

13316-2

EW Aadorf, Schulstrasse 3, 8355 Aadorf

Grundwasserströmungsmodell

HYDROGEOLOGISCHER BERICHT - STRÖMUNGSMODELLIERUNG GRUND- WASSERNUTZUNG

vM Dr. von Moos AG
Geologie + Geotechnik

Inhaltsverzeichnis

1	Auftrag	4
2	Unterlagen	4
3	Grundwasserströmungsmodell	5
3.1	Konzeptmodell	6
3.2	Randbedingungen	10
3.3	Diskretisierung	13
3.4	Parametermodell	13
3.5	Numerische Umsetzung	14
4	Referenzmodell	16
4.1	Potenzialverteilung	17
4.1.1	Ritschberg	17
4.1.2	Aadorferfeld	18
4.1.3	PW Auwiesen	19
4.1.4	GWF Aatal	20
4.2	Flurabstände	20
5	1st Szenario	21
5.1	Potenzialverteilung	21
5.1.1	Ritschberg	21
5.1.2	Aadorferfeld	22
5.1.3	PW Auwiesen	23
5.1.4	GWF Aatal	24
5.2	Flurabstände	25
6	Vergleich der Modellergebnisse Referenzmodell / 1st Szenario	25
6.1	Potenzialverteilung	26
6.1.1	Ritschberg	26
6.1.2	Aadorferfeld	26
6.1.3	PW Auwiesen	27
6.1.4	GWF Aatal	27
6.2	Überprüfung des Strömungsbildes	27
6.3	Massenbilanzierung	28
7	Fehlerbetrachtung	29
8	Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen	29

Beilagen

- B1.1 Referenzmodell Grundwasserstände – GWP Im See/Ritschberg
- B1.2 Referenzmodell Grundwasserstände – GWF Aatal
- B1.3 Referenzmodell Grundwasserstände – Aadorferfeld
- B1.4 Referenzmodell Grundwasserstände – PW Auwiesen
- B2 Referenzmodell Grundwasserstände – Übersicht
- B3 Referenzmodell Flurabstände – Übersicht
- B4.1 1st Szenario Grundwasserstände – GWP Im See/Ritschberg
- B4.2 1st Szenario Grundwasserstände – GWF Aatal
- B4.3 1st Szenario Grundwasserstände – Aadorferfeld
- B4.4 1st Szenario Grundwasserstände – PW Auwiesen
- B5 1st Szenario Grundwasserstände – Übersicht
- B6 1st Szenario Flurabstände – Übersicht
- B7.1 Differenz Grundwasserstände – GWP Im See/Ritschberg
- B7.2 Differenz Grundwasserstände – GWF Aatal
- B7.3 Differenz Grundwasserstände – Aadorferfeld
- B7.4 Differenz Grundwasserstände – PW Auwiesen
- B8 Differenz Grundwasserstände – Übersicht
- B9 Differenz Grundwasserstände – Schlierendarstellung

1 Auftrag

- Auftraggeber: - EW Aadorf, Schulstrasse 3, 8355 Aadorf
zuständig: André Meile
- Gemeinde Elgg, Lindenplatz4, 8353 Elgg
zuständig: Rolf Schüpbach
- Gemeinde Hagenbuch, Dorfplatz 1, 8523 Hagenbuch
zuständig: Fausto Falgetano
- Auftrag: Grundwassermodellierung gemäss unserem Angebot vom 10.11.2022 sowie ergänzende Arbeiten gemäss unserem Angebot vom 8.8.2024
- Auftragserteilung: Mit Email vom 8.2.2023
- Bearbeitung: Geologie: Dr. Tobias Graf
Modellierung: Dr. Tobias Graf
Projektleitung: Dr. Hans Rudolf Graf
Korreferat: Dr. Hans Rudolf Graf / Dr. Dominik Letsch
- Projektareal: Das Projektgebiet umfasst die Grundwasservorkommen der Gemeinden Aadorf, Elgg und Hagenbuch sowie deren oberflächliches Einzugsgebiet. Die mittleren Landeskoordinaten betragen ca. 2'709'700 / 1'261'000.

Unsere Firma hat für die Gemeinden Elgg, Aadorf und Hagenbuch ein zusammenhängendes Grundwasserströmungsmodell der lokalen bis regionalen Grundwasservorkommen mittels der Software SPRING erstellt und im Oktober 2023 den Gemeindevertretern vorgestellt. Auf der Basis dieses geeichten Referenzmodells wurde anschliessend eine Modellrechnung zu einem weiteren Modellszenario mit erhöhten Förderraten bei den Grundwasserfassungen GWP Ritschberg, Aadorferfeld, PW Auwiesen und GWF Aatal beauftragt.

Zur Durchführung des Auftrages wurde das Grundwasserströmungsmodell einer Revision unterzogen und insbesondere hinsichtlich des Aspekts eines gekoppelten Oberflächenwasser-Grundwasseraustausches überarbeitet. Anschliessend wurden die Förderraten der Grundwasserfassungen Aatal und Ritschberg angepasst und ein Modellszenario gerechnet. Die Ergebnisse wurden anschliessend miteinander verglichen und die Resultate in dem vorliegenden Bericht zusammen mit dem Modellaufbau dokumentiert und beurteilt.

2 Unterlagen

Im Rahmen der Ausarbeitung des vorliegenden Berichts wurden folgende Datengrundlagen, Dokumente und Berichte verwendet:

GIS- und Internetabfragen: Stand August 2024

- Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt Nr. 86, 1073 Wil, 1993
- Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt Nr. 140, 1072 Winterthur, 2011
- Gewässerschutzkarte des Kantons Zürich & Thurgau
- Grundwasserkarte des Kantons Zürich & Thurgau
- Meteoschweiz, Messwerte meteorologische Bodenmessstationen

- Dr. von Moos [2022]: Sanierung Trinkwasserfassung "Aatal", 8355 Aadorf – Beurteilung Sanierungsvarianten, Bericht Nr.: 13282, 05.08.2022.
- Dr. von Moos [2022]: Erhöhung Fördermengen aus den Fassungen "Aatal" und "Auwiesen", 8355 Aadorf – BETRACHTUNGEN ZUM GRUNDWASSERDARGBOT, Bericht Nr.: 13159, 29.06.2022.
- Dr. von Moos [2022]: Überarbeitung Grundwasserschutz-zonen, Fassungen "Aatal" und "Auwiesen", 8355 Aadorf – Hydrogeologischer Bericht, Bericht Nr.: 13071-2, 03.02.2022.
- Dr. von Moos [2007]: Ersatzstandort GW-Pumpwerk "Im See", 8353 Elgg – Durchführung und Auswertung Pumpversuche Dezember 2006, Bericht Nr.: 8035, 14.02.2007.
- Dr. von Moos [2001]: Neubau Grundwasserpumpwerk Ritschberg (GWR i 3-66), 8353 Elgg, – Hydrogeologische Begleitung Brunnenbau, Bericht Nr.: 13050, 03.09.2001.
- Dr. von Moos [2000]: Grundwasserfassungen Auwiese und Aatal, Aadorf TG – Hydrogeologischer Bericht Schutz-zonen, Bericht Nr.: 6446, 20.12.2000.
- Dr. von Moos [2000]: Grundwasserfassung 'Aadorferfeld', GWR i 03-0002, 8353 Elgg – Hydrogeologischer Bericht und Schutz-zonen, Bericht Nr.: 12191, 20.05.2000.
- Dr. von Moos [1974]: Grundwasserpumpwerke Auwiesen und Aatal, Fassung bei Rolladenfabrik, – Ausscheidung von Schutz-zonen, Bericht Nr.: 3002, 16.08.1974.
- Dr. von Moos [1972]: Grundwasserfassung "See" Elgg, – Abgrenzung von Schutz-zonen, Bericht Nr.: 2758, 29.06.1972.

3 Grundwasserströmungsmodell

Die nachfolgend erläuterte Grundwasserströmungsmodellierung wurde mit der Software SPRING ausgeführt. Das Programm SPRING – Simulation of Processes in Groundwater (delta h Ingenieursgesellschaft mbH, D-58453 Witten) ist ein auf einer Entwicklung der Ruhr-Universität Bochum basierendes Programmsystem zur Berechnung eines Grundwasserströmungsmodells in Kombination mit Oberflächengewässern. Das Programm erlaubt u.a. auf Basis der Finite-Elemente-Methode die Erstellung eines 2D- oder 3D-Modells für instationäre und stationäre Verhältnisse.

3.1 Konzeptmodell

Nachfolgend ist das grundlegende Konzeptmodell mittels Beschreibung der hydrogeologischen Grundlagen und dem vereinfachten, hydrogeologischen Strukturmodell zusammengefasst. Dargestellt werden die numerischen Randbedingungen und der Referenzzustand, notwendig für die Modellkalibrierung sowie das zugrunde liegende Parametermodell.

Auf der Grundlage der geologischen Karten, den topografischen Gegebenheiten, sowie der Ausdehnung der Grundwasservorkommen, wurde das Einzugsgebiet der Grundwasservorkommen definiert. Das auf Plausibilität geprüfte Einzugsgebiet dient als Modellrand und ist in Abb. 1 dargestellt.

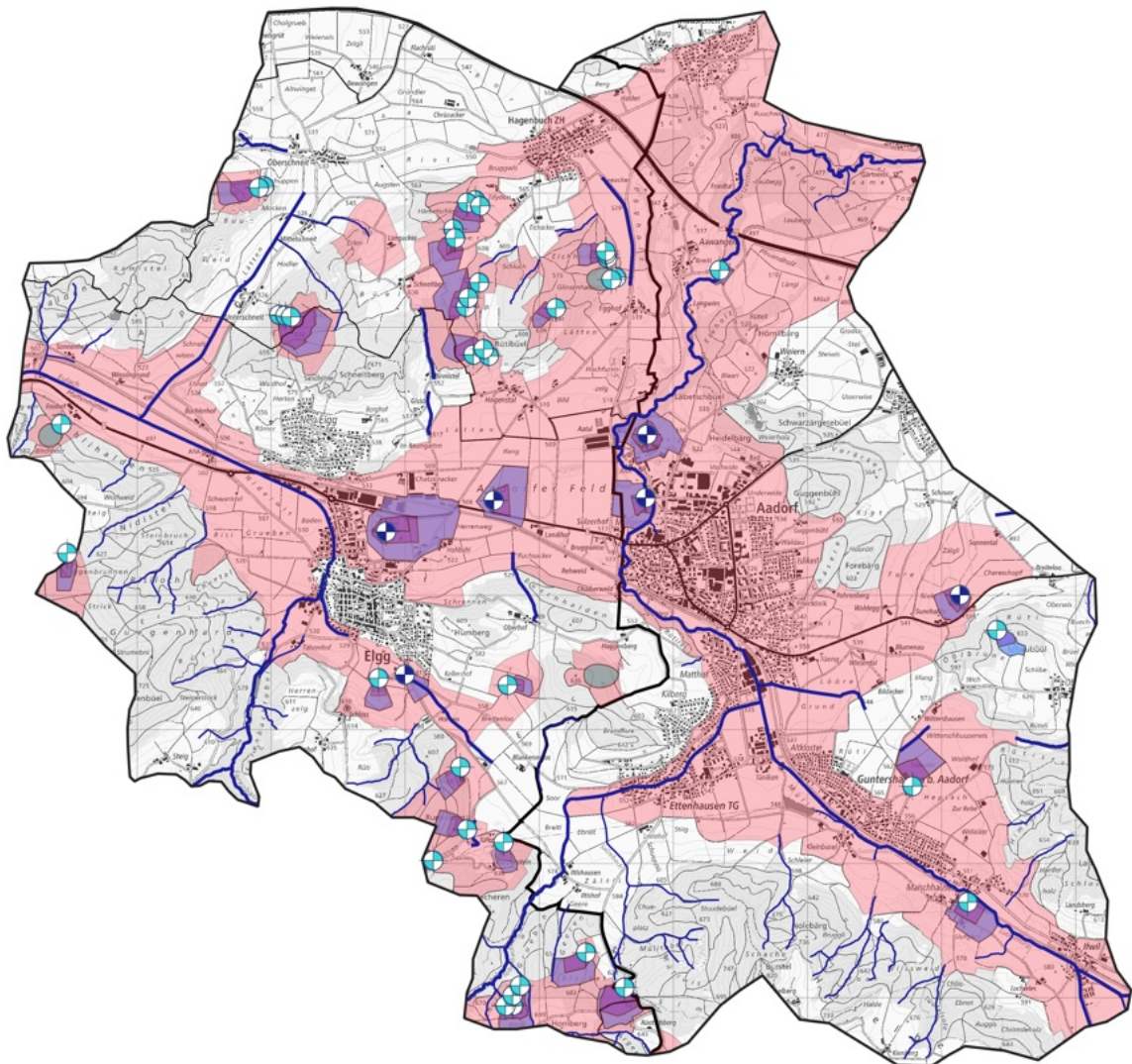


Abb. 1: Einzugsgebiet des Modells (Modellrand) mit den offiziell ausgeschiedenen Gewässerschutzgebieten A_U (rote Flächen), Grundwasserschutzzonen (blaue Flächen) mit Fassungen (dunkelblau = Horizontale Brunnen, hellblau = Quelfassung) und den Oberflächengewässern (blau Linien). Die Kantonsgrenze zwischen Zürich und Thurgau zieht sich von Norden nach Süden.

Die hydrogeologischen Rahmenbedingungen im Bereich des Untersuchungsgebietes sind komplex und nur teilweise, überwiegend durch punktuelle Bohrdaten, bekannt. Vereinfacht kann die Hydrogeologie wie folgt vom Liegenden aufsteigend beschrieben werden. Die Basis

der hydrogeologisch relevanten Schichten stellt Moräne über Fels dar, welche in Tiefen von 50 m und mehr unter Terrain anstehen können. Darüber folgen eiszeitliche Schotter mit durchschnittlich 10 m Mächtigkeit, welche das untere Grundwasservorkommen darstellen. Der untere Grundwasserleiter ist im Untersuchungsgebiet nicht durchgehend vorhanden und keilt lokal aus. Teilweise steht er in direkter hydraulischer Verbindung mit dem oberen Grundwasservorkommen (hydraulisches Fenster).

Einteilung Hydrofazies

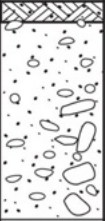
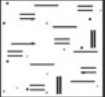




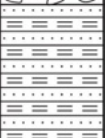
Hydrofazies	Mächtigkeit	Profil	Lithologie
1 GWL	10 m		Künstliche Aufschüttungen - Auffüllungen Fluviatile Kiese und Sande
1 GWNL	5 m		Seeablagerungen Postglazial-fluviatile feinkörnige Ablagerungen (Silt/Ton)
2 GWL	5 m		Seeablagerungen Glazial-fluviatile Kies-Sande
3 GWL	5 m		Eiszeitliche Schotter (obere) Glazial-fluviatile Schotter
2 GWNL	5 m		Eiszeitliche Tone Glazial-fluviatile feinkörnige Ablagerungen (Ton - Moräne)
4 GWL	10 m		Eiszeitliche Schotter (untere) Glazial-fluviatile Schotter
Modelbasis	8		Obere Süswassermolasse (OSM)

Abb. 2: Einteilung der hydrogeologischen Einheiten in Hydrofazies als strukturelle Grundlage für das numerische Grundwasserströmungsmodell.

Über den eiszeitlichen Schottern des unteren Grundwasserleiters folgen eiszeitliche Tone und Silte, respektive weitere Moräneablagerungen von mehreren Metern Mächtigkeit. Die Moränedecke/feinkörnige Deckschicht trennt, wo vorhanden, in grossen Teilen des Untersuchungsgebietes den unteren vom oberen Grundwasserleiter. Der obere Grundwasserleiter setzt sich lokal aus eiszeitlichen Schottern und/oder grobkörnigen glazial-fluviatilen Kiesen und Sanden zusammen, mit einer mittleren Mächtigkeit von ca. 10 m. In Teilen ist der obere Grundwasserleiter von feinkörnigen, postglazialen Seeablagerungen überdeckt.

Das oberflächennahe Grundwasservorkommen ist generell ungespannt, während der Druckspiegel des unteren Grundwasserleiters in grossen Teilen gespannte Verhältnisse aufzeigt. Die hydrogeologische Realität ist komplexer und weist lokal bis regional Inhomogenitäten und anisotropes Verhalten auf. Es ist allerdings nicht zweckmässig die Hydrogeologie in allen Details in das Strukturmodell, welches als Grundlage für das numerische Grundwasserströmungsmodell dient, aufzunehmen. Folglich wurden die hydrogeologischen Einheiten wie oben beschrieben in vereinfachten Hydrofazien zusammengefasst (Abb. 2).

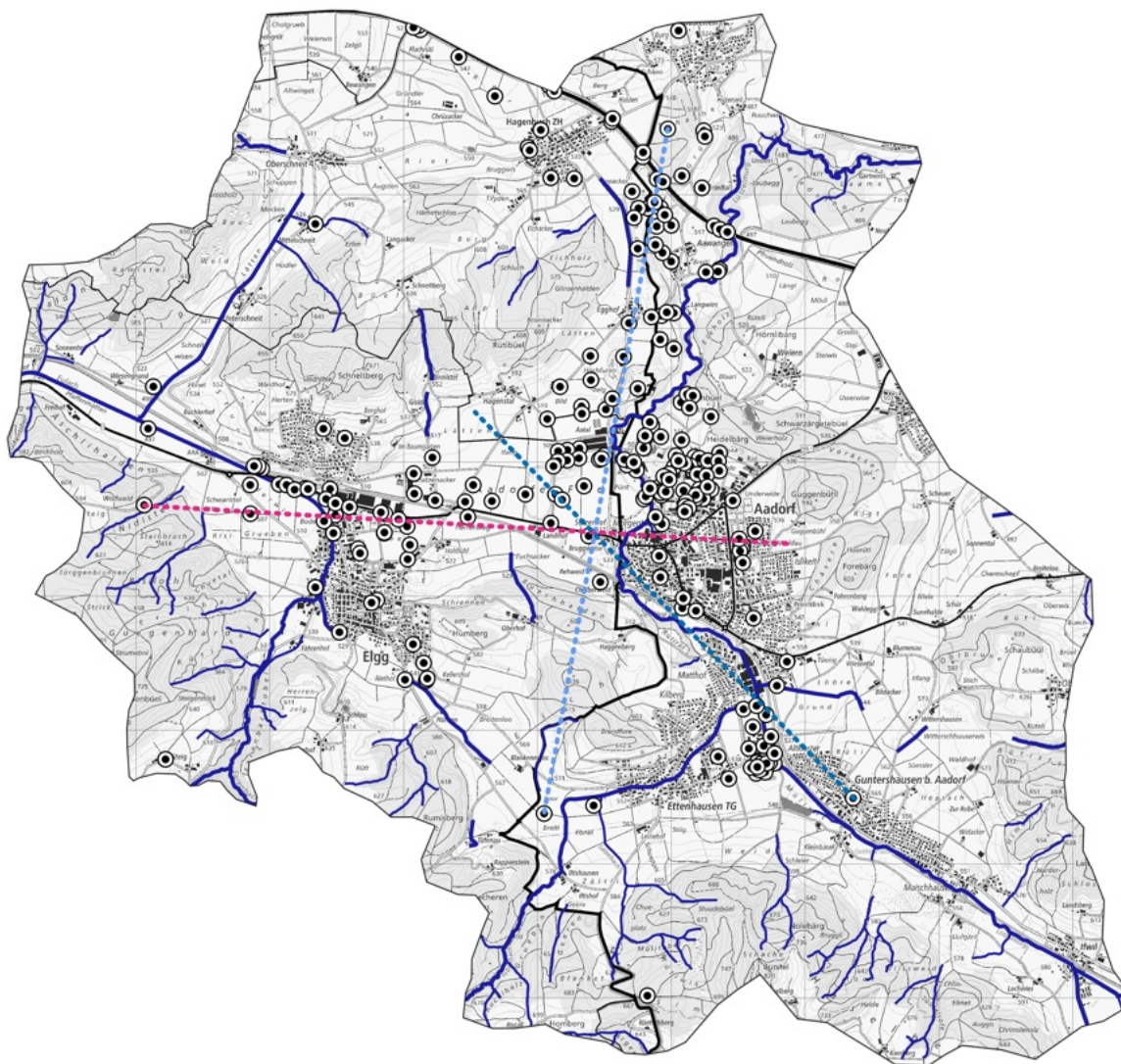


Abb. 3: Verteilung aller Bohrstandorte (239), dessen Bohrprofile zur Erstellung des Strukturmodells verwendet wurden. Die interpolierten Schichtgrenzen wurden anhand von drei Profilschnitten (Blauen/Magenta Linien) einer Plausibilitätsprüfung unterzogen.

Basierend auf den Hydrofazien wurden insgesamt 239 Bohrungen ausgewertet und die Schichtobergrenzen abgeleitet. Die Positionen der verwendeten Bohrungen sind in Abb. 3 dargestellt. Die interpolierten Schichtobergrenzen wurden anschliessend in der Modellsoftware miteinander verschnitten, um die Geometrien der Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter erstellt. Die Verschnidung der Schichten erfolgte dabei nach dem Top-Down (erosiv - abwärts) Verfahren.

Der sich daraus ergebende, dreidimensionale Aufbau des Strömungsmodells ist in Abb. 4 dargestellt, zusammen mit sechs exemplarischen Schnitten durch die Bereiche der relevanten Grundwasservorkommen. In Bereichen, in denen kein Grundwasser vorhanden ist, keilen die Grundwasservorkommen aus (siehe Schnitte in Abb. 4). Um einen oberflächennahen Abfluss zu Oberflächengewässern, sowie den im Untersuchungsgebiet vorhandenen Quellen (siehe Abb. 6) in der ganzen Modelldomäne sicherzustellen, wurde zudem eine geringmächtige, erste Modellschicht implementiert.

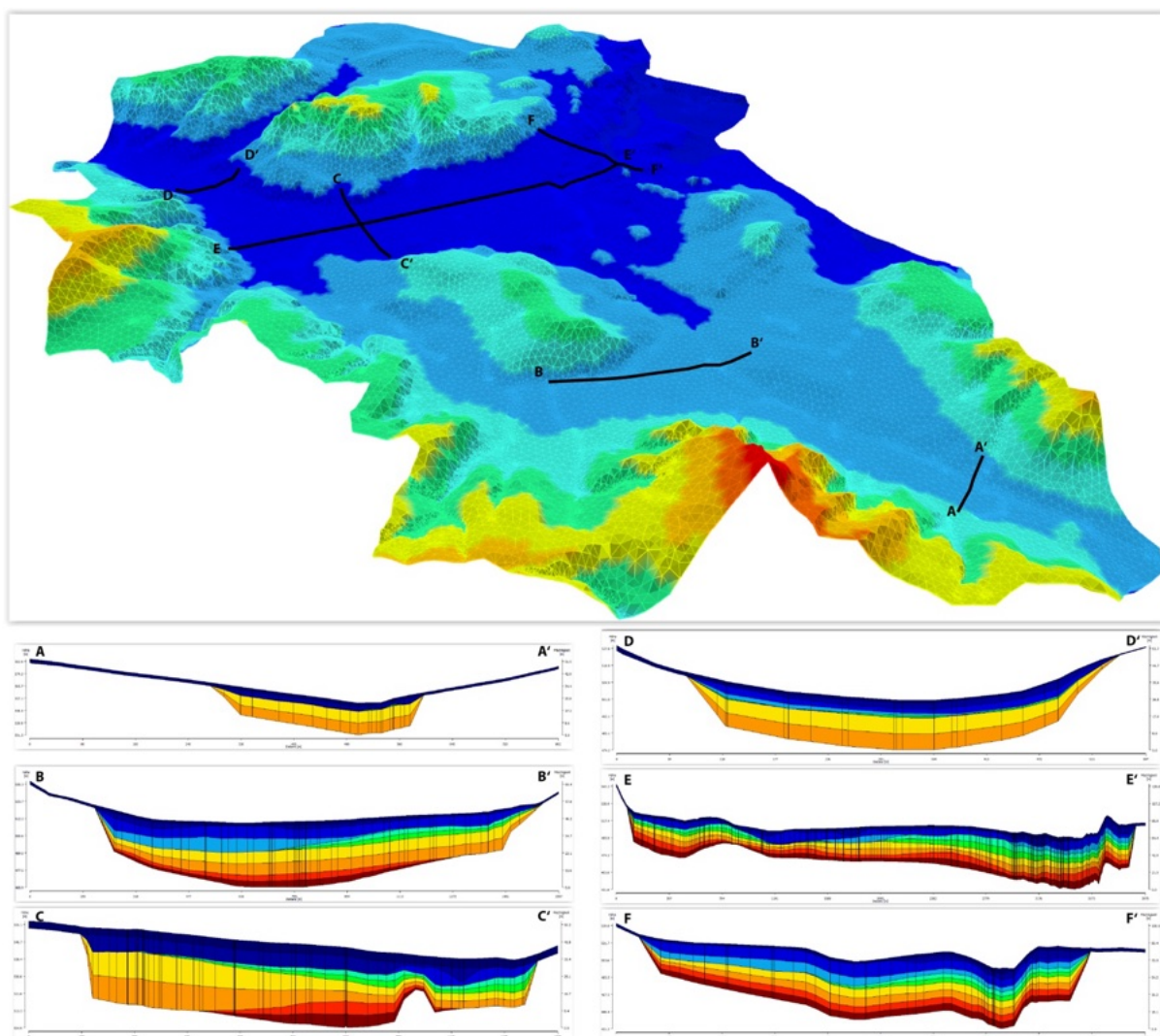


Abb. 4: 3D Modelldomäne in Spring mit sechs exemplarischen Querschnittprofilen (A – F) entlang der bekannten Grundwasservorkommen. Die Profile zeigen farblich abgestuft die implementierten Modellschichten (11 Elementschichten).

Die sechs exemplarischen Schnitte in Abb. 4 zeigen alle 11 implementierten Modellschichten. In der Modelldomäne sind die Schichten nicht durchgehend vorhanden, bzw. keilen teilweise aus, was die hydrogeologische Komplexität verdeutlicht.

3.2 Randbedingungen

Als Teil des Grundwasserströmungsmodells müssen diverse Randbedingungen definiert werden, damit in den anschliessenden Rechenläufen eindeutige Lösungen der Gleichungsmatrix ermittelt werden können. Auf Basis der kantonalen Geoinformations- (GIS) Datenbanken wurden Festpotenziale an den Randbereichen der Grundwasservorkommen abgeleitet und im Modell implementiert. Weiterhin sind alle signifikanten Grundwasserentnahmen in den entsprechenden Modellschichten berücksichtigt.

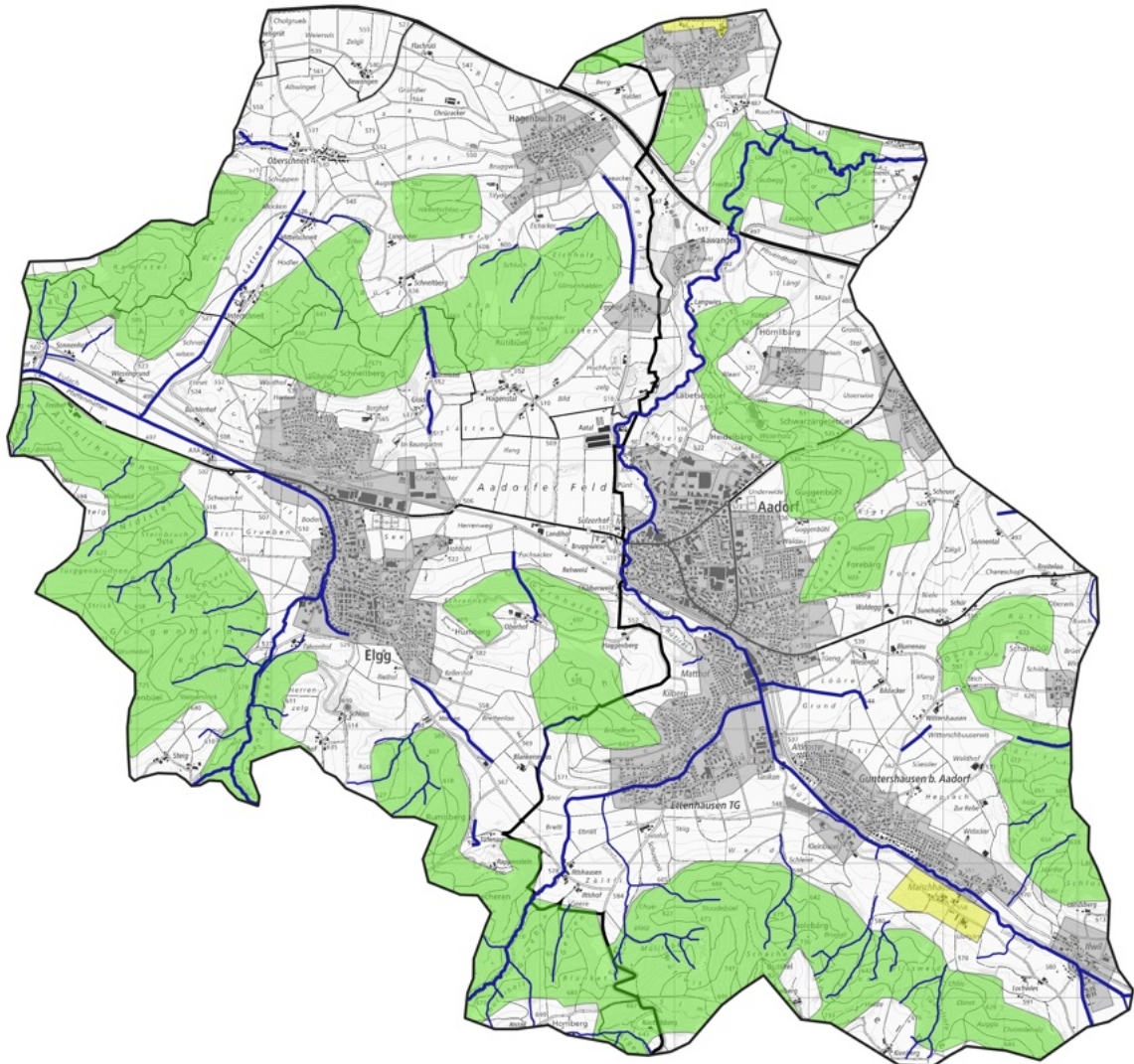


Abb. 5: Landnutzung im Bereich der Modelldomäne. Dargestellt ist in grün = bewaldetes Gebiet, grau = Siedlungsgebiet, blau = Oberflächengewässer, weiss = landwirtschaftliche Nutzfläche und gelb = Obstanlagen.

Als einer der einflussreichsten Parameter ist die Grundwasserneubildung anzusehen, welche in SPRING nach Meßner 2008 berechnet wurde. Die Grundwasserneubildungskoeffizienten sind aufgrund der in Abb. 5 dargestellten Landnutzungen und einem mittleren jährlichen Niederschlag ($1'200 \text{ mm/m}^2/\text{Jahr}$) berechnet.

Neben der Grundwasserneubildung müssen weitere, numerische Randbedingungen definiert werden, welche in Abb. 6 zusammengefasst sind. Dazu gehören Grundwasserentnahmen mittels Quelfassungen und vertikalen Filterbrunnen, sowie Festpotenzialen am westlichen und südöstlichen Modellrand, sowie nördlich im Randbereich des Grundwasservorkommens.

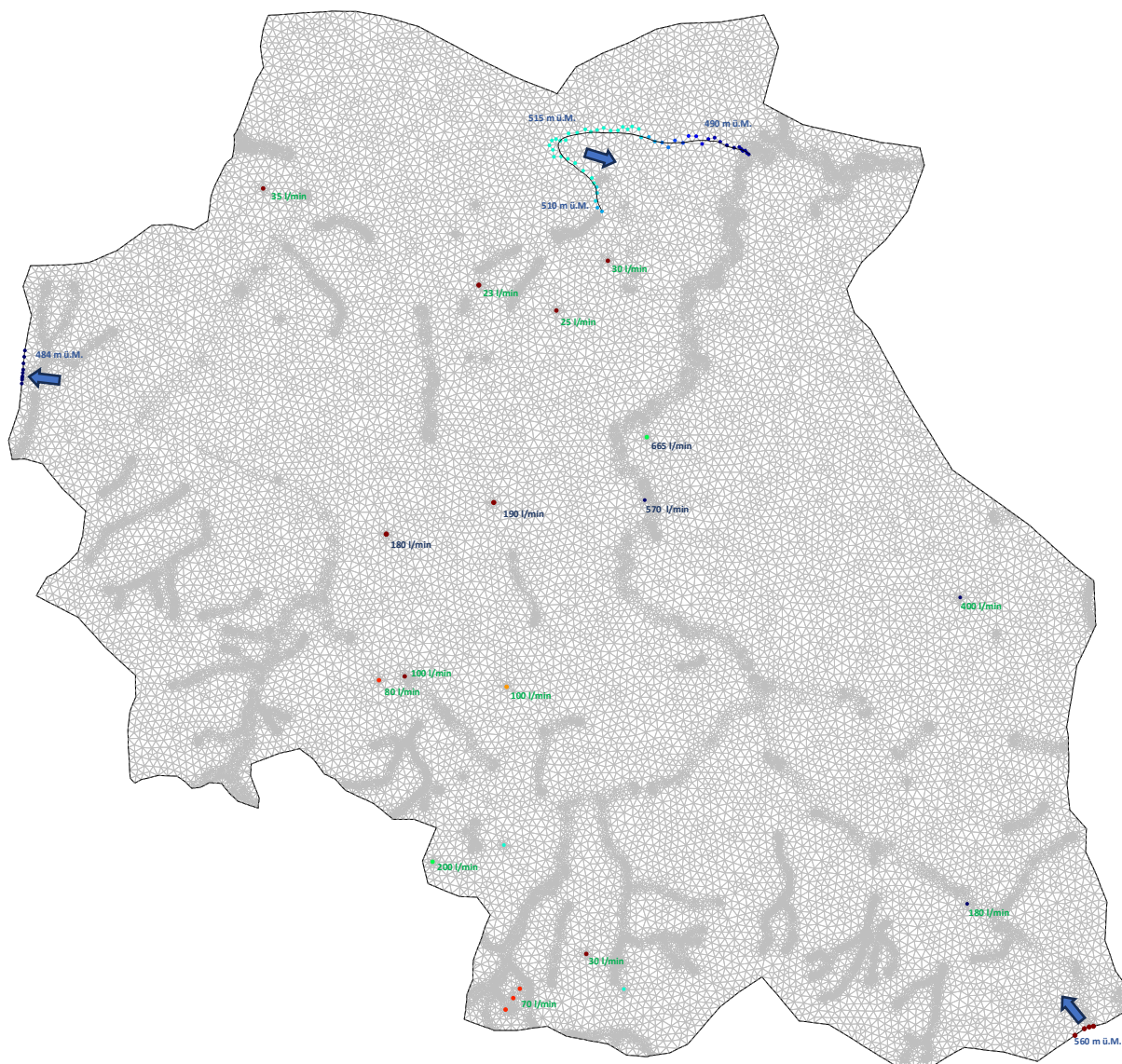


Abb. 6: Modelldomäne mit Randbedingungen. Dargestellt sind die Randbedingungen erster Ordnung (1st-Dirichlet) entlang des SO und NW Modellrandbereichs, sowie im Norden des Modells mit den zugeordneten Festpotenzialen. Blaue Pfeile = Fliessrichtung aufgrund der Festpotenziale. Punktuell dargestellt sind alle Grundwasserentnahmen mit entsprechendem Volumenstrom im Modell (grün = Quellen, blau = vertikale Brunnen), implementiert als Randbedingung zweiter Art (2nd-Neumann) für das Referenzmodell.

Um die Einflüsse von Oberflächengewässern im Modell mit zu berücksichtigen, wurden die Flüsse und Bäche als kleine, bzw. mittlere Gewässer im Modell berücksichtigt, implementiert und mit den für die Software notwendigen Parametern definiert. Hierzu wurden mittlere Wasserstände von 0.4 m in den kleineren, sowie 0.6 m in den mittleren Gewässern angesetzt.

Durch die entsprechende Parametrisierung kann Spring die hydrologischen Bedingungen entlang der einzelnen Gewässerabschnitte berechnen, und aus den Potenzialdifferenzen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer bestimmen, ob eine Infiltration (influent) oder eine Exfiltration (effluent) in das bzw. aus dem Grundwasser erfolgt. Auf der Basis dieser Ergebnisse wird anschliessend der volumetrische Abfluss an jedem Knotenpunkt eines Gewässersystems berechnet. Das im Modell implementierte Gewässersystem unter Darstellung der Fliessrichtungen und der Vorfluterpotentialverteilung ist in Abb. 7 dargestellt.

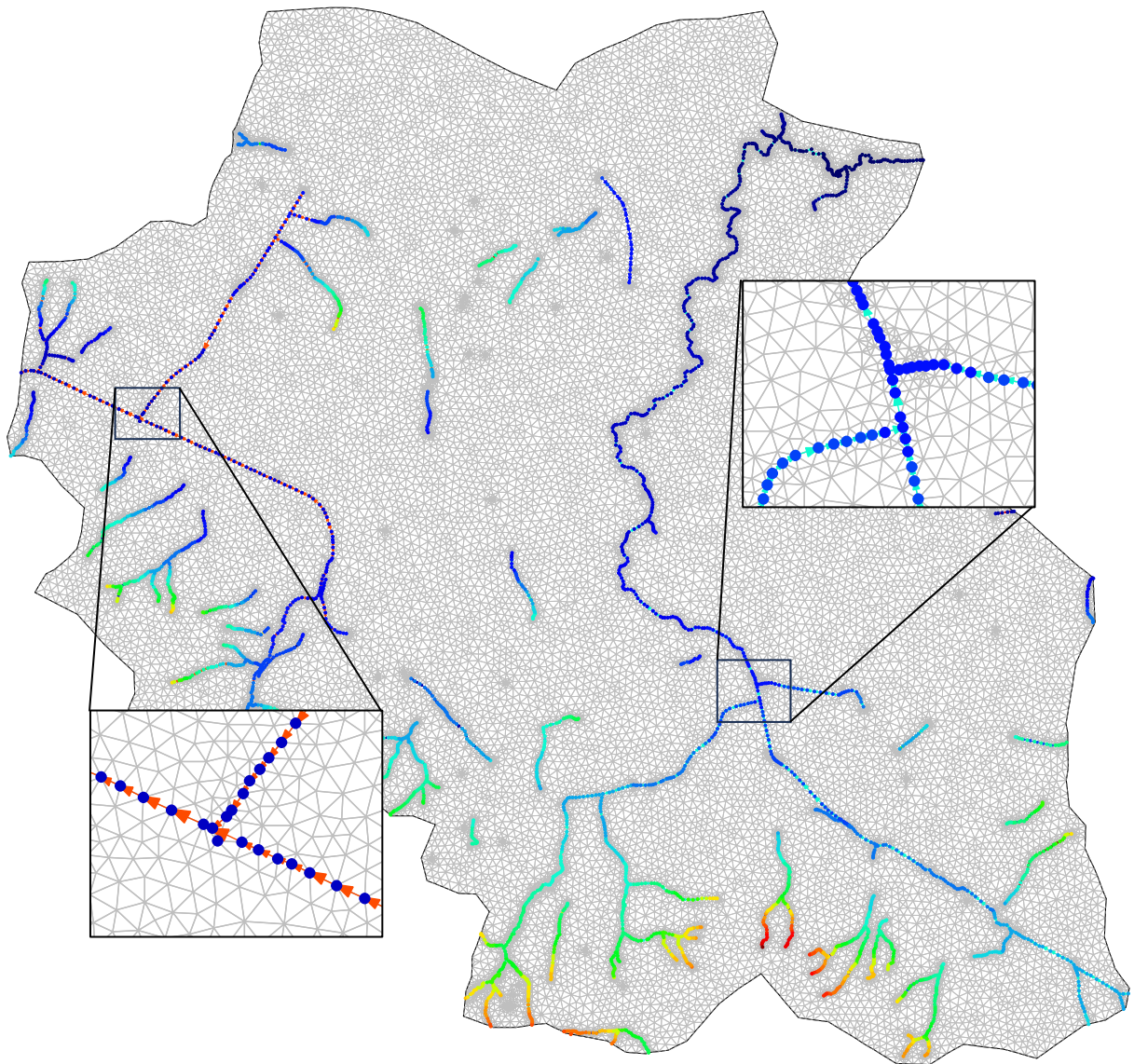


Abb. 7: Dargestellt ist das implementierte Gewässernetz, mit dem farblich abgestuften Vorfluterpotential aller im Modell implementierten Oberflächengewässer. Die Detailansichten zeigen exemplarisch die Definition der Fliessrichtungen der Oberflächenwasser.

3.3 Diskretisierung

Die Diskretisierung der Modelldomäne erfolgte mittels Delauney Triangulation der Tetrahedra finite Elemente. Insgesamt besteht eine Modellschicht aus 33'724 Knoten und 66'831 Elementen, mit 9 Knotenschichten und 8 Elementschichten.



Abb. 8: Modelldiskretisierung mit 33'724 Knoten und 66'831 Elementen pro Schicht. Bereiche der Oberflächengewässer sowie um Grundwasserhaltungen sind feiner diskretisiert.

Die Modelldiskretisierung wurde einer Qualitätskontrolle unterzogen und in Bereichen um Grundwasserfassungen, sowie entlang der Oberflächengewässer verfeinert (siehe Abb. 8). Diese Verfeinerungen sind einerseits für stabile Modellrechnungen als auch für präzisere Auflösungen der Rechenergebnisse notwendig.

3.4 Parametermodell

Folgend ist die Erstellung des Parametermodells beschrieben, unter Angabe aller für die Grundwasserströmungsmodellierung essentiellen Parametern. Die Tab. 1 fasst die initiale

k_f -Wert Verteilung, sowie die Porosität zusammen. Die Ratio zwischen den vertikalen und horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerten ($k_{f\text{ vertikal}}/k_{f\text{ horizontal}}$) ist im Modell mit 2/10 implementiert.

Tab. 1: Zuordnung der initialen k_f -Werte und Porosität für das Referenzmodell vor der Modellkalibrierung.

Geologie	Modell-schicht (Elemente)	k_f -Werte [m/s]			Porosität [-]
		initial	Max.	Min.	n
1 GWL	1	5×10^{-04}	1×10^{-03} – 1×10^{-05}		0.20
1 GWNL	2	1×10^{-08}	1×10^{-07} – 1×10^{-10}		0.25
2 GWL	3	1×10^{-03}	1×10^{-02} – 1×10^{-10}		0.30
	4				
3 GWL	5				
2 GWNL	6	1×10^{-08}	1×10^{-05} – 1×10^{-10}		0.20
	7				
4 GWL	8	1×10^{-02}	1×10^{-02} – 1×10^{-10}		0.30
	9				
	10				
Modellbasis	11	1×10^{-10}	1×10^{-05} – 1×10^{-10}		0.35
	12				

3.5 Numerische Umsetzung

Nachfolgend wird die numerische Umsetzung der zuvor beschriebenen Modellierungsansätze Parameterweise beschrieben.

Digitales Höhenmodell

Das digitale Höhenmodell stammt aus den kantonalen GIS-Datensätzen und wurde als Basis für ein modifiziertes Höhenmodell verwendet. Damit in SPRING die Abflussberechnung der Oberflächengewässer korrekt – d.h. in die richtige Richtung – erfolgt, musste in das digitale Höhenmodell noch das System der Oberflächengewässer (Bäche und Flüsse) "eingebrannt" werden (Prinzip des monodirektional fallenden Gewässersystems).

Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung wurde mittels der Methode nach Meßer (2008) berechnet, wobei ein mittlerer jährlicher Niederschlag von $1'200 \text{ mm/m}^2/\text{a}$, eine reale Verdunstung von $\text{ET}_{\text{pot}} 400 - 480 \text{ mm/m}^2/\text{a}$ und die Flurabstandsklassen 1-4 (0 m in Teilbereichen von

Oberflächengewässern bis >3 m) verwendet wurden. Neben der Festlegung des Bodentyps und der Gefälleklassen wurde zudem die Flächennutzung (siehe Abb. 5) gemäss der Klassifikation nach Meßer (2008) für die Berechnung der Grundwasserneubildung herangezogen. Die daraus berechneten und im Modell verwendeten Grundwasser-Neubildungskoeffizienten (FLAE) variieren zwischen -0.53 (Oberflächengewässer) und 0.75 (bewaldetes Gebiet).

Durchlässigkeitsbeiwerte

Ausgehend von einer initialen Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte in m/s) wurde in SPRING mittels der automatisierten Modellkalibrierungsfunktion ein heterogenes Feld der k_f -Wert-Verteilung berechnet. Tab. 1 zeigt die initiale k_f -Wert-Verteilung der einzelnen Modellschichten.

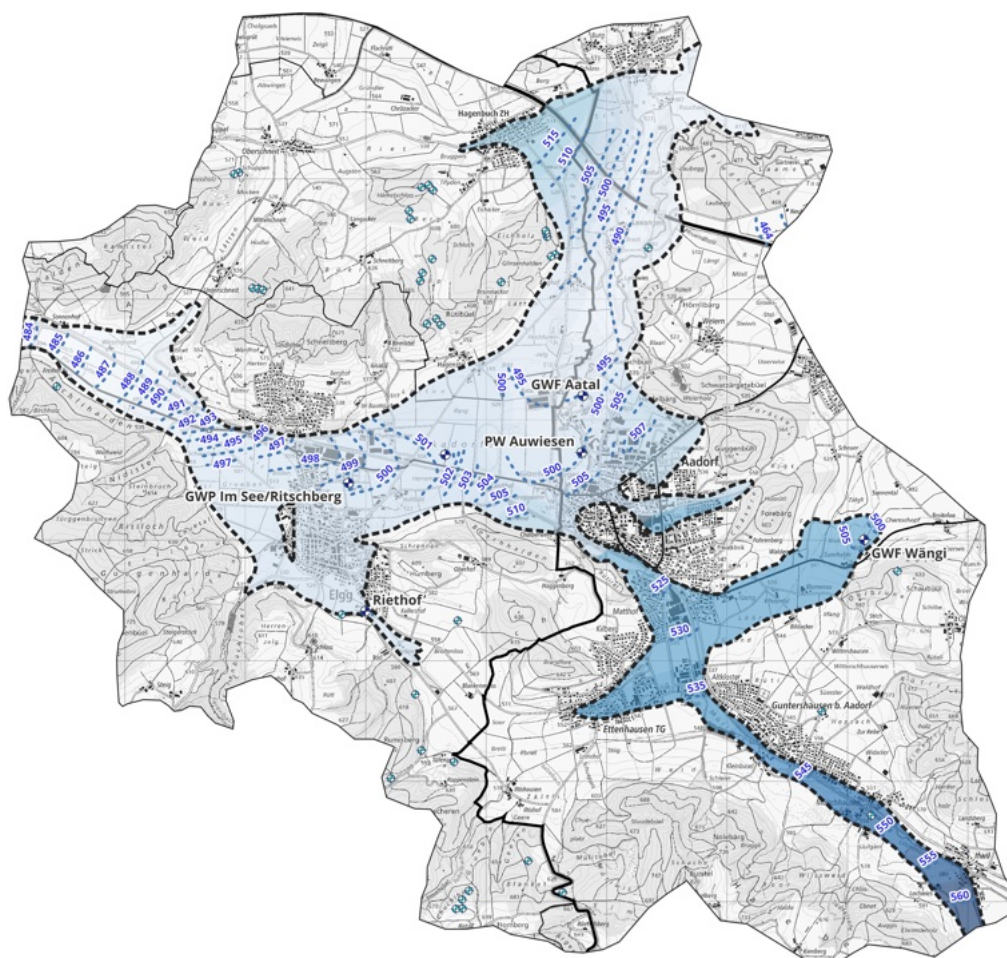


Abb. 9: Grundwasservorkommen innerhalb der Modelldomäne mit den interpolierten Grundwasserständen (m ü.M.) für die Modelleichung. Die Interpolation basiert auf den langjährigen, mittleren Grundwasserständen wie von den Kantonen Zürich und Thurgau publiziert.

Die Kalibrierung erfolgte unter Vorgabe von Eichwerten als Zielfunktion, wobei die Eichwerte räumlich verteilt aus vorliegenden Grundwasserstandmessungen und offiziellen Grundwasserisohypsenkarten abgeleitet wurden. Abb. 9 fasst die interpolierten Grundwasserstände (Isohypsen) und für die Eichung verwendeten Potenzialverteilungen zusammen.

Abb. 10 zeigt einen W – O Schnitt des Modells durch die Grundwasserfassungen Ritschberg, Aadorferfeld und Aatal, mit der k_f -Wert-Verteilung über alle Modellschichten. Gut erkennbar ist die Trennung des oberen von den unteren Grundwasserleitern durch die räumlich nicht durchgehend vorhandenen Grundwassergeringleiter (tiefe k_f -Werte).

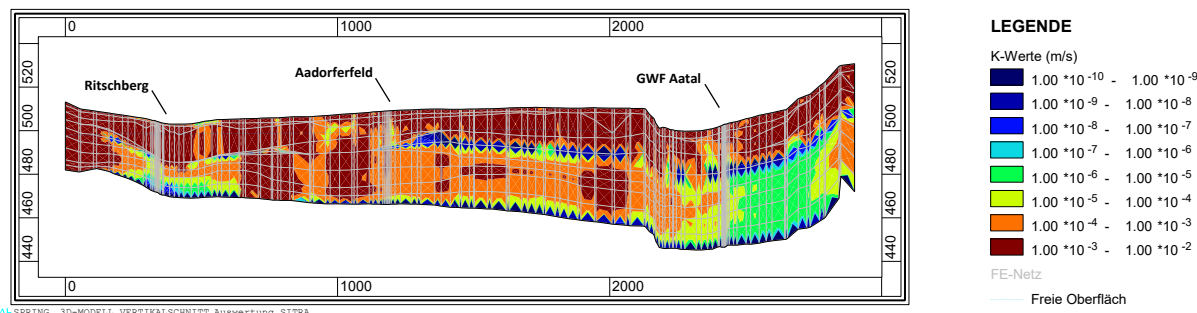


Abb. 10: Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte k_f -Werte (m/s) entlang der W–O Achse mit einem Schnitt durch die Grundwasserfassungen Ritschberg, Aadorferfeld und GWF Aatal nach der automatisierten Modellkalibrierung in SPRING.

Oberflächengewässer

Die Lösung der Gleichungsmatrix zur Berechnung der Grundwasserstände erfolgt in dem vorliegenden Modell gekoppelt mit berechneten Oberflächenabflüssen. Je nach Konstellation der Grundwasserstände mit den Vorfluterständen wird dabei Grundwasser über die Vorfluter abgeführt (effluente Verhältnisse) oder das Grundwasser durch die Vorflut gespeist (influente Verhältnisse).

Zusätzlich zu den Grundwasserständen wurden auch Abflussmessungen für die Modellkalibrierung berücksichtigt. Entsprechende mittlere Abflüsse der beiden grössten Vorfluter im Modell wurden für die Eulach (0.26 - 0.59 m³/s) und für die Lützelburg (0.07 - 11.50 m³/s) berücksichtigt.

4 Referenzmodell

Auf der Basis des beschriebenen Konzept-, Struktur- und Parametermodells ist das Referenzmodell aufgebaut und geeicht. Das Referenzmodell dient dem Vergleich mit den im Szenario gerechneten vorgesehenen Änderungen, namentlich der vorgesehenen Erhöhung der Grundwasserförderungen. Tab. 2 fasst die im Referenzmodell implementierten Förderraten zusammen, welche den aktuellen Grundwasserentnahmen entsprechen. Die Förderangaben stammen von den entsprechenden Wasserversorgern.

Tab. 2: Ungefähre, jährliche Fördermengen der vier grossen Grundwasserfassungen im zentralen Bereich der Grundwasservorkommen.

	GWP Ritschberg	Aadorferfeld	PW Auwiesen	GWF Aatal
Referenzmodell				
[m ³ /Jahr]	95'000	60'000	300'000	350'000

Alle Rechenläufe im Modell erfolgten stationär und die Ergebnisse sind einzeln für die obigen Grundwasserfassung präsentiert. In SPRING kann das Strömungsfeld mittels sogenannter Schlierendarstellung schichtweise anhand der Vektoren des Geschwindigkeitsfeldes berechnet werden. Die Schlierenverläufe der Modellschicht 9 sind unten ebenfalls dargestellt.

4.1 Potenzialverteilung

Das Grundwasserströmungsfeld wurde für den Referenzzustand mit den aktuellen Grundwasserentnahmen berechnet, welcher zum Vergleich mit den Ergebnissen aus der Szenario-rechnung herangezogen wird. Aus der Potenzialverteilung ergibt sich das Bild der Schlierendarstellung, im Folgenden zusammen mit den Grundwasserisohypsen für alle vier Grundwasserfassungen im Detail dargestellt.

Eine Übersicht der Potenzialverteilung im zentralen Bereich der Grundwasservorkommen, welche die Grundwasserfassungen Im See/Ritschberg, Aadorferfeld, Auwiesen und Aatal speisen, ist in der Beilage B2 dargestellt.

4.1.1 Ritschberg

Abb. 11 zeigt das Grundwasserströmungsbild des Referenzmodells mittels der Schlierendarstellung für die Grundwasserfassung Im See/Ritschberg. Aus den Grundwassergleichen lassen sich mittlere Grundwasserströmungsgradienten von 0.1% ableiten, wobei die Gradienten lokal z.T. stärkere Schwankungen aufweisen. Das Brunneneinzugsgebiet in dieser Tiefe (Modellschicht 9) erstreckt sich nach Osten und ist brunnennah relativ schlank, weitet sich jedoch weiter östlich aus.

Eine Darstellung der Potenzialverteilung im Umfeld der Grundwasserfassung Ritschberg ist in Beilage B1.1 gegeben.



Abb. 11: Schlierendarstellung im Bereich des Grundwasserpumpwerks (GWP) Im See, respektive Ritschberg. Dargestellt sind die Grundwasserisohypsen der Modellschicht 9 des Referenzmodells, sowie das sich in dieser Modellschicht ergebende Brunneneinzugsgebiet.

4.1.2 Aadorferfeld

In Abb. 12 dargestellt ist mittels der Schlierenverläufe das Grundwasserströmungsbild des Referenzmodells bei der Grundwasserfassung Aadorferfeld.

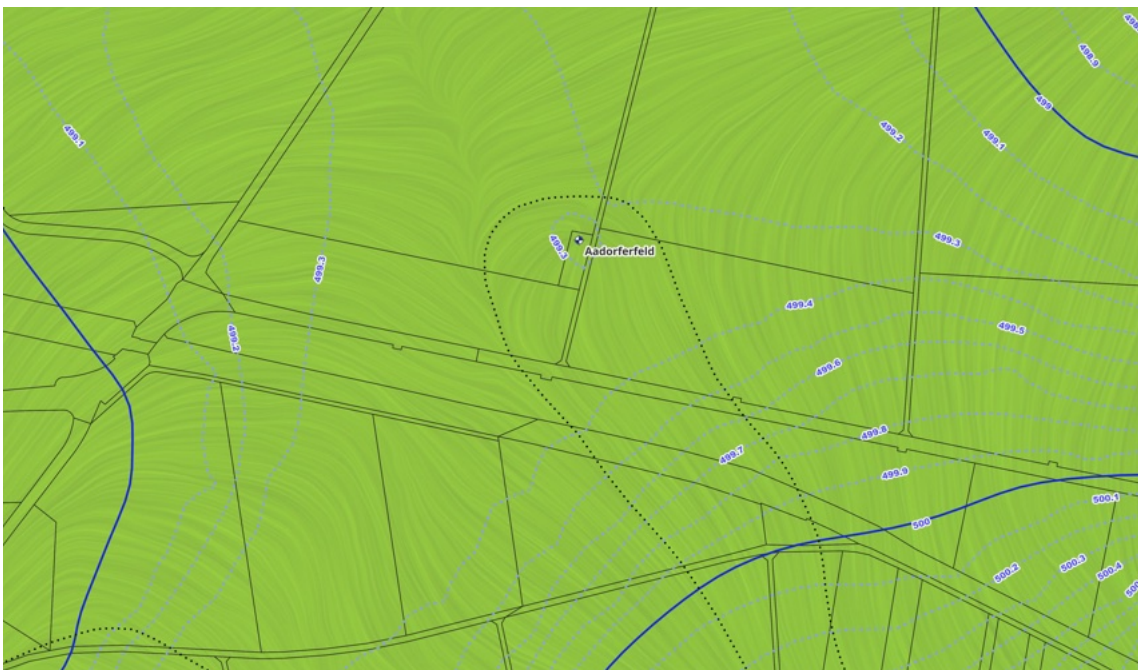


Abb. 12: Schlierendarstellung im Bereich der Grundwasserfassung Aadorferfeld. Dargestellt sind die Grundwasserisohypsen der Modellschicht 9 des Referenzmodells, sowie das sich in dieser Modellschicht ergebende Brunneneinzugsgebiet.

Aus den Grundwassergleichen (Isohypsen) lassen sich mittlere Grundwasserströmungsgradienten von 0.3% ableiten. Das Einzugsgebiet in der Modellschicht 9 erstreckt sich relativ schmal nach Südosten. Die Grundwasserströmungsgradienten nehmen von Südosten nach Norden ab, und nur lokal im unmittelbaren Bereich des Brunnens wieder zu.

Eine Darstellung der Potenzialverteilung im Umfeld der Grundwasserfassung Aadorferfeld ist in Beilage B1.3 gegeben.

4.1.3 PW Auwiesen

Das Grundwasserströmungsbild des Referenzmodells bei der Grundwasserfassung PW Auwiesen ist in Abb. 13 mittels der Schlierenverläufe der Modellschicht 8 dargestellt. Aus den Grundwassergleichen lassen sich mittlere Grundwasserströmungsgradienten von 0.6% ableiten. Das Einzugsgebiet erstreckt sich relativ schmal nach Südosten. Die Grundwasserströmungsgradienten nehmen von Südosten nach Norden deutlich ab. Oberflächennah (Modellschicht 3) ändert sich das Strömungsbild leicht, wobei das Brunneneinzugsgebiet sich stärker nach Südwesten erstreckt.



Abb. 13: Schlierendarstellung im Bereich der Grundwasserfassung PW Auwiesen. Dargestellt sind die Grundwasserisohypsen der Modellschicht 8 des Referenzmodells, sowie das sich in dieser Modellschicht ergebende Brunneneinzugsgebiet und der Verlauf der Lützelburg (hellblaue Linie).

Eine Darstellung der Potenzialverteilung im Umfeld der Grundwasserfassung PW Auwiesen ist in Beilage B1.4 gegeben.

4.1.4 GWF Aatal

Abb. 14 zeigt das Grundwasserströmungsbild des Referenzmodells der Grundwasserfassung GWF Aatal mittels der Schlierenverläufe der Modellschicht 9. Aus den Grundwasser- gleichen lassen sich mittlere Grundwasserströmungsgradienten von 3.0‰ ableiten. Das Einzugsgebiet erstreckt grossräumig nach Süden, mit einem unteren Kulminationspunkt ca. 50 m abstromig. Die Grundwasserströmungsgradienten sind regelmässig über das Brunnen-einzugsgebiet verteilt.

Eine Darstellung der Potenzialverteilung im Umfeld der Grundwasserfassung GWF Aatal ist in Beilage B1.2 gegeben.

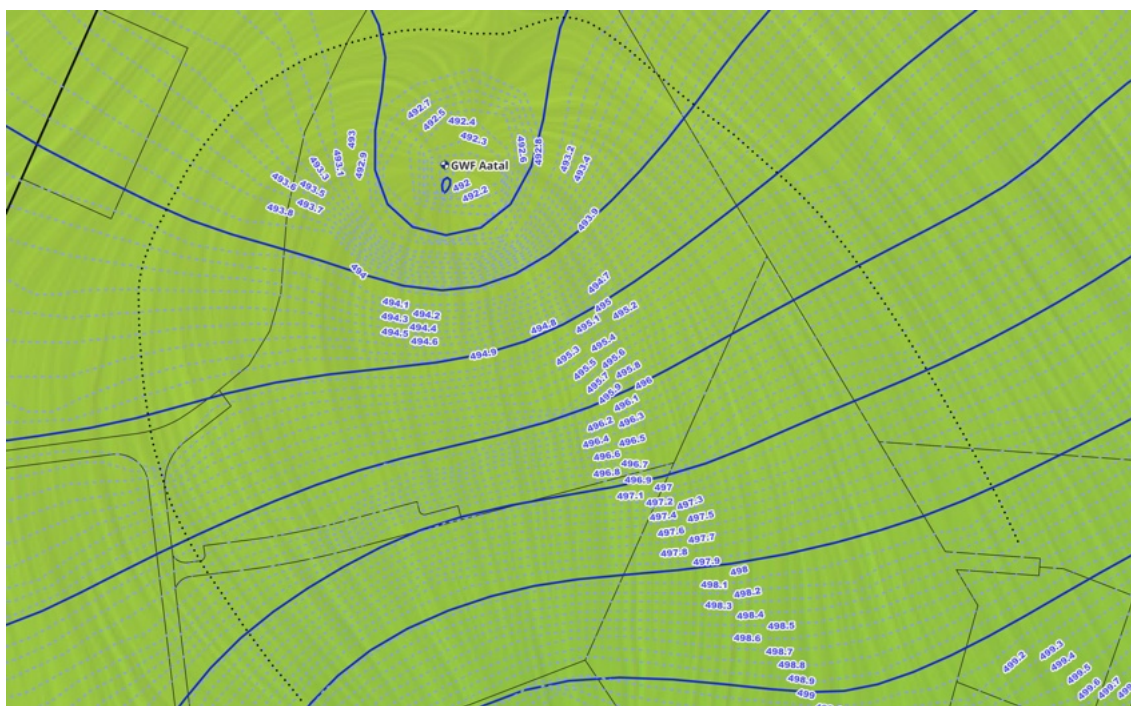


Abb. 14: Schlierendarstellung im Bereich der Grundwasserfassung GWF Aatal. Dargestellt sind die Grundwasserisohypsen der Modellschicht 9 des Referenzmodells, sowie das sich in dieser Modellschicht ergebende Brunneneinzugsgebiet.

4.2 Flurabstände

Die sich aus den Simulationen des Referenzzustandes ergebenden Flurabstände sind in Beilage B3 dargestellt. Die Flurabstände variieren über die Modelldomäne zwischen 0 bis ca. 50 m unter Terrain und sind unregelmässig verteilt. Klare Zusammenhänge sind bei und in der Nähe von aktiven Grundwasserfassungen erkennbar, wo der Flurabstand invers proportional zum Abstand des Förderbrunnens zunimmt. Hingegen finden sich die geringsten Flurabstände entlang der implementierten Oberflächengewässer, gut ersichtlich insbesondere auf der östlichen Uferseite der Lützelburg.

5 1st Szenario

Auf der Basis des zuvor beschriebenen Referenzmodells erfolgte anschliessend die Simulation eines ersten Modellszenarios, bei dem die Grundwasserförderungen entsprechend den Vorgaben der Wasserversorger auf zukünftig notwendige Volumina erhöht wurden. Tab. 3 fasst die im «1st Szenario» implementierten Förderraten zusammen. Zum Vergleich mit den erhöhten Förderraten sind auch die aktuellen Grundwasserentnahmen aufgeführt. Die Förderangaben stammen von den entsprechenden Wasserversorgern.

Tab. 3: Jährliche Fördermengen der vier grossen Grundwasserfassungen im zentralen Bereich der Grundwasservorkommen. Einander gegenübergestellt sind die aktuellen Förderraten (oben) mit den erhöhten, angenommenen Förderraten (unten).

	GWP Ritschberg	Aadorferfeld	PW Auwiesen	GWF Aatal
Referenzmodell				
[m ³ /Jahr]	95'000	60'000	300'000	350'000
1st Szenario				
[m ³ /Jahr]	150'000	100'000	340'000	400'000

Alle Rechenläufe im Modell erfolgten stationär und die Ergebnisse sind einzeln für die obigen Grundwasserfassung präsentiert.

5.1 Potenzialverteilung

Das Grundwasserströmungsfeld wurde für das «1st Szenario» mit den Grundwasserentnahmen aus Tab. 3 berechnet, und anschliessend mit den Ergebnissen des Referenzzustandes verglichen. Aus der Potenzialverteilung ergibt sich das Bild der Schlierendarstellung, im Folgenden zusammen mit den Grundwasserisohypsen für alle vier Grundwasserfassungen im Detail dargestellt.

Eine Übersicht der Potenzialverteilung im zentralen Bereich der Grundwasservorkommen, welche die Grundwasserfassungen Im See/Ritschberg, Aadorferfeld, Auwiesen und Aatal speisen, ist in der Beilage B5 dargestellt.

5.1.1 Ritschberg

Abb. 15 zeigt das Grundwasserströmungsbild aus dem «1st Szenario» mittels der Schlierendarstellung für die Grundwasserfassung Im See/Ritschberg. Aus den Grundwassergleichen lassen sich mittlere Grundwasserströmungsgradienten von 0.1% ableiten. Das

Brunneneinzugsgebiet in dieser Tiefe (Modellschicht 9) erstreckt sich nach Osten und ist brunnennah relativ schlank, weitet sich jedoch weiter östlich aus.

Das sich aus der Erhöhung der Förderraten ergebende Einzugsgebiet deckt sich grösstenteils mit dem Einzugsgebiet des Referenzmodells. Unterschiede ergeben sich i.W. nur im Abstrombereich des Brunnens, wo sich das Einzugsgebiet wenig nach Westen erweitert.

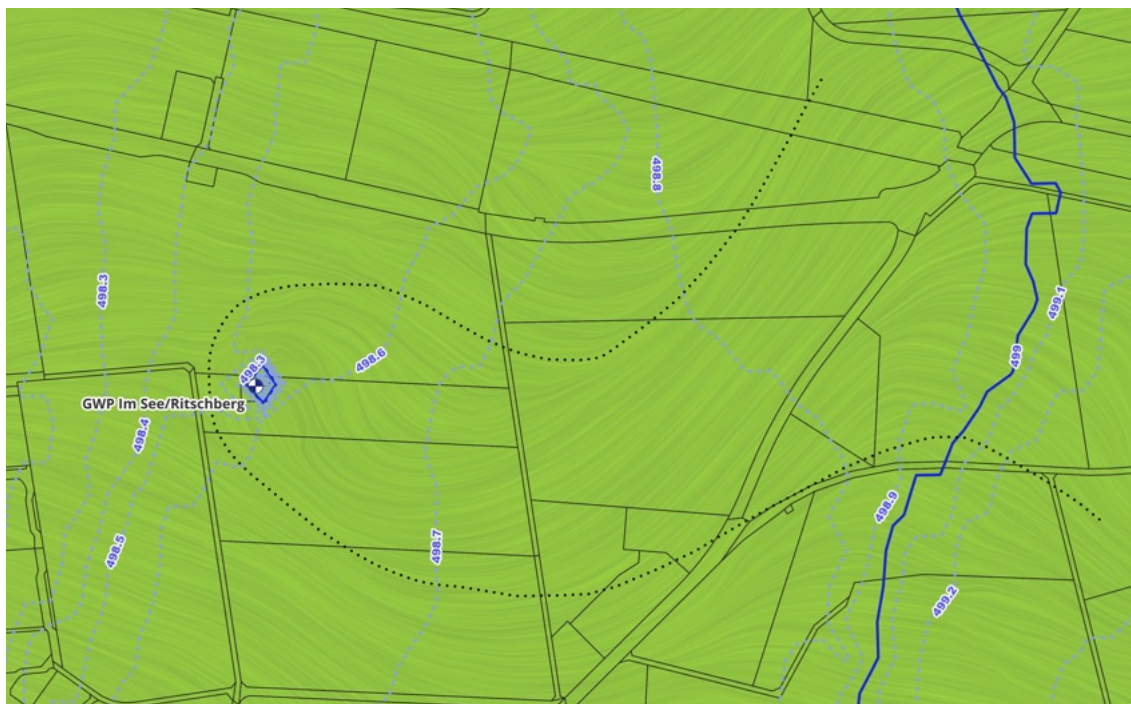


Abb. 15: Schlierendarstellung im Bereich des Grundwasserpumpwerks (GWP) Im See, respektive Ritschberg. Dargestellt sind die Grundwasserisohypsen der Modellschicht 9 des 1st Szenario, sowie das sich in dieser Modellschicht ergebende Brunneneinzugsgebiet.

Eine Darstellung der Potenzialverteilung im Umfeld der Grundwasserfassung Aatal ist in Beilage B4.1 gegeben.

5.1.2 Aadorferfeld

In Abb. 16 dargestellt ist das Grundwasserströmungsbild des «1st Szenario» zur Förderratenhöhung mittels der Schlierenverläufe bei der Grundwasserfassung Aadorferfeld. Aus den Grundwassergleichen lassen sich mittlere Grundwasserströmungsgradienten von 0.4% ableiten. Das Einzugsgebiet in der Modellschicht 9 erstreckt sich relativ schmal nach Südosten. Die Grundwasserströmungsgradienten nehmen von Südosten nach Norden ab, und nur lokal im unmittelbaren Bereich des Brunnens wieder zu.

Im Vergleich zum Referenzmodell vergrössert sich das Einzugsgebiet des Brunnens lateral nach Osten und Westen. Zudem verschiebt sich der untere Kulminationspunkt deutlich nach Norden, sodass das Einzugsgebiet sich entsprechend vergrössert.



Abb. 16: Schlierendarstellung im Bereich der Grundwasserfassung Aadorferfeld. Dargestellt sind die Grundwasserisohypsen der Modellschicht 9 des 1st Szenario, sowie das sich in dieser Modellschicht ergebende Brunneneinzugsgebiet.

Eine Darstellung der Potenzialverteilung im Umfeld der Grundwasserfassung Aadorferfeld ist in Beilage B4.3 gegeben.

5.1.3 PW Auwiesen

Das Grundwasserströmungsbild des «1st Szenario» ist bei der Grundwasserfassung Auwiesen in Abb. 17 mittels der Schlierenverläufe der Modellschicht 8 dargestellt. Aus den Grundwassergleichen lassen sich mittlere Grundwasserströmungsgradienten von 0.7% ableiten. Das Einzugsgebiet erstreckt sich relativ schmal nach Südosten. Die Grundwasserströmungsgradienten nehmen von Südosten nach Norden deutlich ab. Oberflächennah (Modellschicht 3) ändert sich das Strömungsbild leicht, wobei das Brunneneinzugsgebiet sich stärker nach Südwesten erstreckt.

Verglichen mit dem Referenzmodell decken sich die beiden Einzugsgebiete sehr stark. Im Anstrom verschlankt sich das Einzugsgebiet marginal.

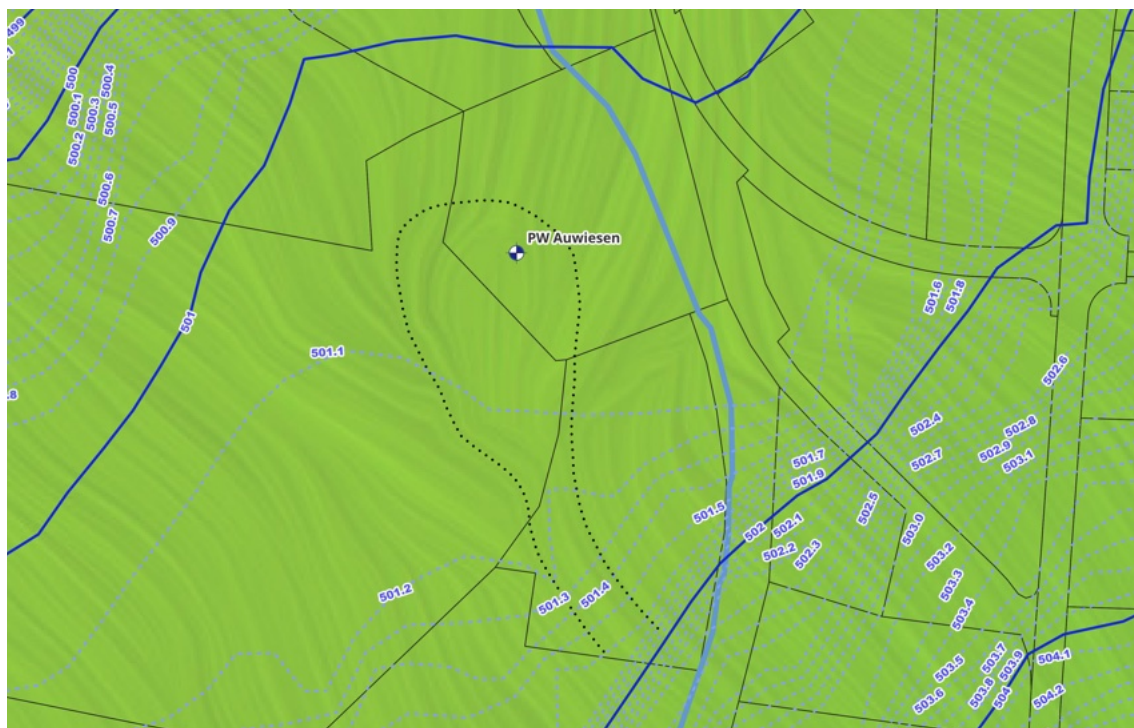


Abb. 17: Schlierendarstellung im Bereich der Grundwasserfassung PW Auwiesen. Dargestellt sind die Grundwasserisohypsen der Modellschicht 8 des 1st Szenario, sowie das sich in dieser Modellschicht ergebende Brunneneinzugsgebiet und der Verlauf der Lützelburg (hellblaue Linie).

Eine Darstellung der Potenzialverteilung im Umfeld der Grundwasserfassung PW Auwiesen ist in Beilage B4.4 gegeben.

5.1.4 GWF Aatal

Abb. 18 zeigt das Grundwasserströmungsbild des «1st Szenario» der Grundwasserfassung Aatal mittels der Schlierenverläufe der Modellschicht 9. Aus den Grundwassergleichen lassen sich mittlere Grundwasserströmungsgradienten von 5.0% ableiten. Das Einzugsgebiet erstreckt grossräumig nach Süden, mit einem unteren Kulminationspunkt ca. 55 m abströmig. Die Grundwasserströmungsgradienten sind relativ regelmässig über das Brunneneinzugsgebiet verteilt.

Das Einzugsgebiet des «1st Szenario» vergrössert sich, verglichen mit dem Einzugsgebiet des Referenzmodells lateral in alle Richtung. Dabei ist eine deutlich stärkere Vergrösserung des Einzugsgebietes nach Westen in Richtung der Lützelburg erkennbar.

Eine Darstellung der Potenzialverteilung im Umfeld der Grundwasserfassung Aatal ist in Beilage B4.2 gegeben.