



---

**EÜ Entengraben Str. 5320 km 54,410**

---

**Str. 5320 km 54,410**

---

**Projektnummer: U-SD02012**

---

**Vorplanung – Hydrogeologischer Bericht**

---

**DB Netz AG, Sandstraße 38-40, 90443 Nürnberg**

---

DB Engineering & Consulting GmbH

---

Umwelt, Geotechnik & Geodäsie I.TD-S-U-T1

---

Landsberger Str. 318

---

80687 München

---

31.01.2024

---



**Prüf- und Freigabezeichnung für die aktuell gültige Version**

	Erstellt	Fachgeprüft	Qualitäts- geprüft	Fachlich freigegeben
<b>Ort, Datum</b>	31.01.2024	31.01.2024		
<b>Name/Organisation</b>	i. A. Theresa Stopper I.TD-S-U-T1	i. A. Martin Bantele I.TD-S-U-T2		
<b>Unterschrift</b>				

**Versionen**

Version	Datum	Autor	Änderungen
1	31.01.2023	T. Stopper	-

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1	Unterlagen	5
1.2	Vorgang / Aufgabenstellung	7
1.3	Aufschlussarbeiten / Laboruntersuchungen	7
<b>2</b>	<b>Darstellung / Bewertung der Untersuchungsergebnisse</b>	<b>9</b>
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	9
2.2	Geologie	9
2.3	Hydrogeologische / wasserwirtschaftliche Verhältnisse	10
2.3.1	Erkundete Grundwasserverhältnisse	10
2.3.2	Wasserschutzgebiete	12
2.3.3	Überschwemmungsgebiete / Hochwasser	12
<b>3</b>	<b>Pumpversuch</b>	<b>13</b>
3.1	Ergebnisse des Pumpversuchs	14
3.2	Abschätzung Reichweite Absenktrichter	15
<b>4</b>	<b>Bewertung der Ergebnisse</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Wasserhaltung</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Sickerfähigkeit des Untergrunds</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Wasserrechtliche Hinweise</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Bewertung Interaktion Bauwerk - Grundwasser</b>	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>Auswirkung der neuen EÜ auf benachbarte Gebäude</b>	<b>21</b>
<b>10</b>	<b>Abschätzung des Wasserzuflusses Q in die Baugrube</b>	<b>21</b>
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung / Schlussbemerkungen</b>	<b>23</b>

## Tabellen

Tabelle 1:	Lage der Aufschlusspunkte	7
Tabelle 2:	Angetroffene Grundwasserstände	10
Tabelle 3:	Transmissivität (T), Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ ) und Speicherkoeffizient S	15
Tabelle 4:	Reichweite des Absenktrichters	15
Tabelle 5:	Versickerungsfähigkeit der Böden	17

## Abbildungen

Abbildung 1: Ausschnitt aus der digitalen geologischen Karte von Bayern /U 11/.	9
Abbildung 2: Grundwasserhöhenlinien gem. /U 11/.	11
Abbildung 3: Grundwasserhöhenlinien im Projektgebiet anhand der vorliegenden Ergebnisse, erstellt mit dem Programm Surfer (Kriging- Methode) /U 15/.	11
Abbildung 4: Hochwassergefahrenzonen gem. /U 11/.	12
Abbildung 5: Wassersensible Bereiche gem. /U 11/.	13
Abbildung 6: Absenkung des Wasserstandes während des Pumpversuchs.	14
Abbildung 7: Funkdatenlogger Messungen in der RKB 6 zwischen 2015 und 2019.	19

## Anlagen

Anlage 1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 2	Lage- und Aufschlussplan	1 Blatt
Anlage 3	Baugrundprofile und - schichtung, Messstellenausbau	2 Blatt
Anlage 4	Auswertung Pumpversuch	6 Blatt
Anlage 5	Aktuelle Ganglinie	1 Blatt

## 1 Einleitung

### 1.1 Unterlagen

Zur Ausarbeitung dieses hydrogeologischen Berichtes standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- /U 1/ Angebot OP-23-55423 der DB Engineering & Consulting GmbH, Umwelt- & Geo-Services (I.TD-S-U-T), Büro München vom 10.03.2023.
- /U 2/ LEIV Nr. C5000323 vom 20.03.2023.
- /U 3/ Geotechnischer Bericht EÜ Entengraben und Überwerfungsbauwerk, Erneuerung von 2 Brückenbauwerken, Treuchtlingen - Nürnberg Hbf, Strecke 5320, km 54,409 und km 54,410, DB ProjektBau GmbH, München, vom 11.06.2015.
- /U 4/ Nacherkundung geotechnischer Kurzbericht EÜ Entengraben und Überwerfungsbauwerk, Erneuerung von 2 Brückenbauwerken, Treuchtlingen - Nürnberg Hbf, Strecke 5320, km 54,409 und km 54,410, DB Engineering & Consulting GmbH vom 12.07.2016.
- /U 5/ Gutachterliche Stellungnahme zur Standsicherheit der Böschungen, Strecke 5320, Treuchtlingen - Nürnberg, ÜW Entengraben und Böschungen im Bereich von km 54,2+00 bis 54,5+75, Dr.-Ing. Lutz Vogt, EBA-Gutachter, Sachgebiet Geotechnik, c/o Baugrund Dresden, Dresden, vom 02.09.2016.
- /U 6/ Stellungnahme: EÜ Entengraben, DB Engineering & Consulting GmbH, Büro München vom 05.04.2023.
- /U 7/ Geo- und Umwelttechnischer Bericht, EÜ Entengraben, Strecke 5320: km 54,409, gbm Gesellschaft für Baugeologie und -meßtechnik mbh, Garching, vom 06.06.2019.
- /U 8/ Planunterlagen EÜ Entengraben: EP-IB-EÜ\_230731\_Grundriss-BA-01\_, Strecke 5320 km 54,409 und Überwerfungsbauwerk km 54,410, Grassl beratende Ingenieure, Januar 2023.
- /U 9/ Planunterlagen EÜ Entengraben: EP-IB-EÜ\_230731\_Schnitte-BA-02\_, Strecke 5320 km 54,409 und Überwerfungsbauwerk km 54,410, Grassl beratende Ingenieure, Januar 2023.
- /U 10/ Planunterlagen EÜ Entengraben: EP-IB-EÜ\_230731\_Stützwand\_Süd, Strecke 5320 km 54,409 und Überwerfungsbauwerk km 54,410, Grassl beratende Ingenieure, Januar 2023.
- /U 11/ Online-Informationsdienst: [UmweltAtlas \(bayern.de\)](https://www.umweltatlas.bayern.de), aufgerufen am 16.10.2023.



- /U 12/ Schichtenverzeichnisse der Fa. BOG Bohr- und Umwelttechnik GmbH, Eselsteig 17 Caaschwitz, Januar 2015.
- /U 13/ Laborergebnisse Dr. Spang, Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH, Dezember 2014 bis Januar 2015.
- /U 14/ Programm „Hydrotec 7.5.2.0 Pro“, GeoLogik Software, Braunfels 2016.
- /U 15/ Programm „Surfer 17.1.288 (64-bit)“ Golden Software, Colorado 2019.
- /U 16/ Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Januar 2021
- /U 17/ DWA-Regelwerk - Merkblatt DWA-M 153: Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. - Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2007.
- /U 18/ EA-Baugrube; Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Ernst & Sohn Verlag, 6. Auflage, Berlin 2021.
- /U 19/ Ril 83601 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instandhalten, Version 1.1., 01.05.2022.

## 1.2 Vorgang / Aufgabenstellung

Auf der Strecke 5320 Treuchtlingen - Nürnberg befinden sich zwischen den Bahnhöfen Nürnberg - Reichelsdorf und Nürnberg-Eibach zwei alte Brücken aus dem Jahr 1907, die der Zustandskategorie 4 zugeordnet sind und durch einen Neubau ersetzt werden sollen.

Eine Brücke führt über den Entengraben. Die andere Brücke stellt ein Überwerfungsbauwerk dar, welches die andere Brücke an der Stelle des Grabens oberirdisch kreuzt. Beim km 54,409 bzw. km 54,410 der Strecke 5320 befindet sich das Bauwerk EÜ Entengraben.

Hierzu wurden schon einige geotechnische Erkundungen durchgeführt und Gründungsempfehlungen für den Neubau des Bauwerks verfasst (vgl. /U 3/, /U 4/, /U 5/, /U 6/, /U 7/). Hierbei handelt es sich um geotechnische Berichte und Stellungnahmen in Bezug auf die Dammsanierung, den Neubau der Lärmschutzwände und die Gründung des Überwerfungsbauwerks und der EÜ Entengraben.

Die DB Engineering & Consulting GmbH Umwelt- & Geo- Services (I.TD-S-U-T) wurde auf der Grundlage unseres Angebotes /U 1/ vom 10.03.2023 von der DB Netz AG mit der Koordination, Betreuung und Beratung der Aufschlussarbeiten für die ergänzenden Baugrunduntersuchungen und der geotechnischen Bewertung am 20.03.2023 beauftragt /U 2/.

Dieses Gutachten bezieht sich auf:

- Hydrogeologische Bewertung: Baumaßnahme EÜ Entengraben

## 1.3 Aufschlussarbeiten / Laboruntersuchungen

Mit dem Bestandgutachten aus dem Jahr 2015 der DB ProjektBau GmbH und der Nacherkundung 2016 der DB E&C GmbH wurden beide Bauwerke geotechnisch untersucht, da sie der Zustandskategorie 4 zugeordnet werden und durch einen Neubau ersetzt werden müssen. Insgesamt wurden zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse über den gesamten Untersuchungsbereich vier Großbohrungen (BK), 15 Kleinrammbohrungen (BS) und 21 schwere Rammsondierungen (DPH) durchgeführt und ein Rammfilterpegel (RFP) beim Entengraben errichtet. Die Bohrungen wurden durch die Fa. BOG im Januar 2015 durchgeführt. Zudem erfolgte durch uns eine Nacherkundung im Mai und September 2023, bei der insgesamt sechs KRBs, sechs DPHs und zwei RFP errichtet wurden.

Folgende Aufschlüsse werden in diesem hydrogeologischen Bericht verwendet:

Tabelle 1: Lage der Aufschlusspunkte

Aufschluss	Lage (GK)		Ansatzhöhe [m NHN]	Aufschlusstiefe	
	Rechtswert	Hochwert		[m u. AP]	[m NHN]
KRB 1	4430524,86	5473163,84	309,51	10,00	299,51
DPH 1				10,50	299,01
RFP 1	4430520,00	5473138,38	309,42	7,00	302,42

Aufschluss	Lage (GK)		Ansatzhöhe [m NHN]	Aufschlusstiefe	
	Rechtswert	Hochwert		[m u. AP]	[m NHN]
KRB 2	4430512,54	5473171,23	309,49	10,00	299,49
DPH 2				9,50	299,99
RFP 2				7,00	302,49
KRB 3	4430502,97	5473172,74	315,55	9,30	306,25
DPH 3				12,00	303,55
KRB 4*	4430498,73	5473172,10	320,70	8,50	312,20
DPH 4*				10,00	310,70
KRB 5	4430467,01	5473033,06	310,00	6,30	303,70
DPH 5				9,10	300,90
KRB 6	4430474,59	5473028,09	310,34	6,80	304,46
DPH 6				0,00	310,34
KRB 7	4430479,84	5473026,95	316,25	7,60	308,65
DPH 7				8,60	307,65
KRB 8*	4430487,11	5473026,37	315,60	8,50	307,10
DPH 8*				10,00	305,60
BS 6*	4430498,39	5473093,44	309,61	15,00	294,61
GWM 6*				15,00	294,61

BS: Bohrsondierung; GWM: Grundwassermessstelle; KRB: Kleinrammbohrung; DPH: Schwere Rammsondierung;

\* Erkundung 2015

Zur Bewertung der hydrogeologischen Verhältnisse wurde in dem Rammfilterpegel BS6 ein Pumpversuch durchgeführt, so dass die Eigenschaften des quartären Grundwasserleiters bewertet werden können.

Die Lage des Rammfilterpegels ist der Anlage 2 zu entnehmen. Die Schichtenprofile der Erkundungsbohrungen und die Ausbaupläne der Grundwassermessstellen sind in der Anlage 3 dargestellt.

## 2 Darstellung / Bewertung der Untersuchungsergebnisse

### 2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Auf der Strecke 5320 Treuchtlingen - Nürnberg befinden sich zwischen den Bahnhöfen Nürnberg-Reichelsdorf und Nürnberg-Eibach zwei alte Brücken aus dem Jahr 1907, die der Zustandskategorie 4 zugeordnet sind und durch einen Neubau ersetzt werden sollen. Eine Brücke führt über den Entengraben. Die andere Brücke stellt ein Überwerfungsbauwerk dar, welches die andere Brücke an der Stelle des Grabens oberirdisch

### 2.2 Geologie

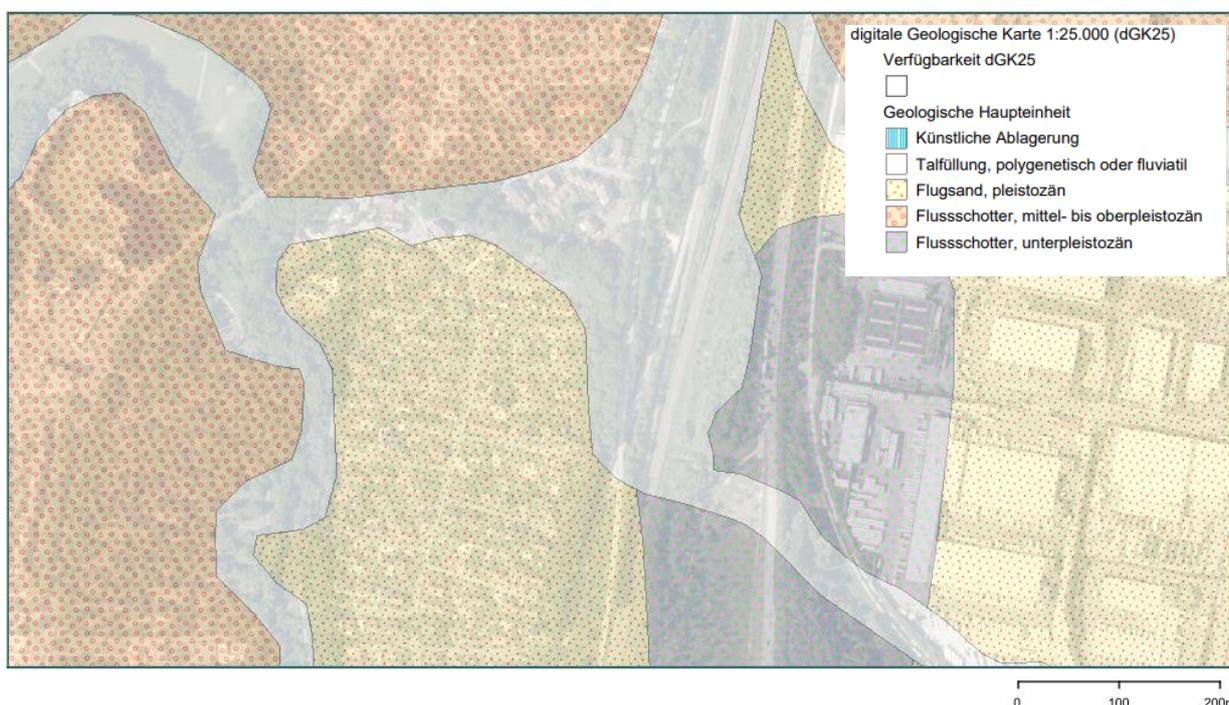


Abbildung 1: Ausschnitt aus der digitalen geologischen Karte von Bayern /U 11/.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich anhand der digitalen geologischen Karte von Bayern /U 11/ im Bereich unterpleistozäner Flussschotter und pleistozäner Flugsande, welche sich auf den Flussschottern abgelagert haben.

Die anhand der Literatur zu erwartenden Untergrundverhältnisse wurden durch die Baugrundaufschlüsse weitestgehend bestätigt.

## 2.3 Hydrogeologische / wasserwirtschaftliche Verhältnisse

### 2.3.1 Erkundete Grundwasserverhältnisse

Innerhalb der 2023 gebohrten Aufschlüsse wurde Grundwasser in einer Tiefe zwischen 1,80 - 2,5 m u. AP (307,81 - 307,38 m NHN) angebohrt (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Angetroffene Grundwasserstände

Aufschluss	Wasserstand [m u. AP]	Wasserstand [m NHN]
RFP 1	1,80	307,60
KRB 1	2,00	307,51
KRB 2	1,83	307,66
RFP 2	1,85	307,64
<b>Bestandsmessstellen (2014)</b>		
BS 4	2,50	307,38
BS 8	1,80	307,72
BS 6/ GWM	1,80	307,81

Den zu untersuchenden Grundwasserleiter bilden die oberflächennah anstehenden pleistozänen Flugsande und quartären Talfüllungen. Es handelt sich um einen großräumig zusammenhängenden Porengrundwasserleiter. Die grundwasserführenden Schichten sind als stark durchlässig (Bodengruppen SW, SE) bis durchlässig (Bodengruppe SU) einzustufen.

Es gibt verschiedene Grundwasserleiter im Projektgebiet. Das für die Baumaßnahme relevante Grundwasserstockwerk ist der oberflächennahe Sandsteinkeuper mit Quartär. Dieser Grundwasserleiter fließt übergeordnet von Ost nach West und das tiefer liegende Grundwasserstockwerk des Benker Sandsteins fließt von Süd nach Nord. Der oberflächennahe Grundwasserleiter wird entweder von der Rednitz im Bereich Entengraben gespeist, sodass die Grundwasserfließrichtung kleinräumig westlich des Projektgebiets W-O und östlich des Projektgebiets O-W ist (vgl. Abbildung 2) oder, dass bei den Erkundungsmaßnahmen verschiedene Grundwasserstockwerke angetroffen worden und eingemessen worden sind. Dieser Sachverhalt sollte noch einmal genauer nacherkundet und geprüft werden.

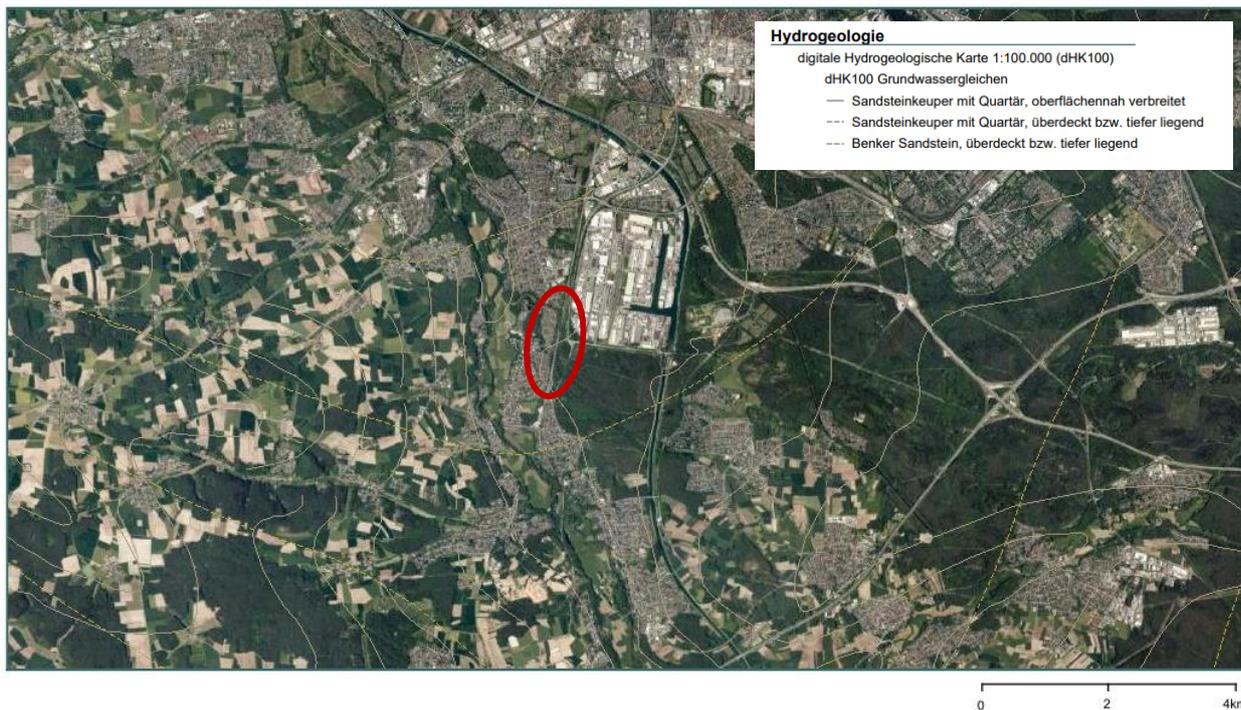


Abbildung 2: Grundwasserhöhenlinien gem. /U 11/.



Abbildung 3: Grundwasserhöhenlinien im Projektgebiet anhand der vorliegenden Ergebnisse, erstellt mit dem Programm Surfer (Kriging- Methode) /U 15/.

Der hydraulische Gradient kann wie folgt berechnet werden:

$$i = \frac{h}{L}$$

i =           hydraulischer Gradient [-]

h =           hydraulischer Höhenunterschied

L =           durchströmte Länge des Grundwasserkörpers

Der hydraulische Gradient für das 1. Grundwasserstockwerk beträgt ca.  $5,7 \cdot 10^{-3}$ .

Der hydraulische Gradient für das 2. Grundwasserstockwerk i beträgt ca.  $2,9 \cdot 10^{-4}$ .

### 2.3.2   Wasserschutzgebiete

Das Untersuchungsgebiet liegt gemäß /U 11/ außerhalb von Wasserschutzgebieten.

### 2.3.3   Überschwemmungsgebiete / Hochwasser

Das Untersuchungsgebiet befindet sich gemäß /U 11/ in einem Hochwasser- bzw. überschwemmungsgefährdeten Gebiet HQ<sub>häufig</sub> und befindet sich in einen wassersensiblen Bereich.



Abbildung 4: Hochwassergefahrenzonen gem. /U 11/.

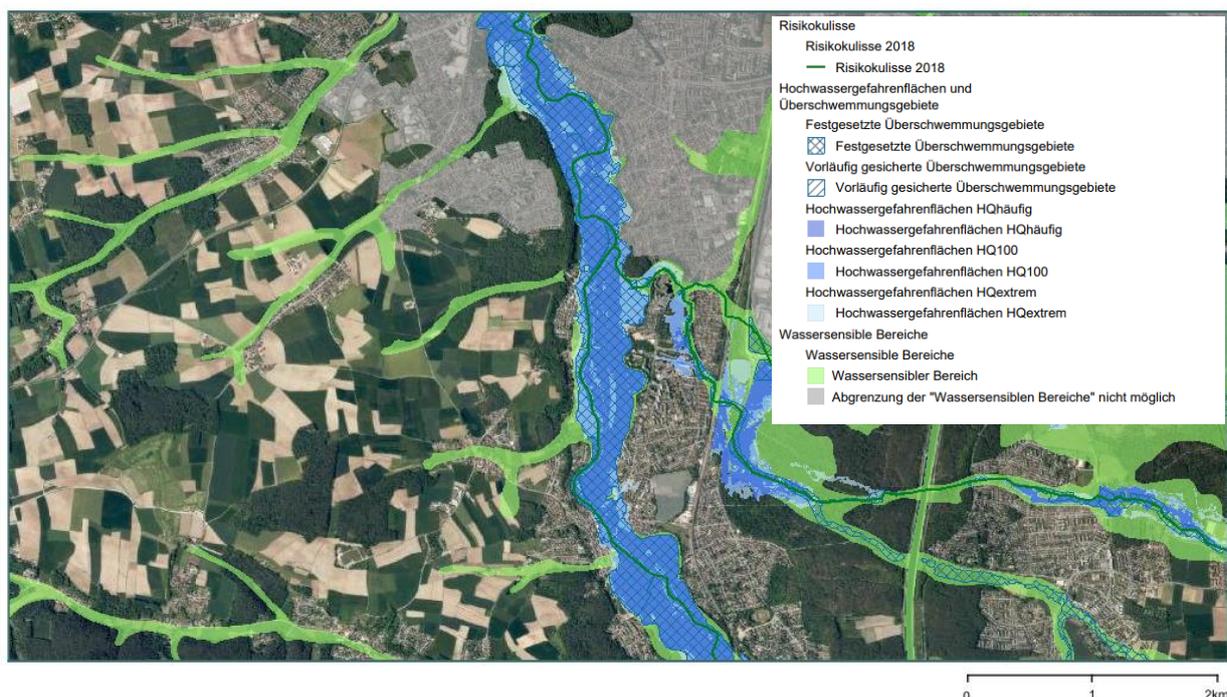


Abbildung 5: Wassere sensible Bereiche gem. /U 11/.

### 3 Pumpversuch

Am 22.08.2023 wurde durch die DB Engineering & Consulting GmbH, Umwelt & Geoservice in der BS6/GWM ein Pumpversuch durchgeführt. Der Pumpversuch wurde über 6 Stunden mit einer gemittelten Förderrate von 0,833 l/s durchgeführt. Der Ruhewasserspiegel vor Pumpbeginn betrug 1,62 m u. POK.

Während des Pumpversuchs wurde der Wasserstand mittels Datenlogger kontinuierlich aufgezeichnet. Die Absenkung des Pumpversuchs wurde nach THEIS hydraulisch mit der Software „Hydrotec“ /U 12/ ausgewertet.

Das Grundwasser wurde während des Pumpversuchs bis in eine Tiefe von ca. 3,84 m u. POK abgesenkt. Die maximale Absenkung betrug 1,09 m. Der genaue Verlauf der Absenkung ist in Abbildung 3 dargestellt bzw. kann der Anlage 5 entnommen werden.

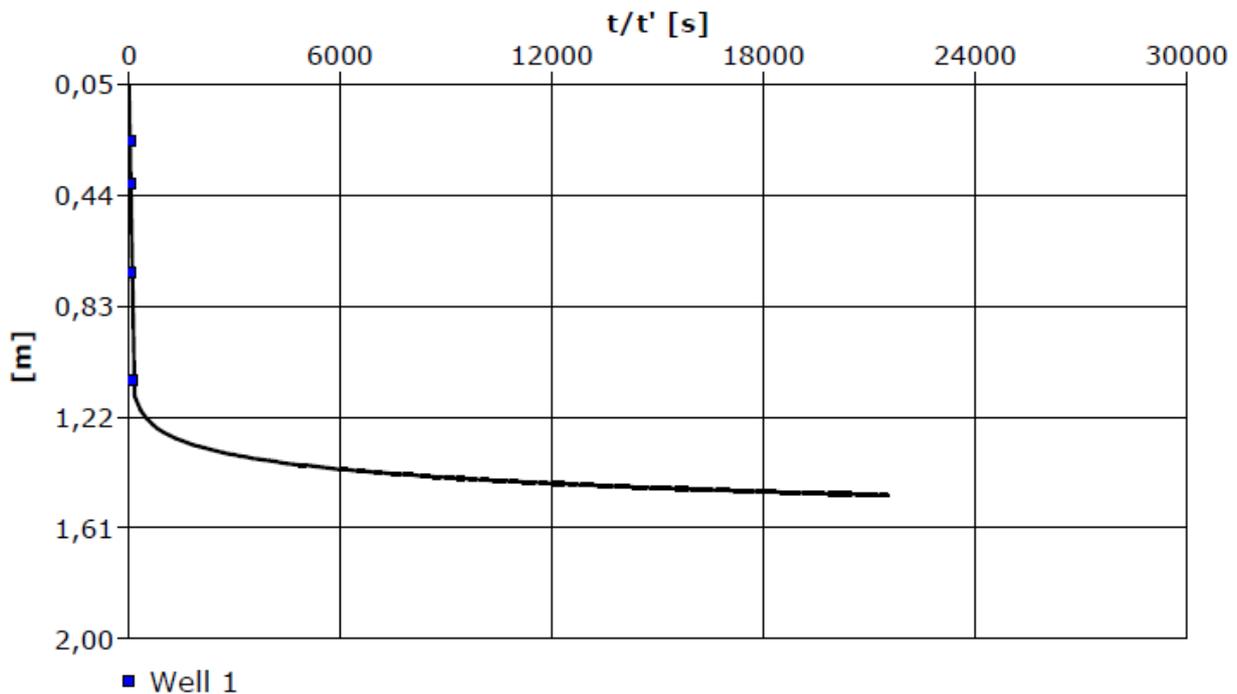


Abbildung 6: Absenkung des Wasserstandes während des Pumpversuchs.

Nach Beendigung des Pumpversuchs war innerhalb von wenigen Minuten ein Wiederanstieg auf das ungefähre Ausgangsniveau des Grundwasserspiegels vor dem Pumpversuch zu beobachten (vgl. Abbildung 6).

### 3.1 Ergebnisse des Pumpversuchs

Ziel des Versuchs war es, Informationen über die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters zu erlangen. Im Ergebnis des Pumpversuchs und auf der Grundlage der Kenntnis der räumlichen Ausdehnung des Grundwasserleiters (Lage, Mächtigkeit, Begrenzungen) und weiteren Randbedingungen kann auf die Parameter:

- Transmissivität (T) [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
- Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ ) [ $\text{m}/\text{s}$ ]

geschlossen werden.

Die Auswertung nach THEIS ergibt für die Transmissivität (T), den Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ ) und den Speicherkoeffizienten (S) folgendes Ergebnis:

Tabelle 3: Transmissivität (T), Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ ) und Speicherkoeffizient S

Bezeichnung/Auswertmethode	T [m <sup>2</sup> /s]	$k_f$ [m/s]	S
THEIS (Absenkung)	1,12*10 <sup>-3</sup>	1,03*10 <sup>-3</sup>	3,84*10 <sup>-6</sup>
THEIS (Wiederanstieg)	5,06*10 <sup>-3</sup>	4,64*10 <sup>-4</sup>	---
<b>Durchschnitt:</b>	<b>3,09*10<sup>-3</sup></b>	<b>7,47*10<sup>-4</sup></b>	<b>3,84*10<sup>-6</sup></b>

Die Auswertung des Speicherkoeffizienten ist aufgrund der zu geringen Entnahmemenge nicht aussagekräftig.

### 3.2 Abschätzung Reichweite Absenktrichter

Die Reichweite des Absenktrichters im Bereich der Grundwassermessstelle kann überschlägig nach SICHARD mit der Formel  $R = 3000 * s * k_f^{1/2}$  ermittelt werden. Die berechnete Reichweite ist nachfolgender Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Reichweite des Absenktrichters

Messstelle	BS6/GWM
$k_f$ -Wert [m/s]	7,47*10 <sup>-4</sup>
Absenktiefe [m]	1,09
Reichweite [m]	<b>89,37</b>

## 4 Bewertung der Ergebnisse

Bei dem untersuchten Horizont handelt es sich um einen großräumig zusammenhängenden Porengrundwasserleiter. Der Grundwasserleiter besteht dabei aus Talfüllungen des Rednitz- und Pegnitztals und größeren Nebentälern (Porengrundwasserleiter mit mäßiger bis mittlerer Durchlässigkeit) und ist gemäß DIN 18130 als durchlässig ( $k_f$ -Wert = 7,47\*10<sup>-4</sup> m/s) zu bewerten. Es wurde eine Absenkung von 1,09 m bei einer durchschnittlichen Förderleistung von 0,833 l/s erzielt.

Für die Bemessung des Bauwerks empfehlen einen Bemessungswasserstand **im Bauzustand von 308,80 m NHN** (höchster bisher gemessener Wasserstand mit Sicherheitsaufschlag von 0,50 m) und für die **Dauer des Bauwerkes von 309,30 m NHN** (höchster bisher gemessener Wasserstand mit Sicherheitsaufschlag von 1,00 m) anzusetzen.

## 5 Wasserhaltung

Gem. Planunterlagen /U 9/ liegen die Gründungssohlen für das Überwerfungsbauwerk und der EÜ Entengraben bei ca. 308,41 m NHN und bei der Lärmschutzwand bei 308,46 m NHN. Demnach liegen diese unterhalb des Bemessungswasserstandes von 308,80 m NHN.

Somit ist im Falle einer Flachgründung der EÜ und des Überwerfungsbauwerks mit dem Zutritt von Grundwasser in die Baugrube zu rechnen. Für die Lärmschutzwände ist eine Gründung via Rammrohre geplant. Somit ist der Grundwasserstand für diese Baumaßnahme unerheblich. Bei der Dammsanierung ist zum jetzigen Stand der Planung (vgl. /U 8/, /U 9/, /U 10/) der Einbau von Spundwänden als Grundwasserhaltungsmaßnahme geplant.

Gemäß den Baugrunderkundungen wird der Grundwasserleiter von pleistozänen Sanden gebildet. Der Bach Entengraben soll für die Baumaßnahme temporär verrohrt werden. Da diese Bodenschichten gemäß der Laborergebnisse sowie des Pumpversuch-Ergebnisses eine hohe Durchlässigkeit besitzen, ist von einer offenen Wasserhaltung abzusehen. Wir empfehlen bei einer Flachgründung der Bauwerke folgende Maßnahmen zur Wasserhaltung:

- Mixed in place Bodenmischverfahren (MIP) für die Herstellung von Dichtwänden zur Grundwasserabsperzung, bei dem der anstehende Boden mittels Bindemittelsuspension (meist im Pilgerschrittverfahren) vermischt und vermörtelt wird, um die Porenräume zu verfüllen. Nach der Aushärtung des Bindemittels bilden die Einzelstiche einen scheibenförmigen, fugenlosen Erdbetonkörper (MIP- Wand)
- Spundwände, welche bis zum Grundwasserstauer einbinden (ca. 10,2 m u. AP, bzw. ca. 299,60 m NHN, vgl. /U 3/, Anhang 1) mit Unterwasserbetonsohle. Für die genaue Festlegung der Tiefe des Grundwasserstauers sind Nacherkundungen nötig.
- Absperzung des Grundwassers mittels Sohlinjektionen,
- Gravitationsverfahren (Bohren der erforderlichen Anzahl von Tiefenbrunnen, Brunnenseitiger Einsatz von Unterwassertauchpumpen oder Vakuumpumpen, hinaufpumpen des Grundwassers über Druckschläuche).

Bei der Anwendung einer geschlossenen Wasserhaltung ist zu beachten, dass im pleistozänen Grundwasserleiter ein großer Absenktrichter entsteht (vgl. Kapitel 3.2). In unserem geotechnischen Bericht wird die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Methoden nicht genauer betrachtet.

Falls die Einbindung eines Spundwandkastens in den Stauer erfolgen soll, ist eine Restwasserhaltung für den Umgang mit den anfallenden Wässern ausreichend.

In Kapitel 10 ist eine Vorbemessung einer entsprechenden Wasserhaltung mit Abschätzung der folgenden Wassermengen enthalten:

- Wasserzutritte aus dem Verbau (über Spundwandschlösser)
- Wasserzutritte an der Baugrubensohle
- Umströmung Spundwandfuß (lokale Auflockerung durch den Einbringvorgang)

Tagwasser ist in der vorgenannten Vorbemessung noch nicht enthalten.

Sollten die Spundwände kürzer ausgeführt werden, ist von einer Unterströmung und somit höheren Wasserzutritten auszugehen. Die Höhe dieser Wasserzutritte hängt von der Größe dieser hydraulischen Fenster ab und ist ggf. im Zuge der weiteren Planung zu ermitteln.

## 6 Sickerfähigkeit des Untergrunds

Nach DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagwasser“ /U 16/ sind Böden für Versickerungsanlagen geeignet, deren Wasserdurchlässigkeit  $k_f$  im Bereich von  $10^{-3}$  und  $10^{-6}$  m/ s liegen. Die Mächtigkeit des Sickerraums (Gesteinskörper, der zum Betrachtungszeitpunkt kein Grundwasser enthält) sollte bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand grundsätzlich mind. 1,0 m betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für eingeleitete Niederschlagabflüsse zu gewährleisten. Bei Einsatz einer Schachtversickerung sollte der Abstand zwischen Oberkante der Filterschicht und dem mittleren höchsten Grundwasserstand das Maß von 1,5 m nicht unterschreiten.

Die Durchlässigkeit der Lockergesteine hängt überwiegend von ihrer Korngröße, Kornverteilung und Lagerungsdichte ab. Die Bestimmung der Durchlässigkeit kann nach Erfahrungswerten, Laborversuchen (Kornverteilung, Permeameter) oder durch Feldmethoden erfolgen. Je nach verwendeter Bestimmungsmethode werden in der DWA-A 138 /U 16/ Korrekturfaktoren (Feldversuche: 2,0, Laborversuche: 0,2) zur Festlegung des Bemessungs- $k_f$ -Wertes angegeben. Die Bemessungs- $k_f$ -Werte und die Versickerungsfähigkeit der einzelnen Schichten sind in nachfolgender Tabelle 5 genannt.

Tabelle 5: Versickerungsfähigkeit der Böden

Bohrung	Schicht	Tiefe	Boden- gruppen gem. DIN 18196	$k_f$ - Wert Labor <sup>1)</sup>	Versickerungsfähigkeit
BK 1	1	14,9 – 15,0	ST	$2,6 \cdot 10^{-7}$	nicht versickerungsfähig
BK 1	1	4,9 – 5,0	SU	$6,8 \cdot 10^{-6}$	schwach versickerungsfähig



Bohrung	Schicht	Tiefe	Boden- gruppen gem. DIN 18196	kf- Wert Labor <sup>1)</sup>	Versickerungsfähigkeit
BK 1	1	9,9 - 10,0	SU	$1,2 \cdot 10^{-5}$	versickerungsfähig
BK 2	1	10,5 - 11,0	ST	$1,5 \cdot 10^{-6}$	schwach versickerungsfähig
BK 2	3	12,0 - 12,2	TM	$1,7 \cdot 10^{-8}$	nicht versickerungsfähig
BK 2	1	13,1 - 13,2	ST	$2,6 \cdot 10^{-6}$	schwach versickerungsfähig
BK 2	1	2,0 - 2,3	SE	$5,0 \cdot 10^{-5}$	versickerungsfähig
BK 2	1	1,5 - 6,0	SE	$1,03 \cdot 10^{-4}$	versickerungsfähig
BK 3	1	24,0 - 24,5	SU	$2,0 \cdot 10^{-5}$	versickerungsfähig
BK 3	3	3,9 - 4,0	[TM]	$7,8 \cdot 10^{-10}$	nicht versickerungsfähig
BK 3	A <sub>D</sub>	4,0 - 4,3	[SU*]	$6,4 \cdot 10^{-6}$	schwach versickerungsfähig
BK 3	1	9,5 - 10,0	SE	$1,7 \cdot 10^{-4}$	versickerungsfähig
BK 4	1	10,5 - 10,6	SU	$1,8 \cdot 10^{-4}$	versickerungsfähig
BK 4	1	3,7 - 4,0	SU	$7,8 \cdot 10^{-6}$	schwach versickerungsfähig
BK 4	1	7,0 - 7,3	SU	$9,4 \cdot 10^{-5}$	versickerungsfähig
BS 10	A <sub>D</sub>	3,0 - 4,0	[UL]	$6,4 \cdot 10^{-6}$	schwach versickerungsfähig
BS 11	A <sub>D</sub>	3,0 - 6,0	[ST]	$4,6 \cdot 10^{-6}$	schwach versickerungsfähig
BS 1	1	2,0 - 3,0	SU	$4,2 \cdot 10^{-5}$	versickerungsfähig
BS 2	1	2,0 - 4,0	SU	$7,5 \cdot 10^{-5}$	versickerungsfähig
BS 2	1	9,3 - 10,0	ST	$6,4 \cdot 10^{-6}$	schwach versickerungsfähig
BS 9	1	1,4 - 2,0	SU	$6,2 \cdot 10^{-5}$	versickerungsfähig
BS 6	1	0,3 - 5,5	SW	$2,0 \cdot 10^{-4}$	versickerungsfähig
BS 6	1	5,5 - 7,0	SU	$2,0 \cdot 10^{-4}$	versickerungsfähig

Bohrung	Schicht	Tiefe	Boden- gruppen gem. DIN 18196	kf- Wert Labor <sup>1)</sup>	Versickerungsfähigkeit
BS 7	1	0,6 - 2,0	SW	6,2*10 <sup>-5</sup>	versickerungsfähig
BS 7	1	5,0 - 7,0	SU	1,1*10 <sup>-4</sup>	versickerungsfähig

<sup>1)</sup> kf- Wert unter der Berücksichtigung eines Korrekturfaktors von 0,2

Für die Bemessung von Versickerungseinrichtungen ist der mittlere höchste Grundwasserstand (MHGW) maßgebend. Dieser kann durch die vorliegenden aktuellen Daten und durch die Funkdatenloggermessungen zwischen 2015 - 2019 gebildet werden. Abbildung 7 zeigt die Messungen zwischen 2015 und 2019.

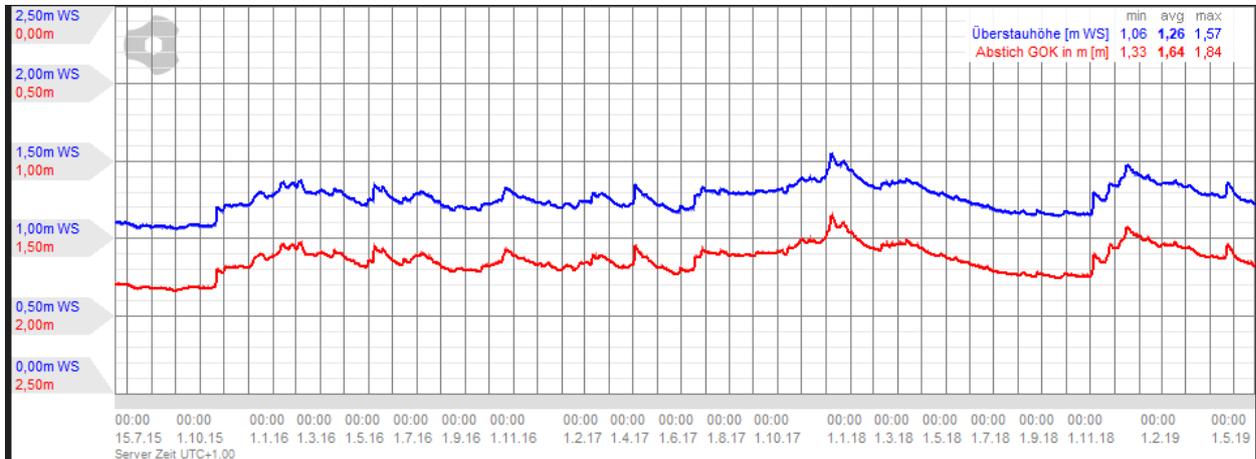


Abbildung 7: Funkdatenlogger Messungen in der RKB 6 zwischen 2015 und 2019.

Aufgrund der derzeitigen Daten empfehlen wir den Bemessungswasserstand im Endzustand als MHGW anzusetzen (309,30 m NHN).

Die im Zuge des Pumpversuchs ermittelte Durchlässigkeit des Porengrundwasserleiters liegt bei 7,47\*10<sup>-4</sup>m/ s und gilt nach DIN 18130 als durchlässig. Auch nach Berücksichtigung des Korrekturfaktors für Feldversuche (2,0) liegen die Böden mit 1,49 x 10<sup>-3</sup> m/ s noch im Bereich der nach DWA-A 138 angegebenen Werte und gelten somit als versickerungsfähig.

Insgesamt gelten der Dammaufbau und die anstehenden Böden als überwiegend versickerungsfähig. Dementsprechend weisen die Baugrundsichten A<sub>D</sub> und 1 eine für die Herstellung von Versickerungsanlagen ausreichende Sickerfähigkeit auf. Hinsichtlich der Mächtigkeit der Sickerstrecke ist die Einleithöhe ausschlaggebend. Hier kann erst nach erfolgter Planung eine letztendliche Aussage getroffen werden.

Bei den Auffüllungen ist zu beachten, dass die Bewertung der Durchlässigkeit anhand der geophysikalischen Kennwerte erfolgte und keine chemischen Analyseergebnisse für die Bewertung herangezogen wurden.

Das Einleiten in natürliche Gewässer ist genehmigungspflichtig. Die ATV-DVWK- Merk- und Arbeitsblätter M153 /U 17/ und A138 /U 16/ sind für Detailplanungen der Entwässerungseinrichtungen zu berücksichtigen.

## 7 Wasserrechtliche Hinweise

Allgemein ist darauf hinzuweisen, dass Bauen im Grundwasser, hier insbesondere in den Grundwasserkörper eingreifende bauzeitliche Baugrubenverbauten sowie dauerhafte Trogbauwerke, nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und den ergänzenden Landesgesetzen als Gewässerbenutzungen, einer wasserbehördlichen Aufsicht unterliegen (§§ 8, 9 WHG und Art. 16, 17 BayWG). Das Gleiche gilt für Wasserhaltungsmaßnahmen in geschlossenen Baugruben (Lenzen und Restwasserhaltung). Diese Gewässernutzungen bedürfen einer behördlichen Zulassung, welche die Rechtsform einer widerruflichen Erlaubnis (§ 18 WHG), einer gehobenen Erlaubnis (§ 15 WHG) oder einer Bewilligung (§ 8 WHG) haben kann.

## 8 Bewertung Interaktion Bauwerk - Grundwasser

Im Zuge der Bauphasen muss mit Hilfe eines wasserdichten Verbaus (z. B. Spundwandkastens), der bis in den Grundwasserstauer einbinden soll, die gesamte Baugrube wasserdicht ausgebildet werden. Für die neue Eisenbahnüberführung bzw. das Überwerfungsbauwerk wird das Grundwasser somit über die gesamte Bauwerksbreite von ca. 8,5 m abgesperrt (Grundwasserfließrichtung E-W). Für die Betrachtung des Wasserstands bzgl. der Berechnung wird der Bemessungswasserstand herangezogen (ungünstigster Fall). Durch die gesamte Absperrung des Grundwasserstroms, kann das Bauwerk ausschließlich seitlich umströmt, nicht aber unterströmt werden. Die Berechnung nach SCHNEIDER für ausschließliche Umströmung lautet

$$\Delta h_{\text{Gesamt}} = \Delta h_{\text{um}} = i \cdot \cos \vartheta \cdot t$$

mit  $i = 0,0057$  (hydraulischer Gradient)

$\vartheta = 0^\circ$  Anströmwinkel

$t = 4,00$  m halbe Bauwerksbreite.

Die Berechnung nach SCHNEIDER ergibt, dass, im Zuge des Neubaus mit einer gesamten Absperrung des Grundwasserstroms anstromig in Bauwerksmitte mit einer Gesamtaufhöhung von ca. **2,28 cm** und eine äquivalenten abstromigen Grundwasserabsenkung zu rechnen ist.

## 9 Auswirkung der neuen EÜ auf benachbarte Gebäude

Im Vergleich zum bestehenden Bauwerk ergibt sich durch den Neubau keine nennenswerte Vergrößerung des Aufstaus. Der Grundwasseraufstau von 2,28 cm liegt innerhalb des natürlichen Schwankungsbereichs. Da das gesamte Areal sowohl in einem HQ<sub>häufig</sub>-Bereich als auch in einem wassersensiblen Bereich liegt, entsteht aus gutachterlicher Sicht durch den Neubau kein zusätzliches Gefährdungspotential für die angrenzende Bebauung bzw. Grundstücke.

## 10 Abschätzung des Wasserzuflusses Q in die Baugrube

Gemäß den uns vorliegenden Unterlagen /U 8/ - /U 10/ haben wir keine genauen Angaben für die Baugrubengröße des Überwerfungsbauwerks und der EÜ. Wir gehen vorerst davon aus, dass die Baugruben auf einer Länge von ca. 30 x 8 m geplant sind. Folgende Angaben beziehen sich auf die Planung eines geschlossenen Spundwandkastens. Nach Leerpumpen des umschlossenen Bodenkörpers, verringert sich die bauzeitliche Wasserhaltung deutlich. Es muss somit nur noch das über die Baugrubensohle und -sofern an den Spundwandschlössern keine Kunststoffabdichtung eingebracht wird oder die Schlösser nachträglich verschweißt werden, den Baugrubenverbau. Der Zutritt des Grundwassers über die Verbauwände und die Baugrubensohle kann unter folgenden Annahmen überschlägig abgeschätzt werden:

- Länge des Spundwandverbaus (Annahme): 30,00 m
- Fläche der Baugrubensohle (Annahme) A: 240,00 m<sup>2</sup>
- Umfang (Annahme) U: 76,00 m<sup>2</sup>
- Baugrubensohle (Annahme): 10,00 m
- Potentialunterschied Bemessungswasserstand  
zur UK Spundwand h: 9,50 m
- Durchlässigkeitsbeiwert  $k_r$  des unterlagernden  
Verwitterungshorizonts des Festgesteins:  $1,0 \cdot 10^{-6}$  m/ s
- Einbindetiefe der Spundwand unter Baugrubensohle: 8,80 m
- Einbindetiefe der Spundwand in den unterlagernden  
stark schluffigen Sand: 5,00 m
- Aquifermächtigkeit: 8,20 m
- Bauzeitlicher Bemessungsdruckwasserstand: 308,80 m NHN
- Ruhewasserspiegel 22.08.2023 307,99 m NHN

\*hier wurde der „worst-case“ betrachtet;

Formel:

$$Q = (k_f (Aquifer) * A) + (U * k_f (Schlösser) * k_f (Aquifer))$$

Unter der Annahme, dass ca. 0,0012 l/ s pro m<sup>2</sup> über die Schlösser der Spundwand in die Baugrube gelangen, treten über die gesamte Fläche der Spundwände im Grundwasser (240 m<sup>2</sup>) etwa 0,36 m<sup>3</sup>/ s in die Baugrube ein.

Hinzu kommen noch die hier nicht berücksichtigten Niederschlagswässer.

Die Einbindetiefe der Spundwandträger ist so zu bemessen, dass die Sicherheit gegenüber einem hydraulischen Grundbruch nachgewiesen werden kann. Um eine Dichtigkeit des Verbaus zu erzielen, besteht die Möglichkeit mittels Spüllanzen am Spundwandfuß die Aufstandsfläche der Träger mit einer Zement-Bentonit-Suspension zu verpressen. Die hydraulische Grundbruchsicherheit muss gewährleistet werden. Zur Risikominimierung empfehlen wir für die Dauer des Umbaus ein kontinuierliches Grundwassermonitoring.

Für die Herstellung der Baugruben sind die weitergehenden Forderungen, Empfehlungen und Hinweise der DIN 4124 sowie des EAB /U 18/ zu beachten. Darüber hinaus sind im gleisnahen Bereich die Vorgaben der Ril 83601 (Modul 41xx) zu beachten.

## 11 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Im vorliegenden hydrogeologischen Bericht sind die hydraulischen Verhältnisse für den Untergrund im Bereich der neu zu bauenden EÜ Strecke 5386 km 1,360 dargestellt.

Zur Bewertung der hydrologischen Eigenschaften des Grundwasserleiters wurde von der DB Engineering & Consulting GmbH, Umwelt& Geoservice, ein Pumpversuch in der BS6/ GWM durchgeführt.

Anhand der Ergebnisse des Pumpversuchs sollen Rückschlüsse auf die Versickerungsfähigkeit, Transmissivität, Reichweite des Absenktrichters etc. getroffen werden.

Die Auswertung des Pumpversuchs ergab für den anstehenden kiesigen Untergrund einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $1,49 \cdot 10^{-3}$  m/s nach Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 2,0).

Nach DIN 18130 ist der anstehende Boden somit als durchlässig zu beurteilen.

Die genaue Auswertung des Pumpversuchs nach THEIS ist dem Kapitel 3 zu entnehmen.

Für die Bemessung des Bauwerks empfehlen wir einen Bemessungswasserstand im Bauzustand von **308,80 m NHN** (höchster derzeit gemessener Wasserstand mit einem Sicherheitsaufschlag von 0,5 m) sowie im Endzustand (MHGW) von **309,30 m NHN** (höchster derzeit gemessener Wasserstand mit einem Sicherheitsaufschlag von 1,0 m) festzulegen.

Aufgestellt durch:

T. Stopper (M. Sc. Ing.- & Hydrogeol.)