



Georgenbach, Gewässer 3. Ordnung / Wildbach

Tunnel B2 in Starnberg – Einleitung von Grundwasser in den Georgenbach

Erläuterungsbericht

11.11.2021

Auftraggeber	Staatliches Bauamt Weilheim
Projekt:	Tunnel Starnberg B2
Baumaßnahme:	Einleitung von Grundwasser in den Georgenbach
Projektnummer:	E11723

E11723_Tunnel B2 in Starnberg
Einleitung von Grundwasser in den Georgenbach
Erläuterungsbericht

Qualitätssicherung

Dateiname Tunnel-Starnberg_EinleitungGW-Georgenbach_BERICHT-Rev02.docx
Datum 11.11.2021
Erstellt von Knud Kramer
Gesehen von Markus Ihm

EDR GmbH
Dillwächterstraße 5
80686 München
Deutschland

Änderungen:

Index	Geprüft am	Angaben	Geändert von:	Gesehen von:
01	09.11.2021	Vorabzug	Knud Kramer	Markus Ihm
02	11.11.2021	Endfassung Einarbeitung der Anmerkungen	Knud Kramer	Stl. Bauamt WM

Inhaltsverzeichnis

1 Anlass und Aufgabenstellung	4
2 Grundlagen	5
2.1 Verwendete Grundlagen, Fachliteratur und Software	5
2.2 Hydrologische Daten	6
2.3 Geologische Verhältnisse und vorgesehene Absenkbrunnen	7
2.4 Hochwassergefahrenfläche HQ_{100}	9
3 Hydraulische Berechnungen	10
3.1 Berechnungsmodell	10
3.2 Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen	12
4 Zusammenfassung	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnete Wasserspiegellagen ober- und unterstrom der Einleitstelle	12
---	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Projektgebiets (Quelle des Hintergrundbilds: BayernAtlas)	4
Abbildung 2: Lage des Portals Nord	4
Abbildung 3: Verlauf des Georgenbachs und Lage des Pegels (Quelle: www.hnd.bayern.de)	6
Abbildung 4: Modell-Zufluss für den Georgenbach	6
Abbildung 5: Geologische Bohrungen, GW-Stände und Höhenlage des Tunnelportals Nord.....	7
Abbildung 6: Lage der Absenkbrunnen am Portal Nord (Quelle [U3])	8
Abbildung 7: Längsschnitt Portal mit Absenkbrunnen (Quelle [U3])	8
Abbildung 8: Lage der Einleitstelle in den Georgenbach (Quelle [U3])	8
Abbildung 9: Überschwemmungsgebiete im Projektgebiet (Quelle Umweltatlas Bayern)	9
Abbildung 10: Modellgrenzen und Randbedingungen	10
Abbildung 11: Randbedingung am Modellauslauf	11
Abbildung 12: Längsschnitt der hydraulischen Berechnung	12
Abbildung 13: Fließtiefen bei Zuleitungsmenge 60 l/s.....	13
Abbildung 14: Fließtiefen bei Zuleitungsmenge 120 l/s	13

1 ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG

Der Durchgangsverkehr im Stadtgebiet Starnberg zwischen dem Ende der Autobahn 952 und der Bundesstraße 2 soll durch den Bau eines neuen Tunnels entlastet werden (siehe Abbildung 1).

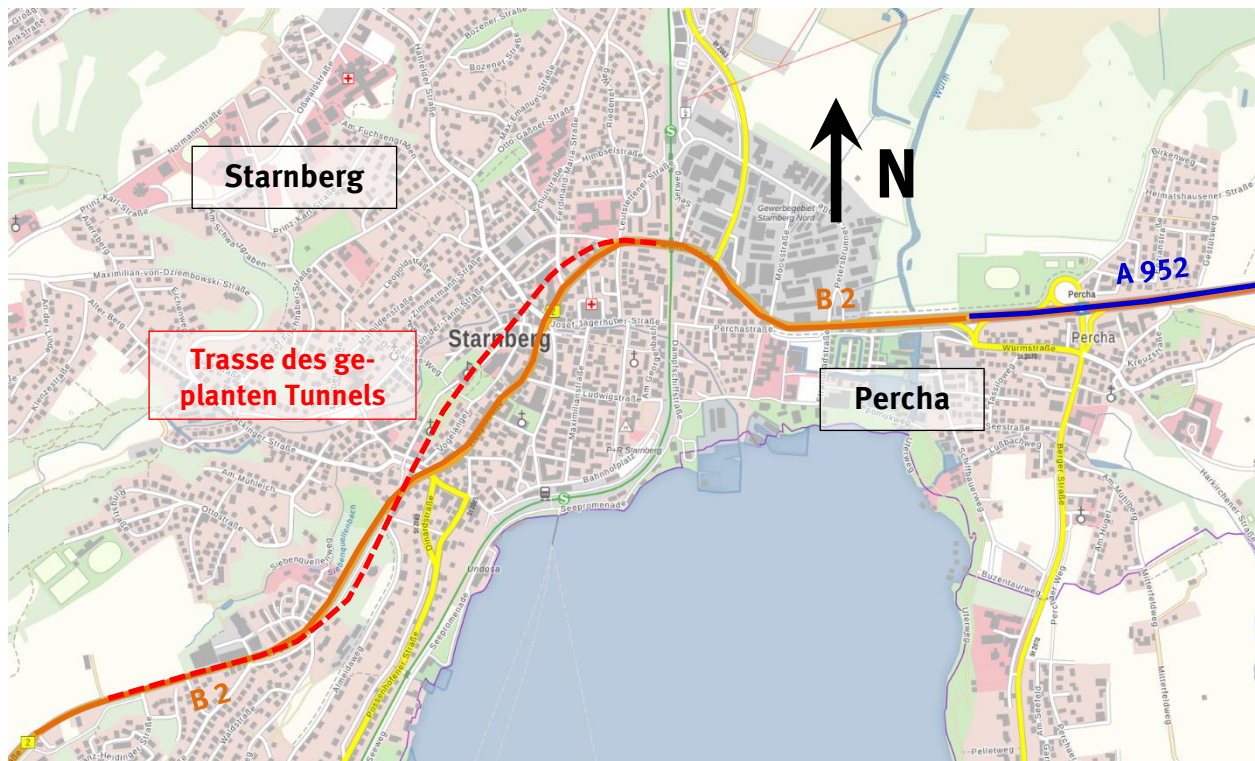


Abbildung 1: Lage des Projektgebiets (Quelle des Hintergrundbilds: BayernAtlas)

Das nördliche Portal des Tunnels befindet sich auf Höhe der Eisenbahnüberführung EÜ (vgl. Abbildung 2).

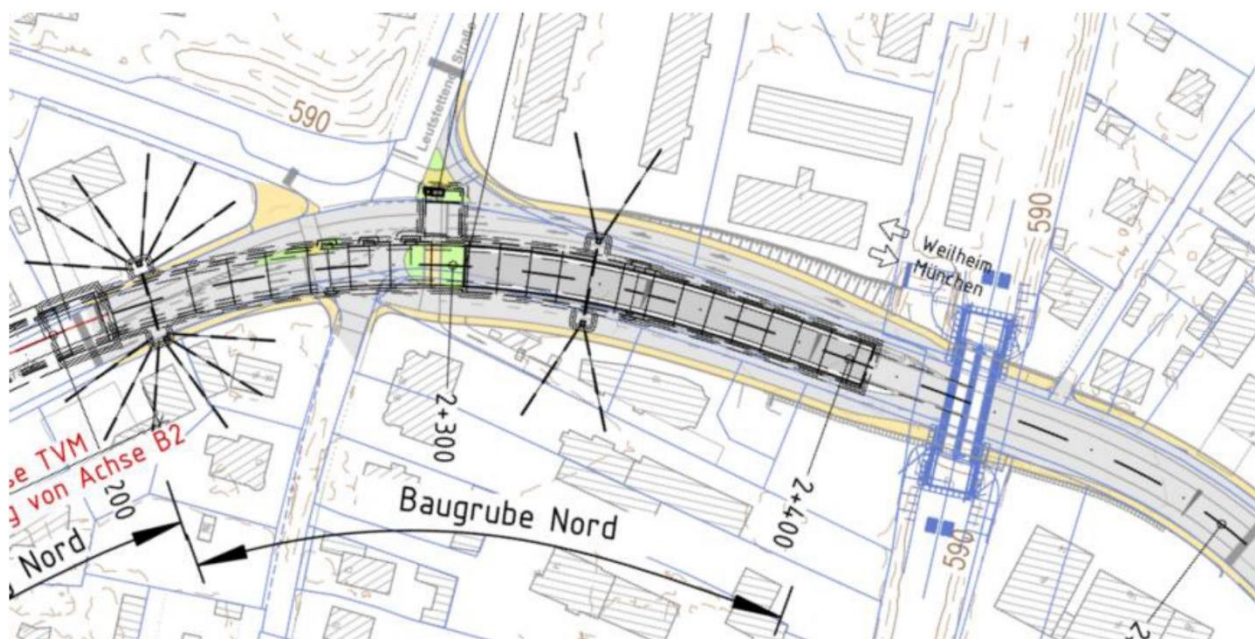


Abbildung 2: Lage des Portals Nord

Anhand von langzeitigen Grundwasser-Aufzeichnungen wurden derart hohe Grundwasserstände festgestellt, dass Wasser über die Trogabschlusswand des Troges Nord in den Tunnel einfließen würde.

Um dies nach Realisierung des Tunnels zu vermeiden, sollen zwei Absenkbrunnen errichtet werden, die im Bedarfsfall das Grundwasser lokal absenken. Die geförderte Grundwassermenge soll über eine Rohrleitung dem Georgenbach (Wildbach, Gewässer III. Ordnung) zugeführt werden.

Das WWA Weilheim (WWA) forderte einen hydraulischen Nachweis, dass mit der Einleitung des Grundwassers in den Georgenbach keine Verschlechterung der Hochwassersituation verbunden ist. Der vorliegende Bericht fasst die Grundlagen, Berechnungen und Ergebnisse dieses Nachweises zusammen.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Verwendete Grundlagen, Fachliteratur und Software

Folgende Grundlagen wurden vom WWA für die Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt:

- [U1] Hydraulikmodell (HYDRO_AS-2d) des Georgenbachs im Bereich der Stadt Starnberg bis zur Mündung in den Starnberger See, übergeben durch das WWA per digitalem Datenaustausch am 25.10.2021
 - Berechnungsnetz 2dm-Datei
 - diverse Ergebnis-Dateien
- [U2] Hydrogeologischer Bericht Teil 1 – Allgemeine Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse, TU München, März 2019 (Vorabzug)
- [U3] Tunnel Starnberg – Kappung GW-Spitzen Trog Nord, Zentrum Geotechnik der TU München und EDR GmbH, 04.05.2021
- [U4] Georeferenzierte digitale Orthofotos

Für die hydraulischen Berechnungen und Untersuchungen wurde folgende Software verwendet:

- [S1] HYDRO_AS-2d, Version 5.3.1: Programm zur Berechnung der Wasserspiegellagen (2d)
- [S2] SMS, Version 12.2.8: Programm zur Erstellung von 2d-Berechnungsmodellen sowie zur Auswertung und Darstellung hydraulischer Ergebnisse mittels HYDRO_AS-2d
- [S3] Zur Auswertung und Darstellung der Berechnungsergebnisse wird *Microsoft Excel 365* verwendet.

Folgende fachliche Literatur und Normen wurden der Bearbeitung zugrunde gelegt:

- [F1] Handbuch hydraulische Modellierung – Vorgehensweisen und Standards für die 2D-Modellierung von Fließgewässern in Bayern, Juli 2015, Bayerisches Landesamt für Umwelt
- [F2] Technische Hydromechanik Band 1 – Grundlagen, G. Bollrich, 6. Auflage, huss-Verlag, 2007
- [F3] Hydraulik im Wasserbau, R. Rössert, 10. Auflage, Oldenbourg Verlag, 1999

2.2 Hydrologische Daten

Im betrachteten Fließabschnitt des Georgenbachs befindet sich eine Pegelanlage, dessen hydrologischen Werte im Hochwassernachrichtendienst Bayern abgerufen werden können. In Abbildung 3 (Quelle: www.hnd.bayern.de) ist der Georgenbach und die Lage des Pegels dargestellt.

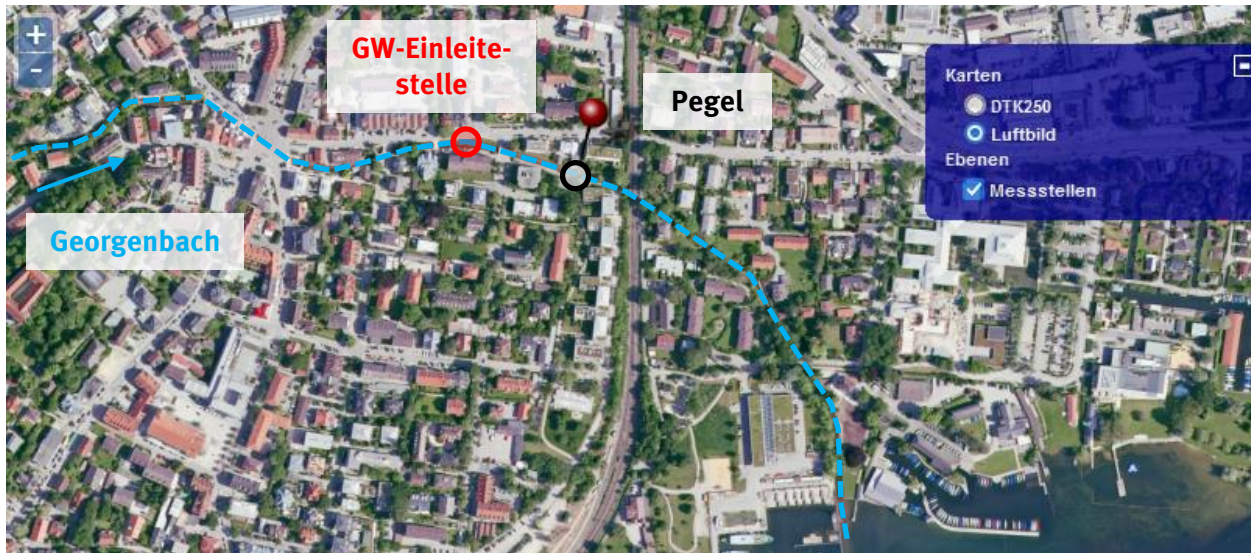


Abbildung 3: Verlauf des Georgenbachs und Lage des Pegels (Quelle: www.hnd.bayern.de)

Die hydrologischen Abflussdaten sind im vom WWA übergebenen Berechnungsmodell enthalten und werden unverändert für die Untersuchungen und die hydraulischen Berechnungen übernommen. Der Zufluss im Berechnungsmodell entspricht der Ganglinie des HW-Ereignisses vom 21.05.1999 mit einem Scheitelabfluss in Höhe von 27,6 m³/s (siehe Abbildung 4):

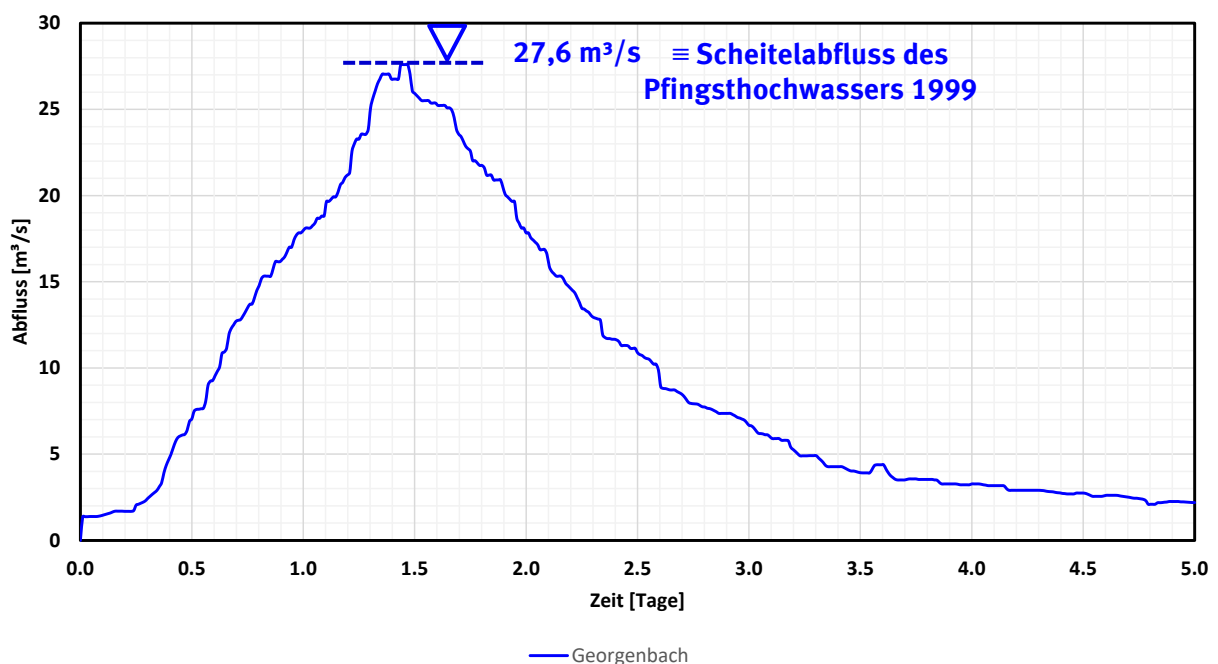


Abbildung 4: Modell-Zufluss für den Georgenbach

Die zukünftige Einleitstelle ist in Abbildung 3 ebenfalls eingetragen. An dieser Stelle wird im hydraulischen Modell ein zusätzlicher Zulauf eingegeben (vgl. Kapitel 3.1).

2.3 Geologische Verhältnisse und vorgesehene Absenkbrunnen

Untergrundverhältnisse und GW-Stände

Im Zuge der Objektplanung des Tunnels wurden umfangreiche geologische Erkundungen sowie Grundwasser-Beobachtungen durchgeführt.

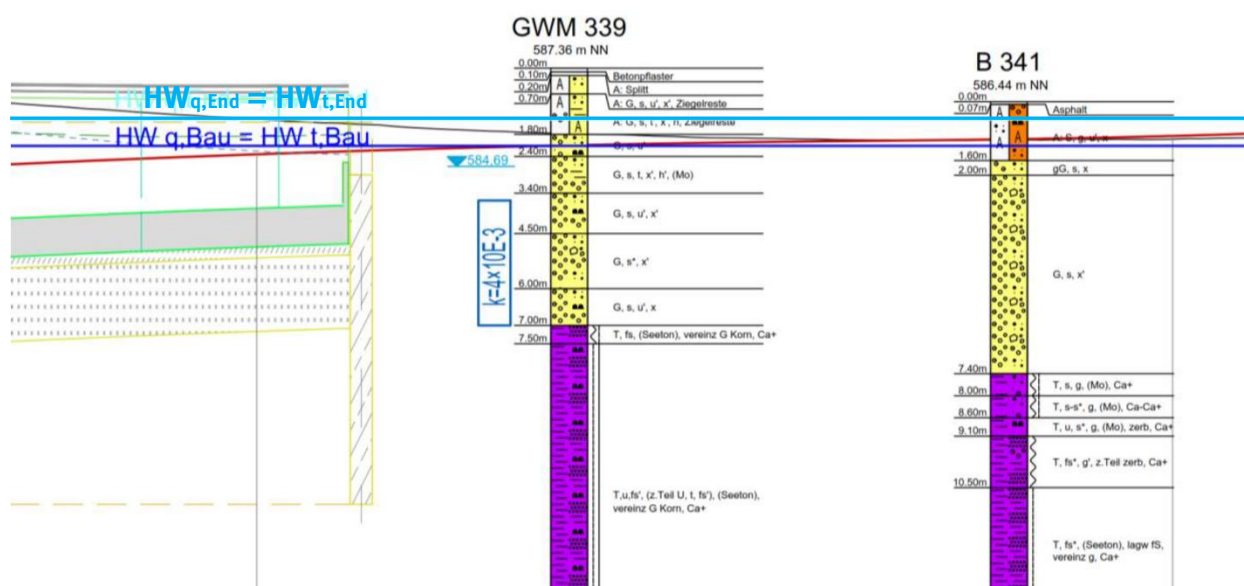


Abbildung 5: Geologische Bohrungen, GW-Stände und Höhenlage des Tunnelportals Nord

In Quelle [U3] werden die Untergrundverhältnisse wie folgt beschrieben: „Am östlichen Ende vom Trog Nord stehen unter geringmächtigen Auffüllungen zunächst bis in eine Tiefe von ca. 6 m bis 10 m u GOK zumeist sandige, schwach steinige Kiese quartären Alters an. Unter diesen folgen Seetone von weicher bis halbfester Konsistenz bis in eine Tiefe von schätzungsweise mindestens 20 m u GOK. Das Grundwasser fließt im Umfeld des Trogs Nord zumeist in etwa südöstlicher Richtung zum Starnberger See hin. Die Bemessungsgrundwasserstände für die Bauzeit und den Endzustand liegen bei $HW_{Bau} = 585,23$ m. ü. NN und $HW_{End} = 585,95$ m. ü. NN.“

Zudem wurde bei einem Vergleich zwischen der Sohlhöhe des Tunnelportals Nord und den gemessenen Grundwasserständen folgende Grundwasserverhältnisse gemäß Quelle [U3] festgestellt: „Bei einer Auswertung für das Jahr 2019 wurde ermittelt, dass bei einer angenommenen Höhe der Trogabschlusswand von 584,90 m. ü. NN bei fünf Ereignissen Grundwasser in den Tunnel eingetreten wäre. Die Dauer dieser Einzelereignisse lag zwischen ca. einem Tag und ca. sechs Tagen und addierte sich auf insgesamt ca. 15 Tage.“

Errichtung von zwei Absenkbrunnen

Treten zukünftig – nach Realisierung des Tunnels – erhöhte Grundwasserstände auf, soll durch zwei Absenkbrunnen der Grundwasserspiegel lokal unmittelbar vor dem Tunnelportal Nord abgesenkt werden. Die Lage und Höhe der beiden Absenkbrunnen sind in den nachfolgenden beiden Abbildungen schematisch dargestellt.

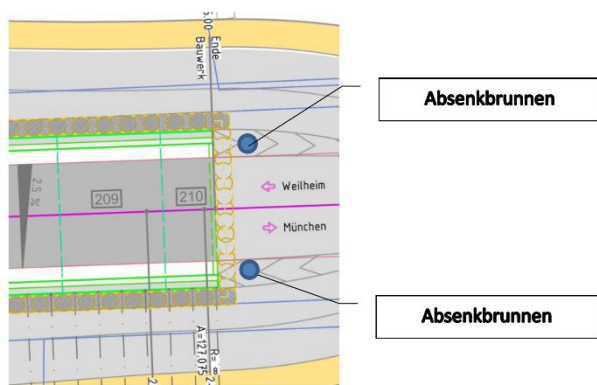


Abbildung 6: Lage der Absenkbrunnen am Portal Nord (Quelle [U3])

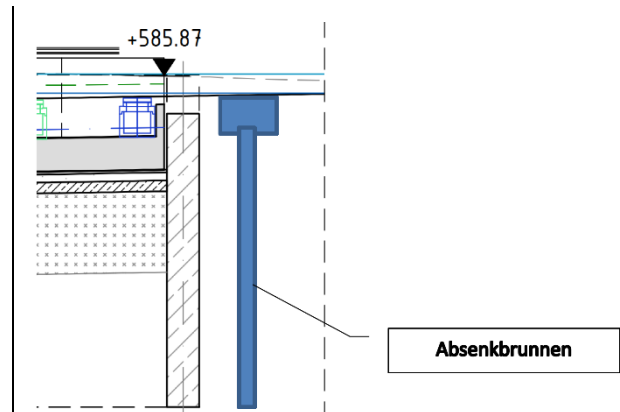


Abbildung 7: Längsschnitt Portal mit Absenkbrunnen (Quelle [U3])

Die zu fördernde Wassermenge wird nach [U3] zu 60 l/s berechnet. Es ist vorgesehen, die Wassermenge über eine neue Druckleitung entlang der Leutstettener Straße in Richtung Georgenbach zu führen und dort einzuleiten (siehe Abbildung 8).

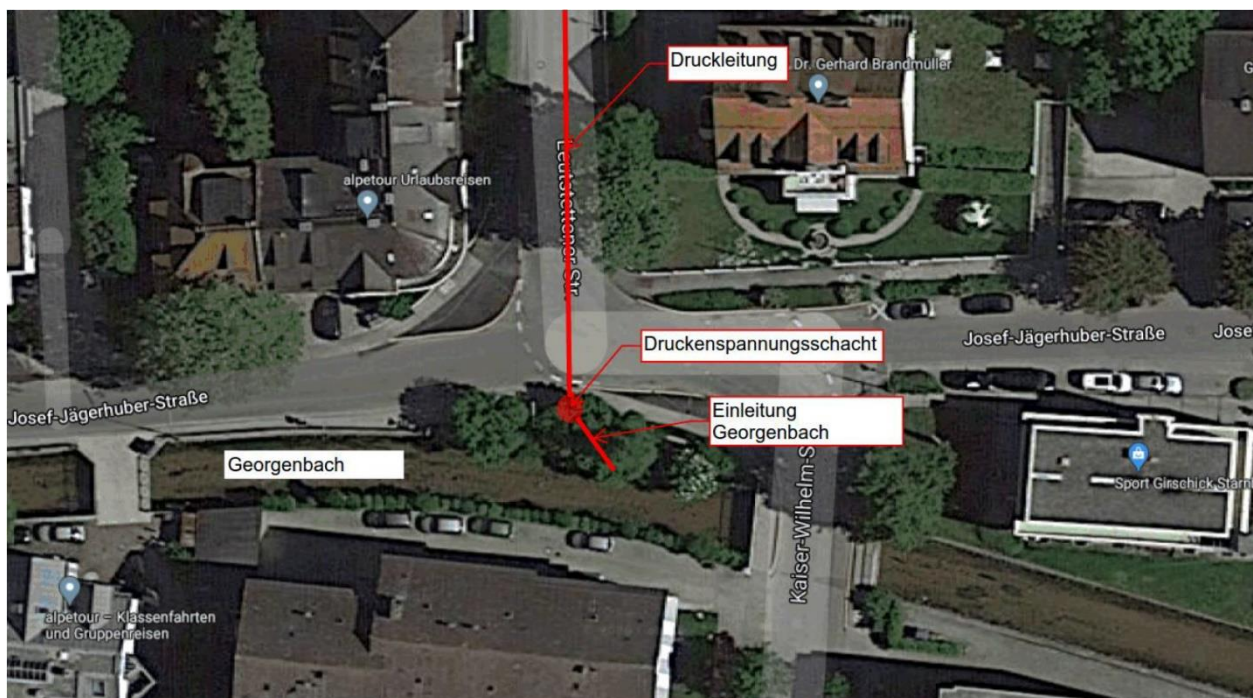


Abbildung 8: Lage der Einleitstelle in den Georgenbach (Quelle [U3])

Gemäß hydrogeologischem Bericht Teil 1 (Quelle [U2]) fallen die Grundwasserisohypsen überwiegend in Richtung Starnberger See ab, d.h. der Grundwasserstrom führt radial auf den Starnberger See zu. Dadurch, dass das geförderte Grundwasser zukünftig oberflächlich über den Georgenbach abgeführt wird, bleibt der Grundwasserkreislauf dem Grunde nach gleich.

2.4 Hochwassergefahrenfläche HQ₁₀₀

Die aktuellen Hochwassergefahrenflächen können für viele Regionen in Bayern im Internet über den Informationsdienst ‚Überschwemmungsgefährdete Gebiete‘ (Umweltatlas Bayern, Homepage https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_ue_gebiete) abgerufen werden.

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt die im IÜG Bayern eingetragenen Überschwemmungsgebiete und Hochwassergefahrenflächen innerhalb des Projektgebiets. Überschwemmungsgebiete liegen demzufolge für den Lüßbach (**hellblaue** Fläche) vor, das Ü-Gebiet der Würm gilt derzeit als festgesetzt (**blau gekachelte** Fläche). Die Überschwemmungsgebiete des Georgenbachs sind dagegen noch nicht festgesetzt.

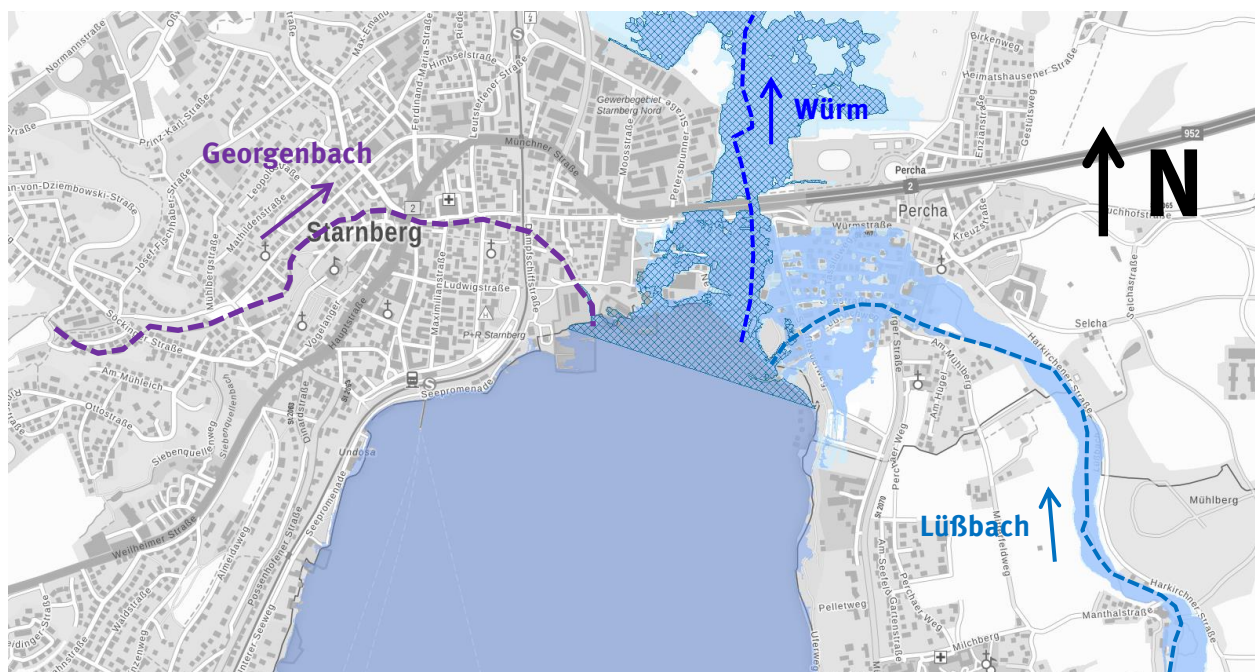


Abbildung 9: Überschwemmungsgebiete im Projektgebiet (Quelle Umweltatlas Bayern)

3 HYDRAULISCHE BERECHNUNGEN

3.1 Berechnungsmodell

Allgemeines

Vom WWA wurde für das Stadtgebiet das 2d-Berechnungsmodell des Georgenbachs übergeben [U1], das als Grundlage der hydraulischen Berechnungen verwendet wird.

Die hydraulischen Berechnungen werden mit dem Strömungsmodell HYDRO_AS-2d (Version 5.3.1) [S1] durchgeführt. Dieses Modell basiert auf der numerischen Lösung der 2-dimensionalen, tiefengemittelten Strömungsgleichungen mit der Finite-Volumen-Diskretisierung und verwendet als graphische Oberfläche das Programmsystem SMS (Surface Water Modelling System, Version 12.2.8) [S2].

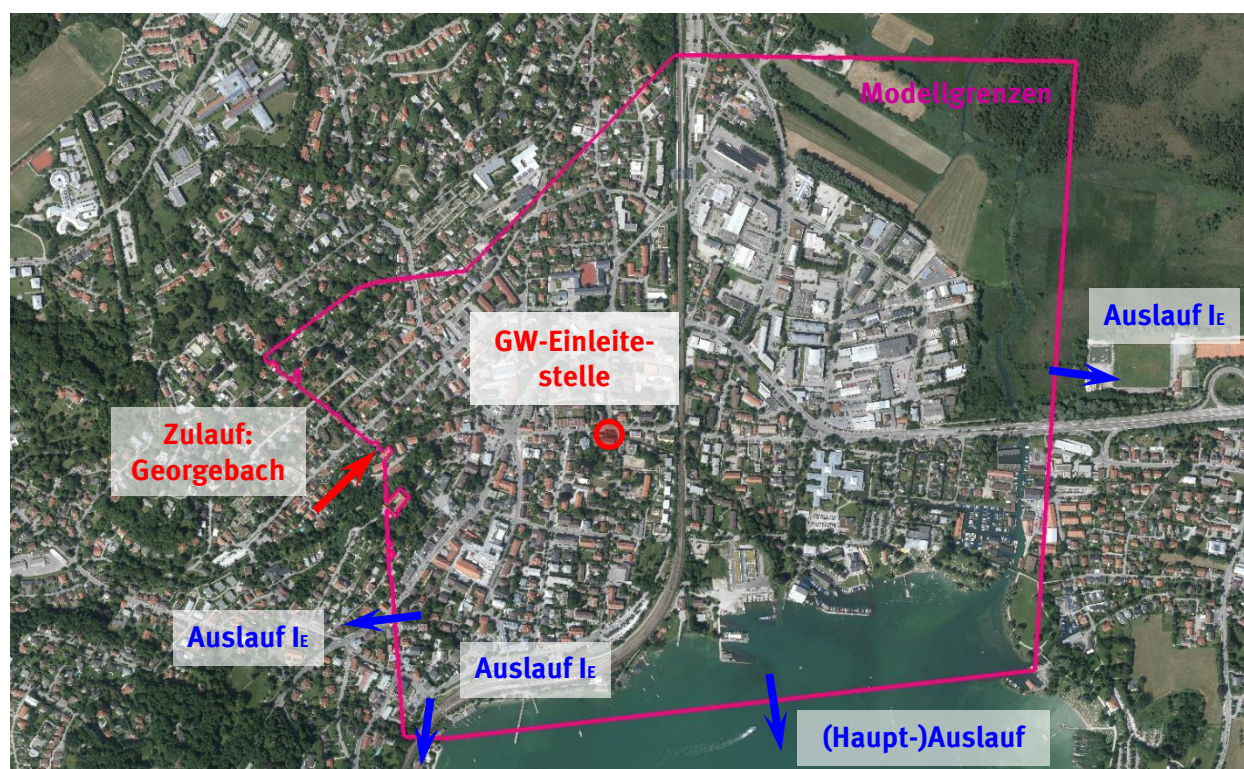


Abbildung 10: Modellgrenzen und Randbedingungen

Vorgenommene Anpassungen des Modells

Vor Durchführung der hydraulischen Berechnungen

- wurden die vom WWA übergebenen Wasserspiegellagen nachgerechnet,
- an der Stelle der vorgesehenen Einleitung ein Zulauf definiert
→ Einleitungsmenge 60 l/s (ermittelter Wert)
→ Einleitungsmenge 120 l/s (doppelter Ansatz des ermittelten Werts)
- und erneut Wasserspiegellagenberechnungen durchgeführt.

Die Nachrechnung der Wasserspiegellagen durch EDR (**Schritt a**) mit der Version 5.3.1 hat dieselben Werte ergeben, die vom WWA übergeben worden sind.

Im Bereich der Einleitung wird zum einen der einfache (60 l/s) und zum anderen der doppelte Abfluss (120 l/s) der ermittelten Menge als Zulauf definiert (**Schritt b**).

Mit dem um den neuen Zulauf erweiterten Modell wurden die Wasserspiegellagen im Projektgebiet erneut ermittelt (**Schritt c**). Die Ergebnisse wurden in Vergleich mit dem ursprünglich vom WWA übergebenen Modell gesetzt und sind in Kapitel 3.2 erläutert.

Randbedingungen im Modell

Neben den Zuflüssen sind auch die Randbedingungen am unteren Modellrand zu definieren, wobei als maßgebliche Auslaufbeziehung der Wasserspiegelverlauf des Starnberger Sees zum Zeitpunkt des Pflingsthochwassers 1999 darstellte. Hier wurde vom WWA eine Wasserspiegel-Zeit-Beziehung vorgegeben, die in nachfolgender Abbildung 11 dargestellt ist.

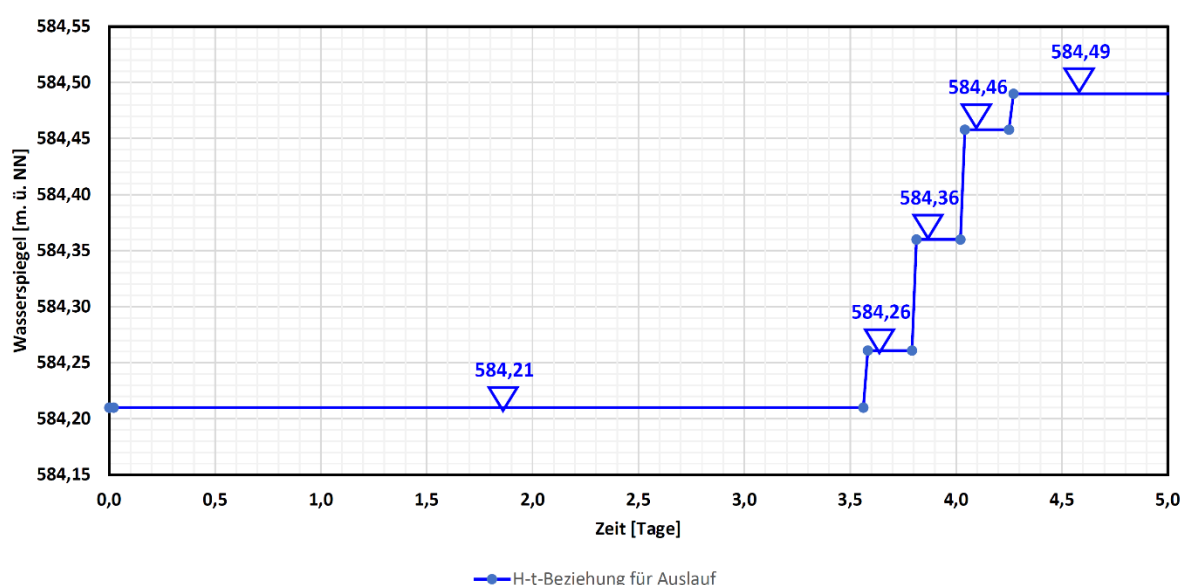


Abbildung 11: Randbedingung am Modellauslauf

Allgemeine Berechnungsparameter

Die allgemeinen Berechnungsparameter wurden vom ursprünglich übergebenen Berechnungsmodell unverändert übernommen:

- Simulationszeit: 432.000 Sekunden (entspricht 120 Stunden bzw. 5 Tage)
- Minimale Wassertiefe (H_{\min}) = 0,01 m
- Maximale erlaubte Fließgeschwindigkeit (VELMAX) = 15 m/s
- Minimal erlaubte Elementgröße A_{\min} = 0,01
- Viskositätskoeffizient (CMUVISC) = 0,6
- Courant-Friedrichs-Lewy-Zahl (CFL) = 0,8

Die definierten Rauheiten wurden ebenfalls unverändert vom WWA-Modell übernommen.

3.2 Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen

Bei den hydraulischen Berechnungen wurde neben dem ursprünglichen Zufluss (Ganglinie siehe Abbildung 4) ein zusätzlicher Zulauf in Höhe von 60 und 120 l/s als konstanter Zulauf berücksichtigt. Die Ergebnisse hierzu sind zunächst als Längsschnitt in der nachfolgenden Abbildung 12 dargestellt.

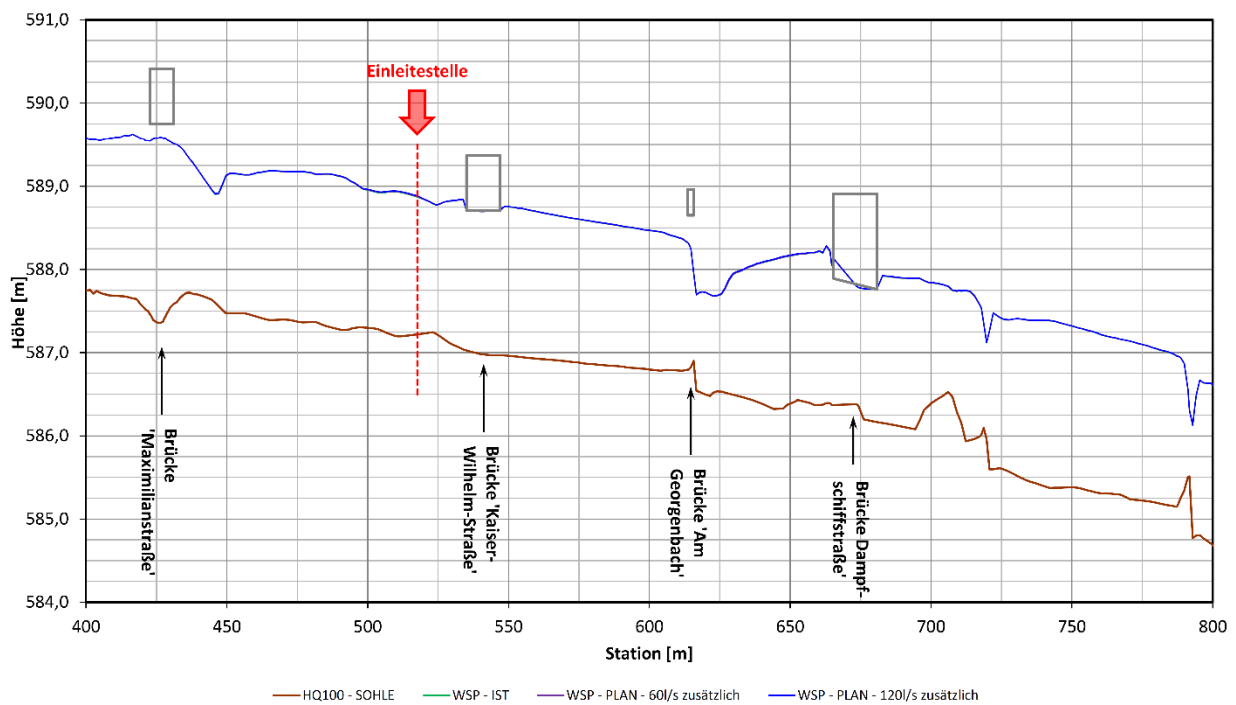


Abbildung 12: Längsschnitt der hydraulischen Berechnung

Aufgrund der kaum erkennbaren Unterschiede bei den Wasserspiegelverläufen in Abbildung 12 sind in nachfolgender Tabelle 1 die ermittelten Wasserspiegellagen als Zahlenwerte aufgelistet.

Station [m]	Abstand zur Einleitestelle [m]	Ursprüngliche Berechnung Wasserspiegel [m]	Zugabe von 60 l/s		Zugabe von 120 l/s	
			Wasserspiegel [m]	Differenz [mm]	Wasserspiegel [m]	Differenz [mm]
443	-74,5	589,028	589,029	1	589,029	1
444	-73,2	588,961	588,964	3	588,966	5
451	-66,7	589,150	589,153	3	589,155	5
475	-42,3	589,171	589,173	2	589,175	4
501	-16,7	588,945	588,949	4	588,954	9
518	Einleitestelle	588,869	588,877	8	588,885	16
520	2,7	588,834	588,836	2	588,838	4
523	5,5	588,789	588,791	2	588,794	5
526	8,1	588,787	588,789	2	588,792	5
550	32,0	588,754	588,756	2	588,758	4
576	58,2	588,596	588,598	2	588,600	4
600	82,1	588,466	588,468	2	588,470	4
625	107,7	587,696	587,698	2	587,704	8
651	133,0	588,166	588,169	3	588,176	10
676	158,4	587,768	587,768	0	587,768	0
700	182,6	587,837	587,840	3	587,842	5
725	206,9	587,417	587,419	2	587,420	3
750	232,8	587,314	587,316	2	587,317	3
775	257,6	587,094	587,095	1	587,097	3
800	282,1	586,618	586,620	2	586,622	4

Tabelle 1: Berechnete Wasserspiegellagen ober- und unterstrom der Einleitestelle

Hieraus ergeben sich für die beaufschlagten Einleitungsmengen bis zu ca. 4 mm (60 l/s) und bis zu 10 mm (120 l/s) höhere Wasserspiegellagen ober- und unterstrom der Einleitstelle. Direkt an der Einleitstelle ergeben sich Wasserspiegelerhöhung von 8 mm (60 l/s) und 16 mm (120 l/s).

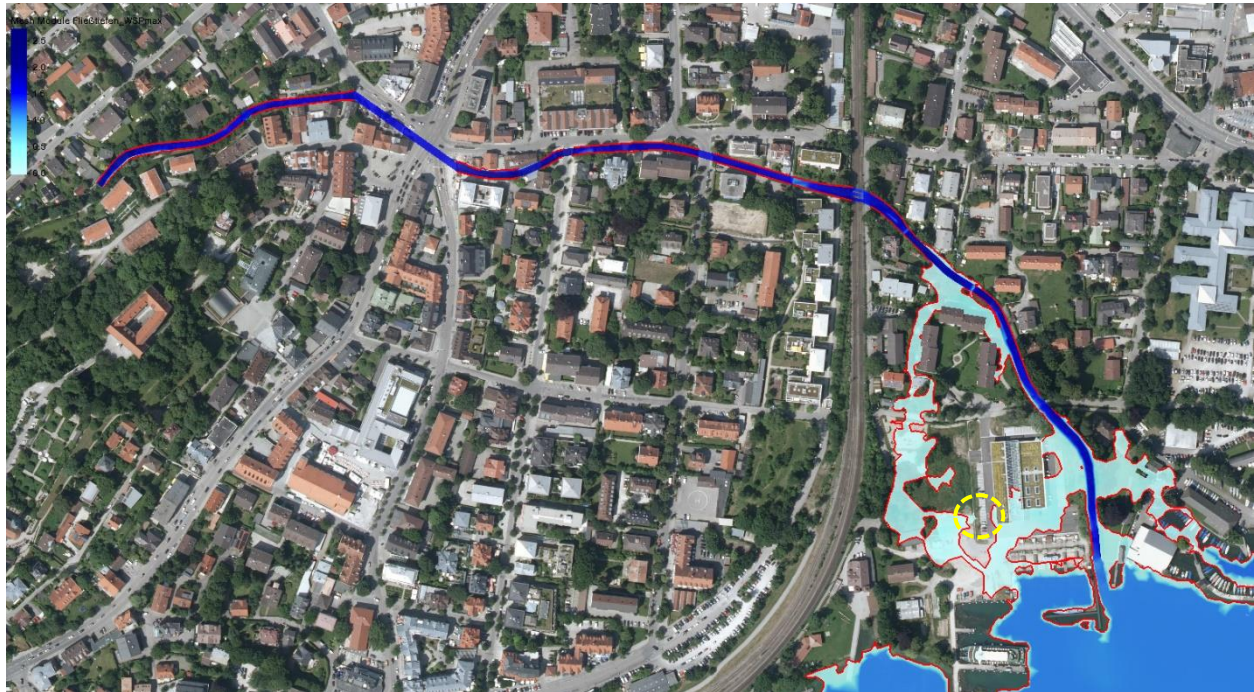


Abbildung 13: Fließtiefen bei Zuleitungsmenge 60 l/s

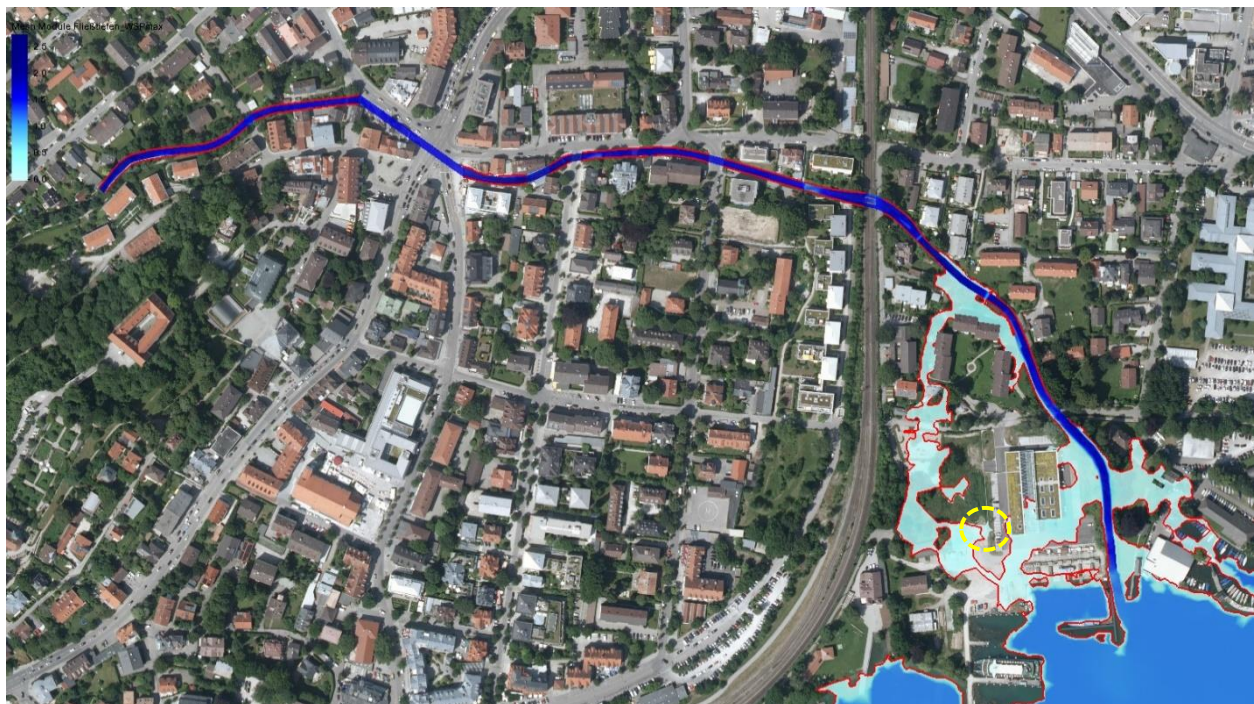


Abbildung 14: Fließtiefen bei Zuleitungsmenge 120 l/s

Die Fließtiefendarstellung für die beiden Rechenläufe sind in Abbildung 13 und Abbildung 14 abgebildet, wobei die Überschwemmungsgebietsgrenzen der ursprünglichen Berechnung als rote Linien eingetragen sind. Aus den beiden Abbildungen ist ersichtlich, dass sich nur sehr lokale Änderungen des Überschwemmungsgebiets ergeben (gelbe Markierung).

Im Hinblick auf die Modellgenauigkeit können diese Veränderungen als geringfügig eingeordnet werden. Eine Gefährdung der Hochwassersituation durch die Einleitung des Grundwassers ist aus Sicht von EDR – selbst bei Ansatz der doppelten Fördermenge (120 l/s) – nicht gegeben.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Der Durchgangsverkehr im Stadtgebiet Starnberg zwischen dem Ende der Autobahn 952 und der Bundesstraße 2 soll durch den Bau eines neuen Tunnels entlastet werden. Anhand von langzeitigen Grundwasser-Aufzeichnungen wurden am Trogbauwerk Nord derart hohe Grundwasserstände festgestellt, dass Grundwasser über die Trogabschlusswand in den Tunnel einfließen würde.

Um dies nach Realisierung des Tunnels zu vermeiden, sollen zwei Absenkbrunnen errichtet werden, die im Bedarfsfall das Grundwasser lokal absenken. Die geförderte Grundwassermenge soll über eine Rohrleitung dem Georgenbach (Wildbach, Gewässer III. Ordnung) zugeführt werden.


Das WWA Weilheim forderte einen hydraulischen Nachweis, dass mit der Einleitung des Grundwassers in den Georgenbach keine Verschlechterung der Hochwassersituation verbunden ist.

Anhand hydraulischer Berechnungen werden durch die beaufschlagten Einleitungsmengen bis zu ca. 4 mm (60 l/s) und bis zu 10 mm (120 l/s) höhere Wasserspiegellagen ober- und unterstrom der Einleitstelle berechnet. Direkt an der Einleitstelle ergeben sich Wasserspiegelerhöhung von 8 mm (60 l/s) und 16 mm (120 l/s). Im Hinblick auf die Modellgenauigkeit können diese Veränderungen als geringfügig eingeordnet werden. Eine Gefährdung der Hochwassersituation durch die Einleitung des Grundwassers ist aus Sicht von EDR – selbst bei Ansatz der doppelten Fördermenge (120 l/s) – nicht gegeben.

München, 11.11.2021
EDR GmbH

A handwritten signature in blue ink that reads "Knud Kramer".

i.A. Knud Kramer
Projektbearbeiter

A handwritten signature in blue ink that reads "M. Ihm".

i.V. Markus Ihm