ohne dass dabei Verschmutzungen oder sonstige Stoffe eingetragen werden. Das gilt in gleicher Weise auch für die während der Bauzeit temporär betriebenen Entnahme- und Versickerungsbrunnen.
- ▷ Das mit den Restwasserhaltungen geförderte Wasser wird dem Grundwasser ortsnah über Versickerungsbecken wieder zugeführt. Das Wasser wird über Absetzcontainer geleitet und versickert über eine ungesättigte Bodenpassage mit einer Mächtigkeit von mehreren Metern, so dass eine gute Filtration vor der Einleitung in das Grundwasser gewährleistet ist.

8. Zusammenstellung der beantragten Benutzungen

Eine Zusammenstellung der in Kapitel 3 erläuterten beantragten Grundwasserbenutzungen während der Bau- und Betriebsphase des Tunnels und Trogs Ohu kann der Tabelle 9 auf der folgenden Seiten entnommen werden.

Die Angaben zur Entnahme und Versickerung von Grundwasser durch die Restwasserhaltung sowie durch den Betrieb von Entnahme- und Versickerungsbrunnen zur weiteren Minimierung des Aufstaus und der Absenkungen und der Druckpotenzialabsenkung des tertiären Grundwassers während der Bauphase sind abhängig von der Dauer der Bauzeit. Wenn die hier abgeschätzten Dauern unter- oder überschritten werden, ergeben sich entsprechende Auswirkungen auf die Entnahme- und Versickerungsmengen.

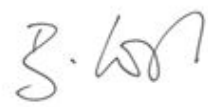
Die Angaben zum Grundwasseraufstau und zur –absenkung sowie zur Grundwasserüberleitung während der Betriebsphase ergeben sich auf der Grundlage genauer hydrogeologischer Berechnungen, die mit den gewählten Ansätzen auf der sicheren Seite erstellt wurden.


Tabelle 9: Zusammenstellung der beantragten Grundwasserbenutzungen

Art der Benutzung	Umfang der Benutzung	Zeit-raum	Nähere Angaben
Aufstauen und Absenken von Grundwasser durch das in das Grundwasser eintauchende Bauwerk (§9, Nr. 2 Abs. 1 WHG)	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Grundwasseraufstau im Nahbereich oberstrom der Wanne bis 20 cm ▷ Grundwasserabsenkung im Nahbereich unterstrom der Wanne bis 20 cm 	Betriebsphase	Kap. 5.3, Lagepläne Anlage 02
Umleiten von Grundwasser mittels Grundwasserüberleitungen zur Minimierung des Aufstaus und der Absenkungen während der Betriebsphase (§9, Nr. 2 Abs. 1 WHG)	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Umleitung einer Grundwassermenge von bis zu 2 l/s durch den Betrieb von 2 Grundwasserüberleitungen zur Reduzierung des Aufstaus oberstrom bzw. der Absenkung unterstrom des Bauwerks 	Betriebsphase	Kap. 5.3, Lagepläne Anlage 02
Entnahme von Niederschlagswasser sowie von Grundwasser, das durch vertikale Dichtwände in die Baugrube der Grundwasserwanne eindringen kann und Versickerung über Sickerbecken (§9, Nr. 1 Abs. 5 WHG)	<ul style="list-style-type: none"> ▷ BA IV Entnahme und Ableitung von ca. 44.000 m³ (Dauer der WH ca. 30 Wochen) ▷ BA Ia Entnahme und Ableitung von ca. 87.000 m³ (Dauer der WH ca. 40 Wochen) ▷ BA II+III+V Entnahme und Ableitung von ca. 450.000 m³ (Dauer der WH ca. 100 Wochen) ▷ BA Ib Entnahme und Ableitung von ca. 53.000 m³ (Dauer der WH ca. 40 Wochen) 	Bauphase	Kap. 5.4, Lagepläne Anlage 03 Anlage 05
Entnahme und Wiedereinleitung von Grundwasser durch Entnahme- und Versickerungsbrunnen zur weiteren Minimierung des Aufstaus und der Absenkungen während der Bauphase (§9, Nr. 1 Abs. 5)	<ul style="list-style-type: none"> ▷ BA II + III: Zwei Brunnen mit einer Leistung von 5 l/s und 4 l/s, Entnahme- und Versickerungsmenge ca. 327.000 m³ / 40 Wochen) ▷ BA V: ein Brunnen mit einer Leistung von 3 l/s, Entnahme- und Versickerungsmenge ca. 73.000 m³ / 60 Wochen) (Dauer BA II+III+V ca. 100 Wochen) 	Bauphase	Kap. 5.3.5, Lagepläne Anlage 03
Entnahme von Grundwasser aus dem tertiären Grundwasserstockwerk zur Reduzierung des Druckwasserpotenzials und Gewährleistung der Sohlaufbruchssicherheit sowie Versickerung in Sickergruben (§9, Nr. 1 Abs. 5 WHG)	<ul style="list-style-type: none"> ▷ BA IV Entnahme und Ableitung von ca. 436.000 m³ (Dauer der Tertiärentspannung ca. 30 Wochen) ▷ BA Ia Entnahme und Ableitung von ca. 823.000 m³ (Dauer der Tertiärentspannung ca. 40 Wochen) ▷ BA II Entnahme und Ableitung von ca. 557.000 m³ (Dauer der Tertiärentspannung ca. 40 Wochen) 	Bauphase	Kap. 5.4.2 u. 5.4.3, Anlage 05 bis Anlage 08

Eching am Ammersee, den 15.03.2019

Dr. Blasy – Dr. Øverland
 Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG


 i.V. Bernhard Vogt
 Dipl.-Ing.


 i.A. Dr. Stefan Hülmeyer
 Dipl. Geol.