

## Grundwassermodell Tunnel Sempt

Vorhabenbezeichnung: **Lückenschluss Erding – Flughafen München  
und Walpertskirchener Spange,  
Planfeststellungsabschnitt 4.2**

Streckennummer/Strecke: **5601 / Markt Schwaben - Flughafen München  
(von Bahn-km 12,5+35 bis 18,3+00)**

**5606 / Abzw Obergeislbach – Erding  
(von Bahn-km 7,0+30 bis 8,9+55)**

### 1. Änderung im laufenden Verfahren – neue Anlage

Eingereicht im Namen und Auftrag von		
<b>Vorhabenträger</b>  DB Netz AG Richelstraße 3 80634 München	<b>Vorhabenträger</b>  DB Station&Service AG Bahnhofsmanagement München Bayerstraße 10a, 80335 München	<b>Vorhabenträger</b>  DB Energie GmbH Richelstraße 3 80634 München
<b>Vorhabenträger</b>  DB Netz AG, Großprojekte Süd Richelstraße 3 80634 München	<b>Verantwortliche Planungsgemeinschaft</b> Ingenieurgesellschaft Östliche Schienenanbindung Flughafen München  OBERMEYER Infrastruktur GmbH, Postfach 201542, 80015 München  München, den 01.12.2023      gez. ppa. E. Lochbihler	
Datum: 08.12.2023      Unterschrift: gez. i. V. Beer	<b>Ersteller</b> <u>Dr. Blasy - Dr. Øverland</u> Ingenieure GmbH Moosstraße 3      82279 Eching am Ammersee Eching, den 17.11.2023      gez. i. V. Knut Hanke	

## Erläuterungsbericht

<b>1.</b>	<b>Veranlassung .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Geplante Baumaßnahme .....</b>	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>Überblick .....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>Analytische Berechnung der Aufstauauswirkungen .....</b>	<b>4</b>
<b>5.</b>	<b>Grundwassermodell .....</b>	<b>5</b>
5.1	Vorbemerkung .....	5
5.2	Ausgangssituation Ist-Zustand .....	6
5.3	Modellrechnung Planungszustand ohne Abhilfemaßnahmen .....	7
5.4	Modellrechnung Planungszustand mit Grundwasserüberleitungen .....	8

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage der Baumaßnahme Tunnel und Trog Sempt.....	2
Abbildung 2:	schematische Darstellung eines Vertikalschnitts entlang des Tunnels Sempt .	3
Abbildung 3:	Geologischer Profilschnitt (schematisch) entlang des Tunnels Sempt .....	3
Abbildung 4:	Grundwassermodell <i>Ist-Zustand</i> (inkl. Tunnel Erding mit Überleitungen).....	6
Abbildung 5:	Grundwassermodell <i>Planungszustand</i> (inkl. Tunnel und Trog Sempt, ohne Abhilfemaßnahmen).....	7
Abbildung 6:	Grundwassermodell <i>Planungszustand</i> (inkl. Tunnel und Trog Sempt, mit Abhilfemaßnahmen; zwei Überleitungen; Screenshot Grundwassermodell) ....	9

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Berechnete Überleitungsraten für zwei Überleitungen .....	9
------------	---	---

## 1. Veranlassung

Im Zuge des Anhörungsverfahrens der Planfeststellung der geplanten Baumaßnahme *Lückenschluss Erding – Flughafen München und Walpertskirchener Spange, Planfeststellungsabschnitt 4.2* (PFA 4.2) hat das Wasserwirtschaftsamt München mit dem Schreiben vom 29.10.2020 Stellung genommen. Unter *Punkt 4.2.5 Grundwasserbenutzung und Grundwasseraufstau* wurde der Einwand erhoben, dass in den Antragsunterlagen keine detaillierten Aufstauberechnungen für den Trog und den Tunnel Sempt enthalten seien. Eine detaillierte Prüfung sei daher nicht möglich.

Mit den vorliegenden Unterlagen wird der Forderung einer detaillierten Berechnung unter Verwendung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells analog zum Tunnel Erding (Anlage 22.3.5 der Antragsunterlagen) nachgekommen.

## 2. Geplante Baumaßnahme

Der Tunnel Sempt schließt nördlich an den Bahnhof Erding an. Nach Querung der Sempt steigt die Trasse im weiteren Verlauf nach Norden hin im Trog bis an die Geländeoberfläche an. Die detaillierten Bauwerksdaten (Kilometrierung, Bauwerksunterkanten) sowie die lokalen hydrogeologischen Daten (Lage des Grundwasserstauers, statistische Grundwasserstände, Eintauchtiefen des Bauwerks ins Grundwasser) sind den Antragsunterlagen (Anlage 22.3.1 Erläuterungsbericht Hydrogeologie; Pkt. 2.1.6 und 2.1.7) zu entnehmen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Gesamtbauwerk Tunnel und Trog auf einer Länge von rd. 420 m (rd. Bahn-km 14,4+80 bis km 14,9+00) den Grundwasserstrom bis zum Stauer vollständig absperrt. Im weiteren Verlauf nach Norden verbleibt mit zunehmendem Anstieg der Trasse eine Unterströmungsmöglichkeit des Grundwassers. Im Bereich der südlich anschließenden Stationsbauwerke Erding verbleibt im Endzustand nach vollständigem Ziehen des bauzeitlichen Spundwandverbaus ebenfalls eine Unterströmungsmöglichkeit des Grundwassers.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die hydraulischen Auswirkungen eines Strömungshindernisses im Grundwasserstrom maßgeblich von den folgenden Faktoren abhängig sind:

Ist eine Unterströmungsmöglichkeit gegeben oder nicht, d.h. sperrt das Bauwerk den Grundwasserstrom vollständig bis zum Stauer ab oder nicht

Grundwassergefälle bzw. Breite des Bauwerks senkrecht zur Grundwasserfließrichtung; diese beiden Faktoren hängen dahingehend zusammen, dass bei gegebenem natürlichen Grundwassergefälle und Fließrichtung mit zunehmend spitzem Winkel zwischen Bauwerkslängsseite und Grundwasserfließrichtung das Grundwassergefälle (und damit die hydraulische Auswirkung) abnimmt. Im Falle des Tunnels Sempt liegt die Bauwerkslängsseite nahezu parallel zur Grundwasserfließrichtung mit einer geringfügig von Südsüdwesten her verlaufenden Anströmung, so dass keine massiven Auswirkungen zu erwarten sind.

Die Auswirkungen des Tunnels Erding inkl. Baugrubenumschließung des Stationsbauwerks Erding wurden mit separaten Modellrechnungen untersucht. Die damit prognostizierten Grundwasserverhältnisse inkl. Abhilfemaßnahmen (5 Überleitungen) werden hinsichtlich des unbeeinflussten Ausgangszustandes für das Bauwerk Tunnel Sempt als unbeeinflusster Referenzzustand verwendet.

Die Lage des Bauwerks ist in der Abbildung 1 dargestellt.



### 3. Überblick

Der Tunnel Sempt greift auf einer Länge von rd. 700 m in das Grundwasser ein und sperrt den Grundwasserleiter bis hin zum tertiären Stauer auf einer Länge von rd. 420 m zwischen km 14,480 und km 14,900 vollständig ab. Der Abschnitt mit Bohrpfahlwand verursacht keine zusätzlichen hydraulischen Auswirkungen, da hier das Tunnelbauwerk ohnehin in den Grundwasserstauer eingreift.

Eine schematische Darstellung zeigt folgendes Diagramm (Abbildung 2). Ein geologischer Profilschnitt ist in der Abbildung 3 dargestellt.

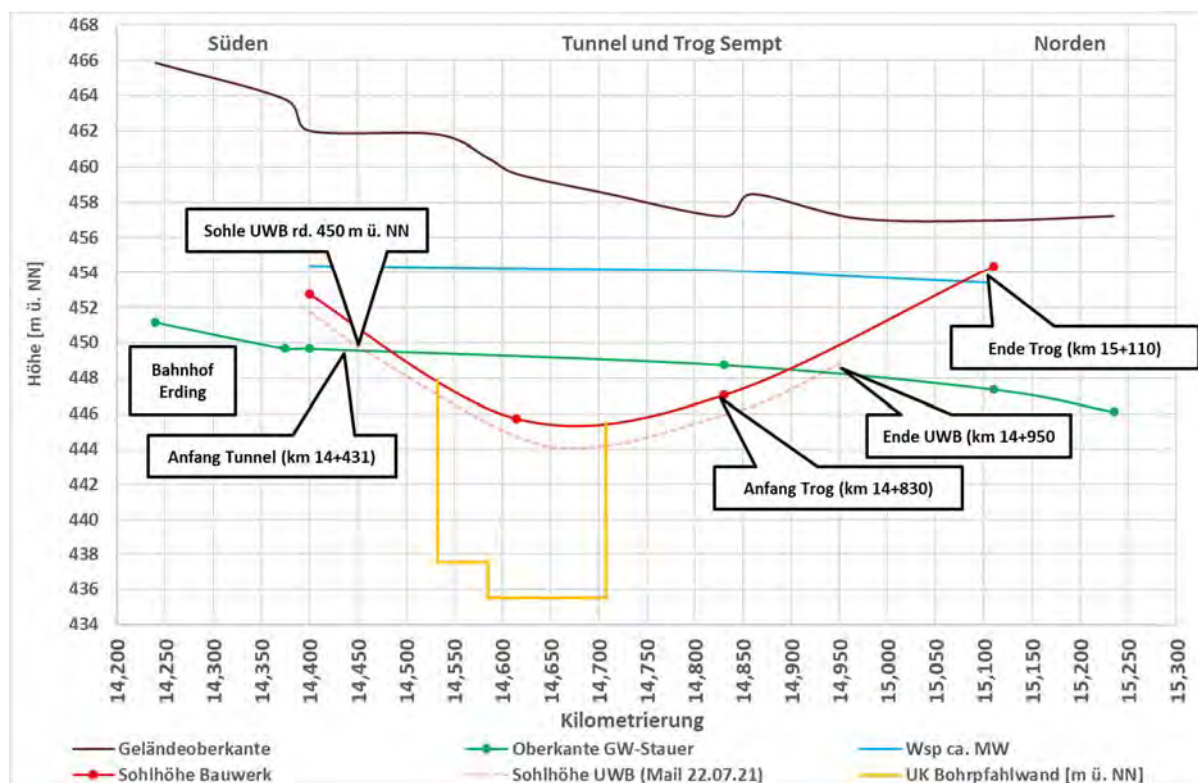


Abbildung 2: schematische Darstellung eines Vertikalschnitts entlang des Tunnels Sempt

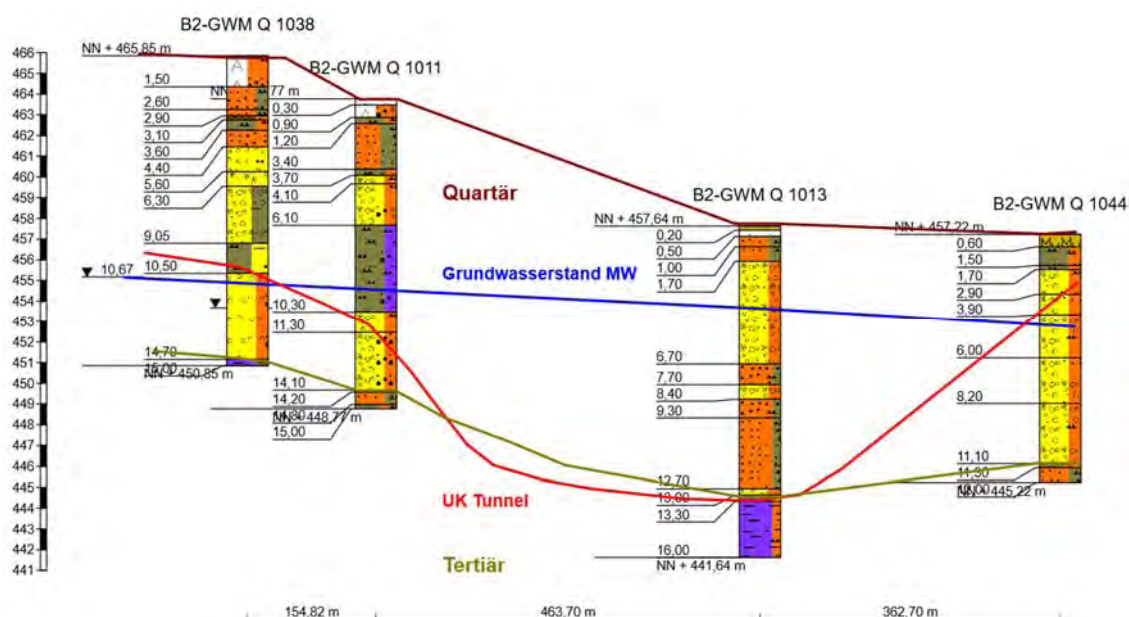


Abbildung 3: Geologischer Profilschnitt (schematisch) entlang des Tunnels Sempt

## 4. Analytische Berechnung der Aufstauauswirkungen

Im Rahmen der Erstellung des *Erläuterungsberichts Hydrogeologie* wurden analytische Aufstauberechnungen durchgeführt. Es wurde hierbei eine mittels Pumpversuch ermittelte maximale Durchlässigkeit von  $k_f = 6,7 \times 10^{-03}$  m/s angesetzt.

Die analytische Berechnung erfolgte mit einem auf der sicheren Seite liegenden mittleren Anströmwinkel des Grundwassers von rd.  $45^\circ$  und einem mittleren Grundwassergefälle von 0,4 %. Bei einer vollständigen Absperrung des Grundwasserleiters wird dabei ein Aufstau von maximal rd. 0,6 m berechnet.

Die analytische Berechnung der Aufstauhöhe erfolgt nach BRANDL über folgende Formeln:

$$\Delta h = 0,5 \times I (1-a) \times B$$

$$\text{mit: } a = \frac{B + L}{H (f_p + f_u) + B} \quad ; \quad f_p = \frac{L}{H - T} \quad ; \quad f_u = -\frac{4}{\pi} \ln \left( \sin \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{H - T}{H} \right) \right)$$

$\Delta h$  = Aufstauhöhe  
 $I$  = Grundwassergefälle (0,4 %)  
 $B$  = Breite des Objektes im Grundwasserstrom (1.010 m)  
 $L$  = Länge des Objektes im Grundwasserstrom (20 m)  
 $H$  = Grundwassermächtigkeit  $M$  (7,0 m)  
 $T$  = Eintauchtiefe des Objektes (7,0 m)  
 $a$  = prozentualer Anteil der Unterströmung (0 %)  
 $f_p$  und  $f_u$  = Formparameter

BRANDL, L. (1979): Die Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse durch Tiefbauten im Grundwasser und Möglichkeiten der Verminderung nachteiliger Veränderungen des Grundwasserabflusses., München 1979.

Mit Hilfe einer analytischen Abschätzung nach DARCY wurde eine Überleitungsmenge von rd. 6 l/s berechnet.

## 5. Grundwassermodell

Zur Absicherung der zunächst durchgeführten analytischen Berechnung der Auswirkungen des geplanten Tunnels Erding auf die Grundwasserverhältnisse wurde ein numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt. Damit wurden die Aufstau- bzw. Absenkungsbeträge überprüft und Variantenrechnungen mit Abhilfemaßnahmen (Grundwasserüberleitungen) durchgeführt. Der Umgriff des Grundwassermodells wurde ausreichend groß gewählt, so dass auch der Tunnel und Trog Sempt in das bestehende Modell implementiert werden konnte.

### 5.1 Vorbemerkung

Die numerische Berechnung erfolgte nicht mit einem voll kalibrierten regionalen Grundwassermodell, sondern mit einem schematischen 1-Schicht-Modell mit einer räumlich konstanten Modellunterkante (Staueroberkante) auf 450,5 m ü. NN und einer konstanten hydraulischen Durchlässigkeit des Grundwasserleiters von  $k_f = 6,7 \times 10^{-03}$  m/s.

Die Grundwasseroberfläche wurde durch Fixpotenziale am oberstromigen und unterstromigen Modellrand so eingestellt, dass sich im Vorhabensbereich ein Grundwasserstand (ca. MW) und ein örtlich variables unbeeinflusstes Grundwassergefälle von rd. 0,27 bis 0,44 % einstellt. Bei der Berechnung des Aufstaus aufgrund einer vollständigen Absperrung des Grundwasserleiters ist die Grundwassermächtigkeit unerheblich. Maßgeblich ist das Grundwassergefälle, das in Abhängigkeit zur hydraulischen Durchlässigkeit sowie zum Anströmungswinkel des Strömungshindernisses im Grundwasser steht.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass in dem schematischen Modell keine Oberflächengewässer (Sempt) implementiert wurden und mithin keine Grundwasser-Oberflächenwasser-Wechselwirkung erfolgt, welche u.U. den Auswirkungsbereich beeinflussen könnte. Einflüsse weiterer Bauwerke im Untergrund (die bei den gegebenen Flurabständen nicht zu erwarten sind) oder wechselnder Geometrie des Grundwasserleiters werden nicht berücksichtigt.

## 5.2 Ausgangssituation Ist-Zustand

Als Ausgangssituation „Ist-Zustand“ vor Implementierung des *Tunnels und Trogs Sempt* wurde die für den *Tunnel Erding* durchgeführte Modellrechnung *Endzustand* mit dem verbleibenden Restaufstau bei fünf wirksamen Grundwasserüberleitungen verwendet (Modellvariante „Tektur“ in Anlage A-22-03-05, Grundwassermodell Tunnel Erding).

Das Ergebnis ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Die Aufstauhöhen wurden weitestgehend auf  $< 0,1$  m minimiert. Im Bereich der Baugrubensicherung mittels Bohrpfahlwänden am Stationsbauwerk Erding wurde ein maximaler Aufstau von bis zu  $0,2$  m berechnet.

In diesem Bereich liegen die Flurabstände bei deutlich  $> 10$  m, so dass diese geringfügige Überschreitung der i.d.R. gültigen Erheblichkeitsschwelle von  $0,1$  m tolerierbar ist.

Für den Bereich des Tunnels Sempt ergeben sich aus dem Bauwerk Tunnel Erding (inkl. abhilfemaßnahmen) keine messbaren Auswirkungen. Die Grundwassergleichen des unbeeinflussten Zustands (blau) und des Zustandes mit Tunnel Erding inkl. Überleitungen (rot) zeigen im Bereich des Tunnels Sempt nahezu den identischen Verlauf.

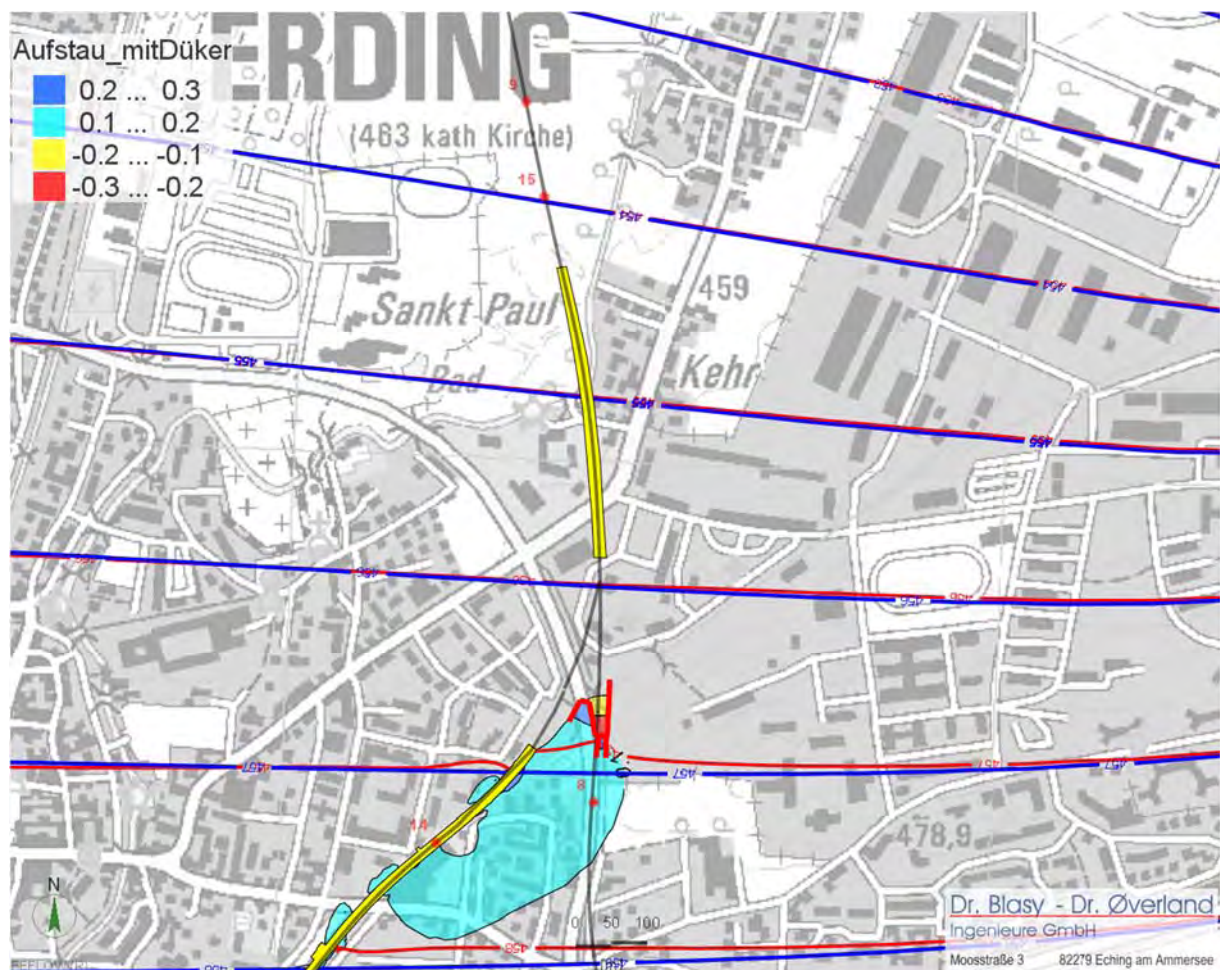
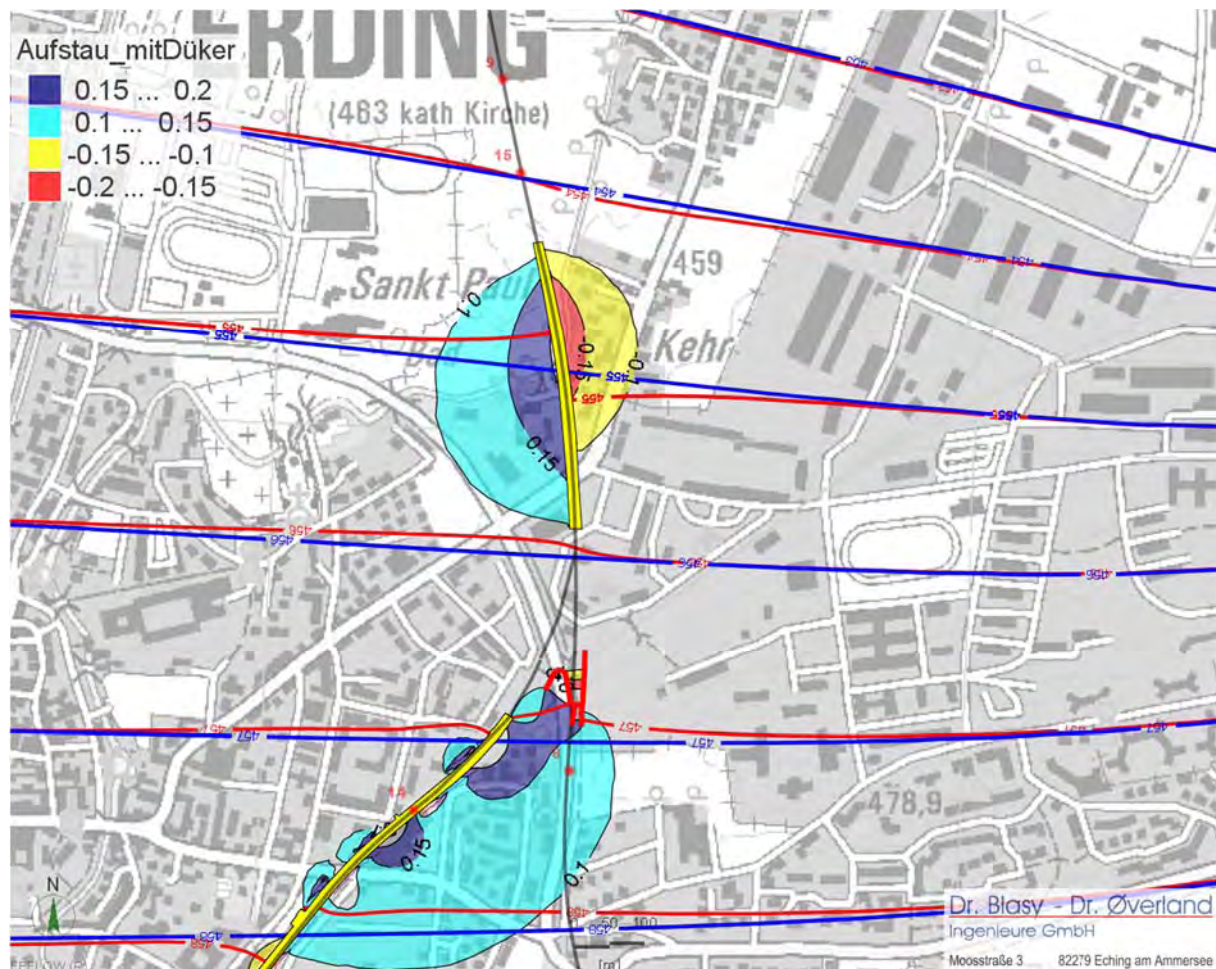


Abbildung 4: Grundwassermodell *Ist-Zustand* (inkl. Tunnel Erding mit Überleitungen)

### 5.3 Modellrechnung Planungszustand ohne Abhilfemaßnahmen

In das Modell *Ausgangszustand* mit Tunnel Erding wurde der Tunnel Sempt sowie der nördlich anschließende Trog bis zu dem Punkt, an dem die Trasse über den Grundwasserstauer auftaucht und eine relevante Unterströmung des Bauwerks möglich ist, als undurchlässiges Strömungshindernis in das Modell implementiert. Entsprechend der bezüglich der Bauwerksachse von Südsüdwesten kommenden Grundwasserströmung wird auf der westlichen Seite des Tunnels ein Aufstau und auf der östlichen Seite eine korrespondierende Absenkung erzeugt.

In der folgenden Abbildung sind die modellierten Grundwassergleichen des unbeeinflussten Zustands inkl. Tunnel Erding (blau), die Grundwassergleichen mit Implementierung des Tunnelbauwerks Sempt ohne weitere Abhilfemaßnahmen (rot) sowie die resultierenden Differenzhöhen (Aufstau oberstromig und Absenkung unterstromig) dargestellt.



**Abbildung 5: Grundwassermodell *Planungszustand* (inkl. Tunnel und Trog Sempt, ohne Abhilfemaßnahmen)**

Die numerische Berechnung kommt zu einem Ergebnis, das mit maximal 0,2 m Aufstau unterhalb der analytischen Berechnung (0,5 - 0,6 m) liegt. Die Reichweite der Auswirkungen > 10 cm liegt bei bis zu rd. 250 m.

Die Abweichung gegenüber der analytischen Berechnung resultiert aus einem im Modell spitzeren Anströmwinkel des Grundwassers. Bei der analytischen Abschätzung wurde hier auf der sicheren Seite liegend ein Winkel von 45° angenommen.

## 5.4 Modellrechnung Planungszustand mit Grundwasserüberleitungen

Um die berechneten Auswirkungen (oberstromiger Grundwasseraufstau und unterstromige Absenkung) zu minimieren bzw. unterhalb des wasserrechtlich i.d.R. tolerierbaren Ausmaßes von  $< |\pm 0,1 \text{ m}|$  zu halten, sind Abhilfemaßnahmen in Form von Grundwasserüberleitungen erforderlich.

Softwaretechnisch wurden die Überleitungen mit sog. *discrete-feature-elements* umgesetzt. Hierbei werden die oberstromigen Fassungsdrainagen und die unterstromigen Versickerungsrigolen auf zum Bauwerk parallele Kanten des Finite-Elemente-Netzes gesetzt. Auf jedem Netzknoten entlang der Drainagen erfolgte der Zustrom zur (bzw. Abstrom von der) Drainage. Um die eigentliche Überleitung zu simulieren, wird der Netzknoten des Endpunktes der oberstromigen Fassungsdrainage mit dem Netzknoten des Anfangspunktes der unterstromigen Versickerungsrigole über das Tunnelbauwerk hinweg kurz geschlossen.

Es ergeben sich daraus Potenzialhöhen am Einlauf und am Auslauf der Überleitung, die nahezu dem unbeeinflussten Zustand entsprechen.

### Hinweis zur softwarespezifischen Ermittlung der Überleitungsrate (Modellsoftware Feflow 8.0, DHI)

*Softwarespezifisch bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten, die Überleitungsrate mit dem Modell zu berechnen.*

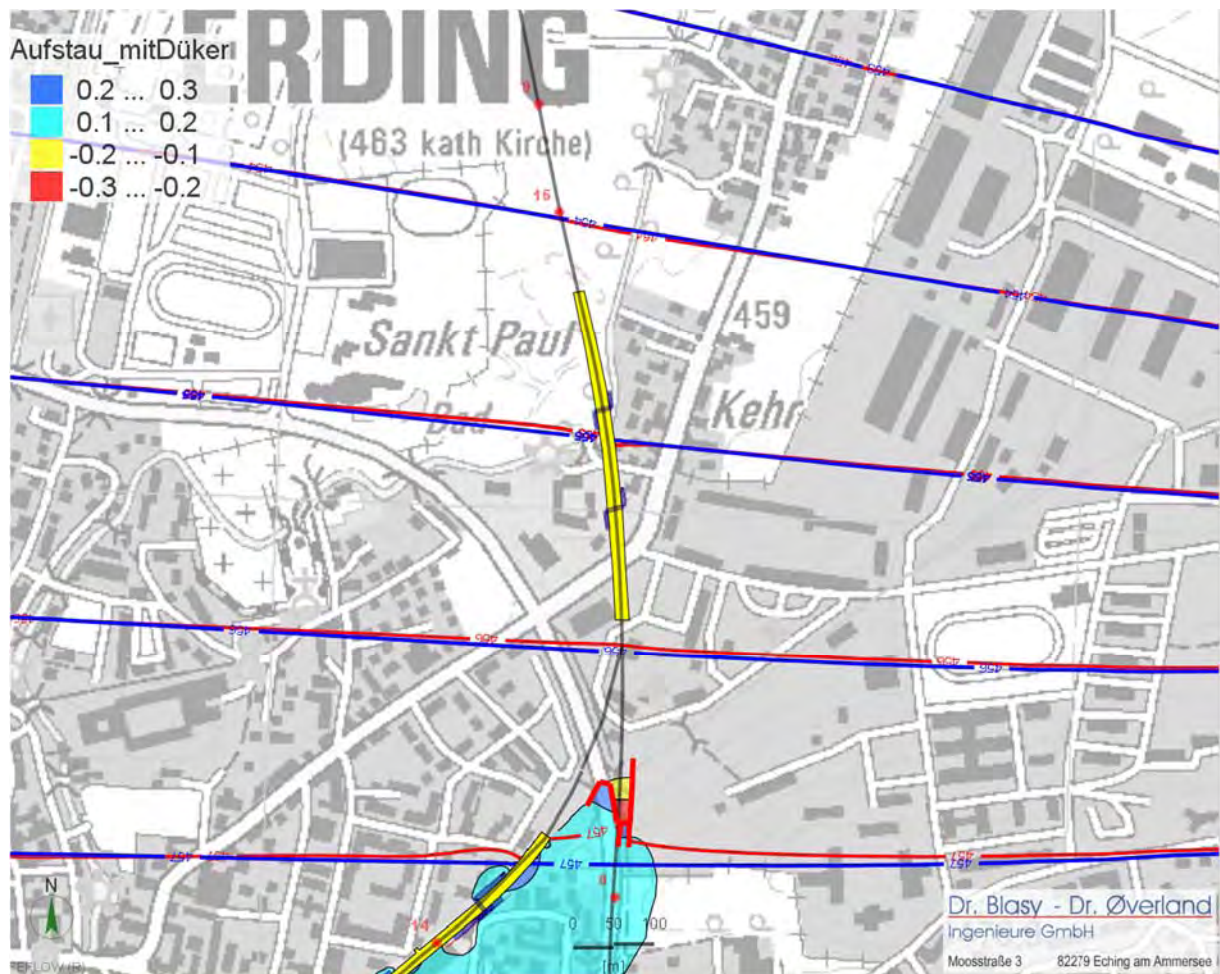
*(1) Den o.g. sog. discrete features wird ein Durchflussquerschnitt  $[m^2]$  zugewiesen. Am Netzknoten des „Einlaufs“ zur Überleitung wird die Strömungsgeschwindigkeit  $[m/s]$  ausgelesen. Aus dem Produkt dieser beiden Werte kann näherungsweise die Überleitungsrate  $[m^3/s]$  ermittelt werden.*

*(2) Es wird am Endpunkt der oberstromigen Fassungsrigole (d.h. am nördlichen Ende) und am Anfangspunkt der unterstromigen Versickerungsrigole (d.h. am südlichen Ende) jeweils eine Randbedingung „Fixpotenzial“ gesetzt, welche dem Wasserspiegel entspricht, der sich einstellt, wenn mittels discrete feature Element eine Grundwasserüberleitung simuliert wird. An Netzknoten, die mit einer Randbedingung Fixpotenzial belegt sind, kann die Entnahme- bzw. Zugaberate  $[l/s]$  ausgelesen werden, die zur Einhaltung dieses Fixpotenzials erforderlich ist. Diese Methode erfordert einen zusätzlichen Bearbeitungsschritt, liefert jedoch belastbarere Werte als die Methode (1).*

Einige vorab durchgeführte Variantenrechnungen hatten zum Ergebnis, dass mit Implementierung von zwei Überleitungen die Auswirkungen (Aufstau/Absenkung) auf ganzer Strecke  $< |\pm 0,1| \text{ m}$  gehalten werden können.

Das Ergebnis der Modellrechnung ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Es verbleibt ein Restaufstau zwischen den Überleitungen von  $< 0,1 \text{ m}$ .

Die exakte Lage der Grundwasserüberleitungen kann noch in Abstimmung mit den örtlichen Gegebenheiten und den Planungsvorgaben ermittelt werden. Es können sich damit noch geringfügige Änderungen des Auswirkungsbereiches ergeben.



**Abbildung 6: Grundwassermodell *Planungszustand* (inkl. Tunnel und Trog Sempt, mit Abhilfemaßnahmen; zwei Überleitungen; Screenshot Grundwassermodell)**

Für die beiden implementierten Überleitungen werden die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Überleitungsraten von insgesamt rd. 13 l/s berechnet. Dieser Durchfluss liegt über dem analytisch abgeschätzten Wert von rd. 6 l/s. Relativ betrachtet, ist dies zwar eine Abweichung von 100 %, im Sinne einer absoluten Abschätzung hinsichtlich der Dimensionierung von Überleitungen ist die Erhöhung von jeweils 3 l/s pro Überleitung nicht signifikant, da die baulichen Kapazitäten von Überleitungen in jedem Fall mit einer hohen Sicherheitsreserve ausgestattet sind.

**Tabelle 1: Berechnete Überleitungsraten für zwei Überleitungen**

Nr.	km	Drainagelängen rd. 25 m	Überleitungs-
			mengen
			l/s
1	ca. 14+740	Z-Drainage	5
2	ca. 14+620	Z-Drainage	8
		Summe	13

**Fazit:**

**Mit 2 Überleitungen mit jeweiligen Längen von rd. 25 m der oberstromigen Drainageleitungen der Grundwasserfassungen und der unterstromigen Versickerungsrigolen können die zulässigen Auswirkungsbeträge von  $\pm 0,1$  m eingehalten werden.**

**Geringfügige Überschreitungen der Zielvorgaben der Wasserwirtschaft sind unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in den betroffenen Bereichen Flurabstände von rd. 4 bis 5 m vorherrschen, tolerierbar.**

Eching am Ammersee, den 17.11.2023

Dr. Blasy – Dr. Øverland  
Ingenieure GmbH



i.V. Knut Hanke  
Dipl.-Geol.



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