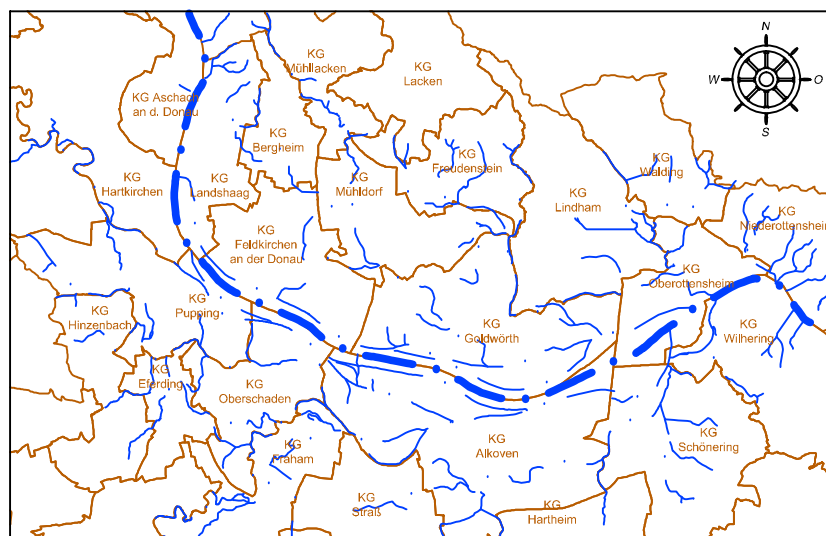


DONAU

Hochwasserschutz Eferdinger Becken

Generelles Projekt



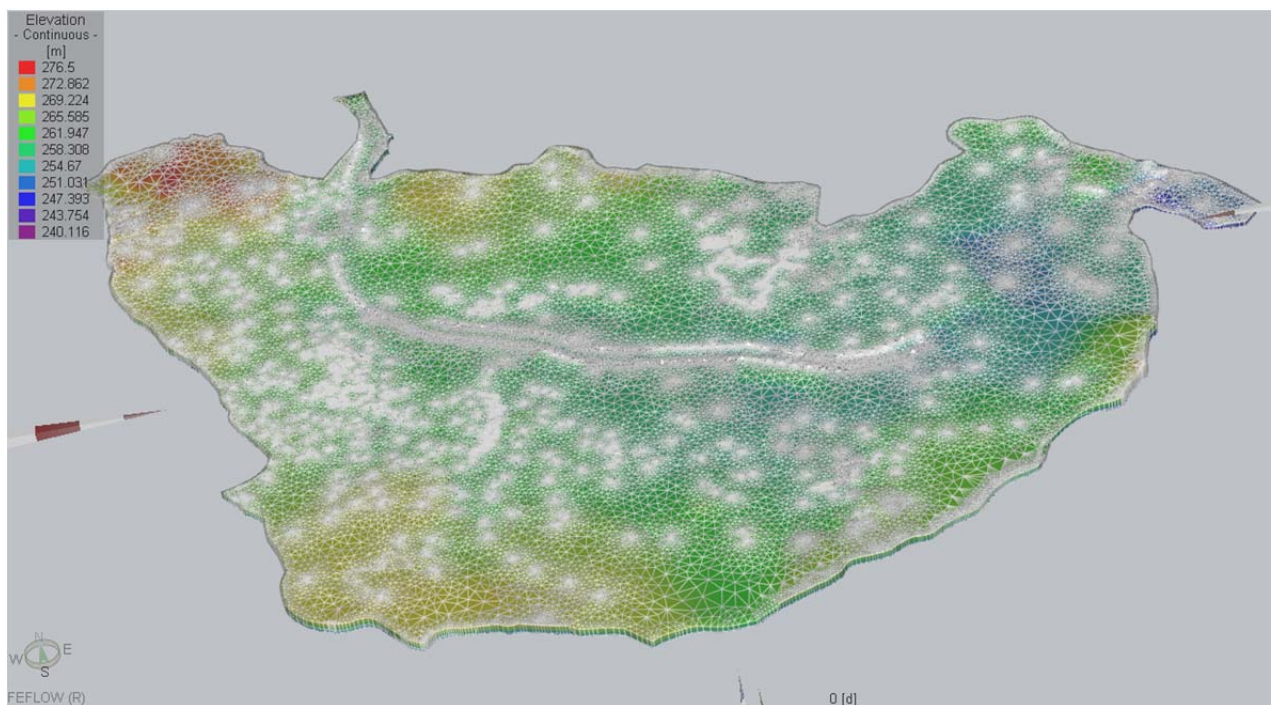
Änderung	Datum	Art der Änderung		Zustimmung
PROJEKTANT ziviltechnikergmbh, niederlassung salzburg franz-josef-straße 19, 5020 salzburg tel. +43 (0)662 90 90 30-0 fax +43 (0)662 90 90 30-20		GZ	2014063	Im Einvernehmen mit dem Amt der OÖ Landesregierung Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft Gruppe Schutzwasserwirtschaft
		BEARBEITET		
		GEZEICHNET		
		GEPRÜFT	RC	
		DATEINAME		
		DATUM	August 2017	
PLANINHALT GRUNDWASSERMODELL Bericht				
		PLANNUMMER A-04.1		

DONAU

HOCHWASSERSCHUTZ EFERDINGER BECKEN

Hydrogeologisches 3D-Strömungsmodell

BERICHT



Inhalt

1	Aufgabenstellung	4
2	Grundlagen	5
2.1	Verwendete Unterlagen	5
2.2	Geologie	6
2.3	Wasserschutz-, Wasserschon- und Naturschutzgebiete im Eferdinger Becken	6
2.4	Grundlagen	7
2.4.1	Grundwassermessstellen	7
3	Grundwassermodell	10
3.1	Modellsoftware	10
3.2	Geometrischer Modellaufbau	10
3.3	Modellausdehnung	11
3.4	Modellunterkante	11
3.5	Modelloberkante	12
3.6	Einbauten im bestehenden Modell	12
3.7	Einbauten des Projektes	13
3.8	Geologisch bedingte Lücken im Modell	14
3.9	Mesh generator / Grid builder	14
4	Randbedingungen	15
4.1	Dirichlet - Randbedingungen	15
4.2	Grundwasserentnahmen	15
4.3	Grundwasserneubildungsrate	16
4.4	Infiltrationen aus Oberflächengewässern	16
4.5	Lateraler Zustrom	17
4.6	Grundwasserbilanz	18
5	Modell - Kalibrierung	19

5.1	Zonen.....	19
5.2	Hydraulische Leitfähigkeit, kf-Wert.....	20
5.3	Effektive Porosität n_e	21
5.4	Messstellen.....	21
5.4.1	Problematische Messstellen.....	23
5.4.2	Zur Kalibration nicht verwendete Messstellen.....	25
6	Simulation.....	28
6.1	Simulationsdaten	28
6.2	Eingabedaten.....	29
6.3	Zu den Simulationen nicht verwendete Messstellen	30
7	Ergebnisse	31
7.1	Ergebnisse der Kalibrierung	31
7.2	Ergebnisse der Simulationen für den Ausbauzustand	32
8	Diskussion	36
9	Möglichkeiten um die Genauigkeit des Modells und die Aussage zu verbessern	36
I.	Abbildungsverzeichnis.....	37
II.	Tabellenverzeichnis.....	38

Hydrogeologisches Modell Eferdinger Becken - Bericht

1 Aufgabenstellung

Im Zuge der geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen im Eferdinger Becken an der Donau ist auch ein 3D-Grundwasserströmungsmodell gefordert. Die Erstellung eines Grundwasserströmungsmodells soll nach der inversen Kalibration die Grundlage für Vergleichssimulationen im Eferdinger Becken liefern. Die zu vergleichenden Zustände (Ist- und Projektzustand) sind zum einen der ungestörte und zum anderen der, durch Hochwasserschutzmaßnahmen, veränderte Zustand. Das Modell soll mit vorhandenen Grundwasserständen simuliert und die Differenzen dargestellt werden.

Auftraggeber:

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Aufgabenbereich Oberflächengewässermanagement

Abteilung Oberflächengewässermanagement, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft

Kärntnerstraße 10 - 12

4020 Linz

Auftragnehmer:

WernerConsult ZT GmbH

Franz Joseph Strasse 19/10

5020 Salzburg

salzburg@wernerconsult.at

Ansprechpartner:

Reinhard CARLI

r.carli@wernerconsult.at

2 Grundlagen

2.1 Verwendete Unterlagen

- [U1.] Geologische Grundlagenstudie für Teilbereiche des Eferdinger Beckens, Boden und Baustoffprüfanstalt, 2014
- [U2.] Grundwasserschongebiet „Nördliches Eferdinger Becken“, Land Oberösterreich, 2014
- [U3.] Grundlagenoperat Eferdinger Becken Süd, Thürriedl&Mayr,
- [U4.] GW-Modell_Aschacher Au_Moser-Jaritz, 2005
- [U5.] Auswirkungen des wasserwirtschaftlichen Vorrangflächenkonzeptes auf mögliche Grundwassergewinnungsanlagen im südlichen Eferdinger Becken, Thürriedl & Mayr, 1998
- [U6.] Geologische Karte 1:200 000, Geologische Bundesanstalt, 1959
- [U7.] Grundwasseralter ausgewählter Grundwasserkörper, 2010-2014, Eferdinger Becken, Hügelland Rabnitz, Ikvatal, Inntal, Seewinkel, Stremtal, Südl. Wr. Becken, Tullner Feld, Unteres Murtal, Vöckla-Ager-Traun-Alm, Weinviertel, BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, 2014
- [U8.] Grundwasseralter in Österreich, mittlere Verweilzeiten in ausgewählten Grundwasserkörpern, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2015
- [U9.] Ergebnisbericht, Bestandsaufnahme gemäß Artikel 3 und 5 WRRL, Erstellung von Karten, Tabellen und Texten, Umweltbundesamt GmbH, 2005
- [U10.] Regionalisierung Wasserwirtschaftlicher Daten – Beschreibung des Mengenmäßigen Zustandes von Grundwasserkörpern, O. Vollhofer und M. Samek,
- [U11.] Bodenerkundungsprogramm für den Hochwasserschutz im Eferdinger Becken, Jänner, Februar 2017, im Auftrag des Amtes der oö Landesregierung, Abteilung Oberflächengewässerwirtschaft

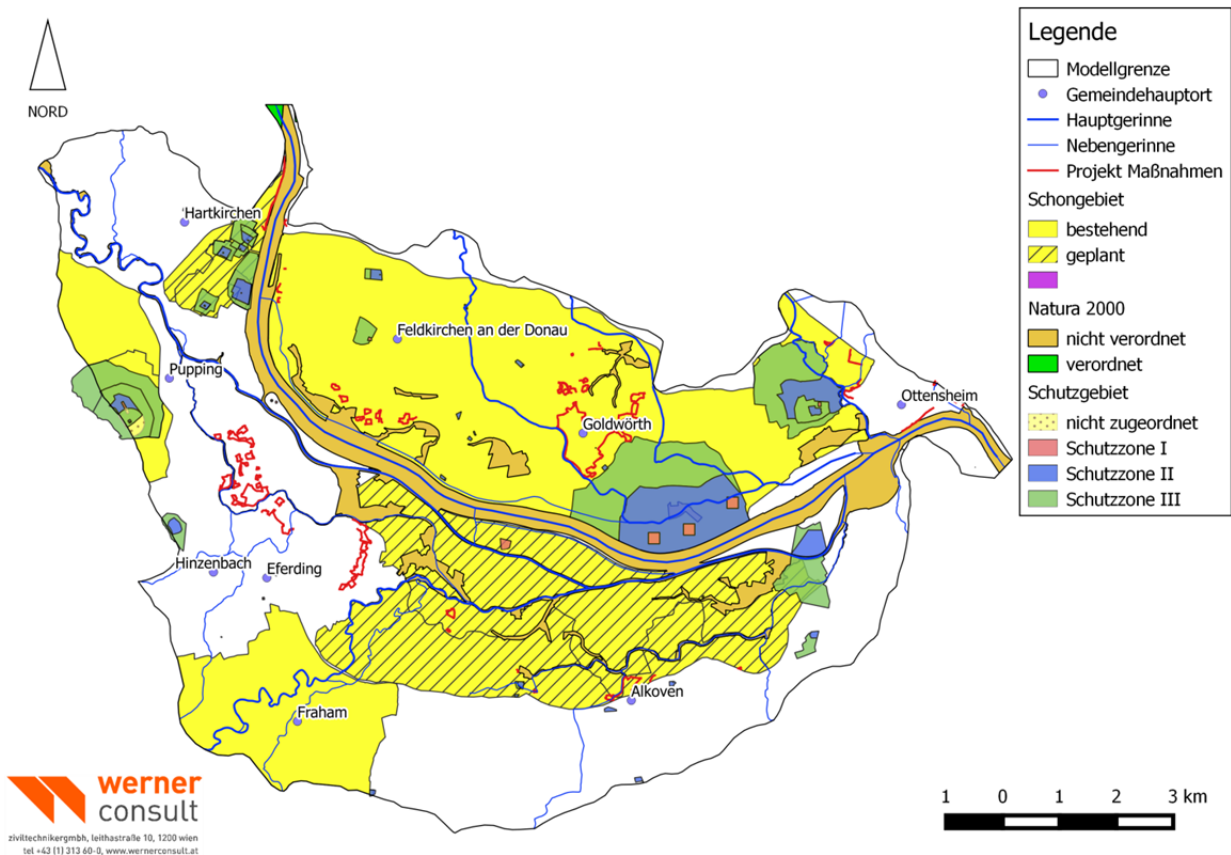


Abbildung 2: Lage der Wasserschutz-, Wasserschon- und Naturschutzgebiete im Eferdinger Becken

2.4 Grundlagen

2.4.1 Grundwassermessstellen

Für das Modell wurden 85 Grundwassermessstellen mit einer unterschiedlichen zeitlichen Datendichte verwendet. Die Lage dieser ist in Abbildung 12 und die Grundwasser- und Flusswasserstände zwischen 01.01.2006 und 31.12.2015, sind in Abbildung 3 dargestellt.

In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass manche Grundwassermessstellen stärker auf die Veränderungen der Flusswasserstände reagieren als andere. Dies deutet auf Infiltrationen in den jeweiligen Gebieten hin.

Abbildung 4 zeigt die genullten Grund- und Flusswasserstände der Messstellen im selben Zeitraum. Zu den Flusswasserständen wurden 5m addiert, um sie von den Grundwassermessstellen abzuheben. Neben dem Druck wird in 6 Grundwassermessstellen und 3 Flusswassermessstellen die Temperatur aufgezeichnet. Die Lage dieser Messstellen ist in Abbildung 6 dargestellt. Die beobachteten Flüsse sind die Große Rodl, der Pesenbach und die Donau. Die Flüsse schwanken jährlich zwischen 19°C und 0.5°C. Die Donau ist der wärmste Fluss und der Pesenbach der kälteste. Die GW-Messstellen, wie in Abbildung 5 gezeigt, schwanken, mit Ausnahme von 378810 und 306712, zwischen 12°C und 8.5°C ca. 6 Monate verzögert zu den Oberflächengewässern. Die Messstelle 306712 weist eine deutlich stärkere Schwankungsbreite auf. Die maximalen Werte liegen bei 14°C und die minimalen bei 6°C. Die Messstelle liegt am Himmelreichgraben und wird wahrscheinlich durch diesen beeinflusst. Die Maxima und Minima folgen den Oberflächengewässern mit einem ca. 3 monatigen Abstand. Die Grundwassermessstelle

378810 dürfte in direktem Kontakt mit der Aschach stehen. Die maximalen Werte übersteigen die der Donau und die minimalen liegen bei 4°C.

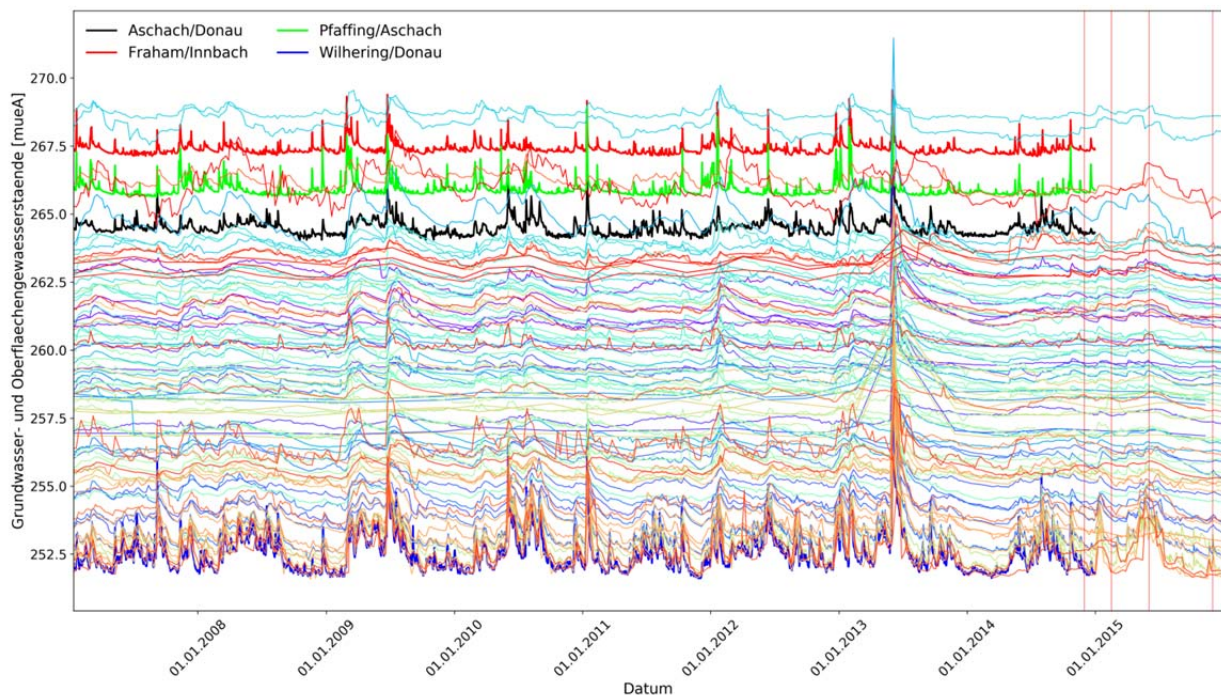


Abbildung 3: Grundwasser- und Flusswasserstände der Messstellen zwischen 01.01.2006 und 31.12.2015. Die roten Linien zeigen die Simulationsdaten. (Quelle: LandOÖ, ViaDonau)

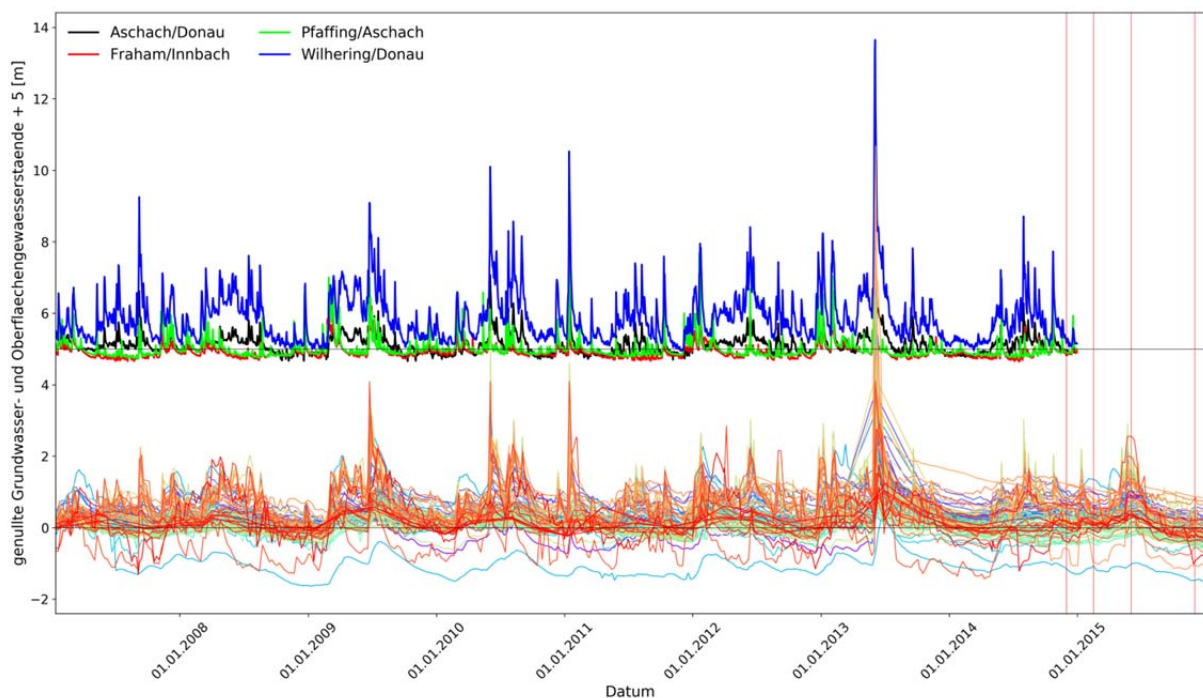


Abbildung 4: Genullte Grundwasser- und Oberflächenwasserstände der Messstellen zwischen 01.01.2006 und 31.12.2015. Die roten Linien zeigen die Simulationsdaten. Zu den genullten Oberflächenwasserständen wurden 5m addiert. (Quelle: LandOÖ, ViaDonau)

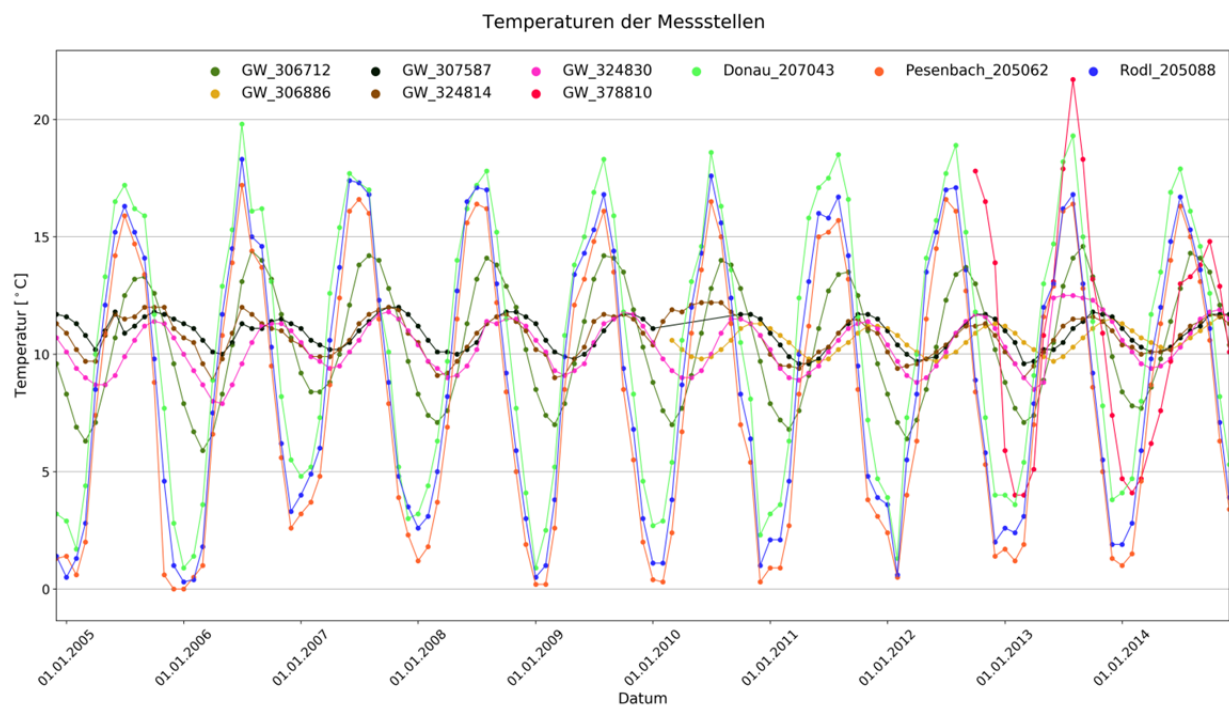


Abbildung 5: Ganglinien der Temperaturen der Grundwasser- und Oberflächengewässer-Messstellen von 30.11.2004 bis 31.12.2014 (Daten von <http://ehyd.gv.at/>)

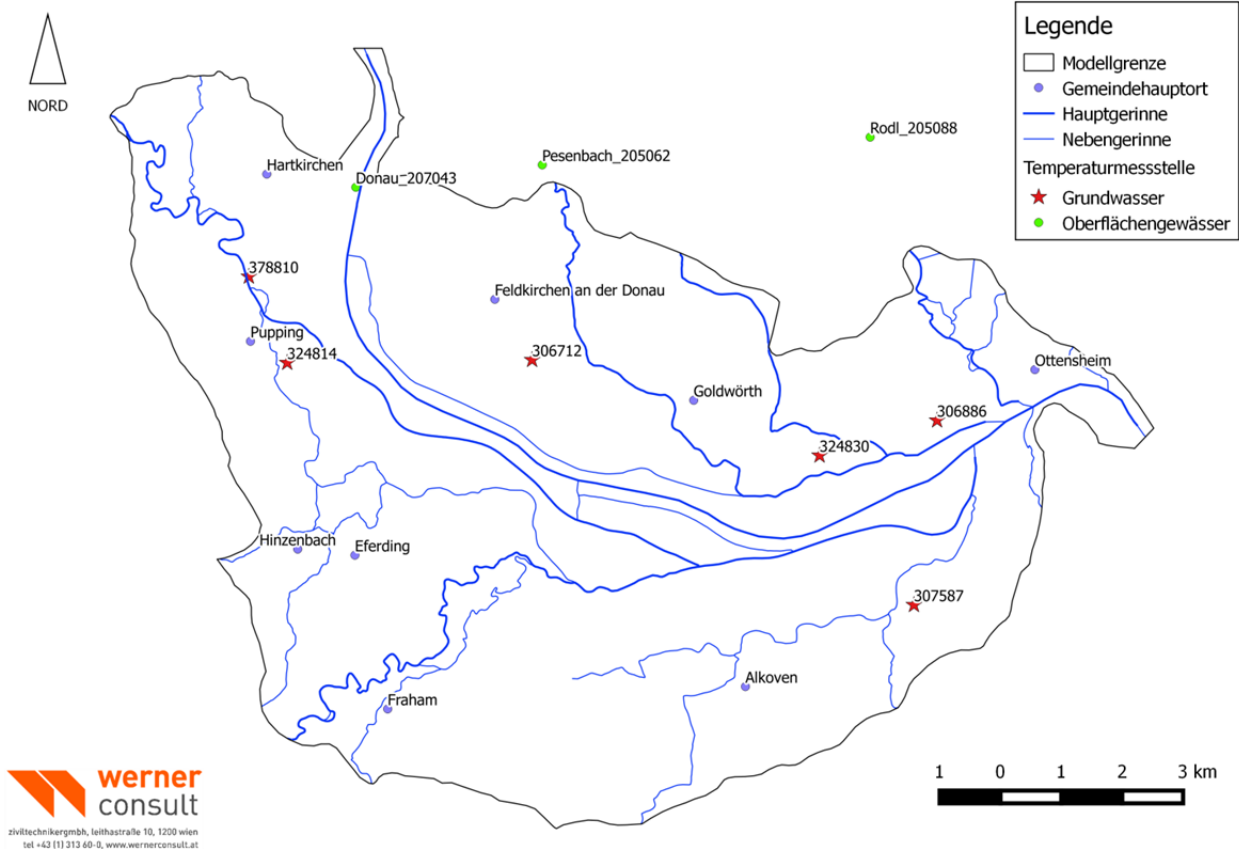


Abbildung 6: Lage der Temperaturmessstellen

3 Grundwassermodell

3.1 Modellsoftware

Zur Erstellung des 3D-Modells wurde FeFlow 7.0 der Firma WasyDHI GmbH, Berlin verwendet.

3.2 Geometrischer Modellaufbau

In Abbildung 7 ist der generelle, lagenweise Modellaufbau dargestellt und in der Tabelle 1 sind die allgemeinen Modelldaten angegeben.

Hydraulisches Grundwassermodell: Eferdinger Becken

Elemente:	1 609 095	[-]		
Knoten:	1 075 644	[-]		
Fläche:	122 141 591	[m ²]	122.1	[km ²]
Volumen:	794 029 717	[m ³]	0.79	[km ³]

Durchschnittliche Mächtigkeit:	6.50	[m]	(berechnet)	
--------------------------------	------	-----	-------------	--

Tabelle 1: allgemeine Modelldaten

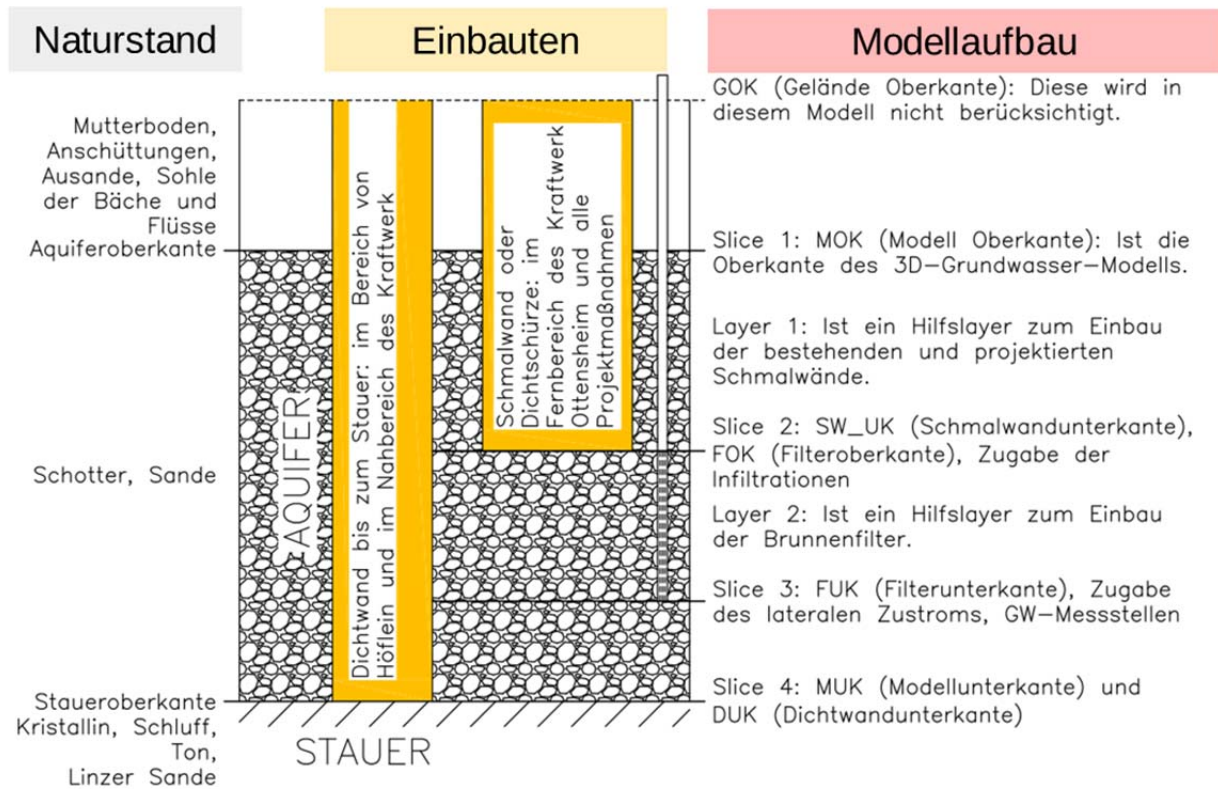


Abbildung 7: Systematischer Aufbau des Modells

3.3 Modellausdehnung

Die Ausdehnung des Eferdinger Aquifers wurde von <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/> herunter geladen und im Nordwesten um den Donaubereich bis 500 m flussabwärts vom KW-Aschach erweitert, um die Maßnahme in Aschach an der Donau geplante Hochwasserschutzmaßnahme zu implementieren. Im Osten wurde ein Teil im Bereich der Donau hinzugefügt um weitere Bohrpunkte verwenden zu können. Verwendet wurden die *Projektgebiete.shp* (<https://www.land-oberoesterreich.gv.at/>) und die Geologische Karte 1:20000 (<https://www.land-oberoesterreich.gv.at/>) um die lateralen Grenzen des Modellgebietes zu erstellen.

3.4 Modellunterkante

Die Daten zur Erstellung der Modellunterkante wurden aus Berichten, Bohraufschlüssen und sonstigen Informationen entnommen. Die Grundlage zur Unterseite lieferte Breiner (1979). Diese wurden erweitert um die Daten aus:

- dem Modell der LinzAG

- den Bohrdaten aus GeoloGIS
- einzelnen Bohraufschlüssen aus dem Landesarchiv Linz
- dem Dammbau in Höflein
- dem Kraftwerksbau in Willhering/Ottensheim
- dem Kraftwerksbau in Aschach an der Donau
- dem Bodenaufschlussprogrammes Jän/Feb. 2017

Die Längsschnitte der Kollaudierungspläne der Schmalwände rund um den Kraftwerksbau Willhering/Ottensheim wurden digitalisiert. Als Modellunterkante wurden die Schlieroberkanten aus den Längsschnitten digitalisiert und als Dichtwand die Schmalwandunterkanten. Das Donaukraftwerk Aschach liegt ca. 500 m flussaufwärts vom Modellgebiet. Die aus dem Talquerschnitt gewonnenen Daten wurden mit einem Gefälle von 0,1% bis zum Modellrand extrapoliert.

Die Bohrdaten der Erkundungskampagne wurden anhand der Bohrprofile ausgewertet. Die fehlenden Geländeoberkanten wurden aus dem Laserscan mit 1m Raster ausgelesen. Anschließend wurde die relative Stauertiefe der jeweiligen Punkte von der Geländeoberkante abgezogen und ausgegeben.

3.5 Modelloberkante

Als Modelloberkante wurde die Oberkante des Aquifers gewählt. Somit ist die Mächtigkeit und genau Lage der Überlagernden Ausande unnötig. Falls es in diesen Bereichen auch zu einem gespannten Grundwasser kommen sollte wird dieses auch durch das Modell abgebildet, weil nach oben ohnehin eine *NoFlow-Boundary* herrscht. Die Modelloberkante wurde analog zur Modellunterkante unter zu Hilfenahme verschiedenster Bohraufschlüsse, Berichte und Modellen erstellt. Zusätzlich wurden noch die, fürs Oberflächenmodell vermessene, Flusssohlen im Abstand von ca. 200 m als Aquiferoberkante ausgelesen und implementiert.

3.6 Einbauten im bestehenden Modell

Auf Grund von Aufzeichnungen wurden folgende bestehende Einbauten, welche in Abbildung 8 dargestellt sind, im Modell berücksichtigt.

Stauraum KW Ottensheim / Wilhering

Flussaufwärts vom Donaukraftwerk Ottensheim befinden sich links- und rechtsufrig Schmalwände als Abdichtung des Kraftwerksstauraumes. Im Nahbereich des Kraftwerkes reichen diese bis zum Stauer und weiter flussaufwärts sind sie als Dichtschürzen ausgeführt und reichen bis in den Aquifer. Die Tiefen wurden aus Kollaudierungsplänen der VerbundAG digitalisiert.

Hochwasserschutzdamm Ottensheim (Schlossdamm)

Im Bereich von Ottensheim/Höflein befindet sich ein Damm welcher mit einer Dichtwand bis zum Stauer ausgestattet ist.

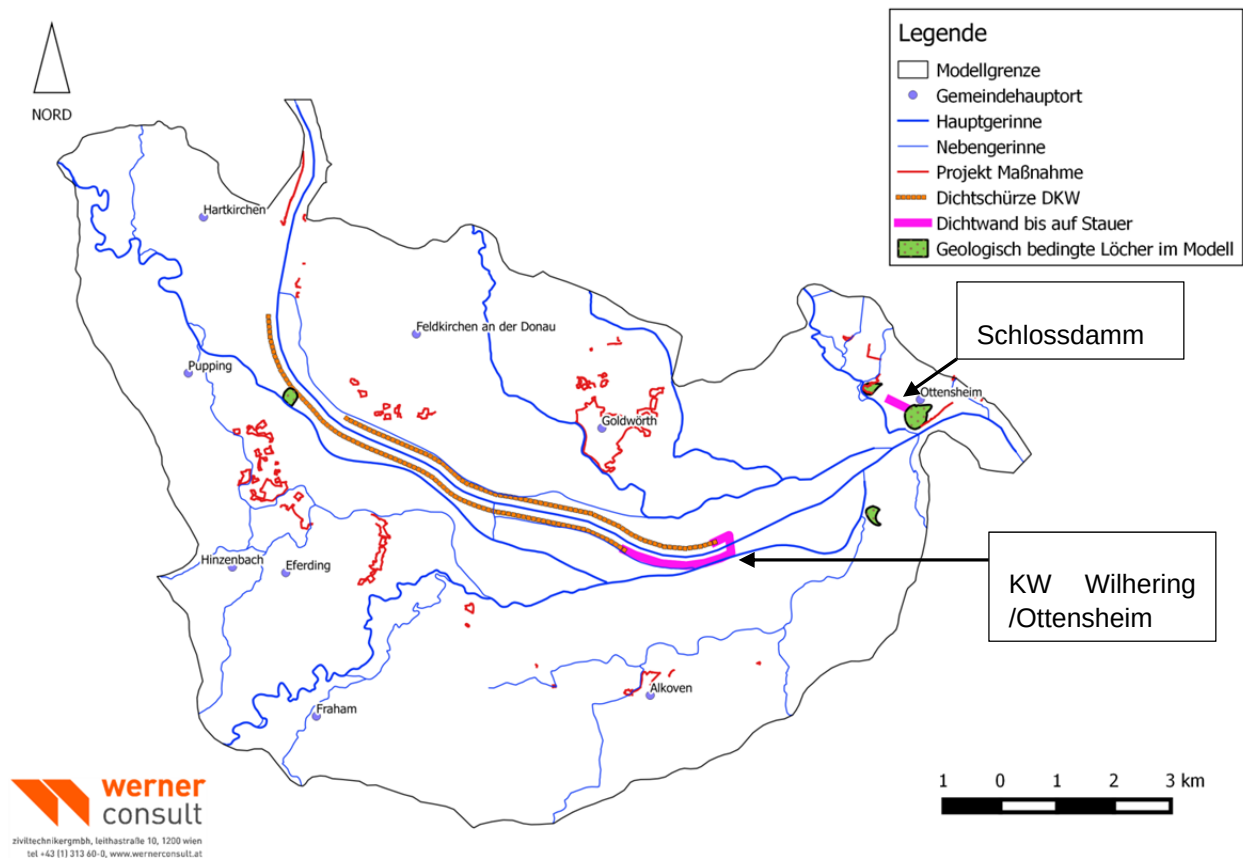


Abbildung 8: Einbauten des Projektes und des Bestandes

3.7 Einbauten des Projektes

Die Einbauten (Abdichtungsmaßnahmen der Hochwasserschutzbauwerke) sind in Abbildung 8 als rote Linien dargestellt und wurden als 40 cm breite Elemente ins Netz eingebaut, welche während der Kalibration als aktive Elemente kalibriert wurden. Bei den Bestands-Simulationen wurden diese Elemente auf *aktiv* gestellt. Während der Projekt-Simulationen wurden diese Elemente auf *inaktiv* gestellt, inaktiv bedeutet nicht durchströmbar.

Die Unterseite der Abdichtungsmaßnahmen wurde aus den geologischen Längenschnitten für die Gemeinden

- Ottensheim
- Goldwörth
- Aschach an der Donau
- Fraham
- Alkoven

entnommen.

Da für die Gemeinden

- Feldkirchen an der Donau
- Walding

- Papping
- Eferding

kein geologisches Erkundungsprogramm durchgeführt wurde, wurde die Unterkante in Abhängigkeit der Maßnahmenhöhe wie in Tabelle 2 dargestellt festgelegt, wobei diese Einbindetiefe aus jenen Bereichen übernommen wurde, wo mittels 1d Umströmungsberechnungen auf Grundlage der bereits ausgeführten Bodenerkundung eine Bemessung der Einbindetiefe durchgeführt wurde. Die Ergebnisse wurden sozusagen von den Gemeinden mit Bodenerkundung auf die Gemeinden ohne Bodenerkundung übertragen.

Maßnahmenhöhe [m]	Einbindetiefe [m]
< 0.5	5.0
0.5 bis 1.0	7.5
>1.0	10.0

Tabelle 2: Einbindetiefe abhängig von der Maßnahmenhöhe.

Die Einbauten wurden als *Shape-Datei* ins *Super-Mesh* eingespielt und bei der Erstellung des Netzes berücksichtigt. Viele der Schmalwände hatten jedoch eine zu feine Struktur für das Netz und wurden händisch in das Netz eingearbeitet.

3.8 Geologisch bedingte Lücken im Modell

Modelllücken sind dort vorhanden, wo sich ein undurchströmbarer Bereich befindet. Zwei dieser Lücken bestehen aus Perlgneis und befinden sich im Bereich von Ottensheim und Höflein. Eine weitere Lücke befindet sich in Fall bei der Einmündung des Ofenbaches in den Innbach am rechten Ufer des Innbaches. Es handelt sich hierbei ebenfalls um einen Perlgneis. Die vierte Lücke befindet sich am rechten Donauufer beim Gasthof Dieplinger. Bei dieser Lücke handelt es sich um einen Feinkorngranit.

Die Geometrie dazu stammt aus der *GEOLOGIE20.shp*, welche von <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/> herunter geladen wurde und auf die vier Lücken reduziert wurde. In *Feflow 7.0* lässt sich kein Modell mit Lücken erstellen, deshalb wurde zuerst das Modell erstellt und die Volumenkörper der Modelllücken danach auf *inaktive* gestellt.

3.9 Mesh generator / Grid builder

Das *Supermesh* setzt sich aus folgenden *Shape-Dateien* zusammen:

- Erweiterte Umgrenzung
- Grundwasserentnahmen
- GW – Beobachtungsmessstellen
- Schmalwände des Donaukraftwerks Ottensheim/Willhering und Höflein
- Lücken durch Festgesteine bis zur Oberfläche
- Gewässernetz
- aktuelle Maßnahmen

4 Randbedingungen

Randbedingungen sind bei stationären Simulationen immer fixe Werte. Bei instationären Simulationen können sowohl fixe Werte als auch Zeitreihen verwendet werden. Bei einem hydraulischen Strömungsmodell gibt es vier Arten von Randbedingungen:

- Die *Dirichlet-Randbedingung* ist eine Randbedingung der 1. Ordnung. Diese wird für fixe Grundwasserspiegel verwendet. Über diese Randbedingung kann Wasser ins Modell und aus dem Modell fließen um den Wasserspiegel zu halten.
- Die *Neumann-Randbedingung* ist eine Randbedingung der 2. Ordnung und über diese kann ein bekannter Volumenstrom durch eine Fläche ins Modell implementiert werden.
- Die *Cauchy-Randbedingung* ist eine Randbedingung der 3. Ordnung und eine kombinierte Randbedingung. Sie gibt einen wasserspiegelabhängigen Volumenstrom an. Diese wird bei Infiltrationen und Leckagen verwendet. Man benötigt dazu den Wasserspiegel und den kf-Wert der Kolmationsschicht. Die Temperatur als zusätzlicher Parameter macht die Randbedingung genauer.
- Die 4. Randbedingung entspricht eigentlich der 2. Randbedingung mit dem Unterschied, dass der Volumenstrom in einem Netzknoten zugegeben oder entnommen wird. Diese wird für Brunnen, laterale Zuströme und auch Infiltrationen verwendet. Hierbei sind kein Wasserspiegel, keine Temperatur und auch kein kf-Wert der Kolmationsschicht notwendig. Bei bekannter Infiltrationsrate kann diese einfach auf die verwendeten Netzknoten aufgeteilt werden.

4.1 Dirichlet - Randbedingungen

Die Randbedingungen der 1. Ordnung wurden in folgenden Bereichen, wie in Tabelle 3 aufgelistet und in Abbildung 12 dargestellt, gesetzt. Die Höhen wurden in Abhängigkeit von benachbarten Grundwassermessstellen berechnet.

Bereich der RB	Abhängig von den Messstellen	Höhe bei Kalibrierung [müA]
Donau West	307082, 307140, 374470, 306571	265.46
Aschach	374876, 374850, 307165, 378810	267.67
Donau_Ost	374314, 374298, 374330, 374678	248.98
Große Rodl	307033, 374314, 306928, 306910	258.06
Innbach	307355, 307389, 307371, 307462	262.53
Pesenbach	306670, 307066, 307074	260.47

Tabelle 3: Randbedingungen der 1. Ordnung, Lage, Abhängigkeiten und Höhen zur Kalibrierung

4.2 Grundwasserentnahmen

Bei Grundwasserentnahmen von denen nur die Konsensmenge bekannte war und es sich um Trinkwasserentnahmen handelt wurden angenommen, dass 50% der Konsensmengen auch tatsächlich entnommen werden.

Bei Brunnenanlagen von Firmen wurde ein Anteil von 75% der Konsensmenge als Entnahme im GW Modell angesetzt. Manche Firmen gaben die tatsächlichen Entnahmen bekannt, welche verwendet wurden.

4.3 Grundwasserneubildungsrate

Die Grundwasserneubildungsrate wurde anhand des Jahresdurchschnittsniederschlags der Messstellen Aschach ($812 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$), Eferding ($819 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$), Goldwörth ($774 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$) und Ottensheim ($843 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$) ermittelt.

Die Daten wurden von <http://ehyd.gv.at/> zur Verfügung gestellt. Multipliziert wurde der Jahresdurchschnittsniederschlag mit der Grundwasserneubildungsrate (20%) nach Vollhofer O und Samek M.

Nach der Berechnung der Grundwasserbilanz vom 01.12.2014 wurde dieser Wert auf 15% nach unten korrigiert. Somit wurde die Grundwasserneubildungsrate in dem Gebiet von $162,4 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ auf $122 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ verringert.

4.4 Infiltrationen aus Oberflächengewässern

Im Modellgebiet wurden folgende Infiltrationsraten der Oberflächengewässer, wie in Tabelle 4 dargestellt, berücksichtigt. Die Positionen der Zugaben der Infiltrationen in das Modell sind in Abbildung 9 dargestellt. Da es, abgesehen von der Donau, keine Daten über die Infiltrationszonen gibt wurden die Infiltrationsmengen auf die Länge der Gerinne aufgeteilt.

Die Infiltrationsraten im Winter, also zum Kalibrierungszeitpunkt, werden als 75% der normalen Infiltrationsraten auf Grund der temperaturbedingten Viskosität des Wassers, welche die Infiltrationsrate beeinflusst, angenommen.

Die Temperatur der Donau schwankt zwischen ca. 4°C und knapp unter 20°C , was einer dynamischen Viskosität von 1.04 bzw. 1.54 entspricht. Die Dichte unterdessen ändert sich kaum, weshalb man die Infiltration von der dynamischen Viskosität direkt abhängig machen kann.

	Infiltrationsrate		Infiltrationsrate Winter		Quelle:
Gewässername	$[\text{l} \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}]$	$[\text{l} \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}]$	
Aschach	160	13824	120	10368	Grundwassersanierungsgebiet Südliches Eferdinger Becken
Donau West	150	12960	112.5	9720	Breiner 1979
Freudensteiner Bach	90	7776	67.5	5832	Beuerle 1980
Große Rodl	100	8640	75	6480	Beuerle 1980
Innbach	140	12096	105	9072	Grundwassersanierungsgebiet Südliches Eferdinger Becken
Pesenbach	100	8640	75	6480	Bericht: Schongebiete N_EFB, GUT

					2014
Donau_LinzAG	141	12211	106	9158	Berechnet auf Grund der Förderleistung der Brunnenanlage 1
Summe	881	76147	661	57110	

Tabelle 4: Oberflächengewässer, deren Infiltrationsraten und Quellen

4.5 Lateraler Zustrom

Der laterale Zustrom wurde mittels *DETAILEINZUGSGEBIETE.shp*, welche von <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/> zur Verfügung gestellt wurde, und in Abbildung 9 dargestellt ist, berechnet. Die Gebiete außerhalb des Modelgebietes wurden mit der Grundwasserneubildungsrate multipliziert und als Brunnen dem Modell zugegeben, wobei die Gebiete teilweise zusammengefasst wurden.

Die Gebiete im Bereich Donau–West und Donau–Ost wurden bis zur Modellgrenze verkleinert. Auch hier wird die Grundwasserneubildungsrate von $122 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ angenommen. Allerdings muss diese, um als Randbedingung der 4. Ordnung verwendet werden zu können, umgewandelt werden.

Der Zustrom pro Netzpunkt beträgt, allgemein formuliert:

$$q_i = \frac{A_i * GWN}{n}$$

q_i	Zustrom pro Teil-EZG	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot n]$
A_i	Teileinzugsgebiet	$[\text{m}^2]$
GWN	Grundwasserneubildungsrate	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
n	Anzahl der Knotenpunkte	$[-]$

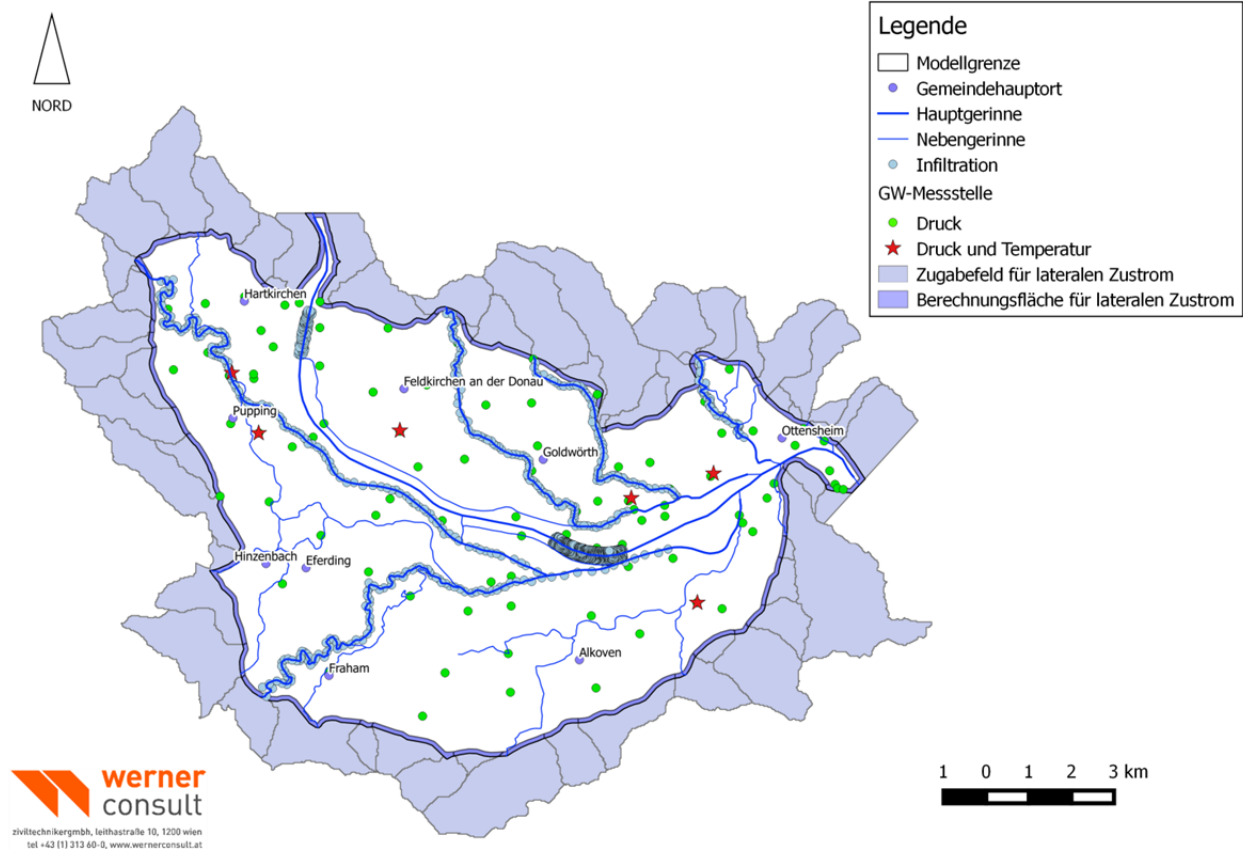


Abbildung 9: Lateraler Zufluss: Berechnungsgebiete und Zugabezonen (Datengrundlage: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/>)

4.6 Grundwasserbilanz

Die Grundwasserbilanz, wie in Tabelle 5 dargestellt, beinhaltet die Summen und Raten der Zugaben und Entnahmen des Modells zum Kalibrierungszeitpunkt (01.12.2014 12:00 Uhr). Die verwendeten Werte sind zum Teil berechnet und zum Teil aus der Literatur entnommen.

Ursache	Menge / Rate [$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$]	
Lateraler Zustrom	28 040.00	Berechnet über Detail-EZG
Neubildung	40 730.00	15% vom Jahresniederschlag
Infiltration	57 110.00	Aus den Gerinnen
Ausfluss	-6 887.00	Berechnet am Modellauslauf
Brunnen	-118 306.00	Aus gelieferten Daten
Differenz	687.00	0.5%

Tabelle 5: Grundwasserbilanz, 01.12.2014 12:00 Uhr

5 Modell - Kalibrierung

5.1 Zonen

Der Aquifer wurde auf Grund von bekannten Ergebnissen aus kf-Wert Ermittlungen durch Pumpversuche in 6 verschiedenen Zonen eingeteilt. Diese Zonen und ihre Kennwerte sind in Tabelle 6 und in Abbildung 10 dargestellt. Die Anmerkung *init* steht für den Startwert und *u* und *o* für die Unter- bzw. Obergrenze.

Die Spalte Pilot Points zeigt wieviel Pilot Points in dem Gebiet verwendet werden. An diesen teils fiktiven Punkten wird der Parameter während der Parameterschätzung geändert und zwischen ihnen werden die Werte interpoliert. Einige der Pilot Points, wie in Abbildung 11 dargestellt, sind durch Pumpversuche bestimmt und wurden bei der Kalibration mit unveränderlichen Werten belegt.

kf-horizontal	kf _{init} [m*d ⁻¹]	kf _o [m*d ⁻¹]	kf _u [m*d ⁻¹]	ne _{init} [-]	ne _o [-]	ne _u [-]	Pilot Points
Kal_B_Donau	1000	5000	100	0.26	0.33	0.16	108
Kal_B_Aschach	25	75	1	0.10	0.14	0.01	48
Kal_B_Ottensheim	25	100	0.1	0.10	0.16	0.01	30
Kal_B_EFB_Sued	350	2000	10	0.21	0.29	0.05	174
Kal_B_EFB_Nord	350	2000	40	0.21	0.29	0.12	105
Kal_B_Donau_1000m	500	3000	100	0.23	0.31	0.16	60
kf-vertikal	kf _{init} [m*d ⁻¹]	kf _o [m*d ⁻¹]	kf _u [m*d ⁻¹]		Summe:		525
Kal_B_Donau	100	500	10				
Kal_B_Aschach	2.5	7.5	0.1				
Kal_B_Ottensheim	2.5	10	0.01				
Kal_B_EFB_Sued	35	200	1				
Kal_B_EFB_Nord	35	200	4				
Kal B Donau 1000m	50	300	10				

Tabelle 6: Werte der Zonen der Kalibration mit Pilot Points

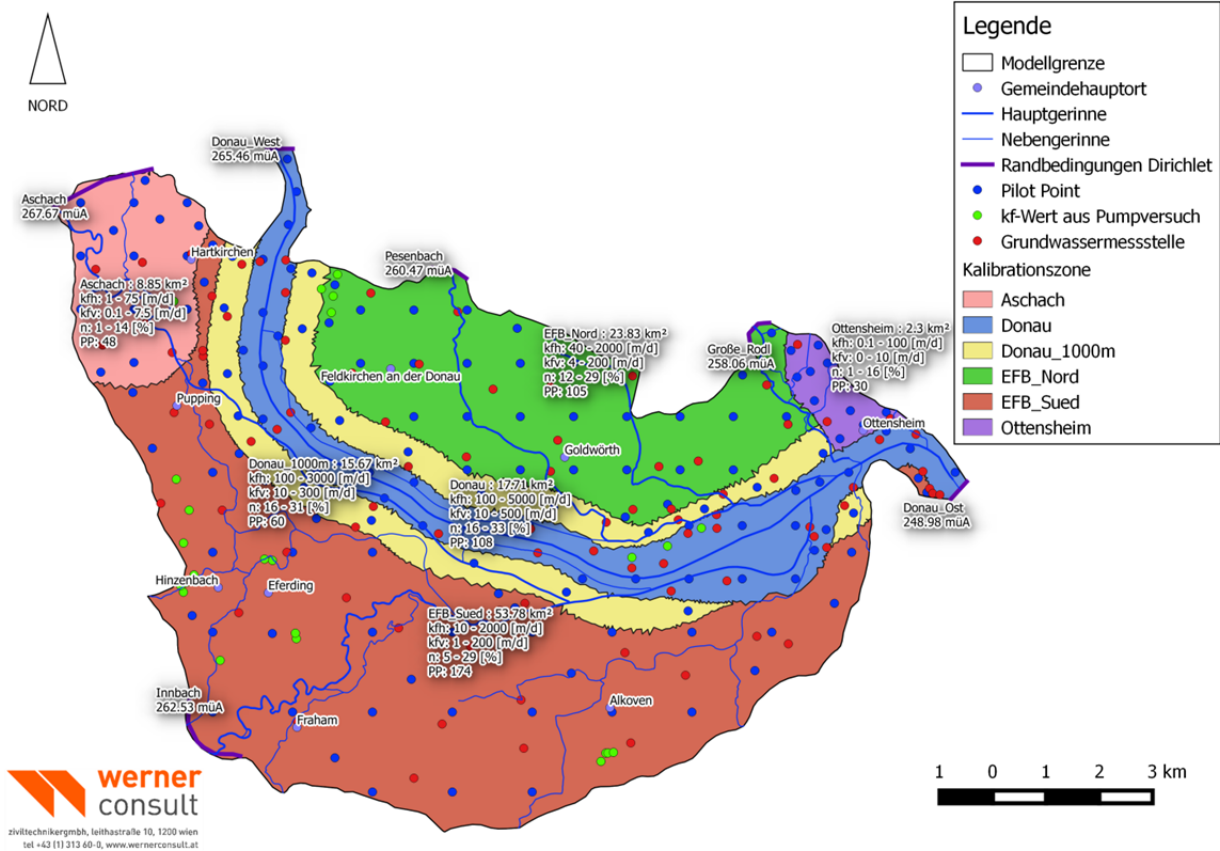


Abbildung 10: Zonen der Kalibration mit Angaben zu: Fläche, horizontalem und vertikalem k_f-Werten, effektiver Porosität und der Anzahl der verwendeten Pilot Points.

5.2 Hydraulische Leitfähigkeit, k_f-Wert

Im Gebiet des Eferdinger Beckens wurden 25 Pumpversuche durchgeführt deren Daten vom Land OÖ zur Verfügung gestellt wurden.

Sechs dieser Werte befinden sich an drei Positionen.

Von den jeweiligen Positionen wurde der Mittelwert genommen. Diese 22 k_f-Werte werden als unveränderliche Pilotpoints eingegeben. Die Lage der bestimmten k_f-Werte ist auf Abbildung 11 dargestellt. Da es sich im Gebiet um sedimentäre Ablagerungen handelt wurde die Anisotropie zwischen horizontaler und vertikaler hydraulischer Leitfähigkeit mit 10 angenommen.

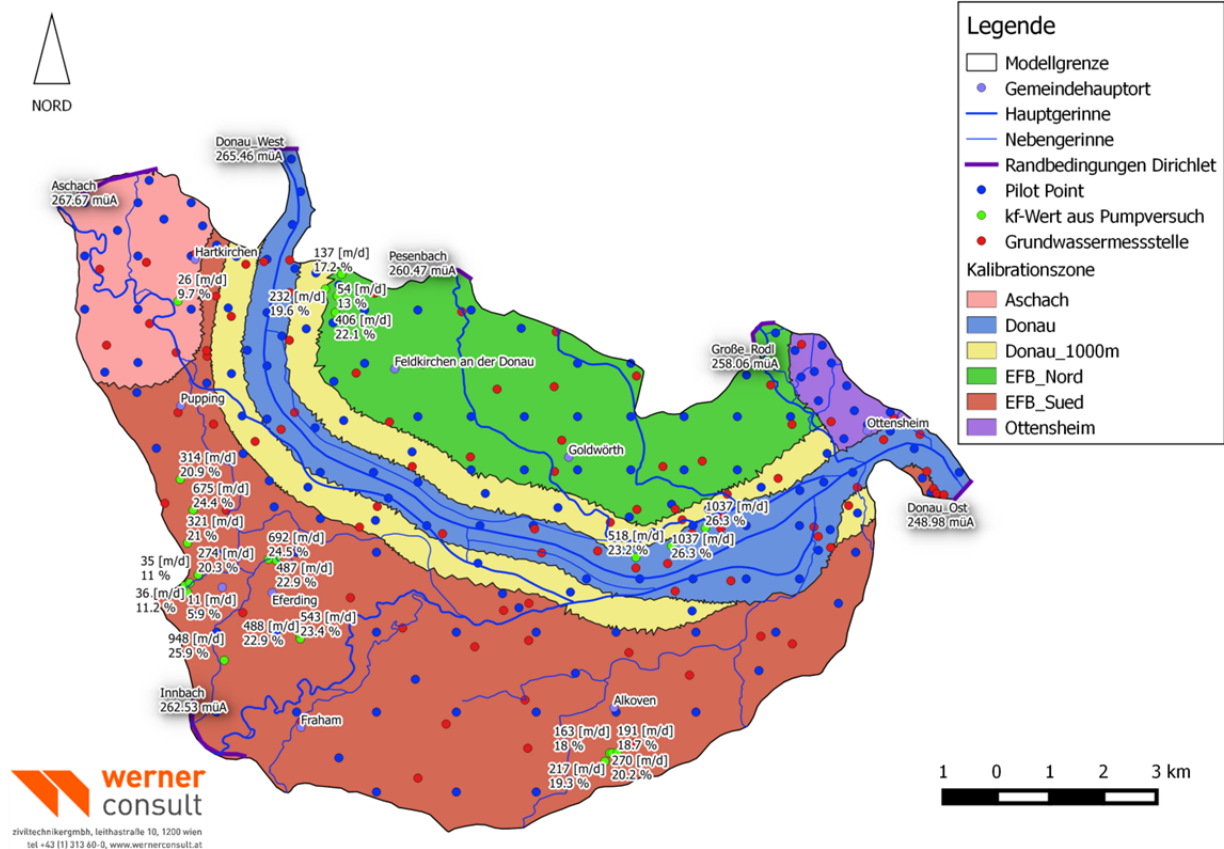


Abbildung 11: Lage und Werte der bestimmten k_f-Werte und die berechneten effektiven Porositäten

5.3 Effektive Porosität n_e

Die effektive Porosität für die oben genannten 22 k_f-Werte wurde mittels der Formel von Marotz berechnet. Die Unter- und Obergrenzen der Porosität wurden ebenso mittels der Formel von Marotz ermittelt. Diese Formel kann bis zu einem k_f von 0.864 [m*d⁻¹] angewendet werden. Die Werte der Untergrenze wurden bei negativen Ergebnissen auf 1% angehoben.

$$n_e = (0.462 + 0.045 * \ln(k_f)) * 100$$

5.4 Messstellen

Zur Kalibration wurden 85 Messstellen verwendet, welche in Abbildung 12 dargestellt sind.

Die aus Daten resultierenden Grundwasserspiegellagen zu den 4 Simulationszeitpunkten sind in Abbildung 13 abgebildet. Ebenso sind in der Abbildung 13 die Grundwasserspiegeldifferenzen zwischen 03.06.2015 und 01.12.2015 als Beschriftung dargestellt. Die Daten und Grundlagen wurden von Herrn Ing. Klaus Kaiser, vom Hydrografischen Dienst des Landes Oberösterreich, bereitgestellt.

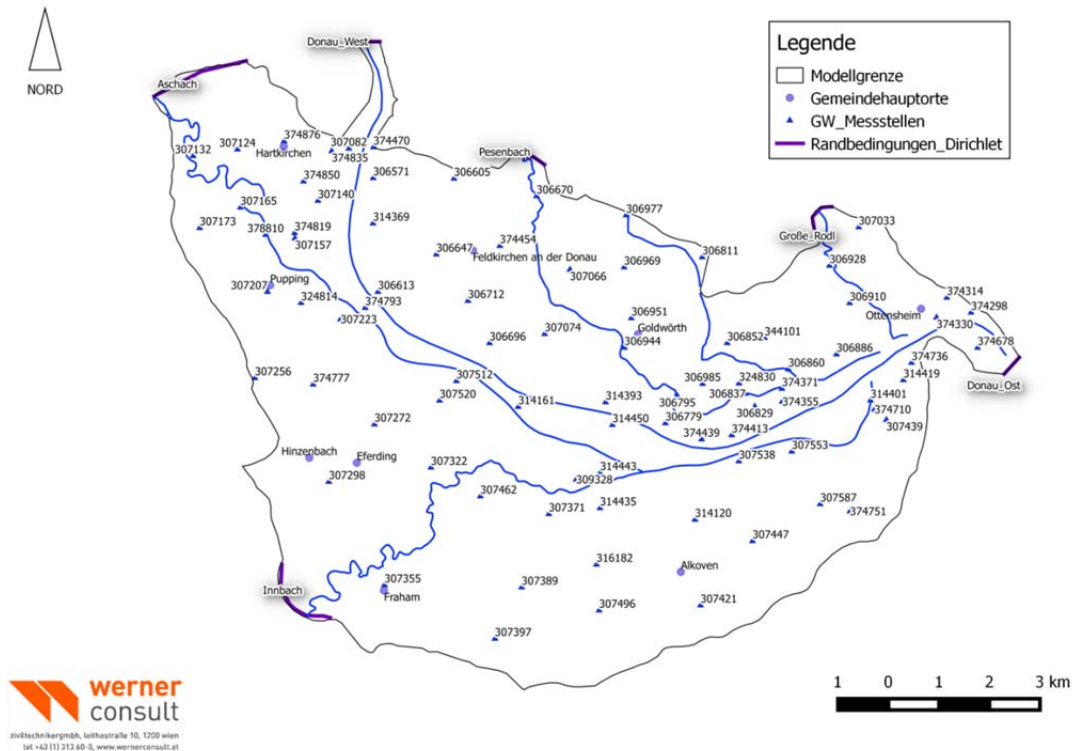


Abbildung 12: Lage der Grundwasser-Messstellen und der davon abhängigen *Dirichlet*-Randbedingungen

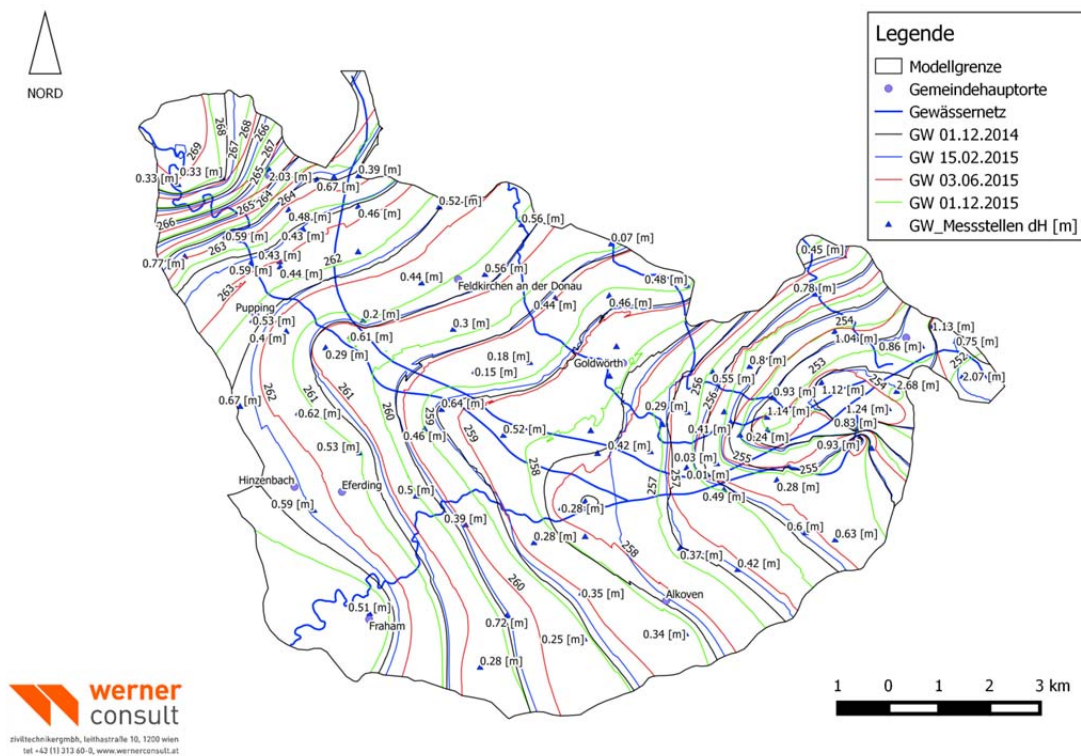


Abbildung 13: Die aus den GW-Messstellen resultierenden GW-Spiegellagen zu den 4 Simulationszeitpunkten und die Differenz zwischen den Beobachtungen vom 03.06.2015 und 01.12.2015 an den GW-Messstellen.

5.4.1 Problematische Messstellen

Die Messstelle 374710, deren Lage in Abbildung 14 dargestellt ist, weicht von den benachbarten Messstellen 307439 im Schnitt um 2.5 m und 314401 im Schnitt um 6.0 m ab.

Die genullten Grundwasserstände der Messstellen sind in Abbildung 19 dargestellt. Die Messstellen verhalten sich von der Frequenz her gleich, jedoch sind die Magnituden unterschiedlich und nicht harmonisch. Es kann sich hier um ein schwebendes Grundwasser handeln. Deshalb wurde das Bestimmtheitsmaß zwischen den Messstellen und deren Distanzen in Abhängig gebracht. Dies brachte jedoch kein eindeutiges Ergebnis.

Wie in den Abbildung 16 und 17 und der Tabelle 7 dargestellt, zeigt sich jedoch generell eine schlechte Korrelation, was auf eine starke Inhomogenität des Aquifers in diesem Gebiet schließen lässt. Da sich in diesem Gebiet aber keine Maßnahmen befinden kann diese erzeugt Unschärfe der Ergebnisse in diesem Gebiet toleriert werden.

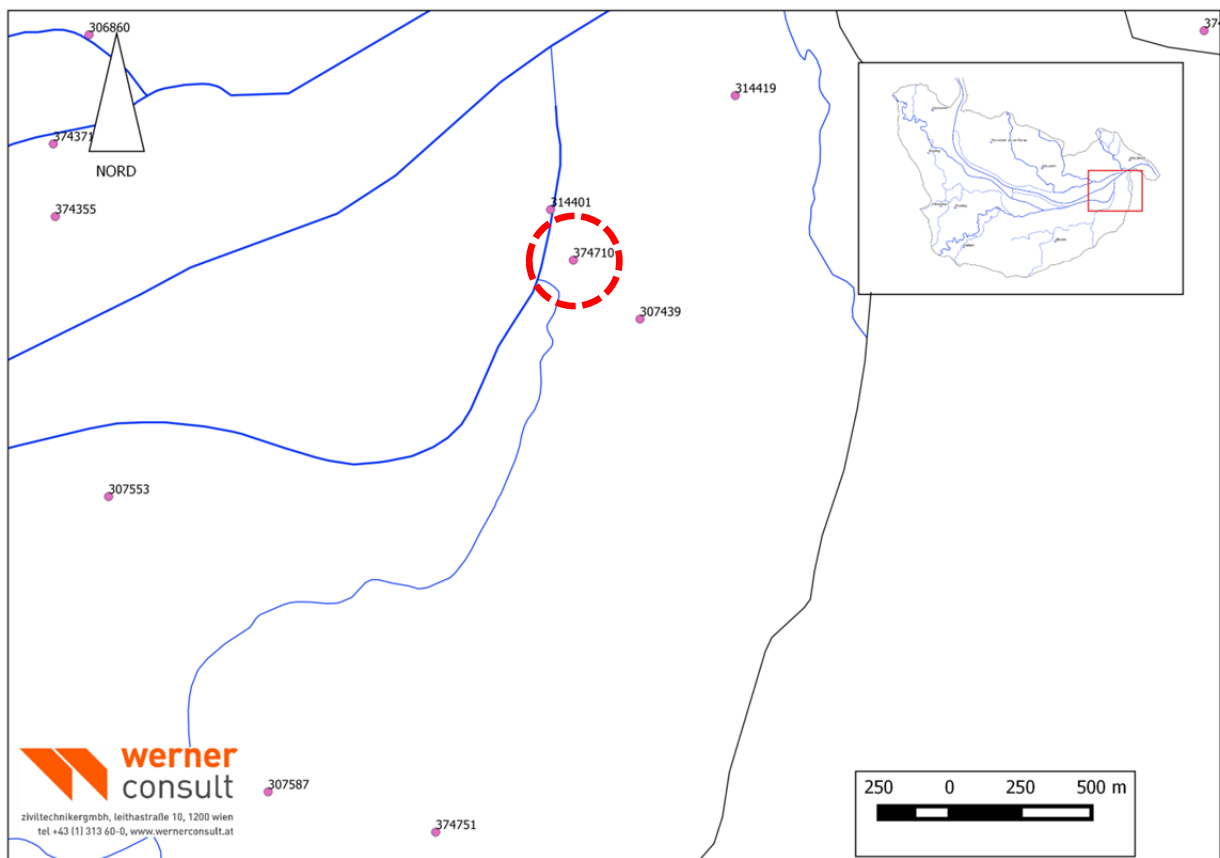


Abbildung 14: Karte der benachbarten Messstellen von 374710

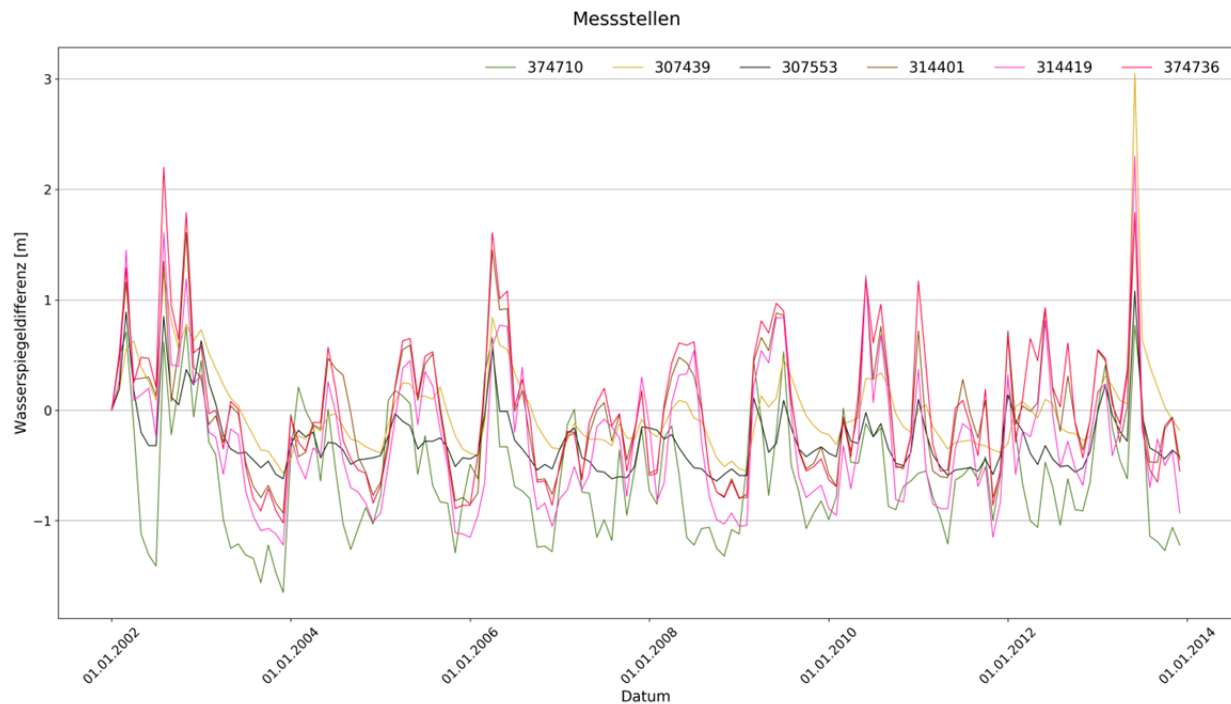


Abbildung 15: Genullte Grundwasserstände der Benachbarten Grundwassermessstellen von 374710 ab 01.01.2002.

GW_MS_1	GW_MS_2	r ²	Distanz [m]
374710	307439	0.290	313.57
374710	307553	0.639	1838.63
374710	314401	0.439	195.52
374710	314419	0.400	814.07
374710	374736	0.419	1180.48
307439	307553	0.641	1975.75
307439	314401	0.507	498.27
307439	314419	0.587	856.40
307439	374736	0.507	1236.23
307553	314401	0.494	1858.24
307553	314419	0.514	2623.34
307553	374736	0.494	2954.05
314401	314419	0.890	765.24
314401	374736	0.928	1105.01
314419	374736	0.880	380.13

Tabelle 7: Distanzen und Korrelationen zwischen den Grundwassermessstellen rund um 374710.

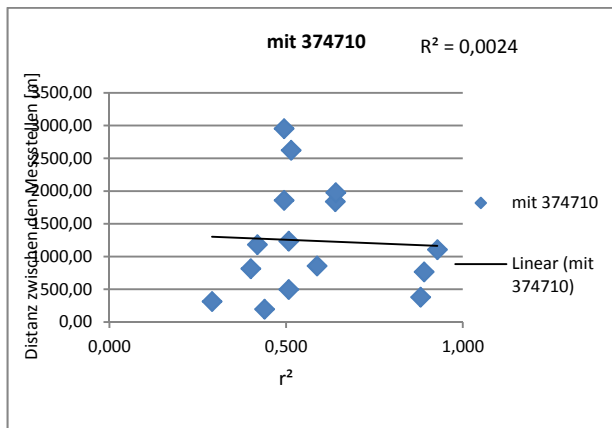


Abbildung 16: Vergleich mit 374710

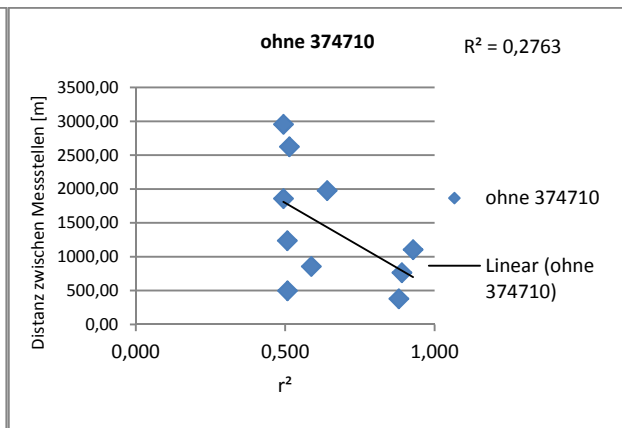


Abbildung 17: Vergleich ohne 374710

5.4.2 Zur Kalibration nicht verwendete Messstellen

Die Messstelle 307025 Oberottensheim liegt im Durchschnitt immer ca. 10m höher als die benachbarten GW-Messstellen.

In Abbildung 18 ist die Lage der benachbarten GW-Messstellen und in Abbildung 19 der gemessene Grundwasserspiegel in den GW-Messstellen zu sehen. Eine Untersuchung der GW-Spiegel der letzten Jahre der verschiedenen GW-Messstellen ergab, dass die GW-Messstelle 307025 nicht mit den anderen GW – Messstellen korreliert. Dies ist in der Tabelle 8 und der Abbildung 20 zu sehen.

Bei der Korrelation mit den benachbarten Messstellen zeigt sich, dass das Bestimmtheitsmaß r^2 zwischen Entfernung und Korrelation der Messstellen, durch die Wegnahmen von 307025 von 0.1171 auf 0.7392 steigt. Es liegen keine Bohrdaten dieser GW-Messstelle vor aber aus der Geologischen Karte ist ersichtlich, dass sich diese GW-Messstelle südlich eines Perlgnis-Aufschlusses befindet. Es wird daher angenommen, dass es sich um einen lokalen, eigenständigen und nicht oder nur sehr schlecht mit dem gesamten Aquifer kommunizierenden Grundwasserleiter handelt. Vielleicht handelt es sich um einen schwebenden Aquifer. Aus diesem Grund wird 307025 nicht für die Kalibrierung verwendet.

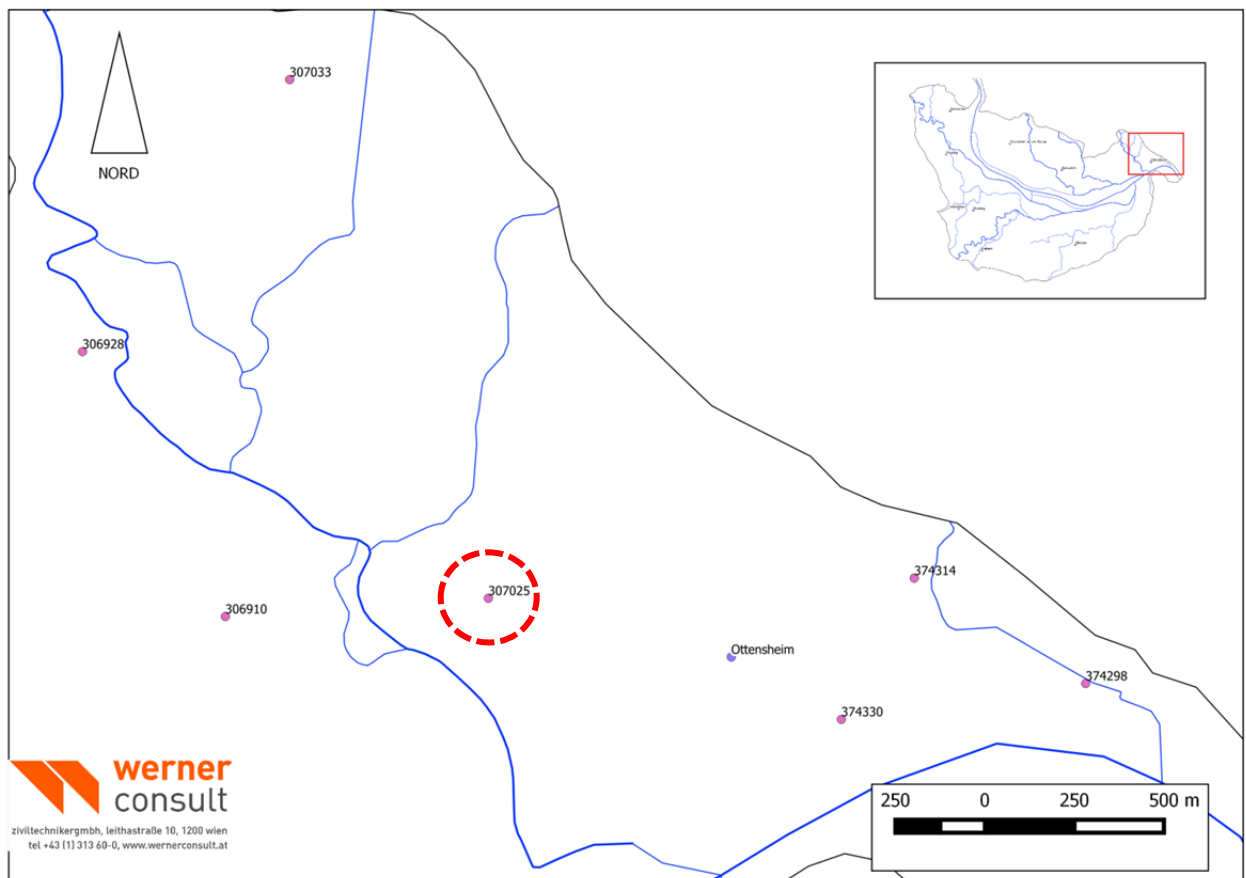


Abbildung 18: Karte der benachbarten Messstellen von 307025

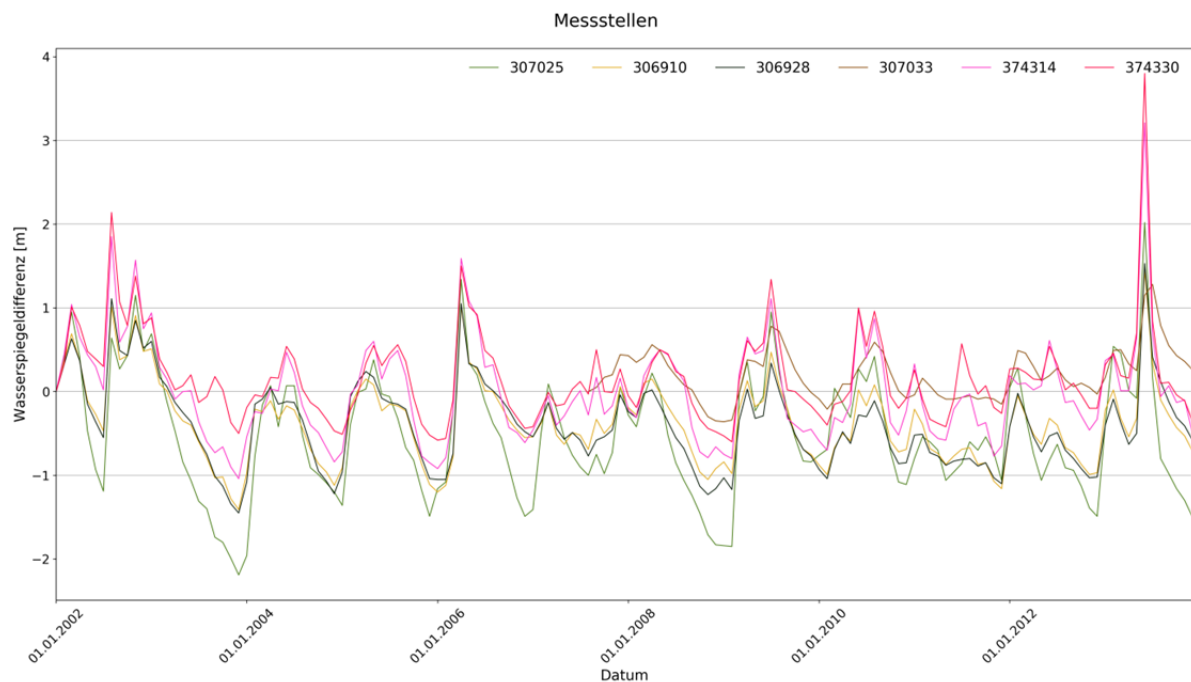


Abbildung 19: Genullte Werte der Benachbarten Grundwassermessstellen von 307025 zwischen 01.01.2002 und 31.12.2012

GW_MS_1	GW_MS_2	R ²	Distanz [m]
307025	306910	0.6395	737
307025	306928	0.4277	1330
307025	374330	0.3297	1045
307025	374314	0.5585	1190
307025	307033	0.5033	1556
306910	306928	0.918	849
306910	374330	0.729	1745
306910	374314	0.8526	1920
306910	307033	0.7363	1511
306928	374330	0.6112	2358
306928	374314	0.617	2408
306928	307033	0.8323	967
374330	374314	0.9276	446
374330	307033	0.4669	2355
374314	307033	0.5111	2224

Tabelle 8: Werte der benachbarten Messstellen von 307025

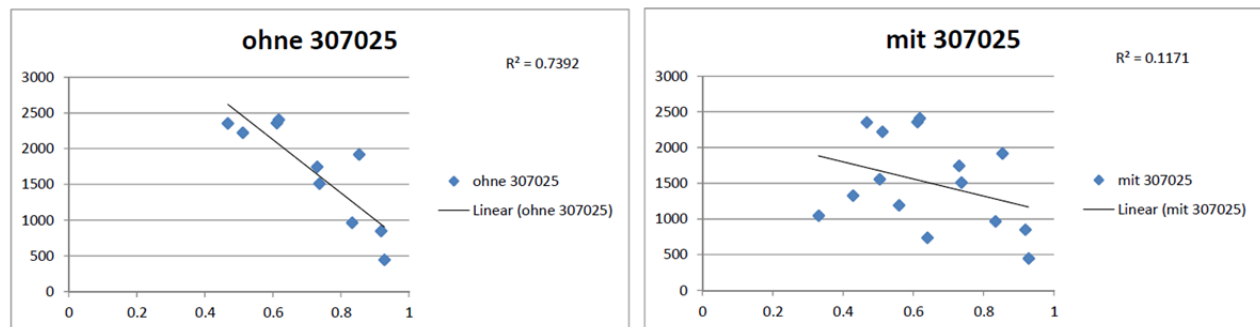


Abbildung 20: Vergleich des Bestimmtheitsmaßes mit und ohne 307025; auf der x-Achse ist das Bestimmtheitsmaß und auf der y-Achse die Entfernung aufgetragen.

Die Messstellen 374652, 374637 und 374611 bei Wilhering werden ebenso nicht verwendet. Die Werte zum Kalibrationsdatum 01.12.2014 unterscheiden sich um 6.5 bis zu 13 Meter von den benachbarten Messstellen. Hier wird auch ein schwebender Grundwasserspiegel oder ein starkes nicht quantifizierbares Hangwasser vermutet.

6 Simulation

6.1 Simulationsdaten

Die Simulationen erfolgten wie gefordert stationär. Um einen möglichst hohen und niedrigen Grundwasserspiegel zu simulieren wurden der 01.12.2014, der 15.02.2015, der 03.06.2015 und der 01.12.2015 als Simulationszeitpunkte bestimmt. In Abbildung 21 und in Abbildung 22 sind die Grundwasserstände der Grundwassermessstellen während der Simulationen abgebildet. Abbildung 21 zeigt die absoluten Höhen und in Abbildung 22 sind die genullten Werte abgebildet.

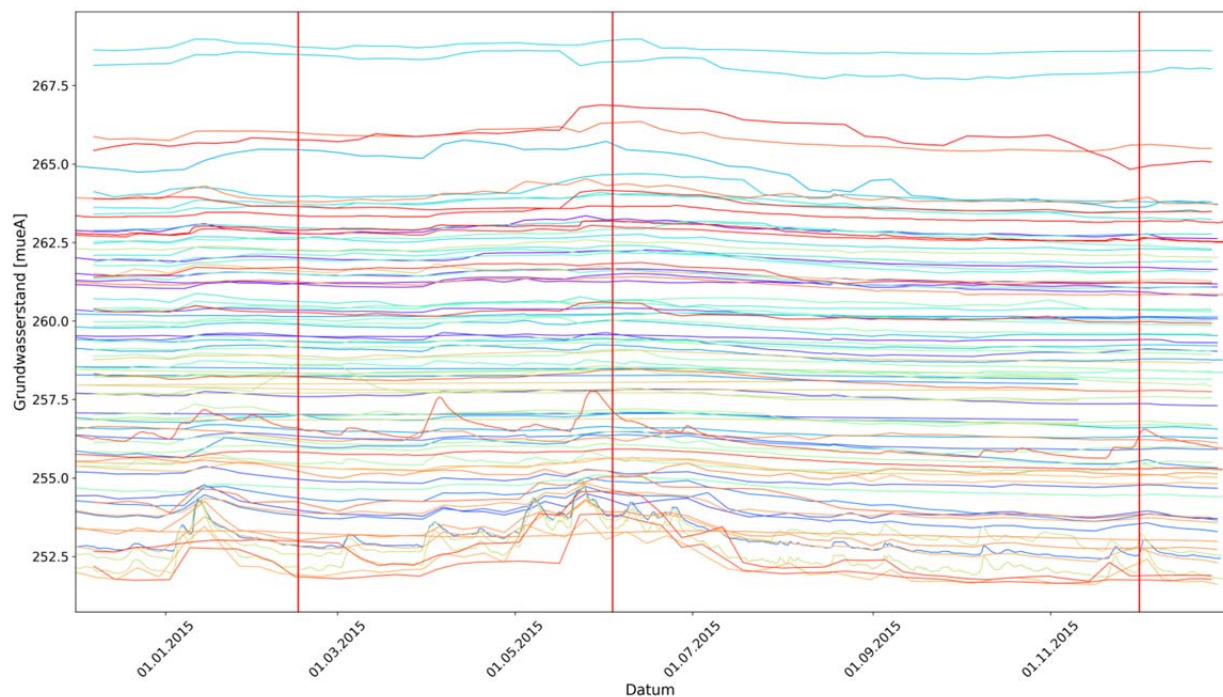


Abbildung 21: Grundwasserstände der Messstellen zwischen 31.12.2014 und 01.12.2015. Die roten Linien zeigen die Simulationsdaten an.

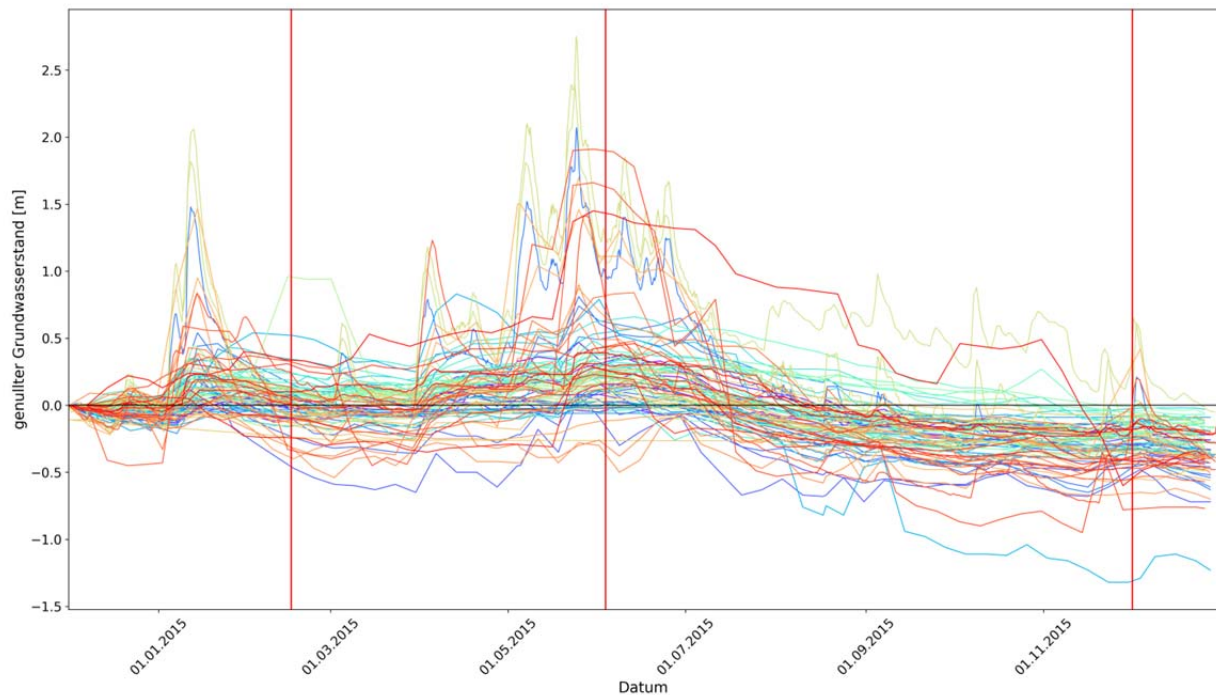


Abbildung 22: Die genullten Grundwasserstände zwischen 01.12.2014 und 31.12.2015. Die roten Linien zeigen die Simulationsdaten an.

6.2 Eingabedaten

Die *Dirichlet-Randbedingungen* für die Simulationen wurden genauso wie die zur Kalibrierung berechnet. Insgesamt wurden 5 Simulationen durchgeführt.

Am 03.06.2015 wurde eine Simulation mit den Brunnen, welche zur Kalibration verwendet wurden, durchgeführt.

Zum Vergleich wurde eine weitere Simulation durchgeführt, bei welcher alle Bewässerungs- und kleineren Brunnen mit einer Pumprate von jeweils 50 [m³/d] verwendet wurden, simuliert.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Simulationen ist in Abbildung 23 dargestellt und zeigt die Auswirkung auf den Grundwasserkörper wenn sämtliche Brunnenanlagen, wie oben beschrieben, in Betrieb sind.

Die roten Bereiche zeigen Absenkungen durch den Brunnenbetrieb von bis zu 1,0m.

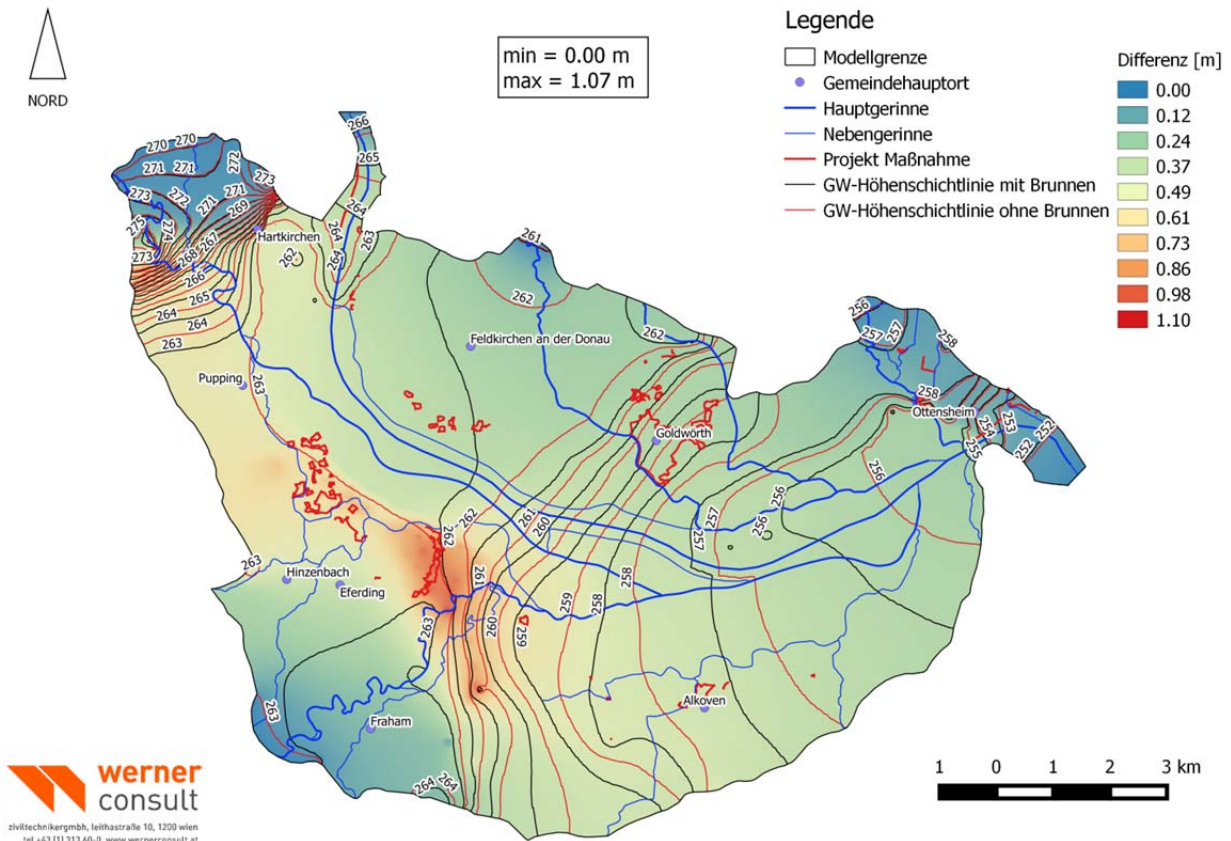


Abbildung 23: Differenz zwischen den Simulationen am 03.06.2015 mit allen und den zur Kalibration verwendeten Brunnen.

6.3 Zu den Simulationen nicht verwendete Messstellen

Folgende Messstellen weisen eine sehr geringe Datendichte, 4 Punkte pro Jahr, auf und können deshalb nicht zur Bestimmung der Güte der Kalibration und der Simulation verwendet werden: 314450, 314443, 314435, 314393, 306951, 306944 und 306795.

7 Ergebnisse

7.1 Ergebnisse der Kalibrierung

Die kalibrierten horizontalen hydraulischen Leitfähigkeiten liegen zwischen $10^{-4.98}$ und $10^{-1.24}$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Deren Verteilung ist in Abbildung 24 dargestellt. Die Differenzen zwischen simulierten und beobachteten Grundwasserständen sind in Abbildung 25 dargestellt.

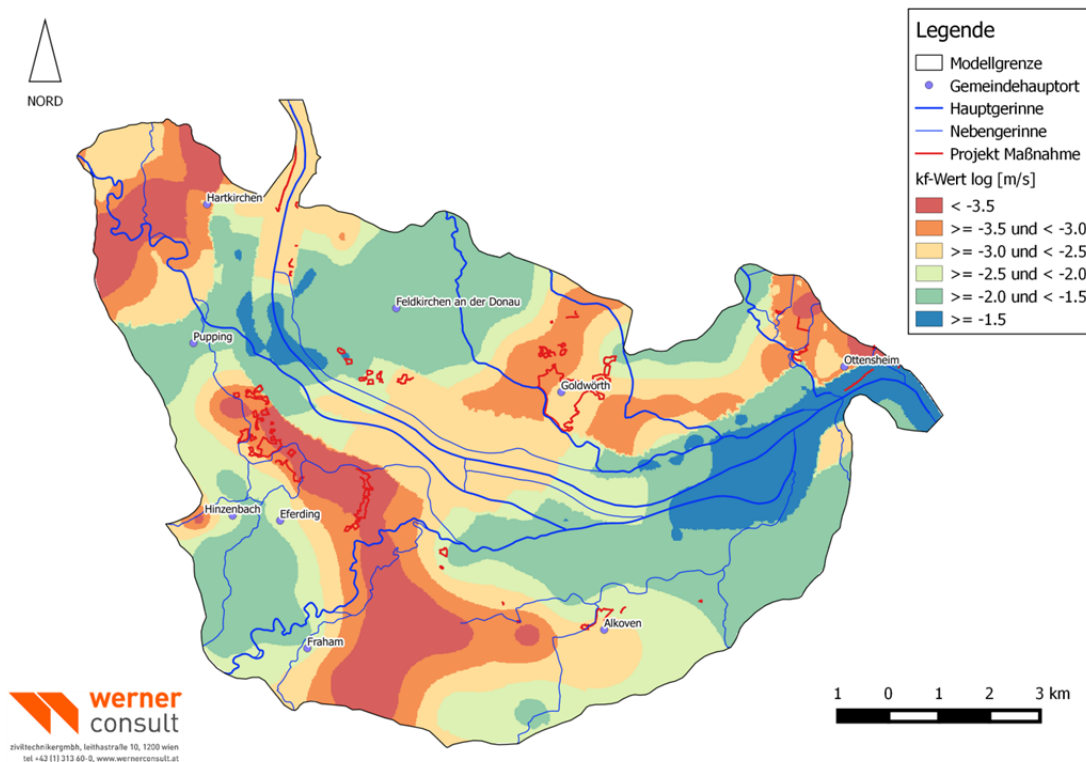


Abbildung 24: Verteilung der horizontal hydraulischen Leitfähigkeit, k_f -Wert

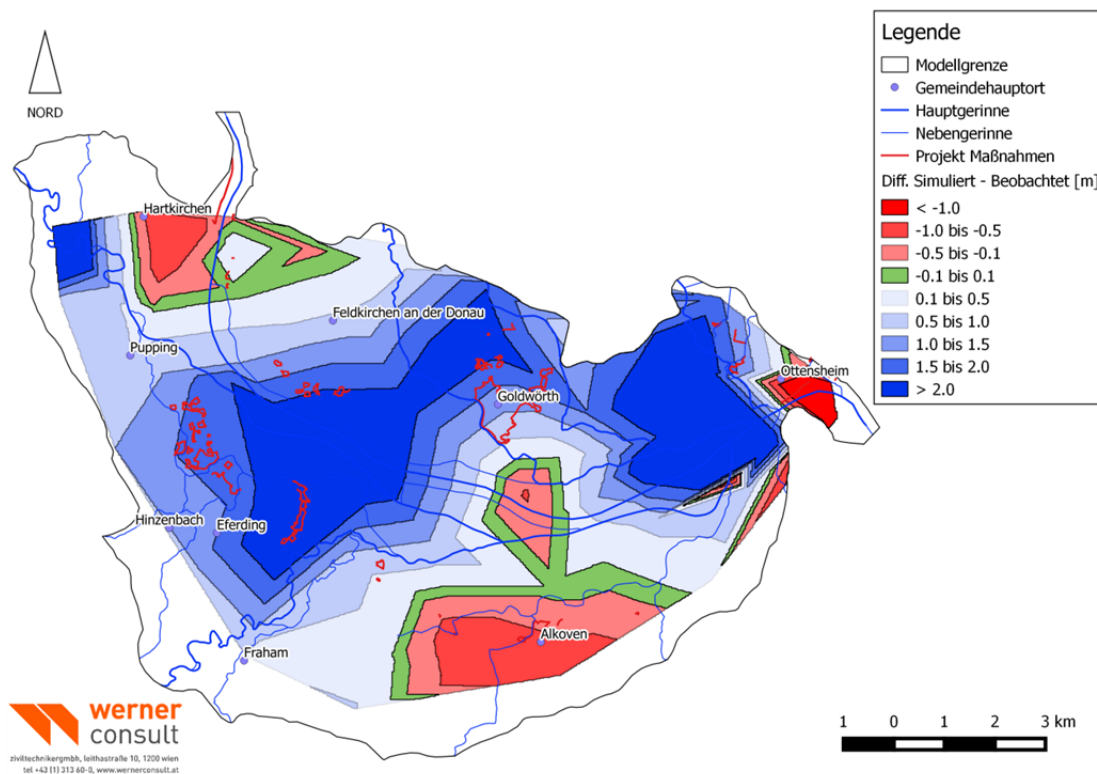


Abbildung 25: Differenzen zwischen den simulierten und den beobachteten Werten am 01.12.2014

Um die Genauigkeit der Modellergebnisse zu verbessern, ist eine Verdichtung der Grundlagendaten erforderlich. Einerseits sollten die geologischen Randbedingungen in Teilbereichen besser erkundet werden, andererseits ist eine Verdichtung der Anzahl der Grundwassermessstellen notwendig, damit die Modellkalibrierung genauere Ergebnisse liefert.

7.2 Ergebnisse der Simulationen für den Ausbauzustand

Mit den, in das Grundwassermodell implementierten Hochwasserschutzmaßnahmen, wurden zu den Kalibrierungszeitpunkten wiederum Rechenläufe durchgeführt, um die Projekteinwirkungen auf den Grundwasserkörper darzustellen.

Die Ergebnisse der Simulationen und die daraus berechneten Differenzen sind in den Abbildung 26, 27, 28, 29 und 30 dargestellt. Eine kurze Beschreibung der Grundwasserzustände bei den Simulationen und der mittlere quadratische Fehler (rmse in [m]) von drei Simulationen ist in Tabelle 9 dargestellt.

Datum	Anmerkung	rmse [m]	
01.12.2014 12:00	Quasistationär GW-Tief	1.42	
15.02.2015 12:00	Quasistationär GW-Tief		
03.06.2015 12:00	Grundwasserhoch	1.48	1.28
01.12.2015 12:00	Quasistationär GW-Tief		

Tabelle 9: Ergebnisse der Simulationen, rmse: mittlerer quadrierter Fehler, Abweichung zwischen simuliert und beobachtet

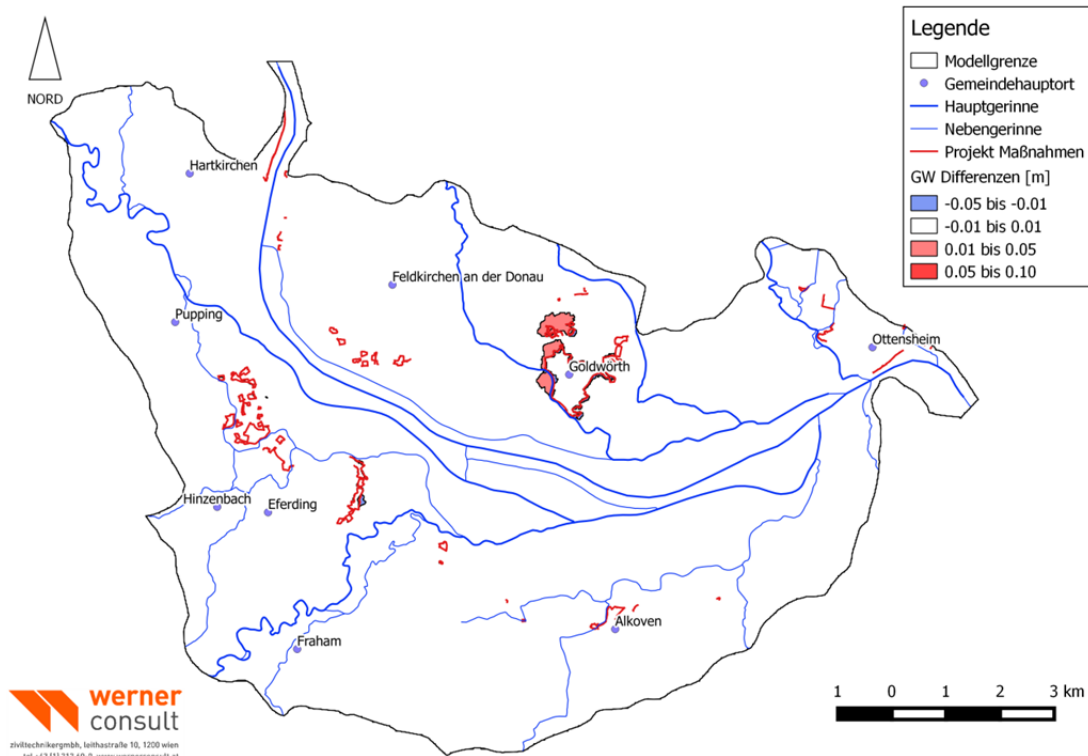


Abbildung 26: Differenzen 01.12.2014 12:00 Uhr

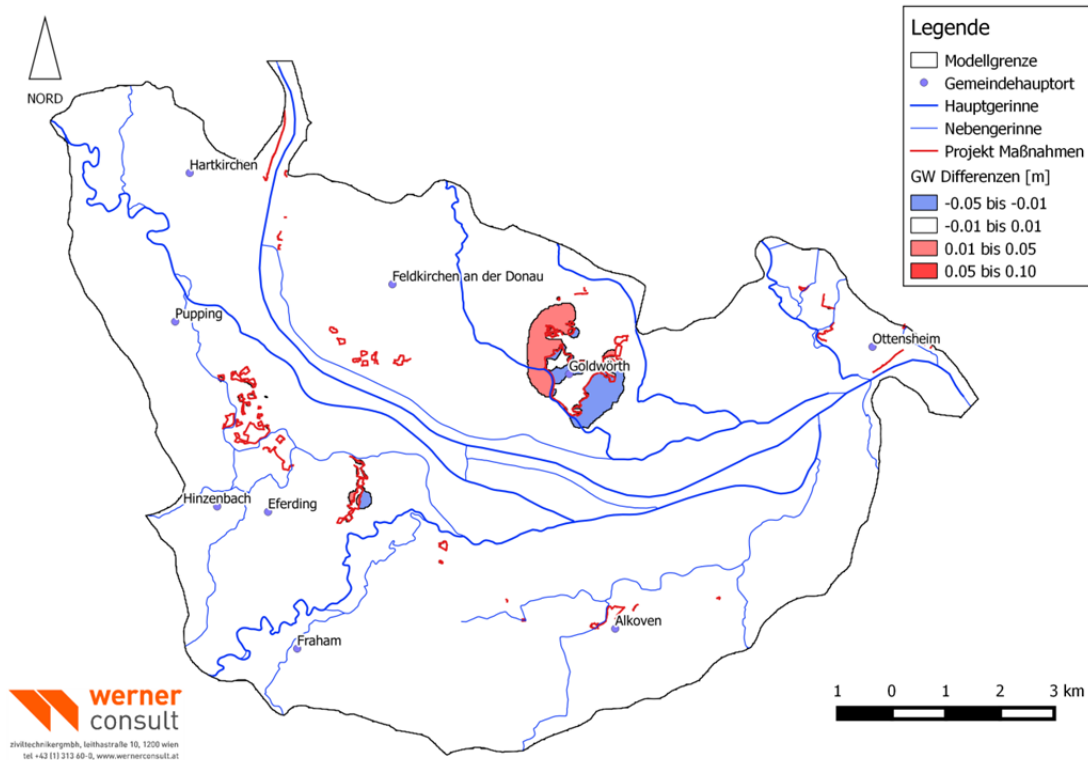


Abbildung 27: Differenzen 15.02.2015 12:00 Uhr

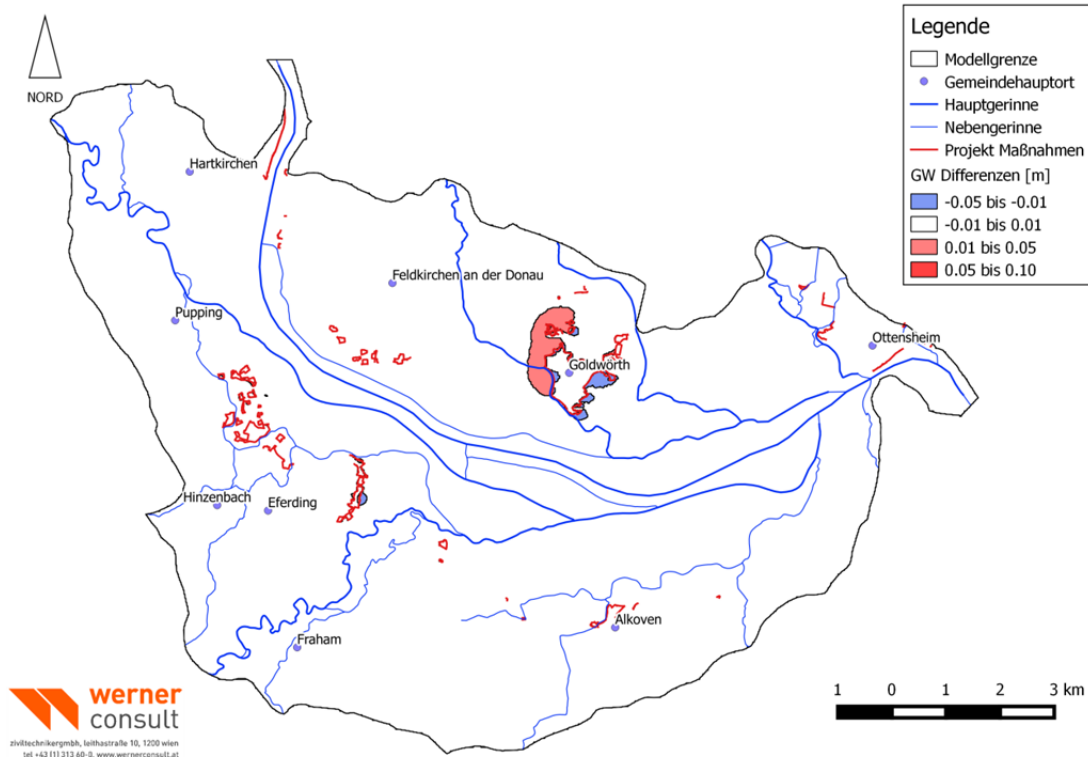


Abbildung 28: Differenzen 03.06.2015 12:00, ohne zusätzlich Brunnen

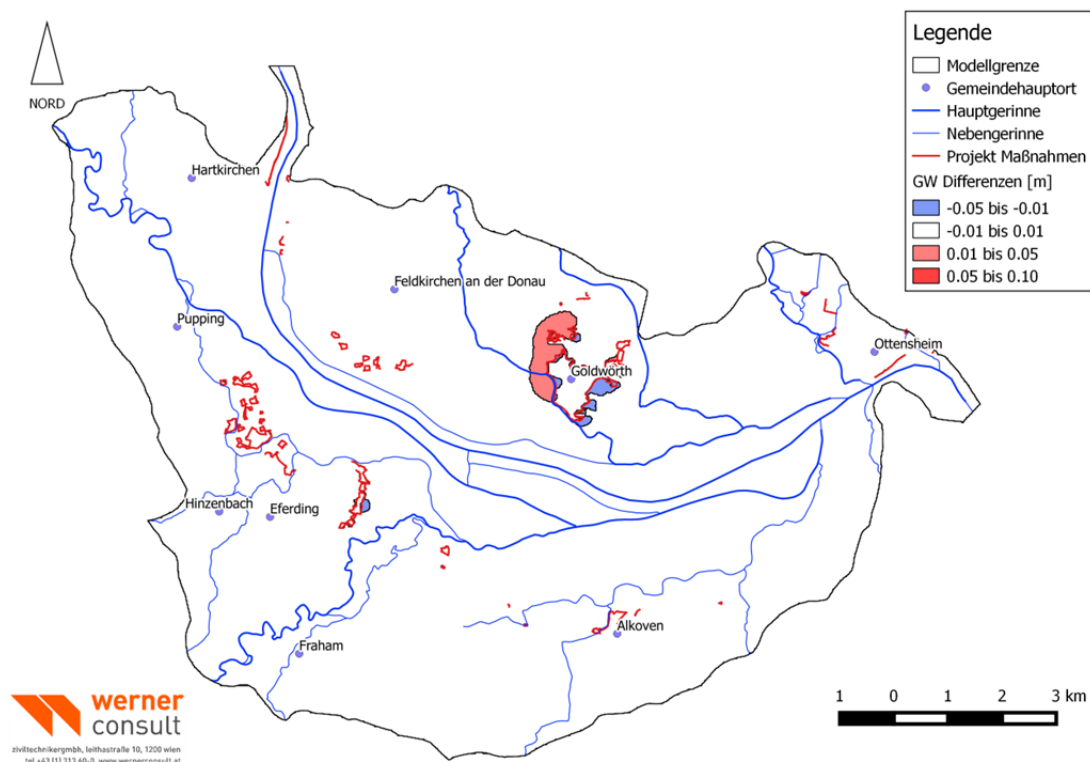


Abbildung 29: Differenzen 03.06.2015 12:00 Uhr, mit zusätzlichen Brunnen

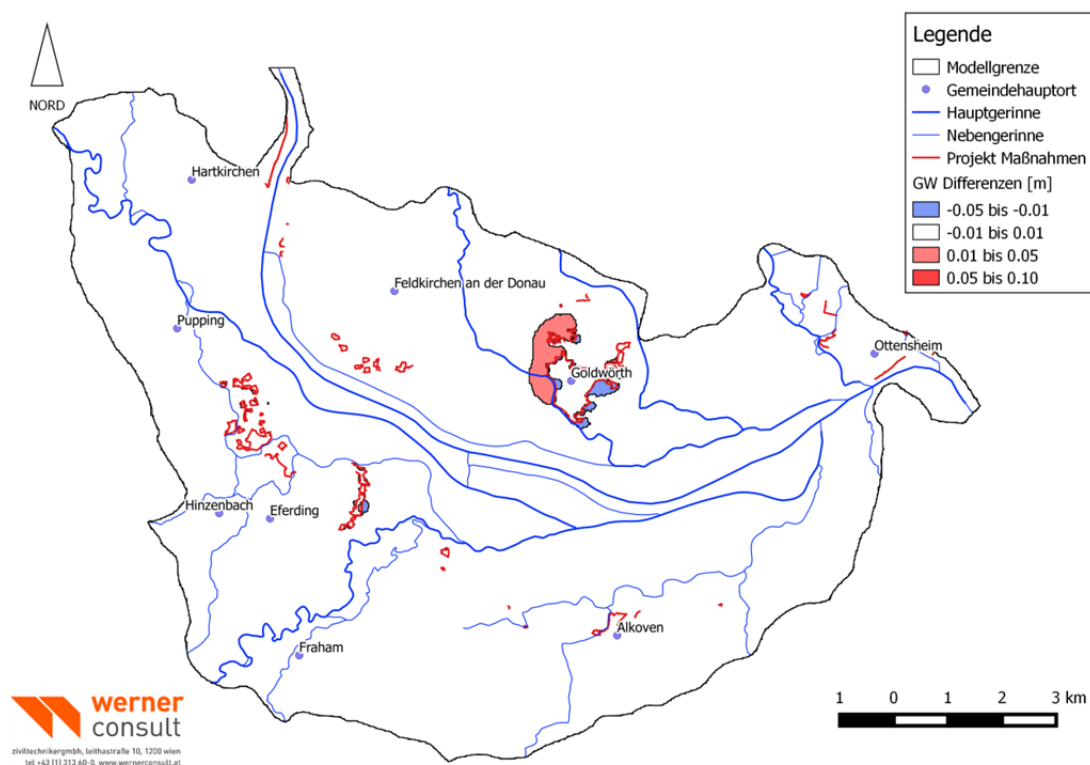


Abbildung 30: Differenzen 01.12.2015 12:00 Uhr

8 Diskussion

Die Ergebnisse der stationären Simulation haben einen hohen Fehler, welcher mit den zur Verfügung stehenden Daten kaum minimiert werden kann. Für ein genaueres Modell müssten die Infiltrationen, der laterale Zustrom, die Entnahmen und der Sedimentäre Aufbau des Beckens entsprechend genauer bekannt sein.

Die Differenz zwischen den simulierten und beobachteten Grundwasserständen vom 01.12.2014 ist in Abbildung 25 dargestellt. Die Simulation ist in fast allen Projektbereichen, abgesehen von Alkoven und Aschach an der Donau, zu hoch. Das bedeutet, dass im Modell der Grundwasserspiegel durch die in den Boden eingebrachten Abdichtungsmaßnahmen stärker beeinflusst wird als in der Natur bei geringeren Grundwasserspiegellagen, weil die Abdichtungen stärker in den „Modell“ Grundwasserkörper eindringen.

Deshalb kann angenommen werden, dass die entstehenden Differenzen geringer ausfallen werden als die in den Simulationen aufgetretenen.

Es ist daher zu erwarten, dass durch die Hochwasserschutzmaßnahmen im Bereich von Ökoflächen, Naturschutz-, Schon- und Schutzgebieten keine oder nur geringe Veränderungen des Grundwasserspiegels eintreten.

Innerhalb der geschützten Bereiche liegen die Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel im cm Bereich.

9 Möglichkeiten um die Genauigkeit des Modells und die Aussage zu verbessern

Um die Genauigkeit des Grundwasserströmungsmodells zu verbessern, muss die Dichte der Grundlagendaten erhöht werden.

Die Infiltrationszonen und -raten müssten mittels Abflussdifferenzen bestimmt werden.

Um beispielsweise die Genauigkeit des Modells im Bereich von Aschach an der Donau zu erhöhen, müssten die genauen Grundwasserentnahmen der flussab von Aschach angesiedelten Gewerbebetriebe bekannt sein. Des Weiteren müsste die Geometrie des Donautales mittels Geophysik bestimmt werden und zusätzliche Grundwasserbeobachtungsmessstellen stromaufwärts von Aschach an der Donau gebohrt und mit Loggern ausgestattet werden.

Eine Verbesserung der Modellqualität würde auch eine instationäre Simulation der Grundwasserströmungen erzielt werden können.

Wien, im Juni 2017

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geologische Übersicht des Eferdinger Beckens (Datengrundlage: https://www.land-oberoesterreich.gv.at/).....	6
Abbildung 2: Lage der Wasserschutz-, Wasserschon- und Naturschutzgebiete im Eferdinger Becken	7
Abbildung 3: Grundwasser- und Flusswasserstände der Messstellen zwischen 01.01.2006 und 31.12.2015. Die roten Linien zeigen die Simulationsdaten. (Quelle: LandOÖ, ViaDonau)	8
Abbildung 4: Genullte Grundwasser- und Oberflächenwasserstände der Messstellen zwischen 01.01.2006 und 31.12.2015. Die roten Linien zeigen die Simulationsdaten. Zu den genullten Oberflächenwasserständen wurden 5m addiert. (Quelle: LandOÖ, ViaDonau)	8
Abbildung 5: Ganglinien der Temperaturen der Grundwasser- und Oberflächengewässer-Messstellen von 30.11.2004 bis 31.12.2014 (Daten von http://ehyd.gv.at/)	9
Abbildung 6: Lage der Temperaturmessstellen.....	10
Abbildung 7: Systematischer Aufbau des Modells	11
Abbildung 8: Einbauten des Projektes und des Bestandes	13
Abbildung 9: Lateraler Zufluss: Berechnungsgebiete und Zugabezonen (Datengrundlage: https://www.land-oberoesterreich.gv.at/).....	18
Abbildung 10: Zonen der Kalibration mit Angaben zu: Fläche, horizontalem und vertikalem k_f -Werten, effektiver Porosität und der Anzahl der verwendeten Pilot Points.	20
Abbildung 11: Lage und Werte der bestimmten k_f -Werte und die berechneten effektiven Porositäten.....	21
Abbildung 12: Lage der Grundwasser-Messstellen und der davon abhängigen <i>Dirichlet-Randbedingungen</i>	22
Abbildung 13: Die aus den GW-Messstellen resultierenden GW-Spiegellagen zu den 4 Simulationszeitpunkten und die Differenz zwischen den Beobachtungen vom 03.06.2015 und 01.12.2015 an den GW-Messstellen.	22
Abbildung 14: Karte der benachbarten Messstellen von 374710.....	23
Abbildung 15: Genullte Grundwasserstände der Benachbarten Grundwassermessstellen von 374710 ab 01.01.2002.....	24
Abbildung 16: Vergleich mit 374710 Abbildung 17: Vergleich ohne 374710	25
Abbildung 18: Karte der benachbarten Messstellen von 307025.....	26
Abbildung 19: Genullte Werte der Benachbarten Grundwassermessstellen von 307025 zwischen 01.01.2002 und 31.12.2012.....	26
Abbildung 20: Vergleich des Bestimmtheitsmaßes mit und ohne 307025; auf der x-Achse ist das Bestimmtheitsmaß und auf der y-Achse die Entfernung aufgetragen.....	27
Abbildung 21: Grundwasserstände der Messstellen zwischen 31.12.2014 und 01.12.2015. Die roten Linien zeigen die Simulationsdaten an.....	28
Abbildung 22: Die genullten Grundwasserstände zwischen 01.12.2014 und 31.12.2015. Die roten Linien zeigen die Simulationsdaten an.....	29
Abbildung 23: Differenz zwischen den Simulationen am 03.06.2015 mit allen und den zur Kalibration verwendeten Brunnen.	30
Abbildung 24: Verteilung der horizontal hydraulischen Leitfähigkeit, k_f -Wert	31
Abbildung 25: Differenzen zwischen den simulierten und den beobachteten Werten am 01.12.2014.....	32
Abbildung 26: Differenzen 01.12.2014 12:00 Uhr	33
Abbildung 27: Differenzen 15.02.2015 12:00 Uhr	34
Abbildung 28: Differenzen 03.06.2015 12:00, ohne zusätzlich Brunnen	34
Abbildung 29: Differenzen 03.06.2015 12:00 Uhr, mit zusätzlichen Brunnen.....	35
Abbildung 30: Differenzen 01.12.2015 12:00 Uhr	35

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: allgemeine Modelldaten.....	11
Tabelle 2: Einbindetiefe abhängig von der Maßnahmenhöhe.....	14
Tabelle 3: Randbedingungen der 1. Ordnung, Lage, Abhängigkeiten und Höhen zur Kalibrierung.....	15
Tabelle 4: Oberflächengewässer, deren Infiltrationsraten und Quellen	17
Tabelle 5: Grundwasserbilanz, 01.12.2014 12:00 Uhr	18
Tabelle 6: Werte der Zonen der Kalibration mit Pilot Points	19
Tabelle 7: Distanzen und Korrelationen zwischen den Grundwassermessstellen rund um 374710.	24
Tabelle 8: Werte der benachbarten Messstellen von 307025.....	27
Tabelle 9: Ergebnisse der Simulationen, rmse: mittlerer quadrierter Fehler, Abweichung zwischen Simuliert und Beobachtet	33