

Hochwasserschutz Günz

HRB Sontheim

Numerisches Grundwassermodell

vom 12.06.2023

Vorhabensträger: Wasserwirtschaftsamt Kempten
Rottachstraße 15
87439 Kempten

Verfasser: Dr. Blasy - Dr. Øverland
Ingenieure GmbH
Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee

ea-WWAKE-003.01/ha/hü

Verzeichnis der Unterlagen

I. Erläuterungsbericht

II. Anlagen

Lagepläne

Anlage 1: Übersichtslageplan Maßstab 1:25.000

Anlage 2: Lageplan Maßstab 1:10.000

Anlage 3: Lageplan Maßstab 1:5.000

Sonstige Daten

Anlage 4: Bohrprofile der Erkundungsbohrungen und Grundwassermessstellen

Anlage 5: Aufzeichnungen der Versickerungsversuche im Bohrloch (PIVs)

Anlage 6: Pumpversuchsaufzeichnungen an den Grundwassermessstellen (PV)

Anlage 7: Aufzeichnungen Versickerungsversuche Schürfgruben

Anlage 8: Vermessungsdaten

Anlage 9: Fotodokumentation Bohrkerne

Unterlagen zum Grundwassermodell

Anlage 10: Screenshots ausgewählter Modellsituationen

I. Erläuterungsbericht

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung	1
2.	Durchgeführte Untersuchungen	2
2.1	Geländearbeiten	2
2.2	Laborarbeiten	2
3.	Verwendete Datengrundlage.....	4
4.	Geplantes Hochwasserrückhaltebecken	5
5.	Morphologie.....	7
6.	Schutzgebiete.....	8
7.	Klima und Grundwasserneubildung	9
8.	Starkniederschlagshöhen.....	10
9.	Hydrogeologisches Modell	11
9.1	Geologie	11
9.2	Grundwasserverhältnisse.....	13
9.2.1	Allgemein.....	13
9.2.2	Lokale Verhältnisse	14
9.2.3	Grundwasserstände	17
9.2.3.1	Langfristige Entwicklung der Grundwasserstände	17
9.2.3.2	Entwicklung der Grundwasserstände seit 2021	17
9.2.3.3	Grundwasserschwankungen	20
9.2.3.4	Flurabstände	21
9.2.4	Hydraulische Parameter.....	22
9.3	Oberflächengewässer	23
10.	Numerisches Grundwassermodell	27
10.1	Modelldaten	27
10.1.1	Diskretisierung.....	28
10.1.2	Randbedingungen	30
10.1.3	Materialparameter	31
10.2	Kalibrierung	32

10.3	Modellrechnungen der Einstauereignisse	34
10.3.1	Modellgrundlage	34
10.3.2	Instationäre Randbedingungen	34
10.3.3	Modellergebnisse	35
10.3.3.1	Flächenhafte Auswirkungen	35
10.3.3.2	Ausbreitung des Eintrags im Grundwasserleiter	37
10.3.3.2.1	Vertikaleintrag auf der Einstaufläche: Numerisches Modellergebnis und analytische Kontrollrechnung	37
10.3.3.2.2	Horizontale Ausbreitung des Sickerwassereintrags im Grundwasserleiter	39
10.3.3.3	Vergleich des Prognosezustands HRB Sontheim und Einstaufläche mit Ist- Zustand (Überschwemmungsbereiche)	45
10.3.3.3.1	Hochwasserereignis HQ100K (Ist-Zustand mit HRB Engetried)	45
10.3.3.3.2	Differenzbetrachtung: [Prognosezustand – Ist-Zustand]	50
10.3.3.4	Einzelbetrachtungen	51
10.3.3.4.1	Damm	51
10.3.3.4.2	Tiefsilo	52
10.3.3.4.3	Spundwandverbau	55
10.3.3.4.4	Trinkwasserschutzgebiet	57
10.3.3.4.5	Zustrom zur Dammfußdrainage	57
11.	Zusammenfassung	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersichtslageplan (© Bayerische Vermessungsverwaltung)	1
Abbildung 2:	Lagepläne der Geländearbeiten – oben Übersicht: Grundwassermessstellen und Schürfe, unten Detailausschnitt Bohrungen und DPHs im Dammbereich	3
Abbildung 3:	Übersicht Einstauflächen HQ1 bis HQ100+Klima	5
Abbildung 4:	Digitales Geländemodell (DGM) im Untersuchungsbereich	7
Abbildung 5:	Trinkwasserschutzgebiet Sontheim, Hochwassergefahrenfläche Östliche Günz und Schutzgebiete des Naturschutzes	8
Abbildung 6:	Station Memmingen (615 m ü. NN)	9
Abbildung 7:	Starkniederschlagshöhen im Untersuchungsgebiet	10
Abbildung 8:	Starkniederschlagsspenden im Untersuchungsgebiet	10
Abbildung 9:	Auszug aus der Geologischen Karte von Bayern, Maßstab 1:25.000	12
Abbildung 10:	Höhenmodell der Tertiäroberkante	12
Abbildung 11:	Profilschnitt entlang des geplanten Damms	13
Abbildung 12:	Hydrogeologische Karte HK500 (Auszug, © Umweltatlas, LfU)	14
Abbildung 13:	Grundwassergleichen im Untersuchungsgebiet	15
Abbildung 14:	Geologischer Profilschnitt Nord ⇒ Süd mit Darstellung der Grundwasseroberfläche	16
Abbildung 15:	Langfristige Grundwasserstandsaufzeichnungen im Umfeld	17
Abbildung 16:	Messwertaufzeichnung GWM Sontheim 3/06 mit statistischen Kennwerten	18
Abbildung 17:	Grundwasserstandsaufzeichnungen der vorhabenbezogenen Grundwassermessstellen	19
Abbildung 18:	Flurabstandsaufzeichnungen der vorhabenbezogenen Grundwassermessstellen	19
Abbildung 19:	Grundwasserschwankungen im bisherigen Erfassungszeitraum	20
Abbildung 20:	Flurabstände im Untersuchungsgebiet (03.10.2022, HW im bisherigen Erfassungszeitraum)	21
Abbildung 21:	Zusammenstellung der Ergebnisse der k_f -Wert-Ermittlung	22
Abbildung 22:	Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet	23
Abbildung 23:	Profilschnitt Östliche Günz; Geländehöhe und Grundwasserstand	24
Abbildung 24:	Profilschnitt Östl. Günz (Detailabschnitt unterstromig des HRB)	26
Abbildung 25:	Horizontale Diskretisierung und Randbedingungen (BC 1-blau, BC 2-rosa, BC 3-grün)	28
Abbildung 26:	Vertikale Diskretisierung (Geländehöhe)	29
Abbildung 27:	Vertikale Diskretisierung (k_f -Wert-Zuweisung)	30

Abbildung 28:	Ergebnis Modellkalibrierung (rot: berechnete Grundwassergleichen, blau: konstruierte Grundwassergleichen)	33
Abbildung 29:	Einstaukurven HQ1 bis HQ100+K (Modell)	35
Abbildung 30:	Kumulierte Versickerungsmengen im Einstaubereich	38
Abbildung 31:	Differenzhöhen Planungszustand - Grundwasserstand im zeitlichen Verlauf Planungszustand HQ100K (Profillinie: Damm bis Sontheim)	41
Abbildung 32:	wie Abbildung 31, Detail	41
Abbildung 33:	Lageplan der Beobachtungspunkte der berechneten Grundwasserhöhen; Modellwasserstand HQ100K nach 10 Tagen (Profilverlauf zwischen Einstaubereich und Ortsrand Sontheim; siehe Diagramme der Abbildung 31 und Abbildung 32)	42
Abbildung 34:	wie Abbildung 33, nach rd. 20 Tagen	43
Abbildung 35:	wie Abbildung 33, nach rd. 80 Tagen	43
Abbildung 36:	wie Abbildung 33, nach rd. 200 Tagen	44
Abbildung 37:	wie Abbildung 33, nach rd. 390 Tagen	44
Abbildung 38:	Überschwemmungsflächen Östl. Günz (mit HRB Engetried, HQ100K)	46
Abbildung 39:	Abflussmengen HQ100K (Ist-Zustand)	46
Abbildung 42:	Modellwasserstand HQ100K-Ist-Zustand nach rd. 10 Tagen (Profilverlauf zwischen geplantem Damm und Ortsrand Sontheim)	48
Abbildung 43:	wie Abbildung 42, nach rd. 20 Tagen	48
Abbildung 44:	wie Abbildung 42, nach rd. 80 Tagen	49
Abbildung 44:	wie Abbildung 42, nach rd. 200 Tagen	49
Abbildung 44:	wie Abbildung 42, nach rd. 390 Tagen	50
Abbildung 46:	Querprofil Damm – Variante: Zwei-Zonen-Damm mit Herdgraben	52
Abbildung 47:	Lageplan Querprofil Damm	52
Abbildung 48:	Lageplan <i>Tiefsilo</i> / GWM 4	53
Abbildung 49:	Lageplan Querprofil <i>Tiefsilo</i> / GWM 4	54
Abbildung 50:	Spundwandverbau am Auslassbauwerk; Differenzhöhen der Grundwasserstände (rechts Aufstau, links Absenkung)	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Maßgebliche Bauwerksdaten	6
Tabelle 2:	Abflussraten am Auslassbauwerk	6
Tabelle 3:	Modelldaten (Übersicht)	27
Tabelle 4:	Modellwerte Einstauhöhe, Einstaudauer	34
Tabelle 5:	Maximale Versickerungsraten im Einstaubereich (Budget Analyse Grundwassermodell)	38
Tabelle 6:	Kumulierte Versickerungsmengen im Einstaubereich (Budget Analyse Grundwassermodell)	39
Tabelle 7:	Analytisch berechnete Versickerungsmengen während eines Hochwasserereignisses HQ100K im Istzustand (mit HRB Engetried)	47
Tabelle 8:	Modellergebnisse <i>Tiefsilo</i>	54
Tabelle 9:	Grundwasserströmung unter dem geplanten Damm (Budget Analyse Grundwassermodell)	58

1. Veranlassung

Im Rahmen des Hochwasserschutzes *Östliche Günz* plant das Wasserwirtschaftsamt Kempten die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens (HRB) südlich von Sontheim. Die Lage des HRB ist im Übersichtslageplan der Abbildung 1 dargestellt.

Das Büro DR. BLASY - DR. ØVERLAND wurde vom Vorhabenträger mit der

- (1) Konzeptionierung, Planung und Überwachung erforderlicher Gelände- und Laborarbeiten,
- (2) Durchführung geotechnischer Berechnungen, Beschreibung und Beurteilung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse (*Geotechnischer Bericht*) sowie mit der
- (3) Erstellung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells und Durchführung von Prognoserechnungen zur Ermittlung der Auswirkungen des HRB auf die Grundwasserverhältnisse (*Hydrogeologisches Gutachten*) beauftragt.

Die Bearbeitung der geotechnischen Berechnungen und Erstellung des Geotechnischen Berichts (2) erfolgte durch das Baugrundinstitut Spotka Geotechnik. Die vorliegenden Unterlagen umfassen die Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse und der Berechnungsergebnisse des numerischen Grundwassermodells (3).

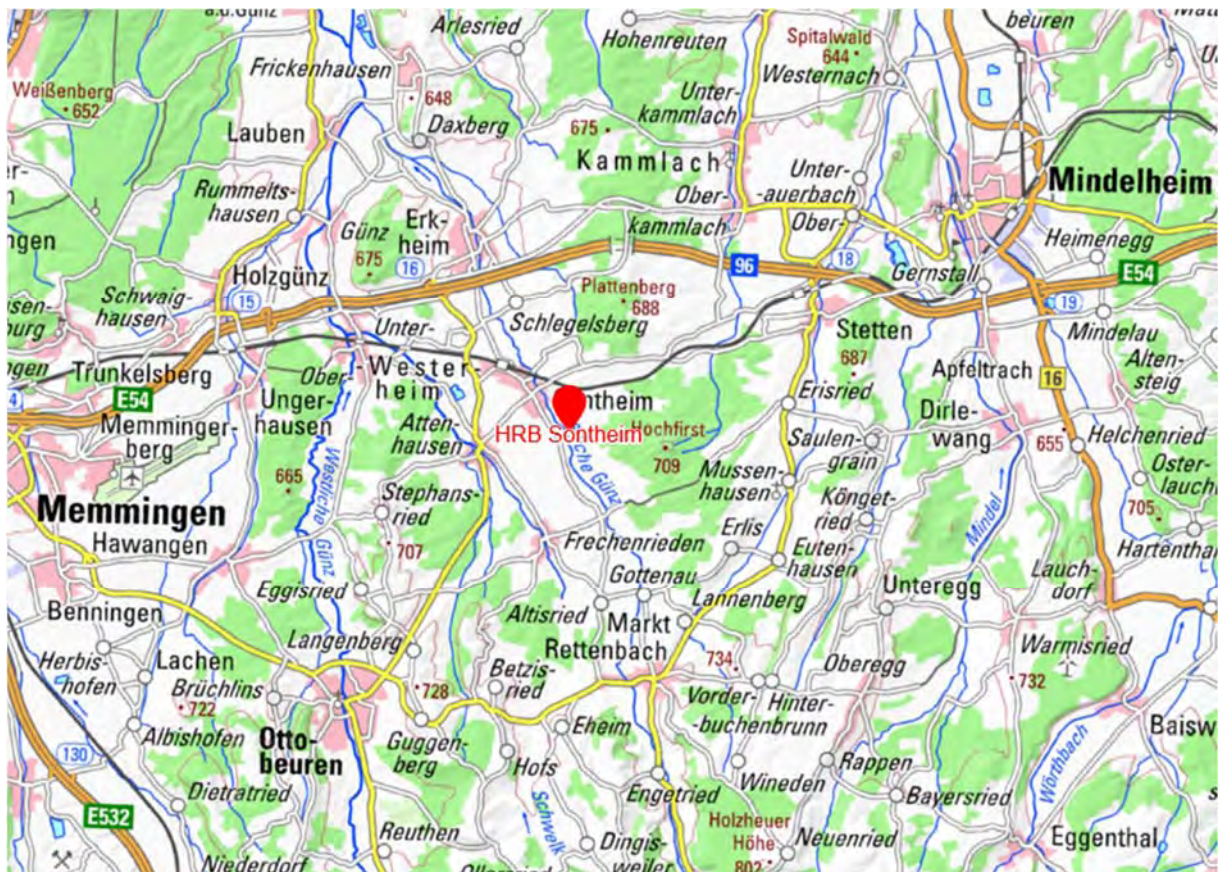


Abbildung 1: Übersichtslageplan (© Bayerische Vermessungsverwaltung)

2. Durchgeführte Untersuchungen

Nach der Sichtung der für den Untersuchungsbereich vorhandenen Unterlagen wurde ein hydrogeologisch-geotechnisches Untersuchungskonzept erstellt, im Zuge dessen die nachfolgend beschriebenen Gelände- und Laborarbeiten durchgeführt wurden.

Die Bohrarbeiten wurden durch die Fa. Baugrund Süd (Bad Wurzach) ausgeführt. Die Laborarbeiten erfolgten durch das Baugrundinstitut Spotka (Postbauer-Heng).

2.1 Geländearbeiten

- 37 Erkundungsbohrungen (B01 bis B37) im Dammbereich (3 x 20 m, 12 x 15 m, 1 x 10 m, 21 x 5 m Endteufe); Bohrlochsickerversuche
- 19 Rammsondierungen (DPH) im Dammbereich
- 9 Grundwassermessstellen außerhalb des Einstaubereiches und im Ortsbereich von Sontheim mit Durchführung von Pumpversuchen
- 5 Schürfe mit Versickerungsversuchen

Die Bohreinweisung der Fa. Baugrund Süd erfolgte am 08.02.2022. Mit der Durchführung der Schürfe wurden die Geländearbeiten am 29.03.2022 abgeschlossen.

2.2 Laborarbeiten

- 29 x Ermittlung der Kornverteilungskurven DIN EN ISO 17892-4 (2 x bindige Deckschichten, 17 x Quartärkiese, 10 x Tertiärsande)
- 29 x Bestimmung des natürlichen Wassergehalts nach DIN EN ISO 17892-1
- 7 x Bestimmung der Konsistenzgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12
- 2 x Bestimmung der Abrasivität nach NF P18-579

Die detaillierten Untersuchungsergebnisse sowie weiterführende Berechnungen sind im Geotechnischen Bericht enthalten. Soweit für die Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse relevant, fließen die Ergebnisse in die Erläuterungen ab Kapitel 9 (Hydrogeologisches Modell) mit ein.

In der Abbildung 2 ist die Lage der Geländeuntersuchungen im Überblick- und Detaillageplan dargestellt. Die Lagepläne der Anlagen 1 bis 3 enthalten ebenfalls die Untersuchungspunkte.

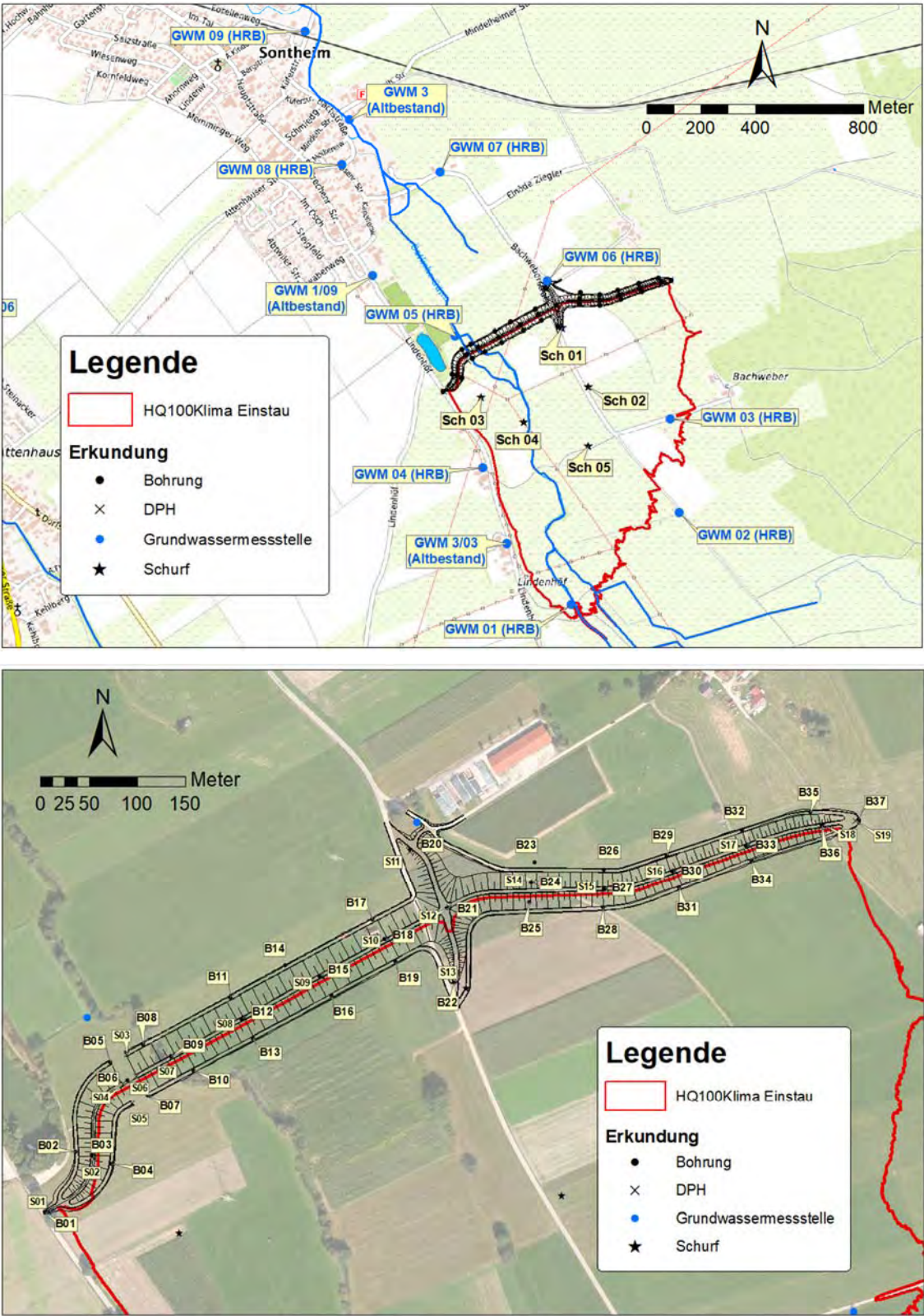


Abbildung 2: Lagepläne der Geländearbeiten – oben Übersicht: Grundwassermessstellen und Schürfe, unten Detailausschnitt Bohrungen und DPHs im Dammbereich

3. Verwendete Datengrundlage

Zur Erstellung der vorliegenden Unterlagen wurden ergänzend zu den vorstehend aufgeführten Gelände- und Laborarbeiten folgende Unterlagen verwendet:

Vom AG zur Verfügung gestellte Unterlagen

- (1) Dataloggerwerte der vorhabenbezogenen Grundwasserstände (9 neue Messstellen zzgl. 3 Bestandsmessstellen) seit Mai 2022 (bislang letzte Auslesung am 22.11.2022; seither Datenfernübertragung zum AG)
- (2) INGEO (2005): Schutzgebietsvorschlag Sontheim – Attenhausen Brunnen 3 und Brunnen 4
- (3) Vermessungsdaten
- (4) Grundlagendaten (Geodaten, digitales Geländemodell, Flurkarten)
- (5) Planunterlagen der Vor- und Entwurfsplanung

Internetservices des Landesamtes für Umwelt (LfU)

- (6) Umweltatlas Bayern:
 - Geologische Karte von Bayern (GK 25, Blätter 7928 und 8028)
 - Grundwasserneubildung durch Niederschlag
 - Bohraufschlüsse
- (7) Gewässerkundlicher Dienst
 - Grundwasserstandsaufzeichnungen
 - Meteorologische Daten (Station Mindelheim)

Internetservices der bayerischen Vermessungsverwaltung (wms-Dienste)

- (8) Schutzgebiete des Natur- und Trinkwasserschutzes

Literatur (allgemein)

- (9) BRANDL, L. (1979): die Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse durch Tiefbauten im Grundwasser und Möglichkeiten zur Verminderung nachteiliger Veränderungen des Grundwasserabflusses – Probearbeit im Ausbildungsabschnitt IIa der Ausbildung für den höheren bautechnischen Verwaltungsdienst – München 1979
- (10) ITWH INSTITUT FÜR TECHNISCH-WISSENSCHAFTLICHE HYDROLOGIE GMBH (2017): KOSTRA-DWD 2010R
- (11) SAGER (1986): Hydrologische und hydraulische Voruntersuchungen zur Bemessung von Trinkwasserschutzgebieten; Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, Trinkwasserschutzgebiete, Dienstbesprechung am 19. u. 20.09.1985.

4. Geplantes Hochwasserrückhaltebecken

Hinweis:

Im Zuge Prüfung der Entwurfsplanung des HRB Sontheim wurde eine Erhöhung des Freibords um 0,2 m vereinbart. Dementsprechend verringert sich die Stauzielhöhe um 0,2 m von ursprünglich 627,1 auf 626,9 m ü. NN. Dies hat planungstechnisch für die Einstaufälle HQ100 und HQ00+K Auswirkungen auf Stauinhalt, Entleerungszeit, Einstauhöhe und Einstaufläche. Die numerischen Modellrechnungen mit entsprechenden Auswertungen und Plandarstellungen wurden mit dem ursprünglichen Stauziel von 627,1 m ü. NN durchgeführt. Aufgrund des hohen Überarbeitungsaufwands mit zu erwartenden nur geringen Änderungen der berechneten Auswirkungen wurde vereinbart, die Modellrechnungen HQ100 und HQ100+K nicht anzupassen. Da das nun geplante Stauziel unterhalb des im Modell angesetzt liegt, liegen die Modellergebnisse in jedem Fall auf der sicheren Seite. Die übrigen Einstaufälle < HQ100 sind von der Planungsänderung nicht betroffen. Aus Gründen der Konsistenz ist in allen Abbildungen einheitlich die ursprüngliche Einstaufläche HQ100+K für das Stauziel 627,1 m ü. NN dargestellt. Soweit in Tabellen die Eckdaten des HRB für alle Einstaufälle zusammengestellt sind, wird jeweils gesondert auf die Anpassung hingewiesen.

In der Abbildung 3 sind die Umgriffe der Einstauflächen der Hochwasserereignisse HQ1 bis HQ100+Klima dargestellt.

Die überstauten Flächen haben Größen zwischen rd. 25 ha (HQ1) und rd. 63 ha (HQ100+K).

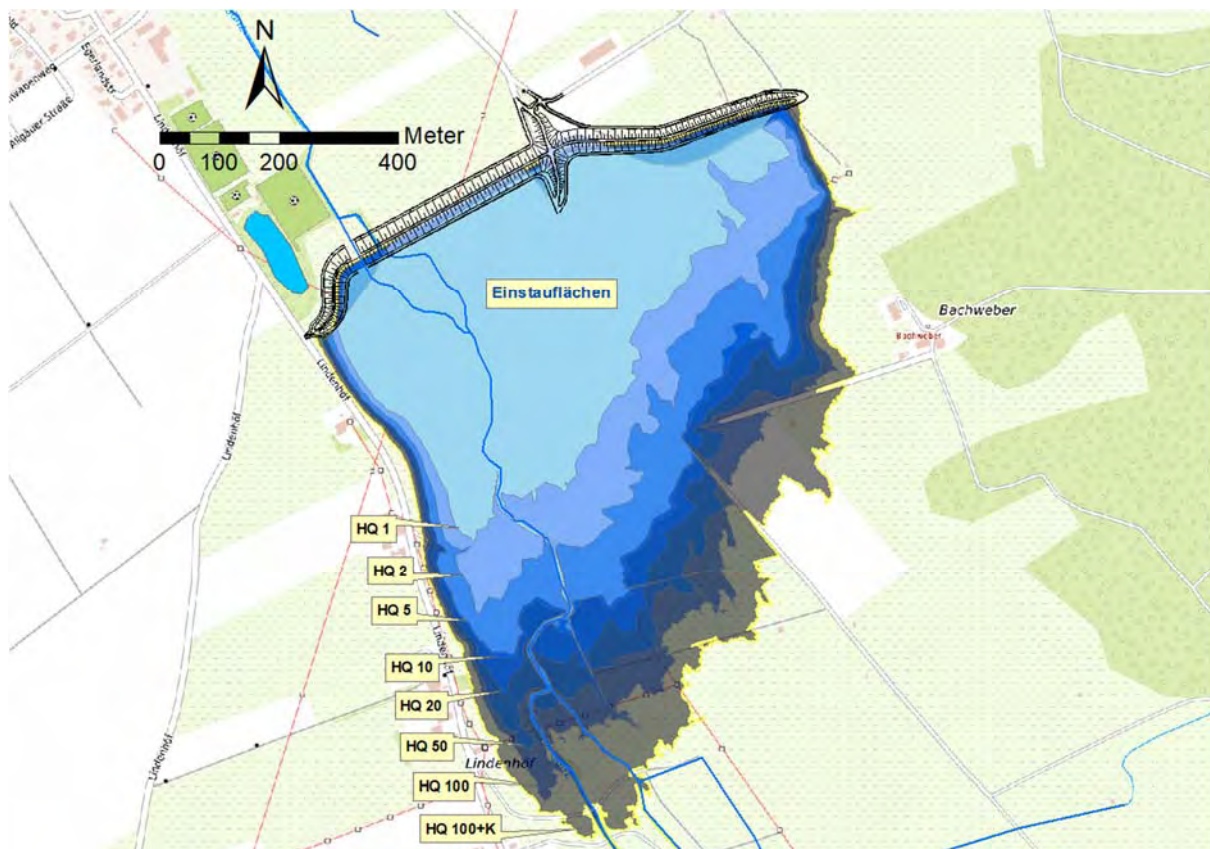


Abbildung 3: Übersicht Einstauflächen HQ1 bis HQ100+Klima

Weitere maßgebliche Eckdaten (Einstauhöhen, Einstaudauer, Stauinhalt) zum HRB sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Abflussdaten des geplanten Auslassbauwerks enthält die Tabelle 2.

Grundwasserhydraulisch relevante Angaben zur Ausführung des Dammbauwerks sind in den entsprechenden Kapiteln der numerischen Modellrechnungen (ab Kapitel 10) erläutert.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist die Erstellung des Damms als 2-Zonen-Damm mit einem Dammkern der Durchlässigkeit $k_f = 1 \times 10^{-05}$ m/s und einer Oberflächenabdichtung auf der wasserseitigen Dammflechte mit der Durchlässigkeit $k_f = 1 \times 10^{-07}$ m/s vorgesehen. Eine endgültige Entscheidung über diese Ausführungsvariante ist jedoch noch nicht gefallen und hängt von der örtlichen Verfügbarkeit entsprechenden Materials ab. Die erläuterten Modellrechnungen basieren auf einem Zwei-Zonen-Dammaufbau. Zur Absicherung der Ergebnisse wurde jedoch eine Vergleichsrechnung auf der Grundlage eines Ein-Zonen-Damms mit einer Durchlässigkeit von $k_f = 1 \times 10^{-06}$ m/s durchgeführt.

Tabelle 1: Maßgebliche Bauwerksdaten (aktualisierte Werte für HQ100 und HQ100+K)

		HQ1	HQ2	HQ5	HQ10	HQ20	HQ50	HQ100	HQ100K
Zufluss	[m³/s]	14,4	15,6	18,5	19,1	20,5	22,5	23,0	26,4
Stauinhalt	[m³]	278.000	467.000	671.000	695.000	834.000	1.027.000	1.127.000	1.350.000
Überstaute Fläche	[ha]	25	34	41	42	46	51	54	63
Einstauhöhe	[m]	2,9	3,5	4,1	4,1	4,4	4,8	5,0	5,5
Beckenwasserspiegel	[m ü. NN]	624,29	624,92	625,47	625,53	625,84	626,24	626,43	626,90
Einstaudauer/Entleerung	[h]	32/24	48/32	59/37	64/38	71/40	85/44	94/48	111/95

Tabelle 2: Abflussraten am Auslassbauwerk

Niedrigwasserabfluss: MNQ	[m³/s]	0,63
Mittelwasserabfluss: MQ	[m³/s]	1,45
Regelabgabe: Drosselabfluss	[m³/s]	10
HWBF 1: $BHQ_1 = HQ_{1.000}$	[m³/s]	69
HWBF 2: $BHQ_2 = HQ_{10.000}$	[m³/s]	84
PMF: HQ_{PMF}	[m³/s]	299

5. Morphologie

Zu Projektbeginn wurde vom Vorhabenträger ein digitales Höhenmodell (DGM) der aktuellen Geländeoberfläche im 1-m-Raster übergeben. Das Höhenmodell bildet die Grundlage für Darstellungen des Grundwasserflurabstandes [Geländehöhe – Grundwasseroberfläche].

In der Abbildung 4 ist die Geländehöhe im Untersuchungsbereich im Überblick dargestellt.

In der Darstellung ist deutlich die Talniederung der Östlichen Günz mit Geländehöhen zwischen rd. 621,5 m ü. NN auf der wasserseitigen Flankenseite des geplanten Damms und rd. 627,1 m ü. NN (ursprüngliche maximale Einstauhöhe HQ100+K) rd. 1.000 m südlich des Damms zu erkennen.

Die östliche Begrenzung des Talraumes und damit des Damms bilden die aufsteigenden Höhenrücken des Tertiärs bis > 650 m ü. NN. Die westliche morphologische Begrenzung wird durch die würmeiszeitlichen Schotterterrassen gebildet (auf Höhe des Damms rd. 628 m ü. NN).

Der Ortsbereich von Sontheim im Bereich der Flussablagerungen liegt auf rd. 615 m ü. NN.

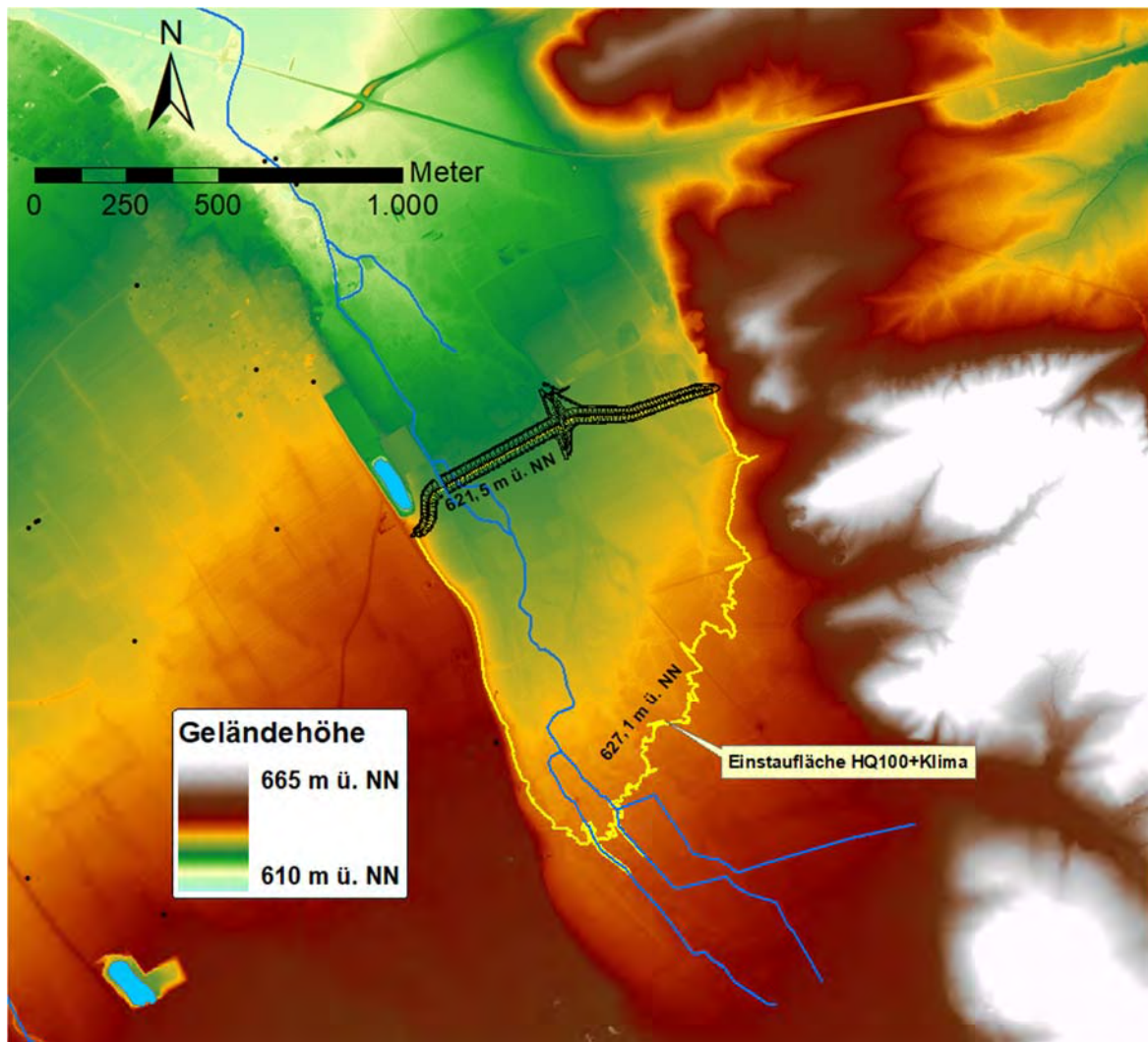


Abbildung 4: Digitales Geländemodell (DGM) im Untersuchungsbereich

6. Schutzgebiete

In der Abbildung 5 ist die Lage des Trinkwasserschutzgebietes Sontheim (Brunnen Attenhausen) im Bereich der Schotterterrasse westlich der Östlichen Günz dargestellt. Die Schutzgebietsgrenze befindet sich in einer Entfernung von rd. 800 m grundwasserstrom-seitlich der Einstaufläche des HRB Sontheim.

Östlich der Einstaufläche befindet sich das Landschaftsschutzgebiet Hochfirst auf den forstwirtschaftlich genutzten Hochflächen des Tertiärs.

Weiterhin ist im Lageplan die derzeitige Hochwassergefahrenfläche der Östlichen Günz ohne wirksames HRB sowie einige kleinere Flächen des Ökoflächenkatasters und der Biotopkartierung dargestellt.

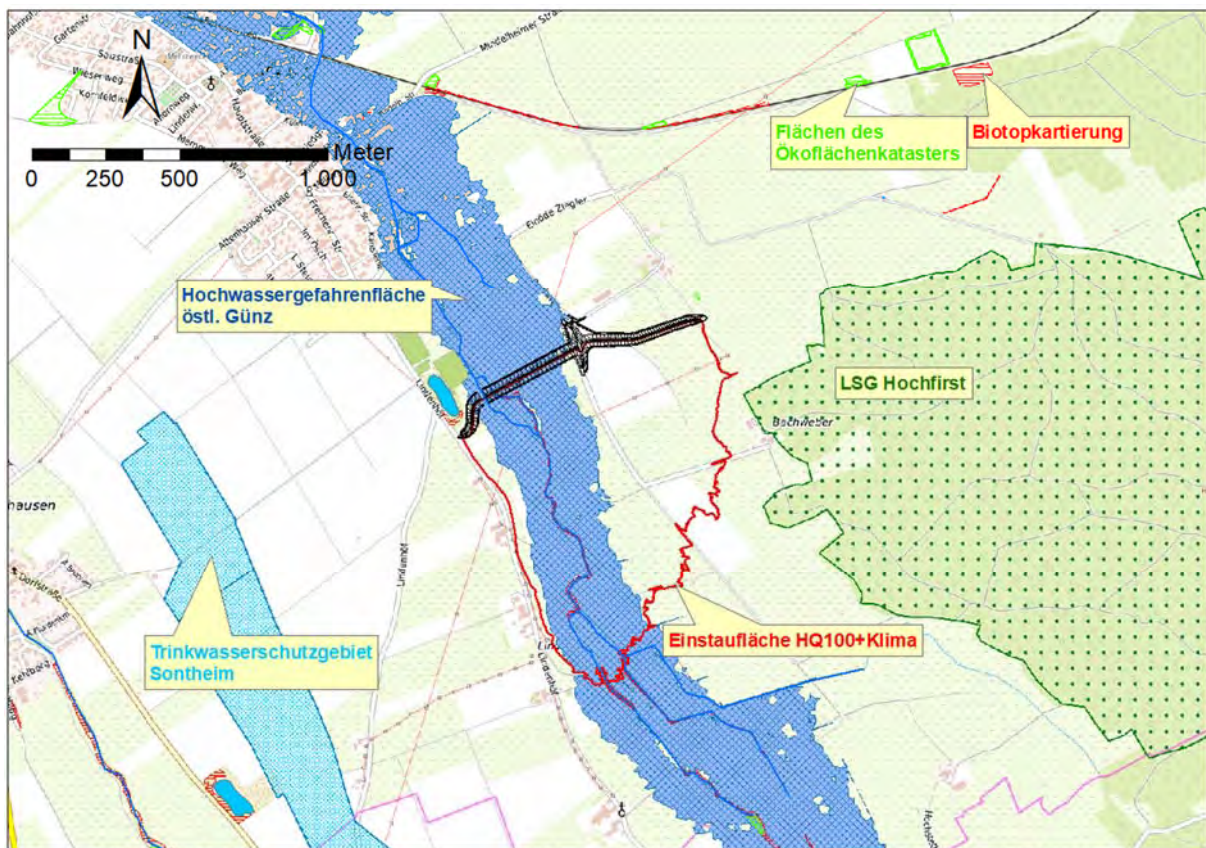


Abbildung 5: Trinkwasserschutzgebiet Sontheim, Hochwassergefahrenfläche Östliche Günz und Schutzgebiete des Naturschutzes

7. Klima und Grundwasserneubildung

Die nächstgelegene Wetterstation mit kontinuierlicher Aufzeichnung der Niederschlags- und Temperaturdaten befindet sich in Memmingen (615 m ü. NN; rd. 12 km westl.). Niederschlagsdaten sind ergänzend von der Station Mindelheim (rd. 10 km östl.) abzurufen.

Der **mittlere Jahresniederschlag** (seit 2014) in Memmingen liegt bei **rd. 905 mm**, die entsprechende **mittlere Tagesdurchschnittstemperatur** beträgt **rd. 9,0 °C**. Die Tageswerte der Temperatur- und Niederschlagsverläufe sind im Diagramm der Abbildung 6 dargestellt.

Nach Angaben des Umweltatlas (LfU) liegt die **Grundwasserneubildung** aus Niederschlag (1971-2000) im östlichen Untersuchungsbereich (Talniederung) **bei rd. 100 – 200 mm/a** und im westlichen Untersuchungsbereich (Schotterterrasse) **bei rd. 200 – 400 mm/a**.

Aktuelle Untersuchungen zur Grundwasserneubildung zeigen für mehrere südbayerische Amtsbezirke der Wasserwirtschaftsämter z.T. deutliche Rückgänge. Für den östlich anschließenden Amtsbezirk des WWA Weilheim ist gegenüber dem o.g. Bezugszeitraum 1971-2000 für den aktuellen Bezugszeitraum 2009-2018 ein Rückgang um rd. 10 % festzustellen.

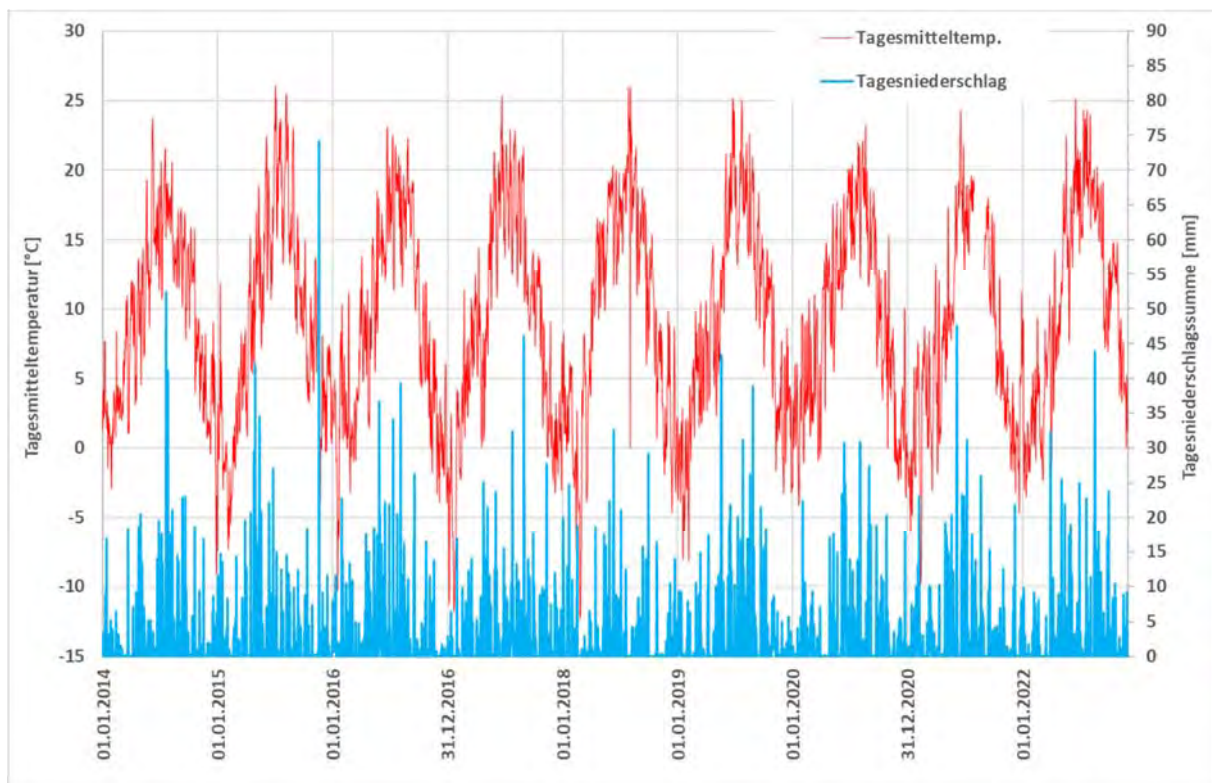


Abbildung 6: Station Memmingen (615 m ü. NN)

8. Starkniederschlagshöhen

In der Abbildung 7 sind die Starkniederschlagshöhen [mm] im Untersuchungsgebiet der Dauerstufen 5 min bis 72h für die Jährlichkeiten 1a bis 100a zusammengestellt. Die Abbildung 8 zeigt die entsprechenden Starkniederschlagsspenden [l/(s x ha)]. Die Daten sind dem Kostra-Atlas DWD 2010R (Revisionsbericht von 2017) Spalte 38, Zeile 94 (Sontheim) entnommen.

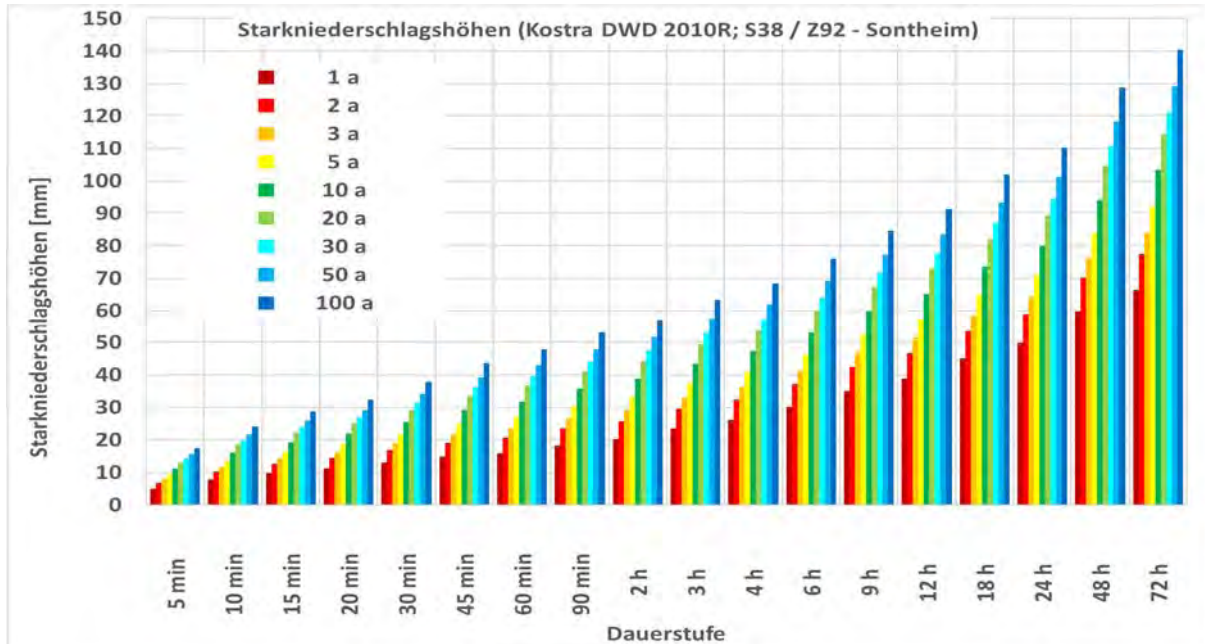


Abbildung 7: Starkniederschlagshöhen im Untersuchungsgebiet

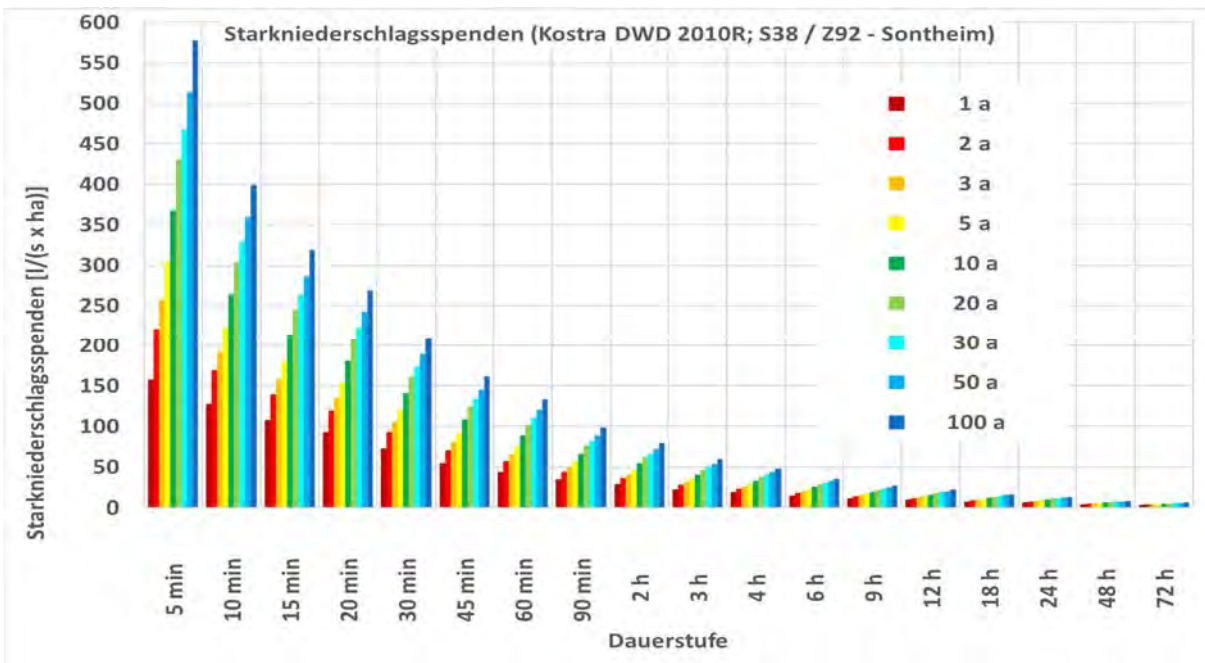


Abbildung 8: Starkniederschlagsspenden im Untersuchungsgebiet

9. Hydrogeologisches Modell

9.1 Geologie

Die Abbildung 9 zeigt einen Auszug aus der Geologischen Karte von Bayern (GK 25, Blätter 7928 und 8028).

Das geplante HRB Sontheim befindet sich im Bereich holozäner Flussablagerungen der Talniederung der Östlichen Günz. Westlich schließen quartäre Schmelzwasserschotter der ausgehenden Riß-Eiszeit an, welche auf einer zuvor erodierten (d.h. bereits strukturierten) Geländeoberfläche des Tertiärs (Obere Süßwassermolasse) abgelagert wurden. Diese Oberfläche der tertiären Mergel steigt nach Osten hin an und erreicht am östlichen Talrand die derzeitige Geländeoberfläche. An den Hangflanken sind bereichsweise Abschwemmmassen von den tertiären Hochflächen anstehend.

Die Abbildung 10 zeigt das Geländemodell der Tertiäroberkante (TOK) auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse von (2) (Bohrungen und Geoelektrik) sowie der aktuellen Erkundungsbohrungen. Es ist deutlich das Ansteigen der TOK nach Osten bis Südosten zu erkennen. Weiterhin ist südwestlich außerhalb der Einstaufläche eine markante (ehemalige) tertiäre Geländekante zwischen rd. 628 und rd. 622 m ü. NN zu erkennen, welche im numerischen Grundwassermodell durch eine ebensolche lokale Versteilung des Grundwassergefälles (siehe Kap. 10.2) nachgezeichnet wird (Anmerkung: in der Darstellung der auf der Grundlage von Grundwasserstandsmessungen an Messstellen konstruierten Grundwassergleichen ist diese Versteilung mangels ausreichender Stützstellendichte nicht erkennbar).

Nordwestlich dieser Steilstufe schließt sich eine nach Nordwesten verlaufende Rinnenstruktur an, welche das Einzugsgebiet der Brunnen 3 und 4 Attenhausen markiert und dieses in den Tieflagen vom östlichen Bereich der Schmelzwasserschotter trennt.

Die Abbildung 11 zeigt einen geologischen Profilschnitt West ⇒ Ost entlang des geplanten Damms auf der Grundlage der aktuell durchgeführten Erkundungsbohrungen.

Es sind deutlich die drei maßgeblichen Einheiten *bindige quartäre Deckschichten* √ *quartäre Talschotter* √ *tertiäre Sande* zu differenzieren. Etwa ab der Mitte des Damms nach Osten hin sind die oberen tertiären Einheiten weitestgehend tonig mit nach Osten hin zunehmender Mächtigkeit ausgebildet. Nach Westen hin sind die obersten tertiären Sedimente zunehmend schluffig-feinsandig.

Mit wenigen Ausnahmen (GWM 7, -8 und -9 im Ortsbereich Sontheim) sind an der Geländeoberfläche bindige Deckschichten mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von im Mittel rd. 1 m (inkl. Mutterboden) vorhanden.

Die Grundwasseroberfläche befindet sich weitestgehend im Bereich der quartären Kiese. In einem Fall (GWM 6) liegt die Grundwasseroberfläche unterhalb der Tertiäroberkante.

Die Tertiäroberkante liegt im Mittel rd. 5 m unter Gelände (Minimum 0 m, Maximum 14 m).

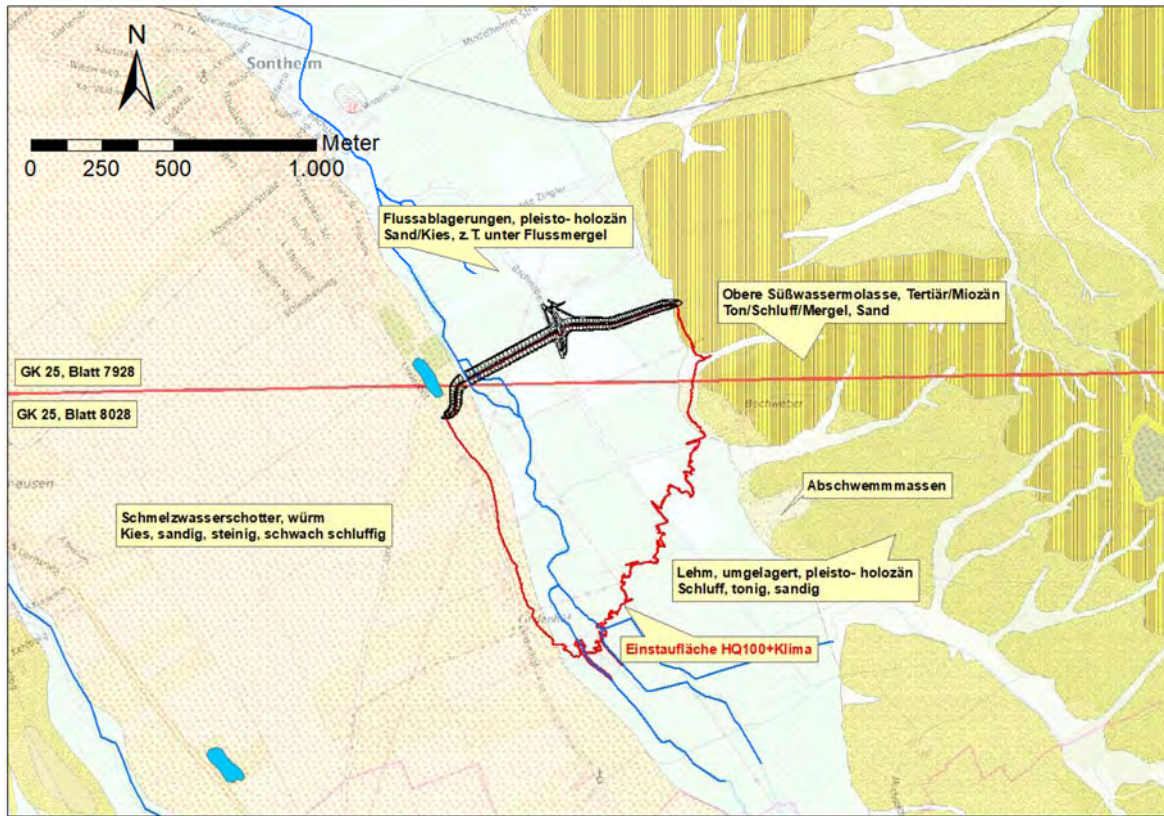


Abbildung 9: Auszug aus der Geologischen Karte von Bayern, Maßstab 1:25.000

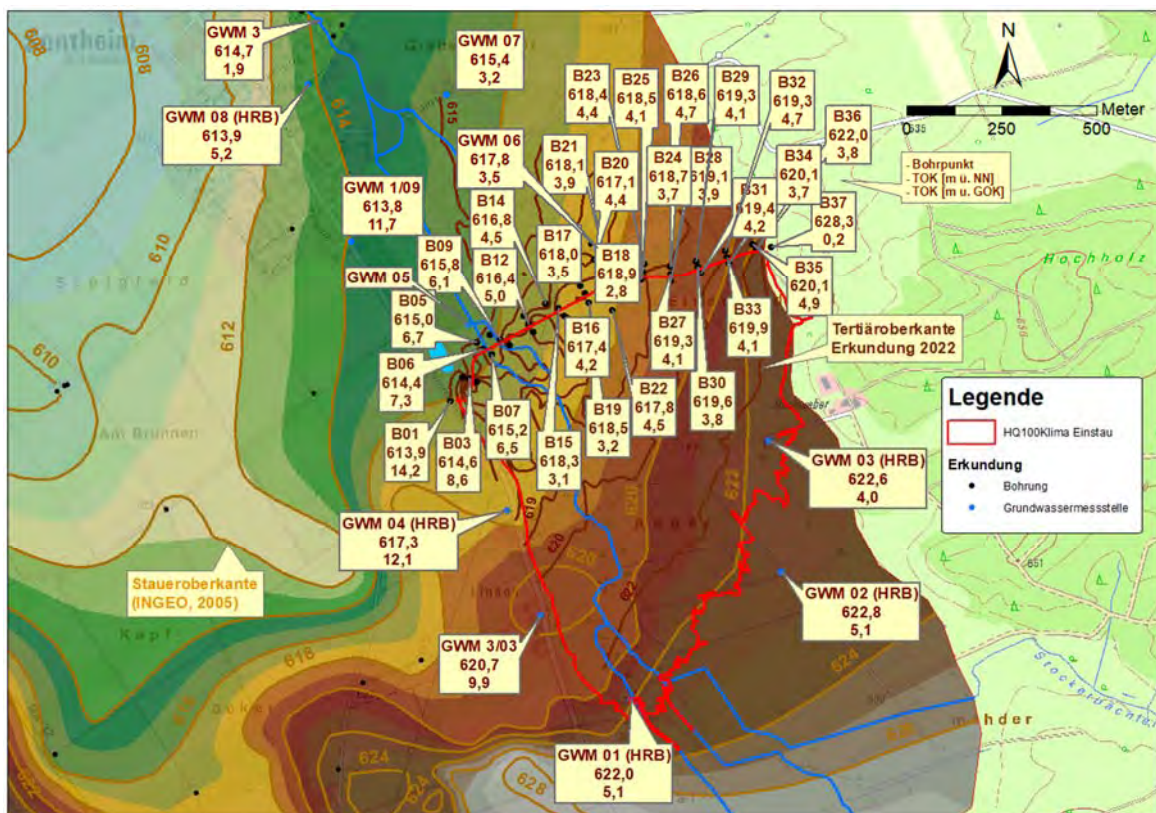


Abbildung 10: Höhenmodell der Tertiäroberkante

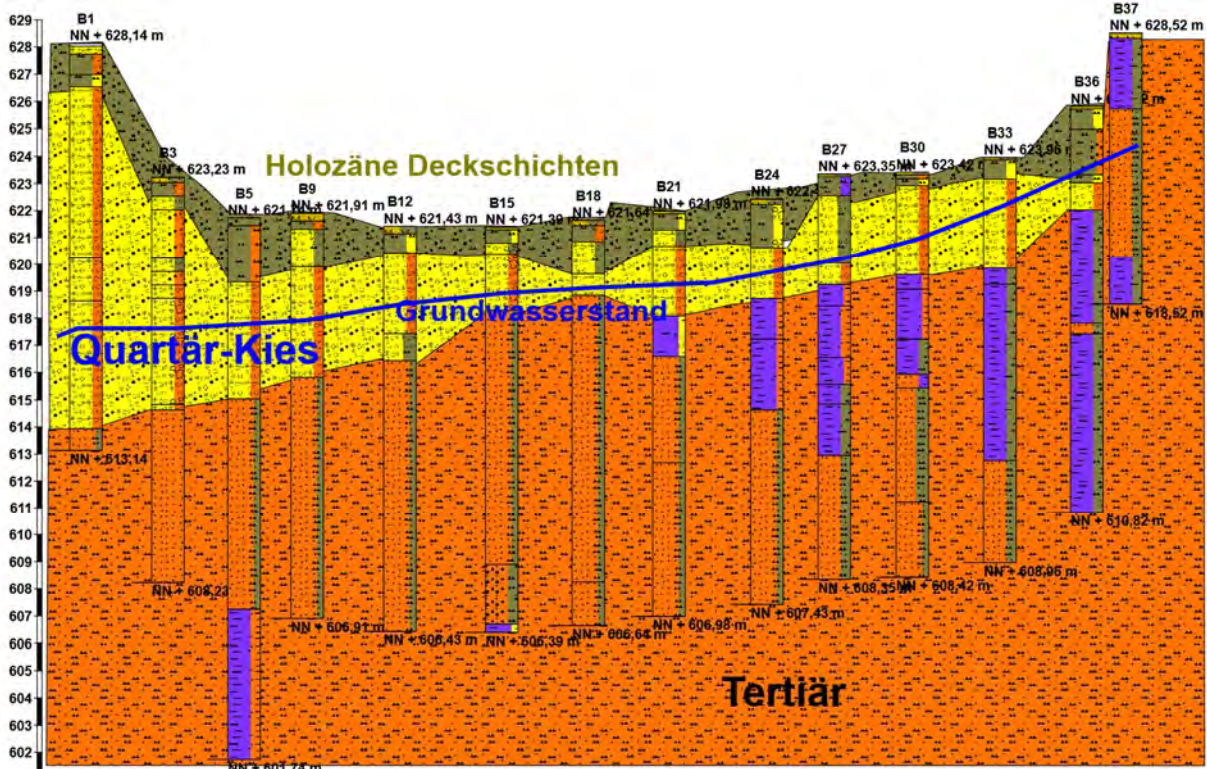


Abbildung 11: Profilschnitt entlang des geplanten Damms

In der Anlage 4 sind die Bohrprofile der Erkundungsbohrungen beigefügt. Die Anlage 9 enthält eine Fotodokumentation der Bohrkerne.

9.2 Grundwasserverhältnisse

9.2.1 Allgemein

Das Untersuchungsgebiet befindet sich hinsichtlich der hydrogeologischen Raumgliederung im Teilraum der Iller-Lech-Schotterplatten.

Der tiefere Untergrund im Verbreitungsgebiet der tertiären Sedimente der Oberen Süßwassermolasse stellt ein großräumiges, hydraulisch zusammenhängendes Grundwasserstockwerk dar. In tertiären Hochlagen ohne signifikante Quartärüberdeckung ist dies das oberste Stockwerk.

Zwischen diesen Hochlagen existieren an die glazialen Entwässerungsstrukturen der *Iller - Östl. Günz – Wertach – Lech* gebundene quartäre Grundwasservorkommen. Diese Vorkommen an der Basis der Schmelzwasserschotter bzw. in den fluss-begleitenden Flussschottern können aufgrund der bewegten Morphologie der Tertiäroberfläche bereichsweise kleinräumig in einzelne Rinnenstrukturen getrennt sein.

In der Abbildung 12 sind die großräumigen Verhältnisse im Überblick dargestellt.



Abbildung 12: Hydrogeologische Karte HK500 (Auszug, © Umweltatlas, LfU)

9.2.2 Lokale Verhältnisse

Für den westlich an die Talniederung der Östl. Günz anschließenden, morphologisch rd. 5 m höher gelegenen Bereich der Terrassenschotter lagen zu Projektbeginn Untersuchungsergebnisse aus der Einzugsgebietsermittlung der Brunnen Attenhausen (2) vor. Die Kenntnisse aus diesen Untersuchungen hinsichtlich Grundwasserfließrichtung, -gefälle und hydraulischer Parameter wurden in die vorliegenden Auswertungen übernommen.

Für den Einstaubereich des geplanten HRB sowie dessen Grundwasserzu- und -abstrombereich lagen keine belastbaren Angaben vor. Es wurde daher im Bereich der Flussschotter ein Messnetz aus neun Grundwassermessstellen erstellt, um flächendeckende Aussagen zu den lokalen Verhältnissen treffen zu können. Eine Messstelle (GWM4) wurde auf der Schotterterrassenfläche errichtet.

Grundwasserfließrichtung

In der Abbildung 13 sind die quartären Grundwassergleichen aus (2) sowie das Ergebnis der Auswertungen der Grundwasserstände am neu erstellten Messnetz (zzgl. einiger Bestandsmessstellen) dargestellt. Es wurden mehrere Stichtagsmessungen unterschiedlicher Grundwasserstandshöhen ausgewertet (hier beispielhaft dargestellt Stichtag 29.06.2022). Eine signifikante Variation der lokalen Fließrichtung und des Grundwassergefalles in Abhängigkeit von der Grundwasserstandssituation (NW oder HW) konnte bislang nicht festgestellt werden.

Verglichen mit der Richtung des Talverlaufs (SSO \Rightarrow NNW) zeigt die auf der Grundlage des vorhandenen Messnetzes ermittelte Grundwasserfließrichtung eine etwas stärker aus SO kommende Komponente (Fließrichtung SO \Rightarrow NW). Möglicherweise ist dies auf eine gewisse Zuspiesung von Grundwasser aus den östlich anschließenden tertiären Einheiten zurückzuführen.

Grundwassergefälle

Es ist zu erkennen, dass im Bereich der Einstaufläche ein vergleichsweise steiles Grundwassergefälle (rd. 1 %) vorherrscht, welches sich nördlich des geplanten Damms deutlich verflacht (rd. 0,1 %) und ab dem Ortsbereich Sontheim wiederum auf rd. 0,5 % versteilt.

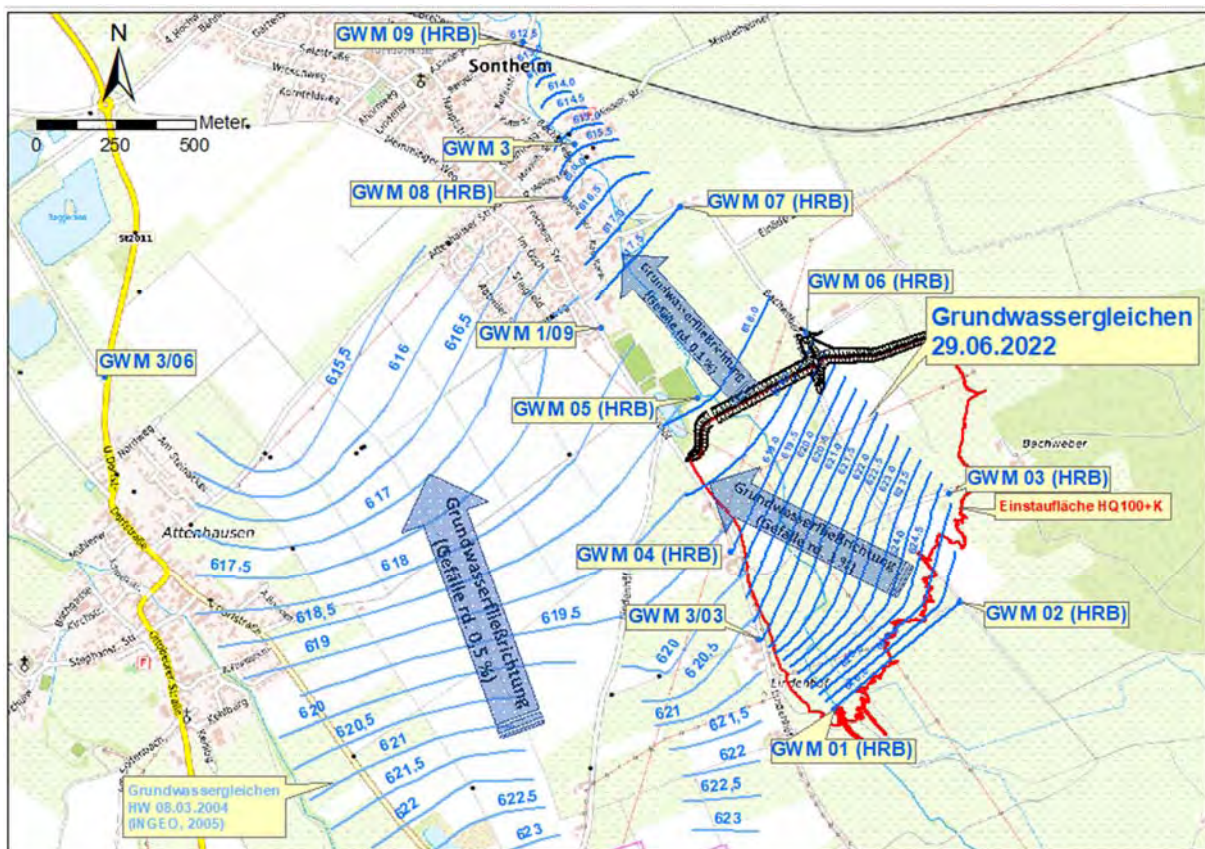


Abbildung 13: Grundwassergleichen im Untersuchungsgebiet

Die Grundwasseroberfläche im Untersuchungsgebiet ist frei und die Grundwassermächtigkeit beträgt wenige Meter, so dass sich die Morphologie der Basis des Grundwasserleiters auf den Verlauf der Grundwassergleichen auswirkt.

In der Abbildung 14 ist ein Nord \Rightarrow Süd verlaufender Profilschnitt mit Eintragung der Grundwasseroberfläche und – soweit erbohrt – mit der Tiefenlage der Tertiäroberkante dargestellt. Zwischen den Bohrungen GWM 2/GWM 3 und der Bohrung GWM 4 ist ein Abfallen der TOK um rd. 5 m zu erkennen, bei GWM 5 wurde die TOK bis zur Endteufe nicht erreicht. Im weiteren Verlauf nach Norden ist zunächst kein so deutliches Gefälle der TOK mehr zu erkennen.

Weitere Erläuterungen erfolgen im Zuge der Darstellung des Kalibrierungsergebnisses des numerischen Grundwassermodells (Kapitel 10.2).

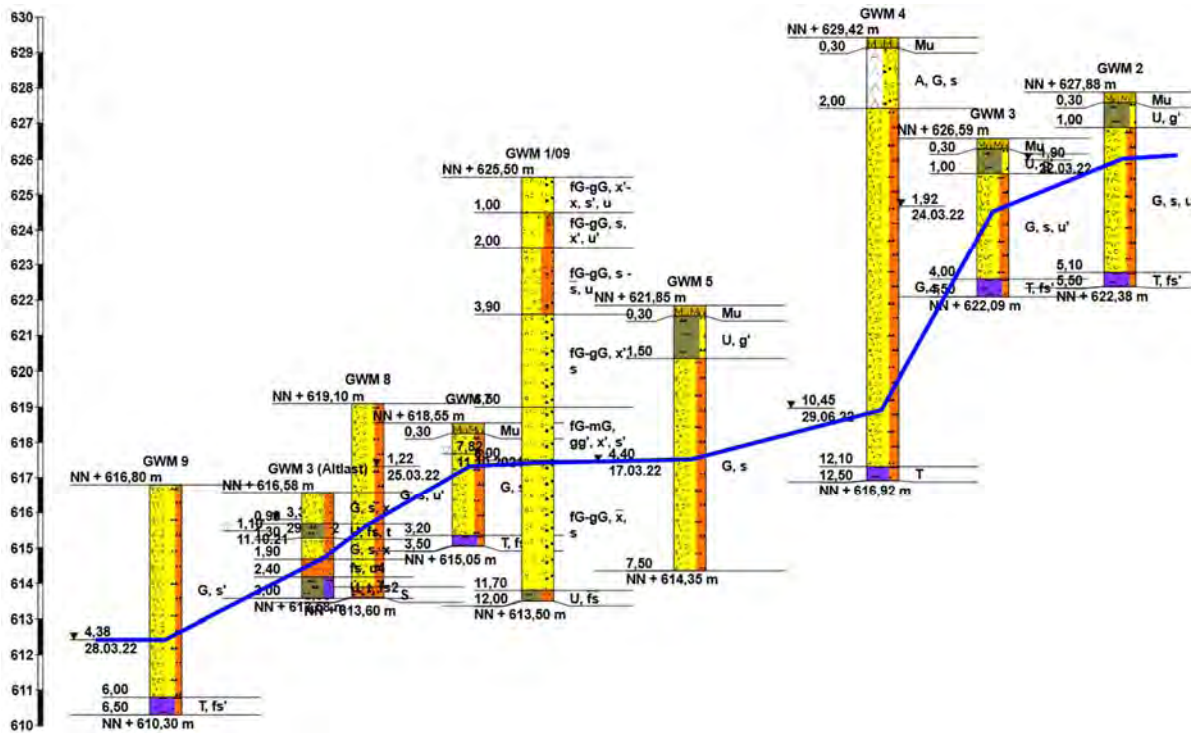


Abbildung 14: Geologischer Profilschnitt Nord ⇒ Süd mit Darstellung der Grundwasseroberfläche

9.2.3 Grundwasserstände

9.2.3.1 Langfristige Entwicklung der Grundwasserstände

Im Diagramm der Abbildung 15 sind im Umfeld verfügbare langfristige Grundwasserstandsaufzeichnungen dargestellt. Ein signifikanter Trend ist an der von 1984 bis 2016 beobachteten Messstelle Sontheim D14 nicht zu erkennen. Die im Juni 2016 rückgebaute Messstelle wurde aktuell mit der neuen Messstelle GWM 6 in geringer Entfernung zur ursprünglichen Lage ersetzt.

Die Messstelle Sontheim 3/06 nördlich von Attenhausen wird seit Mitte 2010 bis zum aktuellen Zeitpunkt (16.03.2023) mit täglicher Messwerterfassung beobachtet. Im Diagramm sind die statistischen Kennwerte MW und MHW für den gesamten Beobachtungszeitraum dargestellt.

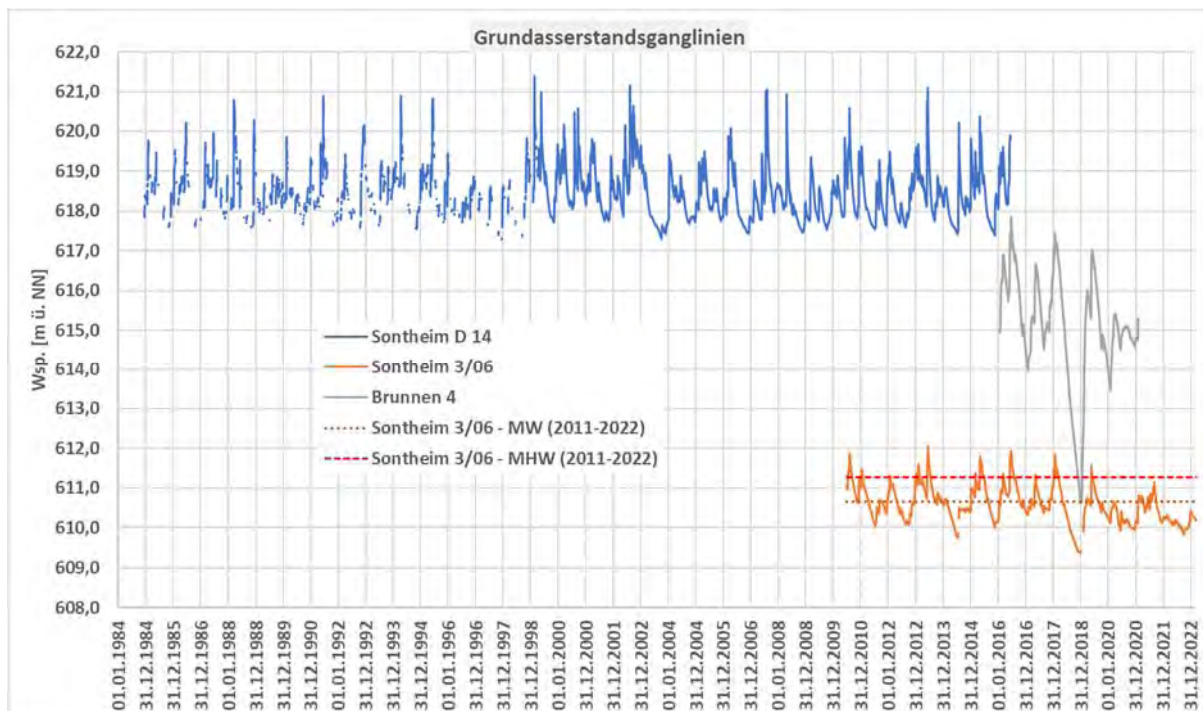


Abbildung 15: Langfristige Grundwasserstandsaufzeichnungen im Umfeld

9.2.3.2 Entwicklung der Grundwasserstände seit 2021

In der Abbildung 16 ist der Ganglinienverlauf der Messstelle Sontheim 3/06 (beobachtet seit 2010) im Detailausschnitt seit Anfang 2021 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass ab Anfang 2021 bis zum relativen Hochwasserstand im September 2021 der Grundwasserstand um den langfristigen Mittelwasserstand (MW) schwankt, seither jedoch ein nahezu kontinuierliches Abfallen bis Anfang Oktober 2022 zu verzeichnen ist. Seit Oktober ist eine geringfügige Erholung des Grundwasserstandes festzustellen.

Die automatische Datenerfassung der neu erstellten Messstellen begann mit dem 29.06.2022. Der aktuell ausgewertete Datenstand reicht bis zum 15.03.2023.

Es ist anzunehmen, dass die Grundwasserstände im gesamten bisherige Erfassungszeitraum unterhalb des langfristigen Mittelwasserstandes liegen. Belastbare quantitative Angaben

hierzu sind aufgrund der bislang kurzen Beobachtungszeit nicht möglich, es kann jedoch vorläufig eine Größenordnung von rd. 0,5 m unter MW abgeschätzt werden.

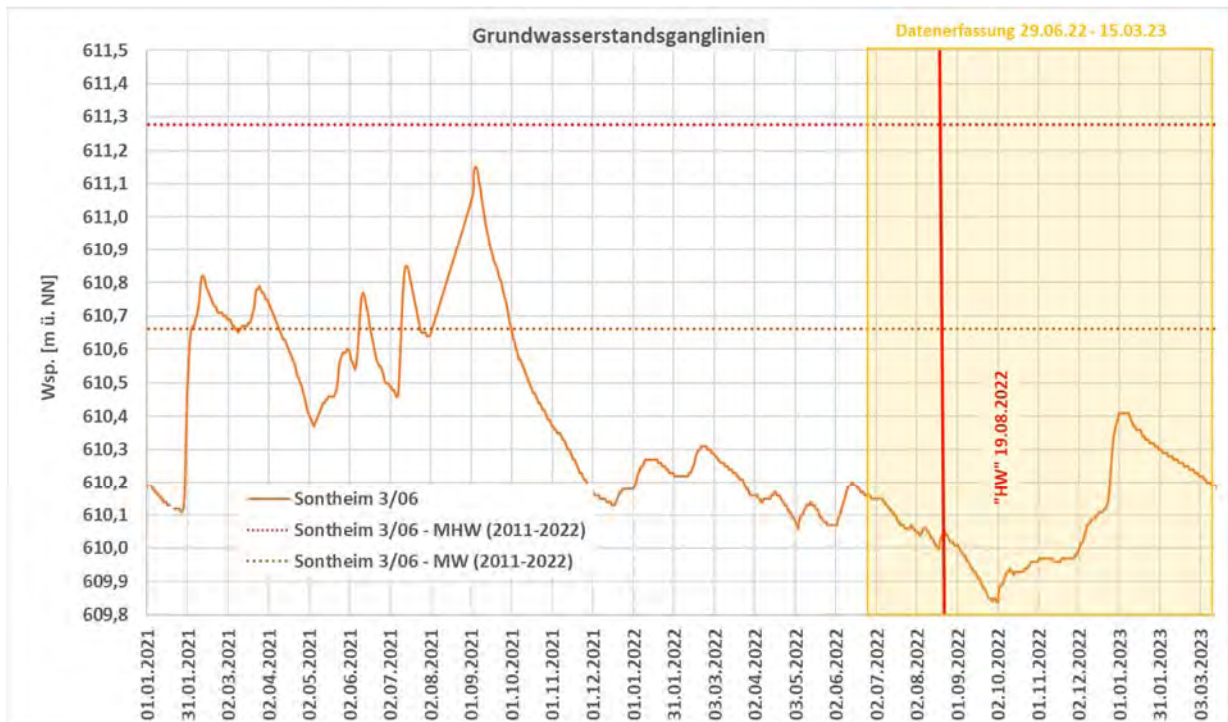


Abbildung 16: Messwertaufzeichnung GWM Sontheim 3/06 mit statistischen Kennwerten

Im Diagramm der Abbildung 17 sind die Grundwasserstandsganglinien der vorhabenbezogenen Grundwassermessstellen seit Erfassungsbeginn 29.06.2022 bis zum derzeitigen Datenstand 15.03.2023 dargestellt. Es sind weiterhin die täglichen Niederschlagshöhen der Station Mindelheim eingetragen.

Grundsätzlich sind bei den oberstromigen (südlichen) Messstellen deutlichere und unmittelbarer auf die Niederschlagsereignisse folgende Schwankungen festzustellen, als bei den unterstromigen. Dies ist auf die oberstromig geringeren Flurabstände des Grundwassers zurückzuführen (siehe Diagramm Abbildung 18).

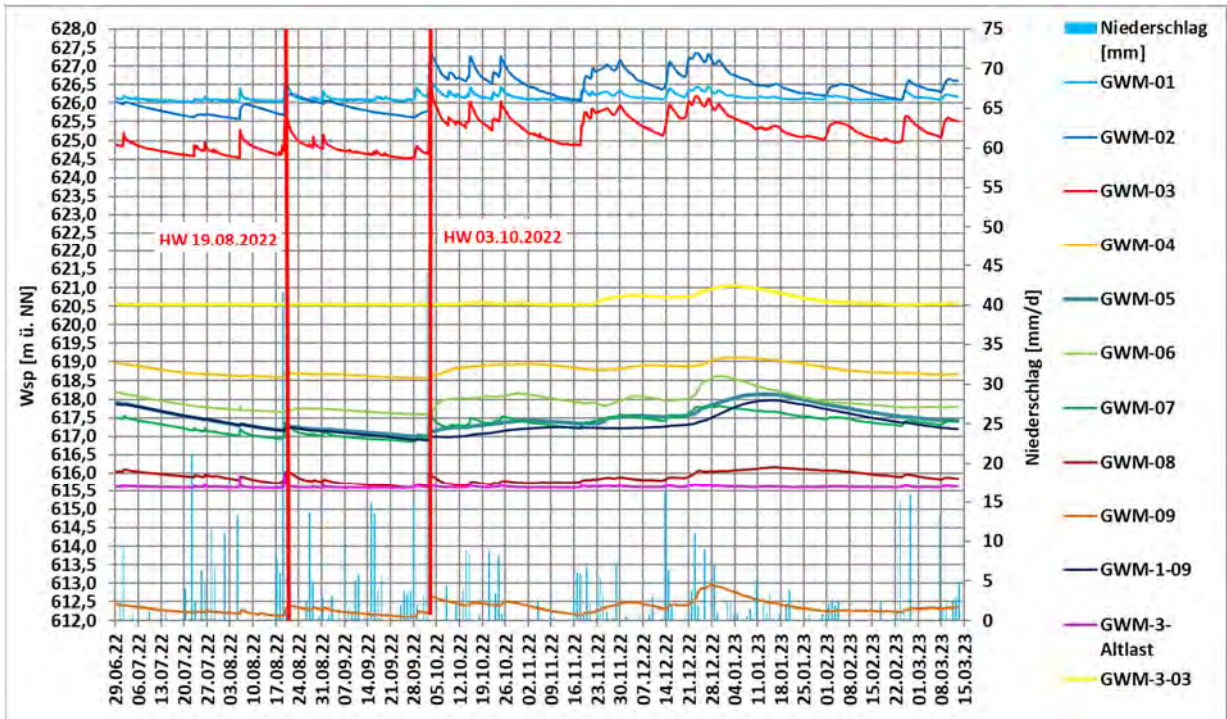


Abbildung 17: Grundwasserstandsaufzeichnungen der vorhabenbezogenen Grundwassermessstellen

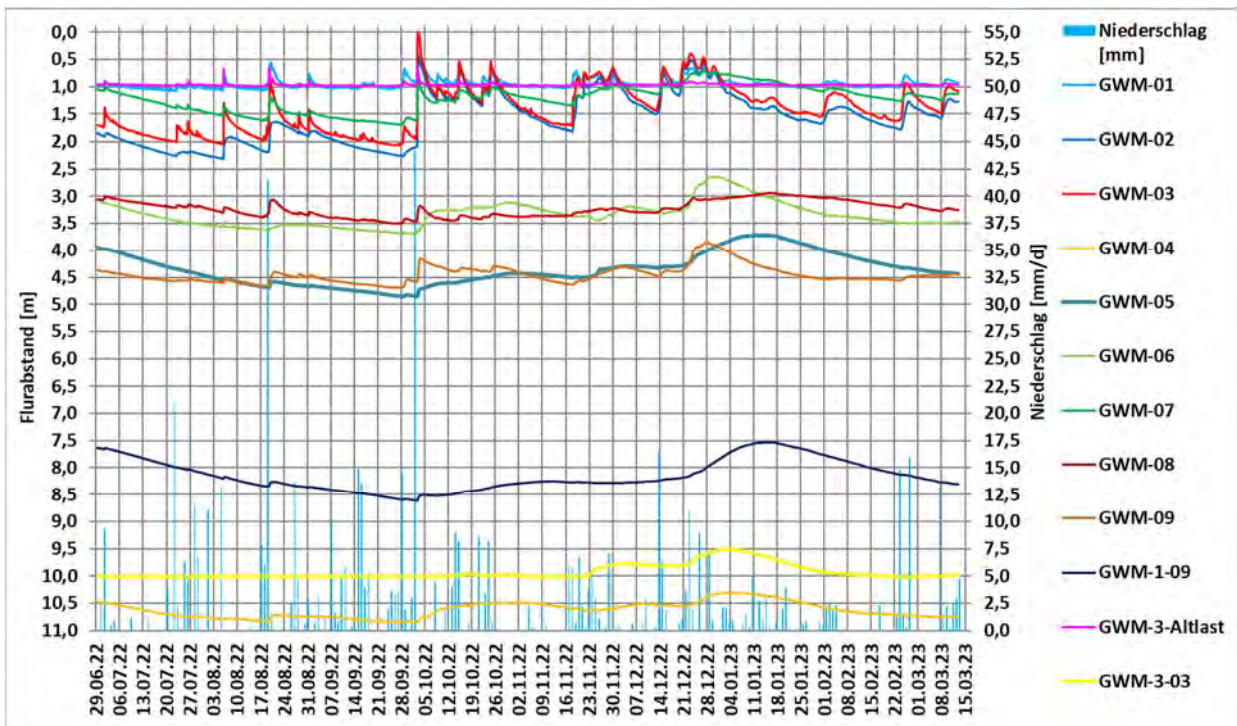


Abbildung 18: Flurabstandsaufzeichnungen der vorhabenbezogenen Grundwassermessstellen

Im bisherigen Erfassungszeitraum fanden am 19.08. und am 02.10.2022 zwei stärkere Niederschlagsereignisse (rd. 40 bis rd. 45 mm/d) statt, welche bei geringen Flurabständen (< 2 m) zu unmittelbaren Grundwasserstandsanstiegen um bis zu rd. 1,5 m (bei GWM 3) führten.

Die (relativen) Hochwasserspitzen bauen sich (im Falle des Ausbleibens weiterer Niederschläge) in Form einer Trockenwetterauslaufkurve im Laufe von rd. 1-2 Wochen wieder ab.

In Bereichen mit höheren Flurabständen (> 3 m) und bindigen Deckschichten erfolgt der Anstieg naturgemäß deutlich gedämpft und verzögert (z.B. GWM 5 und GWM 6). Die beiden Messstellen GWM 8 und GWM 9 mit zwar höheren Flurabständen (> 3 m), jedoch fehlenden bindigen Deckschichten erfolgt der Anstieg gedämpft um < rd. 0,5 m, jedoch kaum verzögert.

9.2.3.3 Grundwasserschwankungen

Im folgenden Diagramm sind für die vorhabenbezogenen Grundwassermessstellen die bisher aufgezeichneten HW- und NW-Werte sowie der bisherige arithmetische Mittelwert MW und die Differenzhöhen [HW-NW] dargestellt.

Die Differenzhöhen [HW-NW] liegen zwischen rd. 0,4 m (GWM 4) und 2,1 m (GWM 3). Die Schwankungshöhen korrelieren weitgehend mit den Flurabständen.

Die Messstelle Sontheim 3/06 zeigt im gesamten Beobachtungszeitraum seit 2010 eine maximale Differenzhöhe von rd. 2,7 m. Auf den Beobachtungszeitraum der vorhabenbezogenen Messstellen seit Ende Juni 2022 bezogen liegt die Differenzhöhe entsprechend bei rd. 0,25 m.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass aufgrund des bislang noch sehr kurzen Beobachtungszeitraumes von unter 5 Monaten die statistische Belastbarkeit und Aussagekraft der Auswertungen noch sehr eingeschränkt ist.

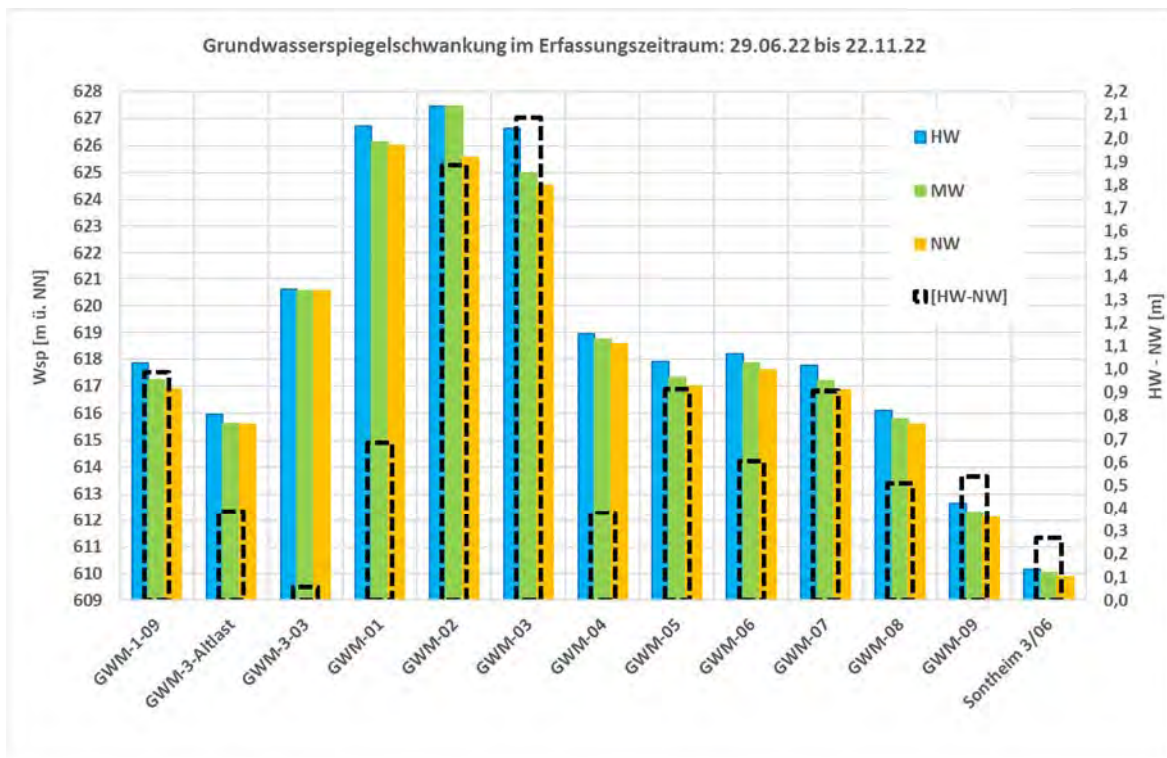


Abbildung 19: Grundwasserschwankungen im bisherigen Erfassungszeitraum

9.2.3.4 Flurabstände

Die Abbildung 20 zeigt flächenhaft die Flurabstände des Grundwassers als Differenzendarstellung des digitalen Geländemodells und der Konstruktion der Grundwasseroberfläche (lineare Interpolation zwischen den Stützstellen) für den Stichtag 03.10.2022.

An den Grundwassermessstellen sind die punktuellen Werte des Grundwasserstands [m ü. NN] und Flurabstandes [m u. GOK] angetragen.

Entsprechend dem steilen Grundwassergefälle (steiler als das Einfallen der Geländeoberfläche) nimmt der Flurabstand vom südlichen Rand der Einstaufläche HQ100+K bis zum geplanten Dammverlauf von rd. 0,5 auf rd. 4 m zu.

Im weiteren Verlauf nach Norden verringert sich aufgrund des hier sehr flachen Grundwassergefälles bei weiterem Abfallen der Geländeoberfläche der Flurabstand wiederum.

Bezgl. der Hochfläche der Schotterterrasse westlich des Talraumes der Östlichen Günz liegt der Flurabstand bei über 10 m (GWM 4 und GWM 3/03).

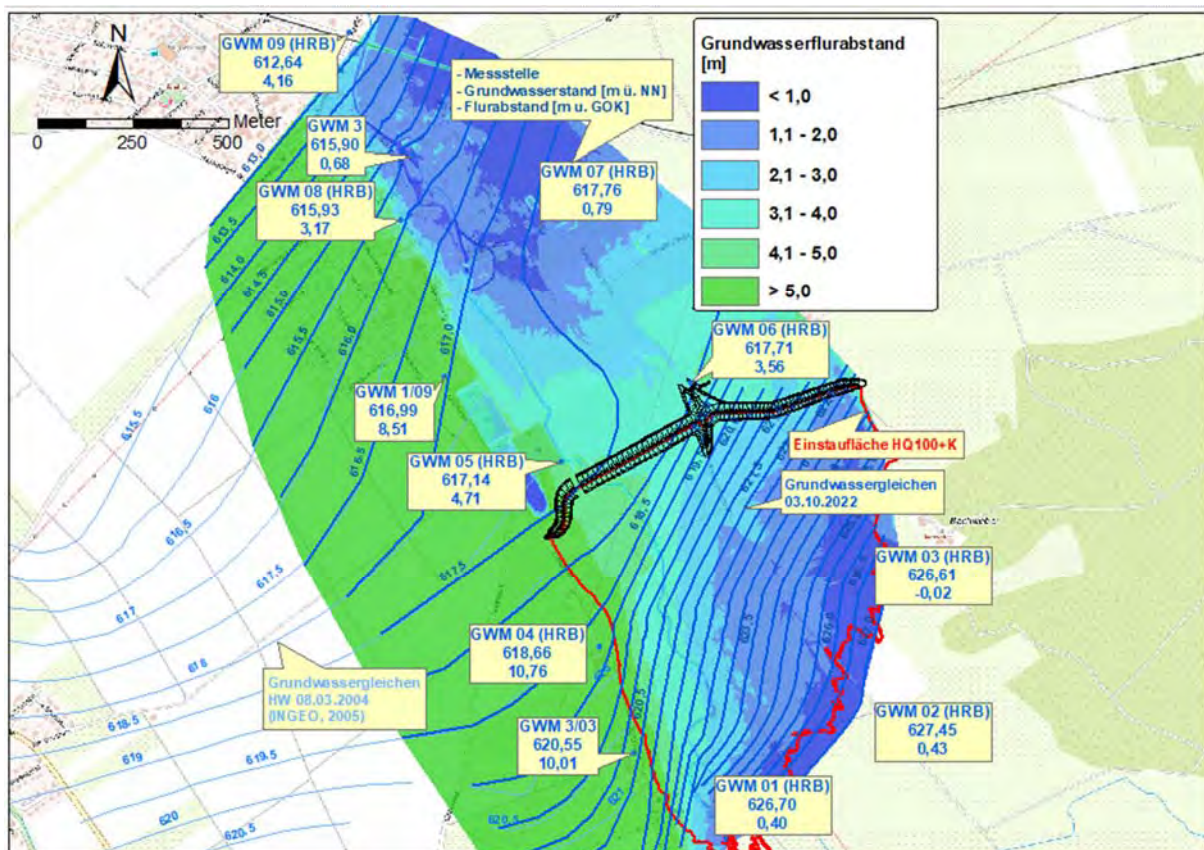


Abbildung 20: Flurabstände im Untersuchungsgebiet (03.10.2022, HW im bisherigen Erfassungszeitraum)

9.2.4 Hydraulische Parameter

Das **nutzbare Porenvolumen** eines kiesigen bis sandigen quartären Grundwasserleiters kann nach (9) mit rd. 15 – 20 % abgeschätzt werden.

Hydraulische Durchlässigkeiten

Für den Bereich der westlich anschließenden Schotterterrasse wurde im Zuge der Einzugsgebietsermittlung der Trinkwasserbrunnen Attenhausen (2) eine Reihe von Einzelpumpversuchen an den Brunnen Attenhausen und den Vorfeldmessstellen durchgeführt. Als Ergebnis wurden für glaziale Schotter typische k_f -Werte zwischen 3×10^{-03} und 2×10^{-02} m/s ermittelt. Für die Einzugsgebietsermittlung der Wasserversorgung wurde ein mittlerer **k_f -Wert von 7×10^{-03} m/s** zugrunde gelegt.

Im Zuge der aktuellen Erkundungsmaßnahmen wurden folgende k_f -Wert-Bestimmungen durchgeführt:

- Pumpversuche an den neun neu erstellten Grundwassermessstellen zur Ermittlung der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters (PV)
- Sickerversuche am offenen Bohrloch zur Ermittlung der Durchlässigkeit der oberflächennahen quartären Schotter (PIVs)
- Sickerversuche in Schürffgruben zur Ermittlung der Durchlässigkeit der Boden- und Deckschichten (SGV)

Eine Zusammenstellung aller Ergebnisse enthält das Diagramm der Abbildung 21.

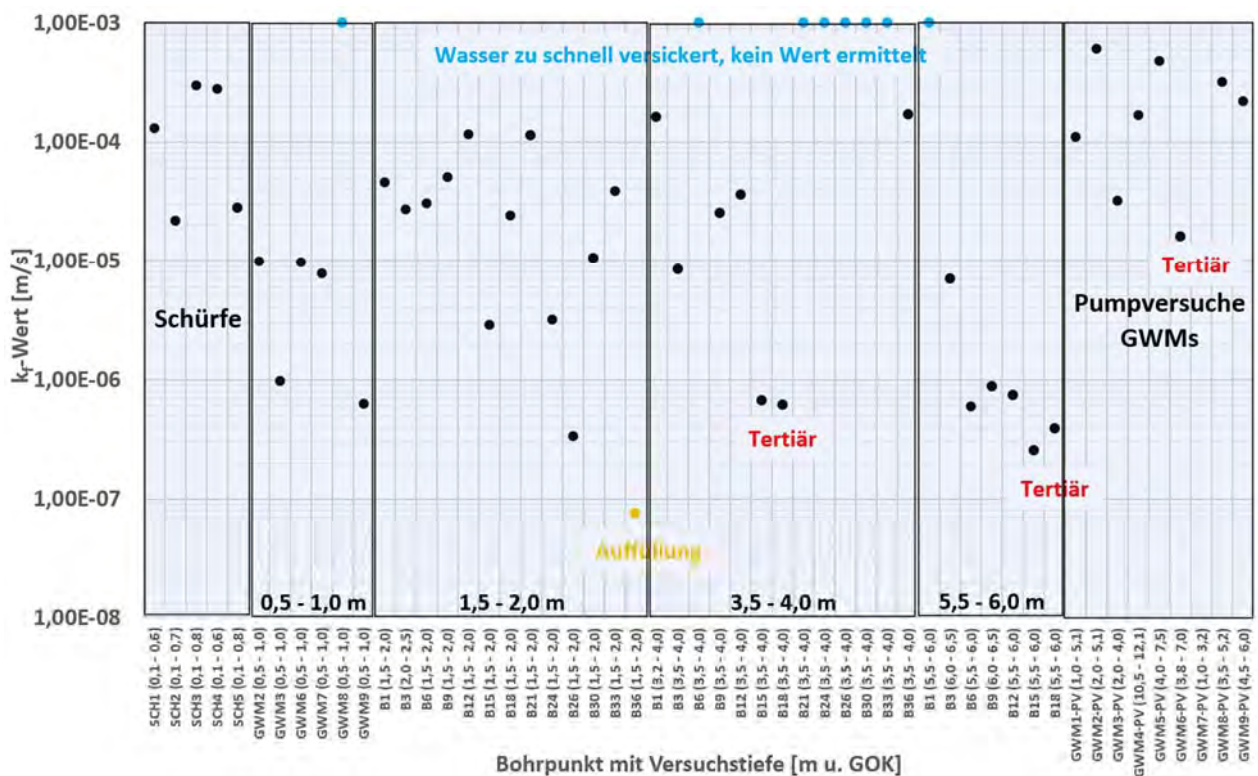


Abbildung 21: Zusammenstellung der Ergebnisse der k_f -Wert-Ermittlung

Die entsprechenden Aufzeichnungen (PV, PIVs und SGV) sind in den Anlagen beigefügt (Anlage 5: Sickerversuche im Bohrloch, Anlage 6: Pumpversuche, Anlage 7: Sickerversuche in Schürfgruben, Schürfprofile).

Es können folgende Mittelwerte (jeweils geometrisches Mittel) für die maßgeblichen Einheiten angegeben werden:

- Deckschichten / Boden (Schürfgruben): rd. 1×10^{-06} m/s
- Bindige Deckschichten (Versickerungsversuche): rd. 9×10^{-06} m/s
- Grundwasserleiter (Pumpversuche): rd. 3×10^{-04} m/s

9.3 Oberflächengewässer

Die Östliche Günz durchfließt den Untersuchungsbereich von Südsüdosten nach Nordnordwesten. Südlich der Einstaufläche HQ100+K existieren mit dem Moosgraben und dem Stockerbächlein zwei untergeordnete Zuflüsse.

Nordwestlich des geplanten Damms befindet sich ein Fischweiher.

In der Abbildung 22 sind die maßgeblichen Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet dargestellt. Im Bereich des Auslassbauwerks ist auf einem Streckenabschnitt von rd. 300 m eine Umverlegung der Östl. Günz entsprechend der Darstellung vorgesehen.

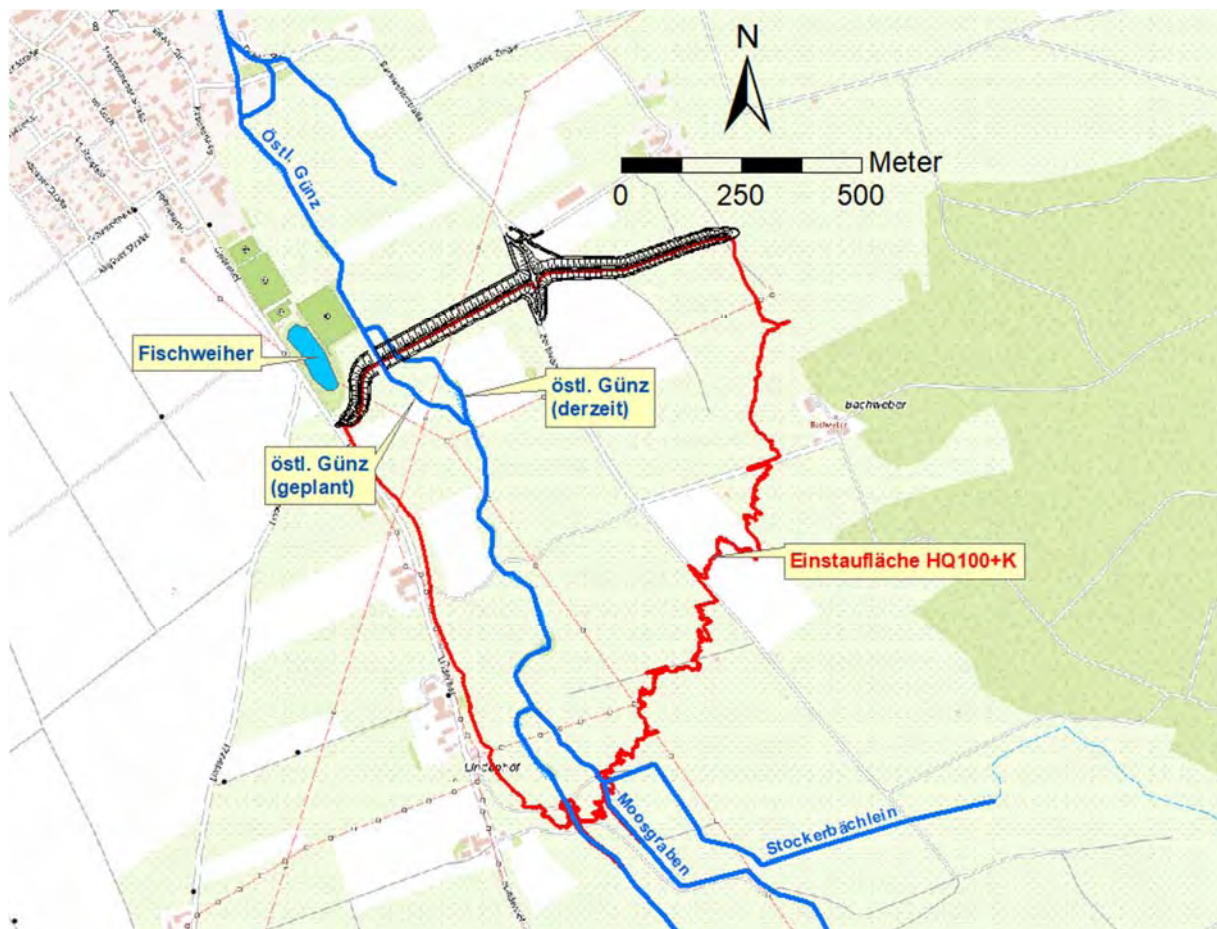


Abbildung 22: Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet

Zu den Untersuchungszielen des vorliegenden hydrogeologischen Gutachtens mit numerischem Grundwassermodell zählen u.a. die Beurteilung möglicher Auswirkungen von Einstauereignissen auf den o.g. Fischweiher sowie mögliche Auswirkungen von zeitlich gestreckten Drosselabflüssen in der Östlichen Günz auf die Grundwasserverhältnisse unterstromig des geplanten Damms. Hierbei ist die Möglichkeit einer ggfs. verstärkten Infiltration von Oberflächenwasser der Günz in den Grundwasserleiter mit daraus resultierendem Grundwasseranstieg zu untersuchen.

Im Diagramm der Abbildung 23 ist der Profilverlauf des Grundwasserstands und der Geländeoberfläche (DGM) entlang der Östl. Günz zwischen dem südlichen Rand der Einstaufläche HQ100+K und dem Ortsbereich von Sontheim dargestellt. Entsprechend den Erläuterungen zu den flächenhaften Flurabständen (Kapitel 9.2.3.4) ist zunächst entlang der Östl. Günz die stetige Zunahme des Flurabstandes von Süden nach Norden) aufgrund des steilen Grundwassergefälles zu erkennen sowie im weiteren Verlauf bis in den Ortsbereich von Sontheim wiederum eine Verringerung des Flurabstandes (siehe hierzu Detailauswertung im folgenden Kapitel).

Es ist zu berücksichtigen, dass sehr kleinräumige Effekte („Vorwärtseinschneiden“ der Grundwassergleichen entlang des Fließgewässers aufgrund von Infiltrationseffekten) unmittelbar entlang der Östl. Günz mangels des hierfür erforderlichen engmaschigen Messnetzes (Querprofile zur Erfassung von Sickerlinien) nicht erkennbar sind.

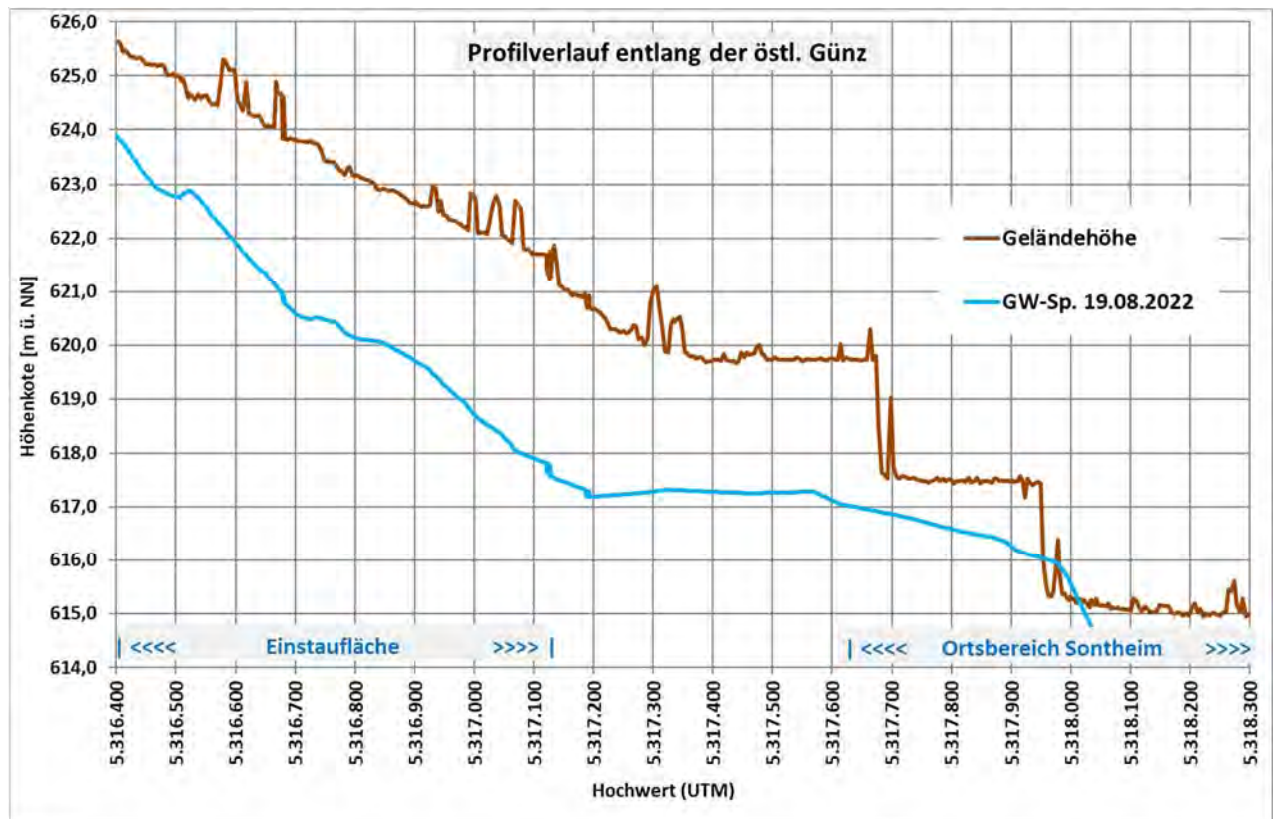


Abbildung 23: Profilschnitt Östliche Günz; Geländehöhe und Grundwasserstand

Im Diagramm der Abbildung 24 ist der Detailbereich des Profilschnitts entlang der Östlichen Günz mit Pegelhöhen bei Drosselabfluss und bei MQ, Sohlhöhenvermessung sowie Grundwasserstand unterstromig des Dammbereichs bis in den Ortsbereich von Sontheim dargestellt. Der Lageplan über dem Diagramm zeigt den bezeichneten Profilabschnitt.

Es wird deutlich, dass die Sohlhöhe der Östlichen Günz bis zum Wehr an der Eisenrieder Straße rd. 1,5 bis 3 m über dem Grundwasserstand liegt und mithin kein unmittelbarer Kontakt zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser besteht. Kleinräumige Infiltrationswirkungen aus der Günz in das Grundwasser sind an den mittels Interpolation zwischen den Grundwassermessstellen konstruierten Grundwassergleichen nicht erkennbar. Im Zuge der Kalibrierung des Grundwassermodells (siehe Kapitel 10.2) wurde weiterhin festgestellt, dass ein gutes Kalibrierergebnis ohne Ansatz einer Infiltration in den Grundwasserleiter erzielt werden konnte. Es ist daher maximal von einer geringfügigen Wechselwirkung Oberflächengewässer ↔ Grundwasser aufgrund einer wirksamen Kolmation der Gewässersohle auszugehen.

Im weiteren Gewässerverlauf zwischen dem Wehr an der Eisenrieder Straße und dem Wehr an der Mindelheimer Straße liegt die Gewässersohle noch geringfügig über dem Grundwasserstand.

Am nördlichen Ende des Profilabschnitts nördlich des Wehrs an der Mindelheimer Straße fällt die Gewässersohle unter den Grundwasserstand ab, d.h. dieser Abschnitt der Östl. Günz ist potenziell vorflutwirksam bzw. Grundwasser exfiltrierend.

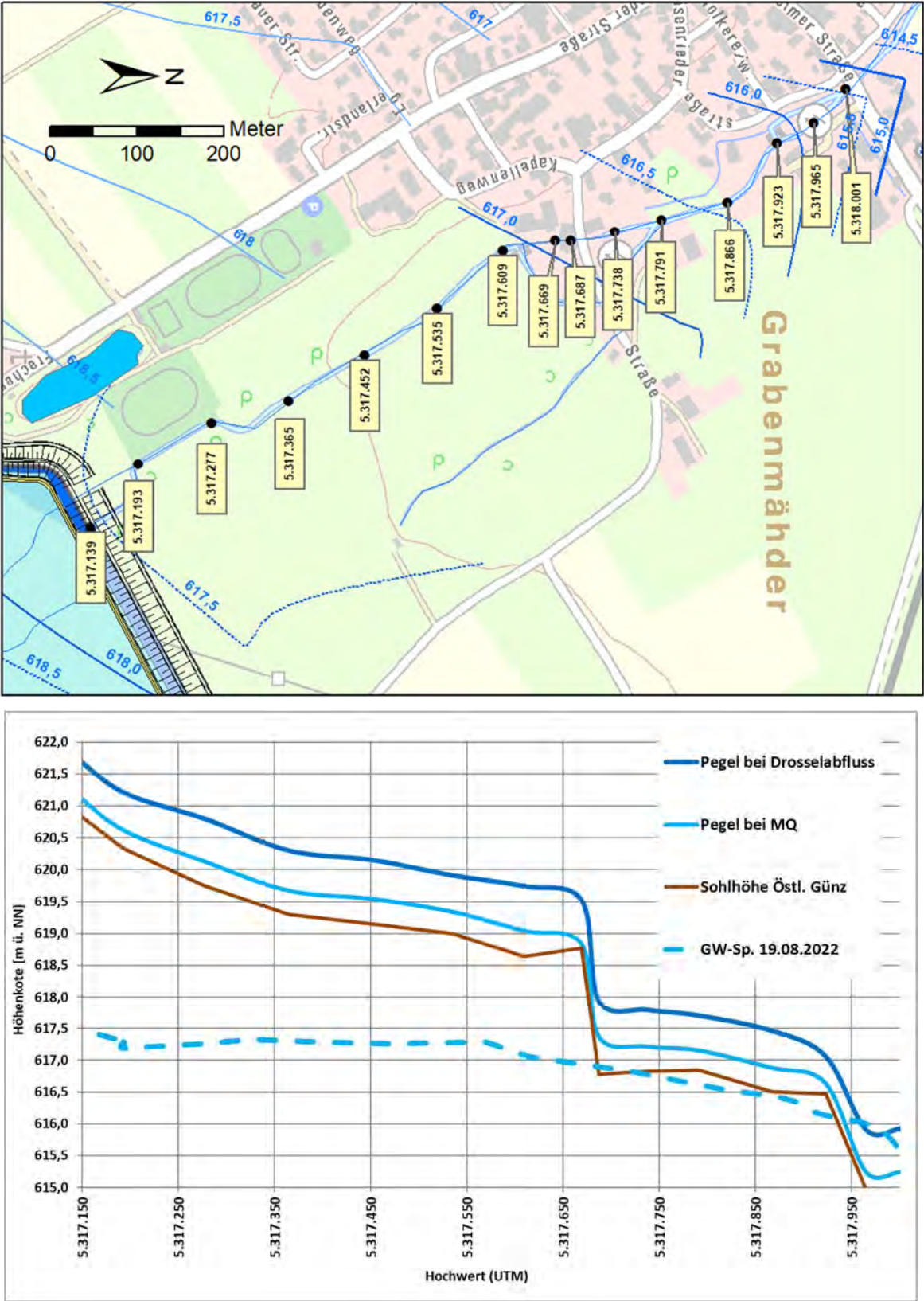


Abbildung 24: Profilschnitt Östl. Günz (Detailabschnitt unterstromig des HRB)

10. Numerisches Grundwassermodell

Prognoserechnungen zur Ermittlung grundwasserhydraulischer Auswirkungen von Einstauereignissen im HRB Sontheim wurden unter Verwendung der numerischen Grundwassermodellierungssoftware Feflow 7.5 (DHI) durchgeführt. Im Folgenden sind die maßgeblichen Modelldaten dargestellt.

10.1 Modelldaten

In der Tabelle 3 sind die Modelldaten zusammengestellt. Entsprechende Erläuterungen werden in den folgenden Kapiteln gegeben.

Das Modellgebiet wird an der südlichen und nördlichen Seite jeweils durch den Verlauf einer Isolinie des Grundwasserstandes begrenzt. Die westliche Begrenzung bildet der Verlauf der Schwelk. Die östliche Begrenzung markiert den Übergang der quartären Flussschotter zu den tertiären Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse und wurde der Geologischen Karte GK 25 entnommen.

Tabelle 3: Modelldaten (Übersicht)

Software	Feflow 7.8 (DHI)		[-]
Modelltyp	3-D-Modell, ungespannt, ungesättigt, stationär/instationär		[-]
Modellgröße	10,4348		[km ²]
Horizontale Diskretisierung	rd. 12.500 Knoten pro Schicht		[-]
Vertikale Diskretisierung	16 Layer		[-]
Stratigraphische Einheiten / hydraulische Leitfähigkeiten	Mutterboden: Layer 1+2	$k_f = 1 \times 10^{-06}$	[m/s]
	Quartär - Bindige Deckschichten: Layer 3 bis 6	$k_f = 9 \times 10^{-06}$	[m/s]
	Quartär - Grundwasserleiter Kies: Layer 7 bis 16	$k_f = 3 \times 10^{-04}$ bis 7×10^{-03}	[m/s]
	Damm - Layer 1 + 2	$k_f = 1 \times 10^{-07}$ und 1×10^{-05}	[m/s]
	Herdgraben - Layer 1 bis 6	$k_f = 1 \times 10^{-07}$	[m/s]
	Baggerseen / Fischweiher	$k_f = 1$	[m/s]
weitere Materialparameter	Grundwasserneubildung	0	[mm/a]
	Porosität	0,2	[-]
	Sättigung	0 bis 1	[%]
	Transferrate Infiltration	0,1 bis 1	[1/d]
	Transferrate Exfiltration	0,4 bis 4	[1/d]
Randbedingungen (Boundary-Conditions = BC)	BC 1 (Fixpotenzial) Grundwassergleichen am ober- und unterstromigen Modellrand	628 607	[m ü. NN]
	BC 2 (Flux) geringfügige Zuspeisung aus dem Tertiär östl. der Einstaufläche	0,3	[m/d]
	BC 3 (Transfer) entlang der Fließgewässer	- linear interpoliert - instationär	[m ü. NN]
	BC 4 (Well) Brunnen 3 und 4 Attenhausen	2 x 3,2 l/s	[l/s]
	BC 1 (Potenzialhöhe) Einstau auf der Einstaufläche HQ1 bis HQ100+K	- instationär entsprechend Einstaukurve	[m ü. NN]

10.1.1 Diskretisierung

In der Abbildung 25 sind die horizontale Diskretisierung des Modellgebietes sowie die Netzknoten mit Belegung einer Randbedingung (BC 1 bis BC 3) dargestellt.

Entlang der Östl. Günz und des geplanten Dammes sowie der Baggerseen westlich von Sontheim und der Brunnen der Wasserversorgung Attenhausen erfolgte eine Netzverdichtung.

Die Abbildung 26 zeigt die vertikale Diskretisierung sowie die Geländeoberfläche. Der Schicht 1 wurde die Geländehöhe gemäß DGM zugewiesen. Die Höhenkante nach Westen zur Schotterterrasse ist ebenso zu erkennen wie die bereits implementierte Höhe des geplanten Dammes. Der Damm ist jedoch ohne einem über der Geländeoberfläche stehendem (Grund-)Wasserpotenzial hydraulisch nicht wirksam.

Die Abbildung 27 zeigt im Vertikalschnitt die maßgeblichen hydraulischen Einheiten Mutterboden (braun, Layer 1+2), bindige quartäre Deckschichten (ocker, Layer 3 bis 6) und quartäre Kiese (gelb, Layer 7 bis 16). Der mit einem k_f -Wert von 1 simulierte Fischweiher westlich der Einstaufläche ist zu erkennen.

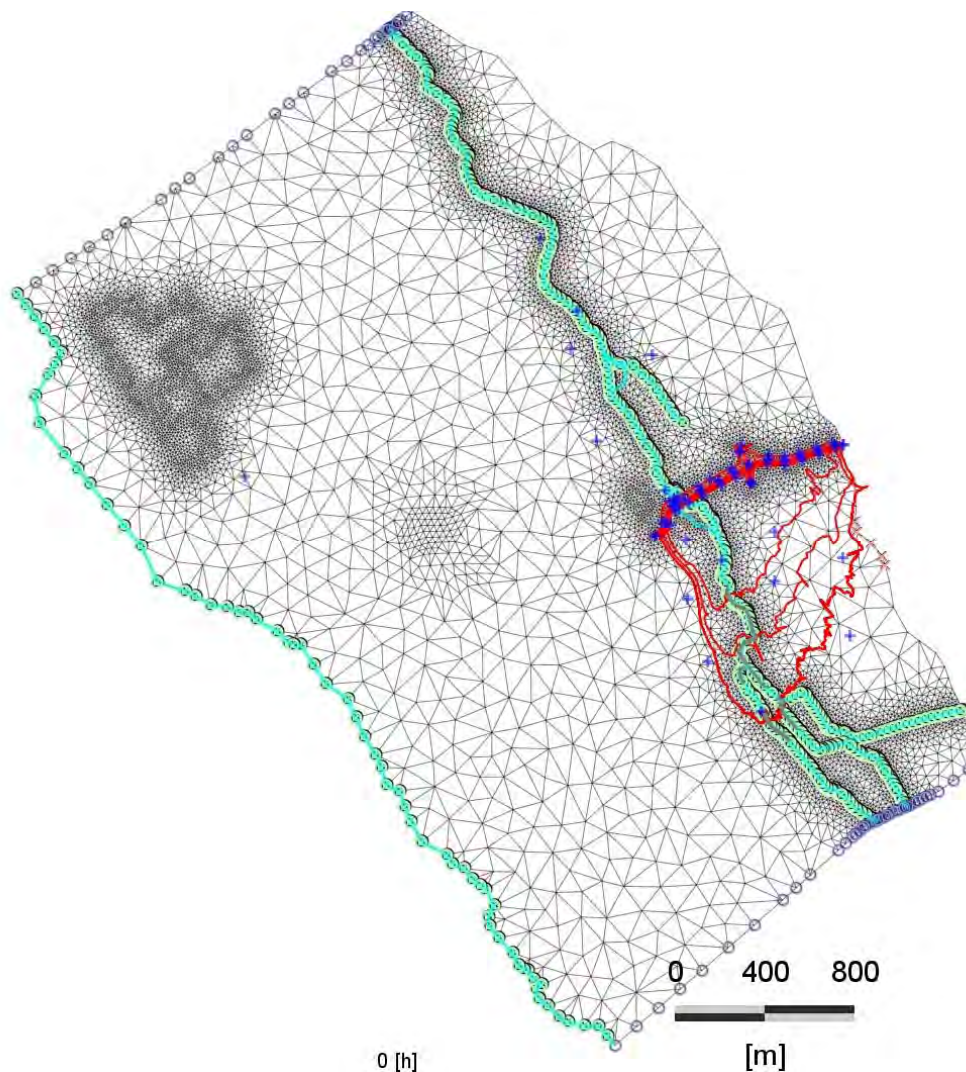


Abbildung 25: Horizontale Diskretisierung und Randbedingungen (BC 1-blau, BC 2-rosa, BC 3-grün)

Die Unterkante des Mutterbodens (Schicht 3) wurde pauschal auf Geländeoberfläche – 0,3 m gesetzt.

Die Unterkante der bindigen quartären Deckschichten (Schicht 7) ist räumlich variabel entsprechend den Ergebnissen der Bohrerkundungen im Untersuchungsgebiet. Im Bereich der Einstaufläche beträgt die Mächtigkeit im Mittel rd. 1 m (inkl. Mutterboden).

Die Oberkante der tertiären Einheiten bildet die Modellunterkante (Schicht 17). Der Höhenverlauf wurde aus der Konstruktion der Tertiäroberkante (Ergebnis der Erkundungsbohrungen HRB Sontheim und der Datenrecherche WV Attenhausen; siehe Kapitel 9.1) übernommen.

Die Zwischenschichten der drei Haupteinheiten (Mutterboden, bindige Deckschichten, quartärer Grundwasserleiter) wurden in äquidistante Abschnitte diskretisiert.

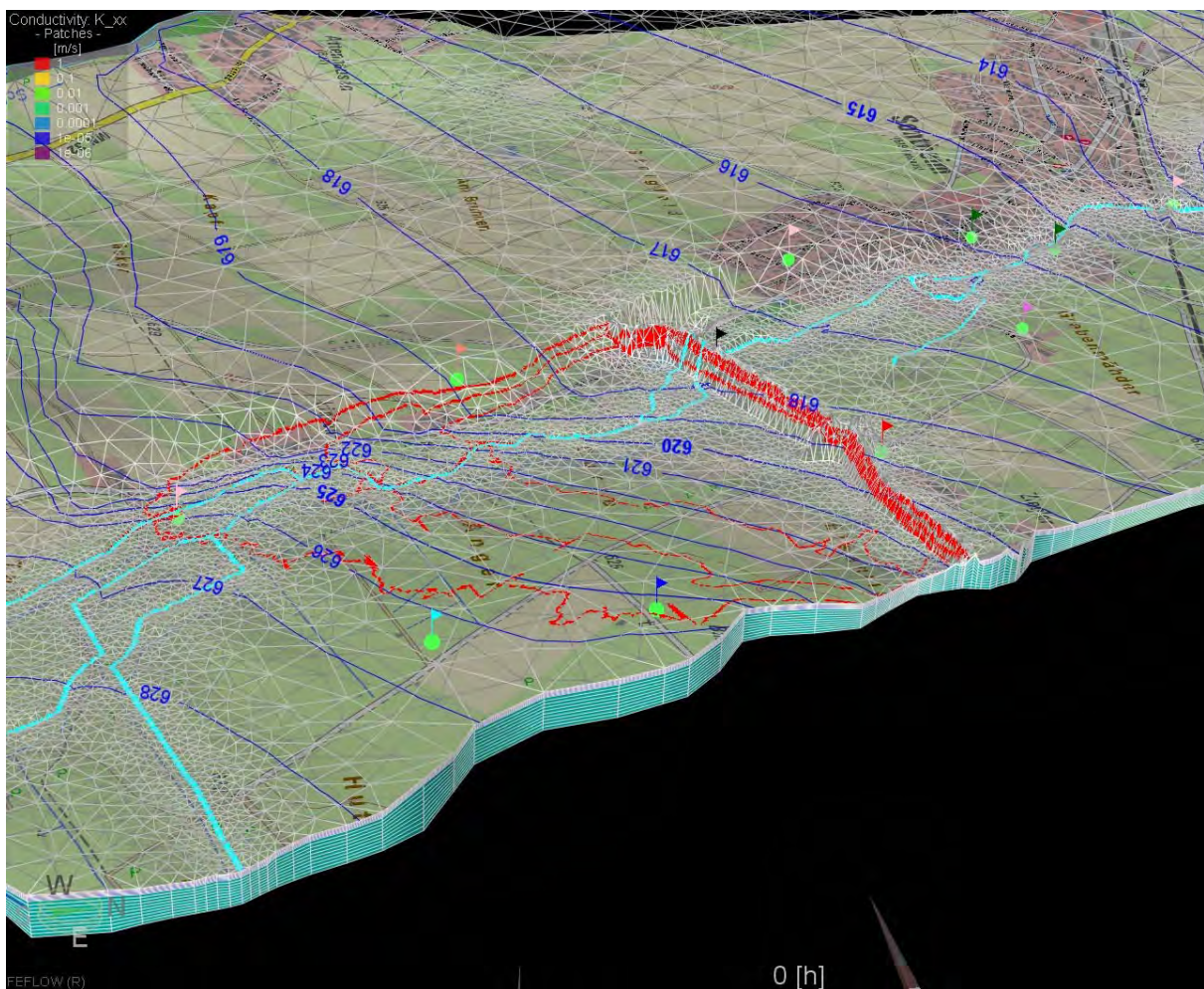


Abbildung 26: Vertikale Diskretisierung (Geländehöhe)

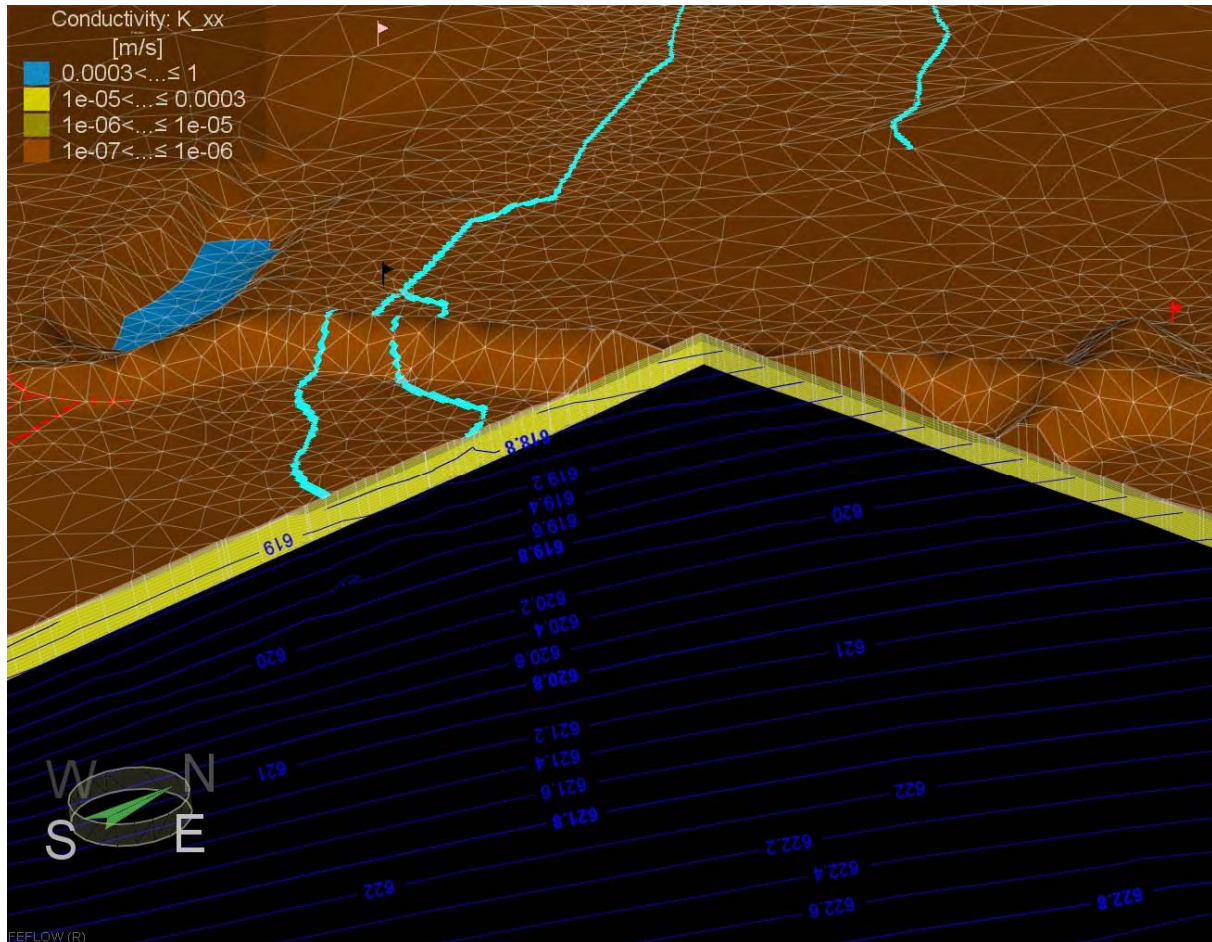


Abbildung 27: Vertikale Diskretisierung (k_f -Wert-Zuweisung)

10.1.2 Randbedingungen

BC 1 – Fixpotenzial

Wie im Kapitel 9.2.3 erläutert, liegen mit einer bislang rd. 5-monatigen Messwerterfassung im Untersuchungsgebiet nur eingeschränkt belastbare Angaben hinsichtlich der lokalen Grundwasserschwankungen und der Extremwerte vor. Statistische Aussagen müssen daher (noch) über Analogieschlüsse und unter hydrogeologisch plausiblen Annahmen getroffen werden.

Ziel der Modellrechnungen sind Aussagen hinsichtlich der grundwasserhydraulischen Auswirkungen von Einstauereignissen im Bereich des HRB sowie mögliche Reichweiten der Auswirkungen. Maßgeblich hierfür sind die Dauer des Einstaus und die Einstauhöhe im Einstaubereich sowie ggfs. eine zeitliche Verlängerung von erhöhten Pegelständen in der Östl. Günz.

Bei Flurabständen im Bereich des Damms von bis zu rd. 4,5 m (am westl. Ende) hat der absolute Grundwasserstand hinsichtlich einer Aussage zu relativen Grundwasserstandsveränderungen (Grundwasseranstieg) eine untergeordneter Bedeutung.

Auf der Grundlage des derzeitigen Standes der Messwerterfassung mit bislang noch geringen Schwankungen ist es daher (noch) nicht sinnvoll, unterschiedliche Grundwasserstandshöhen bzw. einen instationären Verlauf des Grundwasserstands am ober- und unterstromigen

Modellrand anzusetzen. Die Modellergebnisse werden daher in Form von Differenzhöhen dargestellt.

BC 2 – Flux

Die Auswertung der Grundwasserstandsmessungen zeigt eine gegenüber dem Talverlauf (SSO \Rightarrow NNW) geringfügig nach Westen gedrehte Grundwasserfließrichtung (SO \Rightarrow NW). Es wird daher eine geringfügige Zuspiesung aus dem Tertiär angenommen. Diese wird mittels der BC 2 (Flux) auf einem Teilstück des östlichen Modellrandes von rd. 300 m Länge mit 0,3 m/d angesetzt.

BC 3 – Transfer

Die Fließgewässer im Modellgebiet (Östl. Günz mit untergeordneten Zuflüssen) und am westlichen Modellrand (Schwelk) werden mittels der BC 3 (Transfer) simuliert.

Bzgl. der Schwelk liegen keine Pegeldata vor. Weiterhin verläuft sie in einer (großen) Entfernung von über 1,6 km zum Einstaubereich, so dass eine detaillierte Betrachtung zur Erhöhung der Aussagegenauigkeit des Modells nicht erforderlich ist. Der Pegelstand wird am westlichen Modellrand als Näherung linear zwischen den Fixpotenzialen des ober- und unterstromigen Modellrandes interpoliert.

Für die Östliche Günz liegen Daten zu Sohlhöhen sowie zu Pegelständen bei Mittelwasserabfluss und bei geplantem Drosselabfluss vor. Für die stationäre Kalibrierung wurden die Pegelstände für Mittelwasserabfluss (MQ) dem Bachverlauf zugewiesen.

BC 4 – Well

Für die Brunnen 3 und 4 Attenhausen wird eine stationäre Dauerentnahme von $2 \times 3,2$ l/s simuliert. Dies entspricht dem Jahresbedarf von Sontheim und Attenhausen gemäß (2). Auf die Berechnungsergebnisse zum HRB Sontheim hat diese Entnahme keine messbaren Auswirkungen.

10.1.3 Materialparameter

Vor dem Erstlauf der Simulation wurde den drei vertikal differenzierten Einheiten Mutterboden, bindige Deckschichten und quartärer Grundwasserleiter die in der Tabelle 3 aufgeführten k_f -Werte pauschal zugewiesen. Die Werte entsprechen den geometrischen Mittelwerten der jeweiligen Untersuchungsergebnisse (Versickerungsversuche, Pumpversuche).

Im Zuge der Modellkalibrierung wurden die Werte für den quartären Grundwasserleiter im Bereich der Flussablagerungen der Östlichen Günz in geringem Umfang innerhalb plausibler Grenzen angepasst. Für den Bereich der Schmelzwasserschotter wurde der in der Einzugsgebietsermittlung der WV Attenhausen zugrunde gelegte mittlere k_f -Wert von 7×10^{-03} m/s angesetzt.

Die k_f -Werte für die bindigen Deckschichten und den Mutterboden wurden unverändert über das gesamte Modellgebiet belassen.

10.2 Kalibrierung

Zunächst wurde eine stationäre Berechnung (d.h. mit zeitlich unveränderlichen Randbedingungen) durchgeführt. Als Stichtag wurde der 19.08.2022 gewählt. Dieser Stichtag stellte zum Zeitpunkt der Modellerstellung den bis dahin höchsten erfassten Grundwasserstand dar. Seit her wurde zwar am 03.10.2022 bereits ein höherer Grundwasserstand erreicht, die im Kapitel 9.2.3 dargestellten Auswertungen zeigen jedoch, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit im gesamten bisherigen Beobachtungszeitraum (bis 22.11.2022) Grundwasserstände unter MW erfasst wurden, d.h. der Stichtag 19.08.2022 stellt zwar ebenso wie der 03.10.2022 ein relatives „HW“ jedoch auf insgesamt niedrigem Niveau dar.

In der Abbildung 28 ist das Ergebnis der stationären Modellkalibrierung dargestellt (modellierte Grundwassergleichen rot, konstruierte Grundwassergleichen blau).

Bei der Kalibrierung wurde insbesondere auf eine gute Anpassung der berechneten an die gemessenen Grundwasserstände im Nahbereich beidseits der Östl. Günz sowie im Einstaubereich und unterstromig bis in den Ortsbereich von Sontheim geachtet.

Für den Bereich der Schmelzwasserschotter sind aufgrund der räumlichen Entfernung zum Einstaubereich und der hohen Flurabstände (rd. 10 m) keine messbaren hydraulischen Auswirkungen zu erwarten. Auf eine hohe Modellgenauigkeit wurde daher verzichtet. Für diesen Bereich wurde demnach auch keine vorhabenbezogene Messwerterfassung eingerichtet. Die modellierten Grundwassergleichen können hier – vor allem nordwestlich des Einstaubereichs - deutlich vom Verlauf der Grundwassergleichen der Einzugsgebietsermittlung der WV Attenhausen (2) abweichen. Westlich und südwestlich des Einstaubereichs besteht qualitativ eine gute Übereinstimmung zwischen modellierten und den konstruierten Grundwassergleichen, da diese deutlich die Morphologie des Grundwasserstauers mit einem steilen Abfallen nach Norden und einer erkennbaren Rinnenstruktur zu den Grundwasserfassungen Attenhausen nachzeichnen.

Beidseits der Östlichen Günz sowie im Einstaubereich und unterstromig bis in den Ortsbereich von Sontheim konnte bereits durch Implementierung der Modellunterkante/Staueroberkante entsprechend den Erkundungsergebnissen in Verbindung mit den Fixpotenzialen entlang der ober- und unterstromigen Modellgrenze, der linearen Interpolation der MQ-Pegelhöhen an der Östlichen Günz und dem o.g. geringfügigen Zustrom aus dem östlichen Tertiär eine qualitativ gute Anpassung an die grundsätzlichen Grundwasserverhältnisse (Grundwasserfließrichtung und Bereiche mit unterschiedlichem Grundwassergefälle) erreicht werden.

Hierbei wurde zunächst pauschal für den Materialparameter Transferrate ein Wert von $1/d$ für Infiltration und $4/d$ für Exfiltration angesetzt. Dies sind übliche Startwerte der Kalibrierung bzw. Erfahrungswerte für die Kolmation von Oberflächengewässern. I.d.R. liegen aufgrund des hohen versuchstechnischen Aufwands und der zeitlichen und räumlichen Variabilität der Kolmation keine Messwerte vor.

(Anmerkung: Die Einheit $[1/d]$ resultiert aus dem Quotienten der beiden Kolmationsparameter Mächtigkeit der Kolmationsschicht $[m]$ und k_f -Wert $[m/s]$. Ein Wert von $1/d$ ergibt sich beispielsweise aus einem k_f -Wert von rd. $5 \times 10^{-06} m/s$ mit einer Mächtigkeit von rd. 0,4 m. Eine geringere Durchlässigkeit in Kombination mit einer geringeren Mächtigkeit ergibt entsprechend den gleichen Kolmationseffekt.)

Im weiteren Verlauf der Kalibrierung wurde festgestellt, dass für den unterstromigen Abschnitt der Östlichen Günz eine Verbesserung der Modellanpassung mit Erhöhung der Kolmation, d.h. Verringerung der Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Fließgewässer erreicht werden konnte. Da im vorliegenden Fall der Pegelstand der Östl. Günz mehrere Meter über der Grundwasseroberfläche liegt, bedeutet dies eine Verringerung der Infiltration aus der Günz in den Grundwasserleiter. In der folgenden Abbildung sind in Form von Fehlerbalken an den elf Grundwassermessstellen die Abweichungen der berechneten von den gemessenen Grundwasserständen zum Stichtag 19.08.2022 dargestellt. Die Abweichungen liegen im Mittel bei 3 cm, d.h. die Modellwerte übersteigen und unterschreiten die Messwerte gleichermaßen.

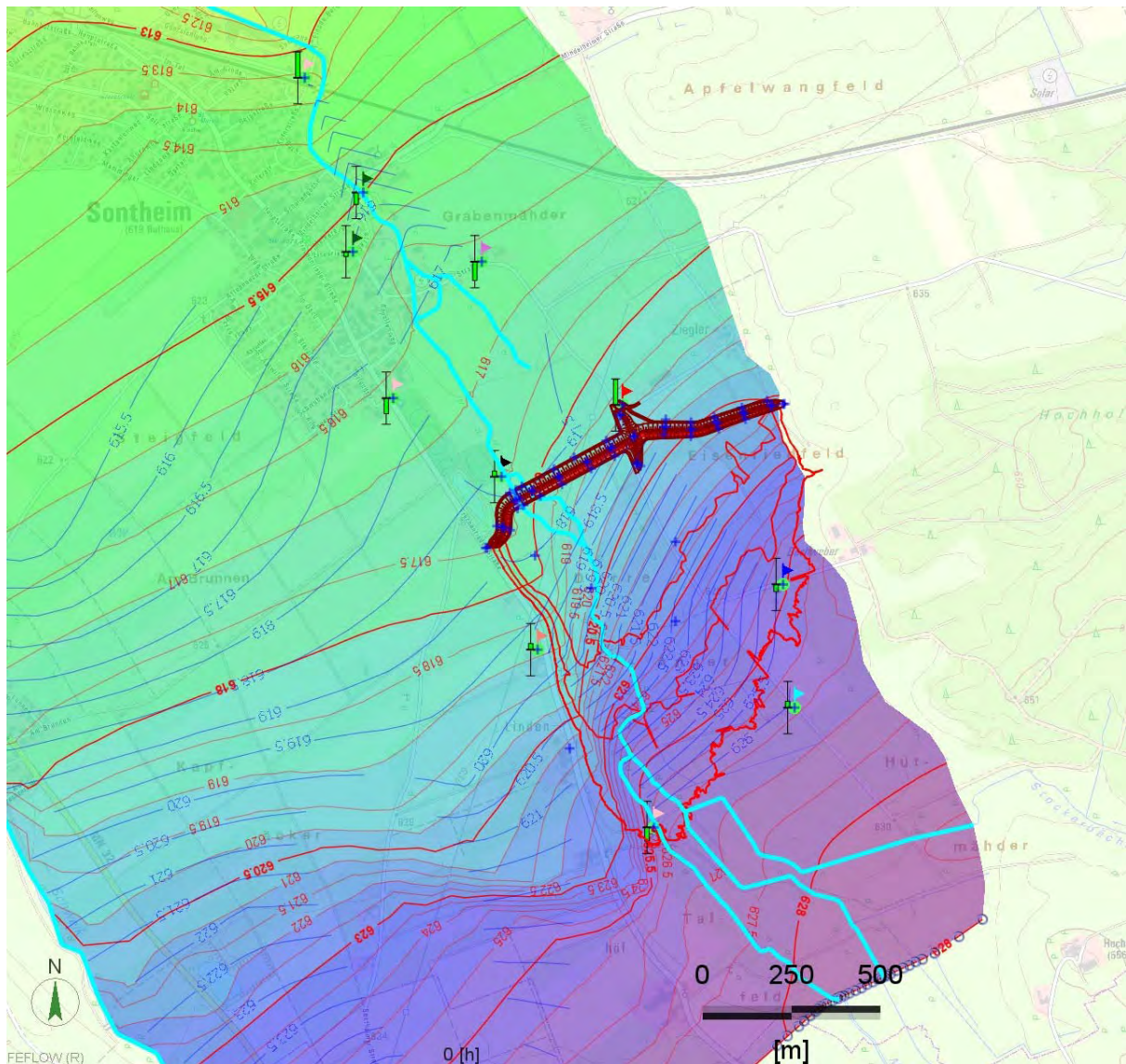


Abbildung 28: Ergebnis Modellkalibrierung (rot: berechnete Grundwassergleichen, blau: konstruierte Grundwassergleichen)

10.3 Modellrechnungen der Einstauereignisse

Anmerkung: Hinsichtlich des i. F. aufgeführten Stauziels HQ100+K (627,1 m ü. NN) bitte den Hinweis unter Kapitel 4 auf Seite 5 beachten !

10.3.1 Modellgrundlage

Das kalibrierte Grundwassermodell dient als Modellgrundlage für instationäre Variantenrechnungen der Einstauereignisse HQ1, HQ10, HQ20, HQ50, HQ100 und HQ100+K. Die Einstauereignisse HQ2 und HQ5 wurden nicht simuliert. Deren Auswirkungen können mit hinreichender Sicherheit zwischen den Modellergebnissen HQ1 und HQ10 liegend angenommen werden.

Wie vorstehend erläutert, ist zur Berechnung der Auswirkungen der Einstauereignisse auf die Grundwasserverhältnisse, d.h. die Berechnung der Differenzhöhen des Grundwasserstandes, die Ausgangshöhe des Grundwasserstands (Absoluthöhe) zunächst von untergeordneter Bedeutung. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass ein HQ-Ereignis des Oberflächenabflusses nicht zwingend mit einem Hochwasserereignis des Grundwasserstandes zusammenfallen muss. Es kann also kein typischer Ausgangs-Grundwasserstand für die unterschiedlichen HQ-Ereignisse definiert und im Modell zugrunde gelegt werden.

Der bisherige Erfassungszeitraum der Grundwasserstände (rd. 5 Monate) erlaubt bislang noch keine belastbare Aussage zu statistischen Grundwasserstandskennwerten (MNW, MW, MHW) im Untersuchungsgebiet.

Es wird daher der über die Potenziale am ober- und unterstromigen Modellrand definierte Grundwasserstand (Stichtag 19.08.2022) stationär fixiert. Die Modellgrenzen befinden sich in ausreichender Entfernung zur Einstaufläche, so dass eine Beeinflussung des durch das Einstauereignis verursachten Grundwasseranstiegs ausgeschlossen werden kann.

10.3.2 Instationäre Randbedingungen

Einstaufläche und Einstaukurve

Für die Einstauereignisse HQ1 bis HQ100+K liegen Angaben zu Einstaudauer, Entleerungsdauer, Beckenwasserspiegel, Einstauhöhe und maximalem Einstauziel vor. Diese Werte sind in der Tabelle 1 auf der Seite 6 zusammengestellt. Die entsprechenden Einstauflächen zeigt die Abbildung 3 auf der Seite 5. In der folgenden Tabelle sind die maßgeblichen Modellwerte nochmals zusammengefasst.

Tabelle 4: Modellwerte Einstauhöhe, Einstaudauer*

		HQ1	HQ2	HQ5	HQ10	HQ20	HQ50	HQ100	HQ100K
Beckenwasserspiegel	[m ü. NN]	624,29	624,92	625,47	625,53	625,84	626,24	626,59	627,10
Einstaudauer/Entleerung	[h]	32/24	48/32	59/37	64/38	71/40	85/44	94/48	111/59

* Für HQ100 und HQ100+K sind die im Modell verwendeten, ursprünglichen Werte vor Verringerung des Stauziels um 0,2 m eingetragen (siehe hierzu Hinweis auf Seite 5)

Im Diagramm der Abbildung 29 sind die auf den entsprechenden Einstauflächen instationär angesetzten Potenzialhöhen der Einstauereignisse HQ1 bis HQ100+K dargestellt.

Anmerkung: Die Einstauzeit, d.h. der Pegelanstieg beginnt bei den instationären Modellsimulationen jeweils zur Modellzeit „100 Stunden“. Bei den i. F. dargestellten

Abbildungen ist jeweils die aktuelle Modellzeit [h] eingeblendet. Hinsichtlich der tatsächlichen Einstaudauer der dargestellten Situation sind daher immer 100 Stunden zu subtrahieren.

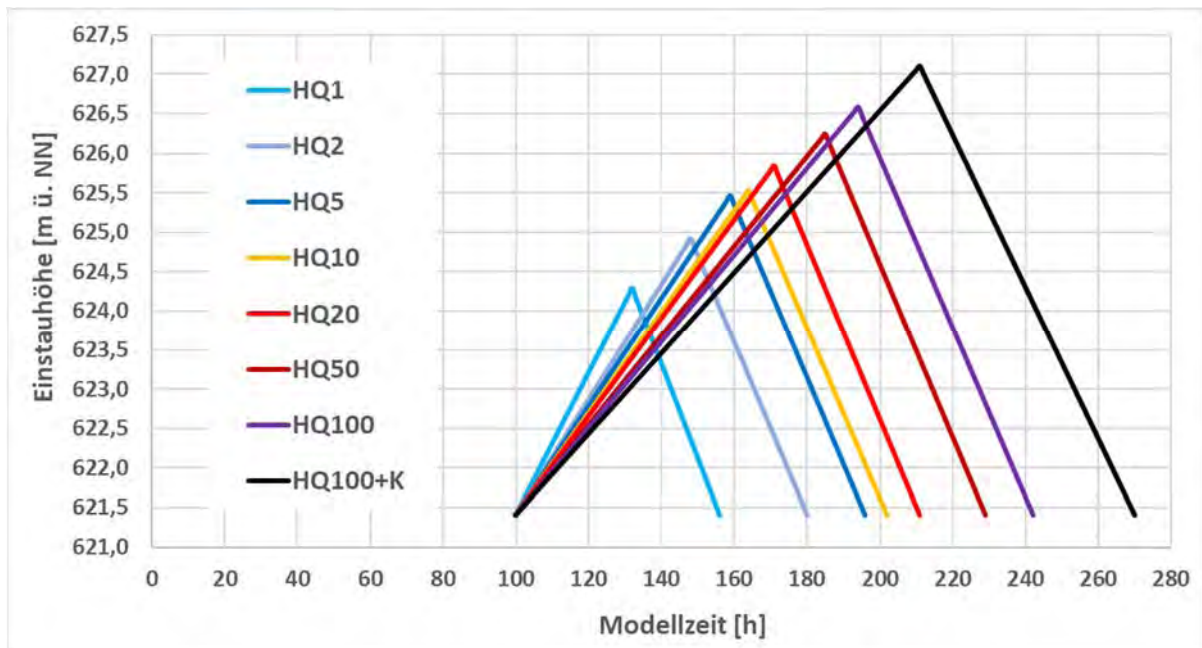


Abbildung 29: Einstaukurven HQ1 bis HQ100+K (Modell)*

* Für HQ100 und HQ100+K sind die im Modell verwendeten, ursprünglichen Werte vor Verringerung des Stauziels um 0,2 m eingetragen (siehe hierzu Hinweis auf Seite 5)

Gewässerpegel Östliche Günz

Während des Einstauereignisses (Einstau- und Entleerungszeit) wird der Gewässerpegel der Östlichen Günz von der Ausgangshöhe MQ auf die Höhe des Drosselabflusses angehoben.

10.3.3 Modellergebnisse

Die Modellergebnisse sind in Abbildungen von Lageplänen und Profilschnitten in der Anlage 10 beigefügt. Der Verweis auf die Abbildungsnummern bezieht sich auf die fortlaufende Abbildungsnummerierung in der Anlage 10.

10.3.3.1 Flächenhafte Auswirkungen

In den Abbildungen 1 bis 7 sind die flächenhaften Auswirkungen der Einstauereignisse HQ1 bis HQ100+K (ohne HQ2 und HQ5) auf die Grundwasserverhältnisse jeweils zum Zeitpunkt des höchsten Einstaus dargestellt. Die Abbildungen zeigen die berechneten Grundwassergleichen sowie als flächenhafte Darstellung die Differenzhöhen zum Ausgangsgrundwasserstand.

Die instationäre Betrachtung der Auswirkungen der Einstauereignisse auf die Grundwasserverhältnisse erfolgt im Kapitel 10.3.3.2.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass der durch die Infiltration von Stauwasser verursachte Grundwasseranstieg nur eine geringe Reichweite im Umfeld der Einstaufläche erreicht. Nachfolgend werden einige Teilbereiche der Auswirkungen beschrieben.

Westlicher Rand des Einstaubereichs

Der Grundwasseranstieg baut sich auf einer Entfernung von wenigen 10er-Metern zur Einstaufläche auf Differenzhöhen $< 0,5$ m ab. Die enge Begrenzung der Reichweite ist auch auf den hier verlaufenden Übergang von den quartären Flussablagerungen des Günz-Tals im Osten zu den Schmelzwasserschottern im Westen zurückzuführen. Die Terrassenschotter wurden mit einem um rd. eine Zehnerpotenz höheren k_f -Wert (7×10^{-03} m/s) simuliert. Dies bewirkt den Übergang des durch die Messwerterfassung belegten, vergleichsweise steilen Grundwassergefälles im Bereich der Einstaufläche (Richtung SO \Rightarrow NW) zu einem flacheren Gefälle (Richtung S \Rightarrow N) im Bereich der Terrassenschotter (gemäß Grundwassergleichen (2)).

Die Situation im Bereich des Tiefsilos (bei GWM 4) wird im Kapitel 10.3.3.4.2 separat erläutert.

Nördlicher Rand des Einstaubereichs (Damm)

Bei einem Einstauereignis HQ1 wird zum Zeitpunkt des maximalen Einstaus der nördliche Dammfuss auf der westlichen Hälfte des Dammverlaufs von der Sickerlinie erreicht (siehe Abbildung 1). Für höhere Einstauereignisse vergrößert sich entsprechend die Reichweite, so dass bei einem Einstauereignis HQ100+K entlang des nördlichen Dammfusses der Grundwasseranstieg zwischen rd. 1,6 m am westlichen Ende und rd. 1,0 m am östlichen Ende liegt (siehe Abbildungen 7 und 8). Die maximale Reichweite der 10-cm-Linie des Grundwasseranstiegs liegt bei rd. 100 m nördlich der Dammkrone. Bei mittleren Grundwasserständen liegt hier der Flurabstand bei rd. 4,5 m.

Bereich Fischweiher

Nördlich des westlichen Dammes befindet sich ein Fischweiher. Es bestehen Bedenken, dass der Gewässerzustand durch Auswirkungen der Einstauereignisse qualitativ und quantitativ beeinträchtigt werden könnte. Der Pegelstand des Weiher liegt auf rd. 620 m ü. NN. An der nächstgelegenen Grundwassermessstelle GWM 5 wurde bislang ein Grundwasserhöchststand von rd. 617,9 m ü. NN bei einem Flurabstand von rd. 4 m gemessen. Die Sohlhöhe des Weihers ist nicht bekannt. Es ist anzunehmen, dass der Weiher potenziell in den Grundwasserleiter infiltriert. Eine Exfiltration bzw. Vorflutwirkung ist dagegen nur bei sehr hohen Grundwasserständen denkbar. Die Modellrechnungen zeigen ab HQ10 einen Grundwasseranstieg um rd. 0,2 m. Bei HQ100+K verbleibt der Anstieg bei unter 0,5 m.

Bereich westlich von Lindenhof

Auf den Abbildungen sind weiterhin Bereiche mit Differenzhöhen zwischen rd. 0,1 und 0,5 m westlich von Lindenhof zu erkennen. Dieser Bereich ist durch ein sehr steiles Grundwassergefälle bei geringer Grundwassermächtigkeit aufgrund des steilen Abfallens der Staueroberkante gekennzeichnet. Geringe räumliche Verschiebungen des Verlaufs der berechneten Grundwassergleichen im Laufe der numerischen Berechnungsschritte führen daher bereits zu Differenzhöhen, die bei bis zu rd. 0,3 m liegen können.

Bereich entlang der Günz oberstromig der Einstauflächen

Oberstromig der Einstauflächen sind entlang der Östlichen Günz Differenzhöhen von bis zu rd. 0,3 m zu erkennen. Die instationäre Anhebung des Pegelstandes der Östlichen Günz während der Einstauzeit vom Pegelstand *MQ* auf den Pegelstand *Drosselabfluss* basiert auf den für den Abschnitt zwischen der Mindelheimer Straße und dem geplanten Damm vorliegenden Daten. Für den Abschnitt oberstromig der Einstaufläche bis hin zum oberstromigen Modellrand liegen hierfür keine Daten vor. Es wurde daher ein Pegelanstieg in ähnlicher Größenordnung (rd. 0,5 m) simuliert. In diesem Abschnitt besteht vermutlich aufgrund der geringen Flurabstände eine Wechselwirkung zwischen Grundwasser und Fließgewässer. Eine Anhebung des Pegelstands führt daher im Modell entlang der Günz zu einem Grundwasserstandsanstieg im Dezimeterbereich.

10.3.3.2 Ausbreitung des Eintrags im Grundwasserleiter

Vorbemerkungen

Der Eintrag von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter im Bereich der Einstaufläche ist auf den Zeitraum des Einstaus begrenzt. Während des Einstaus erfolgt zunächst ein Anstieg des Grundwasserstandes unterhalb der Einstaufläche bis zu einem Maximalwert. Nach Einstauende sinkt der Grundwasserstand unterhalb der Einstaufläche wieder ab. Gleichzeitig breitet sich die Grundwasseranhebung als „Hochwasserwelle“ in Richtung Unterstrom aus und verflacht dabei zunehmend. Während am Ort des Eintrags der Grundwasserstand bereits wieder abfällt, beginnt in größerer Entfernung erst der Grundwasseranstieg. Dieser Prozess wird mit dem Modell in Form instationärer Berechnungen simuliert. Die nachfolgenden Ausführungen erläutern die Ergebnisse der Modellrechnungen und stellen Plausibilitätsprüfungen anhand analytischer Kontrollrechnungen dar.

10.3.3.2.1 Vertikaleintrag auf der Einstaufläche: Numerisches Modellergebnis und analytische Kontrollrechnung

Analytische Berechnung

Für die hydraulische Durchlässigkeit der Mutterbodenaufgabe wird ein k_f -Wert von 1×10^{-06} m/s angesetzt. Mit der Berechnungsmethode nach DWA A 138 (Versickerung in Schürfgruben, siehe auch Kapitel 9.2.4 und Anlage 7) ergibt sich für den o.g. k_f -Wert bei einer angenommenen Einstauhöhe von 1 m eine Versickerungsrate von rd. 0,001 l/(s x m²).

Modellrechnung

Mit dem Analyse-Tools des Grundwassermodells kann die Versickerungsrate im Bereich der Einstaufläche über die instationäre Randbedingung BC 1 (Einstaupotenzial über der Geländeoberfläche) ermittelt werden. In der Tabelle 5 sind die Maximalwerte zum Einstaumaximum für die Einstauereignisse HQ1 bis HQ100+K (ohne HQ2 und HQ5) zusammengestellt. Es werden kurzfristige Maximalwerte für die jeweilige gesamte Einstaufläche von im Mittel rd. 0,002 bis 0,005 l/(s x m²) berechnet. Unter Berücksichtigung der Einstauhöhen von 2,9 bis 5,7 m stehen diese Modellwerte in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der analytischen Plausibilitätsrechnung.

Tabelle 5: Maximale Versickerungsraten im Einstaubereich (Budget Analyse Grundwassermodell)
 (Einstauflächen für HQ100 und HQ100+K entsprechend dem ursprünglichen Stauziel siehe hierzu Hinweis auf Seite 5)

		HQ1	HQ10	HQ20	HQ50	HQ100	HQ100K
Vertikaleintrag auf Einstaufläche BC1 (max.)	[l/s]	1.195	1.377	1.566	1.619	1.620	1.631
Einstaufläche	[ha]	25	42	46	51	57	67
Vertikaleintrag auf Einstaufläche BC1 (max.)	[l/(s x m ²)]	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002

Kumulierte Eintragsmengen

Die mit dem Modell berechneten Versickerungsmengen während der gesamten Einstaudauer der Einstauereignisse HQ1 bis HQ100+K (ohne HQ2 und HQ5) sind in der Tabelle 6 zusammengestellt. Im Diagramm der Abbildung 30 ist der kumulierte Eintrag im Berechnungszeitraum dargestellt.

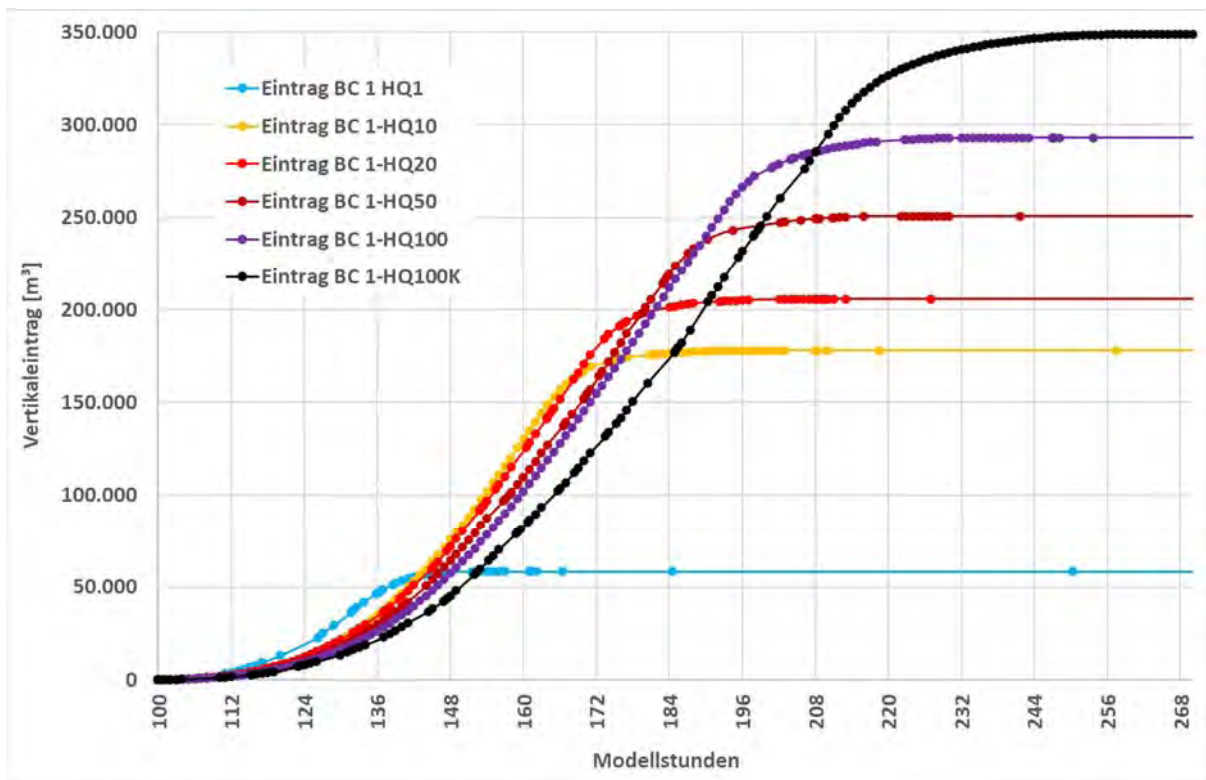


Abbildung 30: Kumulierte Versickerungsmengen im Einstaubereich

Anmerkung zum Diagramm: Das jeweilige Einstauereignis beginnt jeweils nach 100 Modellstunden Vorlaufzeit. Die Einstauenden liegen demnach zwischen Modellzeit 156 h (HQ1) und 270 h (HQ100+K).

Tabelle 6: Kumulierte Versickerungsmengen im Einstaubereich (Budget Analyse Grundwassermodell)
 (Einstauzeiträume für HQ100 und HQ100+K entsprechend dem ursprünglichen Stauziel siehe hierzu Hinweis auf Seite 5)

		HQ1	HQ10	HQ20	HQ50	HQ100	HQ100K
Vertikaleintrag auf Einstaufläche BC1 (während Einstauzeit)	[m³]	58.300	177.932	205.642	250.757	293.124	348.881
Im Einstauzeitraum	[h]	56	102	111	129	142	170
mittlerer Eintrag	[l/s]	289	485	515	540	573	570

Legt man beispielhaft für ein Einstauereignis HQ100 den kumulierten Eintrag von rd. 290.000 m³ auf einer Fläche von 570.000 m² bei einer Porosität des Grundwasserleiters von $n = 0,2$ zugrunde, so ergibt sich daraus rechnerisch ein mittlerer Grundwasseranstieg unter der Einstaufläche von rd. 2,5 m.

Bei dieser theoretisch-analytischen Überlegung ist nicht berücksichtigt, dass

- die Stauhöhe über Gelände (und dementsprechend der Vertikaleintrag) vom Dam in Richtung Oberstrom abnimmt, dass
- es sich nicht um ein abgeschlossenes, statisches System handelt und die Sickerwasserausbreitung unter der Einstaufläche bereits während des Einstaus beginnt und dass
- das Sickerwasser zunächst die ungesättigte Bodenzone durchsickern bzw. auffüllen muss.

Hinweis zur Größenordnung des berechneten Eintrags: Mit einem um rd. 50 l/s erhöhten Grundwasserstrom in den Flussschottern des Tals der Östlichen Günz (vgl. Kapitel 10.3.3.4.5) wird eine Eintragsmenge von 290.000 m³ im Grundwasserleiter in rd. 67 Tagen abgeführt.

10.3.3.2 Horizontale Ausbreitung des Sickerwassereintrags im Grundwasserleiter

Analytische Berechnung

Die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers wird über folgenden Zusammenhang berechnet:

$$V_a = (k_f \times I) / n$$

mit:

- k_f = hydraulische Durchlässigkeit des Grundwasserleiters,
hier: im Mittel rd. 3×10^{-04} m/s
- I = Grundwassergefälle in Talrichtung,
hier: zwischen rd. 0,1 und 1,0 % (siehe Kap. 9.2.2, Seite 15)
- n = effektive Porosität des Grundwasserleiters
hier: 0,2

Es ergeben sich damit im Untersuchungsgebiet zwischen der Einstaufläche und dem Ortsbereich Sontheim Werte der **Abstandsgeschwindigkeit im unbeeinflussten Zustand zwischen 0,13 m/d und 1,3 m/d**. Hierbei ist zu beachten, dass der als linearer Faktor in die

Berechnung eingehende k_F -Wert mit einer Unsicherheit bzw. Schwankungsbreite von mindestens \pm einer halben Größenordnung behaftet ist.

Nach analytisch-theoretischen Überlegungen breitet sich ein lokaler „Hochwasserberg“ unter der Einstaufläche im Grundwasser mit einer Geschwindigkeit entsprechend der o.g. Abstandsgeschwindigkeit aus, wobei zu Beginn das Grundwassergefälle unmittelbar am Rand des Einstaubereichs deutlich $> 1\%$ liegt und sich mit zunehmender Entfernung asymptotisch an das unbeeinflusste Grundwassergefälle angleicht.

Mit dem Grundwassermodell wurde für das Ereignis HQ100 zum maximalen Einstauzeitpunkt im Bereich des Damms (wasserseitig) ein Grundwasseranstieg bis zur Geländeoberfläche und auf der luftseitigen Flanke des Damms von maximal rd. 1,5 m berechnet. Es ergibt sich daraus ein Grundwassergefälle unmittelbar an der Einstaugrenze von rd. 12 % und entsprechend eine Abstandsgeschwindigkeit von rd. 16 m/d. Bereits wenige Zehnermeter unterstromig des Damms ist der Grundwasseranstieg so gering, dass sich das Grundwassergefälle gegenüber dem unbeeinflussten Zustand nur geringfügig erhöht und demnach die Abstandsgeschwindigkeit im o.g. Bereich (rd. 1,3 m/d) liegt.

Der südliche Ortsrand von Sontheim liegt (in Grundwasserfließrichtung) rd. 525 m unterstromig des Damms. Eine durch den Einstau verursachte „Hochwasserwelle“ im Grundwasserleiter wird demnach bei einer angenommenen mittleren Abstandsgeschwindigkeit von rd. 3 m/d (und bei einem ansonsten statischen System, d.h. keine örtliche Grundwasserneubildung, keine natürlichen Grundwasserstandsschwankungen) ein knappes halbes Jahr benötigen, um den Ortsrand zu erreichen.

Durch die Verringerung der Grundwasseranhebung im zeitlichen Verlauf und mit zunehmender räumlicher Entfernung zum Einstaubereich vermindert sich das Grundwassergefälle bis hin zu dem im Bereich zwischen Damm und Ortsbereich Sontheim ursprünglich sehr geringen Wert von rd. 0,1 %. Die entsprechende Abstandsgeschwindigkeit vermindert sich somit entsprechend auf rd. 0,1 m/d, so dass im Modellfall die Angleichung an den ursprünglichen Grundwasserstand bis in einer Entfernung von 525 m (Ortsrand Sontheim) über 10 Jahre dauern würde.

Berechnungsergebnisse Grundwassermodell

In den Diagrammen der Abbildung 31 und der Abbildung 32 sind die mit dem Modell berechneten Grundwasserstands-differenzhöhen (GW-Anhebung) im zeitlichen Verlauf entlang einer Profillinie zwischen Damm und südlichem Ortsrand von Sontheim dargestellt. Die Lage dieser „virtuellen Messstellen“ ist in Abbildung 33 ff. dargestellt. Beispielhaft sind die Situationen HQ100+K nach rd. 10, 20, 80, 200 und 390 Modelltagen abgebildet.

Das Ergebnis der numerischen Modellrechnung bildet die vorstehend erläuterten analytisch-theoretischen Überlegungen gut ab. Am Verlauf der Grundwasserstandshöhen an den Modell-Messstellen ist folgendes abzulesen:

- Der Grundwasserstand unterhalb der Einstaufläche und am Dammfuß sinkt bereits wieder, während weiter im Unterstrom die „Hochwasserwelle“ noch im Steigen begriffen ist.
- Am Ortsrand von Sontheim beginnt der Anstieg nach rd. 180 Tagen.
- Der maximale Anstieg am Ortsrand von Sontheim beträgt rd. 0,3 bis 0,4 m.

- Im Modellfall wird mit den angesetzten unveränderlichen Randbedingungen an den Modellrändern aufgrund der asymptotischen Annäherung der ursprüngliche Zustand auch nach 10 Jahren nicht vollständig erreicht (siehe hierzu nachfolgendes *Fazit*).

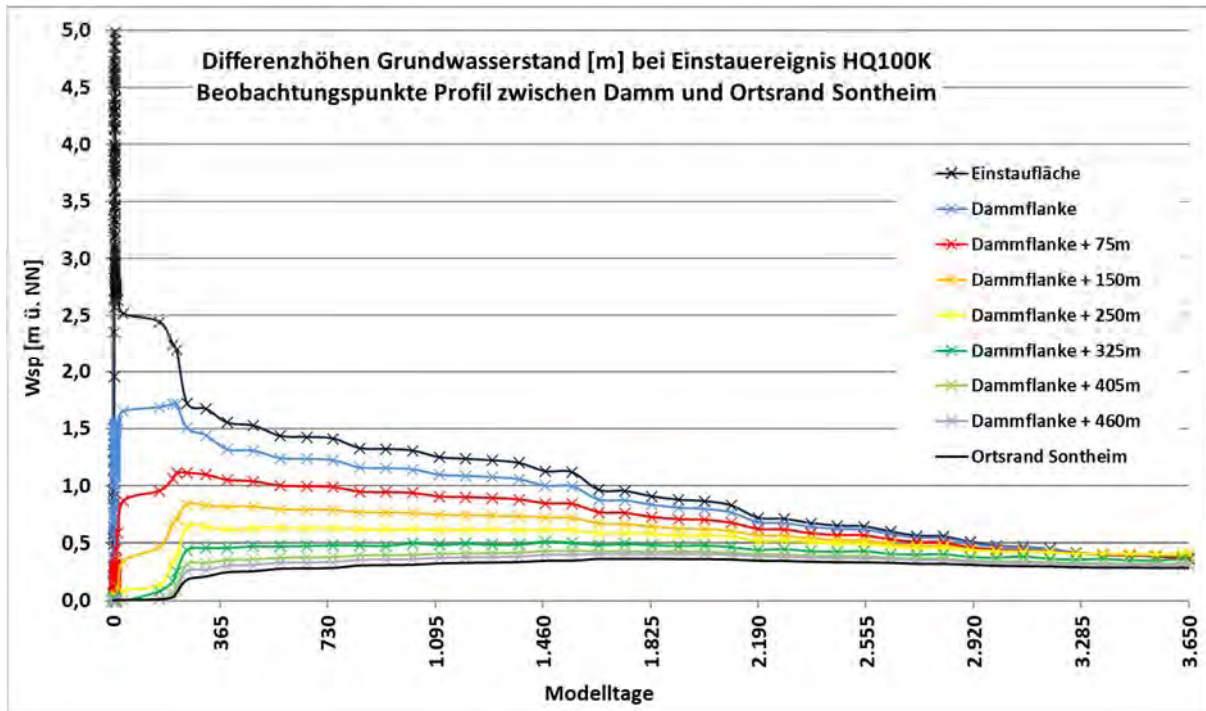


Abbildung 31: Differenzhöhen Planungszustand - Grundwasserstand im zeitlichen Verlauf Planungszustand HQ100+K (Profillinie: Damm bis Sontheim)

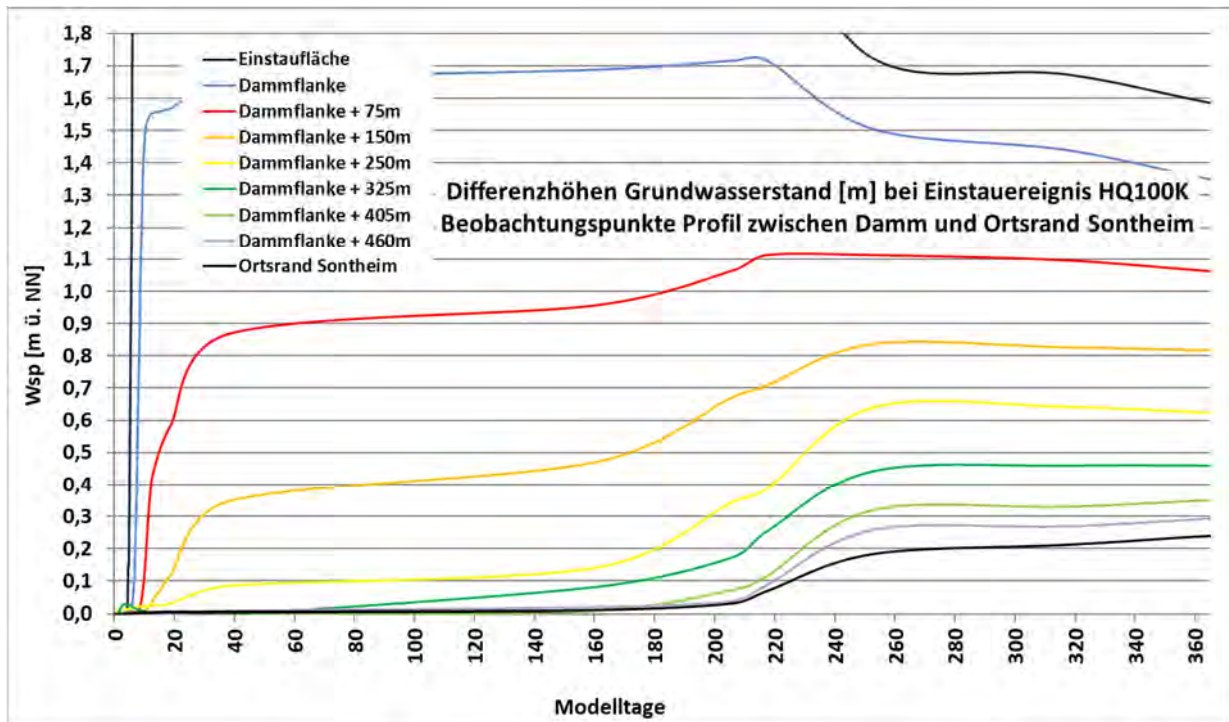


Abbildung 32: wie Abbildung 31, Detail

Fazit

Wie einleitend erwähnt, wird die instationäre Berechnung des Einstaufalles mit ansonsten unveränderlichen Randbedingungen (Grundwasserstand) am ober- und unterstromigen Modellrand sowie ohne Berücksichtigung temporärer lokaler Niederschläge bzw. Grundwasserneubildung durchgeführt, da die zeitliche Veränderung dieser Parameter sowie ihre Ausgangsgröße zu Beginn eines Einstaufalles nicht bekannt ist. Auf diese Weise werden die ausschließlich durch den Einstau verursachten Auswirkungen ermittelt. In der Realität wird diese Modellsituation naturgemäß nicht über die genannten langen Zeiträume von Monaten bis Jahren konstant sein. Die natürlichen Schwankungen der Grundwasserverhältnisse werden damit die berechneten Auswirkungen eines Einstaufalles deutlich überlagern.

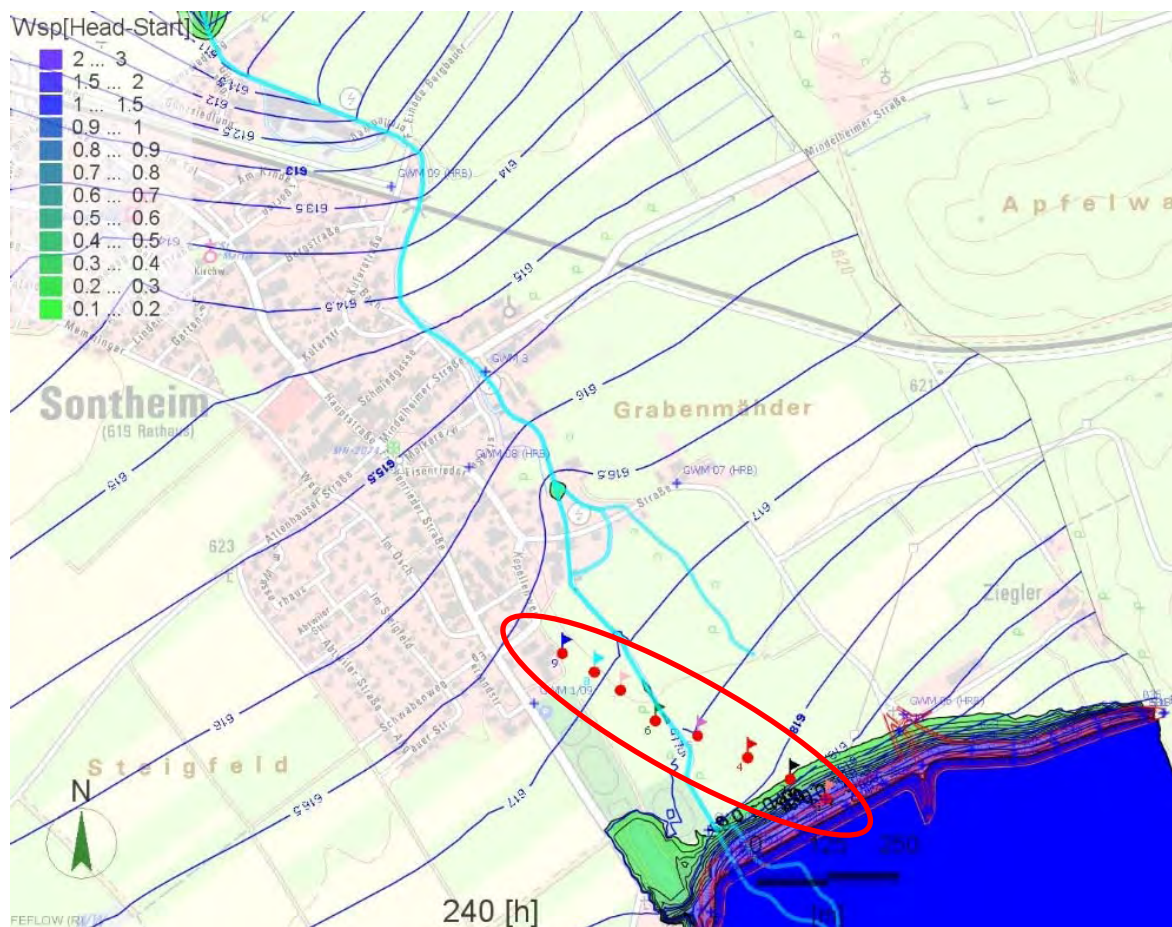


Abbildung 33: Lageplan der Beobachtungspunkte der berechneten Grundwasserhöhen; Modellwasserstand HQ100+K nach 10 Tagen (Profilverlauf zwischen Einstaubereich und Ortsrand Sontheim; siehe Diagramme der Abbildung 31 und Abbildung 32)

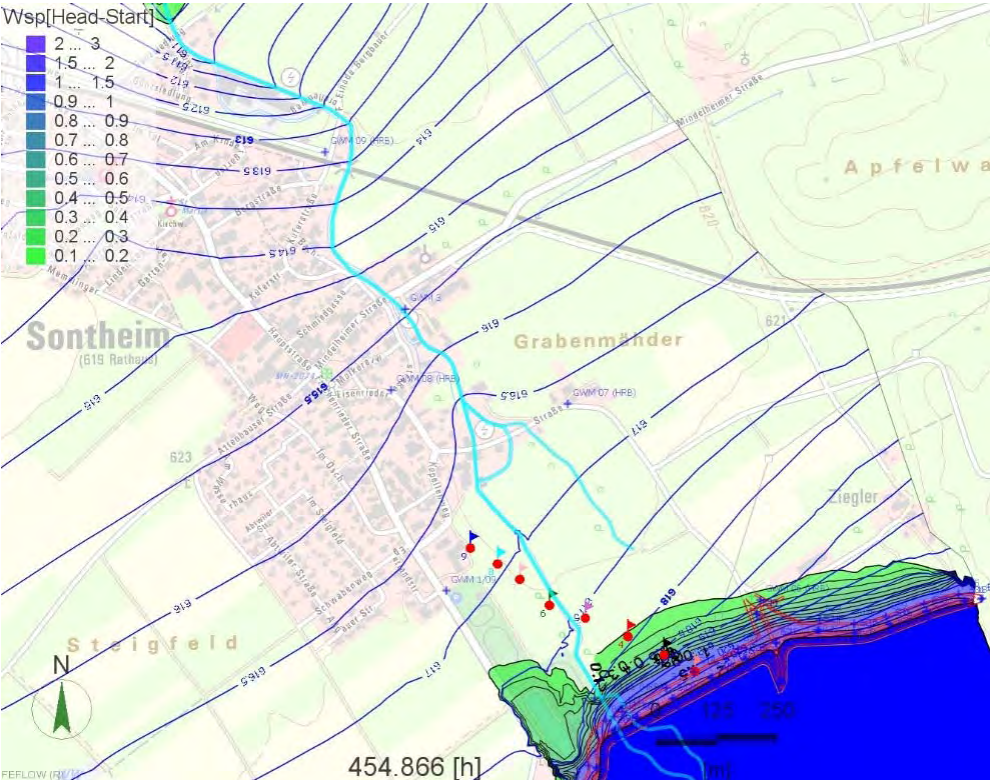


Abbildung 34: wie Abbildung 33, nach rd. 20 Tagen

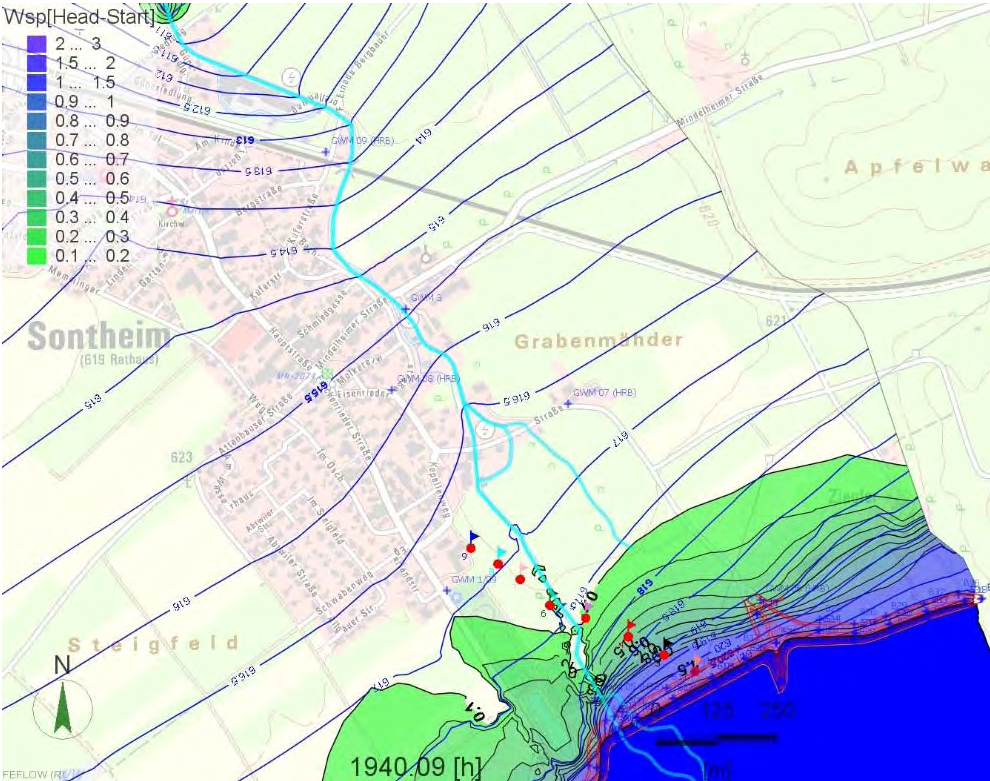


Abbildung 35: wie Abbildung 33, nach rd. 80 Tagen

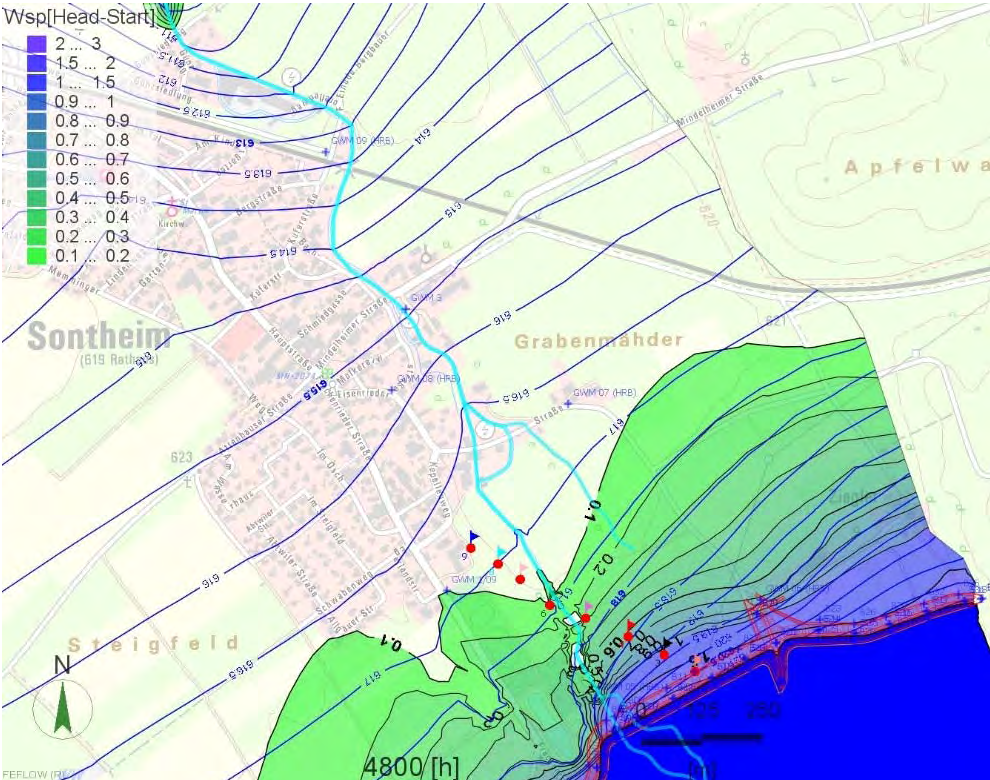


Abbildung 36: wie Abbildung 33, nach rd. 200 Tagen

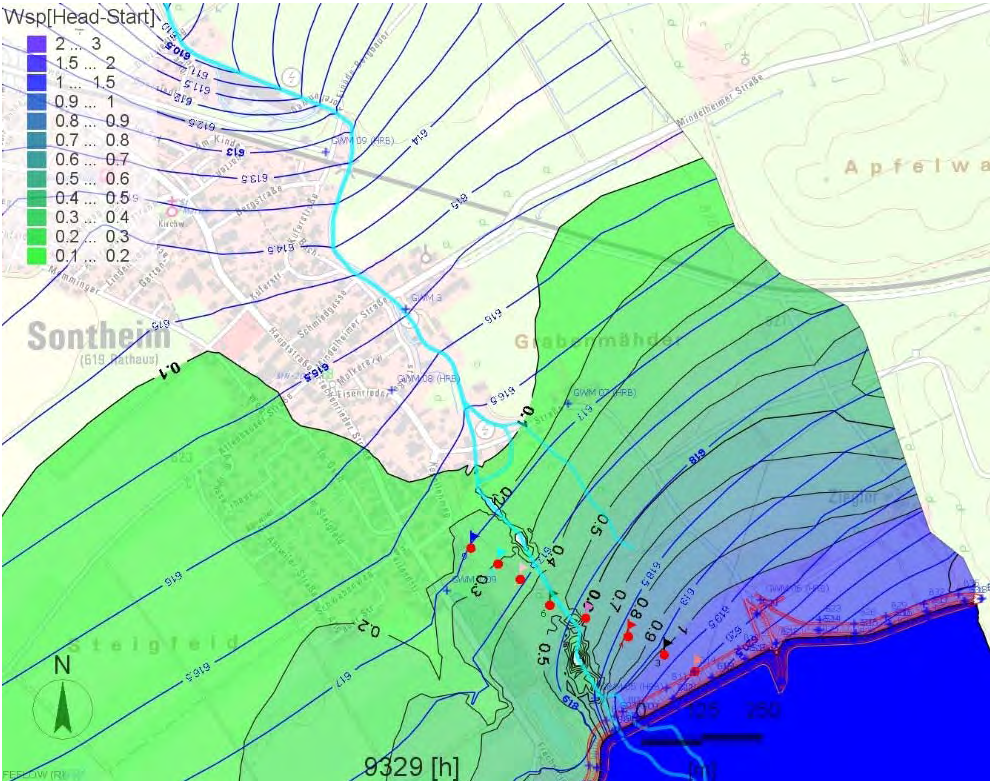


Abbildung 37: wie Abbildung 33, nach rd. 390 Tagen

10.3.3.3 Vergleich des Prognosezustands HRB Sontheim und Einstaufläche mit Ist-Zustand (Überschwemmungsbereiche)

Bei der Bewertung der oben dargestellten Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse (Grundwasseranstieg am südlichen Ortsrand von Sontheim um bis zu rd. 0,3 – 0,4 m infolge eines HQ100+K-Einstauereignisses) ist zu beachten, dass es auch im Ist-Zustand, d.h. bei einem HQ100+K-Hochwassereignis aufgrund des Hochwassereintrags im überfluteten Bereich in den Grundwasserleiter zu einem Grundwasseranstieg kommt. Um die Auswirkungen des geplanten Hochwasserrückhaltebeckens auf die Grundwasserverhältnisse, insbesondere im bebauten Ortsbereich von Sontheim, beurteilen zu können, ist daher in einem ersten Schritt eine Modellrechnung des Ist-Zustandes und in einem zweiten Schritt eine Differenzenbetrachtung mit dem Prognosezustand mit HRB durchzuführen.

Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde der bereits vorstehend erläuterte Einstaufall HQ100+K (Prognose) mit dem Ist-Zustand HQ100+K-Überschwemmung mit einem bereits wirksame HRB Engetried verglichen.

10.3.3.3.1 Hochwasserereignis HQ100+K (Ist-Zustand mit HRB Engetried)

Für die Modellrechnung eines Hochwasserereignisses des Oberflächenabflusses im Ist-Zustand gelten die für den Prognosezustand aufgeführten Einschränkungen hinsichtlich unbekannter Randbedingungen (Grundwasserstand zu Beginn, Grundwasserneubildung bzw. Niederschlag) analog. Es werden daher die identischen Randbedingungen und Materialparameter angesetzt, soweit sie nicht die Versickerungsfläche (Einstaufläche im HRB im Planungszustand \leftrightarrow Überschwemmungsfläche entlang der östlichen Günz im Ist-Zustand) betreffen.

Modelltechnisch muss ein Hochwasserereignis im Ist-Zustand anders als das Einstauereignis im Prognosefall umgesetzt werden.

Im Letzteren wurde eine horizontale Wasseroberfläche entsprechend der geplanten absoluten Einstauhöhe [m ü. NN] im Einstaubereich mittels Randbedingung 1. Art (Fixpotential; instationär entsprechend der Einstaukurve ansteigend und wieder abfallend) simuliert. Mittels einer zusätzlichen Randbedingung (*constraint*) wird dabei verhindert, dass Grundwasser dem Modell entnommen wird, solange in oberstromigen Teilbereichen des HRB das Potenzial noch unterhalb der Geländeoberfläche, jedoch gleichzeitig an der wasserseitigen Dammflecke bereits über Gelände liegt. Aufgrund der unterschiedlichen, d.h. von Süden nach Norden zunehmenden, relativen Einstauhöhe [m ü. GOK] sind die Sickerarten entsprechend zeitlich und räumlich variabel.

Für das Hochwasserereignis im Ist-Zustand kann naturgemäß nicht über den ganzen (innerhalb des Modellgebiets gelegenen) Überschwemmungsbereich der Östlichen Günz mit einer Länge von rd. 4,2 km und eine Fläche von rd. 120 ha eine horizontale Wasseroberfläche angesetzt werden, da die Geländehöhe entlang der Östl. Günz zwischen rd. 610 und rd. 630 m ü. NN liegt.

In der Abbildung 38 ist die Überschwemmungsfläche der Östl. Günz (mit HRB Engetried) für das Hochwasserereignis HQ100+K dargestellt (Ausschnitt). Das Diagramm der Abbildung 39 zeigt die zugehörige Abflusskurve.

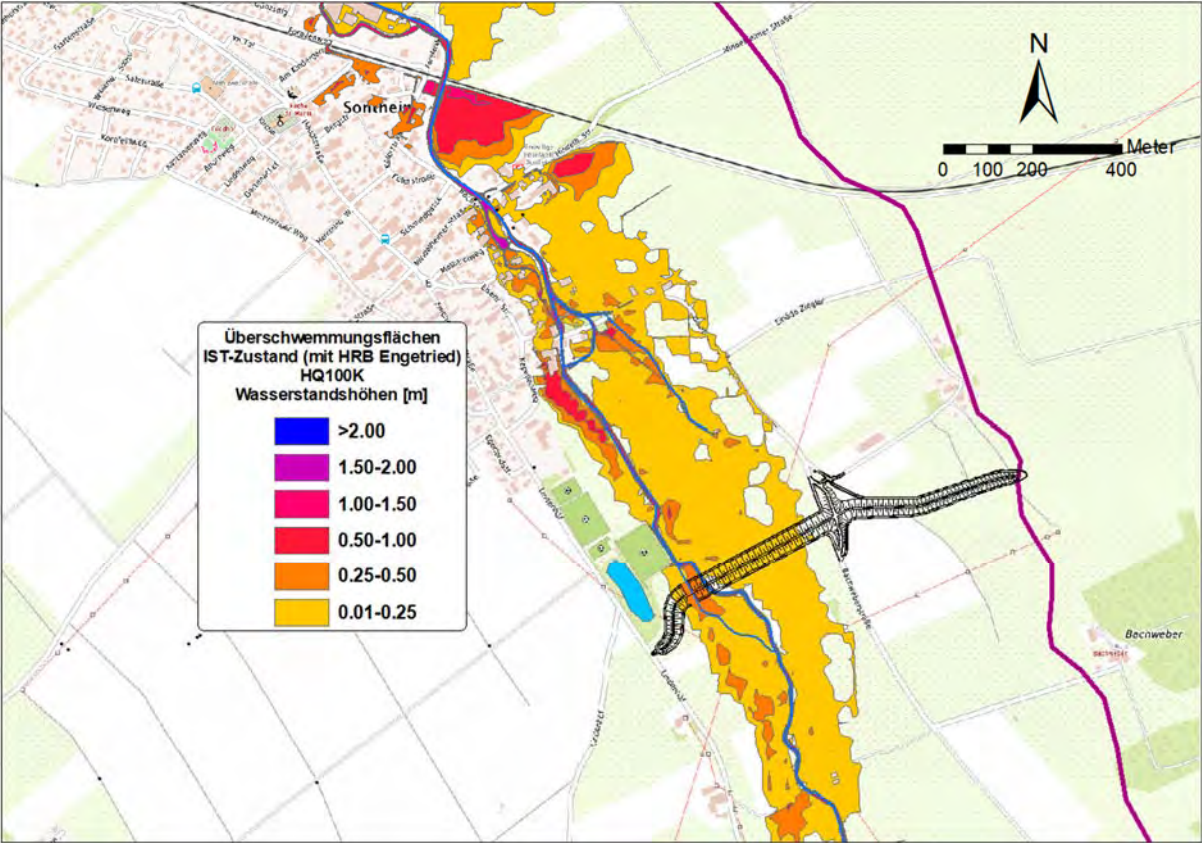


Abbildung 38: Überschwemmungsflächen Östl. Günz (mit HRB Engetried, HQ100+K)

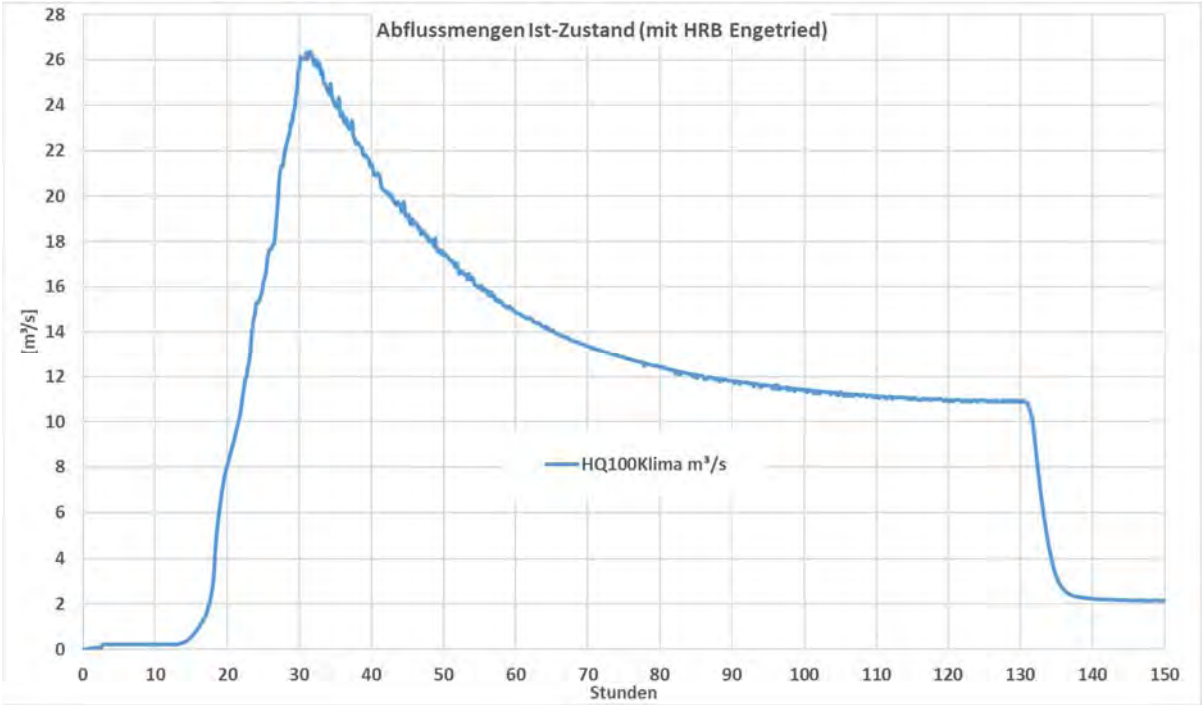


Abbildung 39: Abflussmengen HQ100+K (Ist-Zustand)

Aus den genannten modelltechnischen Gründen muss eine alternative Simulationsmethode gewählt werden.

Es wird daher für den Zeitraum eines HQ100+K-Ereignisses (rd. 120 Stunden, siehe Abbildung 39) eine mittlere Versickerungsrate von 0,001 [l/s x m²] entsprechend einer mittleren Einstauhöhe von rd. 0,2 m simuliert.

Es werden damit analytisch die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Versickerungsmengen berechnet. Die angegebenen Absolutmengen sind auf die Überschwemmungsfläche von rd. 120 ha innerhalb des Modellgebietes bezogen.

Tabelle 7: Analytisch berechnete Versickerungsmengen während eines Hochwasserereignisses HQ100+K im Istzustand (mit HRB Engetried)

HQ100K (Istzustand)		
mittlere Versickerungsrate	0,001	mm/s
Versickerungsmenge (auf 120 ha)	518.400	[m ³]
Versickerungsdauer	120	[h]
Versickerungsrate (auf 120 ha)	1.200	[l/s]
Versickerungsrate	0,0010	[l/(s x m ²)]

Beim Modelllauf des Ist-Zustandes wird analog zum Prognosemodell wiederum eine Vorlaufzeit von 100 Stunden vor Beginn des Überschwemmungsereignisses angesetzt, so dass die Modellzustände nach rd. 10, 20, 80, 200 und 390 Tagen mit identischen Beobachtungszeitpunkten direkt miteinander vergleichbar sind. Die Modellergebnisse sind in den Abbildungen 42 ff. dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Versickerung von Oberflächenwasser im Überschwemmungsbereich einen Grundwasseranstieg entlang der Günz verursacht, der am östlichen Ortsrand von Sontheim bei bis zu rd. 0,7 m liegt. Der Anstieg breitet sich zum einen quasiparallel beidseitig des Überschwemmungsbereichs aus und zieht sich ebenso wieder zurück. Hinsichtlich des rechnerisch sehr langsamen Rückgangs gelten die für den Prognosezustand mit HRB dargestellten Erläuterungen analog. Es ist bei diesen Modellrechnungen des Ist-Zustandes ebenso wie bei der Simulation des Prognosezustandes zu berücksichtigen, dass in der Realität über den o.g. langen Modell-Beobachtungszeitraum durch die natürlichen Schwankungen der Randbedingungen (Niederschlag bzw. Grundwasserneubildung, Schwankungen der Grundwasserstände) diese Auswirkungen deutlich überlagert werden und in diesem Ausmaß nicht differenziert durch Messwerte belegt beobachtet werden können. Für eine Differenzbetrachtung [Planungszustand – Ist-Zustand] mit identischen o.g. Randbedingungen ist diese Modellrechnung geeignet (siehe Kapitel 10.3.3.3.2).

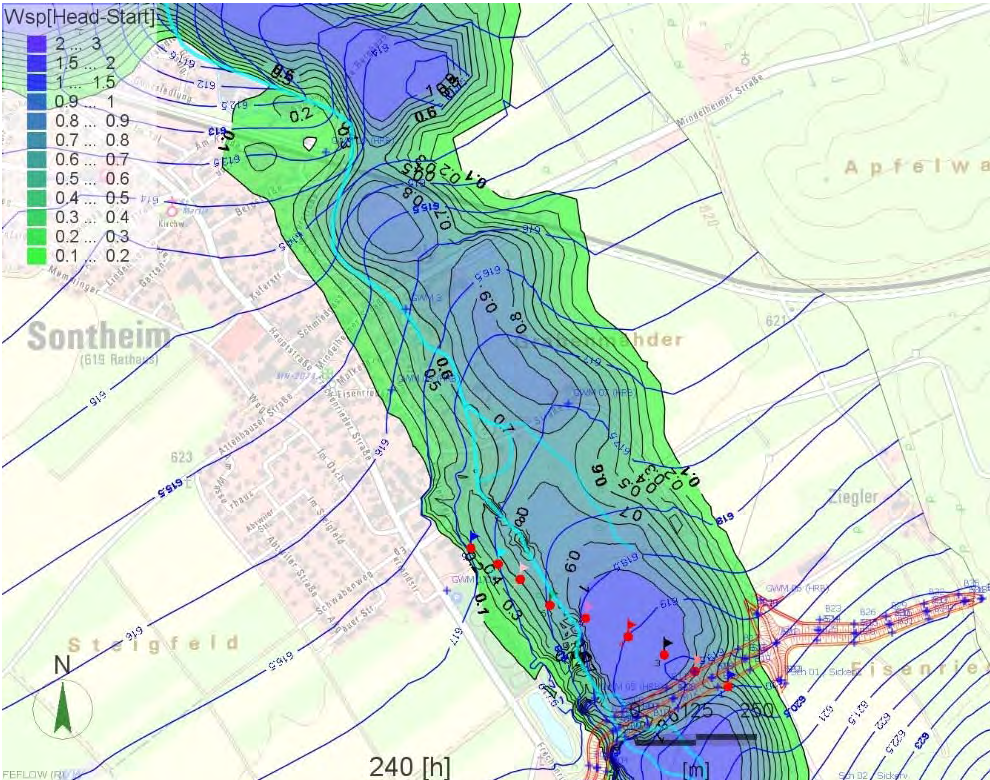


Abbildung 40: Modellwasserstand HQ100+K-Ist-Zustand nach rd. 10 Tagen (Profilverlauf zwischen geplantem Damm und Ortsrand Sontheim)

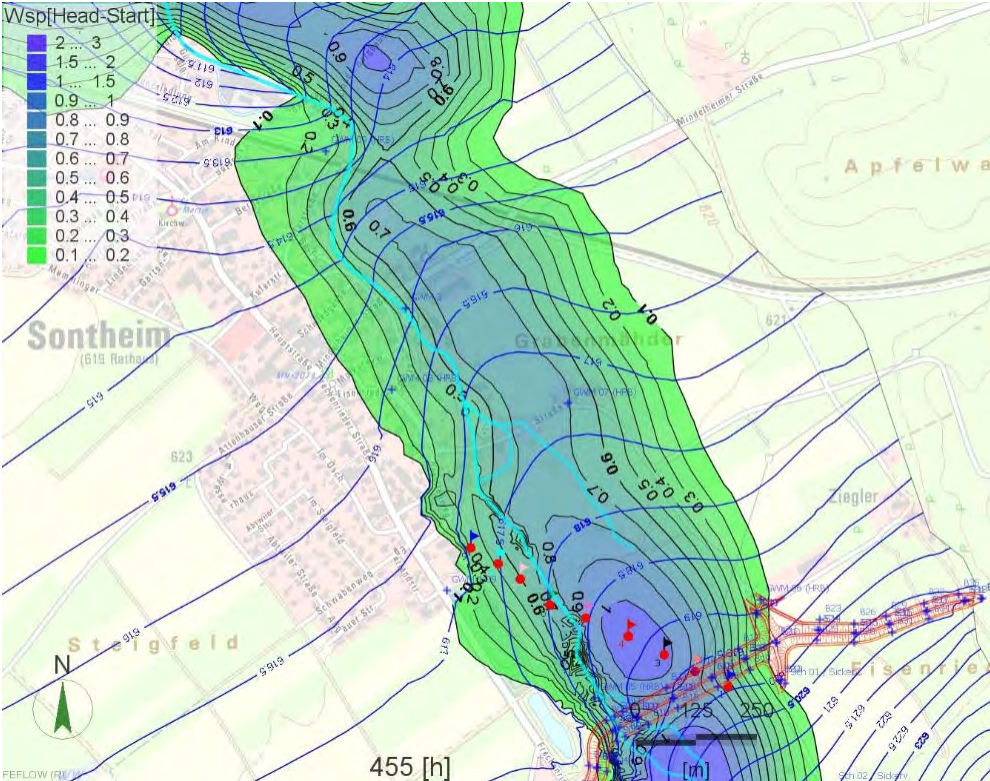


Abbildung 41: wie Abbildung 42, nach rd. 20 Tagen

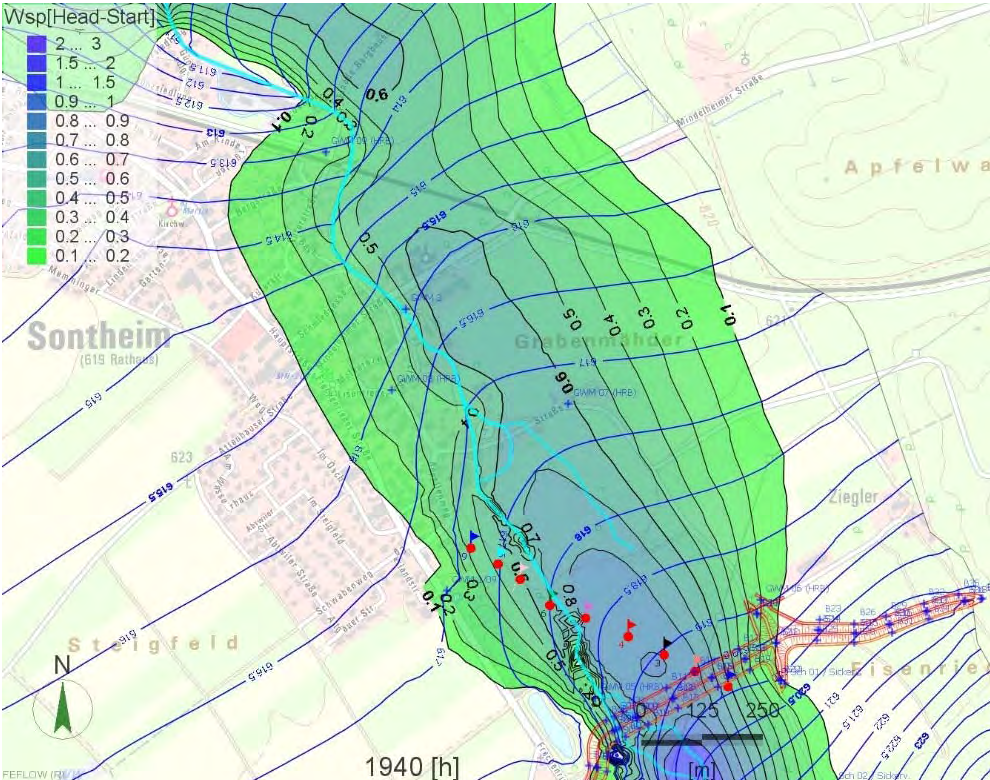


Abbildung 42: wie Abbildung 42, nach rd. 80 Tagen

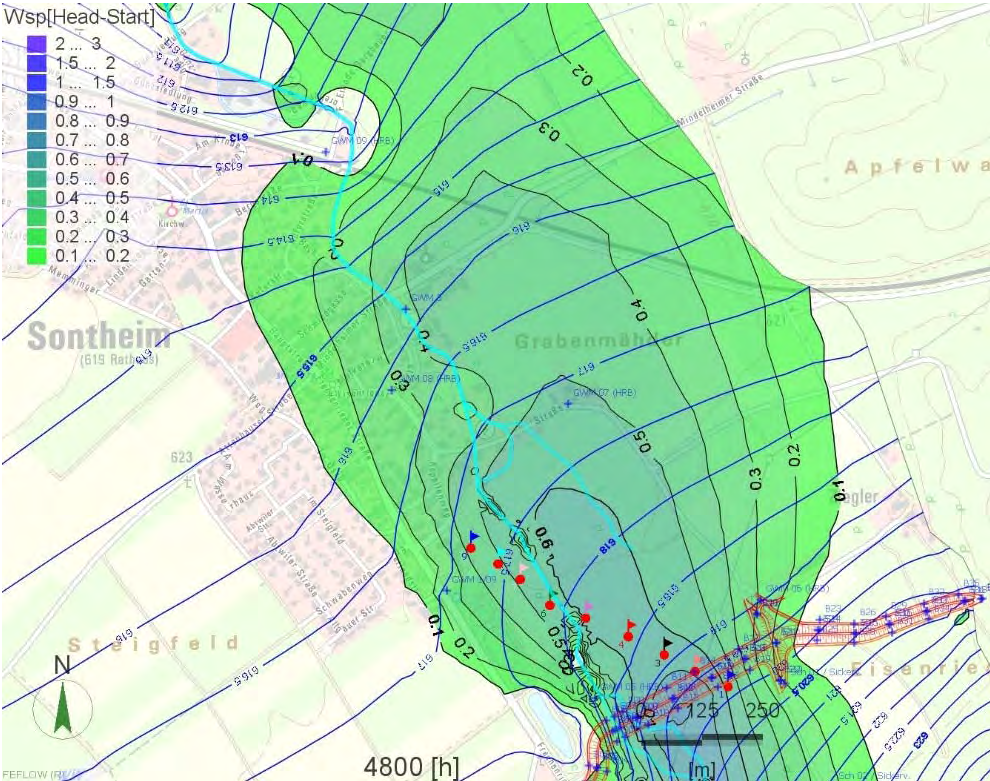


Abbildung 43: wie Abbildung 42, nach rd. 200 Tagen

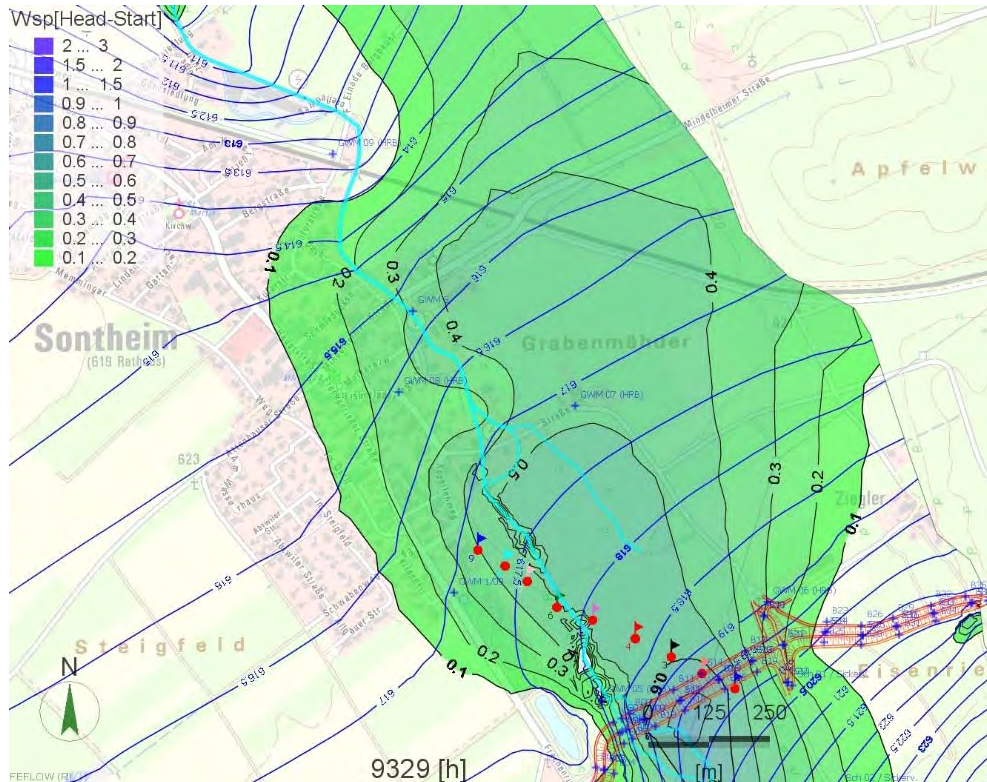


Abbildung 44: wie Abbildung 42, nach rd. 390 Tagen

10.3.3.3.2 Differenzbetrachtung: [Prognosezustand – Ist-Zustand]

In der Anlage 10 sind in den jeweils dreigliedrigen Abbildungen 24 bis 28 (fünf Beobachtungszeitpunkte) die vorstehend erläuterten Differenzhöhen der Grundwasserstände

- für den *Planungszustand Einstaufall HQ100+K*,
- für den *Ist-Zustand Überschwemmungsereignis HQ100+K* sowie
- die entsprechenden Differenzpläne [*Planungsfall minus Ist-Zustand*] dargestellt.

An der jeweils rechten Abbildung c) ist zu erkennen, dass unterstromig des Damms am östlichen Ortsrand von Sontheim sowie östlich hiervon die Grundwasserstände im Planungszustand für alle Beobachtungszeitpunkte niedriger liegen als im Ist-Zustand. Im Einstaubereich des geplanten HRB liegen die Grundwasserstände im Planungszustand naturgemäß über denen des Ist-Zustandes. Für die dargestellten Situationen „nach 200 Tagen“ und „nach 390 Tagen“ ist die Ausbreitung der Grundwasserstandserhöhung westlich bis nordwestlich des Damms für den Planungszustand größer als für den Ist-Zustand. Bei der Differenzbetrachtung (rechte Abbildung c) liegt damit der Grundwasserstand im Planungszustand über dem des Ist-Zustandes. Hier wirkt sich die gegenüber der Überschwemmungsfläche im Ist-Zustand deutlich größere Einstaufläche (mit deutlich größeren Stauhöhen) im Planungszustand aus. Wie bereits erwähnt, sind jedoch insbesondere bei der Bewertung der Langzeitprognosen (200 Tage bzw. 390 Tage nach dem Hochwasserereignis) die Überlagerung durch weitere natürliche Schwankungen der Randbedingungen zu berücksichtigen.

10.3.3.4 Einzelbetrachtungen

10.3.3.4.1 Damm

Die Abbildung 45 zeigt ein Querprofil durch den Damm mit farblicher Differenzierung der Zonen unterschiedlicher k_f -Werte. Abbildung 46 zeigt die Lage des Querprofils. Nach derzeitigem Planungsstand ist der Damm als Zwei-Zonen-Schüttung mit einer auf der wasserseitigen Flanke aufgetragenen Oberflächenabdichtung mit gering durchlässigen Material ($k_f = 1 \times 10^{-07}$ m/s) und einem Dammkern mit Material mit einer Durchlässigkeit von rd. $k_f = 1 \times 10^{-05}$ m/s geplant.

An der Geländeoberfläche nördlich und südlich des Damms ist die rd. 0,3 m mächtige Mutterbodenschicht ($k_f = 1 \times 10^{-6}$ m/s) sowie im Liegenden die bindige quartäre Deckschicht (im Mittel rd. 0,7 m mit $k_f = 9 \times 10^{-06}$ m/s) zu erkennen. Darunter folgt der kiesige Grundwasserleiter ($k_f = 3 \times 10^{-04}$ m/s).

Die Abbildung 10 in der Anlage 10 zeigt den Sättigungszustand des Damms vor Beginn eines Einstauereignisses. Die farblich lila dargestellte Zone (Sättigung 0,9 bis 1,0) stellt den Grundwasser erfüllten Untergrund dar. Darüber nimmt der Sättigungsgrad bis auf 0 (rot) in der Dammschüttung ab.

Die Abbildungen 11 bis 16 zeigen für die Einstauereignisse HQ1 bis HQ100+K (ohne HQ2 und HQ5) die entsprechenden Sättigungszustände jeweils zum Zeitpunkt des maximalen Einstaus.

Es ist mit zunehmender maximaler Einstauhöhe und zunehmender Einstauzeit das Fortschreiten der Sättigungsfront in den Damm erkennbar. Die Sättigungsfront wandert von der Oberfläche in die wasserseitige Oberflächenabdichtung. Im Untergrund steigt der Grundwasserstand (Sättigung = 0,9 bis 1, lila) im Süden (Einstaufläche) an. Der Anstieg breitet sich nach Norden hin unter dem Damm aus. Dies ist auch am Fortschreiten der in den Profilschnitten dargestellten Potenziallinien des Grundwasserstandes von rechts (Süden) nach links (Norden) – beispielsweise die **fett** dargestellte Linie 620 m ü. NN – zu erkennen.

Zur Absicherung der Modellergebnisse für den Fall einer Ausführung des Dammaufbaus als 1-Zonen-Damm wurde eine entsprechende Modellrechnung für den *worst-case* (HQ100+K) durchgeführt. Das Modellergebnis für den maximalen Einstau ist in den Abbildungen 17 und 18 der Anlage 10 dargestellt. Es ergeben sich gegenüber der Ausführung als 2-Zonen-Damm keine signifikanten Änderungen.

Herdgraben

Auf der wasserseitigen Flanke ist das Einbringen eines sog. *Herdgrabens* vorgesehen. Damit wird mit gering durchlässigem Material ($k_f = 1 \times 10^{-07}$ m/s) im Einstaufall die Durchströmung des Damms an der Basis verhindert. Der Bodenaustausch ist derzeit bis in eine Tiefe von rd. 3 m unter Bestandsgelände vorgesehen. Bei den bisher erfassten, vermutlich maximal mittleren Grundwasserständen (eine exakte statistische Einordnung ist aufgrund der bislang kurzen Beobachtungszeit noch nicht möglich) wird der Herdgraben auf der westlichen Hälfte des Damms (Flurabstände > 3,5 m) nicht ins Grundwasser eingreifen. Auf der östlichen Hälfte ist ein geringfügiger Eingriff möglich, da hier der Flurabstand auf < 3 m abnimmt.

Aufgrund der verbleibenden Unterströmungsmöglichkeit verbleibt ein Grundwasseraufstau bei hohen Grundwasserständen (auf gesamter Länge des Damms) bzw. bereits bei mittleren Grundwasserständen (im östlichen Abschnitt des Damms) im Zentimeterbereich.

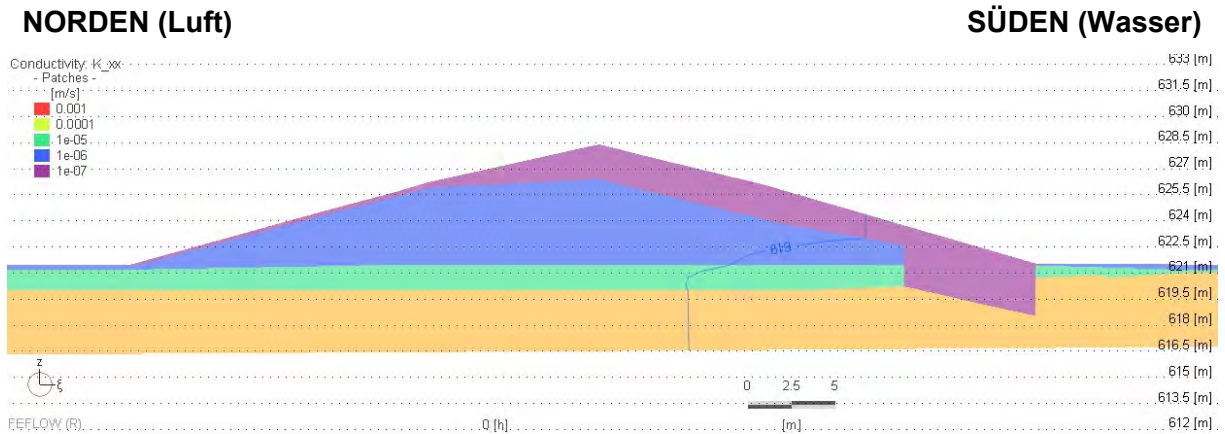


Abbildung 45: Querprofil Damm – Variante: Zwei-Zonen-Damm mit Herdgraben

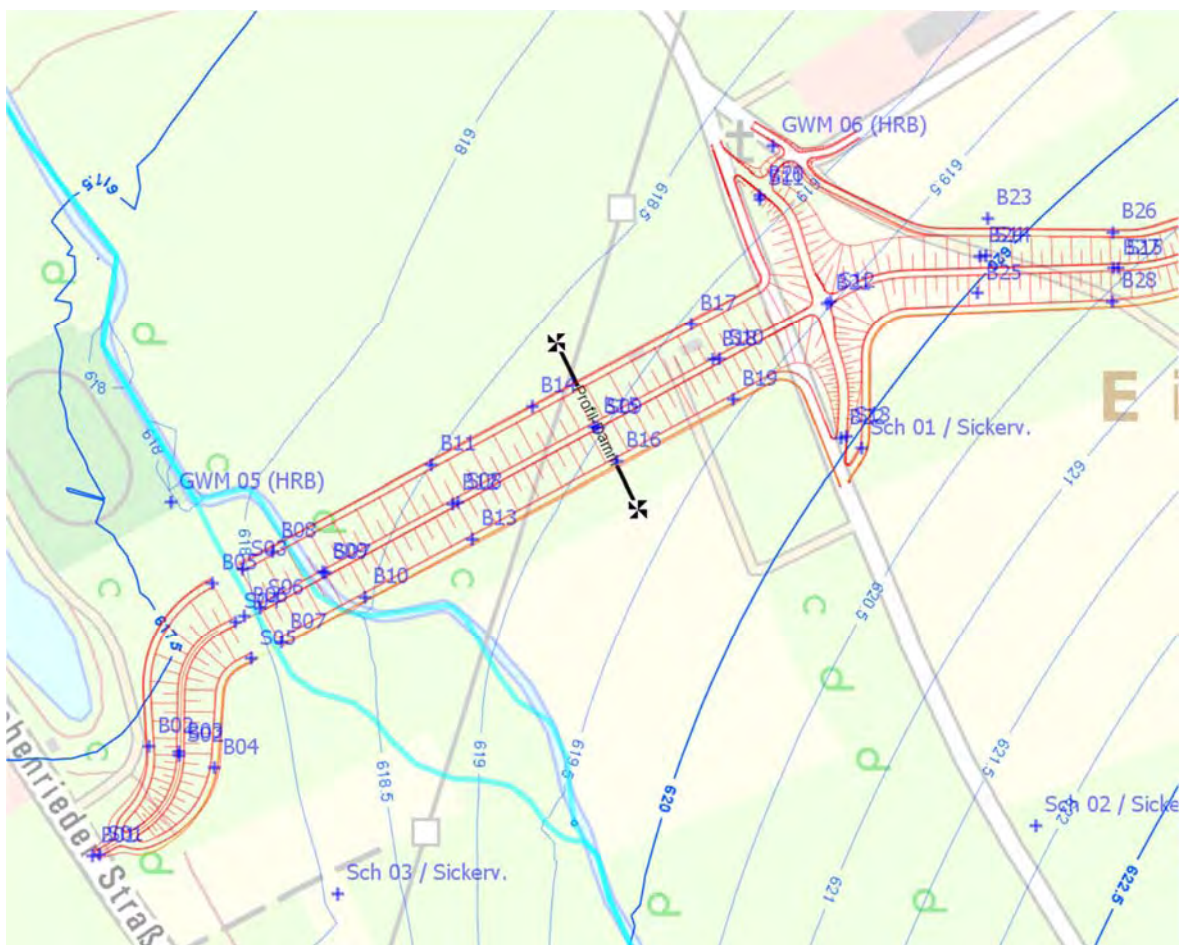


Abbildung 46: Lageplan Querprofil Damm

10.3.3.4.2 Tiefsilo

Der landwirtschaftliche Betrieb im Anwesen an der Frechriederstraße 2 besitzt ein Tiefsilo. Es ist zu untersuchen, ob im Falle eines Grundwasseranstiegs im Einstaufall bei unbefülltem Silo die Gefahr eines Aufbruchs/Aufschwimmens besteht. In geringer Entfernung zum Silo wurde die Grundwassermessstelle GWM 4 errichtet.

In der Abbildung 47 ist die örtliche Situation dargestellt. Die maßgeblichen Höhenkoten bezogen auf die Lage der GWM 4 sind im Textfeld der Abbildung eingetragen.

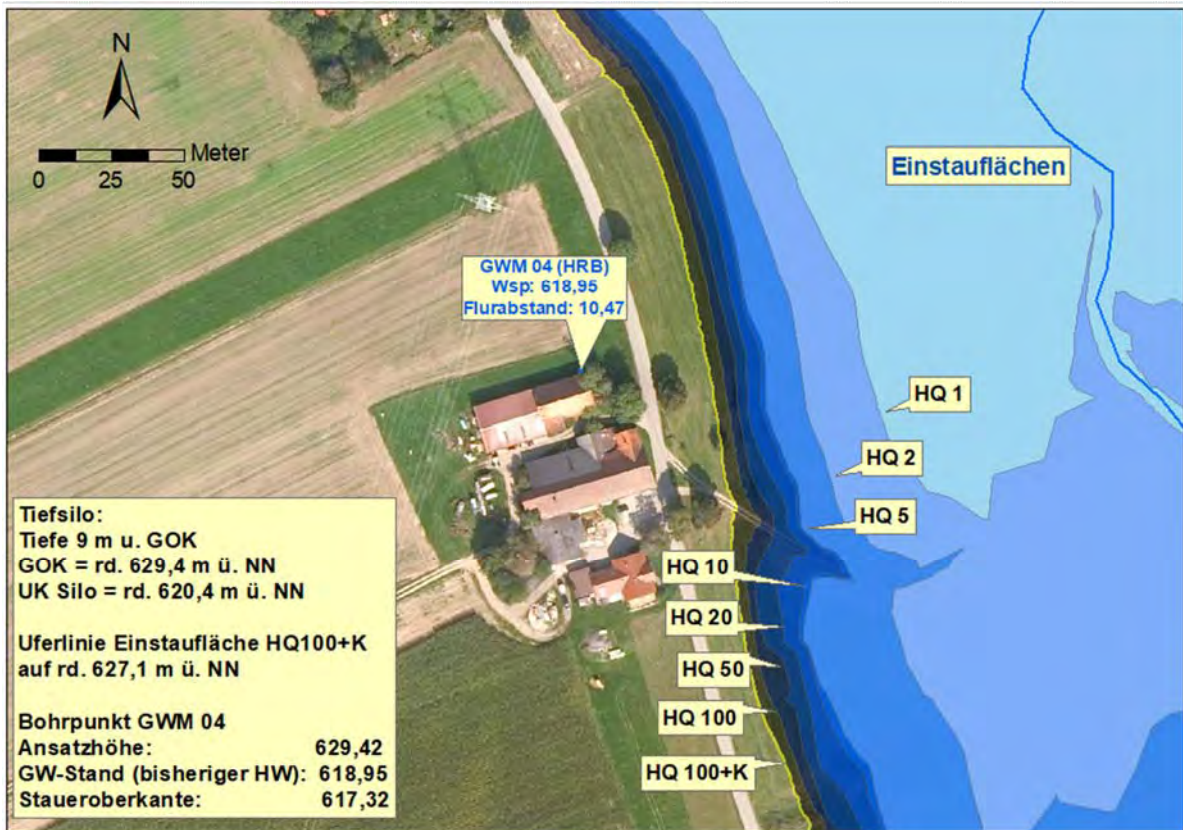


Abbildung 47: Lageplan *Tiefsilo* / GWM 4

Zur Darstellung der prognostizierten Grundwasserstandsentwicklung am Tiefsilo im Einstaufall wurden Profilschnitte zwischen Einstaufläche und Tiefsilo mit Eintragung der Grundwasserstandshöhe (Potenziallinie) und des Sättigungsgrades des Untergrundes erzeugt. Die Abbildung 17 in der Anlage 10 zeigt den Ausgangszustand vor dem Einstauereignis. Die Abbildungen 18 bis 23 zeigen die Situationen während der Einstauereignisse HQ1 bis HQ100+K (ohne HQ2 und HQ5) jeweils zum Zeitpunkt des maximalen Einstaus.

In der Abbildung 48 ist die Lage des Profilschnitts dargestellt. Das linke (westliche) Ende des Profilschnitts markiert die Position der GWM 4.

Zu Beginn der Modellrechnungen liegt der Ausgangswasserstand an der GWM 4 bei 618,8 m ü. NN. Mit zunehmender Einstauhöhe und Einstaudauer wandert der Grundwasseranstieg von der Einstaufläche in Richtung Westen. Dies ist am Fortschreiten der in den Profilschnitten dargestellten Potenziallinien des Grundwasserstandes von rechts (Osten) nach links (Westen) – beispielsweise die **fett** dargestellte Linie 620 m ü. NN – zu erkennen. Entsprechend dem Grundwasseranstieg steigt die gesättigte Zone (Sättigung 0,9 bis 1,0, lila) zunächst im Osten mit Fortschreiten nach Westen hin an. In der Tabelle 8 sind die Modellergebnisse bezogen auf die Position der GWM 4 zusammengestellt.

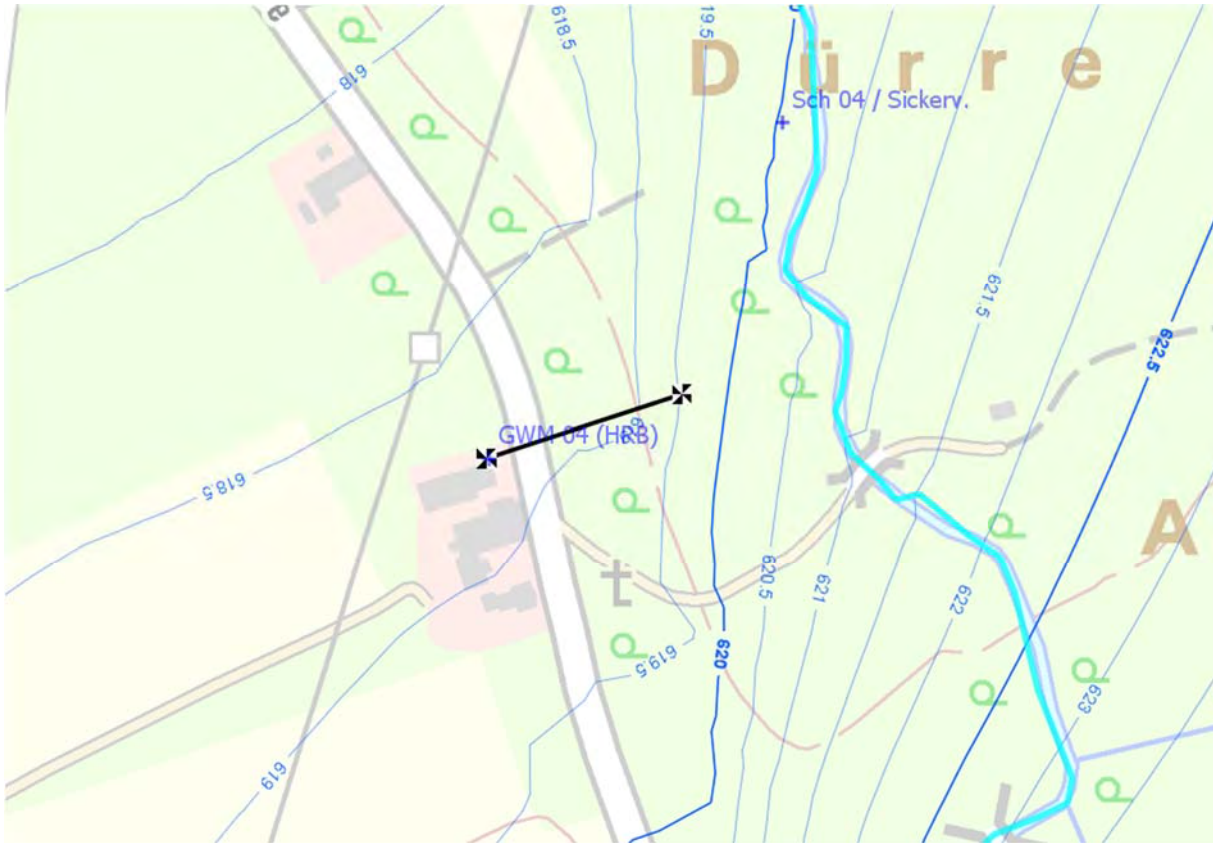


Abbildung 48: Lageplan Querprofil *Tiefsilo* / GWM 4

Tabelle 8: Modellergebnisse *Tiefsilo*

Daten Tiefsilo			Anstieg um	
Geländeoberkante	629,40	m ü. NN		
Beckenwasserspiegel HQ ₁₀₀ +Klima (rd. 50 m entfernt)	627,10	m ü. NN		
Unterkante Silo	620,40	m ü. NN		
Anstieg bei HQ100K auf:	619,95	m ü. NN	1,16	[m]
Anstieg bei HQ100 auf:	619,52	m ü. NN	0,73	[m]
Anstieg bei HQ50 auf:	619,30	m ü. NN	0,51	[m]
Anstieg bei HQ20 auf:	618,92	m ü. NN	0,13	[m]
Anstieg bei HQ10 auf:	618,84	m ü. NN	0,05	[m]
Anstieg bei HQ1 auf:	618,79	m ü. NN	0	[m]
Modellwasserstand GWM 4	618,79	m ü. NN		
GWM 4: MHW _{stat.} (vermutet) ca.	620,01	m ü. NN		
GWM 4: HW (Juni-Sept. '22)	618,95	m ü. NN		
GWM 4: HW (19.08.2022)	618,66	m ü. NN		
Staueroberkante	617,30	m ü. NN		

Als Ergebnis ist festzustellen, dass im Bereich des Tiefsilos ein durch die Einstauereignisse HQ1 bis HQ100+K verursachter Grundwasseranstieg zwischen 0 und 1,16 m berechnet wird.

In wieweit durch den Anstieg eine Gefährdung der Auftriebssicherheit des Silos verursacht wird, ist naturgemäß vom Ausgangswasserstand vor Beginn des Einstauereignisses abhängig.

Für den Ausgangs-Modellwasserstand ergibt sich am Standort GWM 4 für HQ100+K ein maximaler Grundwasserstand von $618,79 + 1,16 = 619,95$ m ü. NN. Damit würde die Unterkante des Silos (rd. 620,4 m ü. NN) nicht erreicht werden.

Wie im Kapitel 9.2.3 *Grundwasserstände* erläutert, liegen die im bisherigen Beobachtungszeitraum erfassten Grundwasserstände (auch die relativen Höchstwerte am 19.08.2022 und am 03.10.2022) vermutlich unter dem langfristigen Mittelwasserstand. Eine belastbare statistische Einordnung ist jedoch aufgrund der kurzen Beobachtungszeit noch nicht möglich.

Zur vorläufigen Abschätzung der Verhältnisse kann folgender Analogieschluss gezogen werden:

- An der langfristig beobachteten Messstelle Sontheim 03/06 liegt der Mittelwasserstand rd. 0,65 m über dem Stichtagswasserstand vom 19.08.2022. Der mittlere Hochwasserstand (MHW) liegt um rd. 1,35 m über dem Stichtagswasserstand.
- Der Modellwasserstand bei GWM 4 liegt mit 618,79 m ü. NN rd. 13 cm über dem Stichtagswasserstand von 618,66 m ü. NN (Kalibrierabweichung).
- Ein ähnliches Schwankungsverhalten an den beiden o.g. Messstellen vorausgesetzt (vgl. Abbildung 19) liegt damit der Mittelwasserstand bei GWM 4 um rd. 0,52 m und der MHW um rd. 1,22 m über dem Modellwasserstand (Ausgangswasserstand) an der GWM 4.
- Der MHW an der GWM 4 bzw. am Tiefsilo liegt damit auf rd. $618,79 + 1,22 = 620,01$ m ü. NN

Dies bedeutet, dass auf der Basis eines MHW als Ausgangsgrundwasserstand bei einem Einstauereignis HQ50 (Anstieg rd. 0,5 m) die Sohle des Tiefsilos (620,4 m ü. NN) um rd. 10 cm überstaut wird.

Wie vorstehend erläutert, sind die Angaben bzgl. der Absoluthöhe des Grundwasserstandes am Tiefsilo aufgrund der statistisch noch wenig belastbaren Datenlage mit Unsicherheiten behaftet. Die Berechnungen zeigen, dass grundsätzlich ein Einstau des Tiefsilos im Einstaufall bei erhöhten Ausgangsgrundwasserständen möglich ist. Eine belastbare statistische Einordnung der Wahrscheinlichkeit – auch unter der Berücksichtigung, dass eine Auftriebsgefährdung auch nur dann besteht, wenn das Silo weitgehend leer ist – ist nicht möglich, dürfte aber näherungsweise bei einer Jährlichkeit von mehreren Jahrzehnten liegen.

Wir empfehlen daher die Beobachtung des Grundwasserstandes an der GWM 4 und Festlegung eines Warnwertes, ab dem zunächst Informationen zum aktuellen Füllstand des Silos eingeholt werden sollten und im Falle einer zu geringen Füllung ggfs. Wasser eingefüllt und der Eigentümer entsprechend für den Verlust des Siloinhalts entschädigt werden muss.

Grundsätzlich ist auch eine einmalige Investition einer dauerhafte Sicherung (Beschwerung des Silos) denkbar. Dies erscheint aber mit aktuellem Datenstand nach wirtschaftlicher Abwägung nicht sinnvoll.

10.3.3.4.3 Spundwandverbau

Im Zuge der Planungen zur Herstellung des Durchlassbauwerks HRB Sontheim wurde in einem ersten Ansatz für die Herstellung der Baugrube ein Spundwandverbau mit Rückverankerung angesetzt. Die Spundwände binden dabei in das Tertiär ein. Da hierzu möglicherweise

kostenintensive Austauschbohrungen erforderlich sein werden, sollte geprüft werden, ob ein Einbringen der Spundbohlen auch mittels Lockerungsbohrungen möglich sei. Es sollten weiterhin Aussagen hinsichtlich der grundwasserhydraulischen Auswirkungen im Falle eines Verbleibs der Spundbohlen im Untergrund nach Beendigung der Maßnahme getroffen werden.

Hierzu wurden mit einer stationären Modellrechnung der Spundwandverbau als dauerhafter Eingriff in den Grundwasserstrom ins Modell eingebaut und die hydraulischen Auswirkungen berechnet.

Für einen Eingriff bis in den tertiären Stauer verbleibt ausschließlich eine Umströmungsmöglichkeit, keine Unterströmung. Die relativen Auswirkungen (oberstromiger Aufstau/unterstromige Absenkung) sind damit unabhängig von der Grundwassermächtigkeit und werden maßgeblich vom Grundwassergefälle und der Breite des Hindernisses quer zum Grundwasserstrom verursacht. Das Berechnungsergebnis ist in der Abbildung 49 dargestellt.

Mit dem Modell wird ein oberstromiger Aufstau von bis zu rd. 6 cm und eine korrespondierende unterstromige Absenkung von bis zu rd. 8 cm berechnet. Eine vergleichende analytische Plausibilitätsrechnung nach BRANDL (9) hat Differenzhöhen von maximal 9 cm zum Ergebnis (Annahme: Grundwassergefälle 0,4 %).



Abbildung 49: Spundwandverbau am Auslassbauwerk; Differenzhöhen der Grundwasserstände (rechts Aufstau, links Absenkung)

10.3.3.4.4 Trinkwasserschutzgebiet

Im Bereich der Schotterterrasse westlich der Östlichen Günz befindet sich in einer Entfernung von rd. 800 m grundwasserstrom-seitlich der Einstaufläche des HRB Sontheim die Grenze des Trinkwasserschutzgebietes Sontheim, Brunnen Attenhausen (siehe Abbildung 5 auf der Seite 8).

Ein Ziel der durchgeführten Modellrechnungen ist die Überprüfung einer möglichen Gefährdung des zur Trinkwassergewinnung genutzten Grundwasserleiters aufgrund eines möglicherweise Schadstoff belasteten Eintrags von Oberflächenwasser im Einstaufall eines Hochwasserereignisses.

Die durchgeführten Modellrechnungen zeigen, dass die räumliche Ausbreitung des Eintrags von Oberflächenwasser aus dem Einstaubereich in den Grundwasserleiter auf wenige Zehnermeter seitlich und unterstromig des Einstaubereichs begrenzt ist. Der maximale (temporäre) Anstieg des Grundwasserstandes am westlichen Rand des Einstaubereichs (vgl. Tiefsilo Kapitel 10.3.3.4.2, kurzzeitiger Anstieg um bis zu rd. 1,2 m) verursacht keine signifikante Änderung der Grundwasserfließrichtung, so dass kein Zustrom nach Nordwesten in Richtung der Trinkwasserversorgung erfolgt. Die Trinkwasserversorgung ist somit durch das Vorhaben nicht gefährdet.

10.3.3.4.5 Zustrom zur Dammfußdrainage

Zur ausreichenden Dimensionierung der Dammfußdrainage sind Aussagen hinsichtlich des maximalen Zustroms erforderlich. Entsprechende analytische und numerische Berechnungen wurden im Zuge der Plausibilitätsrechnungen des Grundwassermodells durchgeführt und sind nachfolgend erläutert.

Analytische Grundlagenberechnung - Grundwasserstrom durch die Flussschotter des Östl. Günz-Tals

Mit einer analytischen Abschätzung nach DARCY kann der Grundwasserstrom durch das Östlich-Günz-Tal wie folgt abgeschätzt werden:

$$Q = k_f \times F \times I$$

mit:

k_f = hydraulische Durchlässigkeit des Grundwasserleiters,
hier: im Mittel rd. 3×10^{-04} m/s

I = Grundwassergefälle in Talrichtung,
hier: rd. 1,1 %

F = durchströmte Querschnittsfläche des Grundwasserleiters,
hier: Talbreite (Dammlänge) 1.100 m x mittlere Grundwassermächtigkeit rd.
1,6 m = 1.760 m²

Es ergibt sich daraus rechnerisch ein Grundwasserstrom (bei niedrigen Grundwasserständen) von rd. 6 l/s, bei hohen Grundwasserständen von rd. 10 l/s. Es ist jedoch hierbei zu beachten, dass der k_f -Wert unmittelbar proportional in die Berechnung des Volumenstroms eingeht. Bei

einer Unsicherheit der k_f -Wert-Bestimmung von i.d.R. bis zu einer halben Größenordnung ist demnach auch ein Grundwasserstrom von rd. 50 l/s realistisch.

Im Einstaufall erhöht sich das Potenzialgefälle zwischen wasser- und luftseitiger Dammflechte auf bis zu maximal rd. 12 % (HQ100+K). Die Durchströmung nach DARCY erhöht sich damit auf überschlägig rd. 90 l/s.

Numerische Modellrechnung

Die Modellsoftware Feflow ermöglicht über das Analyse-Tool *Budget Analyzer* die Ermittlung einer Grundwasserdurchströmung durch einen definierten Querschnitt. Für den Querschnitt entlang des Damms werden die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Durchflussmengen ausgegeben. Das numerische Modellergebnis steht damit im Rahmen der naturgemäßen Unsicherheiten der hydrogeologischen Parameter in guter Übereinstimmung mit der analytischen Plausibilitätsrechnung.

Tabelle 9: Grundwasserströmung unter dem geplanten Damm (Budget Analyse Grundwassermodell)

		Modell- wasserstand (Stichtag)	HQ1	HQ10	HQ20	HQ50	HQ100	HQ100K
Durchfluss unter Dammprofil (gesamt) (max.)	[l/s]	8	19	54	55	68	84	96
Durchfluss unter Dammprofil (gesamt) (max.)	[l/(s x m)]	0,01	0,02	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10

Auf der sicheren Seite liegend wird angenommen, dass der Zustrom zur Dammfußdrainage der Abflusserhöhung im Grundwasser entspricht, welche aus der Erhöhung der durch den Einstau verursachten Potenzialdifferenz resultiert. Diese beträgt überschlägig im ungünstigsten Fall (HQ100+K) rd. 90 l/s.

Eine detaillierte Berechnung des maximalen Grundwasserstroms, welcher die Drainage unterströmt, nicht gefasst wird und somit streng genommen von den in der Tabelle 9 mit dem Grundwassermodell berechneten 96 l/s Gesamtdurchfluss zu subtrahieren ist, wurde im Hinblick auf die Unsicherheit der hydraulischen Eingangsparameter (k_f -Wert) nicht durchgeführt.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dieser auf der sicheren Seite liegenden Abschätzung würde sich auf Kosten der Sicherheit mit einer ggfs. möglichen, kleiner dimensionierten Drainage (DN250 anstelle DN300) kein signifikantes Einsparpotenzial ergeben.

11. Zusammenfassung

Im Rahmen des Hochwasserschutzes *Östliche Günz* plant das Wasserwirtschaftsamt Kempfen die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens (HRB) südlich von Sontheim.

Das vorliegende Gutachten stellt die hydrogeologischen Verhältnisse unter Einbeziehung der recherchierten Grundlagendaten und der örtlich durchgeführten Gelände- und Laborarbeiten sowie der bislang durchgeführten Grundwasserstandsmessungen dar. Auf Grundlage des somit entwickelten hydrogeologischen Modells wurde ein instationäres numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt, mit dessen Hilfe die hydraulischen Auswirkungen des HRB im Einstaufall auf die Grundwasserverhältnisse allgemein und auf konkrete Untersuchungsziele ermittelt wurden.

Anmerkung: Die geotechnischen Berechnungen wurden durch das Baugrundinstitut Spotka Geotechnik durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in einem separaten Geotechnischen Bericht.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse beziehen sich (wenn nicht abweichend vermerkt) jeweils auf den *worst-case* eines Einstauereignisses HQ100+K sowie auf die Modellrechnungen auf Grundlage eines 2-Zonen Damms. Da eine endgültige Entscheidung hinsichtlich des Dammaufbaus noch nicht gefallen ist, wurden Vergleichsrechnungen mit einem 1-Zonen-Damm durchgeführt. Die entsprechenden Modellergebnisse weichen nicht signifikant von denen eines 2-Zonen-Damms ab.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen sind wie folgt zusammenzufassen:

- Auch für das höchste Einstauereignis HQ100+K erreicht ein durch die Infiltration von Stauwasser verursachter relevanter Grundwasserstandsanstieg nur eine geringe Reichweite von wenigen 10er Metern im Umfeld der Einstaufläche.
- Der maximale Anstieg liegt bei rd. 1,6 m (HQ100+K) am westlichen Ende des Damms; zum Zeitpunkt des maximalen Einstaus liegt die maximale Reichweite der 10-cm-Linie des Grundwasseranstiegs rd. 100 m nördlich der Dammkrone.
- Die instationären Modellrechnungen (mit analytischer Kontrollrechnung) zeigen, dass sich eine Grundwasserstandsanhhebung am südlichen Ortsrand von Sontheim als Folge einer durch den Eintrag im Einstaubereich verursachten „Hochwasserwelle“ im Grundwasser nach rd. einem halben Jahr bemerkbar machen und das Maximum von rd. 0,3 m Anstieg nach etwa einem Jahr erreicht werden würde. In der Realität werden diese mit langer Verzögerung auftretenden Effekte naturgemäß bereits durch natürliche Grundwasserschwankungen überlagert und nicht mehr erkennbar sein.
- Zur Ermittlung der Änderungen der Grundwasserverhältnisse im Prognosefall wurde ein Differenzenplan eines Hochwasserereignisses *HQ100 Ist-Zustand* mit HRB Engetried und einem Hochwasserereignis *HQ100 Prognosezustand* mit HRB Engetried und HRB Sontheim berechnet. Für den Ortsbereich von Sontheim ergibt sich im Planungszustand ein geringerer Grundwasseranstieg infolge des Einstaus im geplanten HRB als der berechnete Grundwasseranstieg infolge eines Überschwemmungsereignisses im Ist-Zustand.
- Die Einzelfallbetrachtungen möglicherweise durch das Vorhaben gefährdeter Objekte kommen zu folgendem Ergebnis:


- Eine quantitative oder qualitative Beeinträchtigung der Fischweier nordwestlich des Damms kann aufgrund der lokalen Vorflutsituation (Flurabstand > rd. 3 m, potenzielle Infiltration durch den Weiher) ausgeschlossen werden.
- Im Bereich des westlich des Einstaubereichs existierende Tiefsilo (Frechenriederstraße 2) wird für ein Einstauereignis HQ50 ein maximaler Grundwasseranstieg von rd. 0,5 m berechnet. Für den Fall eines bereits hohen Ausgangsgrundwasserstand (MHW) vor dem Einstau wird damit die Sohle des Tiefsilos um rd. 0,1 m überstaut. Eine Gefährdung der Auftriebssicherheit des Silos ist damit nur in äußerst seltenen Fällen zu befürchten. Die erforderlichen Gegenmaßnahmen sind entsprechend ihrer Wirtschaftlichkeit darauf abzustimmen.
- Im Zuge der Herstellung des Durchlassbauwerks ist ein Spundwandverbau mit Rückverankerung geplant. Für den Fall eines dauerhaften Verbleibs der Spundbohlen im Untergrund wird ein maximaler oberstromiger Grundwasseraufstau von bis zu 9 cm prognostiziert.
- Eine Gefährdung der Trinkwasserversorgung Sontheim (Brunnen Attenhausen) aufgrund eines möglichen Schadstoffeintrags mit infiltrierendem Oberflächenwasser im Einstaubereich kann ausgeschlossen werden, da durch den temporären Grundwasseranstieg im Einstaubereich keine Grundwasserströmung in Richtung des Trinkwasserschutzgebietes verursacht wird.
- Der maximale Zustrom zur Dammfußdrainage wird mit rd. 90 l/s berechnet.

Aufgrund der bislang kurzen Beobachtungszeit der Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet mit generell niedrigen Grundwasserständen basieren die getroffenen Aussagen für höhere Grundwasserstände sowie die statistischen Kennwerte der Grundwasserstände auf Analogieschlüssen auf Grundlage langfristig beobachteter Grundwassermessstellen im weiteren Umfeld des Vorhabens. Die Überprüfung dieser Aussagen nach Erfassung einer hinsichtlich statistischer Aussagen ausreichend langen Beobachtungszeit wird empfohlen.

Eching am Ammersee, den 12.06.2023

Dr. Blasy – Dr. Øverland
Beratende Ingenieure


i.V. Knut Hanke
Dipl.-Geol.


i.A. Dr. Stefan Hülmeier
Dipl.-Geol.