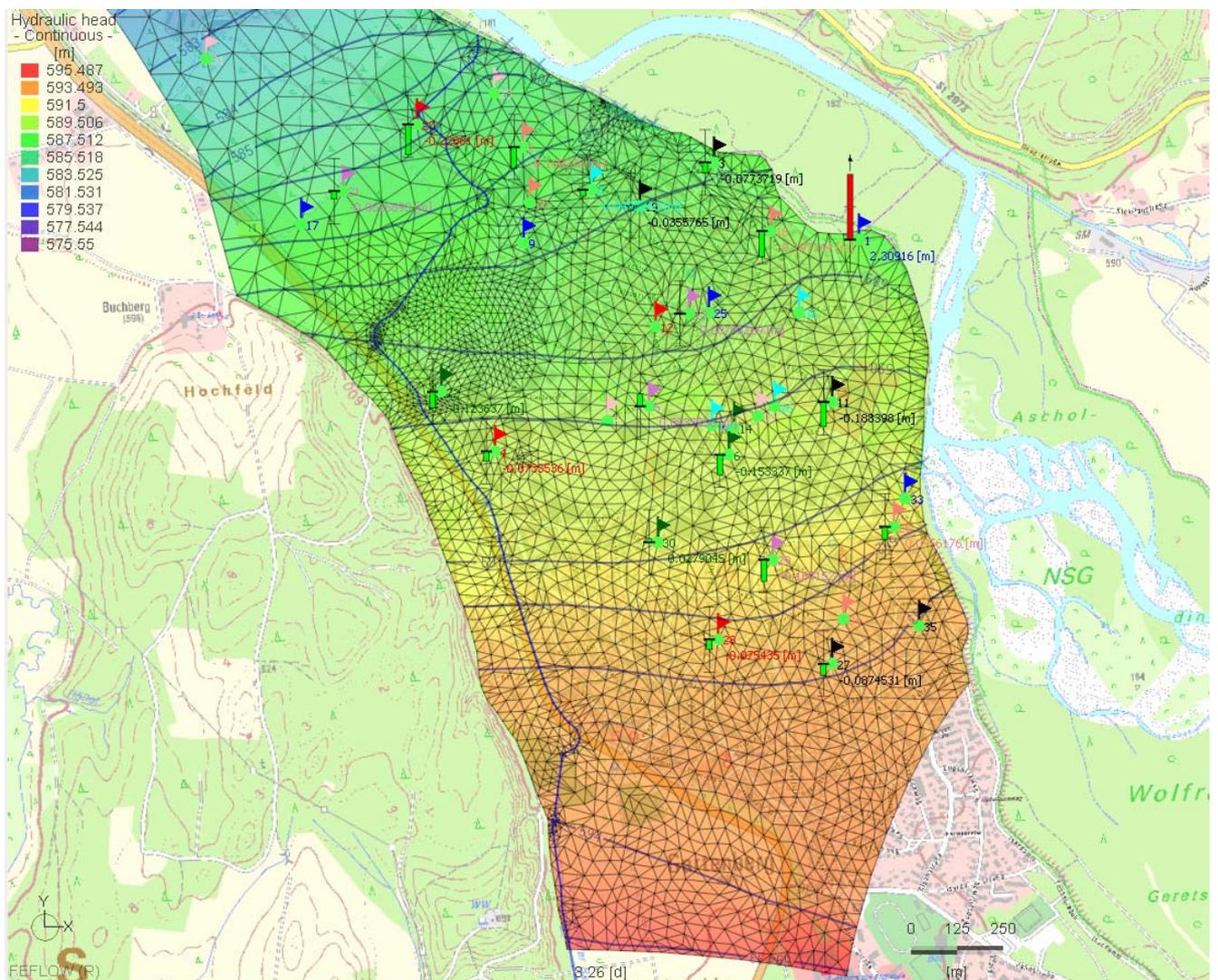


Erläuterungsbericht

Stadt Geretsried

Grundwasserströmungsmodell Geretsried Nord

19.01.2017



Projekt: **Grundwasserströmungsmodell Geretsried Nord**

Auftraggeber: Stadt Geretsried
Karl- Lederer Platz 1
82536 Geretsried

Auftragnehmer: Lahmeyer Hydroprojekt GmbH
Geschäftsbereich München
Elsenheimerstraße 11
80687 München

Projektleitung: Dipl. Ing. Bernhard Ebner

Qualitätssicherung: Dipl.-Ing. Stefan Reil

Bearbeitung: Dipl. Ing. Bernhard Ebner
M.Sc. Lisa Heidler
Ing. Petr Novak

München, den 19. Januar 2017

Lahmeyer Hydroprojekt GmbH
Geschäftsbereich München



Dipl.-Ing. Stefan Reil
Geschäftsbereichsleiter



Dipl. Ing. Bernhard Ebner
Projektleiter

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
1.1	Veranlassung.....	6
1.2	Ziel	6
1.3	Methodik	6
2	Grundlagen	7
2.1	Vorhandene Daten	7
2.1.1	Topografische Daten.....	7
2.1.2	Hydrologische / hydrografische Daten	7
2.1.3	Geologische Daten / Untergrundaufschlüsse / GW-Messstellen	9
2.1.4	Vorhandene Untersuchungen, Planungen, Gutachten	11
2.2	Erhebung ergänzender Daten.....	11
2.2.1	Grundwasser- und Quellschüttungsmessungen.....	11
2.2.2	Wasserspiegelmessungen und Abflussberechnungen	13
2.3	Bewertung der Datenbasis	13
3	Örtliche Verhältnisse.....	15
3.1	Projektgebiet	15
3.2	Geografische und topografische Situation	15
3.3	Geologie.....	15
3.4	Hydrologie	15
3.4.1	Oberflächenwasser	15
3.4.2	Grundwasser.....	16
3.4.3	Niederschlag und Verdunstung	18
3.5	Wasserwirtschaftliche Nutzungssituation	18
3.5.1	Oberflächenwassernutzungen.....	18
3.5.2	Grundwassernutzungen	18
4	Datenanalyse und -auswertung.....	19
4.1	Hydrologie	19
4.1.1	Oberflächengewässer	19
4.1.2	Grundwasser.....	21
4.1.3	Grundwasserneubildung aus Niederschlag	23
4.1.4	Grundwasserneubildung durch Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach.....	26
4.1.5	Unterirdische Zu- und Abflüsse	26
4.1.6	Quellen	27
4.2	Bilanzierung	27
4.3	Hydrogeologisches Strukturmodell	28

4.3.1	Modellabgrenzung.....	28
4.3.2	Grundwasseraquifer	30
4.3.3	Zeitabhängiges Verhalten	33
5	Numerisches Grundwasserströmungsmodell.....	35
5.1	Modellerstellung.....	35
5.1.1	Modell- und Aussagegebiet	35
5.1.2	Modellaufbau, räumliche und zeitliche Diskretisierung.....	35
5.1.3	Konstante Parameter, Anfangs- und Randbedingungen	36
5.2	Stationäre Modellkalibrierung.....	37
5.2.1	Berechnungseinstellungen	37
5.2.2	Stationärer Modellzustand	37
5.2.3	Anfangs- und Randbedingungen für den stationären Modellzustand	37
5.2.4	Ergebnis der stationären Modellkalibrierung.....	38
5.3	Instationäre Modellkalibrierung.....	41
5.3.1	Berechnungseinstellungen	41
5.3.2	Gewählter Beobachtungszeitraum als Grundlage der instationären Kalibrierung	41
5.3.3	Instationäre Parameter, Anfangs- und Randbedingungen.....	42
5.3.4	Ziel der instationären Kalibrierung	43
5.3.5	Ergebnis und Interpretation der instationären Modellkalibrierung.....	44
5.4	Sensitivitätsanalyse	49
5.4.1	Allgemeines	49
5.4.2	Variation der kalibrierten hydraulischen Durchlässigkeit	50
5.4.3	Variation des speicherwirksamen Porenvolumens	52
5.4.4	Variation der Grundwasserneubildung aus Niederschlag	54
5.5	Instationäre Berechnungsszenarien	56
5.5.1	Szenario I: Einfluss von Leckagen in der ehemaligen Bachverrohrung	56
5.5.2	Szenario II: Vollabdichtung des Schwaigwaller Bachs	57
5.5.3	Szenario III: Entfall Sohlabdichtung des Schwaigwaller Bachs im Bereich der S-Bahn-Trasse.....	59
6	Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Stammdaten Niederschlagsstation Geretsried (Feuerweherschule), Quelle: www.gkd.bayern.de	7
Abbildung 2-2: Stammdaten GW-Messstation Geretsried 177, Quelle: www.gkd.bayern.de	8
Abbildung 2-3: Stammdaten GW-Messstation Wolfratshausen 883, Quelle: www.gkd.bayern.de	8
Abbildung 2-4: Quellenstandorte im Raum Geretsried Nord, Quelle: Bodeninformationssystem Bayern (www.bis.bayern.de)	9
Abbildung 2-5: Gemessene Grundwasserpegel sowie weitere Aufschlüsse und Quellen.....	12

Abbildung 2-6: Ergebnisse der Quellschüttungsmessungen	13
Abbildung 3-1: Grundwasserströmungsbereiche im Untersuchungsgebiet	17
Abbildung 4-1: Messpunkte der Wasserspiegellage sowie Punkt der totalen Versickerung des Schwaigwaller Bachs am 14.07.2016.....	19
Abbildung 4-2: Abflussgeschehen infolge Niederschlag (NS) am 14.07.2016 (Zeitschrittgröße 1 h)	20
Abbildung 4-3 Gemittelte Abflussganglinie anhand von Tagesniederschlägen zwischen 11. und 14.07.2016	21
Abbildung 4-4: MGW-Isohypsen [mNN] (anhand Stichtagsmessung vom 29.03.2016)	22
Abbildung 4-5: Gegenüberstellung GW-Ganglinie im Pegel GER211 mit Niederschlag und Temperatur im Zeitraum Juni – Juli 2016	24
Abbildung 4-6: Gegenüberstellung GW-Ganglinie GER211 und Niederschlag für ein typisches Ereignis (Juni 2013)	25
Abbildung 4-7: Abgrenzung des hydrogeologischen Strukturmodells.....	29
Abbildung 4-8: Staueroberkante an Aufschlussstandorten sowie Interpretation der Stauerlage.....	31
Abbildung 4-9: Aquifermächtigkeit bei MGW im Modellgebiet	32
Abbildung 4-10: Gemessene Schwankungsbreite der Aquifermächtigkeit in Abhängigkeit des Mindestabstands vom Schwaigwaller Bach (Abschnitte mit durchlässiger Sohle)	33
Abbildung 5-1: Lage und Aufbau des Numerischen Grundwassermodells: Modellrand (rot), Schwaigwaller Bach (blau), Rüstungskanäle (grün), ehemalige Rohrleitung Schwaigwaller Bach (violett), Aufschlüsse und Grundwassermessstellen (pink), Quellen (hellblau)	36
Abbildung 5-2: stationär kalibrierte hydraulische Durchlässigkeit [m/s].....	39
Abbildung 5-3: Streudiagramm für den Stichtag 14.03.2016	40
Abbildung 5-4: GER211 – Vergleich reale und fiktive Ganglinie Juli 2016 sowie Ganglinie Juni 2013.....	42
Abbildung 5-5: Instationär kalibrierte Durchlässigkeitsverteilung („Conductivity“).....	44
Abbildung 5-6: Kalibrierte Verteilung des speicherwirksamen Porenvolumens n_s	45
Abbildung 5-7: Vergleich der berechneten und der gemessenen GW-Spiegellage im Pegel GER211.....	45
Abbildung 5-8: Streudiagramm für den Stichtag 19.07.2016 für die Pegel	47
Abbildung 5-9: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für $k_f \times 0,5$	50
Abbildung 5-10: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für $k_f \times 1,5$	51
Abbildung 5-11: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für $n_s \times 0,5$	52
Abbildung 5-12: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für $n_s \times 1,5$	53
Abbildung 5-13: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für eine Versickerung von 38,5 % des Niederschlags	54
Abbildung 5-14: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für eine Versickerung von 75 % des Niederschlags	55
Abbildung 5-15: GW-Spiegeldifferenz zwischen Szenario I und Szenario II	56
Abbildung 5-16: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für das Szenario II.....	57
Abbildung 5-17: GW-Spiegeldifferenz zwischen dem Basisszenario und Szenario II.....	58

Abbildung 5-18: GW-Spiegeldifferenz zwischen Szenario III und Szenario II60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundwassermessstellen und Aufschlüsse 10

Tabelle 2: Online auf www.bis.bayern.de abgefragte Aufschlussdaten 10

Tabelle 3: Grundwassermessstellen der Uniper Kraftwerke GmbH am Loisach-Isar-Kanal 11

Tabelle 4: Grundwasserbilanz für mittlere hydrologische Verhältnisse 27

Tabelle 5: Flächenanteile der verschiedenen Nutzungsarten 29

Tabelle 6: Grundwasserbilanz für den HGW-Zustand im Juli 2016 34

Tabelle 7: Flächendifferenzierte GW-Neubildungsrate für die stationäre Kalibrierung 38

Tabelle 8: gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen 40

Tabelle 9: Grundwasserbilanz für das stationär kalibrierte Modell 41

Tabelle 10: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für den Stichtag 19.07. ..46

Tabelle 11: Grundwasserbilanz für das instationär kalibrierte Modell am Modelltag 6 (12.07.2016)48

Tabelle 12: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für den quasistationären Zustand am Berechnungstag 3 49

Tabelle 13: Quasistationäre Grundwasserbilanz am Berechnungstag 3 49

Tabelle 14: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für $k_f \times 0,5$ 50

Tabelle 15: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für $k_f \times 1,5$ 51

Tabelle 16: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für $n_s \times 0,5$ 52

Tabelle 17: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für $n_s \times 1,5$ 53

Tabelle 18: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für eine Versickerung von 38,5 % des Niederschlags 54

Tabelle 19: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für eine Versickerung von 75 % des Niederschlags 55

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Grundwasser- und Niederschlagsganglinien

Anlage 2 Aufschlussprofile und Stammdatenblätter

Literaturverzeichnis

- [1] Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt 8134 Königsdorf, Bayerisches Landesamt für Umwelt (2015)
- [2] Hydrogeologische Karte von Bayern 1:50.000, Blatt 8134 Wolfratshausen, Bayerisches Geologisches Landesamt (1995)
- [3] Hydrogeologische Karte von Bayern 1:500.000, Blatt 4: Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag (1971-2000) Bayerisches Landesamt für Umwelt (2009)
- [4] DVGW Arbeitsblatt W 107 (2004): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten
- [5] Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, B. Hölling, 8. Auflage, Springer Verlag (2013)
- [6] Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden mit Fallbeispielen, Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 24 (2002)
- [7] Hydrogeologische Gutachten zur Neufestsetzung von Wasserschutzgebieten im Land Brandenburg – Hinweise zur Erstellung, Fachbeiträge des LUGV, Heft Nr. 117 (2011)
- [8] Grundwassersituation in Geretsried – Einfluss des Schwaigwaller Bachs, Präsentationsfolien Bauauschußsichtung vom 21.09.2010, Dr. Blasy – Dr. Overland
- [9] Grundwassersituation Geretsried Sommer 2010, Präsentationsfolien, Wasserwirtschaftsamt Weilheim
- [10] Hydrologisches Gutachten für den Schwaigwaller Bach vom 15.07.1994, Dr. Blasy + Mader Beratende Ingenieure
- [11] Bericht „Grundwasserneubildung Geretsried“, Heiko Luft (1989), als MS-Word Datei ohne Abbildungen erhalten vom WWA Weilheim am 23.06.2015

Planverzeichnis

Plan.-Nr.	Darstellung	Maßstab
1.1	Lageplan Flurabstände MGW	1 : 5.000
1.2	Lageplan Flurabstände HGW Juli 2016	1 : 5.000
2.1	Hydrogeologisches Längsprofil Schwaigwaller Bach	1 : 5.000 / 100
2.2	Hydrogeologisches Querprofil Blumenstraße - Isardamm	1 : 5.000 / 100

1 Einleitung

1.1 Veranlassung

Der ehemals verrohrte Schwaigwaller Bach wurde von der Stadt Geretsried im Bereich des Ortsteils Gartenberg in 2 Bauabschnitten (1999 und 2011) geöffnet und teilweise nicht abgedichtet verlegt. Seither geben Anlieger in der umliegenden Wohnbebauung an, vermehrt eindringendes Grundwasser im Keller zu beobachten.

Am 12. März 2015 wurde die Lahmeyer Hydroprojekt GmbH (LHP) von der Stadtverwaltung Geretsried mit der Erstellung eines Grundwassermodells beauftragt.

1.2 Ziel

Mit Hilfe des Grundwassermodells sollen die Grundwasserströmungsverhältnisse im Bereich des Ortsteils Gartenberg möglichst zutreffend dargestellt und auf deren Basis der Einfluss des Schwaigwaller Bachs auf das Grundwasser in Geretsried beurteilt werden. Weiterhin sollen mögliche Auswirkungen vorhandener Rüstungskanäle aus dem zweiten Weltkrieg geprüft werden.

1.3 Methodik

Für die Erstellung des Grundwassermodells waren zunächst hydrologische, geologische, topografische sowie historische Grundlagen und Daten zu erheben, aufzubereiten und für die Problemstellung adäquat auszuwerten. Nicht in ausreichender Qualität oder Quantität vorliegende Daten wurden soweit möglich durch weitere Untersuchungen bzw. Messungen ergänzt.

Der nächste Schritt bestand in der Entwicklung einer Hypothese über die das hydrogeologische System bestimmenden Faktoren und Einflüsse mithilfe eines hydrogeologischen Strukturmodells, basierend auf einer fundierten Analyse der zur Verfügung stehenden Daten. Weiterhin wurde eine Grundwasserbilanz zunächst für mittlere hydrologische Verhältnisse und in weiterer Folge für die Untersuchung des zeitabhängigen Verhaltens anhand eines Hochgrundwasserereignisses aufgestellt.

In der Folge wurde auf Grundlage der Anhaltswerte in Bezug auf sämtliche Beschaffenheiten, Eingangparameter und Randbedingungen, die im hydrogeologischen Strukturmodell ausgearbeitet wurden, ein numerisches Grundwasserströmungsmodell mittels der Software FEFLOW (Version 6.2) der Firma DHI-WASY GmbH erstellt. Dem Programm liegt die Finite-Elemente-Methode zugrunde. Die Kalibrierung erfolgte zunächst stationär anhand eines als näherungsweise stationär zu bezeichnenden Realzustandes in der Nähe einer statistisch mittleren Grundwasserspiegellage. Danach wurde eine instationäre Kalibrierung durchgeführt, welcher ein im Juli 2016 beobachtetes Hochwasserereignis des Schwaigwaller Bachs als Szenario zugrunde lag.

Auf Basis der Kalibrierung anhand des instationären Basisszenarios wurden schließlich die nachstehenden 3 Szenarien berechnet. Damit soll gezeigt werden, wie sich gewisse Einflussparameter auf das Grundwasserströmungsverhalten – insbesondere gegenüber dem Basisszenario – auswirken.

- Szenario I: Historischer Zustand mit Bachverrohrung und Rohrleckagen
- Szenario II: Vollständige Abdichtung des Schwaigwaller Bachs
- Szenario III: Entfall der Bachabdichtung im Bereich der geplanten Schnellbahntrasse der S7

Durch LHP wird in einem gesonderten Projekt zeitgleich eine hydraulische Abflussmodellierung des Schwaigwaller Bachs durchgeführt. Im Zuge der Datenerhebung und –auswertung für die vorliegende Untersuchung wurde bei Bedarf auf die Ergebnisse und Erkenntnisse aus diesem Modell zurückgegriffen.

2 Grundlagen

2.1 Vorhandene Daten

2.1.1 Topografische Daten

Folgende topografische Daten wurden erhoben:

- Digitale Ortskarte M 1:10.000
- Digitaler Flurstückskataster Bereich Geretsried Nord (Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 07/2014)
- Digitales Geländemodell DGM 1 im engeren (etwa nördlich Elbestraße bis Buchberg / Forstweg) sowie DGM 5 im erweiterten Projektgebiet
- Flächennutzungsplan mit Landschaftsplan Stadt Geretsried mit Änderungen, aufgestellt 1995, Stand 17.03.2016
- Lageplanauszug der militärischen Anlagen zur Zeit des zweiten Weltkrieges, Plantitel und Erstellungsdatum unbekannt
- Flussschlauch Schwaigwaller Bach, Ausbauzustand nach Verlegung / Abdichtung 2010 (Vermessung November 2014) mit lagemäßiger Angabe der Abdichtungsstrecke

2.1.2 Hydrologische / hydrografische Daten

Für die Bearbeitung standen nachstehende Daten zur Verfügung:

- Niederschlagsaufzeichnungen Station Geretsried Feuerwehrscheule (Tagesmesswerte seit 01.01.1961):

Messstellen-Nr.: 14351
Gemeinde: --
Landkreis: Bad Tölz-Wolfratshausen
Betreiber: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Rechtswert: 4462745.00 m (Gauss-Krueger, Bezug 12° Meridian)
Hochwert: 5301790.00 m (Gauss-Krueger)
Geländeöhe: 610 m ü.NN

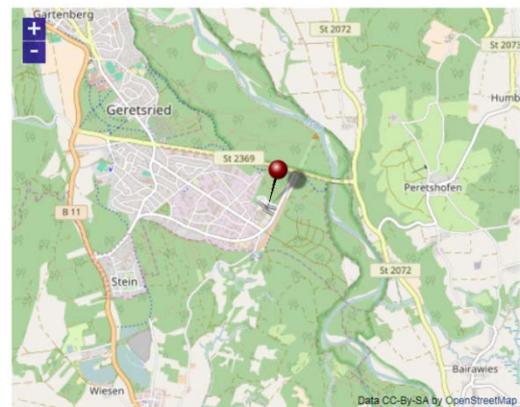


Abbildung 2-1: Stammdaten Niederschlagsstation Geretsried (Feuerwehrscheule), Quelle:
www.gkd.bayern.de

- Grundwasserstandsaufzeichnungen Station Geretsried 177 (GER 177)
(Tagesmesswerte seit 11.03.1992):

Messstellen-Nr.: 25617
 Gemeinde: Geretsried, St
 Landkreis: Bad Tölz-Wolfratshsn.
 Betreiber:  Wasserwirtschaftsamt Weilheim

Grundwasserleiter: Schotterflächen
 Ausbautiefe unter Gelände: 9,20 m
 Geländehöhe: 607,98 m ü. NN
 Beobachtet seit: 1992

Höchster Wasserstand seit 1992: 605,78 m ü. NN
 Mittlerer Wasserstand seit 1992: 603,91 m ü. NN
 Niedrigster Wasserstand seit 1992: 603,03 m ü. NN

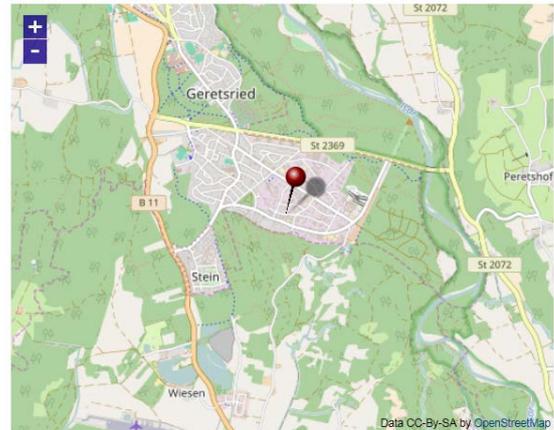


Abbildung 2-2: Stammdaten GW-Messstation Geretsried 177, Quelle: www.gkd.bayern.de

- Grundwasserstandsaufzeichnungen Station Wolfratshausen 883 (WOL 17)
(Tagesmesswerte seit 05.08.1982)

Messstellen-Nr.: 25151
 Gemeinde: Wolfratshausen, St
 Landkreis: Bad Tölz-Wolfratshsn.
 Betreiber:  Wasserwirtschaftsamt Weilheim

Grundwasserleiter: Quartär
 Ausbautiefe unter Gelände: 10,40 m
 Geländehöhe: 580,87 m ü. NN
 Beobachtet seit: 1982

Höchster Wasserstand seit 1982: 574,99 m ü. NN
 Mittlerer Wasserstand seit 1982: 573,43 m ü. NN
 Niedrigster Wasserstand seit 1982: 572,39 m ü. NN

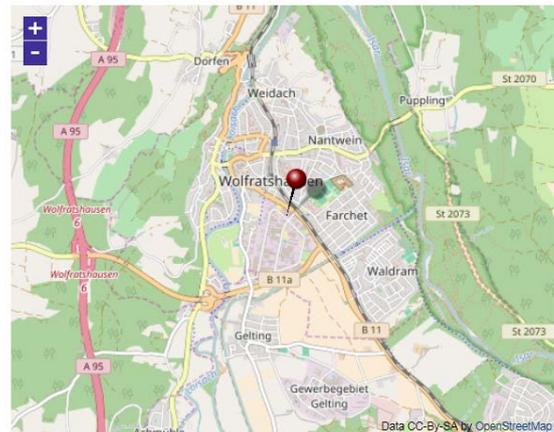


Abbildung 2-3: Stammdaten GW-Messstation Wolfratshausen 883, Quelle: www.gkd.bayern.de

- Grundwasserstandsaufzeichnungen Station Geretsried 211 (GER 211)
(2 x tägliche Messwerte seit 01.01.2015)
- Stichtagsmessungen an Grundwassermessstellen in Geretsried an 30 Stichtagen zwischen 05.05.2010 und 22.01.2015, Stadtwerke Geretsried (vgl. Anlage 1)
- Grundwassergleichenkarten der Stichtage 29.05.1998 sowie 16.08.2010, erstellt vom Wasserwirtschaftsamt Weilheim (vgl. [9]).
- Grundwasserstandsaufzeichnungen an den Messstellen LIK 51 und LIK 56 der Uniper Kraftwerke GmbH am Südufer des Loisach-Isar-Kanals in Waldram (Tagesmesswerte vom 01.10.2012 bis 01.08.2016)
- Hydrogeologische Karte von Bayern 1:50.000, Blatt 8134 Wolfratshausen (1995)

- Quellenstandorte im Raum Geretsried Nord

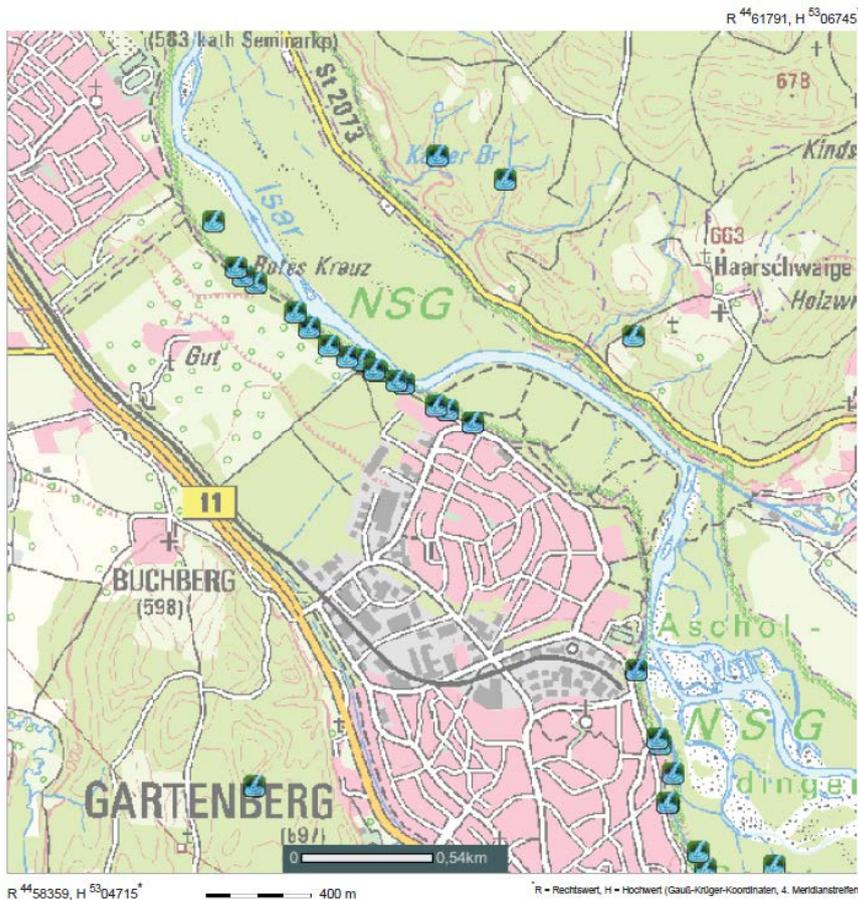


Abbildung 2-4: Quellenstandorte im Raum Geretsried Nord, Quelle: Bodeninformationssystem Bayern (www.bis.bayern.de)

- Hochwassergefahrenkarte Isar M 1:10.000, HQ100 Wassertiefen, Blattsschnitte 16_ISAR00_K24 und _K25, Bayerisches Landesamt für Umwelt (19.03.2015)

2.1.3 Geologische Daten / Untergundaufschlüsse / GW-Messstellen

Vom Wasserwirtschaftsamt bzw. von privaten Eigentümern wurden Bohrprofile vorhandener Untergundaufschlüsse sowie Grundwassermessstellen im Untersuchungsraum angefragt. Für die in Tabelle 1 aufgelisteten Aufschlüsse und Messstellen wurden Daten (Vermessungswerte, Stammbblätter sowie zum Teil Profildarstellungen) zur Verfügung gestellt.

Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	GOK	GW-Messstelle	Stauer-OK
GER008	4.460.780	5.305.505	589,34	ja	583,80
GER101	4.459.872	5.305.800	588,73	ja	unbek.
GER103	4.460.607	5.305.310	593,35	ja	unbek.
GER104	4.460.393	5.305.735	590,96	ja	587,16
GER106	4.459.760	5.304.964	593,69	ja	588,90
GER117	4.460.186	5.305.070	594,68	ja	588,58
GER119	4.460.356	5.305.010	594,83	nein	589,23

GER120	4.460.398	5.304.927	595,33	ja	587,90
GER121	4.460.071	5.305.035	594,25	nein	588,46
GER135	4.460.055	5.305.674	590,13	ja	586,80
GER145	4.459.863	5.305.535	592,22	nein	586,20
GER148	4.459.885	5.305.646	590,14	nein	586,30
GER158	4.460.688	5.305.060	594,99	ja	586,90
GER159	4.460.841	5.304.709	596,70	ja	unbek.
GER165	4.460.214	5.305.289	593,88	nein	587,40
GER166	4.460.306	5.305.231	593,82	ja	588,00
GER181	4.458.968	5.305.732	596,69	ja	unbek.
GER183	4.460.446	5.303.519	598,53	ja	unbek.
GER196	4.460.416	5.305.001	595,11	nein	589,50
GER197	4.460.482	5.305.030	595,01	nein	590,30
GER201	4.460.529	5.305.054	594,98	nein	588,80
GER202	4.460.361	5.305.321	593,50	nein	588,40
GER207	4.459.257	5.305.614	590,08	nein	583,90
GER208	4.460.656	5.304.338	598,20	ja	592,50
GER209	4.460.347	5.304.419	596,80	ja	unbek.
GER210	4.460.540	5.305.539	591,20	ja	588,00
GER211	4.460.185	5.305.624	590,92	ja (online)	587,30
GER213	4.461.250	5.303.340	601,50	ja	582,90
GER214	4.459.585	5.305.875	588,12	ja	584,30
GER215	4.459.375	5.305.700	590,18	ja	585,70
GER222	4.459.620	5.305.135	593,06	ja	588,50
GER249	4.460.910	5.304.420	598,10	ja	unbek.
GER252	4.460.506	5.304.632	597,00	ja	unbek.
GER515	4.459.800	5.305.952	508,81	ja	504,61

Tabelle 1: Grundwassermessstellen und Aufschlüsse

Die Profildarstellungen und Stammdatenblätter sind – soweit vorhanden – der Anlage 2 zu entnehmen.

Weiterhin wurden aus dem Bodeninformationssystem Bayern (www.bis.bayern.de) online-Daten zu folgenden Aufschlüssen eruiert:

Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	GOK	GW-Messstelle	Stauer-OK
GER033	~4.460.875	~5.304.785	~595,00	ja	591,70
GER080	~4.458.850	~5.305.880	589,32	nein	582,92
GER107	4.460.691	5.304.459	597,44	nein	592,44
GER130	4.460.194	5.304.694	595,26	ja	589,36

Tabelle 2: Online auf www.bis.bayern.de abgefragte Aufschlussdaten

Von der Uniper Kraftwerke GmbH wurden darüber hinaus Bohrprofile für die Grundwassermessstellen LIK 51 und LIK 56 am Südufer des Loisach-Isar-Kanals in Wolfratshausen – Waldram erhoben:

Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	GOK	GW-Messstelle	Stauer-OK
LIK51	4.458.398	5.307.436	581,39	ja	unbek.
LIK56	4.457.862	5.307.087	583,42	ja	unbek.

Tabelle 3: Grundwassermessstellen der Uniper Kraftwerke GmbH am Loisach-Isar-Kanal

2.1.4 Vorhandene Untersuchungen, Planungen, Gutachten

Für die Bearbeitung standen nachstehende Unterlagen zur Verfügung:

- Bestandspläne Umlegung Schwaigwaller Bach, Holzner GmbH (Juni 2003)
- Lageplan Bachverrohrung Schwaigwaller Bach, Stadt Geretsried (16.05.2002)
- „Grundwasserbilanz Geretsried“, Heiko Luft (Juli 1998), als MS-Word Datei zur Verfügung gestellt durch das WWA Weilheim am 23.06.2015, ohne Abbildungen und Anhänge [11]

Die Recherche hinsichtlich vorhandener Baugrund- oder Grundwassergutachten beim Wasserwirtschaftsamt sowie bei der Stadt Geretsried blieb ohne Ergebnis.

2.2 Erhebung ergänzender Daten

2.2.1 Grundwasser- und Quellschüttungsmessungen

Mit Schreiben der Stadt Geretsried vom 5. November 2015 wurde LHP mit der Durchführung von Grundwasserstands- und Quellschüttungsmessungen beauftragt. Ziel dieser Messungen war, Stichtagswerte bei unterschiedlichen hydrologischen Zuständen für die Kalibrierung und Verifizierung eines stationären Grundwasserströmungsmodells zu gewinnen. Die Grundwasserstandsmessungen wurden an ausgewählten Pegeln gemäß Abbildung 2-5 jeweils im 2-Wochen Rhythmus durchgeführt. Die Quellschüttungsmessungen an den vor Ort erhobenen Quellen erfolgten im Abstand von 8 Wochen, soweit möglich mittels Eimermessung. Es wurden – soweit möglich – jeweils 5 Einzelmessungen gemacht und ein Mittelwert über alle Messwerte berechnet. An unzugänglichen jedoch beobachtbaren Stellen des Isarprallufers wurden die Quellschüttungen nach Augenmaß abgeschätzt. Die Ergebnisse der Quellschüttungsmessungen sind in Abbildung 2-6 ersichtlich. Die Ganglinien der Messungen an Grundwasserpegeln mit den in der Messperiode angefallenen 2-wöchentlichen Niederschlagssummen können der Anlage 1 entnommen werden.

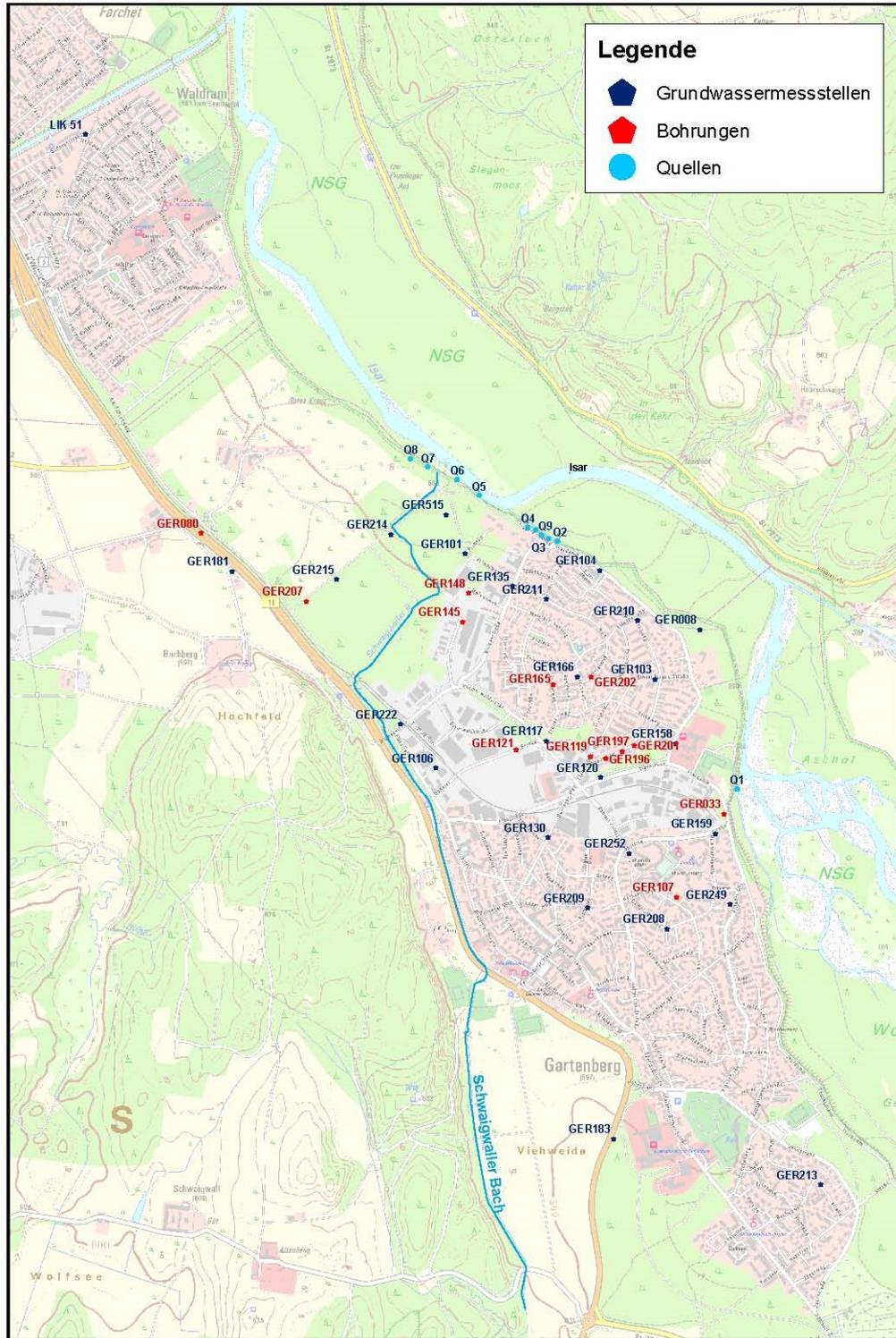


Abbildung 2-5: Gemessene Grundwasserpegel sowie weitere Aufschlüsse und Quellen

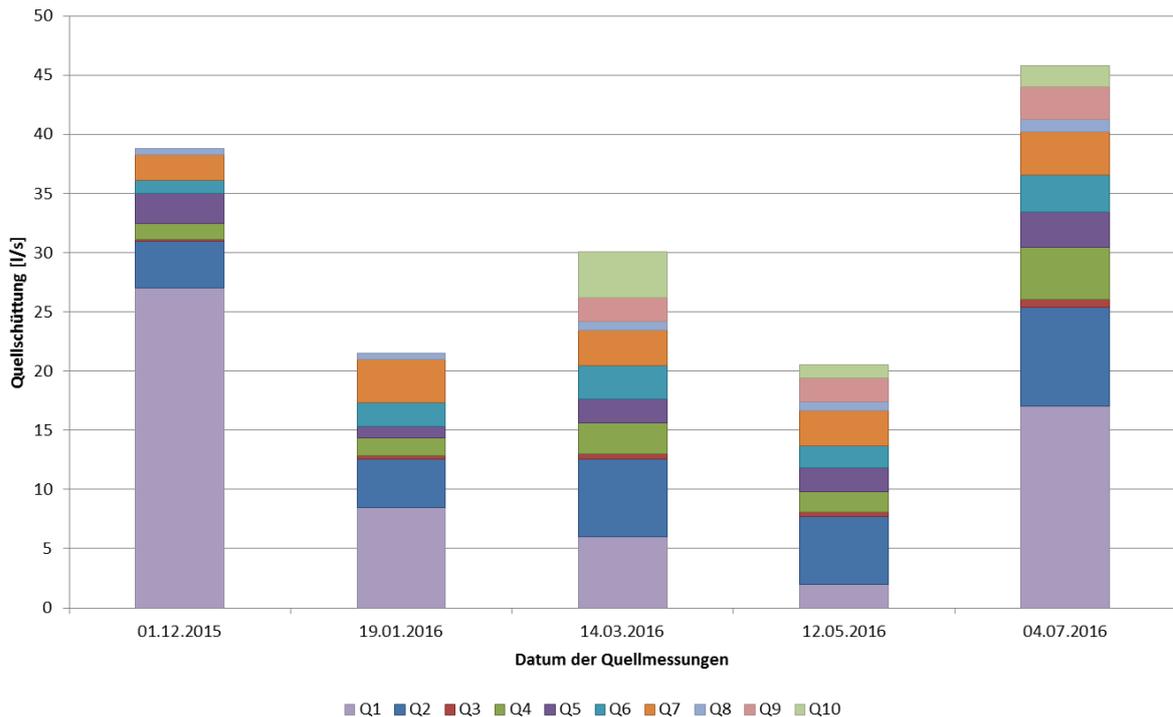


Abbildung 2-6: Ergebnisse der Quellschüttungsmessungen

2.2.2 Wasserspiegelmessungen und Abflussberechnungen

Weiterhin wurden am 14.07.2016 um 16:00 Uhr Aufnahmen des – infolge länger anhaltender Niederschläge angestiegenen – Wasserspiegels des Schwaigwaller Bachs durch Hrn. Klinger (Stadt Geretsried) durchgeführt. Hierzu wurden Abstichmaße an den Brücken Blumenstraße, Radweg und I-Gleis, jeweils ober- und unterwasserseitig an der Betonoberkante genommen. Mittels der bekannten Absoluthöhen der Brückenkonstruktionen konnten somit die Absoluthöhen des Wasserspiegels bestimmt werden. Die Rückrechnung mit dem vorhandenen 2D-Abflussmodell des Schwaigwaller Bachs ergab für den o.g. Zeitpunkt einen Momentanabfluss von ca. 450 bis 550 l/s. Der untere dieser Werte konnte mittels der Niederschlags-Abflussbeziehung anhand der zeitgleich bzw. zeitlich vorgelagerten Niederschlagshöhen im Einzugsgebiet verifiziert und bestätigt werden. Einzelheiten der Berechnung können Kapitel 4.1.1 entnommen werden. Durch Hrn. Klinger wurde uns darüber hinaus jene Stelle bezeichnet, an welcher der Schwaigwaller Bach vollständig versickert war.

2.3 Bewertung der Datenbasis

Die vorhandene Datengrundlage weist die nachstehend erläuterten Defizite auf:

- Weitere Untergrundaufschlüsse von der Untergrunderkundung im Rahmen der Planungen zur Verlängerung der S-Bahn-Trasse der S7 wurden von der Deutschen Bahn AG angefragt, jedoch nicht zur Verfügung gestellt. Da auch sonst im Bereich westlich der B11 keine vorhandenen Aufschlüsse zur Verfügung stehen, ist die Information über den Untergrund zum Schwaigwaller Berg hin unvollständig.
- Es standen keine Unterlagen über die Ausbildung der Bachabdichtung im Querprofil zur Verfügung. Es kann daher keine Relation zwischen dem Abflusswasserspiegel im Schwaigwaller Bach zur Oberkante der Abdichtung gebildet und weiterhin nicht auf einen möglichen Einfluss auf die Grundwasserströmung geschlossen werden.

- Im Bereich zwischen Viehweide, der Straße „am Forst“ und der Sperlingstraße liegen mit Ausnahme eines Aufschlusses am Rotkehlchenweg keine Bohrprofile und damit Höhenangaben zur Stauerlage vor. Gleiches gilt für den Bereich zwischen dem Schwaigwaller Bach nördlich von Gartenberg und der Ortsgrenze von Waldram.
- Zur hydraulischen Durchlässigkeit oder zum speicherwirksamen Porenvolumen liegen weder Ergebnisse aus Pumpversuchen noch Berechnungen anhand von Sieblinien vor.
- Die flächige Verteilung der Mächtigkeit bzw. des Speichervermögens der durchwurzelten Bodenzone ist nicht bekannt. Für ihren Einfluss auf die Grundwasserneubildung aus Niederschlag muss daher auf plausible Abschätzungen zurückgegriffen werden. Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auch auf das – insbesondere in den Sommermonaten – hoch dynamische Zusammenspiel zwischen Sättigung der Bodenzone infolge Niederschlägen sowie Entsättigung / Austrocknung durch Evapotranspirationsprozesse.
- Es liegen – mit Ausnahme einer Stichtagsmessung vom 14.07.2016 – keine Wasserspiegel- oder Abflussmessungen im Schwaigwaller Bach vor. Der in der vorliegenden Untersuchung angesetzte Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluss bleibt daher unsicherheitsbehaftet.
- Über die Abmessungen und Absoluthöhen der Unterkanten von Gebäudekellern liegen keine Informationen vor. Dies gilt ebenso für die bestehenden Rüstungskanäle. Für letztere ist darüber hinaus nicht geklärt, ob sie (ggf. temporär) eine Drainagewirkung für das Grundwasser haben.
- Die Zuverlässigkeit der GW-Messstelle GER117 wurde bei früheren Untersuchungen des WWA bemängelt (Aussage „Pegel läuft nicht nach“ von Hrn. Eckel 2005).
- Es ist nicht geklärt, woher der Abfluss des im vorliegenden Bericht unter der Bezeichnung Quelle 1 geführten Rohrauslaufs beim Tennisplatz stammt. Es wird vermutet, dass es sich dabei nicht um Drainagewasser bzw. Grundwasser handelt, sondern vielmehr um eine Kühlwasserableitung der Firma Pulcra.
- Von Seiten der Stadtwerke Geretsried wurde uns mitgeteilt, dass für die vorhandenen Grundwassermessstellen keine aktuelle Vermessung (insbesondere der Höhenlagen) vorliegt und ggf. mit Höhenfehlern gerechnet werden muss. Tatsächlich wurde beim Pegel GER181 eine unplausible Höhenangabe in den vorhandenen Unterlagen festgestellt und die Messstelle erneut vermessen (Höhenfehler 4,16 m).
- Mit den neu erhobenen Grundwasserstands- und Quellschüttungsmessdaten liegen nun zwar erstmals Hinweise auf die zeitabhängige Entwicklung der Grundwassersituation vor, jedoch zeigte der Vergleich mit der kontinuierlichen (täglichen) Messwertaufzeichnung im Pegel GER211, dass – speziell bei größeren Niederschlagsereignissen – der Grundwasserspiegel innerhalb sehr viel kürzerer Zeiträume als 2 Wochen reagiert.

Die geologischen Strukturen sind im Untersuchungsgebiet durch zahlreiche vorhandene Aufschlüsse vergleichsweise gut erschlossen, mit allerdings bereichsweise fehlenden Informationen. Die Grundwasserspiegellage wurde bislang lediglich an wenigen Messstellen kontinuierlich, ansonsten nur an Stichtagen gemessen und bildet daher den natürlichen zeitabhängigen Verlauf der Grundwasserschwankungen lediglich sehr grob ab. Für die instationäre Modellierung müssen die zwischen den Messwerten liegenden Größen folglich plausibel interpoliert werden.

Insgesamt können mit den vorhandenen Daten Abschätzungen in grober temporaler Auflösung über die zeitabhängige Entwicklung der Grundwasserspiegellage im betrachteten Aussagegebiet (vgl. zur Definition Kapitel 5.1.1) gemacht werden. Die im Zeitraum zwischen den Stichtagsmessungen statt findende Entwicklung lässt sich – ausgenommen im Nahfeld der kontinuierlich aufzeichnenden Grundwasserpegel – lediglich interpretativ angeben.

3 Örtliche Verhältnisse

3.1 Projektgebiet

Das Projektgebiet umfasst Teile der Flächen der Stadt Geretsried sowie der Stadt Wolfratshausen zwischen dem Schwaigwaller Berg und der Bundesstraße B11 im Westen und der Isar im Osten. Die nördliche Begrenzung bildet der Loisach-Isar-Kanal (LIK), im Süden wird ein Gebiet bis zur Straße nach Schwaigwall bzw. zur St2369 betrachtet.

3.2 Geografische und topografische Situation

Das Gebiet von und nördlich der Stadt Geretsried liegt auf einem Höhenniveau zwischen etwa 580 und 605 müNN und verläuft eben und in relativ einheitlichem Gefälle Richtung NNW. Der Schwaigwaller Berg begrenzt die Ebene nach Westen und erhebt sich bis zu rd. 50 m über sie. Nach Osten bricht das Gelände entlang des Isardamms steil ab. Die weiter östlich gelegenen Auflächen liegen mehrere Meter tiefer als das angrenzende Stadtgebiet von Geretsried Nord / Gartenberg und der nördliche Ortsteil Waldram der Stadt Wolfratshausen.

Die Ortsgebiete von Gartenberg und Waldram sind überwiegend in Wohn- und Gewerbeflächen gegliedert, mit lediglich geringem Grünflächenanteil. Letztere sind im Projektgebiet im Wesentlichen westlich der Bundesstraße B11, im Norden zwischen den Ortsteilen Gartenberg und Waldram und im Süden südlich des Gymnasiums zu finden.

3.3 Geologie

Das Projektgebiet ist der geologischen Großeinheit der Isar-Loisach-Jungmoränen zugehörig. Die Geretsrieder Schotterebene ist aus spätwürmeiszeitlichen sowie bereichsweise überlagernden nacheiszeitlichen Schottern aufgebaut. Im Liegenden der lediglich wenige Meter mächtigen Schotter befinden sich im Stadtgebiet von Gartenberg Moränenablagerungen und weiter nördlich Seeton. Bei den Schottern handelt es sich überwiegend um sandige (Grob-) Kiese mit geringem Schluffgehalt, zum Teil mit sandigen Einschaltungen und / oder Steinanteilen und guter bis sehr guter Porendurchlässigkeit. Sie beinhalten den in der vorliegenden Untersuchung betrachteten, gering mächtigen Grundwasserkörper (Aquifer). Die Moränenablagerungen und Seetone weisen aufgrund ihres hohen Feinkorngehalts eine um mehrere Größenordnungen geringere hydraulische Durchlässigkeit auf und wirken daher als Grundwasserstauer, der an den Erosionskanten der Isar an der Geländekante ansteht. Der Schwaigwaller Berg besteht aus Moränenwällen mit heterogener Kornzusammensetzung und ebenfalls überwiegend geringer bis fehlender Porendurchlässigkeit. Im Isartal finden sich im Liegenden der oberflächlich verbreiteten Aueablagerungen die o.g. Schotter der Geretsrieder Schotterebene.

3.4 Hydrologie

3.4.1 Oberflächenwasser

Im Projektgebiet sind folgende relevante Oberflächenwasserkörper vorhanden, die nachfolgend näher erläutert werden: Schwaigwaller Bach, Isar, Loisach und Loisach-Isar-Kanal

Schwaigwaller Bach

Der Schwaigwaller Bach entspringt in einem Waldgebiet zwischen der Stadt Geretsried und der Ortschaft Schwaigwall. Im oberen Bachabschnitt, kurz nach Austritt des Schwaigwaller Baches aus dem Wald, verläuft dieser entlang dem Waldrand in Richtung des Stadtteiles Gartenberg. Der Bach verläuft

wahrscheinlich nicht in seinem ursprünglichen Bachbett, sondern wurde zur Nutzbarmachung der landwirtschaftlichen Flächen an den Waldrand verlegt. In diesem Bereich besitzt der Bach keinen naturnahen Charakter, der wohl auf Begradigungen durch Flurbereinigungsmaßnahmen in den letzten Jahrzehnten zurückzuführen ist. An den Kreuzungen des Baches mit mehreren Wegen sind kleinere Durchlässe und Brücken angeordnet.

Nach dem Sportplatzgelände verläuft der Bach weiter in Richtung B 11, anschließend parallel dazu. Die Breite des Baches beträgt hier bis zu einem Meter. Der weitere Verlauf des Schwaigwaller Bachs besteht in seiner heutigen Form eines durchgehend offenen Gerinnes seit dem Jahr 2011. Die davor im Bereich des Stadtgebiets von Gartenberg seit dem 2. Weltkrieg verrohrte Führung wurde bereits im Zuge der im Jahr 2003 fertiggestellten Neuanlage des Bachs stillgelegt und verplombt. In 2011 wurde eine Verlegung und Renaturierung des Gerinnes umgesetzt, da die geplante Verlängerung der Schnellbahnstrecke S 7 von Wolfratshausen nach Geretsried westlich der B11 zu einer Verschlechterung der Hochwasserabflusssituation des Schwaigwaller Bachs geführt hätte. Nördlich der Brücke an der Blumenstraße biegt das Gerinne Richtung Isar ab und mündet nach etwa 1.290 m über eine raue Rampe in die Isar.

Das neue Bachbett ist beginnend auf der „Böhmwiese“ bis zur Brücke an der Blumenstraße auf einer Länge von ca. 1.100 m in der Niederwasserrinne (bis MQ-Abfluss) mittels Bentonitmatte abgedichtet. Außerhalb der Sohlabdichtungstrecke stehen unterhalb einer verbreitet lediglich einige cm dicken Mutterbodenschicht unmittelbar die sandigen Kiese der Schotterebene an, sodass der Bach hier in den Untergrund versickern kann und nur bei Hochwasserereignissen einer Jährlichkeit jedenfalls > 1 die Mündung in die Isar erreicht. Die Bachsohle liegt durchgehend über dem mittleren Grundwasserspiegel, sodass kein direkter Zusammenhang zwischen dem Wasserspiegel im Gerinne mit dem Grundwasserspiegel besteht.

Der Mittelwasserabfluss des Schwaigwaller Bachs wurde aus dem Niederschlags-Abflussmodell (vgl. [10]) zu ca. 60 l/s errechnet, der mittlere Niederwasserabfluss zu 15 l/s. Der Scheitelabfluss bei HQ_{100} wird mit ca. 7,9 m³/s angegeben.

Isar

Die Isar fließt im Osten des Projektgebiets innerhalb des um mehrere Meter eingeschnittenen Isartals in genereller NNW-Richtung. Sie bildet im Bereich Gartenberg die Vorflut für einen Teil des Grundwassers in der Schotterebene, jedoch besteht keine direkte Kommunikation zwischen Grund- und Oberflächenwasser, da selbst im Hochwasserfall der Grundwasserstauer durchwegs über dem Wasserspiegel der Isar liegt und die Exfiltration aus dem Grundwasseraquifer über Quellaustritte an der Erosionskante erfolgt.

Loisach und Loisach-Isar-Kanal

Das Bett der Loisach bzw. der Loisach-Isar-Kanal (LIK) befinden sich westlich des Projektgebiets und des Schwaigwaller Bergs. Nördlich von Gelting schwenkt der LIK von seinem ursprünglich parallelen Verlauf mit der Loisach nach NE und mündet im Wolfratshausener Ortsteil Waldram bzw. Farchet in die Isar. Aus dem Vergleich der Grundwasserpegelstände mit dem LIK-Pegel Bruggen ist anzunehmen, dass die Loisach den Vorfluter für den Grundwasserkörper im Bereich zwischen dem Breitenbach im Süden und Gelting im Norden darstellt. Bei Waldram bzw. Farchet ist der Grundwasserstrom vom abgedichteten LIK entkoppelt und unterströmt das Gerinne.

3.4.2 Grundwasser

Innerhalb der Geretsrieder Schotterebene ist durchwegs Grundwasser vorhanden. Hinsichtlich der Strömungssituation sind drei Bereiche zu unterscheiden, wie die nachfolgende Abbildung 3-1 zeigt.

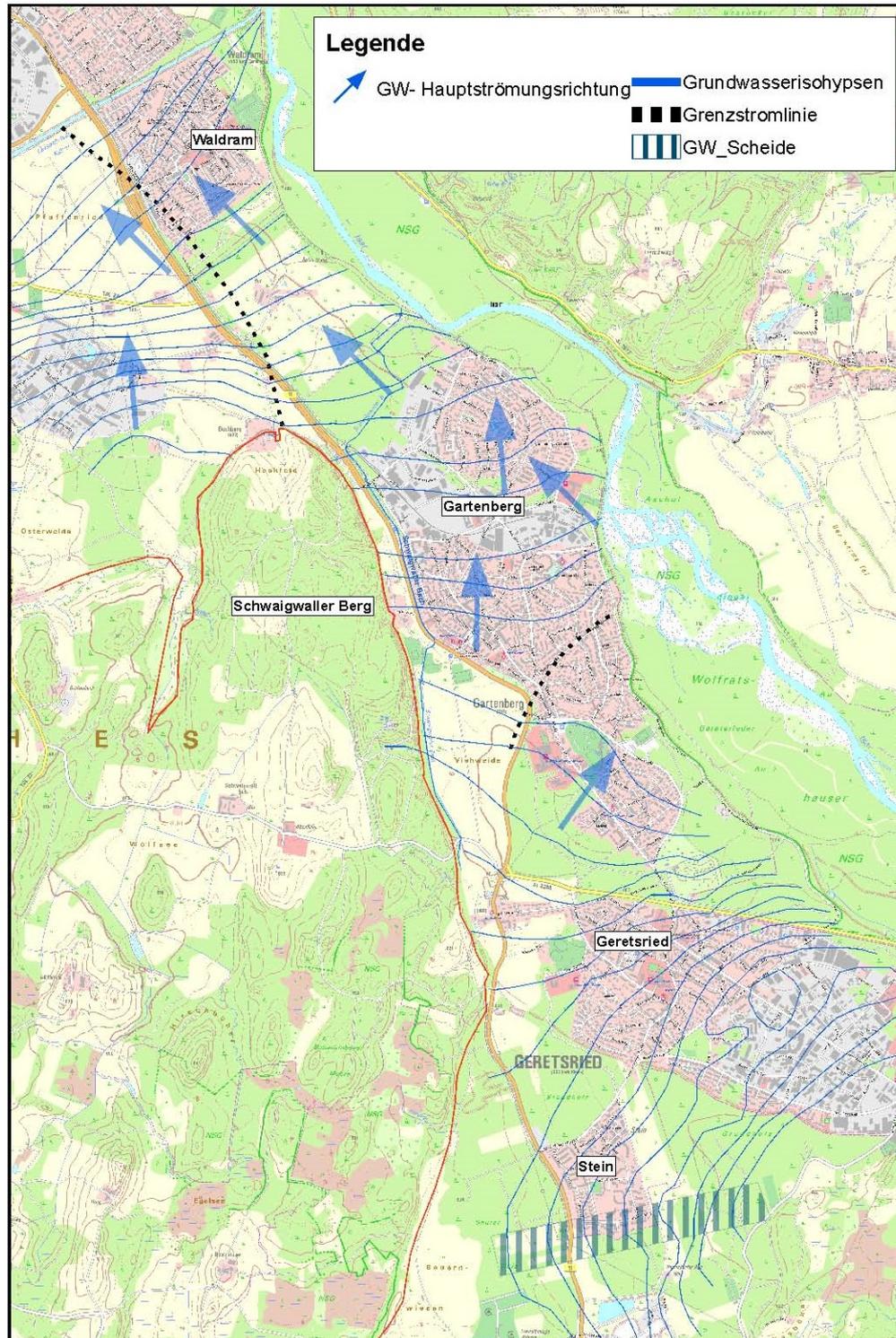


Abbildung 3-1: Grundwasserströmungsbereiche im Untersuchungsgebiet

Im südlichen Projektgebiet schwenkt die zunächst nach N bis NW gerichtete Strömung etwa im Bereich Viehweide / Jahnstraße nach NE und exfiltriert in die Isar. Die Randstromlinie verläuft dabei in einem Bogen etwa von der Kurve der B11 beim Schulzentrum und tangential zur Rübezahlstraße bis zum Isardamm. Die Aquifermächtigkeit beträgt hier im Allgemeinen mehrere Meter.

Nördlich davon fließt das Grundwasser zunächst im Untergrund von Gartenberg in nördlicher Richtung und dreht etwa im Bereich Buchberg allmählich nach NW in Richtung Waldram. Im Bereich der Mün-

dung des Schwaigwaller Bachs am Isarprallhang existieren zahlreiche Quellaustritte, die in Summe etwa eine mittlere Wassermenge von rd. 30 l/s schütten (vgl. [11] sowie Kapitel 2.2.1) und den östlichen Teil des Grundwasserstroms zur Vorflut entwässern. Der westliche, nach Waldram fließende Teil des Grundwasserabstroms wurde durch das WWA Weilheim auf Basis von Tracermessungen aus den 1990er Jahren mit ca. 50 l/s geschätzt (vgl. [11]).

Der dritte Bereich umfasst das Gebiet nordwestlich des Schwaigwaller Bergs, etwa zwischen der B11 und Gelting. Die Grundwasserströmung streicht hier vom Schwaigwaller Berg bzw. vom Breitenbach weg über einen Richtungsbereich von nördlich bis westlich. Die östliche Trennstromlinie zwischen diesem Bereich und der vorgenannten Grundwasserhauptströmung Gartenberg – Waldram beginnt am nördlichsten Punkt des Schwaigwaller Bergs etwa bei Buchberg, führt dann in einem sanften Linksbogen zunächst etwa mittig zwischen der B11 und dem Gut südlich von Waldram vorbei und quert in der Folge erneut die B11 etwa bei der Abfahrt nach Waldram.

3.4.3 Niederschlag und Verdunstung

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe im Untersuchungsgebiet beträgt rd. 1.300 mm/a (vgl. Niederschlagsmessstelle Geretsried Feuerweherschule, Jahresreihen ab 01.01.1961).

Im Bericht „Grundwasserbilanz Geretsried“ [11] wird in der Bilanzierung für das Gebiet Geretsried Nord eine jährliche Grundwasserneubildungsrate von 385 mm/a angesetzt. Dies entspricht einem Anteil am mittleren Jahresniederschlag von ca. 29,6 %. Verglichen mit der hydrogeologischen Karte von Bayern M 1:500.000 [3] erscheint dieser Wert zu gering. Es wird daher von einer jährlichen, mittleren Grundwasserneubildungsrate von ca. 500 mm ausgegangen. Der prozentuale Anteil des im Jahresmittel versickernden Niederschlags liegt demnach bei 38,5%. Es ist jedoch davon auszugehen, dass während länger anhaltender (Stark-) Regenereignisse, abhängig von Niederschlagsverlauf, Vorsättigung der durchwurzelten Bodenzone, Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Versickerungsanteil am Niederschlag temporär deutlich über dem genannten Mittelwert liegen kann. Mangels Datenbasis können hierzu allerdings lediglich abschätzende Annahmen getroffen werden.

3.5 Wasserwirtschaftliche Nutzungssituation

3.5.1 Oberflächenwassernutzungen

Es sind keine (relevanten) Nutzungen an Oberflächengewässern (Schwaigwaller Bach und Isar) bekannt.

3.5.2 Grundwassernutzungen

Auf Rückfrage beim WWA Weilheim sind aktuell keine Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet bekannt. Es bestehen laut Bodeninformationssystem Bayern (BIS) einige Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen.

Das im Ortsgebiet von Gartenberg anfallende Niederschlagswasser wird keiner Ortsentwässerung zugeführt, sondern dezentral versickert.

4 Datenanalyse und -auswertung

4.1 Hydrologie

4.1.1 Oberflächengewässer

Als einziges relevantes Oberflächengewässer geht der Schwaigwaller Bach in die vorliegende Untersuchung ein. Sein mittlerer Durchfluss von ca. 60 l/s ist so gering, dass der Bach zumeist bereits unweit des Austritts in die Geretsrieder Schotterebene (auf der „Viehweide“) aufgrund der hohen Sohldurchlässigkeit vollständig versickert.

Im Einzugsgebiet des Schwaigwaller Bachs liegen keine Pegelaufzeichnungen, jedoch eine Hochwasserbeobachtung (Einzelmessung) am 14.07.2016 gegen 16-17 Uhr vor. An diesem Tag wurden zum einen der Punkt der vollständigen Versickerung des Schwaigwaller Bachs sowie zum anderen an der Brücke Blumenstraße, an der Fahrradbrücke und an der Gleisbrücke mittels Lichtlot die Abstände der Wasserspiegellage zur jeweiligen Brückenkante (Höhenlage aus Vermessung bekannt) bestimmt (vgl. Abbildung 4-1).



Abbildung 4-1: Messpunkte der Wasserspiegellage sowie Punkt der totalen Versickerung des Schwaigwaller Bachs am 14.07.2016

Daraus wurden mit Hilfe eines vorhandenen 2D Abflussmodells die dazugehörigen Abflüsse im Schwaigwaller Bach ermittelt. Bei der Brücke Blumenstraße ermittelte das Modell bei einem Wasserstand von 591,4 mNN oberstrom der Brücke ein Abfluss von ca. 500 l/s. Bei der Fahrradbrücke ergab sich nach dem Vergleich der Vermessung ein Wasserspiegel (oberstrom = unterstrom) von 590,06 mNN. Bei diesem Wasserstand fließt im Bach ein Abfluss von 600 l/s ab. Bei dem gleichen Abfluss ergibt sich unterstrom der Gleisbrücke im Modell ein WSP von 590,04 mNN, was auch mit dem Vermessungswert

übereinstimmt. Oberstrom der Brücke wurde ein vorhandener Wasserspiegel von 590,12 mNN gemessen, jedoch wird vermutet, dass der gegenüber dem Unterwasserspiegel deutlich erhöhte Wasserspiegel durch einen Rückstau aufgrund eines Hindernisses zu Stande kam.

Aus der Berechnung lässt sich demnach schließen, dass der Abfluss am 14.07.2016 zwischen 16:00 bis 17:00 Uhr unter Berücksichtigung der Modellgenauigkeit an den vorgenannten Stellen etwa zwischen 500 und 600 l/s lag. Um diesen Wert zu plausibilisieren sowie die Scheitelwerte des Abflusses im Schwaigwaller Bach infolge der dem Messzeitpunkt vorangegangenen Niederschläge zu ermitteln, wurde weiterhin eine Abflussganglinie mittels Dreieckstransformationsverfahren anhand der stündlichen Niederschlagsmesswerte am Pegel Feuerweherschule berechnet. Details zur Anwendung des Verfahrens sind der Loseblattsammlung "Hydrologische Planungsgrundlagen" (12/2013) des Bayerischen Landesamts für Umwelt zu entnehmen. Folgende Eingangsparameter wurden bei der Berechnung verwendet:

- Einzugsgebietsgröße: 2,24 km²
- Konzentrationszeit (Anlaufzeit): 1,0 h
- Ablaufzeit: 1,5 h (aufgrund Retentionseigenschaften im vornehmlich durch Wald- und Wiesenflächen geprägten Einzugsgebiet)
- Gesamtabflussbeiwert: 0,5 (in Übereinstimmung mit Erfahrungswerten des Landesamts für Wald- und Forstwirtschaft)

In der nachfolgenden Abbildung 4-2 ist das Ergebnis der Ganglinienberechnung nach dem o.g. Verfahren für den 14.07.2016 bei einer Zeitschrittgröße von 1 h ersichtlich.

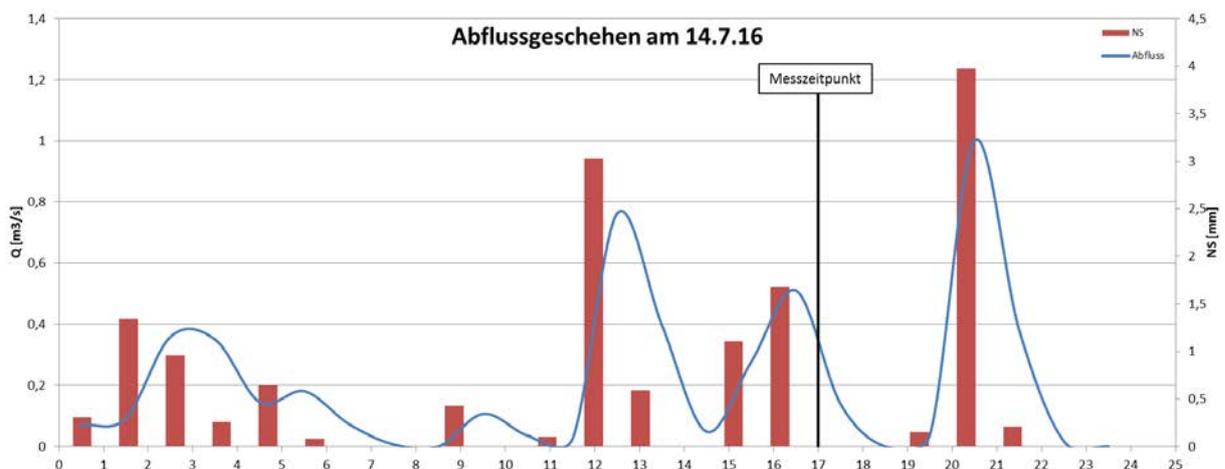


Abbildung 4-2: Abflussgeschehen infolge Niederschlag (NS) am 14.07.2016 (Zeitschrittgröße 1 h)

Beim Vergleich der Abflüsse mit der Modellberechnung zeigt sich eine hohe Übereinstimmung am Messzeitpunkt am 14.07.2016 gegen 16:00 bis 17:00 Uhr: Beide Verfahren liefern einen Abfluss von ca. 500 l/s.

Bei der Verwendung von Tagessummen des Niederschlagsgeschehens vom 11. bis 14.07.2016 und einer Zeitschrittlänge von 1 Tag errechnet sich nach der gleichen Methode die in folgender Abbildung 4-3 dargestellte, tagesgemittelte Abflussganglinie.

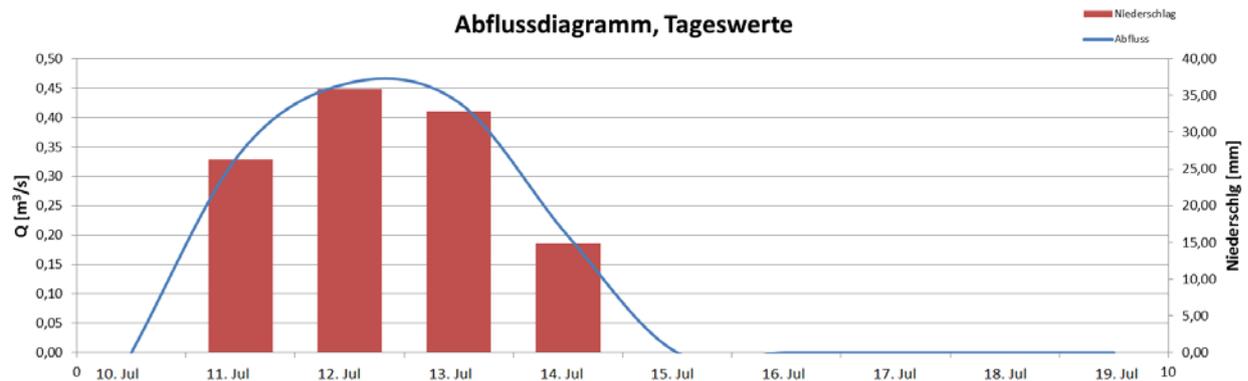


Abbildung 4-3 Gemittelte Abflussganglinie anhand von Tagesniederschlägen zwischen 11. und 14.07.2016

Der Scheitelwert dieser Ganglinie liegt bei rd. $0,46 \text{ m}^3/\text{s}$. Nach Angaben von Herrn Klinger (Stadt Geretsried) war der Abfluss im Schwaigwaller Bach am 14.07.2016 um ca. 16:00 bis 17:00 Uhr nach einer ab der Brücke an der Blumenstraße gemessenen Fließstrecke von etwa 600 m vollständig versickert.

Zum Vergleich: Ein Hochwasser HQ1 im Schwaigwaller Bach wird im Rahmen der 2D-Abflussmodellierung des Schwaigwaller Bachs mit einem Abfluss von ca. $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ an der Stelle des Beginns der ehem. Bachverrohrung abgeschätzt. Bei dessen Ermittlung wurde von einem Niederschlag mit 20,9 mm von 60 Minuten Dauer ausgegangen.

4.1.2 Grundwasser

Die für die vorliegende Fragestellung relevante Strömung im Stadtgebiet von Gartenberg weist ein mittleres Gefälle im Wertebereich von ca. 3 bis 5 ‰ auf. Dabei entspricht der Grundwasserspiegelunterschied zwischen dem oberen und dem unteren Rand des Projektgebiets auch im HGW-Fall näherungsweise demjenigen bei MGW. Die Ganglinien der 2-wöchentlichen Grundwasser-Pegelmessungen mit zeitgleicher Darstellung der 2-wöchentlichen Niederschlagssummen sind der Anlage 1 zu entnehmen. Entsprechend den Erfahrungen aus der Vergangenheit treten hohe Grundwasserspiegellagen gehäuft im Zeitraum Juni bis Juli auf, was auch im Jahr 2016 zutraf. Die interpretativen Grundwasserisohypsen für eine bei allen Messstellen in guter Näherung mittlere Grundwasserspiegellage vom 29.03.2016 sind in folgender Abbildung 4-4 ersichtlich.

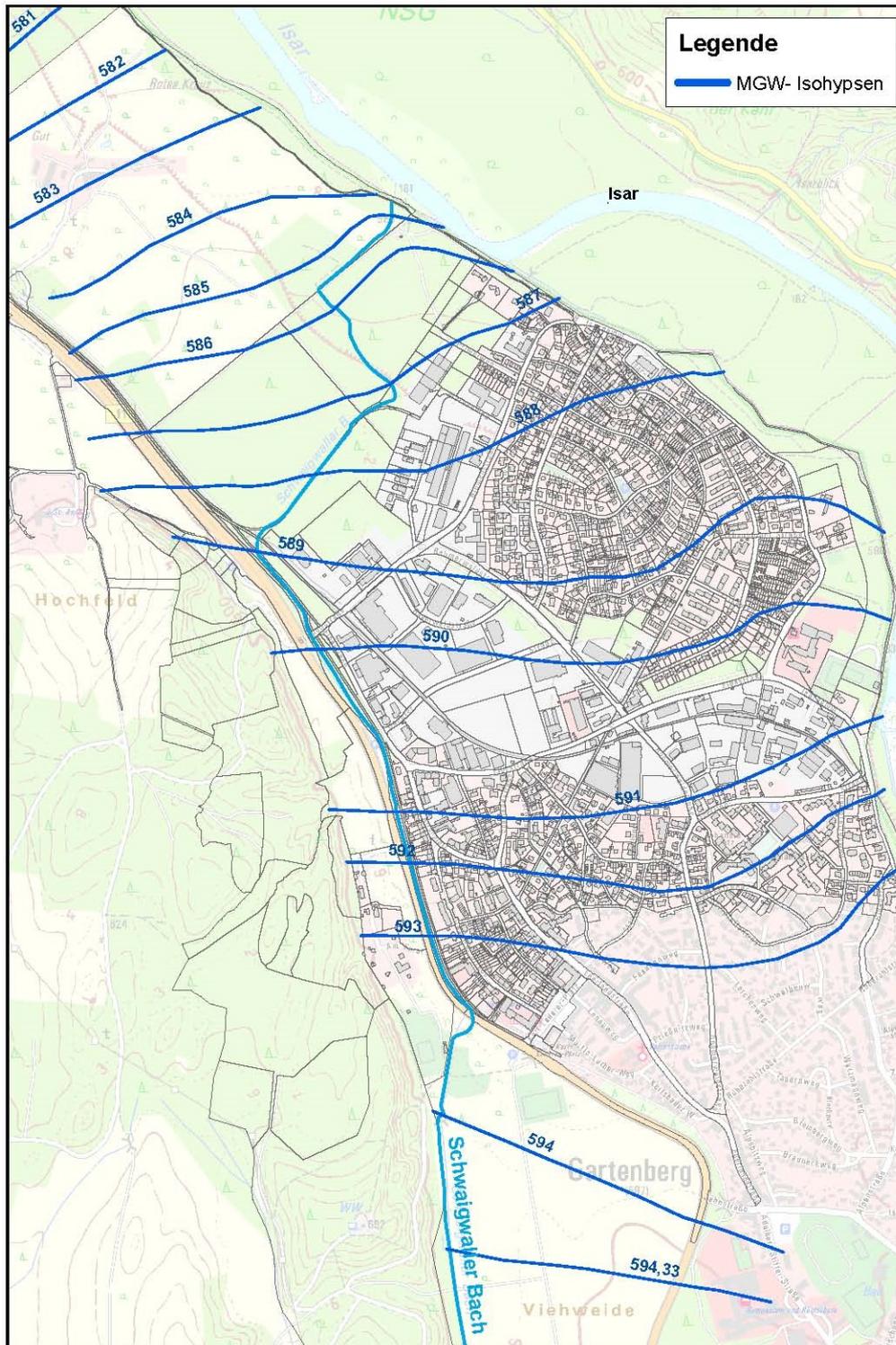


Abbildung 4-4: MGW-Isohypsen [mNN] (anhand Stichtagsmessung vom 29.03.2016)

Aus den oben dargestellten, im Allgemeinen sehr gleichmäßig verteilten Isohypsen im Bereich Gartenberg lässt sich zunächst nicht auf auffällige Inhomogenitäten oder Hindernisse im Untergrund schließen.

Der Grundwasserspiegel liegt durchwegs tiefer als die Sohle des Schwaigwaller Bachs, wobei der Abstand über weite Strecken etwa 1 bis 2 m beträgt und lediglich im abgedichteten Bereich bei und nahe der Durchführung durch die B11 auf teils weniger als 0,50 m abfällt. Details zum Verlauf der Bachsohle und des Grundwasserspiegels können dem Plan Nr. 2.1 entnommen werden.

4.1.3 Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Ein großer Teil der Grundwasserneubildung erfolgt über den Niederschlag, der gemäß den in Kapitel 3.4.3 gemachten Annahmen im Mittel zu einem Anteil von ca. 38,5 % auf nicht befestigten Flächen versickert. Hierbei ist anzumerken, dass bei länger andauernden Regenereignissen der Anteil des Niederschlags, der zur Versickerung gelangt wesentlich höher sein kann, da im Allgemeinen die gleichzeitig stattfindende Verdunstung witterungsbedingt herabgesetzt ist. Im Projektgebiet liegen ausgedehnte Wohn- und Gewerbegebiete mit entsprechender Infrastruktur vor, in welchen jeweils mit spezifischen Graden der Flächenversiegelung in Form von Dach- und Verkehrsflächen zu rechnen ist. Der Versiegelungsgrad beträgt im Ortsgebiet von Gartenberg etwa zwischen 30 und 55 %, wobei Gewerbeflächen die höheren Werte aufweisen. Das auf die versiegelten Flächen auftreffende Niederschlagswasser wird jedoch nicht einer Ortsentwässerung zugeführt, sondern einzeln punktuell versickert, wobei die Erfahrung in Gartenberg zeigt, dass viele Versickerungsanlagen bei stärkeren Niederschlagsereignisse überlastet sind.

Eine bedeutende Rolle bei der Grundwasserneubildung aus Niederschlag spielt die Bodenspeicherung in der ungesättigten Bodenzone. Die Größe dieses Bodenwasserspeichers ist von der nutzbaren Feldkapazität n_{FK} (=Wassergehalt, bis zu dem das vorhandene Bodenwasser gegen die Wirkung der Schwerkraft gehalten werden kann abzüglich des Wassergehalts, unterhalb dessen das vorhandene Bodenwasser nicht mehr von Pflanzen aufgenommen werden kann) sowie von der Mächtigkeit des effektiven Wurzelraums WR_{eff} abhängig. Für Grünland und einen grobsandigen Boden lässt sich aus Literaturwerten ein Bodenwasserspeicher von mindestens 24 mm ableiten. Bei schluffig-lehmigem Sandboden mittlerer Lagerungsdichte ergibt sich bereits ein Wert von 133 mm. Die momentane Bodenspeicherung bei Auftreffen von Niederschlag hängt von der Vorsättigung ab. Je geringer die Vorsättigung ist, desto mehr Wasser wird bis zum Erreichen der nutzbaren Feldkapazität gespeichert und desto weniger versickert daher bis in die gesättigte Zone und trägt so zur Grundwasserneubildung bei. Einen Hinweis auf den Einfluss der Bodenspeicherung im Raum Gartenberg liefert die Gegenüberstellung der Grundwasserganglinie im Pegel GER211 mit den Tagesniederschlägen im Juli 2016. Nach den zum Grundwasserhochstand vom 17.07. führenden Niederschlag folgte ein Zeitraum von 8 Tagen ohne nennenswerten Niederschlag und mit sommerlichen Temperaturen. Das in weiterer Folge zwischen 23.07. bis 25.07. eingetretene Niederschlagsereignis wies mit einer Niederschlagssumme von ca. 105 mm einen um lediglich 6 mm geringeren Wert wie der zum Grundhochwasser führende Regen zwischen dem 11.07. und dem 14.07. auf. Dennoch betrug die maximale Auswirkung auf den Grundwasserstand am 26.07. lediglich etwa 4 cm, was unter Berücksichtigung eines effektiven Porenvolumens von ca. 0,20 im Aquifer eine Höhe der reinen Wassersäule von bloß 8 mm ausmacht. Demnach sind bei diesem Ereignis lediglich zwischen 5 und 10 % des Niederschlags der Grundwasserneubildung zugeflossen. Die übrigen 90 bis 95 % verteilten sich auf Bodenspeicherung, Evapotranspiration sowie oberflächigen Abfluss, wobei letzterer im Schwaigwaller Bach bei Weitem nicht die Ausmaße des 10 Tage früher abgelaufenen Ereignisses erreichte.

GW-Ganglinie GER211, Niederschlag und Maximaltemperaturen Juni - Juli 2016

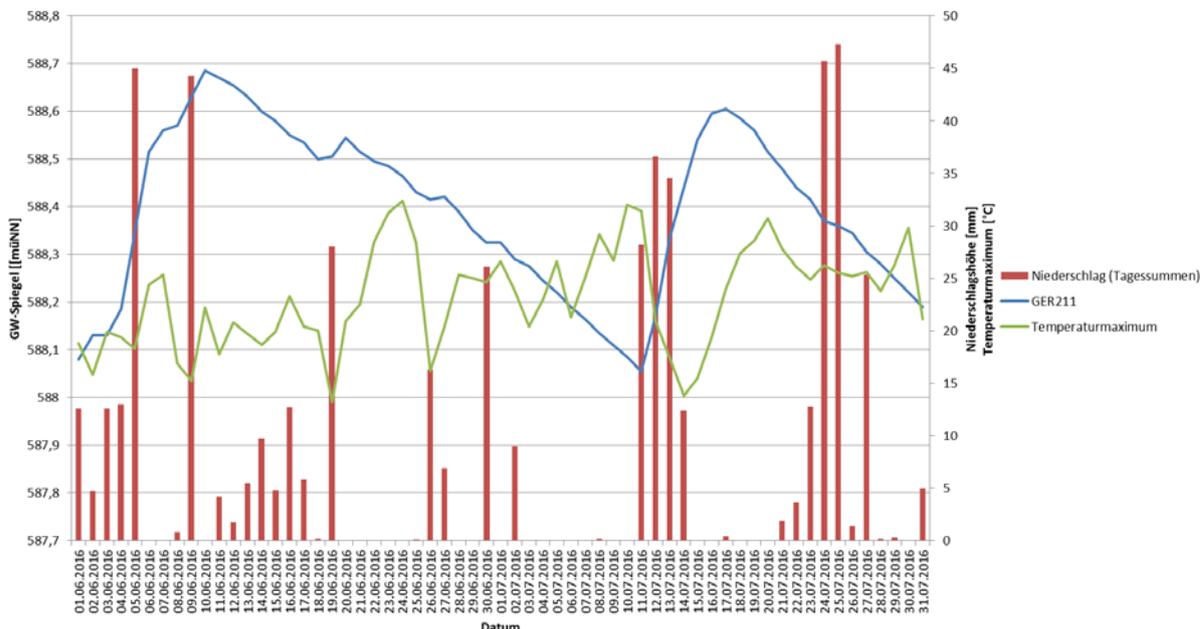


Abbildung 4-5: Gegenüberstellung GW-Ganglinie im Pegel GER211 mit Niederschlag und Temperatur im Zeitraum Juni – Juli 2016

Da auch der auf versiegelte Flächen im Ortsbereich von Gartenberg auftreffende Niederschlag versickert wird, wird die mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag für das gesamte Untersuchungsgebiet undifferenziert, d.h. in gleichverteilter Höhe von 500 mm/a abgeschätzt und beträgt daher ca. 1,37 mm/d.

Neben der Grundwasserneubildung aus dem direkt auf die Geretsrieder Schotterebene auftreffenden Niederschlag gelangt weiterhin abfließendes Hangwasser vom Osthang des Schwaigwaller Bergs westlich der B11 und nördlich des Sportplatzes zur Versickerung (südlich des Sportplatzes erfolgt der Abfluss direkt in den Schwaigwaller Bach). Das Einzugsgebiet beträgt hierbei ca. 0,406 km². Unter Zugrundelegung eines Abflussbeiwerts von $\psi = 0,4$ bemisst sich – unter der Annahme, dass der Abfluss vollständig dem Grundwasser in der Schotterebene zugeführt wird und nicht teilweise verdunstet – dieser Versickerungsanteil zu einem statistisch mittleren Wert von ca. 6,7 l/s.

Eine Gegenüberstellung der Grundwasserspiegellage im Pegel GER211 mit der zeitgleichen Niederschlagsituation vom Juni 2013 wie in Abbildung 4-6 ersichtlich zeigt, dass ein länger andauernder Niederschlag bei entsprechender Vorsättigung der Sickerzone seine maximale Auswirkung auf den Grundwasserspiegel mit ca. 1 bis 2 Tagen Verzögerung erreicht.

GW-Ganglinie GER211 und Niederschlag beim Starkregenereignis Anfang Juni 2013

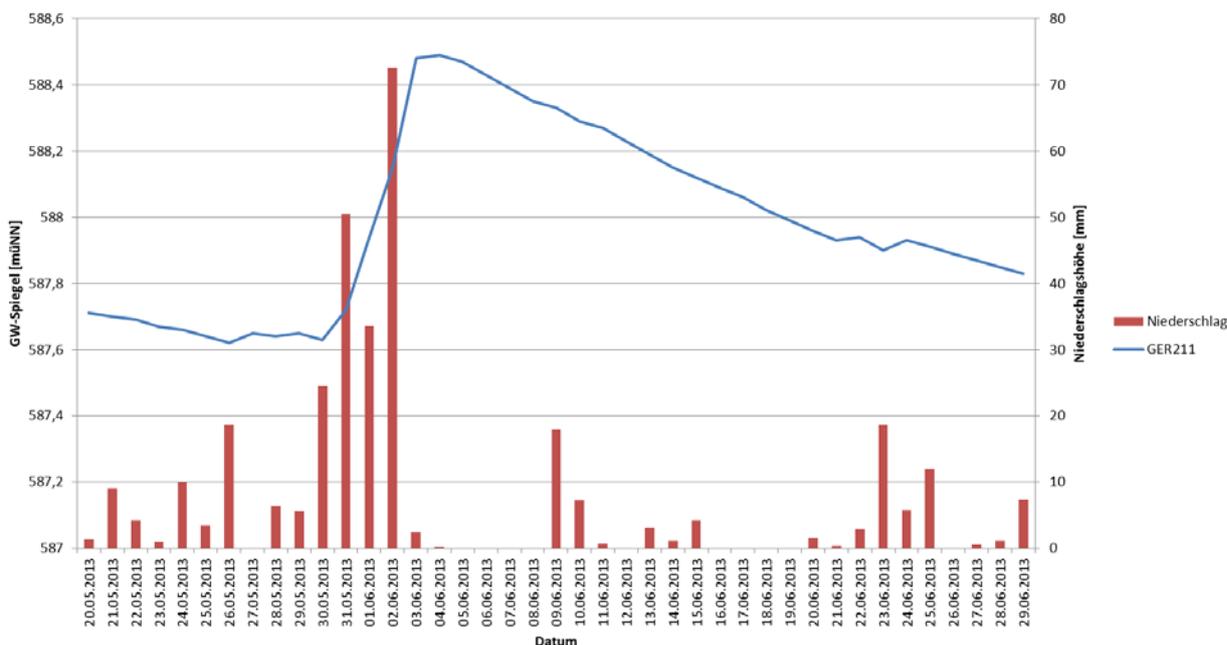


Abbildung 4-6: Gegenüberstellung GW-Ganglinie GER211 und Niederschlag für ein typisches Ereignis (Juni 2013)

Der Ganglinienverlauf im Juni 2013 stellt eine (ideal-) typische Situation dar, in dem ausgehend von mittleren hydrologischen Verhältnissen in Bezug auf Niederschlag und Grundwasserspiegellage ein mehrtägliches, konzentriertes Niederschlagsereignis zu einem raschen Anstieg des Grundwasserniveaus führt (hier um ca. 90 cm im Pegel GER211), das in der Folge bei wiederum etwa mittleren Niederschlagsverhältnissen nur langsam wieder auf das Ausgangsniveau zurück fällt (etwa 3 bis 4 cm Absenkung pro Tag). In dieser direkten Gegenüberstellung lässt sich zunächst nicht feststellen, ob die Anhebung des Grundwasserspiegels rein durch versickernden Niederschlag oder auch durch andere Faktoren verursacht wurde. Es sei angemerkt, dass am 2. Juni 2013 der Abstand des Hochwasserspiegels im Schwaigwaller Bach zur Unterkante der Gleisbrücke kaum 50 cm betrug und der Bach im weiteren Verlauf vollständig versickerte.

Inwieweit es in Trockenphasen zu einem kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser in die durchwurzelte Bodenzone kommt, sodass ein Teil des Grundwassers wieder der Evapotranspiration zugeführt wird, lässt sich aus den vorhandenen Grundlagen zunächst nicht näher angeben. Angesichts der verbreitet im Aquifer vorliegenden, sehr durchlässigen sandigen Kiese ist davon auszugehen, dass ein kapillarer Aufstieg nur dann bzw. dort vorkommen kann, wenn bzw. wo der Flurabstand relativ gering ist (und daher ein geringer Abstand zur Wurzelzone vorliegt) bzw. lokal geringere durchlässige Zonen diesen begünstigen. Im Allgemeinen muss hierfür der Flurabstand deutlich unter 3,5 m liegen (sog. Grenzflurabstand). Der mittlere Grundwasserspiegelrückgang betrug etwa zwischen dem 11.03. und dem 30.03.2016 bei ähnlichen Niederschlagsverhältnissen, jedoch deutlich geringeren Temperaturen als im Zeitraum 18.07. bis 31.07.2016 lediglich ca. 1,5 cm/d und damit kaum 50 % der beobachteten Absenkungsrate im Juli 2016, obwohl es im Juli deutlich mehr Niederschlag gab. Dies ist ein Hinweis, dass es in den Monaten mit allgemein erhöhter Evapotranspiration (Vegetationsperiode) tatsächlich – regional unterschiedlich stark – zu einem kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser kommt und der Grundwasserspiegel infolge von Evapotranspirationsprozessen absinkt. Entsprechend vorgenannter Relation kann die Höhe der dabei dem Grundwasser im Untersuchungsgebiet entzogenen täglichen Grundwassersäule i.M. ca. 15 bis 20 mm/d erreichen.

4.1.4 Grundwasserneubildung durch Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach

Wie in Kapitel 4.1.1 dargelegt, war im Schwaigwaller Bach am 14.07.2016 ein Durchfluss von ca. 500 l/s auf einer Länge von ca. 600 m unterwasserseitig der Brücke an der Blumenstraße in den Untergrund versickert.

Die Versickerungsfläche F bestimmt sich aus dieser Länge und der Sohlbreite des Schwaigwaller Bachs und beträgt rd. 720.000 m². Die Wasserspiegelhöhe an der Gleisbrücke lag zum Messzeitpunkt auf ca. 590,04 mNN (bei einer Sohlkote von 589,63 mNN). An der Stelle der Versickerung befindet sich die Sohle des Schwaigwaller Bachs ca. auf Höhe 588,60 mNN. Anzumerken ist, dass der Grundwasserspiegel im Bereich der Versickerung auch bei HGW-Verhältnissen weitgehend – mit Ausnahme des Bereichs an bzw. nahe der Durchführung durch die B11 sowie auf etwa 600 m Länge unterwasserseitig der Gleisbrücke – unter der Bachsohle liegt. Unter Verwendung der mittleren Fließwassertiefe von 0,21 m und der Sohlhöhe nach 1/3 der Fließstrecke von 589,30 mNN ergibt sich unter Anwendung der Formel

$$L = \frac{Q}{F \cdot (h_{WSP} - h_{Bachsohle})}$$

ein Leakage Faktor von ca. $3,4 \cdot 10^{-4}$ 1/s, was im Vergleich mit Literaturwerten kleineren Bächen mit ausgeprägter sandiger Sohle entspricht. Dies stimmt gut mit den vorhandenen Verhältnissen überein.

Bei mittleren Verhältnissen ist davon auszugehen, dass der Abfluss im Schwaigwaller Bach bereits kurz nach Eintritt in die Geretsrieder Schotterebene vollständig versickert und daher nicht in das hier betrachtete Modellgebiet geht. Aufgrund fehlender Daten über den Untergrund lässt sich die Versickerung im Bereich der „Viehweide“ für höhere Abflüsse im Schwaigwaller Bach nicht näher angeben.

4.1.5 Unterirdische Zu- und Abflüsse

Dem Grundwasserkörper im Bereich von Gartenberg fließt entlang des westlichen Randes der Schotterebene von Süden her Grundwasser zu, welches je nach den Witterungsverhältnissen zu wechselnden Anteilen zum einen dem nördlich gerichteten Grundwasserabstrom von der Grundwasserscheide Märlwinkel – Stein, zum anderen der Versickerung des Schwaigwaller Bachs im Bereich der Viehweide entstammt. Es ist davon auszugehen, dass die Breite dieses Zustroms in Abhängigkeit der in die Schotter infiltrierenden Sickerwassermengen aus dem Schwaigwaller Bach variiert. Bei mittleren hydrologischen Verhältnissen wird die Zuströmbreite etwa auf Höhe der halben Längserstreckung der Viehweide grob mit ca. 500 m abgeschätzt (dies entspricht dort etwa dem Abstand der B11 vom Hangfuß des Schwaigwaller Bergs). Der Verfasser hält es für möglich, dass bei stärkerer Wasserführung des Schwaigwaller Bachs von diesem ein so großer Versickerungsanteil ausgeht, dass die Anströmung aus dem Süden nach Osten abgedrängt wird und auf Höhe des Schulzentrums an der Adalbert-Stifter-Str. ins Isartal exfiltriert, sodass der Zustrom nach Gartenberg dann allein dem Sickerwasser des Schwaigwaller Bachs zuzurechnen ist. Unter Zugrundelegung einer mittleren Aquifermächtigkeit im Zuströmbereich von ca. 1,5 m, einem Grundwasserspiegelgefälle von ca. 4 ‰ und einer plausiblen hydraulischen Durchlässigkeit der Schotter von ca.

$7,5 \cdot 10^{-3}$ m/s lässt sich ein unterirdischer Zufluss in Höhe von ca. 23 l/s abschätzen.

Jener unterirdische Abfluss, der nicht am Isarprallhang im Mündungsbereich des Schwaigwaller Bachs nördlich Gartenberg über die Quellen exfiltriert, strömt nach Nordwesten Richtung Waldram ab. In [11] wird hierzu wie folgt ausgeführt:

„Die Summe aller Zu- oder Abströme von Geretsried Nord führt zu einem Überschuss von ca. 40 l/s. Dieses Ergebnis deckt sich annähernd mit den Berechnungen von Dr. Wissel (WWA WM), der für den nördlichen Abstrom in Richtung Wolfratshausen anhand von Verdünnungsmeasurements mit Tracern einen Wert von ca. 50 l/s ermittelte.“

Näheres zu den Messungen und Berechnungen von Dr. Wissel ist nicht bekannt. Eine Rückrechnung anhand der interpretativen Stauer- und mittleren Grundwasserspiegellage auf Höhe Buchberg (mittlere Aquifermächtigkeit ca. 1,5 m) bei einem mittleren Grundwasserspiegelgefälle nördlich von Gartenberg von ca. 5,8 ‰ und einer Strömungsbreite von ca. 650 m führt bei einer plausiblen hydraulischen Durchlässigkeit der Schotter von (w.o.) ca. $7,5 \cdot 10^{-3}$ m/s auf einen unterirdischen Abfluss von ca. 42 l/s. Das o.g. Ergebnis des Tracerversuchs deutet darauf hin, dass die tatsächlich vorhandene Durchlässigkeit höher, nämlich im Bereich von $1,0 \cdot 10^{-2}$ m/s liegen kann, da eine außerdem in Frage kommende Fehlinterpretation der Stauerlage aufgrund der guten Aufschlusslage in diesem Gebiet weniger wahrscheinlich ist.

4.1.6 Quellen

Die Messungen an den beobachteten Quellen entlang der Erosionskante des Isartals zeigen, dass die Schüttungen abhängig von der hydrologischen Ausgangssituation bzw. von der Höhe der Grundwasserspiegellage um über 100 % schwanken (vgl. Abbildung 2-6). Inwieweit über die sichtbaren Quellen hinaus weitere unterirdische Abflüsse zur Isar entlang des Ostrand des Schotterebene existieren (durch oberirdisch nicht sichtbare Kiesrinnen o.dgl.), lässt sich aufgrund der fehlenden Beobachtungsmöglichkeit nicht angeben. In [11] wird die mittlere Quellschüttung im Bilanzgebiet Geretsried Nord mit ca. 31 l/s angesetzt.

Die über die Quellen aus dem Grundwasserkörper im Bereich von Gartenberg abfließenden Wassermengen werden mithin zu i.M. ca. 30 l/s bis max. ca. 80 l/s abgeschätzt.

4.2 Bilanzierung

Unter Zusammenführung der im Kapitel 4.1 ermittelten hydrologischen Eingangsdaten kann die Grundwasserbilanz für das im nachfolgenden Kapitel näher erläuterte Modellgebiet wie folgt für mittlere hydrologische Verhältnisse aufgestellt werden.

Zuflüsse [l/s]		Abflüsse [l/s]	
Unterirdisch Viehweide von Süden	23	Quellen	31
GW-Neubildung aus Niederschlag	73	Unterirdisch unter LIK nach Norden	71
- davon Wald- und Grünflächen:	27		
- davon Gewerbegebiet:	13		
- davon Wohngebiet Nord:	20		
- davon Wohngebiet Süd:	13		
Hangzufluss Schwaigwaller Berg	6		
Versickerung Schwaigwaller Bach	0		
Summe Zuflüsse	102	Summe Abflüsse	102

Tabelle 4: Grundwasserbilanz für mittlere hydrologische Verhältnisse

4.3 Hydrogeologisches Strukturmodell

4.3.1 Modellabgrenzung

Der für die vorliegende Fragestellung relevante Ausschnitt aus dem Projektgebiet wird wie folgt definiert:

Westlicher Modellrand

Die Begrenzung setzt sich hier aus zwei Komponenten zusammen. Den südlichen Abschnitt bildet die Trennlinie der geologischen Strukturen der fluviatilen Schotter der Geretsrieder Ebene mit den Moränenwällen des Schwaigwaller Bergs an dessen östlichen Hangfuß. Es ist davon auszugehen, dass in der Moräne im Allgemeinen um einige Größenordnungen geringere Durchlässigkeiten als in der Schotterebene vorliegen. Als nördlicher Abschnitt wird eine Trennstromlinie definiert, die von Buchberg wie in Kapitel 3.4.2 im letzten Absatz beschrieben in Richtung Wolfratshausen verläuft.

Nördlicher Modellrand

Hier wurde der Loisach-Isar-Kanal als Modellbegrenzung gewählt. Zwar besteht kein direkter Zusammenhang zwischen dem Wasserspiegel im LIK und dem umgebenden Grundwasser, jedoch existieren in seinem Verlauf mehrere kontinuierlich aufzeichnende Grundwasserpegel sowie Bohrprofile von Aufschlussbohrungen der Uniper Kraftwerke GmbH, sodass hier die Einflussparameter und Randbedingungen vergleichsweise gut bekannt sind.

Östlicher Modellrand

Die östliche Randlinie wird weitgehend durch die Geländebruchkante des Isarhochufers gebildet. Im Süden erfolgt jedoch die Abgrenzung durch eine Trennstromlinie zum Grundwasserstrom von der Grundwasserscheide Malerwinkel – Stein her, der dort in das Isartal exfiltriert.

Südlicher Modellrand

Als südlicher Modellrand wird eine interpretative Grundwasserhöhengleiche im Bereich der Viehweide festgelegt, deren Niveau durch den gemessenen Grundwasserspiegel im Pegel GER183 nächst dem Schulzentrum definiert wird.

Einen Überblick über die im Modell definierten Ränder gibt die folgende Abbildung 4-7.

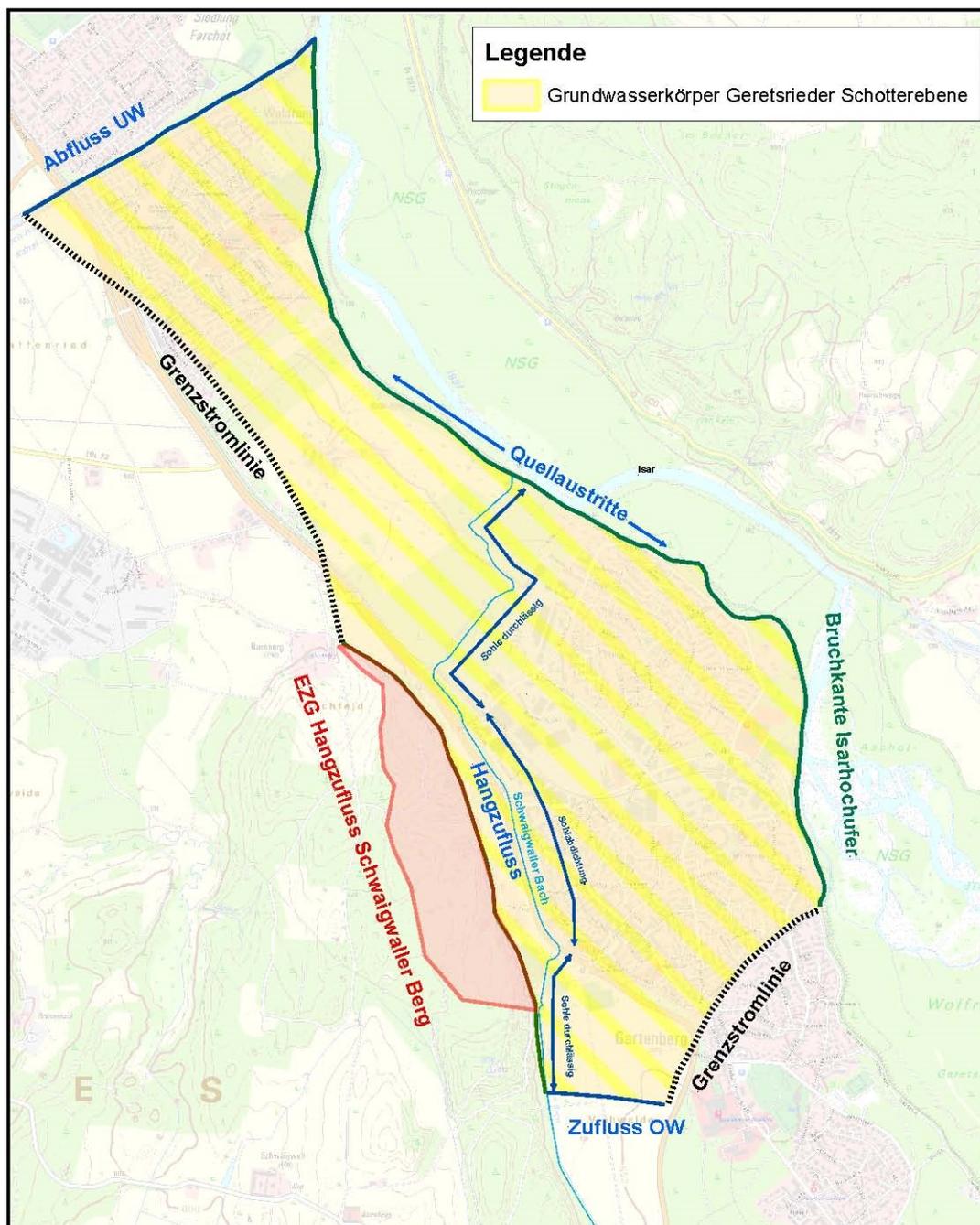


Abbildung 4-7: Abgrenzung des hydrogeologischen Strukturmodells

Das solcherart umgrenzte Modellgebiet weist eine Gesamtfläche von ca. 4,62 km² auf. Davon entfallen folgende Anteile auf die verschiedenen Flächennutzungen:

Gebiet	Gesamtfläche
Wald- und Grünflächen	1.734.946 m ²
Gewerbegebiet	809.813 m ²
Wohngebiet Nord	1.258.263 m ²
Wohngebiet Süd	817.535 m ²

Tabelle 5: Flächenanteile der verschiedenen Nutzungsarten

4.3.2 Grundwasseraquifer

Grundwasserstauer

Die grundwasserstauende Schicht wird im Modellgebiet durch Moränenablagerungen gebildet. Im Allgemeinen besitzt die Staueroberkante eine etwa der Geländeoberkante entsprechende Neigung nach N bis NW. Im Stadtgebiet von Geretsried liegt sie auf einem Höhenniveau zwischen 586,0 und 593,0 mNN. Der Stauer weist eine leichte Reliefierung auf, die sich am deutlichsten im Bereich Nelkenweg in Form einer Rinnenstruktur zeigt, die im SW-NE-Querprofil um bis zu 2 m gegenüber den seitlich anschließenden Regionen vertieft ist (vgl. hierzu Plan Nr. 2.2). Eine weitere Rinne dürfte etwa an der Kreuzung Elbestraße – Isardamm beginnend parallel zur Isar verlaufen, worauf aus den Stauerlagen der Pegel GER158 und GER008 geschlossen wird.

Entlang des östlichen Modellrandes liegt die Staueroberkante über weite Strecken höher als der Grundwasserspiegel. Wo dies nicht der Fall ist, treten an der Erosionskante Quellen aus. Am bedeutendsten ist hierbei der Abschnitt zwischen Lilienstraße und der Mündung des Schwaigwaller Bachs, in dem 10 Einzelquellen identifiziert wurden.

Im südwestlichen und südlichen Modellgebiet (südlich einer gedachten Verbindung Schlesische Straße – Rotkehlchenweg – Dompfaffenweg) liegen keine Aufschlüsse bzw. Kenntnisse über die Stauerlage vor. Hier musste im Rahmen der vorliegenden Untersuchung mit einer interpretativen Lage des Stauers das Auslangen gefunden werden. Abbildung 4-8 zeigt die anhand der verfügbaren Aufschlüsse interpretierte Stauerlage.

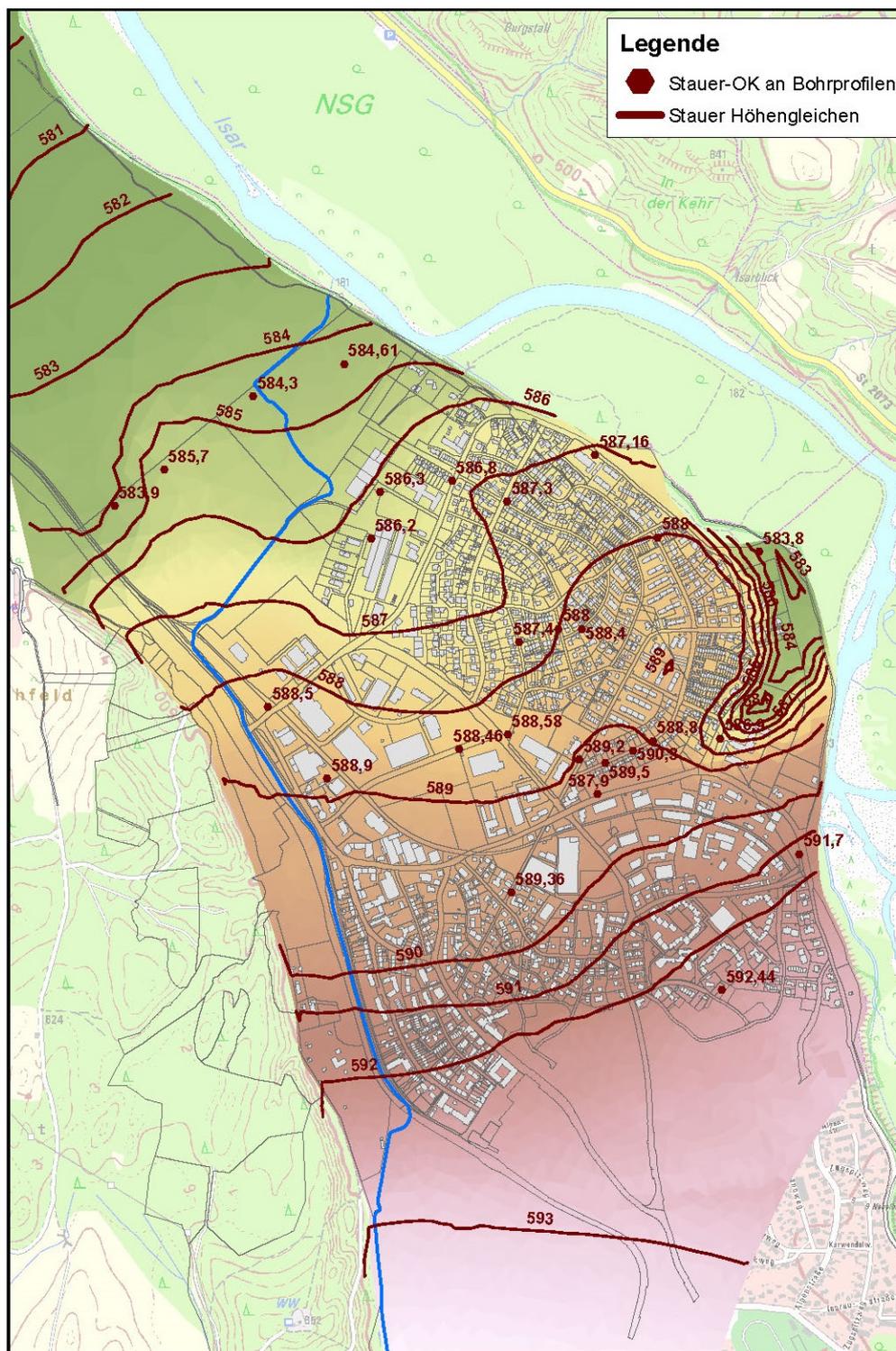


Abbildung 4-8: Staueroberkante an Aufschlusstandorten sowie Interpretation der Stauerlage

Aquifermächtigkeit

Die grundwassererfüllte Mächtigkeit beträgt bei mittleren hydrologischen Verhältnissen weitestgehend etwa zwischen 0,50 und 1,50 m (vgl. Abbildung 4-9).

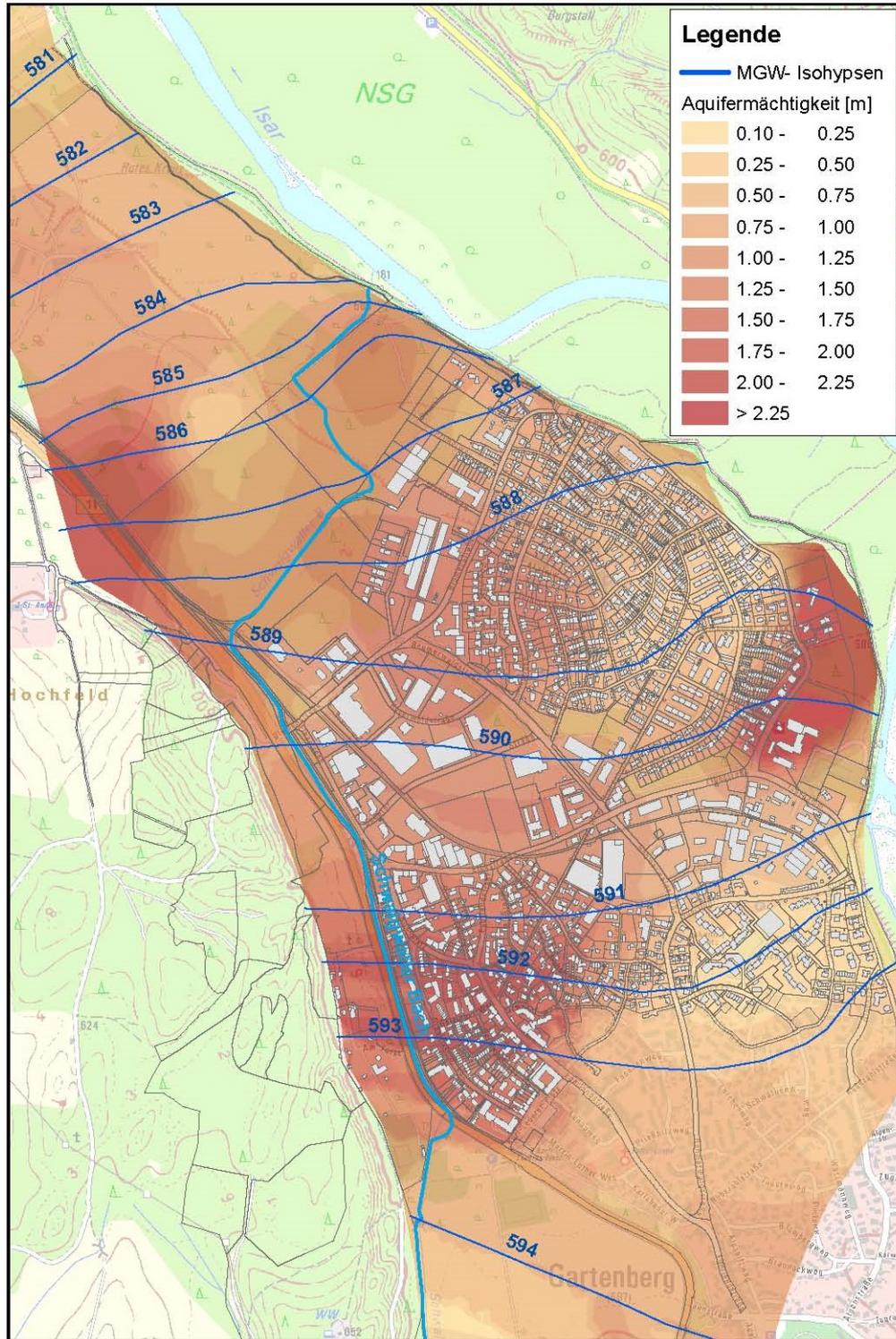


Abbildung 4-9: Aquifermächtigkeit bei MGW im Modellgebiet

Es liegen generell ungespannte Verhältnisse vor. Der gemessene Schwankungsbereich der Grundwasserspiegellage beträgt zwischen 0,57 und 1,87 m, kann den oberen Wert allerdings auch deutlich übertreffen, da die Stichtagsmessungen nicht an den Scheitelwerten des Grundwasserspiegels erfolgten. Das bedeutet, dass sich die grundwassererfüllte Mächtigkeit und damit die sich aus deren Multiplikation mit der hydraulischen Durchlässigkeit ergebende Transmissivität im Zeitablauf bereichsweise um mehrere 100 % gegenüber dem Niedriggrundwasserniveau ändern kann. Dies ist am ausgeprägtesten unweit des

Schwaigwaller Bachs zu beobachten (Pegel GER222, GER215, vgl. Abbildung 4-10). Einzelne Gebiete fallen bei niedrigen Grundwasserständen vollständig „trocken“, wie beispielsweise die Umgebung des Pegels GER209.

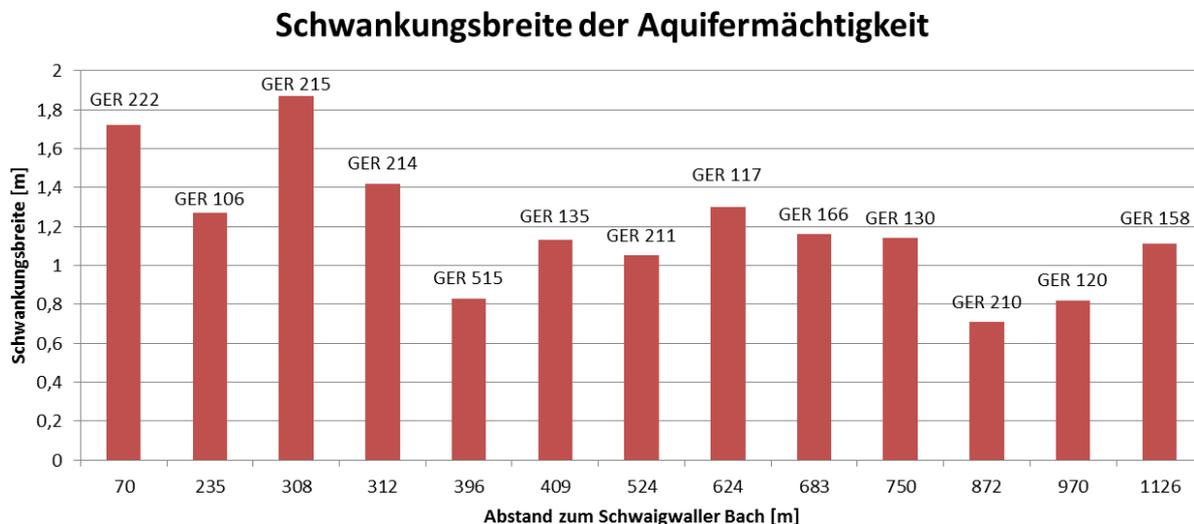


Abbildung 4-10: Gemessene Schwankungsbreite der Aquifermächtigkeit in Abhängigkeit des Mindestabstands vom Schwaigwaller Bach (Abschnitte mit durchlässiger Sohle)

Hydraulische Durchlässigkeit

Zur hydraulischen Durchlässigkeit k_f des Grundwasserleiters sind keine Ergebnisse aus direkten Untersuchungen (Pumpversuche) oder indirekten Verfahren (Ermittlung des k_f -Wertes aus der Kornverteilungskurve) bekannt. Für die vorliegende Bearbeitung wurden daher Erfahrungswerte für fluviatile Schotter sowie Literaturwerte für sandige Kiese mit geringem Feinkornanteil herangezogen. Darüber hinaus lässt sich anhand der Ergebnisse des Tracerversuchs, wie in Kapitel 4.1.5 erläutert, die Durchlässigkeit rückrechnen. Es wird im Mittel von k_f -Werten zwischen etwa $5,0 \cdot 10^{-3}$ m/s und $2,0 \cdot 10^{-2}$ m/s ausgegangen.

Speicherwirksames Porenvolumen

Für diesen Parameter existieren gleichermaßen keine Ergebnisse aus vorhandenen Untersuchungen. Anhand von Erfahrungs- und Literaturwerten wird im Mittel von einem speicherwirksamen Porenvolumen von $n_s = 0,20$ ausgegangen.

4.3.3 Zeitabhängiges Verhalten

Die in den vorigen Kapiteln dargelegten Auswertungen zeigen, dass sich stärkere Niederschlagsereignisse signifikant und hochdynamisch auf den Grundwasserspiegel auswirken. Stellt man eine grobe Grundwasserbilanz etwa für das Grundhochwasser vom Juli 2016 auf, so ergibt sich wie folgt:

Zuflüsse [l/s]		Abflüsse [l/s]	
Unterirdisch Viehweide von Süden	38	Quellen	70
GW-Neubildung aus Niederschlag	902	Unterirdisch unter LIK nach Norden	90
- davon Wald- und Grünflächen:	301		
- davon Gewerbegebiet:	169		
- davon Wohngebiet Nord:	262		
- davon Wohngebiet Süd:	170		
Hangzufluss Schwaigwaller Berg	56		
Versickerung Schwaigwaller Bach	500	Bilanzieller Überschuss	1.336
Summe Zuflüsse	1.496	Summe Abflüsse	1.496

Tabelle 6: Grundwasserbilanz für den HGW-Zustand im Juli 2016

Hierbei können die unterirdischen Zu- und Abflüsse einfach entsprechend des Verhältnisses der über die Messstellen belegten Aquifermächtigkeiten am Zu- bzw. Abstromrand zwischen HGW und MGW ermittelt werden, da das Grundwasserspiegelgefälle in beiden Situationen annähernd gleich bleibt. Die Grundwasserneubildung wurde anhand eines mittleren Tagesniederschlags von 30 mm/d (vgl. Zeitraum 11. bis 13. Juli 2016) bei einem Versickerungsanteil von 60 % im Ortsgebiet und 50 % im Grünland bzw. bewaldeten Gebiet berechnet. Bei den Quellschüttungen wurde von den Messwerten vom 04.07.2016 ausgegangen und ein Zuschlag von rd. 100 % vorgenommen.

Es tritt also eine bilanzielle Überschusswassermenge in Höhe von ca. 1.340 l/s auf, die nicht gleichzeitig über die hydraulischen Ränder des Modellgebiets abgeführt werden kann. Diese Wassermengen werden infolge dessen im effektiven Porenvolumen der ungesättigten Zone gespeichert, wodurch der Grundwasserspiegel rasch ansteigt, und nach Ende des Niederschlags bzw. der Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach entsprechend der begrenzten hydraulischen Leistungsfähigkeit nur langsam wieder abgebaut wird, wie sich dies in o.a. Abbildung 4-6 auch anschaulich zeigt.

In Relation mit der versickernden Niederschlagsmenge beträgt die Versickerungsmenge des Schwaigwaller Bachs zwar „lediglich“ etwa 55 %, jedoch erfolgt die Grundwasserneubildung infolge Niederschlag über die gesamte Modellfläche verteilt und lediglich regional differenziert nach unterschiedlichen Nutzungsarten, während der Schwaigwaller Bach konzentriert entlang seines Verlaufs von der Blumenstraße flussabwärts versickert. Wie sich dieser Umstand im Zeitablauf auf die regionale Grundwasserspiegelhöhe auswirkt, kann lediglich mittels numerischer Simulation ergründet werden.

Insgesamt verhält sich der gering mächtige Grundwasserkörper in der Geretsrieder Schotterebene somit in Abhängigkeit der hydrologischen Randbedingungen hochgradig instationär.

5 Numerisches Grundwasserströmungsmodell

5.1 Modellerstellung

5.1.1 Modell- und Aussagegebiet

Die Umgrenzung des Modellgebietes richtet sich nach den Ausführungen in Kapitel 4.3.1. Das Aussagegebiet, innerhalb dessen besondere Anforderungen an die Modellgenauigkeit gestellt werden, ist das sogenannte „Blumenviertel“, umrandet etwa von der Blumenstraße, der Elbestraße und dem Isardamm.

5.1.2 Modellaufbau, räumliche und zeitliche Diskretisierung

Die numerische Modellierung erfolgte mittels eines zweidimensionalen, flächig ebenen Grundwasserströmungsmodells, das als Finite-Elemente-Modell innerhalb der o.g. Grenzen mittels Dreieckselementen aufgebaut wurde. Zur Berücksichtigung relevanter vorhandener Strukturen wurden an bzw. entlang der folgenden Elemente Modellknoten gesetzt:

- Grundwassermessstellen (= Kontrollpegel) und Aufschlussstandorte
- Quellenstandorte
- Rüstungskanäle
- Schwaigwaller Bach

Das Modell beinhaltet 5968 Dreieckselemente und 3126 Knoten. Die mittlere Dreiecksfläche beträgt 773 m². Im Bereich Gartenberg wurden die Elemente um den Faktor 2, entlang des Schwaigwaller Bachs bereichsweise um den Faktor 4 verdichtet (verkleinert), um hier eine gute Präzision der numerischen Interpolation zu erhalten. Das FE-Modell sowie die o.a. berücksichtigten Strukturen zeigt die Abbildung 5-1.

Für die instationären Berechnungen (vgl. Kapitel 5.3) wurden die zeitabhängigen Randbedingungen mit Zeitschrittweiten von 1 d implementiert und die zum Teil zeitlich höher aufgelösten Rohdaten entsprechend zu Tageswerten aggregiert bzw. zeitlich geringer aufgelöste Messwerte plausibel interpoliert.

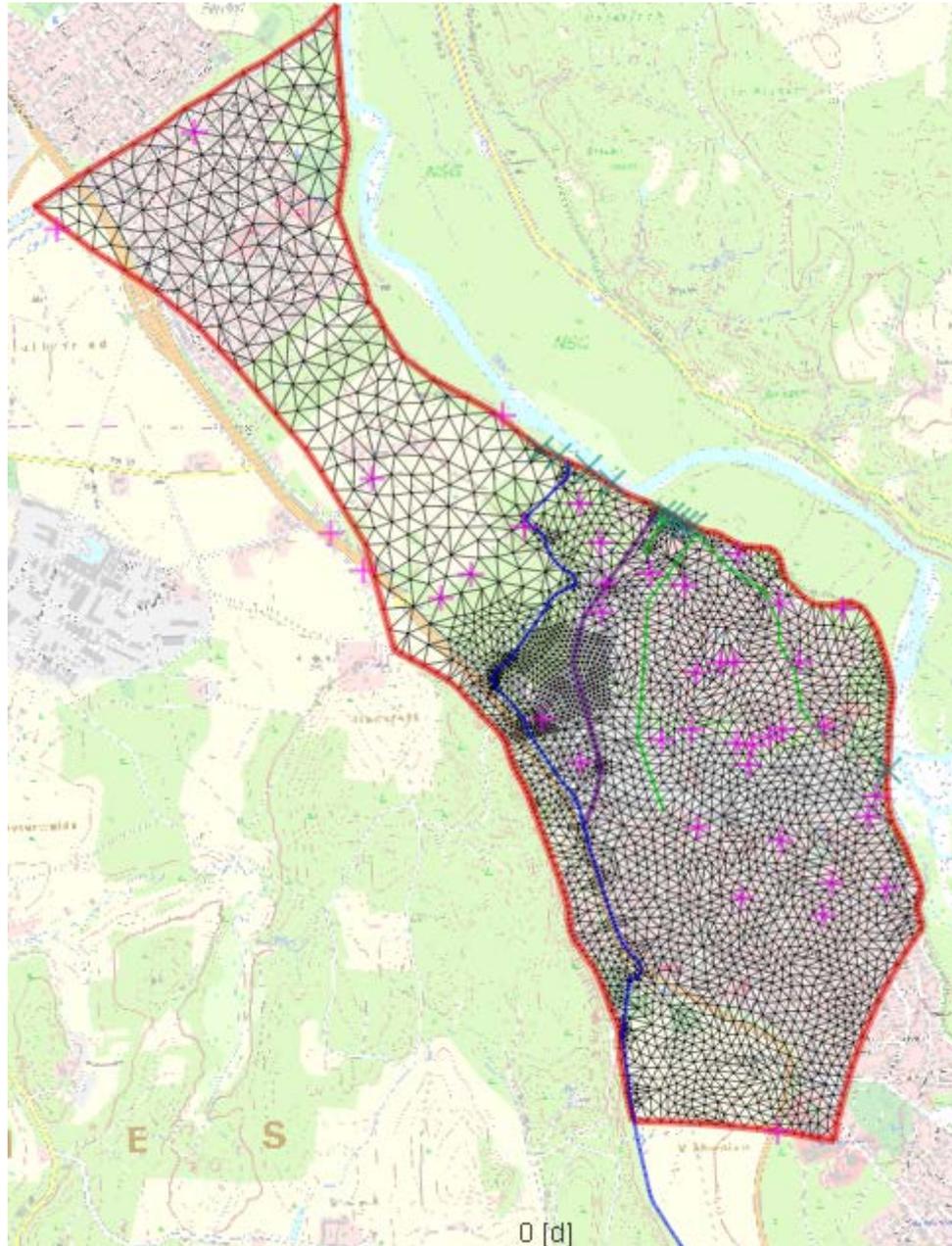


Abbildung 5-1: Lage und Aufbau des Numerischen Grundwassermodells: Modellrand (rot), Schwaigwaller Bach (blau), Rüstungskanäle (grün), ehemalige Rohrleitung Schwaigwaller Bach (violett), Aufschlüsse und Grundwassermessstellen (pink), Quellen (hellblau)

5.1.3 Konstante Parameter, Anfangs- und Randbedingungen

Die Modellparameter, die nicht im Zuge der Modellkalibrierung verändert wurden und auch keiner zeitlichen Varianz unterliegen, sind:

- Stauoberkante (Aquifer Bottom Elevation)
- Geländeoberkante (Aquifer Top Elevation)
- Speicherwirksames Porenvolumen (Drain-/fillable Porosity)

Die Stauoberkante wurde anhand der interpretativen Höhengleichen in das Modell eingelesen und in der Fläche interpoliert.

Als modellhafte Geländeoberkante wurde im Aussagegebiet ein digitales Geländemodell der Rasterweite 1 m und im übrigen Modellgebiet ein solches mit Rasterweite 5 m zugewiesen.

Das speicherwirksame Porenvolumen ist lediglich für instationäre Berechnungen relevant. Als Startwert für die instationäre Kalibrierung wurde für das gesamte Modellgebiet ein Wert von 0,15 vorgegeben.

5.2 Stationäre Modellkalibrierung

5.2.1 Berechnungseinstellungen

Für die stationäre Kalibrierung wurde das Modell unter gespannten Verhältnissen berechnet, da mit der zunächst unter freier Grundwasseroberfläche erfolgenden Berechnung keine Konvergenz erzielt wurde. Aus dem Kalibrierungsergebnis wurde hiernach die flächenverteilte Grundwassermächtigkeit berechnet und daraus die Durchlässigkeit für das Modellgebiet aus der kalibrierten flächigen Verteilung der Transmissivität (= Grundwassermächtigkeit mal hydraulischer Durchlässigkeit) abgeleitet.

5.2.2 Stationärer Modellzustand

Als Modellzustand wurde ein fiktiver, in den hydrologischen Randbedingungen annähernd statistisch mittleren Verhältnissen entsprechender Zustand gewählt. Als Stichtag für die Vorgabe der Grundwasserspiegellage diente der 14.03.2016. Diesem Tag war ein etwa 5-wöchiger Zeitraum mit durchschnittlich annähernd mittlerem Tagesniederschlag (3,205 mm/d) vorausgegangen. Zudem lagen die Messwerte der Grundwasserspiegellage an diesem Tag beim Pegel GER211 sehr nahe an jenen des Stichtags 10.07.2016, der als Startzeitpunkt für die spätere instationäre Berechnung der Grundhochwasserwelle vom 18.07.2016 (Zeitpunkt des Scheitelwerts am vorgenannten Pegel) verwendet wurde. Ziel der stationären Modellierung ist die Erstellung einer initialen Parameterkonfiguration als Startpunkt für die instationäre Kalibrierung, weswegen die Genauigkeitsanforderungen an die stationäre Kalibrierung begrenzt sind.

5.2.3 Anfangs- und Randbedingungen für den stationären Modellzustand

Neben den in Kapitel 5.1.3 angegebenen wurden für die stationäre Kalibrierung folgende Anfangs- und Randbedingungen vorgegeben:

- Südliche (oberwasserseitige) Modellgrenze: Randbedingung 1. Art (Festpotential-Randbedingung) mit Vorgabe-Grundwasserspiegel in Höhe 595,33 mNN.
- Nördliche (unterwasserseitige) Modellgrenze: Randbedingung 1. Art (Festpotential-Randbedingung) mit Vorgabe-Grundwasserspiegel von 575,47 nach NE hin ansteigend bis 576,30 mNN.
- Westliche (linke stromseitliche) Modellgrenze: überwiegend als undurchlässiger Rand, jedoch mit Randbedingung 2. Art (Zuflussrandbedingung) entlang der versickernden Hangzuflüsse vom Schwaigwaller Berg (vgl. Kapitel 4.1.3) an 36 Modellknoten in Höhe von je 0,143 l/s, somit in Summe ca. 5,1 l/s
- Östliche (rechte stromseitliche) Modellgrenze: überwiegend als undurchlässiger Rand, jedoch mit Randbedingung 2. Art (Abflussrandbedingung) an den Quellenstandorten sowie einzelnen dazwischen liegenden Punkten (als Ergebnis der Kalibrierung) mit in Summe ca. 22,3 l/s.
- Grundwasserneubildung aus Niederschlag: dieser Parameter wird als Flächensenke (Elementparameter) zugewiesen. Auf Basis des annähernd dem mittleren täglichen jahresdurchschnittlichen Niederschlag entsprechenden Wert von 3,205 mm/d und einem Versickerungsanteil von 38,5 % wur-

den dem Modellgebiet differenziert nach dem Grad der Flächenversiegelung¹ folgende Grundwasserneubildungsraten zugewiesen:

Gebiet	Versiegelungsgrad	GW-Neubildungsrate
Wald- und Grünflächen	1%	1,218 mm/d
Gewerbegebiet	54%	0,567 mm/d
Wohngebiet Nord	30%	0,862 mm/d
Wohngebiet Süd	35%	0,801 mm/d

Tabelle 7: Flächendifferenzierte GW-Neubildungsrate für die stationäre Kalibrierung

- Anfangswasserspiegel: Als gleichzeitig das Soll-Ergebnis der stationären Kalibrierung repräsentierender Anfangswasserspiegel wurden die interpretativen Grundwasserisohypsen vom 14.03.2016 eingelesen und in der Fläche interpoliert.

Eine Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach wurde für die betrachteten mittleren hydrologischen Rahmenbedingungen gemäß den Annahmen in Kapitel 4.1.4 nicht angesetzt.

5.2.4 Ergebnis der stationären Modellkalibrierung

Kalibrierte Durchlässigkeit

Die Kalibrierung des Modells erfolgte zunächst durch flächendifferenzierte Variation der Transmissivität für gespannte Verhältnisse mittels der Versuch-Irrtum-Methode (trial and error). Nach Erreichen einer als ausreichend beurteilten Ergebnisgenauigkeit wurde aus der erhaltenen Transmissivitätsverteilung die Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit wie folgt bestimmt:

- Auslesen der nachfolgend genannten Daten als Shape-Dateien mit flächig verteilten Attributwerten
- GIS-basierte Subtraktion der Staueroberkante von der errechneten Grundwasserspiegellage (ergibt die neue Shape-Datei „Aquifermächtigkeit“)
- GIS-basierte Division der kalibrierten Transmissivitätsverteilung durch die erhaltene Verteilung der Aquifermächtigkeit

Einen Überblick über die Verteilung der kalibrierten hydraulischen Durchlässigkeit gibt die nachfolgende Abbildung 5-2.

¹ Zum Zeitpunkt der stationären Kalibrierung wurde irrtümlich davon ausgegangen, dass die auf versiegelte Flächen niedergehenden Niederschläge durch ein Oberflächenentwässerungssystem abgeführt werden. Tatsächlich erfolgt aber eine dezentrale Versickerung dieser Wassermengen. Nach Bekanntwerden dieses Umstandes wurde dies in der späteren instationären Kalibrierung berücksichtigt.

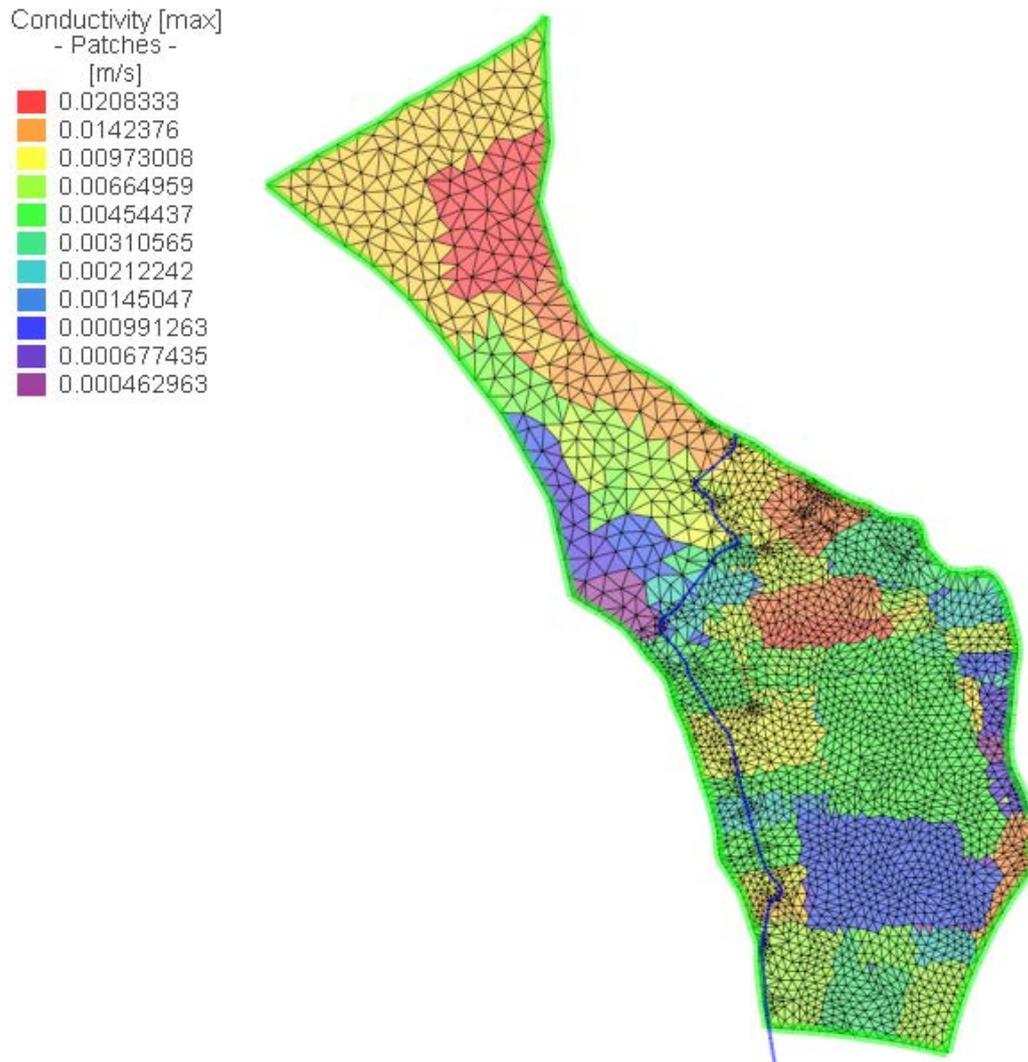


Abbildung 5-2: stationär kalibrierte hydraulische Durchlässigkeit [m/s]

Ergebnisgenauigkeit

Ziel der Kalibrierung ist, die Modellparameter so anzupassen, dass Verlauf und absolute Höhe der Grundwassergleichen den gemessenen Werten möglichst entsprechen. Als objektives Kriterium für die Modellgenauigkeit wurde die Standardabweichung zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen bezogen auf die maximale Wasserstandsdifferenz innerhalb des Modellgebiets verwendet (vgl. [7]). Dieses Maß sollte unter 5 % liegen. Für das kalibrierte Modell ergaben sich die in Tabelle 8 ersichtlichen Wasserstandsdifferenzen.

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	586,92	586,68	-0,237
104	587,83	587,68	-0,152
106	590,37	590,21	-0,157
117	589,51	589,68	0,169
120	590,51	590,34	-0,173
135	587,55	587,38	-0,165
158	590,26	590,14	-0,116
166	588,68	588,93	0,250
210	588,50	588,63	0,125
211	588,06	587,72	-0,343
214	585,88	585,39	-0,488
215	586,37	585,57	-0,805
222	589,39	589,60	0,210
159	591,95	591,31	-0,639
208	592,97	592,56	-0,413
209	592,23	592,10	-0,131
252	591,38	591,31	-0,074
130	590,80	590,96	0,155
103	589,12	589,27	0,151

Tabelle 8: gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen

Die Modellgenauigkeit liegt demgemäß bei ca. 1,7 % und erfüllt damit das o.a. objektive Kriterium.

Das Streudiagramm der gemessenen gegen die berechneten Grundwasserstände zeigt die Abbildung 5-3.

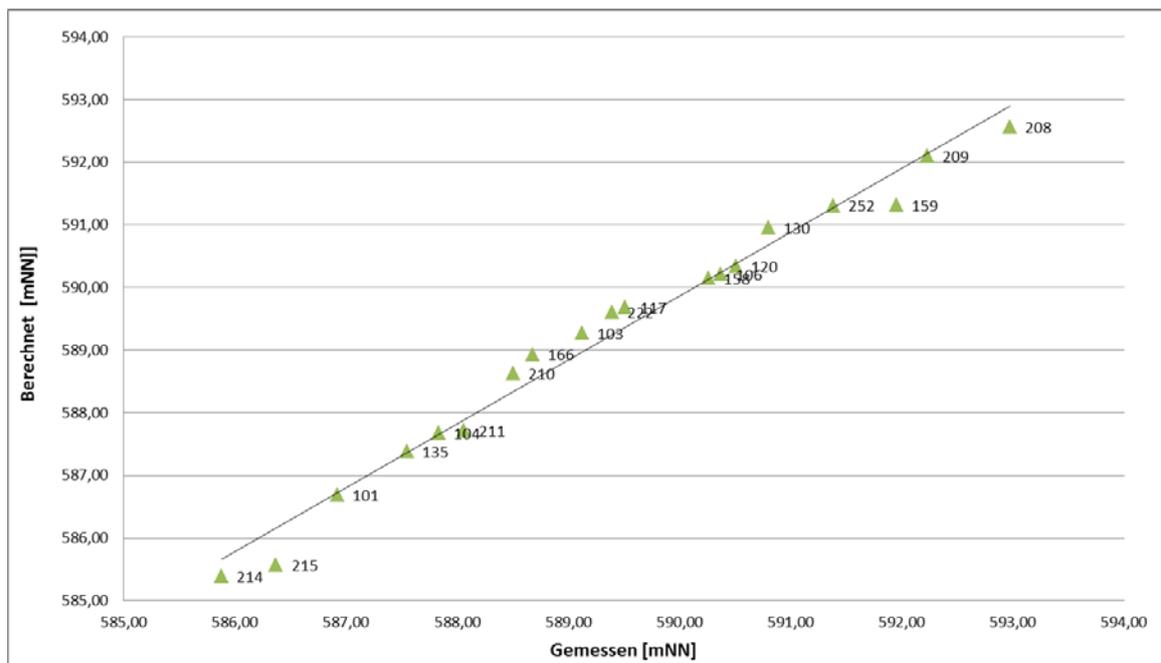


Abbildung 5-3: Streudiagramm für den Stichtag 14.03.2016

Grundwasserbilanz

In der nachfolgenden Gegenüberstellung sind die Zu- und Abflüsse für die einzelnen Randbedingungsarten (RB) für das stationär kalibrierte Modell ersichtlich.

Zuflüsse [l/s]		Abflüsse [l/s]	
RB 1. Art (Zufluss von Süden)	8	RB 1. Art (Abfluss nach Norden)	41
RB 2. Art (Hangfuß Schwaigw. Berg)	5	RB 2. Art (Quellschüttungen)	22
GW-Neubildung aus Niederschlag	50		
Summe Zuflüsse	63	Summe Abflüsse	63

Tabelle 9: Grundwasserbilanz für das stationär kalibrierte Modell

Die Modellbilanz weist im Vergleich zur Bilanzierung gemäß Tabelle 4 durchwegs geringere Werte auf. Dies hängt mit dem zu gering angesetzten Versickerungsanteil im bebauten Gebiet zusammen. Eine Überrechnung erfolgt im Wege der instationären Modellierung (vgl. Kapitel 5.3.5).

5.3 Instationäre Modellkalibrierung

5.3.1 Berechnungseinstellungen

Die instationäre Modellierung erfolgte unter Ansatz einer freien Grundwasseroberfläche. Als Konvergenzkriterium wurde ein Höhenfehler $< 1 \cdot 10^{-4}$ vorgegeben. Die Modellober- und -unterkante wurden als durchlässig vorgegeben, wobei für den Fall des Trockenfallens der Modellunterkante eine verbleibende grundwassererfüllte Mächtigkeit von 0,001 m eingestellt wurde (softwareseitige Voraussetzung). Als Berechnungszeitschritt wurde zur Erreichung des o.a. Konvergenzkriteriums 0,01 d gewählt.

5.3.2 Gewählter Beobachtungszeitraum als Grundlage der instationären Kalibrierung

Da lediglich eine einzige Quantifizierung des Abflusses / der Versickerung im Schwaigwaller Bach aus der Wasserspiegelmessung vom 14.07.2016 vorliegt (vgl. Kapitel 4.1.1), wurde das Niederschlags- bzw. Hochgrundwasserereignis zwischen dem 10.07.2016 und dem 19.07.2016 als der instationären Kalibrierung zugrunde liegendes Szenario herangezogen. Für diesen Zeitraum lagen weiterhin folgende Messwerte vor:

- Tagessummen der Niederschläge am Pegel Geretsried Feuerweherschule
- Kontinuierliche Messwerte in Pegeln GER211 sowie in den Pegeln LIK51 und LIK56 (Tageswerte)
- Stichtagsmessung der Grundwasserpegel am 19.07.2016

Das Gesamt ereignis entspricht in seiner Charakteristik bis zum 21.07.2016 einem (ideal-) typischen Ereignis ähnlich dem vom Juni 2013 (vgl. Abbildung 4-6 in Kapitel 4.1.3). Das heißt, einem mehrtägigen Niederschlagsereignis folgt ein Zeitraum ohne bzw. mit nur wenig Niederschlag. In der Woche vor dem 10.07. trat praktisch kein Niederschlag auf. Zudem lag am 10.07.2016 im Pegel GER211 eine annähernd dem stationären Kalibrierungszustand entsprechende Grundwasserspiegellage vor.

Als Endzeitpunkt des Berechnungsmodells wurde der 17. Tag nach Beginn des Hochgrundwasserereignisses festgelegt, um das Verhalten des Grundwasserkörpers beim Abklingen der Hochgrundwasserwel-

le im Modell abzubilden. Da hierfür der reale Ablauf der Ereignisse zwischen dem 21.06. und 27.06.2016 wegen eines zwischenzeitlichen weiteren Starkniederschlagsereignisses (z.B. am 24.07.2016 mit einem Tageswert von 45,7 mm) wegen fehlender Aufzeichnung des Abflusses im Schwaigwaller Bach nicht geeignet war, wurde der realen Ganglinie des Pegels GER211 ab dem 21.07.2016 ein plausibler, fiktiver Ganglinienverlauf angeschlossen, der anhand des (ideal-) typischen Ereignisses vom Juni 2013 gebildet wurde (vgl. Abbildung 5-4). Die Modellierungsergebnisse wurden in diesem Zeitraum auf die fiktive Ganglinie bezogen.

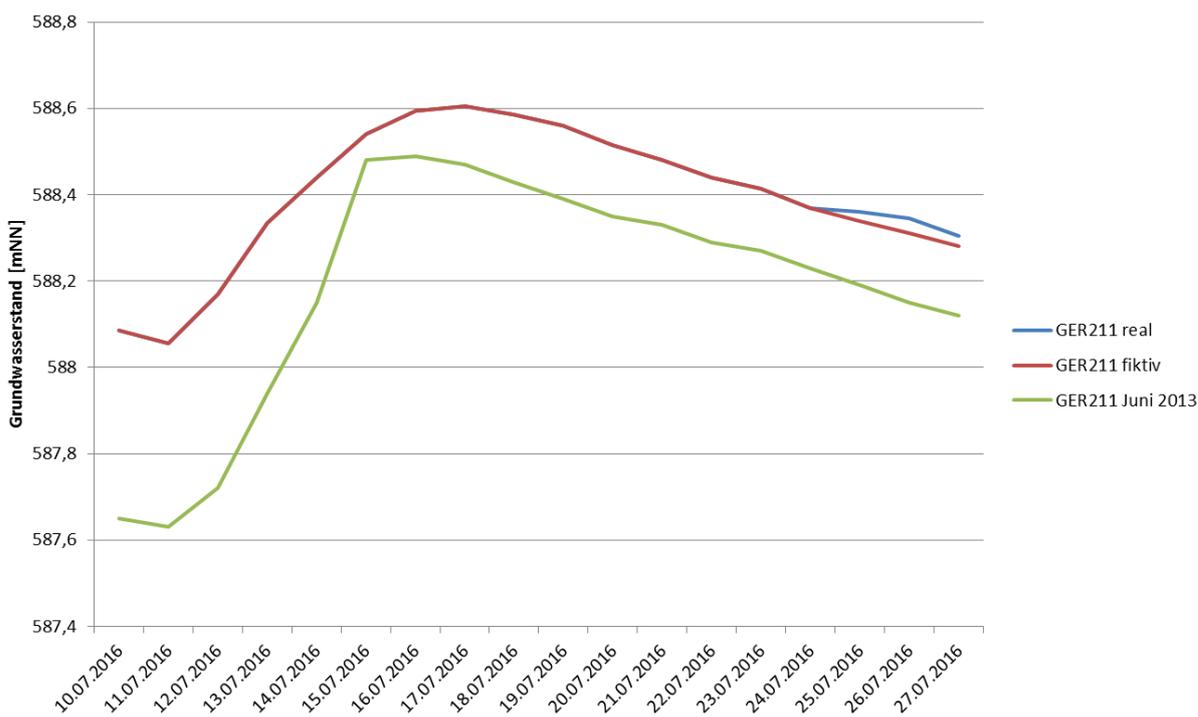


Abbildung 5-4: GER211 – Vergleich reale und fiktive Ganglinie Juli 2016 sowie Ganglinie Juni 2013

5.3.3 Instationäre Parameter, Anfangs- und Randbedingungen

Bei der Berechnung wurde zunächst vom stationären Zustand ausgegangen und dieser 3 Modelltage hindurch aufrechterhalten. Erst im Anschluss (Tag 4) wurde der dem o.a. Beobachtungszeitraum nachgebildete Modellzustand in Form spezifischer instationärer Randbedingungen – unter grundsätzlicher Beibehaltung der Randbedingungsarten wie auch in der stationären Berechnung – wie folgt vorgegeben:

- Grundwasserstandsganglinie am Modellzufluss: als Basis diente der Messwert vom 19.07.2016 im Pegel GER183 (595,98 mNN). Die Ganglinie wurde anhand dieses Messwerts sowie des MGW-Ausgangswerts in der stationären Modellierung relational zur fiktiven Ganglinie im Pegel GER211 gebildet, sodass der (fiktive) Scheitelwert in Höhe von 596,03 mNN am 17.07.2016 auftrat.
- Grundwasserstandsganglinie am Modellabfluss: hierfür sind kontinuierliche Tagesmesswerte an den Pegeln LIK51 und LIK56 im zugrunde gelegten Beobachtungszeitraum vorhanden. Ebenso wie im Pegel GER211 wurde der Ganglinie ab dem 21.07.2016 ein fiktiver Verlauf zugrunde gelegt. Der Scheitelwert wurde im östlicheren Pegel LIK51 bereits am 15.07.2016 registriert, während er im westlicheren Pegel LIK56 zwischen 17.07. und 19.07.2016 vorlag.
- Grundwasserneubildung aus Niederschlag: es wurden für den Zeitraum vom 11.07. bis zum 17.07.2016 die gemessenen Niederschlagssummen vom Pegel Feuerwehrschiele herangezogen

und ein angenommener Versickerungsanteil von 50 % im Grünland-/Waldgebiet und 60 % im bebauten Gebiet zugrunde gelegt (rd. 1,5-fach über dem Jahresmittel). Diese Werte wurden unter Berücksichtigung der Bodenspeicherung², Evapotranspiration sowie des oberflächigen Rückhalts (Vernässungen) bzw. Abflusses abgeschätzt. Im Zeitraum 17.07. bis 27.07.2016 findet im Modell eine Verdunstung statt. Als Basiswert wurde aus der geschätzten Grundwasserspiegelabnahme infolge Zuführung zur Evapotranspiration in Höhe von ca. 15 bis 20 mm, multipliziert mit dem effektiven Porenvolumen im Untergrund (vgl. Kapitel 5.3.5) eine Verdunstung von 3 mm/d ermittelt und nach der Porositätsverteilung differenziert im Modell implementiert. Die Grundwasserneubildung wurde ohne zeitliche Verzögerung angesetzt.

- Hangzuflüsse vom Schwaigwaller Berg: Die Ganglinie der Hangzuflüsse wurde anhand der vorgenannten Niederschlagssummen gemäß den Ausführungen in Kapitel 4.1.3 gebildet. Der Zufluss wurde ohne zeitliche Verzögerung angesetzt.
- Abfluss in Quellen: Hierfür existieren keine Messwerte aus dem zugrunde gelegten Beobachtungszeitraum. Die Ganglinie der Einzelquellen wurde daher jeweils anhand plausibel abgeschätzter Scheitelwerte unter Berücksichtigung der bisher beobachteten Schwankungen vorgegeben. Die Relation der Maximal- zur mittleren Schüttung beträgt hierbei ca. 250 %. Die Summe der Maximalschüttungen der Einzelquellen beträgt 74 l/s.
- Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach: Als Ganglinie der Versickerung wurden die gemittelten Tagesabflusswerte, die in Kapitel 4.1.1 aus dem Niederschlagsverlauf abgeleitet wurden, herangezogen (vgl. auch Abbildung 4-3). Die gesamte Versickerungsfracht wurde dabei in Form einer Randbedingung 2. Art (Zuflussrandbedingung) auf die Anzahl der Modellknoten entlang der am 14.07.2016 beobachteten Versickerungsstrecke gleichmäßig aufgeteilt. Des Weiteren wurde auch auf der Strecke südlich des Fußballplatzes (wo der Bachlauf vom Hangfuß des Schwaigwaller Bergs wegschwenkt) bis Beginn der abgedichteten Sohle eine gleich hohe Versickerungsrate implementiert.

Die Gesamtdauer des im Modell nachgebildeten Zeitraums beträgt $3 + 18 = 21$ Tage. Ein Vergleich mit dem Realzustand ist am Pegel GER211 kontinuierlich, bei allen anderen Pegeln lediglich zum Modellzeitpunkt 13. Tag (entspricht dem 19.07.2016) möglich.

5.3.4 Ziel der instationären Kalibrierung

Das Ziel der instationären Kalibrierung war, mittels Variation der Durchlässigkeit sowie des effektiven Porenvolumens die zeitliche Entwicklung der Grundwasserspiegellage des real stattgefundenen Szenarios im Aussagegebiet möglichst genau nachzubilden. Hierzu sollten zum ersten die kontinuierlich vorhandenen Tagesmesswerte im Pegel GER211 tagesgenau hinreichend exakt berechnet und zum zweiten die anhand der Stichtagsmessung vom 19.07.2016 abgeleitete, interpretative Grundwasserspiegellage an allen Pegeln im Aussagegebiet mit ausreichender Genauigkeit getroffen werden. Hierbei wurde ein verstärktes Augenmerk auf die Pegel GER222 und GER106 gelegt, da diese sich vergleichsweise nahe am Übergang zwischen abgedichtetem und nicht abgedichtetem Sohlverlauf des Schwaigwaller Bachs befinden.

Es sei angemerkt, dass an jenen Stellen, an denen die interpretative Staueroberkante eine hinreichende Abweichung zur tatsächlichen Stauerlage aufweist, in der instationären Modellierung Fehlberechnungen für vom Kalibrierungszustand abweichende Stichtage auftreten können. Dies liegt daran, dass bei der Kalibrierung zum Ausgleich der unrichtig implementierten Staueroberkante über die Betrachtung der Transmissivität unwissentlich eine zu hohe oder zu niedrige Durchlässigkeit angesetzt wird. Dies gilt

² Vor dem 11.07.2016 wurde über eine Periode von 8 Tagen Dauer kein Niederschlag bei teilweise sommerlich heißen Tagestemperaturen registriert, weshalb davon ausgegangen wird, dass der Bodenspeicher zum Beginn des Hochgrundwasserereignisses durch Evapotranspiration größtenteils aufgebraucht war.

sinngemäß auch für die Aquiferoberkante. Im Allgemeinen befindet sich die geologische Aquiferoberkante im gesamten Modellgebiet deutlich über dem maximalen Grundwasserspiegel. Bei (zeitweilig) in das Grundwasser eintauchenden Gebäudeunterkanten liegt jedoch lokal eine entsprechend niedrigere Aquiferoberkante vor.

5.3.5 Ergebnis und Interpretation der instationären Modellkalibrierung

Kalibrierte Durchlässigkeit

Um mit den gemachten Einstellungen und vorgegebenen Randbedingungen die im vorigen Kapitel genannten Zielkriterien möglichst gut zu erfüllen, wurde die stationär kalibrierte Durchlässigkeitsverteilung bereichsweise abgeändert. Das Ergebnis der instationär kalibrierten Durchlässigkeitsverteilung zeigt die folgende Abbildung 5-5. Die flächengewichtete mittlere Durchlässigkeit im Modellgebiet beträgt $1,73 \cdot 10^{-2}$ m/s.

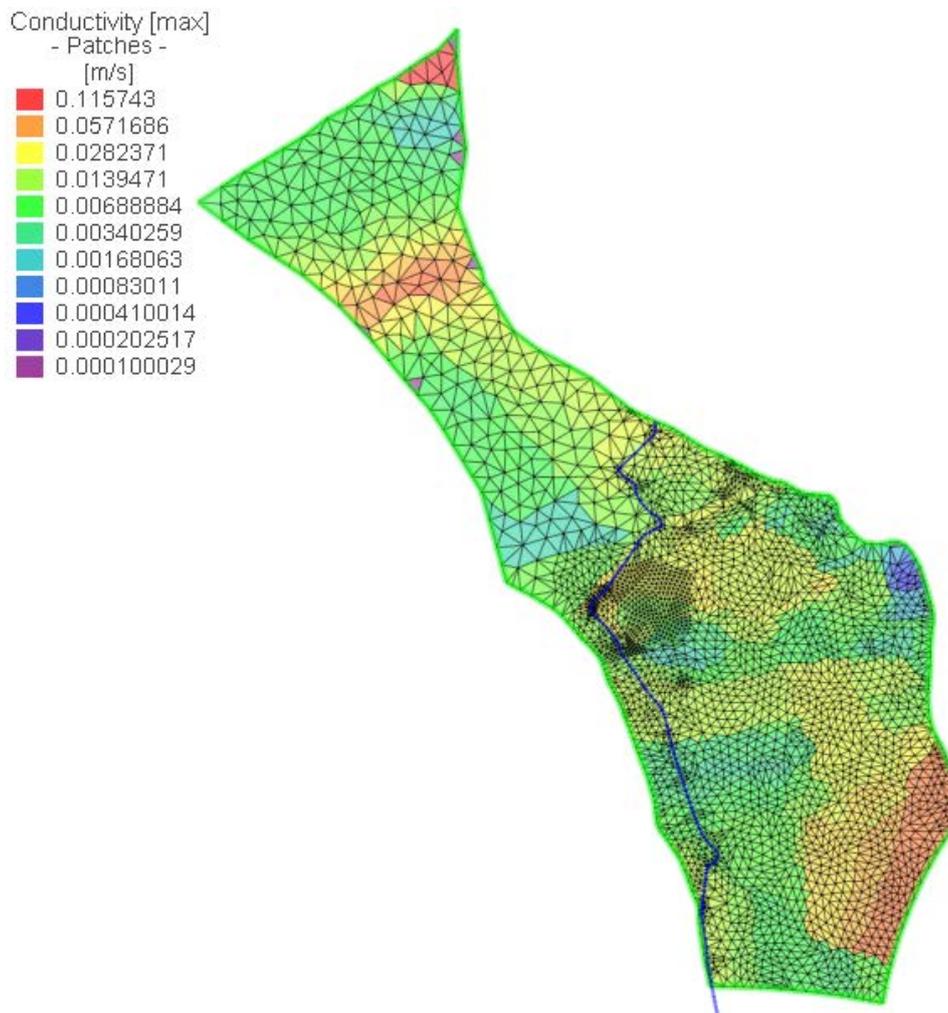


Abbildung 5-5: Instationär kalibrierte Durchlässigkeitsverteilung („Conductivity“)

Speicherwirksames Porenvolumen

Die kalibrierte Verteilung des speicherwirksamen Porenvolumens („Drain-/fillable Porosity“) n_s ist in nachfolgender Abbildung 5-6 ersichtlich.

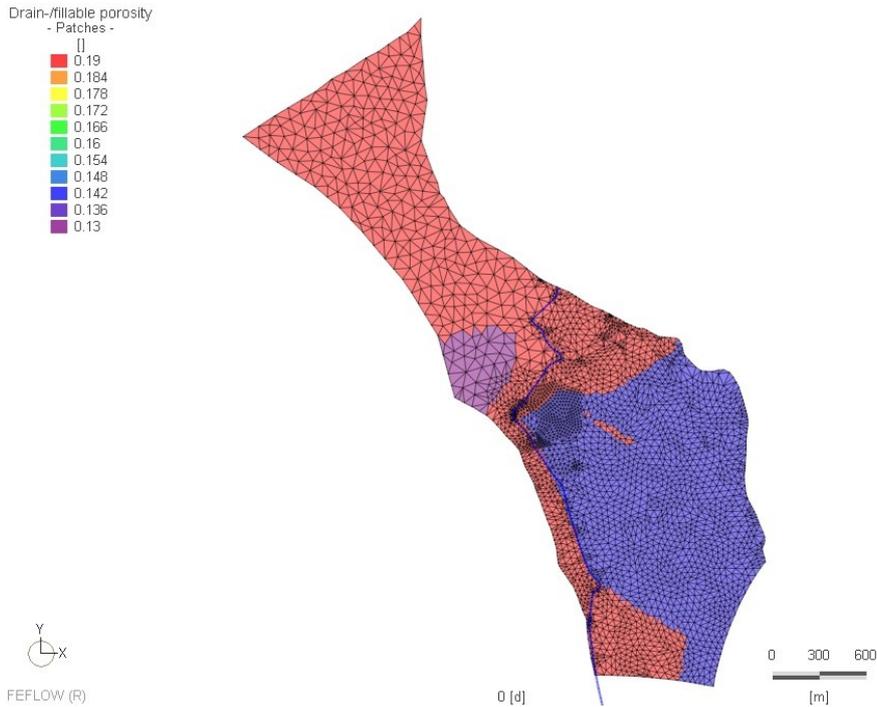


Abbildung 5-6: Kalibrierte Verteilung des speicherwirksamen Porenvolumens n_s

Außerhalb des Ortsbereichs von Gartenberg wurde n_s über weite Bereiche zu 0,19 angesetzt, während im Ortsgebiet ein durch die Bodenverdichtung infolge Bebauung plausibler, geringerer Wert von 0,14 implementiert wurde. Die flächengewichtete mittlere Porosität beträgt ca. 0,166.

Ergebnisgenauigkeit

Den Vergleich der berechneten mit der (fiktiven) gemessenen Grundwasserstandsganglinie am Pegel GER211 ist in der folgenden Abbildung 5-7 ersichtlich.

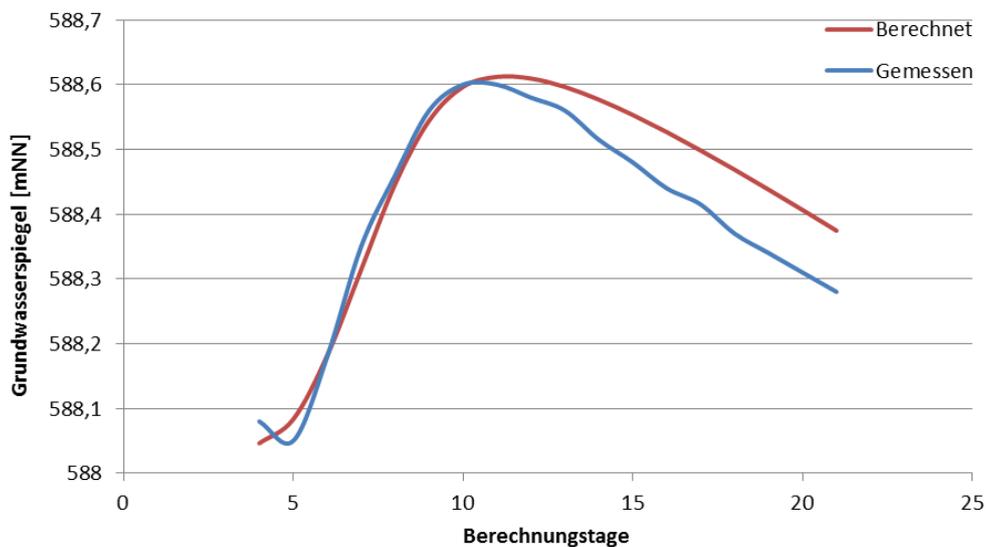


Abbildung 5-7: Vergleich der berechneten und der gemessenen GW-Spiegellage im Pegel GER211

Wie die Abbildung verdeutlicht, wurde der Wellenverlauf im Pegel GER211 im Modell sehr genau abgebildet. Die Differenz der berechneten zur gemessenen Grundwasserspiegellage beträgt am Scheitelwert ca. 1,2 cm. Die Gradienten des Wellenanstiegs sowie des Abfalls entsprechen sich in guter Näherung. Unter den implementierten Randbedingungen ergibt sich allerdings ein etwas zu langsamer Wellenablauf, d.h. der Grundwasserspiegel sinkt nicht wieder mit der tatsächlich beobachteten Rate ab. Da ein sehr viel höherer Evaporationsanteil als eingegeben nicht plausibel erscheint, kommen hierfür zwei Ursachen in Frage:

- Die Durchlässigkeit ist insgesamt zu gering,
- Die im Modell gespeicherte Wassermenge (d.h. vor allem die insgesamt versickerte Niederschlagsmenge) bzw. das effektive Porenvolumen ist zu hoch,

sodass eine Diskrepanz zwischen möglichem Modellabfluss und notwendigem Abbau des Speichervolumens vorliegt. Im folgenden Kapitel 5.4 wird mittels Sensitivitätsanalyse gezeigt, welche der möglichen Ursachen den dominanteren Einfluss hat.

Für den Stichtag 19.07.2016 ergaben sich an den Pegeln im Modellgebiet die in Tabelle 10 ersichtlichen Wasserstandsdifferenzen.

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	587,47	587,50	0,034
104	588,15	588,23	0,082
106	590,65	590,76	0,113
117	590,24	590,15	-0,088
120	591,07	590,93	-0,144
135	588,05	588,21	0,159
158	590,58	590,61	0,027
166	589,36	589,32	-0,043
210	588,97	589,03	0,060
211	588,56	588,60	0,037
214	586,47	586,52	0,046
215	587,16	587,25	0,092
222	589,77	589,78	0,014
159	592,10	592,10	0,003
208	593,33	593,27	-0,059
209	592,83	592,85	0,020
252	591,99	591,89	-0,101
130	591,39	591,36	-0,032
103	589,50	589,77	0,272

Tabelle 10: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für den Stichtag 19.07.

Die Modellgenauigkeit liegt unter Anwendung des in Kapitel 5.2.4 erläuterten objektiven Kriteriums am 19.07.2016 bei ca. 0,5 % und erfüllt dieses damit. Im Aussagegebiet beträgt die maximale absolute Abweichung 0,27 m am Pegel GER103. Außerhalb des Aussagegebietes tritt bei Pegel GER008 eine starke Abweichung des berechneten zum gemessenen Grundwasserstand auf, was darauf zurückzuführen ist, dass der Pegel sich nicht mehr im Grundwasserkörper der Geretsrieder Schotterebene, sondern viel-

mehr im Begleitgrundwasserkörper der Isar befindet. Auf die Genauigkeit der Ergebniswerte im Aussagegebiet hat diese Abweichung keinen wesentlichen Einfluss und kann daher als vernachlässigbar eingestuft werden.

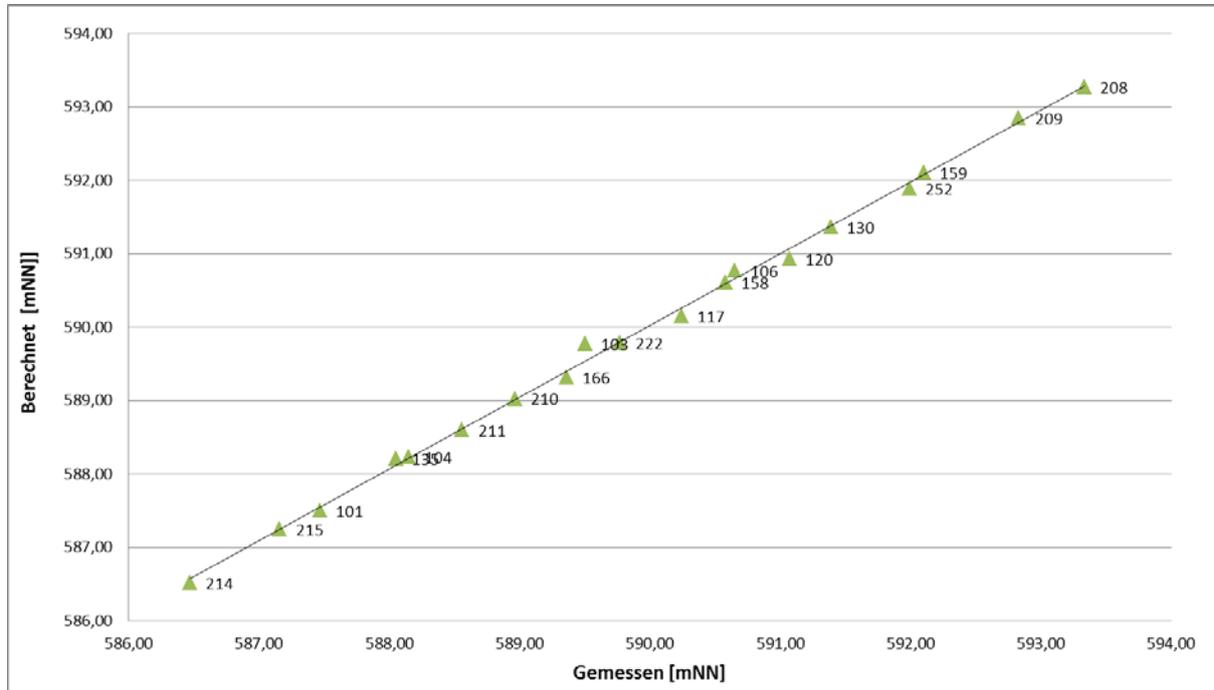


Abbildung 5-8: Streudiagramm für den Stichtag 19.07.2016 für die Pegel

In Abbildung 5-8 ist das Streudiagramm der berechneten gegen die gemessenen Pegelwasserstände vom 19.07.2016 für alle Kontrollpegel dargestellt.

Grundwasserspiegellage und -entwicklung am 17.07.2016

Die berechneten Grundwasserspiegellage für die Kontrollpegel im Blumenviertel am Scheitelwert des Hochgrundwassers (17.07.2016 bzw. Tag 11 im Modell) sind mittels Isohypsen sowie in Form einer Flurabstandskarte im Plan Nr. 1.2 dargestellt.

Die berechnete Ganglinie im Pegel GER222, der sich sehr nahe an der Versickerungsstrecke des Schwaigwaller Bachs befindet, zeigt zunächst einen starken Wellenanstieg um über 1,50 m auf einen Scheitelwert von 590,82 mNN bereits am 14.07.2016, um dann bis zum 19.07.2016 auf ein Niveau von 589,78 mNN zurück zu fallen, was vom gemessenen Stichtagswert um lediglich ca. 1 cm abweicht. Die Plausibilität des starken Anstiegs bzw. die Volatilität der Grundwasserspiegellage am GER222 in Abhängigkeit der Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach lässt sich anhand des Stichtagsmesswerts am 07.06.2016 von 590,52 mNN bestätigen, der etwa 2 Tage nach einem Niederschlagsereignis mit einer Tagessumme von rd. 44 mm/d auftrat. Hierdurch wird auch verdeutlicht, dass der Scheitelwert des Grundhochwassers im Allgemeinen regional zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftritt.

Die berechneten Grundwasserspiegellagen im Bereich Gartenberg Mitte verlaufen im Allgemeinen tendenziell niedriger als erwartet bzw. am Stichtag 19.07.2016 gemessen. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass es – entgegen den Modellannahmen – auch im Bereich der Sohlabdichtung des Schwaigwaller Bachs zu einer Versickerung über die Bachböschung kommt. Der Betrag dieser Versickerung muss jedoch im Vergleich zur nicht abgedichteten Strecke deutlich geringer sein, um unter Addition der bekannten Versickerungsmenge nördlich der Blumenstraße nicht unplausibel hohe Niederschlagsabflüsse im Schwaigwaller Bach zu erhalten (vgl. Kapitel 4.1.1).

Eine lokale Beeinflussung der Grundhochwasserströmung durch in den Aquifer einbindende Bauwerke, wie Rüstungskanäle, Tiefgaragen, Gebäudekeller etc. zeichnet sich im Ergebnis nicht ab, bzw. allenfalls in Form einer geringeren Porosität. Eine gewisse Beeinflussung ist jedoch nicht unwahrscheinlich. Im Allgemeinen bewegt sie sich betragsmäßig aber im Bereich der Modellgenauigkeit.

Grundwasserbilanz am Scheitelwert der Modellzu- bzw. -abflusssummen

In der nachfolgenden Gegenüberstellung sind die Zu- und Abflüsse sowie die Auffüllung der ungesättigten Bodenzone (Speicherung) für die einzelnen Randbedingungsarten (RB) im instationär kalibrierten Modell am Scheitelwert des Niederschlagsereignisses (12.07.2016 bzw. Modelltag 6) ersichtlich, wobei es sich hierbei nicht um den Tag des Scheitelwertes am Zu- und Abflussrand handelt.

Zuflüsse [l/s]		Abflüsse + Speicherung [l/s]	
RB 1. Art (Zufluss von Süden)	53	RB 1. Art (Abfluss nach Norden)	99
RB 2. Art (Hangfuß Schwaigw. Berg)	65	RB 2. Art (Quellschüttungen)	46
GW-Neubildung aus Niederschlag	1.016		
Versickerung Schwaigwaller Bach	530	Speicherung ungesättigte Zone	1.519
Summe Zuflüsse	1.664	Summe Abflüsse + Speicherung	1.664

Tabelle 11: Grundwasserbilanz für das instationär kalibrierte Modell am Modelltag 6 (12.07.2016)

Quasistationäre Berechnungsergebnisse und Grundwasserbilanz am Berechnungstag 3

Mit den instationär kalibrierten Parametern soll auch der bei mittleren hydrologischen Verhältnissen eintretende (MGW-) Zustand hinreichend genau nachgebildet werden. Hierzu wird das Berechnungsergebnis nach 3 Tagen stationär angesetzter Zu- und Abflussrandbedingungen bzw. Grundwasserneubildungsraten herangezogen. Das Ergebnis und der Vergleich der berechneten Grundwasserspiegellage an den Pegeln mit den dort ermittelten mittleren Werten zeigt Tabelle 12.

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	586,95	586,78	-0,168
104	587,88	587,81	-0,072
106	590,41	590,34	-0,069
117	589,61	589,70	0,095
120	590,64	590,49	-0,152
135	587,64	587,59	-0,049
158	590,40	590,22	-0,180
166	588,78	588,79	0,010
210	588,58	588,39	-0,195
211	588,09	588,05	-0,035
214	585,92	585,69	-0,234
215	586,46	586,40	-0,066
222	589,34	589,23	-0,109
159	591,99	591,89	-0,094
208	593,10	593,02	-0,086
209	592,50	592,42	-0,074
252	591,55	591,38	-0,169
130	590,88	590,91	0,026
103	589,21	589,35	0,132

Tabelle 12: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für den quasistationären Zustand am Berechnungstag 3

Zuflüsse [l/s]		Abflüsse [l/s]	
RB 1. Art (Zufluss von Süden)	51	RB 1. Art (Abfluss nach Norden)	104
RB 2. Art (Hangfuß Schwaigw. Berg)	5	RB 2. Art (Quellschüttungen)	25
GW-Neubildung aus Niederschlag	73		
Summe Zuflüsse	129	Summe Abflüsse	129

Tabelle 13: Quasistationäre Grundwasserbilanz am Berechnungstag 3

Die Berechnungsgenauigkeit ist mit ca. 0,7 % deutlich gegenüber der stationären Berechnung erhöht. Darüber hinaus entsprechen die einzelnen Bilanzwerte und –summen eher den Schätzwerten der Bilanzierung unter Kapitel 4.2, wengleich die Zu- und Abflussströme (innerhalb eines plausiblen Bereichs) höher ermittelt wurden.

5.4 Sensitivitätsanalyse

5.4.1 Allgemeines

Mittels der Sensitivitätsanalyse soll ergründet werden, wie sich das instationäre Numerische Strömungsmodell infolge einer Variation eines bestimmten Parameters bei Gleichbleiben der übrigen Parameter verhält.

5.4.2 Variation der kalibrierten hydraulischen Durchlässigkeit

Die Modellrechnung mit vollflächig um den Faktor 0,5 abgeminderten bzw. um das 1,5-fache erhöhten Durchlässigkeitsverteilungen führte am Stichtag 19.07.2016 zu folgenden Ergebnissen.

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	587,47	587,38	-0,089
104	588,15	587,94	-0,207
106	590,65	590,96	0,307
117	590,24	590,10	-0,139
120	591,07	590,84	-0,234
135	588,05	588,15	0,101
158	590,58	590,56	-0,022
166	589,36	589,27	-0,095
210	588,97	588,83	-0,132
211	588,56	588,52	-0,040
214	586,47	586,32	-0,155
215	587,16	587,31	0,153
222	589,77	590,28	0,513
159	592,10	592,16	0,058
208	593,33	593,28	-0,050
209	592,83	592,85	0,019
252	591,99	591,89	-0,102
130	591,39	591,32	-0,066
103	589,50	589,66	0,160

Tabelle 14: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für $k_f \times 0,5$

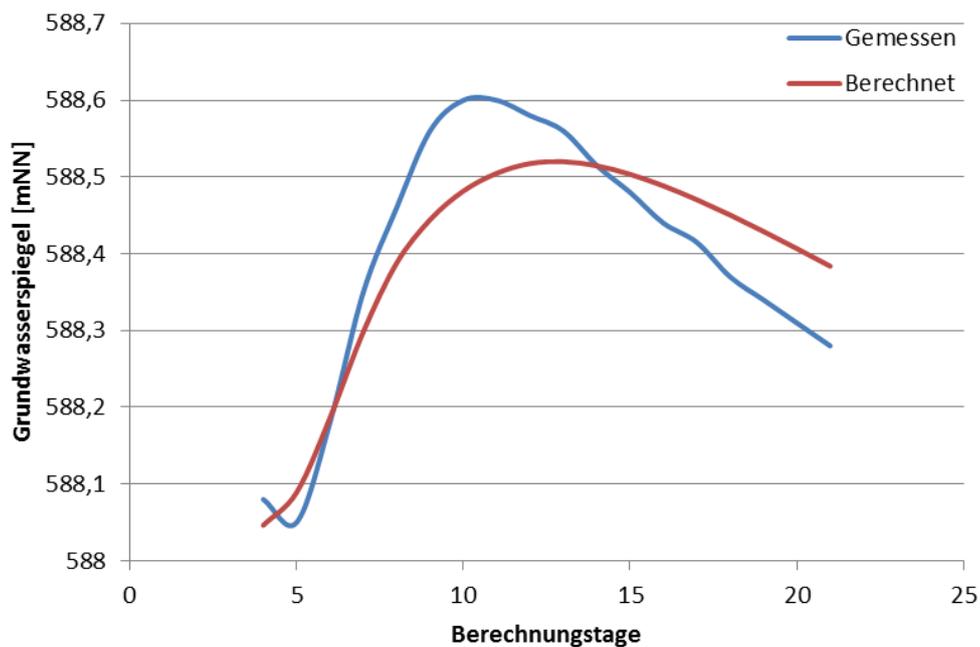


Abbildung 5-9: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für $k_f \times 0,5$

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	587,47	587,51	0,044
104	588,15	588,41	0,264
106	590,65	590,63	-0,022
117	590,24	590,13	-0,106
120	591,07	590,95	-0,118
135	588,05	588,20	0,147
158	590,58	590,65	0,074
166	589,36	589,32	-0,042
210	588,97	589,17	0,201
211	588,56	588,60	0,041
214	586,47	586,56	0,091
215	587,16	587,13	-0,035
222	589,77	589,53	-0,241
159	592,10	592,09	-0,006
208	593,33	593,28	-0,052
209	592,83	592,83	0,002
252	591,99	591,89	-0,105
130	591,39	591,34	-0,052
103	589,50	589,86	0,361

Tabelle 15: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für $k_f \times 1,5$

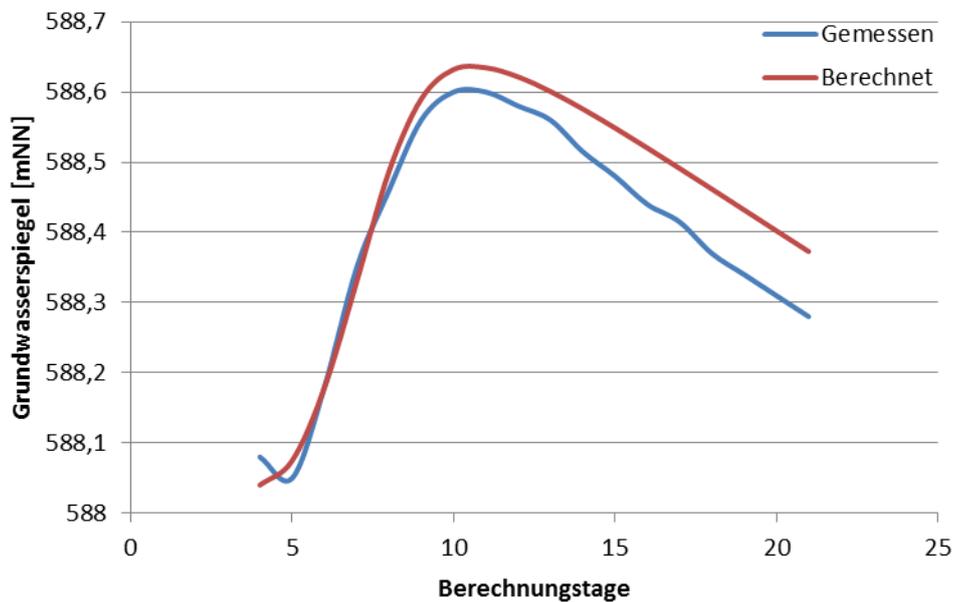


Abbildung 5-10: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für $k_f \times 1,5$

Bei um den Faktor 0,5 verminderter Gesamtdurchlässigkeit zeigt sich eine Erhöhung der Grundwasserspiegellage im Nahbereich der Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach (Pegel GER106 und GER222), während die näher zur Isar gelegenen Pegel (z.B. Pegel GER104) zu tief berechnet werden. Im Fall der 1,5-fach erhöhten Gesamtdurchlässigkeit dreht sich dieses Bild um. Am Ganglinienverlauf in Pegel GER211 erkennt man bei verringerter Durchlässigkeit einen gedehnten Wellenverlauf, während bei erhöhter Durchlässigkeit ein lediglich geringer Unterschied zum Basisszenario erkennbar ist. Demgemäß

müsste die Durchlässigkeit noch deutlich größer sein, um für eine ausreichende Entleerung des Speichervolumens zu sorgen.

5.4.3 Variation des speicherwirksamen Porenvolumens

Die Variation des kalibrierten speicherwirksamen Porenvolumens n_s um die Faktoren 0,5 bzw. 1,5 zeigt folgende Auswirkungen

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	587,47	588,13	0,663
104	588,15	589,14	0,987
106	590,65	591,09	0,443
117	590,24	590,67	0,429
120	591,07	591,48	0,409
135	588,05	588,81	0,760
158	590,58	591,24	0,658
166	589,36	589,93	0,568
210	588,97	589,83	0,866
211	588,56	589,22	0,664
214	586,47	587,18	0,707
215	587,16	587,66	0,498
222	589,77	589,98	0,205
159	592,10	592,45	0,348
208	593,33	593,46	0,132
209	592,83	593,16	0,332
252	591,99	592,32	0,333
130	591,39	591,82	0,431
103	589,50	590,43	0,929

Tabelle 16: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für $n_s \times 0,5$

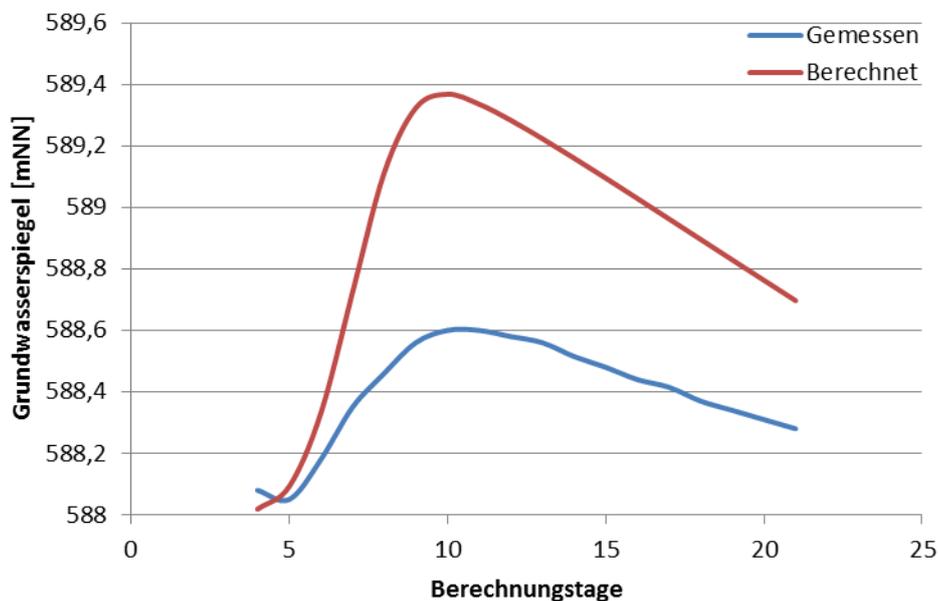
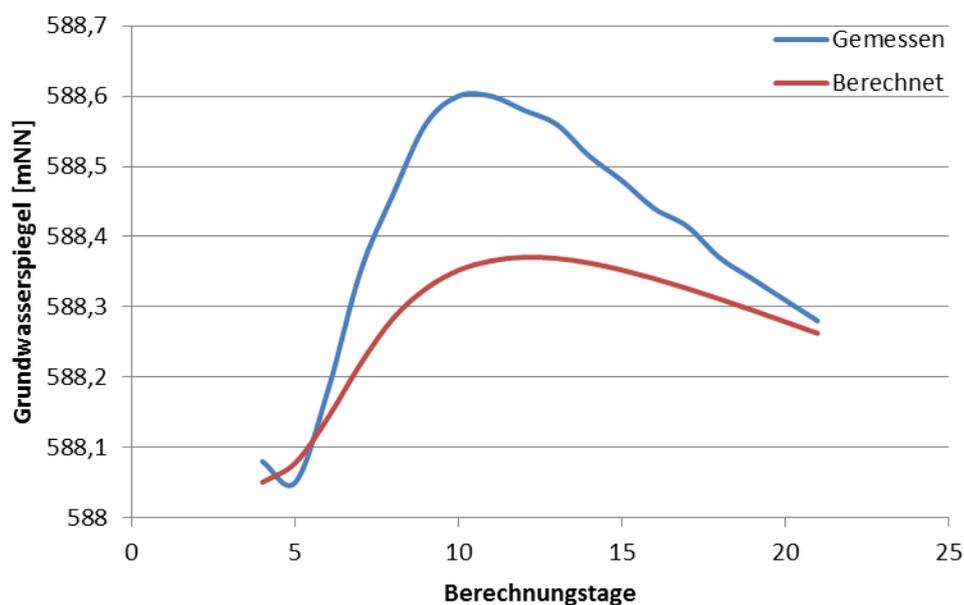


Abbildung 5-11: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für $n_s \times 0,5$

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	587,47	587,23	-0,234
104	588,15	587,99	-0,157
106	590,65	590,65	-0,003
117	590,24	589,97	-0,270
120	591,07	590,75	-0,319
135	588,05	587,98	-0,074
158	590,58	590,42	-0,156
166	589,36	589,10	-0,256
210	588,97	588,75	-0,215
211	588,56	588,37	-0,191
214	586,47	586,21	-0,259
215	587,16	587,01	-0,148
222	589,77	589,74	-0,035
159	592,10	592,03	-0,067
208	593,33	593,19	-0,142
209	592,83	592,70	-0,135
252	591,99	591,74	-0,253
130	591,39	591,19	-0,197
103	589,50	589,58	0,076

Tabelle 17: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für $n_s \times 1,5$ Abbildung 5-12: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für $n_s \times 1,5$

Es zeigen sich zwei sehr signifikante Unterschiede gegenüber den Messwerten bzw. dem Basisszenario:

- Der Maximalwasserstand wird bei $n_s \times 0,5$ deutlich über-, bei $n_s \times 1,5$ deutlich unterschritten. Dies hängt mit dem geringeren bzw. höheren Gesamtvolumen des Bodenspeichers zusammen.
- Die Absinkrate nach Erreichen des Grundwasserhochstandes ist bei $n_s \times 0,5$ deutlich höher, bei $n_s \times 1,5$ deutlich niedriger als beim Basisszenario, da ein geringerer Bodenspeicher bei gegebener Durchlässigkeitsverteilung rascher entleert werden kann.

5.4.4 Variation der Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Für die Verdeutlichung des Einflusses aus dem Ansatz der versickernden Niederschlagsmengen werden die Auswirkungen eines Versickerungsanteils von 38,5 % sowie von 75 % am Gesamtniederschlag - jeweils im gesamten Modellgebiet gleich verteilt – untersucht. Die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	587,47	587,35	-0,111
104	588,15	588,02	-0,127
106	590,65	590,64	-0,008
117	590,24	589,98	-0,261
120	591,07	590,71	-0,356
135	588,05	588,06	0,013
158	590,58	590,37	-0,211
166	589,36	589,14	-0,217
210	588,97	588,82	-0,144
211	588,56	588,44	-0,120
214	586,47	586,38	-0,087
215	587,16	587,16	0,003
222	589,77	589,69	-0,082
159	592,10	591,96	-0,138
208	593,33	593,18	-0,151
209	592,83	592,70	-0,128
252	591,99	591,69	-0,299
130	591,39	591,18	-0,206
103	589,50	589,59	0,090

Tabelle 18: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für eine Versickerung von 38,5 % des Niederschlags

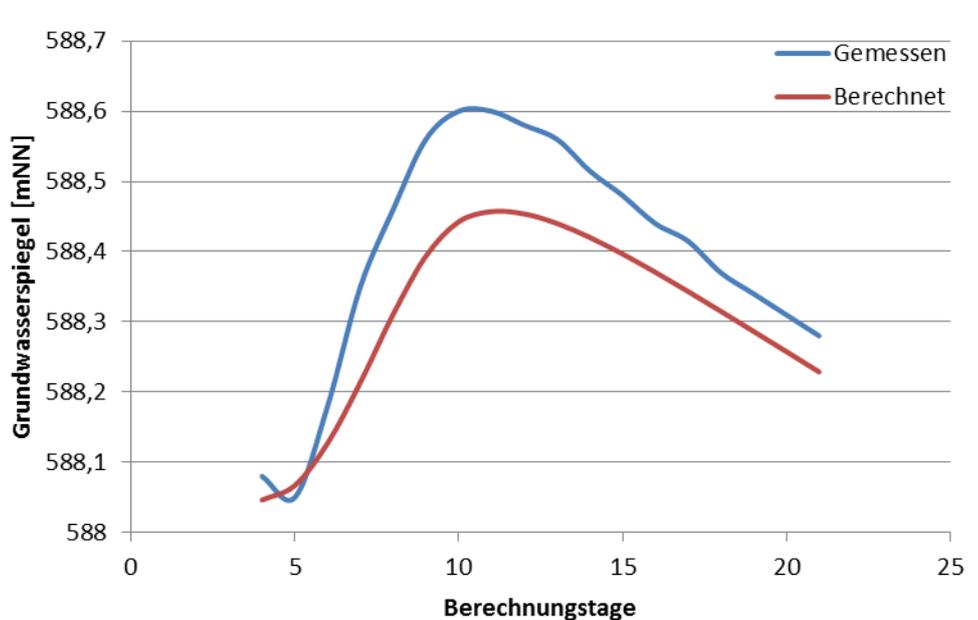


Abbildung 5-13: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für eine Versickerung von 38,5 % des Niederschlags

Pegel GER	Gemessen [mNN]	Berechnet [mNN]	Differenz [m]
101	587,47	587,59	0,121
104	588,15	588,35	0,205
106	590,65	590,86	0,213
117	590,24	590,26	0,022
120	591,07	591,06	-0,007
135	588,05	588,30	0,250
158	590,58	590,75	0,170
166	589,36	589,43	0,068
210	588,97	589,15	0,188
211	588,56	588,70	0,135
214	586,47	586,60	0,127
215	587,16	587,34	0,181
222	589,77	589,87	0,101
159	592,10	592,21	0,114
208	593,33	593,34	0,013
209	592,83	592,96	0,128
252	591,99	592,02	0,028
130	591,39	591,47	0,085
103	589,50	589,89	0,388

Tabelle 19: Gemessene und berechnete Grundwasserstände und –differenzen für eine Versickerung von 75 % des Niederschlags

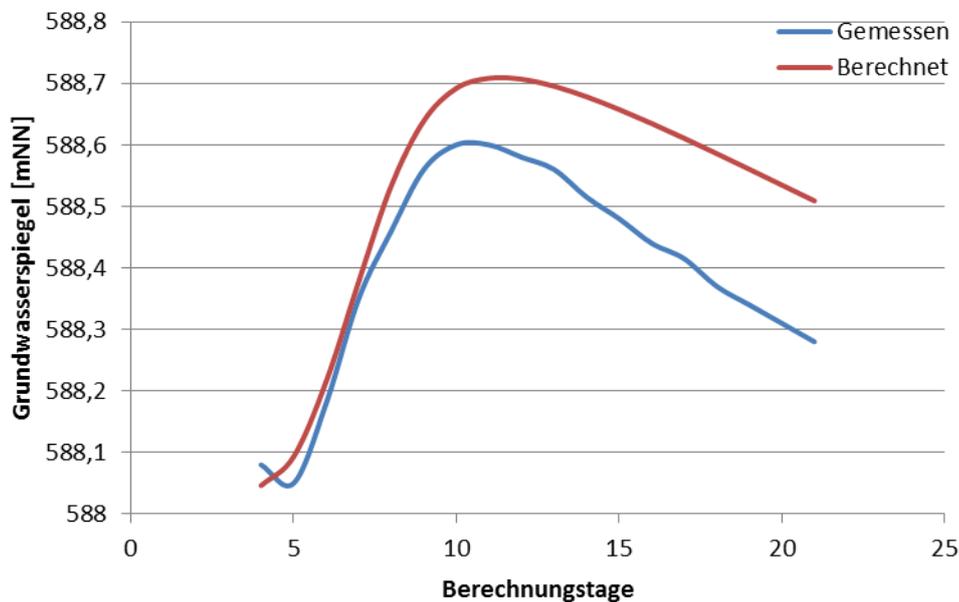


Abbildung 5-14: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für eine Versickerung von 75 % des Niederschlags

Der niedrigere Versickerungsansatz führt zu einem langsameren / zu langsamen Wellenanstieg und einem Unterschreiten des gemessenen Scheitelwerts um ca. 14 cm am Pegel GER211. Umgekehrt stellt sich die Situation beim höheren Versickerungsansatz dar. Der Scheitelwert liegt hier um ca. 11 cm über dem Messwert. Die Schwankungsbreite von insgesamt lediglich ca. 25 cm gegenüber dem Gesamtanstieg des Grundwasserspiegels um ca. 55 cm zeigt, dass der Niederschlagseinfluss im Umfeld des Pegels GER211 gegenüber dem des Schwaigwaller Bachs begrenzt ist.

5.5 Instationäre Berechnungsszenarien

5.5.1 Szenario I: Einfluss von Leckagen in der ehemaligen Bachverrohrung

Mit diesem Szenario soll dargestellt werden, welche Auswirkungen sich gegenüber dem Basisszenario ergeben hätten, wenn der Schwaigwaller Bach wie vor der Offenlegung durch die ehemalige Bachverrohrung abgefließen wäre. Dabei wird davon ausgegangen, dass in der Bachverrohrung Leckagen (durch undichte Rohrverbindungen etc.) vorhanden sind, die zu Wasserverlusten in Höhe von 20 % führen. Die Wasserverluste versickern entlang der Rohrtrasse in den Untergrund und tragen so zur Grundwasserneubildung bei. Im Modell wurden die Wasserverluste gleichmäßig über die gesamte Länge der Verrohrung aufgeteilt. Die nachfolgende Abbildung 5-15 zeigt die Wasserspiegeldifferenzen, die sich bei diesem Szenario gegenüber einem vom Schwaigwaller Bach vollkommen unbeeinflussten Zustand (vgl. Szenario II) einstellen.

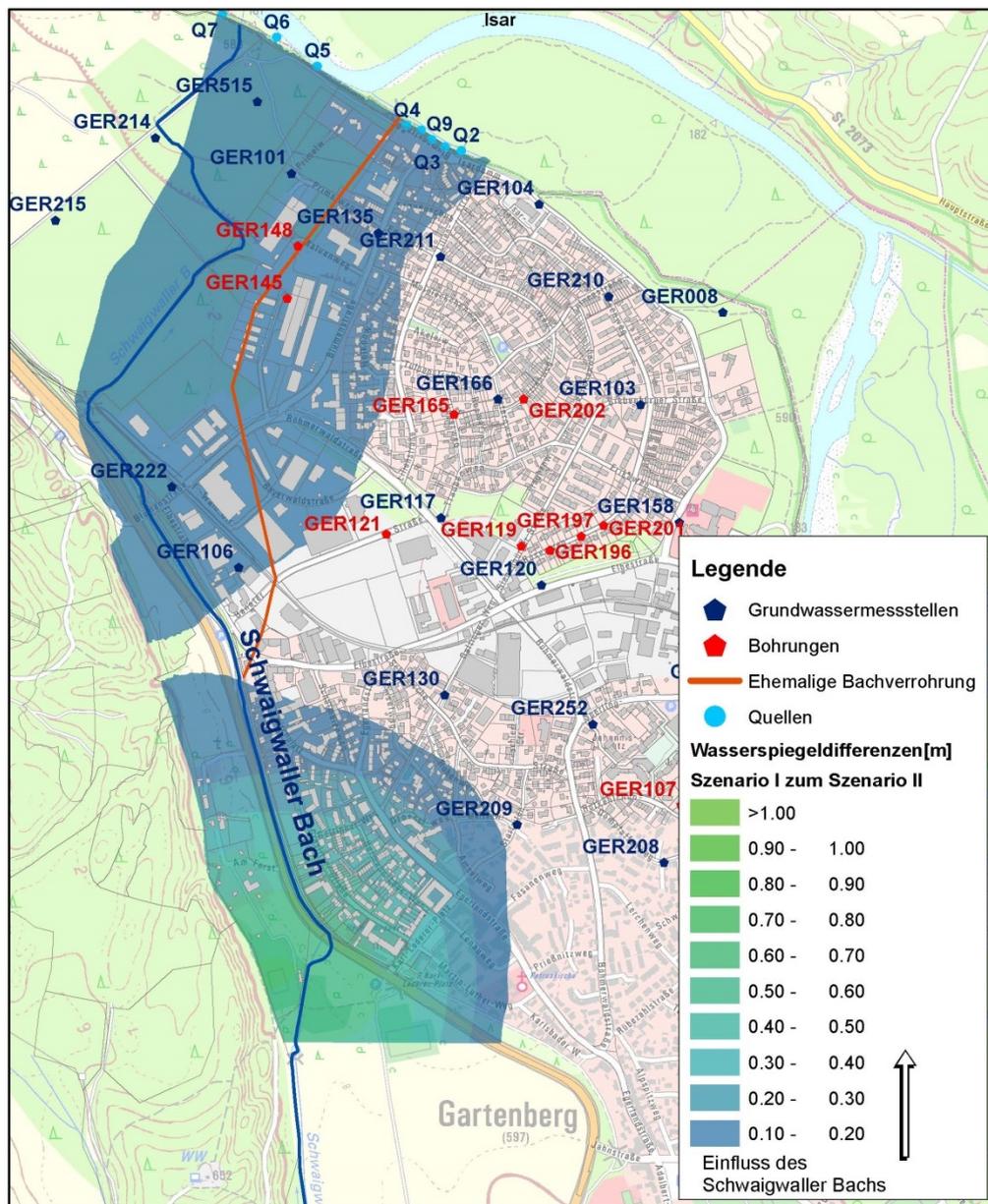


Abbildung 5-15: GW-Spiegeldifferenz zwischen Szenario I und Szenario II

Demnach entspricht die Beeinflussung des Schwaigwaller Bachs durch die Versickerung vor der Querung der B11 dem Basisszenario, während die Erhöhung des Grundwasserspiegels im Blumenviertel entlang der Bachverrohrung bei den angesetzten Leckagewassermengen eine Größenordnung bis ca. 13 cm erreicht (siehe hierzu auch die hydrogeologischen Profildarstellungen, Pläne Nr. 2.1 und 2.2).

5.5.2 Szenario II: Vollabdichtung des Schwaigwaller Bachs

In diesem Szenario wird auf Basis der instationären Modellierung des Hochgrundwassers vom Juli 2016 untersucht, wie sich eine vollständige Sohlabdichtung des Schwaigwaller Bachs auf den Scheitelwert der Grundwasserspiegellage ausgewirkt hätte. Mit anderen Worten: Welche Entwicklung hätte die Grundwasserspiegellage unter dem reinen Einfluss des versickernden Niederschlags genommen?

Hierzu ist anzumerken, dass der zeitliche Verlauf der von der Grundwasserspiegellage abhängigen Randbedingungen (i.W. Abfluss durch Quellen, Zu-/Abfluss an der ober-/unterstromigen Modellgrenze) nicht näher bestimmt werden kann, da hierzu keine repräsentativen Messreihen existieren. Daher wurden die instationären Zu- und Abflussrandbedingungen wie auch die Ganglinien der Grundwasserspiegel am Modellzu- und -abfluss gegenüber dem Ausgangsszenario nicht verändert. Angesichts des relativen Anteils dieser Wassermengen von lediglich ca. 15 % am deutlich dominanteren, zeitgleich versickernden Niederschlag wirken sich jedoch diesbezügliche Fehlannahmen nur in begrenztem Umfang aus, wobei sie in der Tendenz etwas zu hohe berechnete Grundwasserspiegellagen provozieren.

Die Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Basisszenario und dem Szenario II sind in der Abbildung 5-17 dargestellt, den Ganglinienvergleich der beiden Szenarien im Pegel GER211 zeigt Abbildung 5-16.

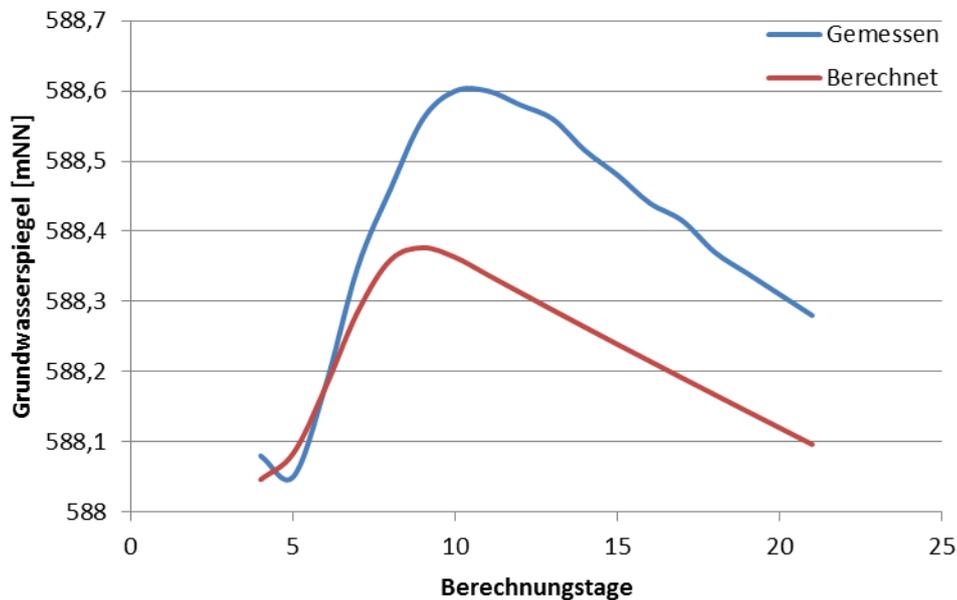


Abbildung 5-16: Gemessene und berechnete Ganglinie am Pegel GER211 für das Szenario II

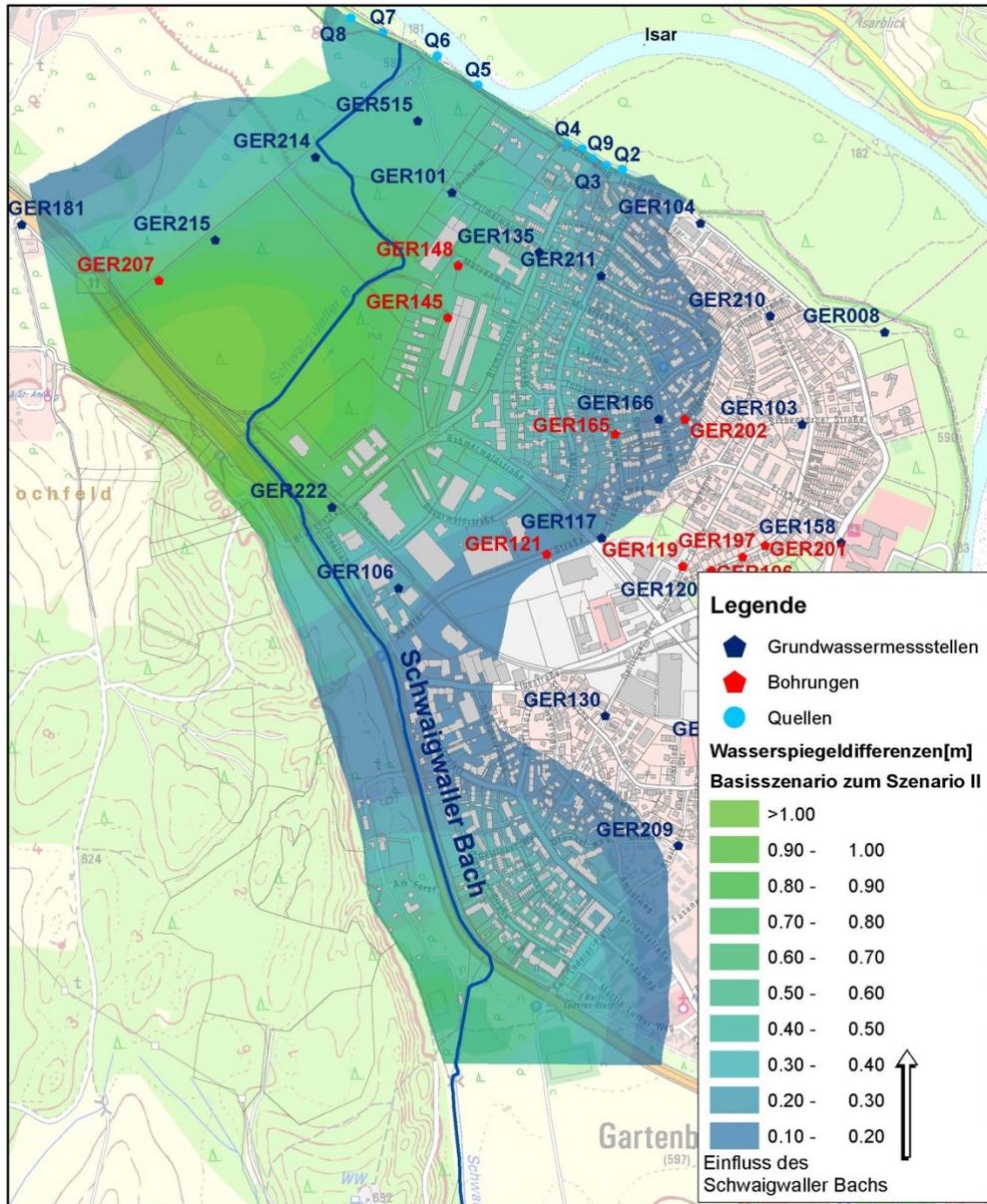


Abbildung 5-17: GW-Spiegeldifferenz zwischen dem Basisszenario und Szenario II

Gemäß Abbildung 5-17 beträgt die Erhöhung des Grundwasserspiegels infolge der Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach bis etwas über 1,00 m, wobei der Maximalwert direkt nordwestlich der Radwegbrücke auftritt. Nach NE zur Isar hin sowie beiderseits des Bachverlaufs nimmt der Einfluss kontinuierlich ab. Die Reichweite reicht nach Süden etwa bis zur Kreuzung Böhmerwaldstraße – Siebenbürger Straße und nach Norden bis knapp südöstlich des Guts zwischen Gartenberg und Waldram und beträgt somit jeweils ca. 750 bis 850 m.

Östlich des an der Sohle abgedichteten Verlaufs des Schwaigwaller Bachs, etwa im Bereich der Pegel GER121 – GER130 – GER209, wird aus dem Modell die geringste Reichweite der Beeinflussung ausgegeben, da hier keine Versickerung aus dem Bach implementiert wurde. Der Verfasser hält es allerdings für wahrscheinlich, dass bei höherer Wasserführung auch über die unabgedichteten Bachböschungen Wasser in den Grundwasserkörper exfiltriert und zu einer lokalen Grundwasserspiegelerhöhung führt, wengleich in deutlich geringerem Ausmaß als weiter nordwestlich (vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 5.3.5). Da für eine solche Entwicklung jedoch keine Messwerte vorliegen, bleibt es hier bei einer Mutmaßung.

In Abbildung 5-16 zeigt sich der Einfluss des Schwaigwaller Bachs beim Pegel GER211 in Form des Differenzbetrags zur gemessenen Grundwasserganglinie. Dieser beträgt hier am Scheitelwert etwa 25 cm, was etwa 45 % des gesamten Wellenanstiegs ausmacht. Weiterhin tritt der Scheitel der Ganglinie im Szenario II etwa einen Tag früher auf als in den Messwerten. Wie auch im Basisszenario ist die Absinkrate nach Erreichen des Scheitelwerts gegenüber dem gemessenen Verhalten zu gering.

Die Grundwasserspiegellage für dieses Szenario ist weiterhin in den hydrogeologischen Profilschnitten (Pläne Nrn. 2.1 und 2.2) ersichtlich und dem Basisszenario gegenübergestellt.

5.5.3 Szenario III: Entfall Sohlabdichtung des Schwaigwaller Bachs im Bereich der S-Bahn-Trasse.

In diesem Szenario wird der Fall betrachtet, dass – bei sonstiger Vollabdichtung – der Abschnitt bis zum Beginn der derzeit bestehenden Sohlabdichtung vor der Querung der B11 im Zuge der Errichtung der Schnellbahntrasse der S7 nicht abgedichtet wird (und demgemäß hier dem bestehenden Zustand entspricht). Die Abbildung 5-18 zeigt den Einfluss auf den Grundwasserspiegel aufgrund der Versickerung entsprechend der hydrologischen Ausgangslage im Juli 2016 gegenüber einem vom Schwaigwaller Bach vollkommen unbeeinflussten Zustand (vgl. Szenario II).

Demnach wirkt sich die Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach im untersuchten Fall etwa bis zur Elbestraße bzw. zur Schlesische Straße aus. Südlich jener Stelle, an der der Schwaigwaller Bach vom Hangfuß des Schwaigwaller Bergs weg schwenkt, ist im Modell keine Versickerung implementiert, zumal hier der Modellzufluss über die oberstromige Wasserspiegelrandbedingung definiert ist. Eindeutige Aussagen zum Einfluss des Schwaigwaller Bachs auf den Grundwasserspiegel im Bereich der Viehweide können daher auf Basis des hier betrachteten Modells nicht getroffen werden.

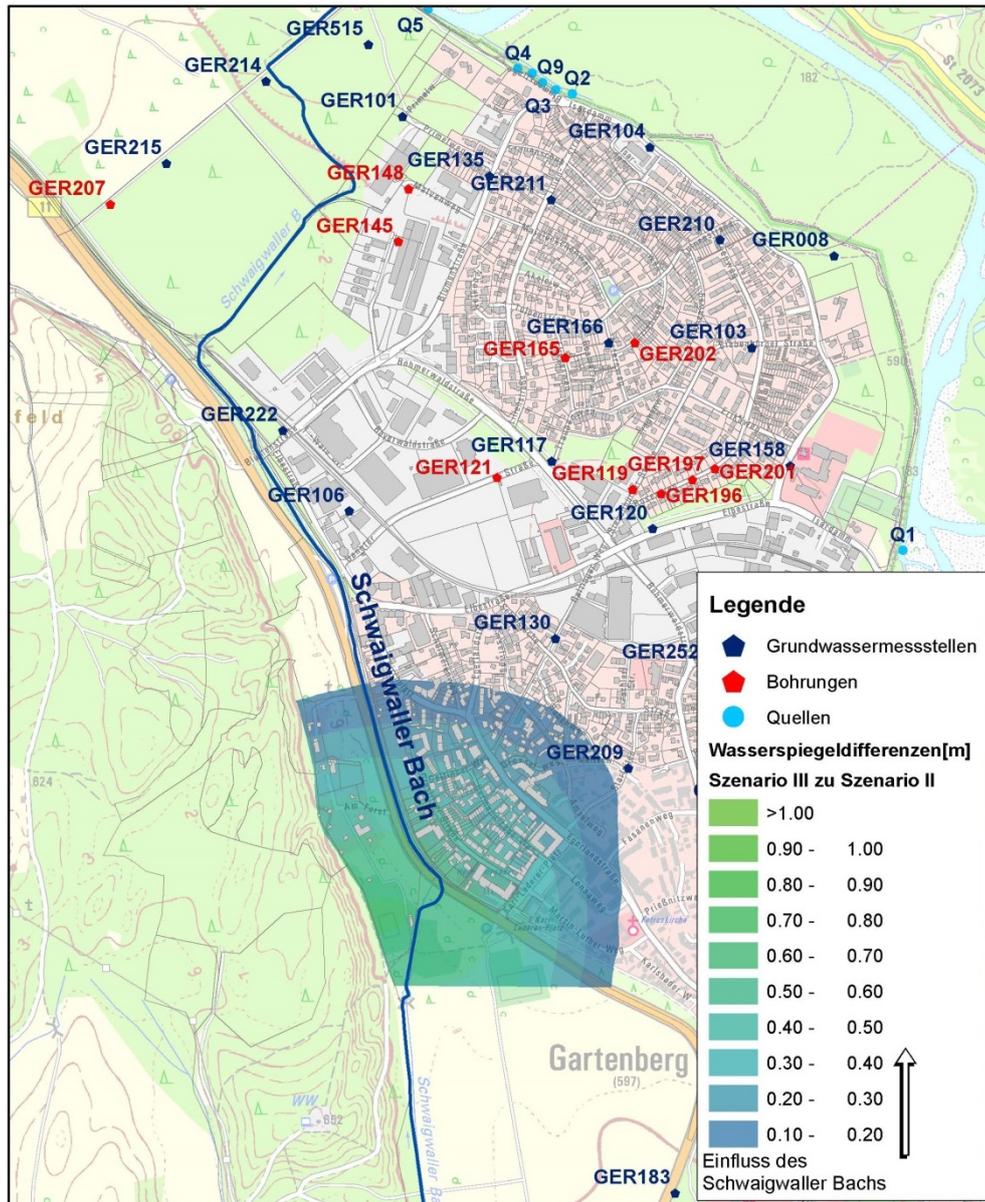


Abbildung 5-18: GW-Spiegeldifferenz zwischen Szenario III und Szenario II

6 Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Allgemeinen weist die Grundwasserströmung im Bereich von Gartenberg eine sehr hohe Dynamik auf, die sehr stark abhängig ist von der lokalen Niederschlags-Verdunstungssituation, der Speichermöglichkeit in der durchwurzelten Bodenzone und vom Niederschlags-Abflussverhalten des Schwaigwaller Bachs. Die bei mittleren Verhältnissen verbreitete lediglich geringe Aquifermächtigkeit kann sich bei Hochgrundwasserereignissen um ein mehrfaches vergrößern.

Im Fall des im Juli 2016 beobachteten Hochgrundwasserereignisses, für den erstmals eine Abflussbestimmung im Schwaigwaller Bach vorlag, betrug die Versickerungsmenge aus dem Bach in den Grundwasserkörper unterwasserseitig der Blumenstraße auf etwa 600 m Länge ca. 500 l/s. Damit liegt der daraus resultierende Zustrom zum Grundwasser etwa in der gleichen Größenordnung wie die (geschätzte) Grundwasserneubildung aus Niederschlag im gesamten Bereich von Gartenberg im selben Zeitraum, vermutlich sogar um bis zu 30 % darüber. Hinzu kommt der lediglich lokal konzentrierte Versickerungseinfluss aus dem Bach gegenüber der über die Fläche verteilten Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Weil trotz sehr hoher hydraulischer Durchlässigkeit diese zusätzlichen Wassermengen nicht gleichzeitig zur Isar oder nach Waldram abfließen können, steigt der Grundwasserspiegel ortsabhängig unterschiedlich stark an. Die Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach führt also lokal zu signifikanten Aufhöhungen des Grundwasserspiegels.

Die Genauigkeit der Modellaussagen hinsichtlich einer Quantifizierung sowie Lokalisierung der Auswirkungen der Versickerung im Schwaigwaller Bach auf die Grundwasserspiegellage in Gartenberg ist aus nachfolgenden Gründen jedoch begrenzt:

- die Datengrundlage weist keine ausreichend hohe zeitliche Auflösung auf
- für einige Parameter liegen lediglich einzelne Stichtagsmesswerte vor (z.B. Wasserspiegel / Durchfluss des Schwaigwaller Bachs)
- für die (flächenhafte Verteilung der) Grundwasserneubildung aus Niederschlag sowie ihren zeitlichen Verlauf kann aus technischen Gründen keine Messung erfolgen.
- Der Zusammenhang Bodenspeicherung – Versickerung – Verdunstung ist nicht (flächenhaft) und auch nicht in seinem zeitabhängigen Verhalten bekannt, jedoch von sehr bedeutendem Einfluss.
- Das Niederschlags-Abflussverhalten des Schwaigwaller Bachs ist nicht (aus Messungen) bekannt.
- Anthropogene Einflüsse im Untergrund sind weitgehend unbekannt (Gebäudekeller, Kanäle, etc.)
- Das Modell konnte bislang nicht anhand eines weiteren Ereignisses verifiziert werden, da keine entsprechenden Daten vorliegen.

Vermutlich werden im numerischen Modell der Niederschlagseinfluss und / oder die effektive Porosität etwas überschätzt, während die Durchlässigkeit – deren Größenordnung anhand des in [11] erwähnten Ergebnisses eines Tracerversuchs implementiert wurde – unterschätzt wird. Die Modellgenauigkeit wird in Abhängigkeit des Niederschlagseinflusses mit einer Größenordnung von ca. $\pm 15\%$ bezogen auf die Schwankungsbreite der Grundwassermächtigkeit abgeschätzt.

In Abhängigkeit der Niederschlags-Abflusssituation, des Evapotranspirationsprozesses sowie der Bodenspeicherung kann sich die Versickerung aus dem Schwaigwaller Bach in unterschiedlicher Relation zum Niederschlagseinfluss auswirken. Mit anderen Worten: jedes Niederschlagsereignis schlägt sich in seiner eigenen charakteristischen Form mehr oder weniger deutlich im Grundwasser nieder und führt zu höheren oder niedrigeren Abflüssen (und damit versickernden Wassermengen) im Schwaigwaller Bach. Eine pauschale Aussage hinsichtlich eines festen Verhältnisses zwischen dem Einfluss des Schwaigwaller Bachs an einem bestimmten Ort und dem dort vorhandenen Einfluss der Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist daher nicht möglich. Vielmehr kommt es auf die örtlich und zeitlich vorliegenden hydro(geo)logischen Gegebenheiten und Randbedingungen an.