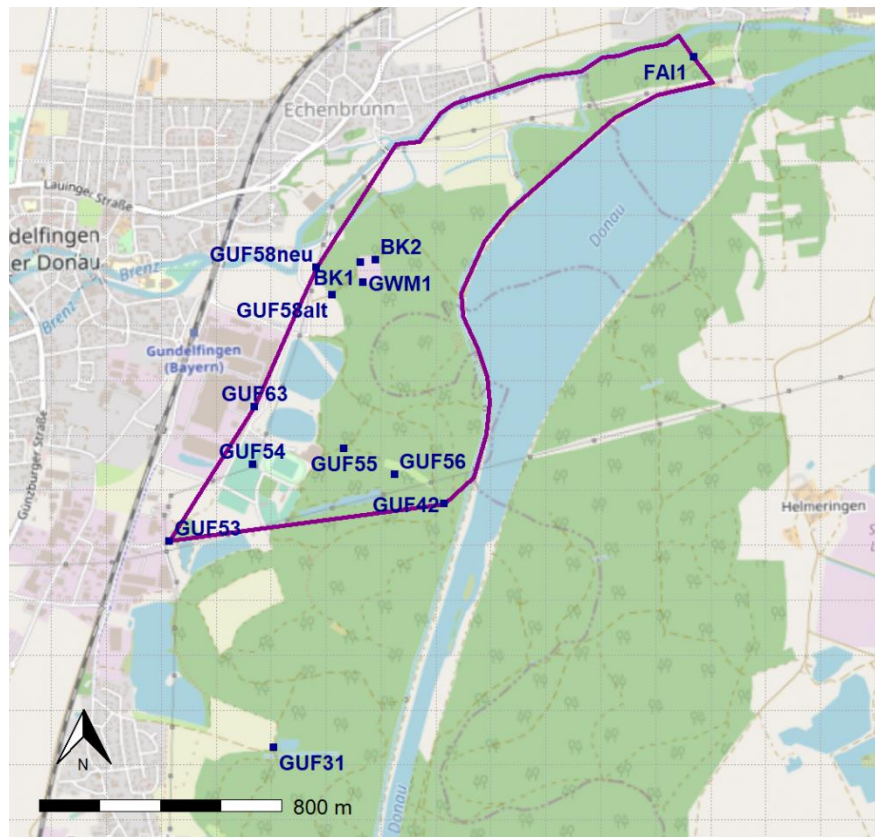


Grundwasserbeeinflussung durch den Einbau einer Spundwand um die Kläranlage Gundelfingen

Grundwassermodellierung und Bewertung



Bearbeiter: M.Sc. Hydrologie Joscha Schelhorn

Auftraggeber: Stadt Gundelfingen,
Professor-Bamann-Straße 22,
89423 Gundelfingen a.d. Donau

Juli 2023

GIT HydroS Consult GmbH

Bertoldstr. 61

79098 Freiburg

Tel.: +49 761 211138-10

Fax.: +49 761 211138-29

Inhaltsverzeichnis	
1	Einleitung 3
2	Datengrundlage und hydrogeologischer Modellaufbau 4
2.1	Grundwassermodell: Donau (Iller bis Lech) – Verbesserung Hochwasserschutz – Datenmanagement und Modelle 4
2.2	Hydrogeologie 5
2.3	Modellgebiet und Modellaufbau 6
2.4	Randbedingungen des Modells 11
2.5	Modellsoftware..... 13
3	Modellergebnisse und Einbau Spundwand 14
3.1	Darstellung der Modellergebnisse 14
3.2	Modellvalidierung und Modellergebnisse 15
3.3	Einbau Spundwand 18
3.4	Einbautiefe 19
3.5	Ausführung der Spundwand..... 20
4	Fazit 28
5	Literatur 31
6	Anhang 32

1 Einleitung

Die Stadt Gundelfingen plant die bestehende Kläranlage im Weidweg 1 am östlichen Ortsrand der Gemeinde Gundelfingen im Donautal zu erweitern und den bestehenden Hochwasserdamm zu sanieren bzw. zu erneuern. Da die geplanten Baumaßnahmen bis in das Grundwasser reichen, muss das Grundwasser des gutdurchflossenen quartären Porengrundwasserleiters abgesenkt werden. Hierfür soll die Kläranlage mit einer bis in den Grundwasserstauer reichenden Spundwand umschlossen werden. Zudem soll die Spundwand nach der Fertigstellung der Bauarbeiten bestehen bleiben und einerseits als Hochwasserschutz die Bauwerke schützen und andererseits eine Überschwemmung ausgehend vom Grundwasser verhindern.

Steinbacher-Consult hat im Auftrag der Stadt Gundelfingen mit dem WWA Donauwörth abgestimmt, dass eine Abschätzung durch ein vereinfachtes Grundwassermodell auf bestehender Datengrundlage und den geplanten Baugrunderkundungen ausreichend ist, um die Auswirkungen der Spundwand auf die Grundwasserfließverhältnisse zu bewerten.

Für den Genehmigungsantrag des Bauvorhabens ist mit Hilfe eines vereinfachten numerischen Grundwassermodells darzulegen, wie sich die Spundwand (außerhalb) auf die Grundwasserverhältnisse (Aufstau) auswirken wird. Des Weiteren sollen anhand der Ergebnisse eventuelle negative Beeinflussungen Dritter bewertet bzw. ausgeschlossen und die Auswirkungen von verschiedenen Ausführungen der Spundwand auf die Grundwasserstände innerhalb der Spundwand untersucht werden.

Die Erstellung des vorgesehenen Grundwassermodells erfolgt hierbei auf Grundlage der bereits vorhandenen Datengrundlage. Diese ist der Bericht der Baugrunderkundung [IFM, 2018], das aktuelle Baugrundgutachten [HPC, 2022], öffentlich verfügbare Daten, die Grundwasserstandsmessungen der LEW (LEW Wasserkraft GmbH) [LEW, 2022], die Grundwassermessstellen Kläranlage Gundelfingen [GUF, 2022] und der Modellbericht zum Grundwassermodell „Donau (Iller bis Lech) – Verbesserung Hochwasserschutz – Datenmanagement und Modelle“ [Simultec, 2018]. Mit dieser Datengrundlage soll ein Standortmodell aufgebaut werden, welches die hydrogeologischen Verhältnisse nachbildet.

Mit diesem operativen Grundwasserströmungsmodell für den Bereich der Kläranlage Gundelfingen werden in diesem Modellbericht die Auswirkungen der Spundwand, sowohl innerhalb als auch außerhalb der Spundwand, in verschiedenen Ausführungen bewertet und die Frage beantwortet, ob von möglichen Beeinträchtigungen oder Betroffenheiten Dritter auszugehen ist.

2 Datengrundlage und hydrogeologischer Modellaufbau

2.1 Grundwassermodell: Donau (Iller bis Lech) – Verbesserung Hochwasserschutz – Datenmanagement und Modelle

Aufgabe dieses Modells war es die Auswirkungen von gesteuerten und ungesteuerten Rückhalteräumen im Donautal zu untersuchen, speziell, wie sich die Flutung von Rückhalteräumen auf den Grundwasserspiegel auswirkt. Das Modellgebiet mit einer Größe von 682 km² liegt im Donautal zwischen Iller und Lech und kann als Großraummodell angesehen werden. Der Schottergrundwasserleiter des Donautals wurde als zweidimensionales Modell mit instationären Randbedingungen mit der Modellsoftware Feflow in der Version 6.2 erstellt [Simultec, 2018].

Als Modelluntergrenze wurde die Aquifergrenze des Quartärs festgesetzt und diese als alleinige Schicht im Modell implementiert. Es handelt sich somit um ein 2D Modell. Es wurde keine weitere vertikale Differenzierung der Schichten durchgeführt. Für die Kalibrierung und Validierung des Modells wurden zahlreiche Grundwassermessstellen im Modellgebiet für einzelne Zeitabschnitte zwischen 1999 und 2015 verwendet. Für die instationäre Kalibrierung der Parameter „Durchlässigkeits- und Leakagezonen“ wurden größere Parameterräume (Zonierung) definiert und einerseits eine manuelle und andererseits eine automatische Kalibrierung mit der Software PEST [2007] durchgeführt. Das Kalibrierungsziel bei den Grundwasserständen war ein RSME von 40 cm, ein Mittelwert von 30 cm und ein Median von 20 cm. Dies wurde als hinreichend für die Modelluntersuchung erachtet und es wurde betont, dass für eine genauere Kalibrierung eine kleinräumigere Unterteilung der Parameterräume durchgeführt werden müsste [Simultec, 2018]. Zudem wurden verschiedene Sensitivitätsanalysen zur Bewertung und Überprüfung der Empfindlichkeit einzelner Parameter des Modells realisiert und die Parameter Leakage und Durchlässigkeit als sensitiv ausgewiesen.

Die Ergebnisse der Kalibrierung der Durchlässigkeitswerte im Donautal liegen zwischen 5×10^{-4} bis 1×10^{-2} m/s und waren somit im Rahmen der zu erwarteten Spannweite. Der Speicherkoeffizient von 0,1 wurde bei der Kalibrierung nicht variiert und konnte die Grundwasserstände im Gebiet befriedigend nachbilden [Simultec, 2018].

Das Grundwassermodell von Simultec [2018] bildet hauptsächlich die Datengrundlage für den Hydrogeologischen Aufbau, die Durchlässigkeitswerte und die Grundwasserfließrichtung für die Modellierung.

2.2 Hydrogeologie

Die Hydrogeologie im Donautal bilden die quartären Kiese als oberster quartärer Grundwasserleiter, welcher grundwasserführend und hoch durchlässig ist. Angrenzend darunter treten bindige Molasse-Schichten auf, welche den Grundwasserstauer darstellen und teilweise von sandigen Zwischenlagen durchzogen sind, wo Grundwasser erbohrt wurde. Dort weist das Grundwasser teils gespannten Charakter auf [IFM, 2018].

Im Baugrundgutachten von HPC [2022] spiegeln die Mächtigkeiten der Schichten die Werte aus dem Modell Simultec [2018] gut wider. In der Grundwassermessstelle BK1 wurde der Grundwasserstand bei 2 m und die kiesigen Schichten bis 4,5 m erbohrt (**Tabelle 1**). Ab einer Teufe von 4,5 m erhöht sich der Schluff-, Sand- und Tonanteil und in einer Tiefe von 13 m wurde ein zweiter Grundwasserstand in einer stark schluffigen-sandigen Schicht angetroffen. In der Grundwassermessstelle BK2 (**Tabelle 1**) wurden kiesige Schichten bis 4,4 m und darunter nur Molasse-Schichten ohne Grundwasser erbohrt [HPC, 2022].

Tabelle 1: Grundwassermessstellen der LEW und der Kläranlage Gundelfingen mit Metadaten, Mittleren Grundwasserständen und der Grundwasseramplitude (Betrachtungszeitraum ab 2001)

Grundwassermessstelle	Ost UTM32 [m]	Nord UTM32 [m]	POK [m ue. NN]	GOK [m ue. NN]	Mittlerer GWS [m ue. NN]	GW-Amplitude [m]
GUF31	602.013,21	5.376.329,88		430,50	428,80	1,38
GUF53	601.538,70	5.377.269,88		429,57	427,70	1,48
GUF42	602.787,94	5.377.438,64			426,86	1,99
GUF56	602.562,80	5.377.572,68		427,93	427,34	0,88
GUF54	601.916,87	5.377.617,42		428,70	426,69	1,22
GUF55	602.333,15	5.377.691,22		428,56	427,00	1,76
GUF63	601.926,53	5.377.881,18		429,30	426,34	1,22
GUF58alt	602.277,19	5.378.389,71		427,51	427,03	1,58
GUF58neu	602.207,35	5.378.512,76		428,08	426,89	1,26
FAI1	603.922,07	5.379.471,04		426,15	424,96	1,84
BK1	602.406,30	5.378.537,90	428,69	427,84	426,48	0,31
BK2	602.474,32	5.378.546,95	429,19	428,29	426,41	0,40
GWM1	602.418,29	5.378.446,45	428,97	428,50	426,46	0,45

Der Ausbau der beiden Grundwassermessstellen wurde so durchgeführt, dass BK1 den tertiären (unteren) teils gespannten Grundwasserleiter erschließt (Verfilterung zwischen 12 - 15 m), um für tieferliegende Bauwerke ggf. einen

Entspannungsbrunnen zur Verfügung zu haben. Hingegen wurde BK2 so ausgebaut, dass das quartäre Grundwasserstockwerk (Verfilterung zwischen 1,5 - 4,5 m) erschlossen wird, um dieses überwachen zu können.

Im Zuge der Errichtung der Grundwassermessstellen wurden Pumpversuche in Form von „Entsandung/Klarspülung“ durchgeführt. Dabei wurde in den Messstellen BK1 und BK2 mit 0,3 l/s etwa 30 min gepumpt. Grundwassermessstelle BK1 wurde dabei komplett trocken gepumpt und bei Grundwassermessstelle BK2 hat sich bei 3,45 m ein relativ konstanter Wasserstand eingestellt [HPC, 2022]. Aufgrund der Kürze der Pumpversuche und der nicht fachgerechten Durchführung nach DVGW-W 111(A) [DVGW, 2015] konnten diese nicht ausgewertet und keine Durchlässigkeitswerte berechnet werden.

In der Baugrundvorerkundung [IFM, 2018] ist ein Pumpversuch in der GWM1 mit Auswertung dokumentiert. Aus dem Schichtverzeichnis geht hervor, dass die quartären kiesigen Schichten in der Messstelle GWM1 bis in einer Tiefe von 4,6 m erbohrt wurden und die Messstelle zwischen 2 und 5 m verfiltert ist. Bei einer Grundwasserförderung von 2,5 l/s wurde ein Beharrungszustand erreicht und ein Durchlässigkeitsbeiwert von $1,4 \times 10^{-3}$ m/s ermittelt [IFM, 2018]. Dies spiegelt die Werte aus dem Modell Simultec [2018] sehr gut wider.

2.3 Modellgebiet und Modellaufbau

Das Grundwassermodell Kläranlage Gundelfingen wird als Standortmodell aufgebaut und der Modellaufbau orientiert sich anhand der Grundwasserströmungsrichtung in etwa von Südwest nach Nordost. Dabei bilden die umliegenden Grundwassermessstellen der LEW die Eckpunkte des Modells und definieren die Modellgrenzen. Dies ist darin begründet, dass die Grundwassermessstellen die instationären Potentialrandbedingungen vorgeben und somit den Grundwasserstand am den Modellrändern steuern.

In **Tabelle 1** sind die sich im Modellgebiet befindenden bzw. angrenzenden Grundwassermessstellen aufgelistet. Das Kürzel „GUF“ weist die Messstellen der LEW aus, welche im Zuge der Errichtung der Staustufe Donau Lauingen gebohrt wurden [GUF, 2022]. GWM1 wurde im Zuge der ersten Baugrunderkundung für den Umbau der Kläranlage 2017 errichtet [IFM, 2018] und im Jahr 2022 wurde die beiden Messstellen BK1 und BK2 neu gebohrt [HPC, 2022]. Die Zeitreihen der LEW reichen teilweise bis in die 1970er Jahre zurück und haben somit lange Zeitreihen. Hingegen weisen die Grundwassermessstellen der Kläranlage nur sehr kurze Zeitreihen von weniger als einem Jahr auf. In **Abbildung 1** ist das Modellgebiet mit den Grundwassermessstellen dargestellt.

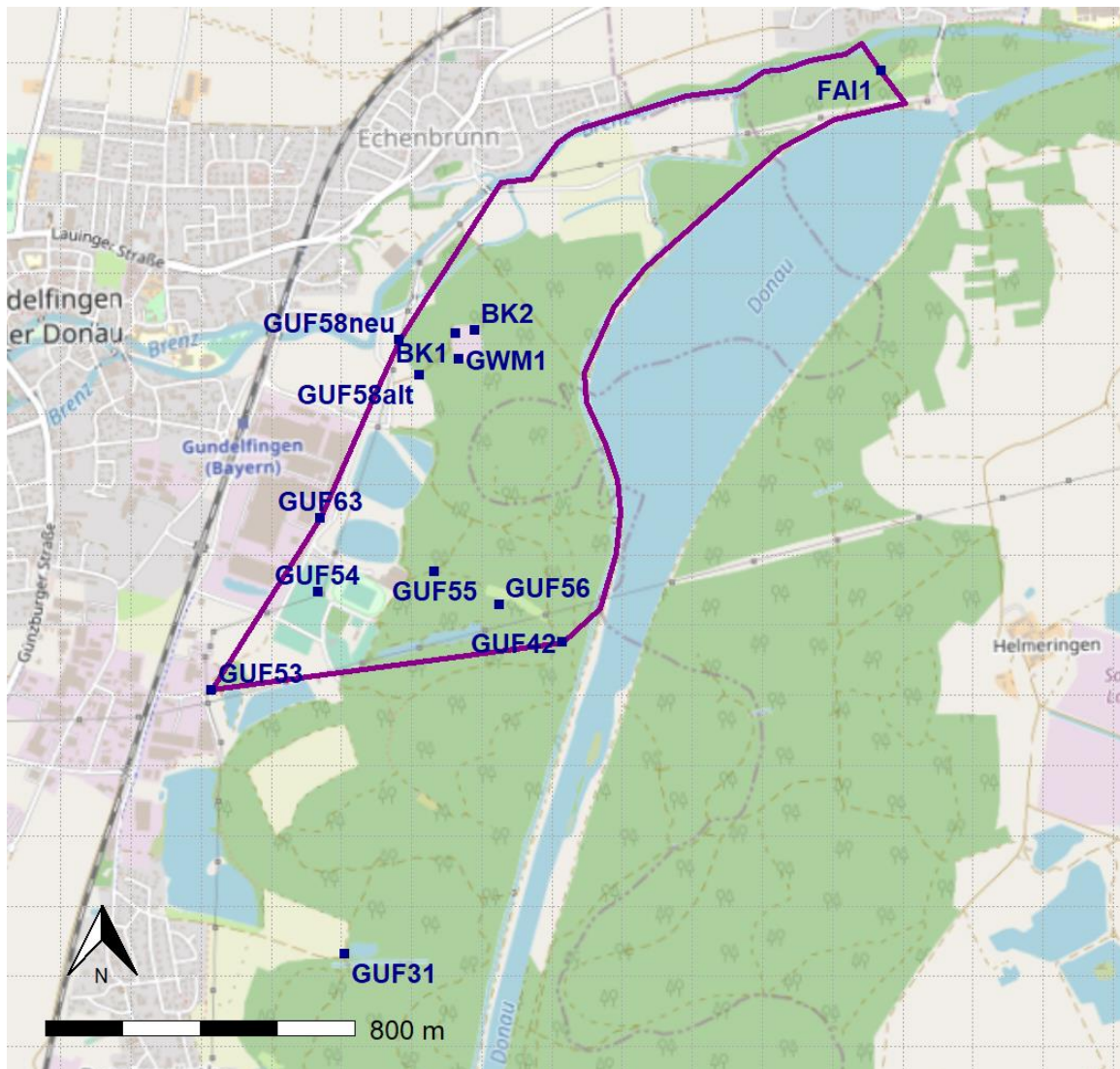


Abbildung 1: Modellgebiet (violett) mit Grundwassermessstellen (blau)

Die Fläche des Modellgebiets der Kläranlage Gundelfingen beträgt etwa 1,87 km² und hat etwa eine Länge von 3 km und eine Breite zwischen 1,2 km im Zustrom und 0,25 km im Abstrom. Das Modellgebiet orientiert sich in östlicher Richtung an dem Flusslauf der Donau bzw. dem Stausee Faimingen (Staustufe Donau Lauingen). In nordwestlicher Richtung bildet der Flusslauf der Brenz die Begrenzung des Modellgebiets (**Abbildung 1**). Im weiteren Verlauf wurden die Grundwassermessstellen als Begrenzung verwendet, da diese die Randbedingung für das Modell vorgeben.

Die Aquiferuntergrenze des Modells wurde aus dem Großraummodell von Simultec [2018] und die Geländeoberkante aus dem frei verfügbaren digitalen Höhenmodell [GeoBasis-DE, 2022] entnommen. Die 200 m Auflösung ist in diesem Fall hinreichend, da das Gebiet relativ wenig Relief aufweist und nur zwischen 424,8 und 430,8 m ue. NN variiert. Die generelle Neigung des Modellgebiets beträgt von Südwesten nach Nordosten etwa 0,2 %.

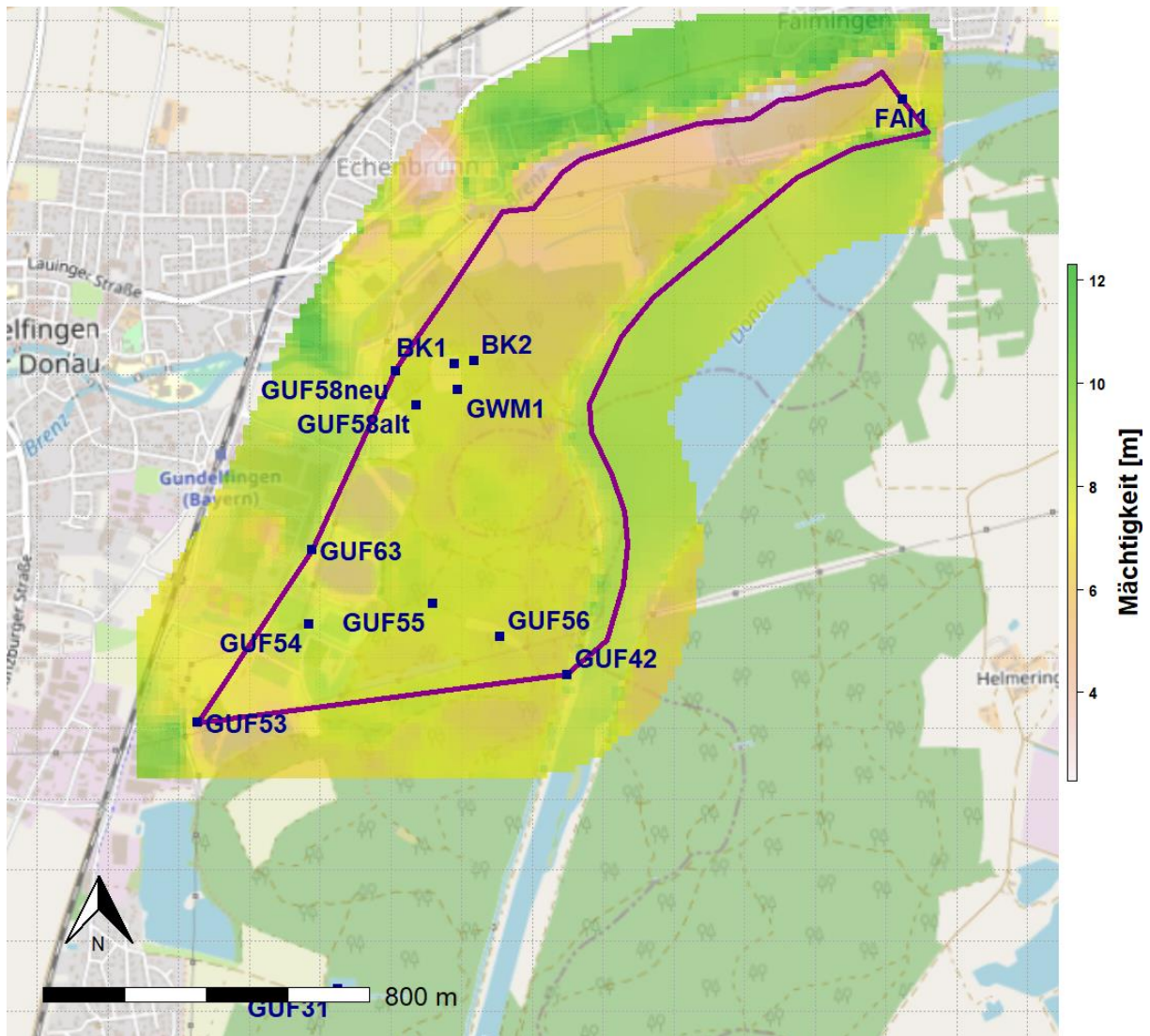


Abbildung 2: Mächtigkeit des modellierten Schotter Aquifers [Simultec, 2018]

In **Abbildung 2** ist die Mächtigkeit des Schotterkörpers anhand eines Rasters dargestellt. Die Mächtigkeit variiert zwischen 1,8 und 8,2 m im gesamten Modellgebiet, wobei der Hauptteil des Gebiets eine Mächtigkeit von ca. 5 m aufweist. Im Abstrom Richtung Grundwassermessstelle FAI1 verringern sich die Mächtigkeiten auf etwa 3 m. Die hohen Mächtigkeiten von bis zu 8 m treten nur an den Modellrändern auf.

Das Modell wurde als 3D-Grundwasserströmungsmodell in 5 horizontale Modellschichten mit Mächtigkeiten zwischen 0,5 und 1,5 m pro Schicht aufgebaut. Durch die Schichtaufteilung ist es möglich in der Vertikalen eine angemessene Auflösung zu gewährleisten und den späteren Einbau der Spundwand quasi exakt meterweise in das Modell einzubauen. Dies war Voraussetzung, da die finale Einbautiefe noch durch das Modell bestimmt bez. bewertet werden sollte.

Das Finite Elemente Netz wurde im Bereich der Grundwassermessstellen und im Bereich der Kläranlage, speziell bei der Spundwand, räumlich feiner diskretisiert,

um numerische Instabilitäten bei der Modellierung zu vermeiden. Insgesamt wurde das Modell in 21600 Elemente aufgeteilt, etwa 7000 Elemente pro Schicht.

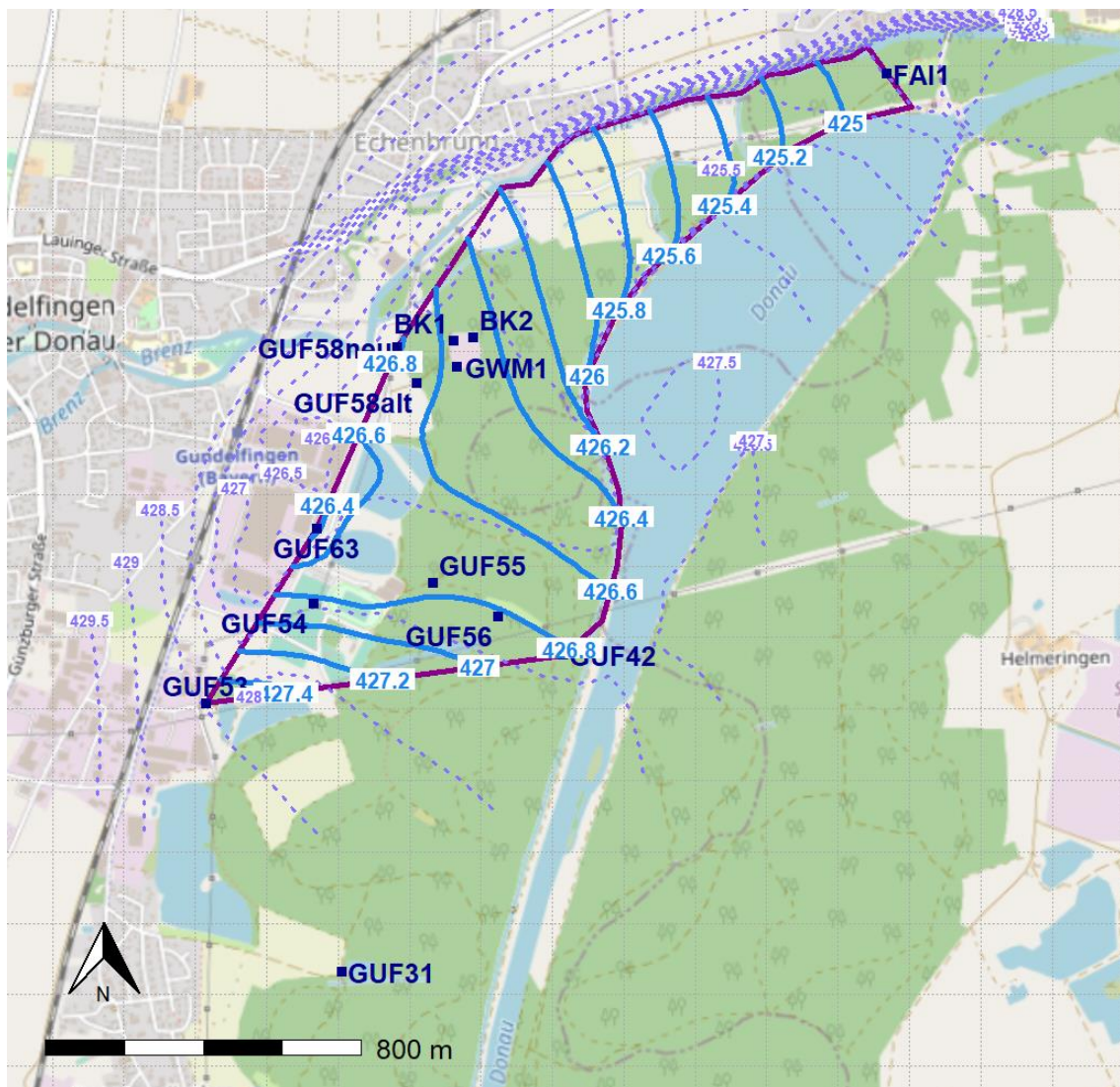


Abbildung 3: Grundwassergleichenplan aus dem Modell Juli 2017 (blaue durchgezogene Linie) und Ausgangsverteilung vom Modell Simultec [2018] (lila gestrichelte Linie).

In **Abbildung 3** ist einerseits der Grundwasserstand aus dem Modell von Juli 2017, welcher als mittlerer Grundwasserstand im Modellgebiet angesehen werden kann, dargestellt und andererseits die Ausgangsverteilung des Grundwasserstands aus dem Großraummodell Simultec [2018]. Die beiden Grundwassergleichenpläne bilden einen vergleichbaren Strömungszustand ab. Die Grundwasserströmungsrichtung verläuft entlang des Gewässerlaufs der Donau von Süd-Südwesten kurvenartig nach Nordosten. Der Zustrom kommt aus zwei Richtungen. Erstens aus dem Süden bzw. Südwesten, strömungsparallel zur Donau und zweitens aus dem Nachbartal mit dem Gewässerlauf der Brenz aus dem Osten bzw. Nordosten. Der Abstrom erfolgt hauptsächlich in Strömungsrichtung der Donau Richtung Nordosten. Einen offiziellen kleinräumigen

Grundwassergleichenplan gibt es für den Bereich der Kläranlage nicht und es wurde auch keine Stichtagsmessung durchgeführt.

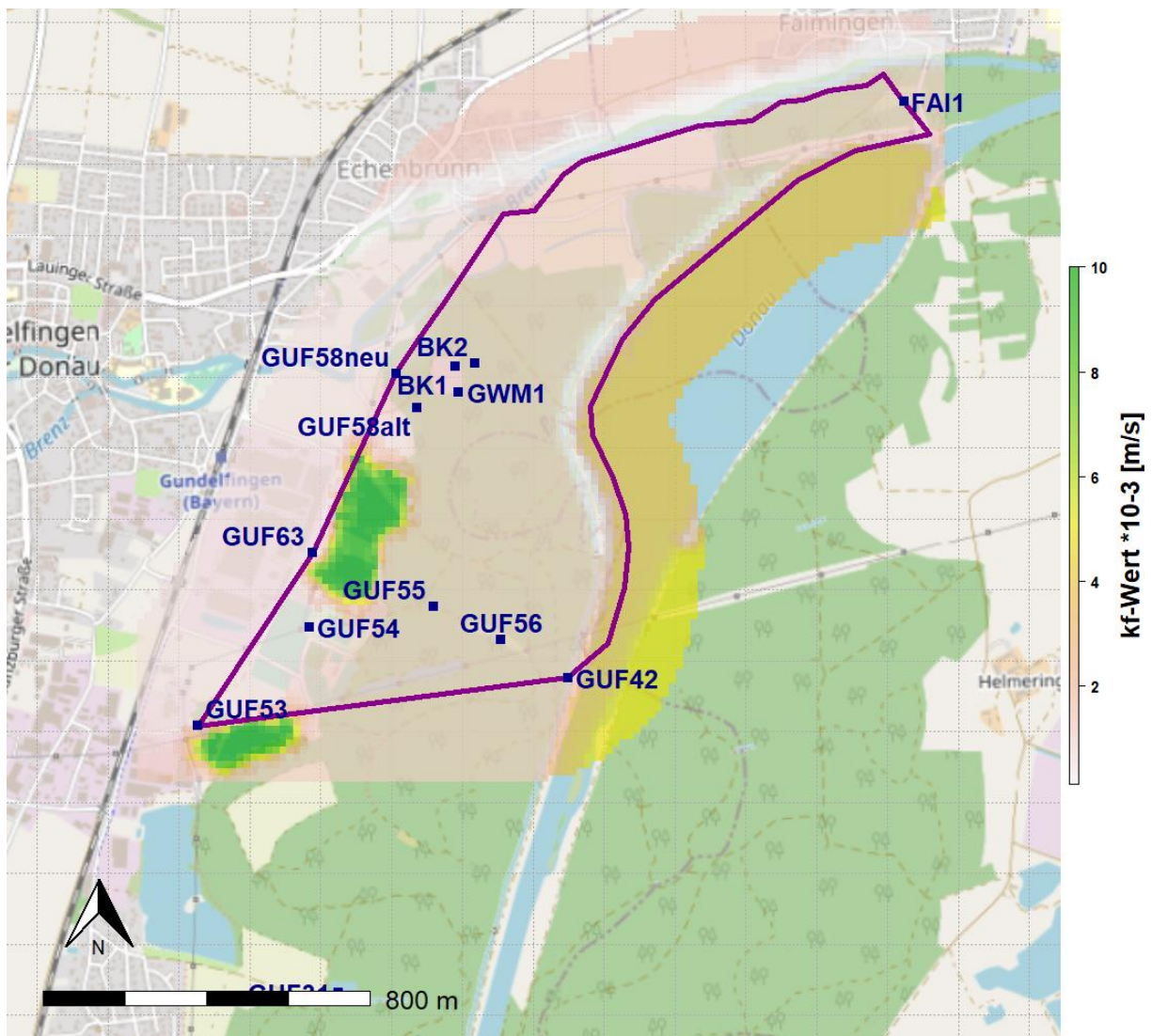


Abbildung 4: Kf-Wert Verteilung im Modellgebiet

Die kf-Werte wurden aus dem Modell Simultec [2018] entnommen. Diese wurden ursprünglich durch Kalibrierung von Parameterräumen festgelegt. In **Abbildung 4** ist die Kf-Wert Verteilung in einem Raster dargestellt. Das Modellgebiet fällt in den Bereich mehrerer verschiedener Parameterräume. Im Großteil des Modellgebiets liegt der Kf-Wert bei 1×10^{-3} m/s und ist somit vergleichbar mit dem Wert aus dem Pumpversuch bei GWM1 mit $1,4 \times 10^{-3}$ m/s [IFM, 2018]. In den Baggerseen bzw. im Stausee wurden kf-Werte von 10×10^{-3} bzw. 4×10^{-3} m/s angesetzt und an der westlichen Modellgrenze beim Zustrom aus dem Brenztal sinkt der kf-Wert auf $0,5 \times 10^{-3}$ m/s. An der Donau ist zudem der Damm anders parametrisiert und hat eine Durchlässigkeit von $0,1 \times 10^{-3}$ m/s und ist somit sehr undurchlässig.

Die Zonierung kann für das Standortmodell als hinreichend genau beschrieben angesehen werden, jedoch würde eine detailliertere räumliche Kalibrierung des kf-

Wertes die Güte des Grundwassermodells erfahrungsgemäß verbessern. Abweichungen in den Modellergebnissen in einzelnen Bereichen, die aus Ermangelung an detaillierten k_f -Werten nicht im Detail beschrieben werden können, können auf heterogene Unterschiede im Grundwasserleiter zurückzuführen sein, die jedoch nicht kleinräumig durch das Modell beschrieben werden können.

Die Parametrisierung der Porosität des entleerbaren Porenvolumens wurde in Abhängigkeit vom k_f -Wert nach Marotz [1968] errechnet und somit hat die Porosität die gleiche räumliche Verteilung wie die k_f -Werte.

Die spezifische Speicherkapazität steht für die Änderung des volumetrischen Wassergehaltes durch die Änderung der Grundwasserspiegelhöhe. In der Modellierung wurde der Wert bei den Standardeinstellungen von $1 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ beibehalten.

2.4 Randbedingungen des Modells

Der Modellzeitraum wurde von 01.01.2001 bis 31.12.2023 festgelegt. Dies begründet sich darin, dass ein mindestens 20-jähriger Zeitraum als repräsentativ für die Grundwasserschwankungen im Gebiet angenommen wird. In solch einer Periode kommen sowohl Niedrig- bzw. Hochwasser Situationen in unterschiedlicher Ausprägung bzw. Stärke vor und somit kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der Grundwasseramplituden im Modellgebiet über die Zeit abgebildet wird. Zudem wurde ab Ende 2021 bzw. Mai 2022 bis Ende 2023 bei den Randbedingungen der höchste je gemessene Grundwasserstand angegeben, um ein „worst case“ (Zukunfts-) Szenario mit sehr hohen Grundwasserständen zu simulieren.

Der Zustrom in das Modellgebiet aus südlicher Richtung wird einerseits von den Grundwassermessstellen GUF42 und GUF53 und andererseits aus dem Brenztal und dem Flusslauf der Brenz folgend aus westlicher Richtung durch die Grundwassermessstellen GUF53, GUF63 und GUF58neu gesteuert. Die Zeitreihen der einzelnen Grundwassermessstellen sind in **Anhang 6** mit den Modellergebnissen dargestellt.

Hinweis: Da die Grundwassermessstellen auf den Grenzen des Modellgebiets direkt miteinander verbunden sind, kann eine linienhafte Interpolation durchgeführt werden. Dies geschieht für jeden Zeitschritt einzeln entlang der Potentialränder in gewünschter Auflösung, welche täglich, wöchentlich oder monatlicher gewählt werden kann.

Der Abstrom aus dem Modellgebiet befindet sich hauptsächlich auf Höhe der Grundwassermessstelle FAI1 in Grundwasserströmungsrichtung und entlang der Donau, wobei der Grundwasserabfluss bzw. Abstrom in Richtung der Donau aufgrund des schwer undurchlässigen Damms eher eine untergeordnete Rolle spielt.

Hinweis: Ein möglicher Zustrom von der Donau im Hochwasserfall kann in diesem Modell nicht abgebildet werden, da keine Wasserstände der Donau direkt an der Modellgrenze bekannt sind. Es ist lediglich das Stauziel von der Staustufe der LEW mit einem Wert von 429,61 m ue. NN bekannt. Dieser Wert ist jedoch nicht repräsentativ als Grundwasserstandhöhe an der Donau.

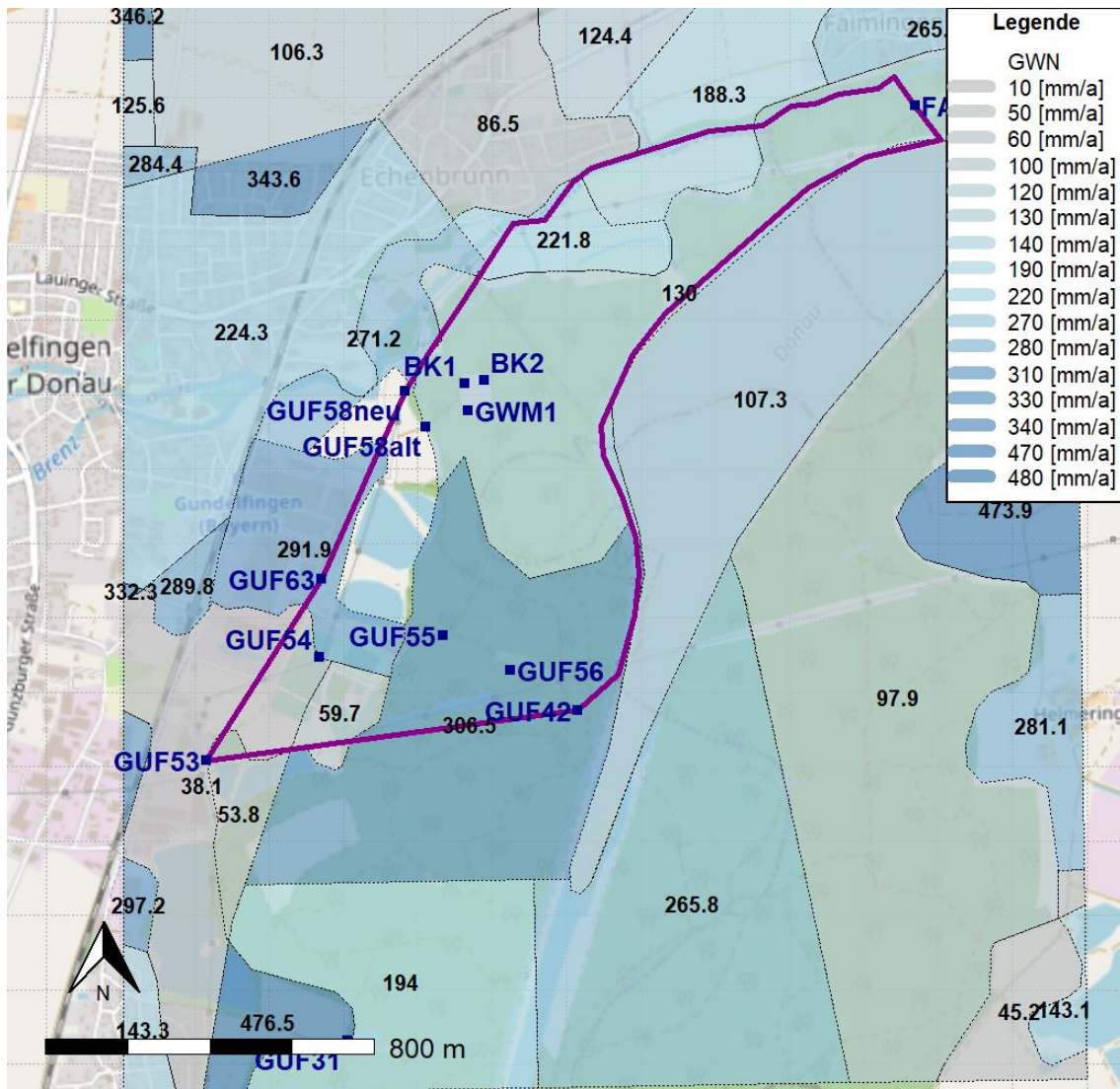


Abbildung 5: Mittlere flächenhafte Grundwasserneubildung (GWN) nach Morhard [2022]

Die flächenhafte Grundwasserneubildung wurde aus den Berechnungsergebnissen der im Auftrag der Landesbehörden von Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz durchgeführten KLIWA Langzeitsimulation 1951-2020 [Morhard, 2022] übernommen, bei der es sich um die derzeit aktuelle Fortschreibung des für den Wasser- und Bodenatlas [WaBoA, 2007] entwickelten Landesmodells der LUBW handelt. Verwendet wurde eine monatliche Auflösung für die Jahre 2001 bis Ende 2021. Eine aktuellere Fortschreibung der Grundwasserneubildung war zum Zeitpunkt der Modellerstellung noch nicht

vorhanden. Bei einer nach Landnutzung, Bodeneigenschaften und Versiegelungsgrad differenzierten Grundwasserneubildung ergibt sich für das Modellgebiet eine Grundwasserneubildung zwischen 59 und 306 mm/a. In **Abbildung 5** ist die mittlere jährliche Grundwasserneubildung dargestellt. Die monatliche Auflösung, welche im Modell verwendet wurde und für jede Fläche einen eigenen Wert hat, kann nicht vereinfacht in einer Grafik dargestellt werden.

Hinweis: Die mittlere monatliche Grundwasserneubildung ist ebenfalls in **Anhang 6** bei jeder Grundwassermessstelle zusätzlich in groß dargestellt.

Die detaillierten Ergebnisse der Modellierung mit GWN-BW liefern eine optimale Datengrundlage unter Berücksichtigung der wichtigen Bodenwasserhaushaltsgrößen Niederschlag, Verdunstung, Sickerwasseraustrag und den schlagspezifischen Standorteigenschaften von Boden und Landnutzung. Eine Kalibrierung dieser Eingangsgrößen wäre nicht zielführend, da diese bereits mit einem kalibrierten Modell berechnet wurden und somit als gesicherte Randbedingung gelten.

Die Übernahme der Randbedingung der GWN in das Modell erfolgte mit den monatlichen GWN-Raten nach GWN-BW über die Funktion „In/Outflow on Top/Bottom“ als Gebiets-/Materialeigenschaft. Die Modellierung der GWN erfolgt damit als flächenhafter, monatlicher Zufluss auf die oberste Modellschicht.

2.5 Modellsoftware

Als Modellierungsplattform wurde Feflow 7.5 in der 64bit-Version [DHI WASY, 2022] verwendet. Bei den „Problem Settings“ in Feflow wurde das ganze Modell für einen ungespannten Grundwasserleiter definiert. Die oberste Modellebene wurde auf „phreatic“ und alle darunterliegenden Schichten bis auf die unterste auf „dependent“ gesetzt. Damit ist die Höhenverteilung der obersten Modellschicht festgesetzt und variiert nicht mit dem Wasserstand. Die Strömungssimulation wurde nach der Berechnung „Standard (saturated) groundwater-flow equation“ definiert. Auf diese Weise erfolgt die Modellberechnung auf Basis des Darcy-Gesetzes im gesättigten Aquifer mit laminaren, isotropen Strömungsverhältnissen.

Durch die automatische Zeitschrittweitensteuerung wird das Modell je nach zeitlicher Auflösung der Randbedingungen in minimal Monatsauflösung und maximal Tagesauflösung zwischen etwa 3 000 bis 20 000 Zeitschritten unterteilt. Die Rechenzeiten für die 21 Modelljahre belaufen sich bei der höchsten zeitlichen Auflösung, also bei der täglichen Auflösung, auf etwa 5 h.

3 Modellergebnisse und Einbau Spundwand

3.1 Darstellung der Modellergebnisse

Für die in **Tabelle 1** aufgelisteten Grundwassermessstellen wurden die Grundwasserstandsmessungen (dunkelblau) über die Zeit mit den Modellergebnissen (ausgewiesene Farben, hier orange) dargestellt. Die gemessenen Mittelwert-, Maximum-, Minimumgrundwasserstände und deren Amplitude geben einen Überblick über die Dynamik der jeweiligen Grundwassermessstelle. Zusätzlich wurde noch die Geländeoberkante der Messstelle als Referenz für den maximal möglichen Grundwasserstand (hellgrün) eingezeichnet. In **Abbildung 6**, **Abbildung 7**, **Abbildung 8**, **Abbildung 9** sind die Messstellen GUF54, GUF55, GUF56 und GUF58alt abgebildet.

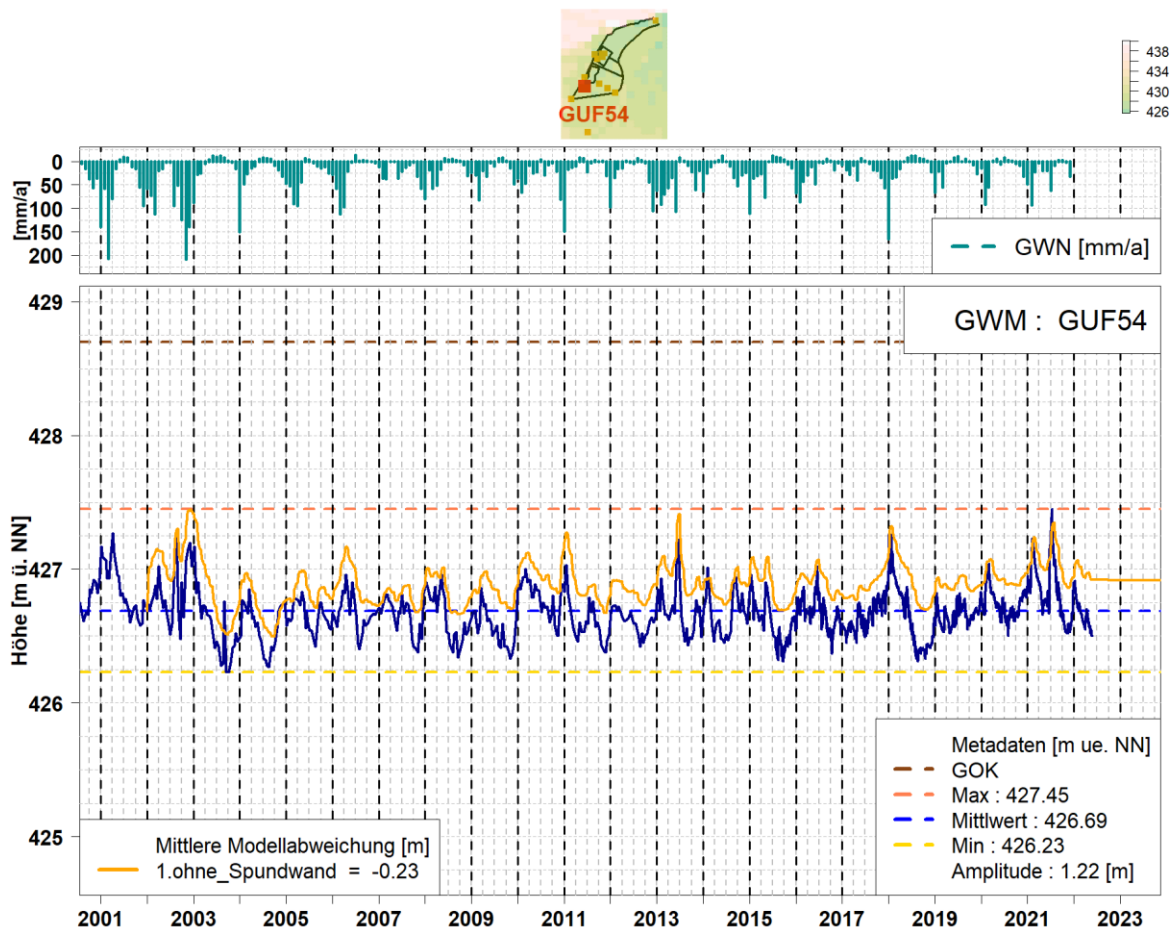


Abbildung 6: GWM GUF54 mit gemessenem Grundwasserstand in dunkelblau und ausgewiesenen Modellergebnissen.

Zur räumlichen Einordnung der Grundwassermessstelle im Gebiet ist zusätzlich noch eine kleine Karte mit dem Modellgebiet, allen Grundwassermessstellen und der dargestellten Grundwassermessstelle in rot dargestellt. Im Hintergrund ist ein Raster der Geländehöhe abgebildet.

Unter der Übersichtskarte ist die monatliche Grundwasserneubildung in mm/a dargestellt, welche großen Einfluss auf die Grundwasserjahresdynamik hat. Insgesamt ist die Korrelation zwischen Grundwasserstand und Grundwasserneubildung bei den Grundwassermessstellen im Gebiet sehr hoch.

Hinweis: Im **Anhang 6** sind die einzelnen Grafiken der Grundwassermessstellen nochmal in größer angehängt.

3.2 Modellvalidierung und Modellergebnisse

Da die Grundwassermessstellen GUF53, GUF42, GUF63, GUF58neu und FAI1 direkt als Randbedingung gesetzt wurden, geben diese den Grundwasserstand an den Grenzen vor, weswegen deren Modellgüte zwangsläufig sehr hoch ist (**Anhang 6**). Dies ist jedoch eher ein Nachweis für die funktionierende Randbedingung anstatt als Beschreibung der allgemeinen Modellgüte. Aus diesem Grund können die o.g. Grundwassermessstellen nicht zur Validierung des Modells verwendet werden. Für die Validierung des Modells werden die Grundwassermessstellen GUF54, GUF55, GUF56, GUF58alt herangezogen, welche mitten im Modellgebiet liegen und somit die im Modell ablaufenden Prozesse widerspiegeln.

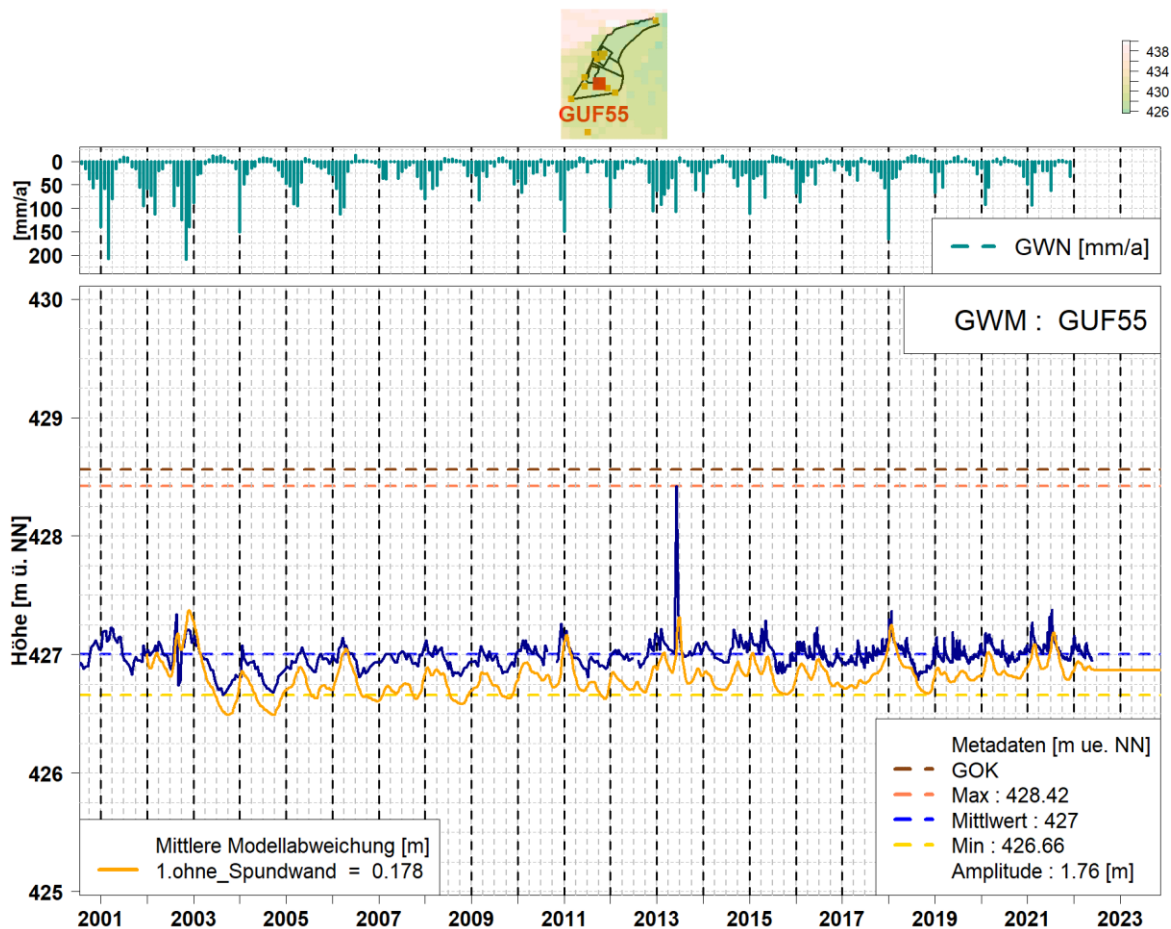


Abbildung 7: GWM GUF55 mit gemessenem Grundwasserstand in dunkelblau und ausgewiesenen Modellergebnissen.

Die vier Grundwassermessstellen GUF54, GUF55, GUF56 und GUF58alt (**Abbildung 6, Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 7**) verfügen über lange Zeitreihen im Modellgebiet. Die mittlere Modellabweichung zwischen gemessenen und modellierten Grundwasserstand wird als Gütemaß für das Modell verwendet. Die mittlere Modellabweichung liegt im Großteil des Modellgebiets, speziell im Bereich der Kläranlage, im Bereich von $\pm 0,4$ m (**Abbildung 6, Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 7**). Somit wird das Grundwasserniveau im Modell generell sehr gut abgebildet und es kann insgesamt von einer hohen Modellgüte ausgegangen werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Messstellendichte im Modellgebiet nicht sehr hoch ist und nicht das gesamte Modellgebiet abdeckt.

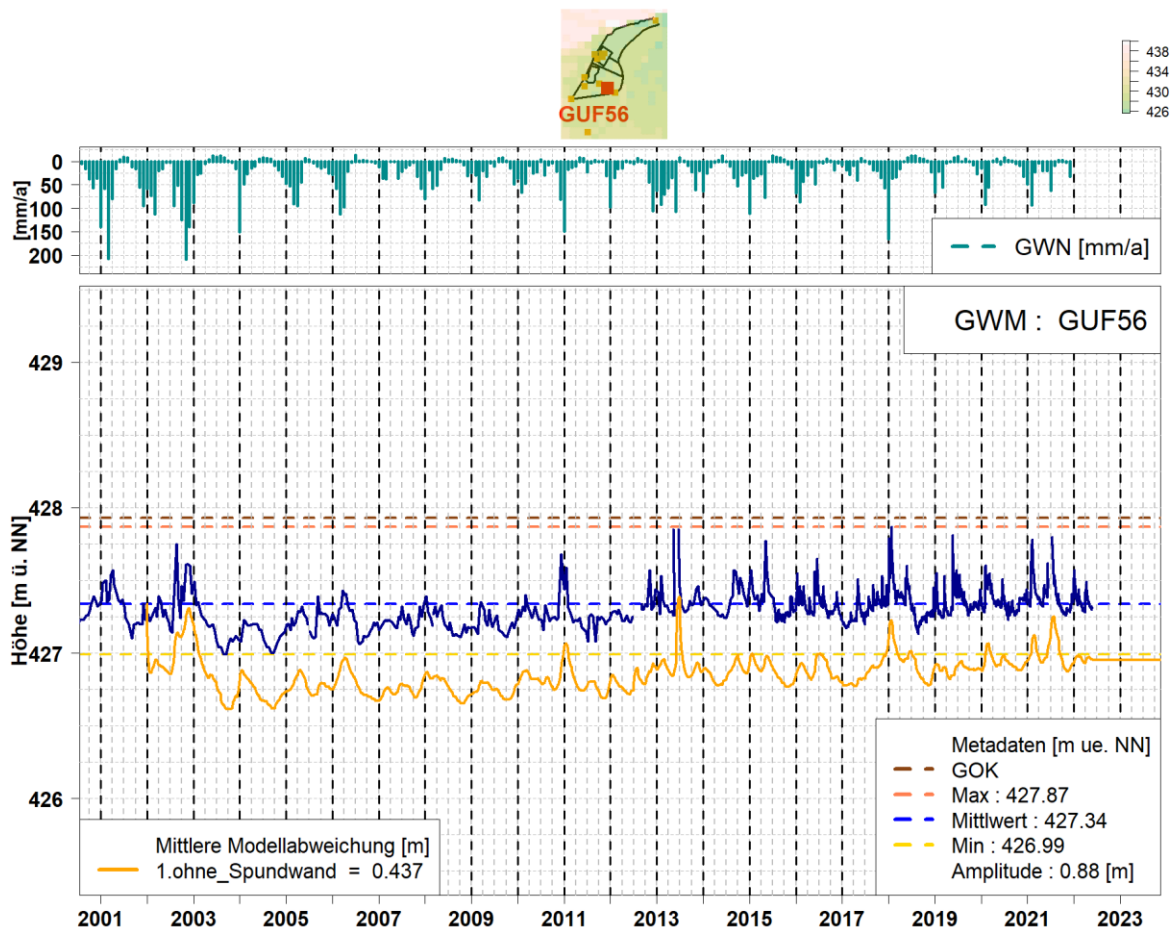


Abbildung 8: GWM GUF56 mit gemessenem Grundwasserstand in dunkelblau und ausgewiesenen Modellergebnissen.

Die Grundwasseramplitude und die Grundwasserdynamik werden durch das Modell ebenfalls sehr gut abgebildet. Es können nicht immer alle Extremwerte bzw. alle schnellen kurzzeitigen Peaks ganz nachgebildet werden, was an einer möglichen fehlenden vertikalen und horizontalen Differenzierung der Durchlässigkeitswerte liegen könnte. Die Abbildung aller Extremwerte ist aber für dieses Grundwassermodell und dessen Fragestellung nicht so ausschlaggebend und kann

eher vernachlässigt werden. Ausschlaggebend sind eher die Grundwasserdynamik und das Grundwasserniveau.

Unter Berücksichtigung der Unschärfe des Modells bei der räumlichen und vertikalen Verteilung der Durchlässigkeitswerte kann dieses Modell als ein Modell mit hoher Modellgüte angesehen werden und somit zur Beurteilung des Einflusses der Spundwand im Bereich der Kläranlage Gundelfingen herangezogen werden.

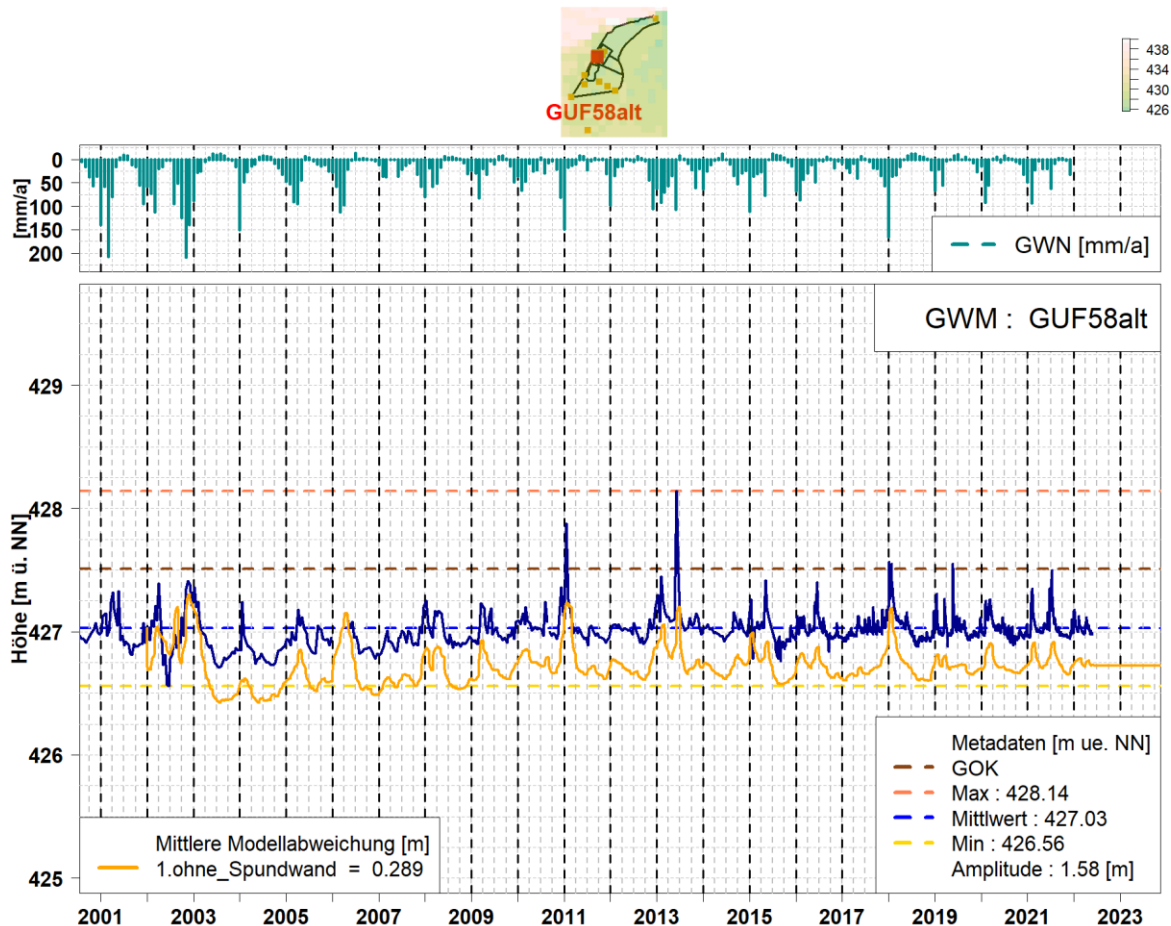


Abbildung 9: GWM GUF58alt mit gemessenem Grundwasserstand in dunkelblau und ausgewiesenen Modellergebnissen.

Die drei relativ neuen Grundwassermessstellen GWM1, BK1, BK2 (**Abbildung 13, Abbildung 14, Abbildung 15**) können ebenfalls zur Validierung verwendet werden, jedoch nur zur Einordnung des Grundwasserstandes und nur teilweise für den Grundwasserstand und dessen Dynamik. Dies ist darin begründet, dass diese drei Grundwassermessstellen nur Messwerte aus dem Jahr 2022 haben und das Modell nur bis Ende 2021 mit den realen Randbedingungen (Grundwasserneubildung und Grundwasserständen) fortgeschrieben wurde. Zum Zeitpunkt der Modellerstellung war die monatliche Grundwasserneubildung noch nicht für das Jahr 2022 fortgeschrieben und somit überschneiden sich die Zeiträume der drei Messstellen nicht mit dem tatsächlichen Modell und dessen realen Randbedingungen, sondern nur mit dem definierten „worst case“ Szenario.

Hinweis: In den folgenden Abbildungen (**Abbildung 13, Abbildung 14, Abbildung 15**) ist der Grundwasserstand für die 5 Modellvarianten (Definition in Kapitel 3.5) farblich eingezeichnet. In den bisherigen Darstellungen (**Abbildung 6, Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 7**) wurde darauf verzichtet, da diese Grundwassermessstellen soweit von der Spundwand entfernt sind, dass es durch den Einbau keine Veränderungen im Grundwasserstand bei den 5 Modellvarianten gab.

3.3 Einbau Spundwand

Auf Grundlage dieses Modellaufbaus sollen jetzt verschiedene Modellszenarien gewählt bzw. modelliert werden. Die Spundwand soll mit einer Breite von 0,8 m umgesetzt werden und die Kläranlage umschließen. Im Modell würde so ein detaillierter Einbau der Spundwand zu einer sehr hohen Netzauflösung im Bereich der Kläranlage führen.

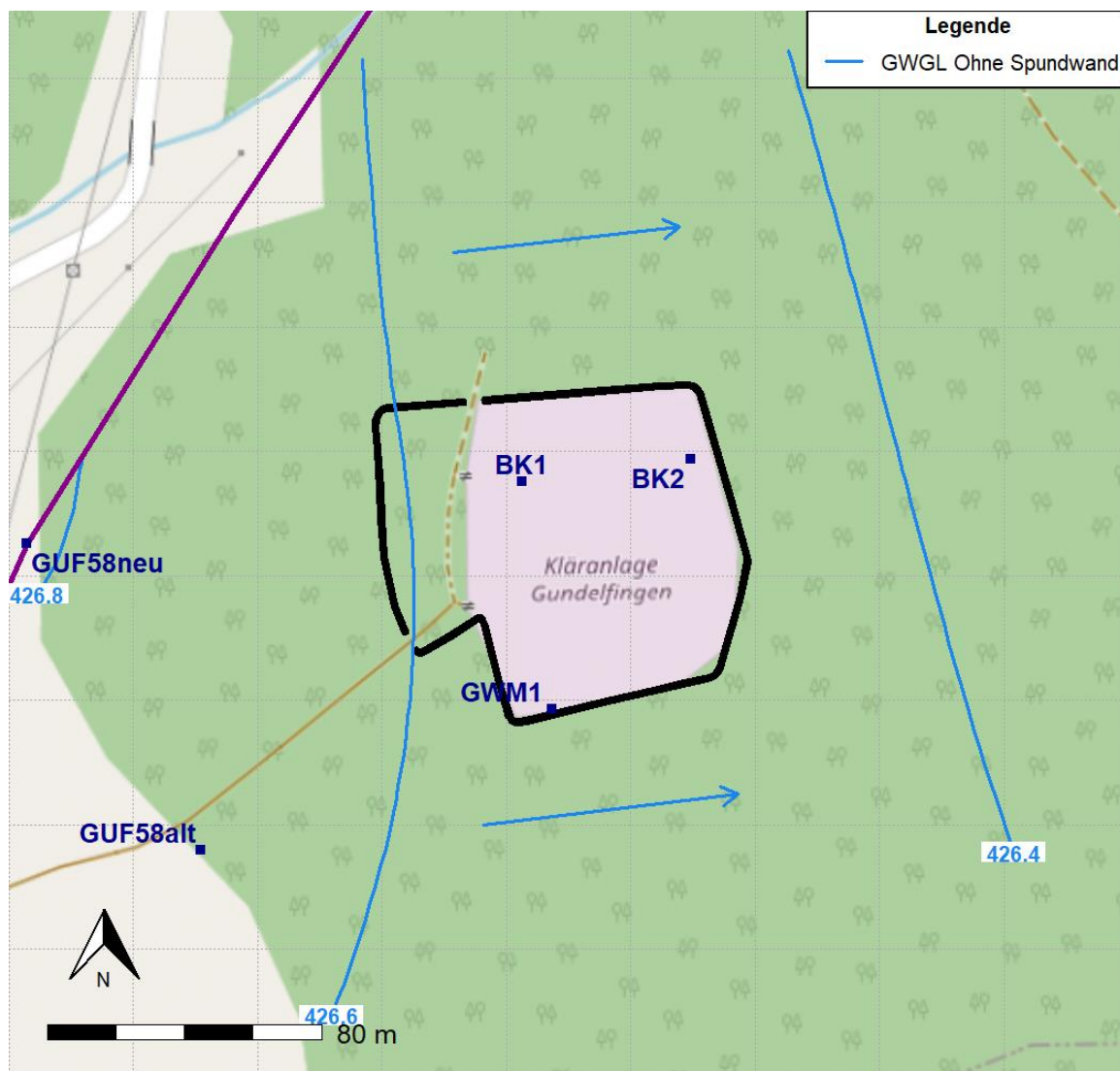


Abbildung 10: Planungsstand der Spundwand mit Grundwassergleichen von Juli 2017

Um numerische Instabilitäten zu vermeiden und unnötig lange Rechenzeiten vorzubeugen wurde die Spundwand mit einer Breite von 3 m ins Modell eingebaut. Verglichen mit einer Modellgröße von 1,87 km² hat diese Vereinfachung des Einbaus der Spundwand keinen Einfluss auf das Modellergebnis bzw. den Grundwasserstand.

In **Abbildung 10** ist die Spundwand in dem derzeitigen Planungstand abgebildet. Die Spundwand wurden aus Gründen der Sichtbarkeit etwas dicker dargestellt. Die Fläche innerhalb der Spundwand beträgt etwa 0,0187 km². Der derzeitige Planungsstand sieht vor, dass im Bereich der südwestlichen und nördlichen Spundwand ein Fenster für Wege eingebaut werden soll (**Abbildung 10**).

Die dargestellten Grundwassergleichen von Juli 2017 stehen für einen repräsentativen, mittleren Grundwasserstand. Die Grundwasserströmungsrichtung kommt aus südwestlicher bzw. nordwestlicher Richtung, somit hat der Bereich der Kläranlage zwei Zustromgebiete. Aus den Grundwassermessungen der LEW [2022] variiert im Bereich der Kläranlage der Grundwasserstand um ca. 1,6 m (GUF28alt, **Abbildung 9**).

Die zu untersuchenden Fragestellungen waren mögliche Aufstaueffekte durch die Spundwand und eine dadurch resultierende Beeinflussung Dritter, die Einbautiefe der Spundwand und die Ausführung der Spundwand mit möglichen baulichen Öffnungen bzw. sogenannten Fenstern, um einen bestmöglichen Hochwasserschutz zu ermöglichen.

3.4 Einbautiefe

In den Planungen wurden Einbautiefen zwischen 3 bis 5 m ausgeführt bzw. bis die Molasse Schichten (tertiären Schichten) erreicht werden, um eine komplette Abtrennung des oberen Grundwasserleiters gewährleisten zu können. Modelltechnisch gesehen ist dies bis zu Tiefen von 6 m der Fall, was jedoch während des Baus geprüft werden sollte und gegebenenfalls abweichen kann. Diese Einbautiefen sollten modelltechnisch geprüft und die Auswirkungen aufgezeigt werden. Durch die vertikale Unterteilung des Modells in 1 bis 1,50 m Schichten und der horizontalen Diskretisierung im Bereich der Spundwand konnten die unterschiedlichen Ausführungen der Einbautiefe umgesetzt werden.

Aufgrund der hohen im Modell definierten Durchlässigkeiten im Bereich der Kläranlage von 1×10^{-3} m/s für die quartären Schichten hat sich bei allen Einbautiefen herausgestellt, dass nur bei der Einbautiefe bis in die Molasse-Schichten eine Abtrennung des oberen Grundwasserleiters möglich ist. Anderenfalls gibt es eine Unterströmung der Spundwand und einen Ausgleich des Grundwasserstandes. Über die Zeit gesehen gleicht sich der Grundwasserstand außerhalb und innerhalb der Spundwand an und somit würde die Spundwand nicht den gewünschten Nutzen erzielen.

Aus gutachterlicher Sicht ist, trotz verbleibender Modellunsicherheiten, aufgrund der Heterogenität des Grundwasserleiters bzgl. der Durchlässigkeitswerte ein Ausbau bis in die Molasse-Schichten zu empfehlen, um eine Unterströmung der

Spundwand zu verhindern und eine Abtrennung des quartären Grundwasserleiters umsetzen zu können.

3.5 Ausführung der Spundwand

In **Abbildung 10** ist die derzeitig geplante Spundwand eingezeichnet. Diese umrandet die Kläranlage, hat jedoch derzeit zwei geplante Öffnungen bez. Fenster. Grund hierfür sind die beiden Zufahrten zur Kläranlage. Das erste Fenster befindet sich in südwestlicher Richtung (Fenster südwestlich) und das zweite in nördlicher Richtung (Fenster nördlich). Beide Fenster haben etwa eine Breite von 8 m. Das südwestliche Fenster liegt im direkten Grundwasserzustrom aus dem Donautal, das heißt, das Grundwasser strömt direkt in das Innere der Spundwand. Das zweite Fenster in nördlicher Richtung liegt zumindest teilweise auch im Grundwasserzustrom, abhängig von der jahreszeitlichen Grundwasserströmung aus im Teilzustrom des Grundwassers aus dem Brenztal. Somit strömt jahreszeitlich bedingt auch Grundwasser über das nördliche Fenster in das Innere der Spundwand.

Es wurden insgesamt 5 Varianten der Spundwand modelliert und untereinander verglichen.

1. Modelllauf ohne Spundwand
2. Spundwand ohne Fenster (komplette Spundwand)
3. Spundwand bisheriger Planungstand mit 2 Fenstern (Spundwand geplant)
4. Spundwand nur mit südwestlichem Fenster
5. Spundwand nur mit nördlichem Fenster

Dabei wurde immer von einem Ausbau bis in die Tertiären Schichten ausgegangen, um eine Unterströmung der Spundwand ausschließen zu können. Im Folgenden werden erst die Veränderungen außerhalb der Spundwand und dann die Veränderungen innerhalb der Spundwand ausgeführt. Dabei wird exemplarisch der repräsentative Mittelwasserstand im Juli 2017 herangezogen. Zudem werden noch die Veränderungen im zeitlichen Verlauf an den vorhandenen Grundwassermessstellen innerhalb der Spundwand diskutiert.

3.5.1 Strömungsveränderung durch die Spundwand außerhalb der Spundwand

Die Grundlegende Fragestellung, ob es einen Grundwasseraufstau aufgrund des Einbaus der Spundwand gibt und es zu möglichen Beeinflussungen Dritter kommen könnte, konnte in der Modellierung eindeutig beantwortet werden. Für die Betrachtung der Veränderungen außerhalb der Spundwand können alle vier modellierten Varianten als gleich angesehen werden, da sich das Grundwasserströmungsbild außerhalb der Spundwand nur minimal bei den 4 Varianten unterscheidet.

Bei allen Ausführungen mit Einbau der Spundwand hat sich das Grundwasserströmungsbild großräumig nicht maßgeblich verändert und es gab keine großen negativen/positive Aufstauereffekte, weder in den Abstrom- noch in den Zustrombereichen. Dies ist in der **Abbildung 11** und **Abbildung 12** zu erkennen.

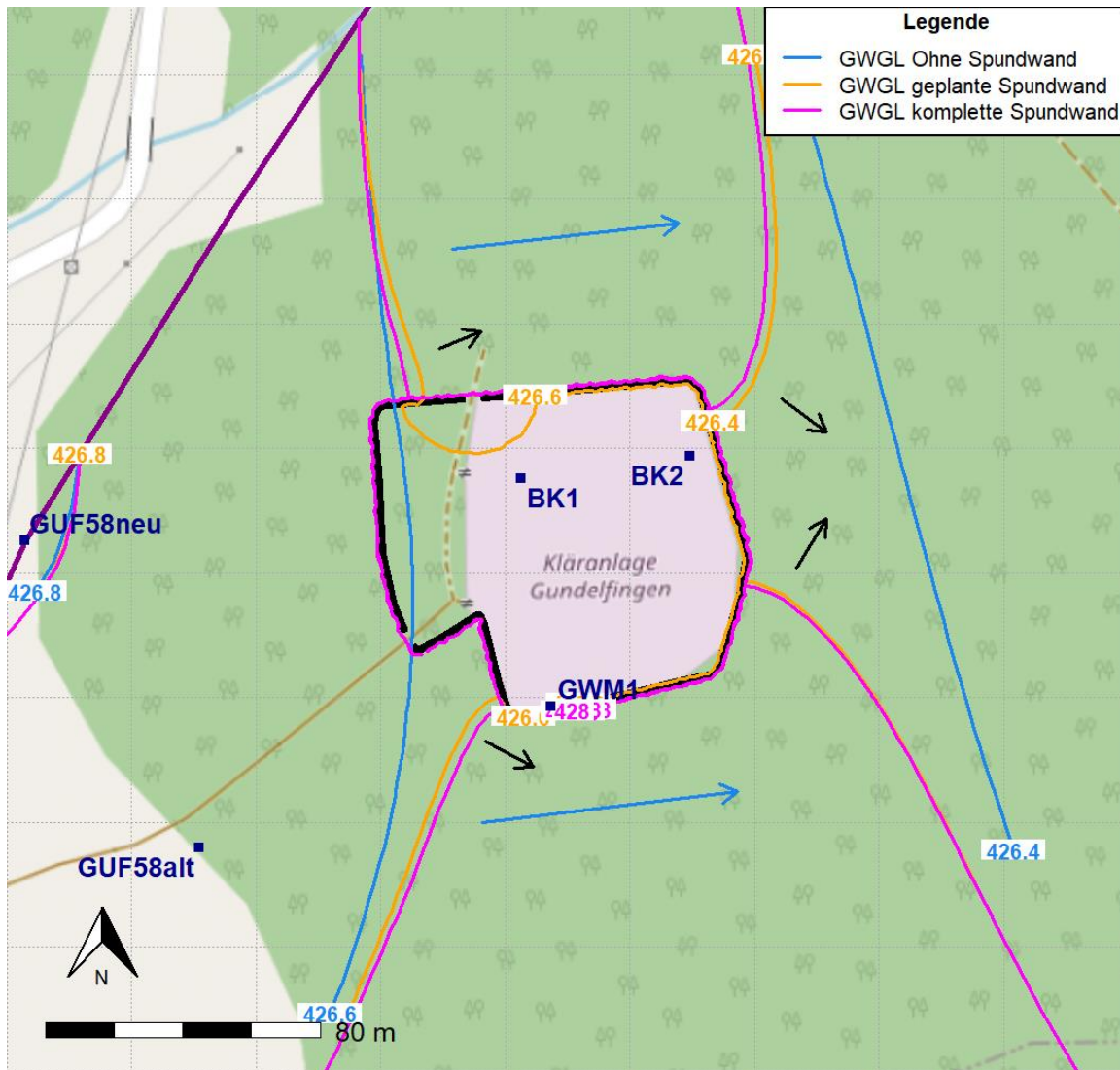


Abbildung 11: Grundwassergleichen ohne Spundwand, mit Spundwand geplant und komplett dichte Spundwand.

Lediglich im Nachbereich der Spundwand gab es kleinräumige Veränderungen im Grundwasserstand, jedoch keine Veränderungen des Strömungsbildes oder maßgebliche Aufstauereffekte. Dies ist durch die hohen Durchlässigkeitswerte im quartären Grundwasserleiter begründet. Die Spundwand bzw. der Bereich der Kläranlage wird vom Grundwasser umflossen (**Abbildung 11** und **Abbildung 12**).

Direkt an der westlichen Seite der Spundwand, genau aus der Richtung woher die Grundwasserströmung herkommt, entstehen kleinräumig minimale Aufstauereffekte von wenigen Zentimetern (**Abbildung 11** und **Abbildung 12**). Zusätzlich entsteht ein etwas größerer Aufstauereich aufgrund der „L-förmigen“ (genaugenommen

gedrehtes und gepiegeltes „L“) Einbuchtung in südwestlicher Richtung der Spundwand. Der Grundwasserstrom kommt direkt aus dieser Richtung und staut sich minimal in der „L-förmigen“ Einbuchtung auf. Diese Aufstauung beträgt jedoch kleinräumig nur 5 bis 10 cm in einem Bereich von etwa 30 m. Bei einer Aussparung dieser Einbuchtung in der Spundwand, könnte dieser kleine Aufstauereffekt noch verringert werden. Dies sollte in der weiteren Planung diskutiert werden.

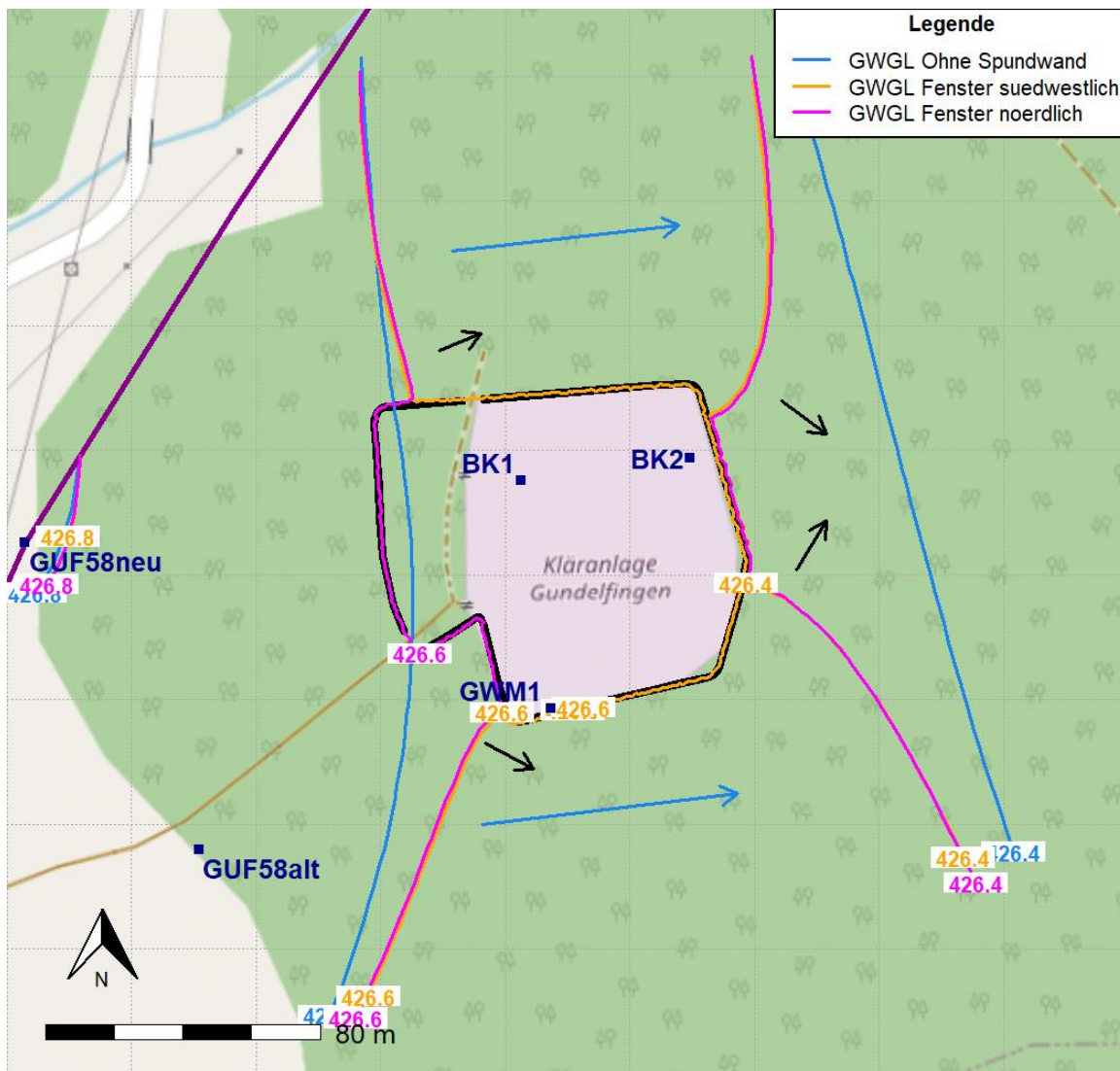


Abbildung 12: Grundwassergleichen ohne Spundwand, Spundwand mit Fenster südwestlich und nördlich.

Hingegen im Abstrom der Spundwand, in östlicher (nordnordöstlich) Richtung, gibt es eine kleinräumige Grundwasserabsenkung von etwa 5 bis 10 cm (**Abbildung 11** und **Abbildung 12**). Dies ist darin begründet, dass das Grundwassergefälle im Abstrom der Spundwand größer ist und sich das Grundwasser somit stromabwärts bewegt und nicht in den Grundwasserströmungsschatten der Spundwand. Der Bereich der Grundwasserabsenkung beträgt etwa 50 m.

Aus gutachterlicher Sicht ist die Veränderung außerhalb der Spundwand im Grundwasserströmungsbild somit als gering zu bewerten und eine Beeinflussung Dritter kann auf Grundlage dieser Datengrundlage ausgeschlossen werden.

3.5.2 Auswirkungen auf den Grundwasserstand innerhalb der Spundwand

Für die Darstellung der Auswirkungen innerhalb der Spundwand müssen die vier modellierten Varianten einzeln betrachtet werden, da es sich um unterschiedliche Auswirkungen handelt.

3.5.2.1 Spundwand ohne Fenster

Als erstes wird die Variante mit **kompletter Spundwand, ohne Fenster**, betrachtet. Der innere Bereich der Spundwand ist hier komplett vom äußeren Bereich abgetrennt und das Innere und Äußere der Spundwand sind somit als zwei getrennte Systeme zu betrachten. Es kann kein Grundwasseraustausch stattfinden und der Grundwasserstand wird innerhalb der Spundwand über die Zeit nur von der Grundwasserneubildung beeinflusst.

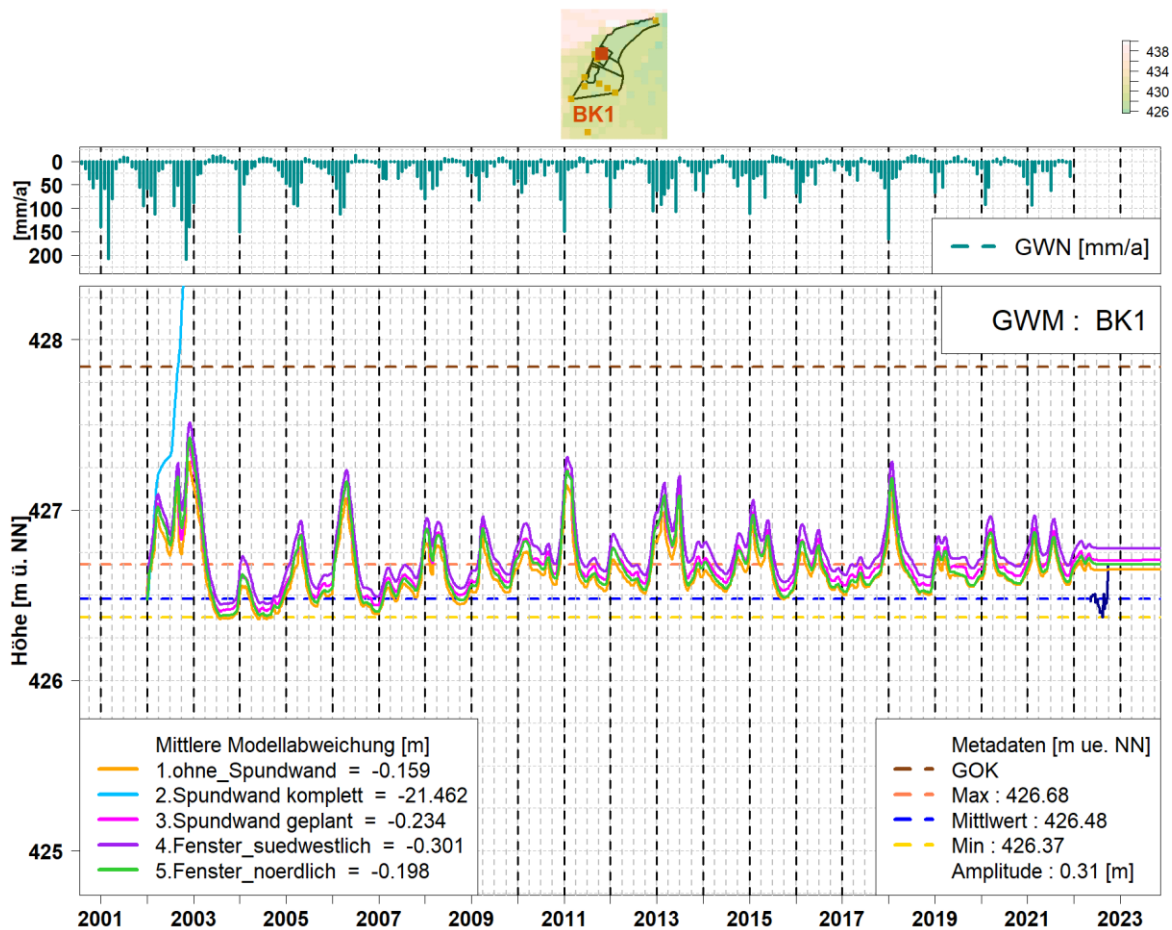


Abbildung 13: GWM BK1 mit gemessenem Grundwasserstand in dunkelblau und ausgewiesenen Modellergebnissen.

Resultat ist, dass schon innerhalb eines Jahres aufgrund der Grundwasserneubildung der Grundwasserstand bis über die Geländeoberkante ansteigen würde. Dies ist an der hellblauen Linie in **Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15** zu erkennen.

Die mittlere Grundwasserneubildung liegt im Bereich von 130 mm/a (**Abbildung 5**, [Morhard , 2022]). Das entspricht bei einer Fläche von 0,0187 km² etwa 0,077 l/s. Für die monatliche Betrachtung gibt es dabei eine größere Schwankungsbreite. Im Zeitraum von 1990 bis 2021 variiert die monatliche Grundwasserneubildung für diesen Bereich zwischen 0 und 1314 mm/a, mit einem Mittelwert von 175 mm/a. Umgerechnet auf l/s ergibt dies Werte zwischen 0 und 0,77 l/s, bei einem Mittelwert von 0,1 l/s. In dieser Größenordnung müsste dementsprechend eine Wasserhaltung dimensioniert werden, um ein „Volllaufen“ innerhalb der Spundwand zu verhindern.

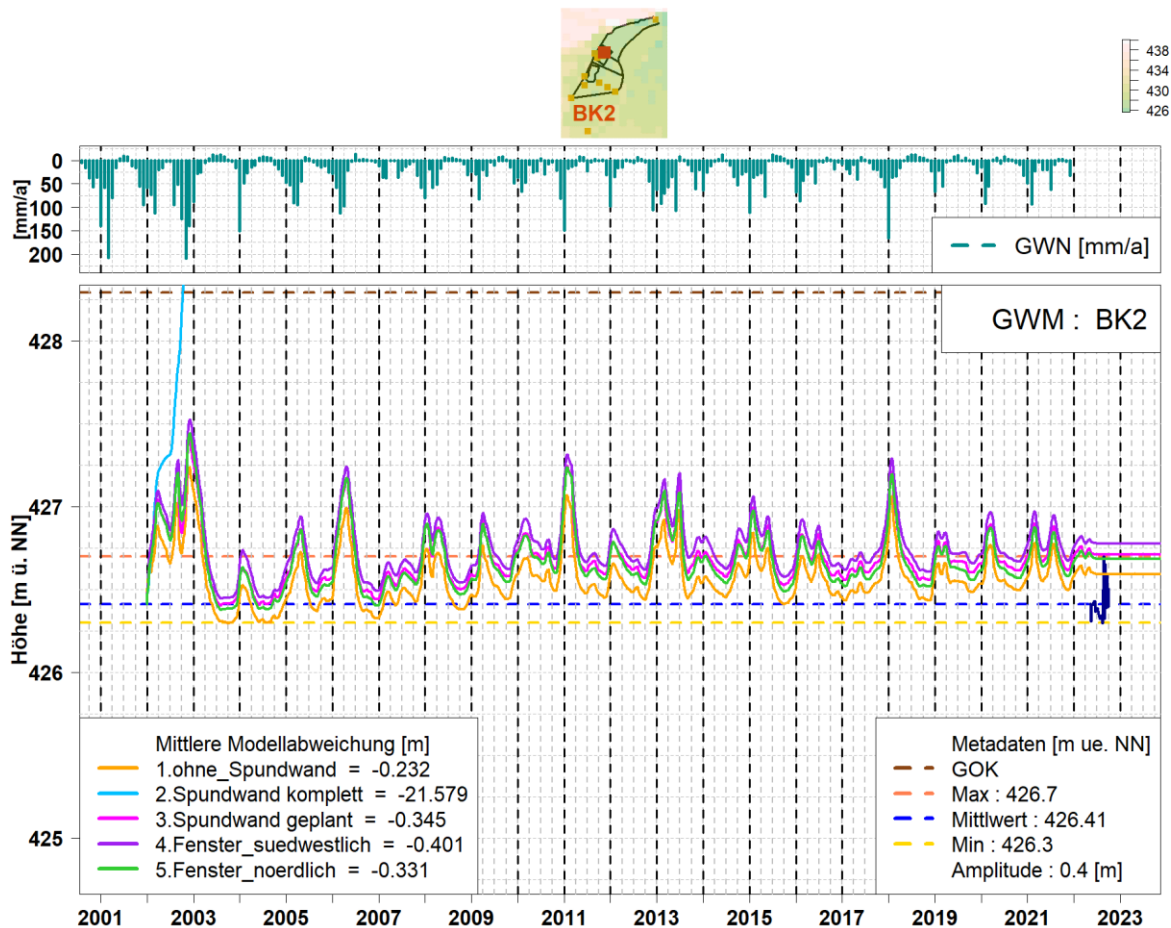


Abbildung 14: GWM BK2 mit gemessenem Grundwasserstand in dunkelblau und ausgewiesenen Modellergebnissen.

In **Abbildung 11** ist das Strömungsbild für eine komplette Spundwand zu erkennen, jedoch wurden die Grundwassergleichen innerhalb der Spundwand ausgeblendet, da diese mit der Zeit immer weiter ansteigen und nur einen unplausiblen hohen Wert darstellen. Aus diesem Grund gibt es auch eine

Modellabweichung von - 21 m bei dieser Variante (**Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15**).

Eine Grundwasserabsenkung innerhalb der Spundwand wird mit dieser Variante und dieser Datengrundlage nicht stattfinden, kann jedoch mit einer Wasserhaltung innerhalb der Spundwand erzielt werden.

3.5.2.2 Spundwand bisheriger Planungstand mit 2 Fenstern

Als nächstes werden die Veränderungen des Grundwasserstandes bei dem derzeitigen Planungsstand der Spundwand aufgezeigt. Dabei hat die Spundwand zwei Fenster, einmal im Zustrom (Donautal) in südwestlicher Richtung und einmal im Teilzustrom (Brenztal) in nördlicher Richtung. In **Abbildung 11** sind die Grundwassergleichen dargestellt und es ist zu erkennen, dass im inneren der Grundwasserstand geringfügig höher liegt als im Abstrom, genau genommen nimmt der Grundwasserstand innerhalb größtensteils den Grundwasserstand vom Zustrom an.

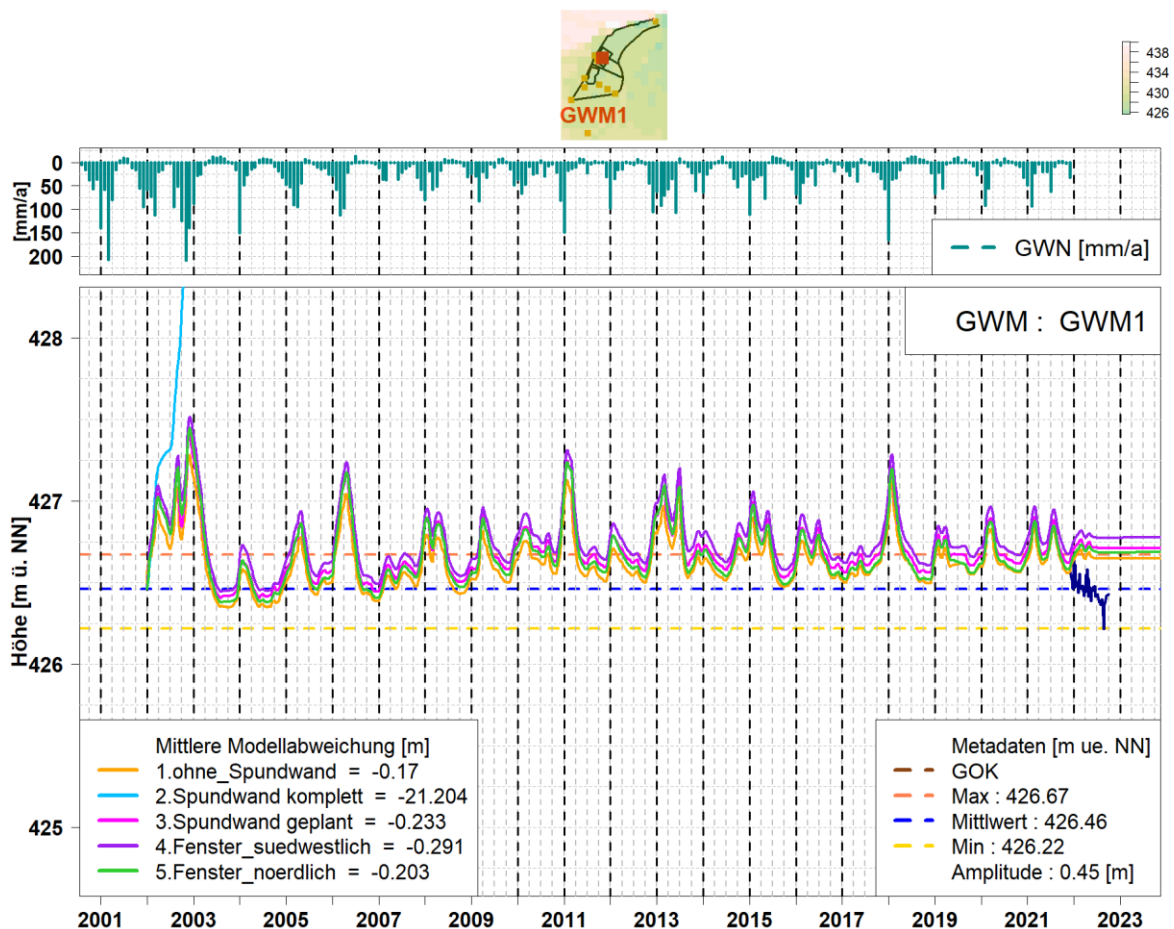


Abbildung 15: GWM GWM1 mit gemessenem Grundwasserstand in dunkelblau und ausgewiesenen Modellergebnissen.

Durch das Fenster in südwestlicher Richtung strömt das Grundwasser hier aufgrund der Grundwasserströmungsrichtung direkt in das Innere der Spundwand.

Gleichzeitig kann das Grundwasser nur teilweise wieder über das nördliche Fenster abfließen, da aus dieser Richtung auch ein Teilgrundwasserzustrom aus dem Brenztal kommt. Somit wird bei dieser Variante das Grundwasser geringfügig im Inneren der Spundwand angestaut. In **Abbildung 11** ist das Strömungsbild für die geplante Spundwand zu erkennen, und es ist ein Aufstau des Grundwasserstandes mit einem Abfluss über das nördliche Fenster zu erkennen.

Zudem ist dieser Aufstau in **Abbildung 13**, **Abbildung 14** und **Abbildung 15** zu erkennen. Als Gütemaß für den Aufstau kann die mittlere Modellabweichung herangenommen werden. Diese liegt bei der GWM1 (**Abbildung 15**) bei der Variante ohne Spundwand bei 17 cm und bei der Variante Spundwand geplant bei 23 cm. Dies ist ein Grundwasseranstieg von 6 cm bei GWM1, während bei BK1 (**Abbildung 13**) ein Grundwasserstand von etwa 7 cm und bei BK2 (**Abbildung 14**) von 11 cm erreicht werden. Abhängig von der jährlich leicht variierenden Grundwasserströmungsrichtung/Grundwasserstand ist dies mehr oder weniger ausgeprägt. Eine Grundwasserabsenkung wird durch diese Ausführung der Spundwand modelltechnisch mit dieser Datengrundlage nicht bewirkt.

3.5.2.1 Spundwand nur mit südwestlichem Fenster

Bei der Variante mit nur einer Öffnung im südwestlichen Teil der Spundwand nimmt der Grundwasserstand innerhalb der Spundwand den Grundwasserstand wie aus dem Zustrom (Donautal) an und steigt sogar noch höher an, da dieser Strom direkt einfließt und sich aufstaut. Bei sinkenden (niedrigeren) Grundwasserstand im Zustrom fließt das Grundwasser nur verzögert ab und gleicht sich verzögert an die Grundwasserverhältnisse im Zustrom an. Das Grundwasserströmungsbild ist in **Abbildung 12** dargestellt.

Das oben beschriebene Grundwasserverhalten bei der Variante nur mit südwestlicher Öffnung ist in **Abbildung 13**, **Abbildung 14** und **Abbildung 15** (violette Linie) zu sehen. Der Anstieg ist anhand der mittleren Abweichung bei Grundwassermessstelle BK1 (**Abbildung 13**) mit 14 cm, bei Grundwassermessstelle BK2 (**Abbildung 14**) mit 17 cm und bei Grundwassermessstelle GWM1 (**Abbildung 15**) mit 12 cm zu quantifizieren. Abhängig von der jährlich leicht variierenden Grundwasserströmungsrichtung/Grundwasserstand ist dies mehr oder weniger ausgeprägt. Eine Grundwasserabsenkung wird durch diesen Ausbau der Spundwand modelltechnisch mit dieser Datengrundlage nicht begünstigt.

3.5.2.2 Spundwand nur mit nördlichem Fenster

Bei der letzten Variante der Spundwand wurde nur ein Fenster im nördlichen Teil der Spundwand modelliert. Diese verhält sich analog zu der Variante mit einem Fenster in südwestlicher Richtung mit der Änderung, dass im Inneren der Spundwand der Grundwasserstand vom Zustrom aus den Brenztal abgebildet wird. Die Grundwassergleichen sind in **Abbildung 12** dargestellt.

Je nach jahreszeitlichem Zustrom aus dem Brenztal steigt der Grundwasserstand an und gleicht sich nur verzögert wieder an. Dies ist in **Abbildung 13**, **Abbildung 14** und **Abbildung 15** als grünen Linie dargestellt. Da der Grundwasserstand im nördlichen Bereich geringer ist als im südwestlichen Bereich weist diese Variante einen geringen Aufstau innerhalb der Spundwand auf als die vorher diskutierten Varianten, jedoch handelt es sich immer noch um einen Aufstau. Die Höhe des Aufstaus anhand der mittleren Modellabweichung beträgt für die Grundwassermessstelle BK1 (**Abbildung 13**) 4 cm, bei Grundwassermessstelle BK2 (**Abbildung 14**) 10 cm und bei Grundwassermessstelle GWM1 (**Abbildung 15**) 3 cm. Abhängig von der jährlich leicht variierenden Grundwasserströmungsrichtung/Grundwasserstand ist dies mehr oder weniger ausgeprägt. Eine Grundwasserabsenkung ist mit diesem Ausbau der Spundwand modelltechnisch mit dieser Datengrundlage ebenso nicht anzunehmen.

4 Fazit

Die Kläranlage Gundelfingen liegt am östlichen Ortsrand der Gemeinde Gundelfingen im Donautal, wo der oberste Grundwasserleiter hauptsächlich aus quartären Kiesen besteht und hohe Durchlässigkeiten aufweist. Darunter angrenzend treten bindige Molasse-Schichten auf, welche den Grundwasserstauer darstellen [IFM, 2018]. Der obere (Haupt-) Grundwasserleiter ist größtenteils ungespannt, jedoch können durch den heterogenen Aufbau auch in tieferen Schichten lokale gespannte Grundwasservorkommen auftreten [IFM, 2018; HPC, 2022].

Der quartäre Grundwasserleiter hat im Bereich der Kläranlage Mächtigkeiten um die 5 bis 6 m mit einer Durchlässigkeit von 1×10^{-3} m/s [Simultec, 2018]. Die Grundwasserströmung kommt bei der Kläranlage aus zwei Richtungen, erstens aus südwestlicher Richtung aus dem Donautal (Hauptstrom) und zweitens aus nordwestlicher Richtung aus dem Brenztal (Teilstrom). Abhängig von der jahreszeitlichen Schwankung der beiden Zuströme variiert der Grundwasserstand im Bereich der Kläranlage um etwa 1,6 m (GUF58alt, **Abbildung 9**) im jahreszeitlichen Verlauf.

Bei der Modellerstellung für die Kläranlage Gundelfingen wurden, soweit möglich, öffentlich zugängliche Datengrundlagen zu den Eigenschaften des Grundwasserleiters sowie den maßgeblichen hydraulischen Randbedingungen verwendet. Die Durchlässigkeitswerte und die Aquifergrenze wurden aus dem Modell Simultec [2018] entnommen und für das hier erstellte Modell aufbereitet. Die instationären Randbedingungen werden durch die Zeitreihen der Grundwassermessstellen GUF42, GUF53, GUF53, GUF63 und GUF58neu [LEW, 2022] und der Grundwasserneubildung [Morhard, 2022] vorgegeben.

Bei guter Übereinstimmung zwischen modellierten und beobachteten Grundwasserständen [LEW, 2022] kann die Grundwasserströmungssituation unter Berücksichtigung der für die hydraulische Durchlässigkeit verbleibenden Unsicherheit nach aktuellem Kenntnisstand als bestmöglich erfasst betrachtet werden.

Die Modellvalidierung wurde mit den vier Grundwassermessstellen GUF54, GUF55, GUF56, GUF58alt durchgeführt. Als Gütemaß wurde die mittlere Abweichung zwischen gemessenen und modellierten Grundwasserständen herangezogen, welche bei Werten von maximal $\pm 0,4$ m lag. Das Modell bildet den Grundwasserstand und die Grundwasserdynamik mit hoher Genauigkeit ab, was als hohe Modellgüte zu bewerten ist. Gleichwohl sollte aufgrund einer anzunehmenden Heterogenität (Durchlässigkeit und Aquifergrenze) des Grundwasserleiters bei der Interpretation der Ergebnisse eine gewisse Unschärfe einkalkuliert werden.

Mit dem erstellten Modell Kläranlage Gundelfingen sollten die Auswirkungen einer Umrandung der Kläranlage mit einer Spundwand untersucht werden. Es sollten die

Fragenstellungen Auswirkung der Spundwand auf Dritter durch mögliche Austauereffekte, Ausbautiefe, Ausführung der Spundwand, mit oder ohne Öffnungen (Fenster) modelltechnisch untersucht werden. Ziel der Spundwand ist es einen größtmöglichen Grundwasserschutz innerhalb der Spundwand zu erreichen.

In der Modellierung hat sich gezeigt, dass nur ein Ausbau der Spundwand bis in die tertiären Schichten eine Abtrennung des Grundwasserstockwerks innerhalb der Spundwand bewirkt und damit eine Unterströmung der Spundwand aufgrund der hohen Durchlässigkeitswerte verhindert wird. Somit wird dieser Ausbau aus gutachterlicher Sicht empfohlen. Die Einbautiefe sollte bei der Ausführung (Bau) nochmals im Gelände überprüft werden, da diese gegebenenfalls aufgrund der anzunehmenden Heterogenität abweichen kann.

Bei der Ausführung der Spundwand sollten die Auswirkungen auf den Grundwasserstand von 4 Varianten der Spundwand (derzeitiger Planungsstand mit zwei Fenstern, komplette Spundwand ohne Fenster, Spundwand mit südwestlichem Fenster und Spundwand mit nördlichem Fenster) untersucht werden und mit dem unbeeinflussten Modell verglichen werden. Dabei wurde zwischen den Auswirkungen auf den Grundwasserstand innerhalb und außerhalb der Spundwand unterschieden.

Der Einbau der Spundwand in das Modell, unabhängig von der ausgeführten Variante, hat gezeigt, dass es außerhalb der Spundwand zu keinen großräumigen Aufstauereffekten oder Veränderungen im Grundwasserströmungsbild kommt. Lediglich im Grundwasserzustrom (südwestlicher Richtung) gibt es kleinräumige Aufstauungen von etwa 5 bis 10 cm und im Grundwasserabstrom Grundwasserabsenkungen von 5 bis 10 cm. Die Veränderungen gleichen sich schnell wieder an die lokalen unbeeinflussten Verhältnisse an.

Aufstauereffekte in dieser Größenordnung sind zu erwartende Werte für den Einbau einer Spundwand im Quartär und dessen Durchlässigkeiten. Diese haben keine Auswirkungen auf das großräumige Grundwasserströmungsbild und somit auf Dritte.

In der weiteren Planung sollte diskutiert werden, ob im südwestlichen Teil der Spundwand die „L-förmige“ Einbuchtung notwendig ist, da diese einen kleinen, zum Teil auch vermeidbaren, Aufstau bewirkt.

Zuletzt wurden die Auswirkungen der unterschiedlichen Varianten der Spundwand auf den Grundwasserstand innerhalb der Spundwand modelltechnisch untersucht. Eine komplette Spundwand, keine Öffnung (Fenster), bewirkt eine Abtrennung des Inneren und Äußeren der Spundwand. Es handelt sich somit um zwei unterschiedliche Systeme, vorausgesetzt der Ausbau der Spundwand geht bis in die tertiären Schichten. Im Inneren der Spundwand wird der Grundwasserstand somit nur noch von der Grundwasserneubildung gesteuert und innerhalb eines Jahres würde der Grundwasserstand über die Geländeoberkante steigen. Eine durchgängige Grundwasserhaltung von etwa 1 l/s wäre notwendig (Ausgleich der

Grundwasserneubildung), um den Grundwasserstand innerhalb der Spundwand zu regulieren.

Bei den anderen drei Varianten der Spundwand kommt die Besonderheit zum Tragen, dass die Grundwasserströmung aus zwei Richtungen kommt, einerseits die Hauptströmung aus dem Donautal und andererseits ein Teilstrom aus dem Brenztal. Beim derzeitigen Planungstand der Spundwand mit zwei Fenstern strömt mehr Grundwasser über das südwestliche Fenster über den Hauptstrom hinein, als es über das nördliche Fenster abströmen kann. Dies ist dadurch begründet, dass der Teilstrom aus nordöstlicher Richtung das Ausfließen verzögert und somit ein Aufstau ausgehend von der mittleren Abweichung des Modells zum unbeeinflussten Modell von etwa 6 bis 11 cm bewirkt wird.

Bei der Variante Spundwand mit südwestlichem Fenster entsteht aufgrund des direkten Grundwasserzustroms (Donautal) über das Fenster der größte Grundwasseraufstau innerhalb der Spundwand. Der Grundwasserstand vom Zustrom wird somit innerhalb der Spundwand abgebildet und gleicht sich nur verzögert wieder an. Der Aufstau kann anhand der mittleren Abweichung zwischen unbeeinflusstem Modell und dem Modell mit dieser Spundwand Variante mit 14 bis 17 cm ausgewiesen werden.

Analog verhält sich die Variante Spundwand mit nördlichem Fenster. Innerhalb der Spundwand stellt sich der Grundwasserstand vom Zustrom aus dem Brenztal ein. Dieser ist niedriger als der aus dem Donautal, jedoch gibt es trotzdem einen Aufstau innerhalb der Spundwand und der Grundwasserstand gleicht sich auch wieder nur verzögert an.

Alle modelltechnisch untersuchten Varianten der Spundwand mit Fenster bewirken keine langfristige Absenkung des Grundwassers innerhalb der Spundwand. Dies ist hauptsächlich durch die hohen Durchlässigkeitswerte und die zwei verschiedenen Grundwasserzuströme und die Positionierung der Öffnungen in der Spundwand zu begründen. Einen größeren Grundwasserschutz bietet somit nur eine komplette Spundwand ohne Fenster mit einer entsprechenden Grundwasserhaltung, um einen Grundwasseranstieg durch die Grundwasserneubildung zu verhindern.

5 Literatur

DHI WASY [2022]: FEFLOW DHI-WASY GmbH, Berlin, FEFLOW Version 7.5, Finite Elemente Simulation System for Subsurface Flow and Transport Processes 1979-2022, <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/feflow>

DVGW [2015], DVGW W 111(A), Pumpversuche bei der Wassererschließung, Technische Regel- Arbeitsblatt W 111, März 2015, Inhaltlich überprüft und bestätigt November 2021.

GeoBasis-DE [2021], Digitales Geländemodell Gitterweite 200 m, DGM200, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 17.03.2021, <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitales-gelandemodell-gitterweite-200-m-dgm200.html>.

GUF [2022]: Datenbereitstellung der Kläranlage Gundelfingen, Grundwasserstände und Metadaten.

HPC [2022]: Ertüchtigung und Modernisierung der Kläranlage, Weidweg 1, 89423 Gundelfingen a.d. Donau, Flurnummer 3242, Gemarkung Dillingen a. d. - 1. Geotechnischer Bericht.

IFM [2018]: Abwasserreinigungsanlage Gundelfingen Vorplanung, Baugrundvorerkundung, IfM Institut für Materialprüfung Dr. Schellenberg Leipheim GmbH & Co. KG 89340 Leipheim, Maximilianstr. 15.

LEW [2022]: Datenbereitstellung der Grundwasserstandsmessungen durch die LEW Wasserkraft GmbH.

Marotz [1968]: Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund. Schriftenreihe KWK, 18, Hamburg. [zitiert in Frieg B. [1987]: Hydrogeologie und Grundwasserhydraulik des Einzugsgebietes des Wasserwerkes Herbolzheim-Ebnet. Dissertation, Universität Heidelberg].

Morhard [2022]: Langzeitsimulation von Bodenwasserhaushalt und flächenhafter Grundwasserneubildung 2001-2020 für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. GIT HydroS Consult GmbH, Freiburg.

Simultec [2018]: Donau (Iller bis Lech) - Verbesserung Hochwasserschutz - Datenmanagement und Modelle, Grundwasser – Modellaufbau, Bericht 2, Stand: 08. Juni 2018, Version: 02ARGE SKI – Simultec.

Steinbacher Consult [2022]: Datenbereitstellung von Lageplänen und Geometrien der Spundwand usw.

PEST [2007]: John Doherty, Model-Independent Parameter Estimation, User Manual 5th Edition, Watermark Numerical Computing.

6 Anhang

Darstellung aller Grundwassermessstellen aus **Tabelle 1** mit den Modellergebnissen.