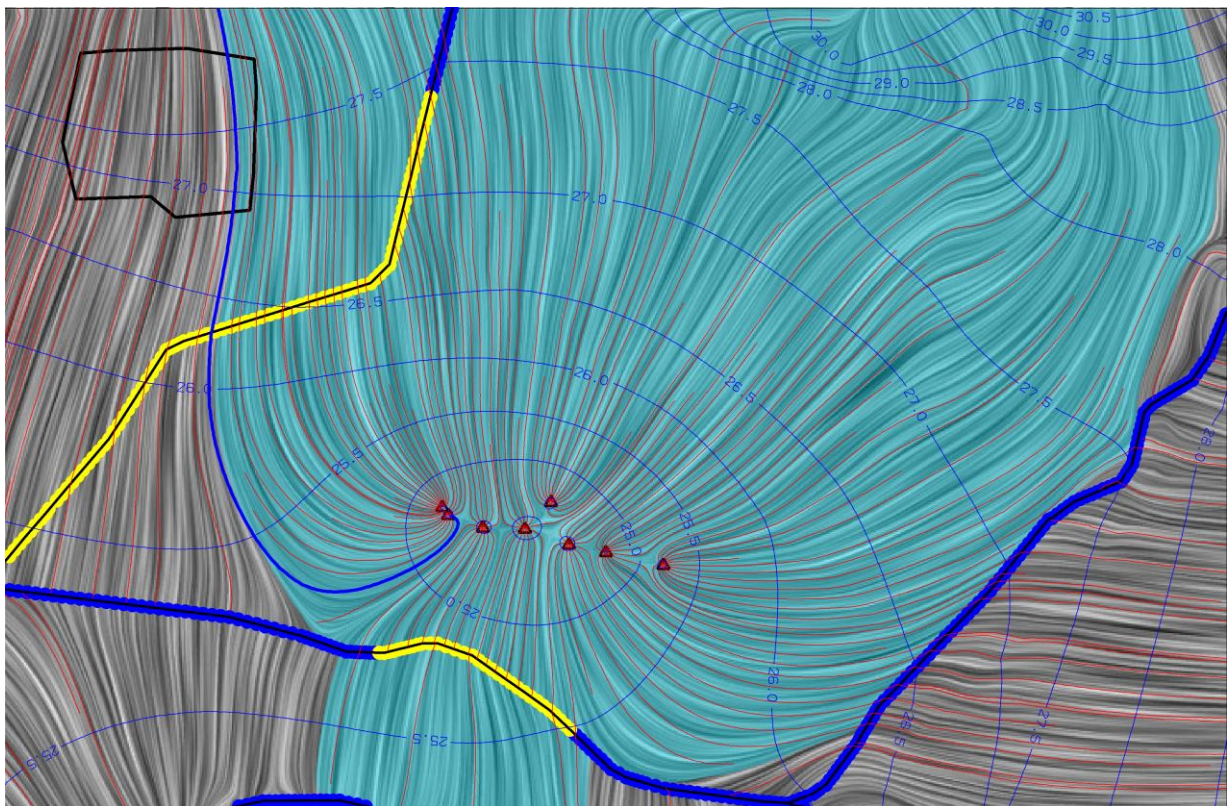


**Numerisches Grundwassermodell
zur
geplanten 31. Änderung des Regionalplans Münsterland
auf dem Gebiet der Stadt Rhede**

Erläuterungsbericht



Erläuterungsbericht Numerisches Grundwassermodell

Im Auftrag von:



Stadtverwaltung Rhede
Team 30.1 -
Bauordnung, Planung, Umwelt
Rathaus,
Rathausplatz 9,
46414 Rhede

Bearbeitung: delta h Ingenieurgesellschaft mbH
Prof. Dr.-Ing. Christoph M. König
Dr.-Ing. Katrin Brömme
Parkweg 67
58453 Witten

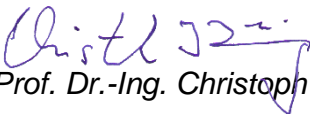
Tel.-Durchwahl: 02302 / 91 406 - 22

Fax: 02302 / 91 406 - 20

E-Mail: ck@delta-h.de

Witten, den 14.06.2021

delta h Ingenieurgesellschaft mbH


Prof. Dr.-Ing. Christoph M. König

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation.....	6
2	Verwendete Daten und Unterlagen	6
3	Aufgabenstellung	7
4	Auswertung vorhandener Daten und Unterlagen	9
5	Systembeschreibung	10
6	Datengrundlage	13
6.1	Untersuchungsgebiet	13
6.2	Gelände.....	14
6.3	Quartärbasis.....	15
6.4	Grundwasserentnahmen	16
6.5	Grundwassermessstellen	18
7	Aufbau des numerischen Grundwassermodells	19
7.1	Diskretisierung.....	19
7.2	Modellrandbedingungen.....	20
7.3	Grundwasserneubildung: instationäre Neubildungsberechnung.....	21
8	Kalibrierung des numerischen Modells	33
9	Prognoserechnungen mit dem numerischen Modell	40
10	Stellungnahme	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Fläche RHE1 aus [4] (links) und in der topografischen Karte (rechts).....	8
Abbildung 2: Einzugsgebiet mit allen Bilanzgrößen	10
Abbildung 3: Grundwassermächtigkeit im Modell auf der Basis von [2] mit Lage der Fläche RHE1.....	11
Abbildung 4: Oberlauf des Kettelerbaches nach naturnaher Umgestaltung 2019 [5] ...	11
Abbildung 5: Rheder Bach in Höhe von Münsterstr., Hoxfelder Weg, Schloßstraße [6]	12

Abbildung 6: Flurabstände in m (flächenhafte Darstellung), Infiltrationsbereich (gelbe Punkte) des Kettelerbaches und Lage der Fläche RHE1	13
Abbildung 7: Untersuchungsgebiet	14
Abbildung 8: Geländeoberfläche	15
Abbildung 9: Quartärbasis (m über NHN).....	16
Abbildung 10: Lage der Förderbrunnen WW Rhede	17
Abbildung 11: Grundwassermessstellen der Stadtwerke Rhede.....	18
Abbildung 12: Aufbau des Modellnetzes	20
Abbildung 13: Modellkonzept	23
Abbildung 14: Bodenarten und hydrologische Bodentypen im Untersuchungsgebiet...24	
Abbildung 15: Wassergehalt bei Erreichen der Feldkapazität in Vol.-%	25
Abbildung 16: Wassergehalt bei Erreichen des Permanenten Welkepunkts in Vol.-%.26	
Abbildung 17: Schlüssel Flächennutzung im Untersuchungsgebiet	27
Abbildung 18: Versiegelung in % im Untersuchungsgebiet	28
Abbildung 19: Gemessene tägliche Niederschlagshöhe an der Station KL_00617	29
Abbildung 20: Gemessene Tagesmittel der Temperatur an der Station KL_00617.....	30
Abbildung 21: Gemessene Tagesmittel des Dampfdruckes an der Station KL_07374.30	
Abbildung 22: Gemessene Sonnenscheindauer Tagessumme an der Station KL_07374	31
Abbildung 23: Tagesmittel der Windgeschwindigkeit 2 m über Gelände, umgerechnet aus den Messungen an der Station KL_07374	31
Abbildung 24: Mittlere Grundwasserneubildung in mm/Jahr (2007-2020)	32
Abbildung 25: Mittlere Grundwasserneubildung in mm/Jahr im engeren Untersuchungsgebiet (2007-2020).....	32
Abbildung 26: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände im Nahbereich des WW Rhede	34
Abbildung 27: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände im Bereich der Fläche RHE1.....	35
Abbildung 28: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände am Oberlauf des Kettelerbaches.....	36
Abbildung 29: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände am Unterlauf des Kettelerbaches	37

Abbildung 30: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände im Bereich der Bocholter Aa	38
Abbildung 31: Vergleich gemessene und gerechnete Grundwasserstände für den Stichtag 02.06.2020, Infiltrationsbereiche an den Vorflutern (hellblau).....	39
Abbildung 32: Berechnetes Einzugsgebiet des WW Rhede bei Förderung entsprechend Wasserrecht, Lage RHE1 (schwarze Linie).....	40
Abbildung 33: Berechnetes Einzugsgebiet des WW Rhede bei Förderung entsprechend Wasserrecht, Lage RHE1 (schwarze Linie), Infiltrationsbereiche am Kettelerbach (gelbe Markierung)	41
Abbildung 34: Detail Stromlinien am WW Rhede bei Förderung entsprechend Wasserrecht, Infiltrationsbereiche Bocholter Aa (gelbe Markierung)	42
Abbildung 35: Grundwasserstandsdifferenzen [m]	43
Abbildung 36: Extremzustände im Bereich der RHE1 grüne Linie Mittelwasser – rote Linie Niedrigwasser- blaue Linie Hochwasser	44
Abbildung 37: Leakagemengen (m ³ /Tag) am Kettelerbach (siehe Karte rechts): >0 = Infiltration ins Grundwasser, <0 = Exfiltration aus dem Grundwasser	45

1 Ausgangssituation

Die Stadt Rhede plant einen „Bereich für gewerbliche und industrielle Nutzungen“ (GIB) in einer Größe von rund 14 ha auszuweisen. Hierfür wurde ein Antrag auf Änderung des Regionalplanes Münsterland (GIB Rhed-West) gestellt.

Das Plangebiet liegt innerhalb der Wasserschutzzone 3 eines Wasserschutzgebietes. Zudem sind schutzwürdige Böden von der Planung betroffen.

Die Ausweisung des Gewerbegebietes könnte negative Folgen für Grundwasser und Böden mit sich bringen. Durch die mit den Planungen verbundene Flächenversiegelung reduziert sich die Grundwasserneubildung und es ist ein erhöhter Oberflächenabfluss zu erwarten. Neben der quantitativen Beeinflussung ist eine qualitative Beeinflussung des Grundwasserkörpers zu befürchten. Diese Bedenken wurden vom Geologischen Dienst NRW in einer Stellungnahme vom 21. Oktober 2020 geäußert [1].

In einer hydrogeologischen Stellungnahme vom 12.1.2021 wurde mit Hilfe eines Konzeptmodells festgestellt, dass die vom GD NRW vorgetragenen Bedenken unter bestimmten Bedingungen gerechtfertigt sind. Insbesondere die teilweise geringen Flurabstände im Bereich nördlich der Fläche RHE1 beeinflussen das Einzugsgebiet des Wasserwerks Rhede und sollten im Hinblick auf einen möglichen kapillaren Aufstieg differenzierter betrachtet werden.

Hierfür wurde die Durchführung einer Modellbetrachtung empfohlen, welche über die Erstellung eines konzeptionellen Modells hinausgeht. Die Erstellung eines numerischen Grundwassermodells auf Basis einer instationären Berechnung der Grundwasserneubildung wurde daraufhin von der Stadt Rhede beauftragt.

2 Verwendete Daten und Unterlagen

Zur Untersuchung und kritischen Auseinandersetzung mit der vorliegenden Fragestellung lagen nachfolgende Daten und Unterlagen vor:

- [1] Geologischer Dienst NRW: Stellungnahme zur Festlegung eines Gewerbe- und Industriesiedlungsbereiches (GIB) im Rahmen eines Flächentausches, Krefeld, 21. Oktober 2020.
- [2] Stadt Rhede: Wasserversorgungskonzept der Stadt Rhede gemäß § 38, Absatz 3 Wassergesetz für Nordrhein-Westfalen Landeswassergesetz – LWG -, angefertigt durch Aquanta Hydrogeologie GmbH & Co. KG, Rhede, November 2020.

- [3] Stadtwerke Rhede: Erläuterungsbericht zum Bewilligungsantrag gemäß §§ 8, 10 WHG zur Grundwasserentnahme in der Wassergewinnungsanlage Rhede, angefertigt durch Aquanta Hydrogeologie GmbH & Co. KG, Datteln, September 2018.
- [4] https://www.bezregmuenster.de/de/service/bekanntmachungen/verfahren/regionalplanung/regionalplanaenderung_31_rhede/index.html
- [5] <https://www.rhede.de/portal/meldungen/gewaesserbaumassnahmen-am-rhederbach-in-hoehe-schlossstrasse-900000455-28220.html?rubrik=900000003>
- [6] <https://www.rhede.de/portal/meldungen/naturnahe-entwicklung-ketteler-bach-900000274-28220.html>
- [7] Digitales Geländemodell NW Gitterweite 1 m, Herausgeber: Geobasis NRW
- [8] Digitales Basis-Landschaftsmodell NW, Herausgeber: Geobasis NRW, Katalog: GEOkatalog NRW, Typ: Datensatz, Revisionsdatum 2021-03-30
- [9] Bodenkarte 1:50.000, Geologischer Dienst NRW, Abrufdatum 10.03.2017
- [10] Klimadaten der Stationen KL_00617, KL_07374, RR_00554
- [11] Stadtwerke Rhede: Datensatz Grundwasserstände mit Stammdaten der Grundwassermessstellen, Abstiche bis 01.03.2021
- [12] Stadtwerke Rhede: Datensatz Fördermengen Wasserwerk Rhede mit Stammdaten der Förderbrunnen, Fördermengen 1961-1978, 2004-2017
- [13] Stadtwerke Rhede: Grundwassergleichenpläne Juni + August 2020, aufgestellt von Aquanta Hydrogeologie GmbH & Co. KG am 28.09.2020

3 Aufgabenstellung

Ziel der durchgeführten Arbeiten war die Erstellung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells, um die Fragestellungen zur Ausweisung eines Bereichs für gewerbliche und industrielle Nutzungen innerhalb der Wasserschutzzone 3 eines Wasserschutzgebietes im Detail zu prüfen. Schwerpunkt bei der Modellierung war die Berechnung des Einzugsgebietes des Wasserwerks Rhede.

Die Bedenken des Geologischen Dienstes NRW lauteten wie folgt: „Die Planung, die Fläche RHE1 als neuen Gewerbe- und Industrieansiedlungsbereich (GIB) auszuweisen, ist aus hydrogeologischer Sicht kritisch zu bewerten.“ Die Lage der Fläche RHE1 ist in Abbildung 1 dargestellt.

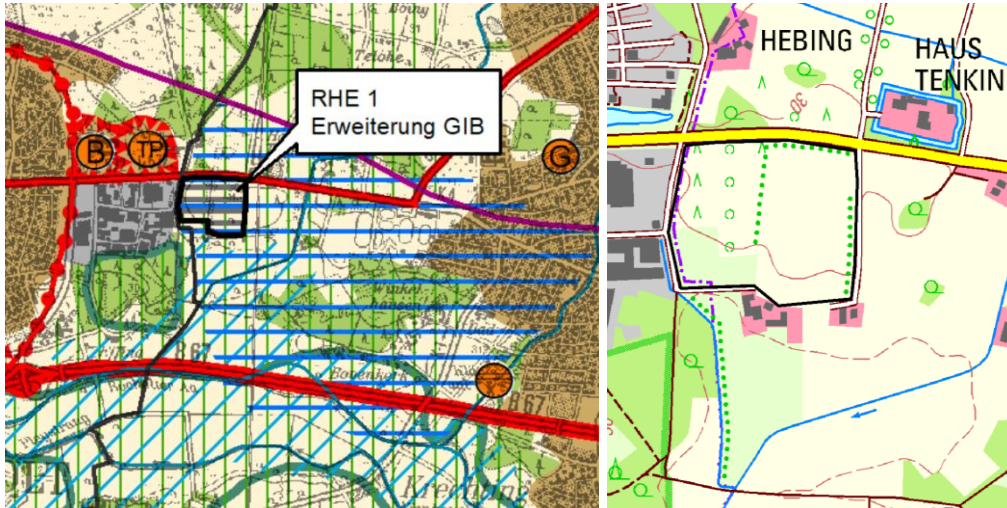


Abbildung 1: Lage der Fläche RHE1 aus [4] (links) und in der topografischen Karte (rechts)

Die Modellrechnungen wurden mit dem Programmsystem SPRING durchgeführt.

4 Auswertung vorhandener Daten und Unterlagen

Die hydrogeologische Gesamtsituation wurde auf Grundlage der vorhandenen Daten erhoben. Dazu gehören allgemein zugängliche Informationen und bereits vorliegende Unterlagen, insbesondere die Stellungnahme des Geologischen Dienstes NRW und der Entwurf des Wasserversorgungskonzepts der Stadt Rhede.

Folgende Datengrundlagen wurden recherchiert:

- Digitale Topographische Karten,
- Digitales Geländemodell DGM1,
- Bodenkarte BK50, Bodentypen,
- Digitales Landschaftsmodell DLM50, Flächennutzung,
- Grundwasserstände,
- Vorflutwasserstände,
- Geologische Informationen,
- Instationäre Fördermengen des Wasserwerks Rhede,
- Klimadaten.

Alle Daten wurden auf Plausibilität geprüft.

Die recherchierten Daten wurden zur Weiterverwendung und zum Aufbau des Grundwassermodells aufbereitet.

Aus den Erläuterungsberichten [2] und [3] sind für die vorliegende Fragestellung die folgenden, wichtigsten Punkte zu zitieren:

„Geologische Übersicht:

In die tertiären Ablagerungen hat sich im auslaufenden Tertiär eine urzeitliche Bocholter Aa und als einmündende Nebenrinne der Unterlauf des Rheder Baches eingekerbt. Im Pleistozän sind diese Rinnen mit quartären Ablagerungen verfüllt worden, deren oberste Bereiche im späteren Holozän durch die mäandrierende Bocholter Aa und ihre Nebenflüsse nochmals überprägt wurden. Im Rinnentiefsten bei der Brunnengalerie Rhede werden psammitische Sedimentmächtigkeiten bis zu >30 m erreicht. Das in den quartären Sedimenten strömende Grundwasser kommt von Nordosten unter der Stadt Rhede her. Ergänzend zur natürlichen Grundwasserneubildung erfolgt aus der Bocholter Aa ein Zutritt von Uferfiltrat.

Genutzte Ressourcen:

Die eiszeitliche Rinnenstruktur (Weichsel-Kaltzeit) ist aufgrund ihrer Mächtigkeit und guten Durchlässigkeiten primär für die Rohwassergewinnung geeignet. Der Zutritt von Uferfiltrat aus der Bocholter Aa erhöht das Grundwasserangebot. Die erbohrten Sedimente bestehen vorwiegend aus Sanden mit untergeordneten Schluffeinschaltungen. Es liegt nur ein nutzbares Grundwasserstockwerk vor.

Wasserbilanz:

Das Einzugsgebiet respektive Wasserschutzgebiet weist eine Größe von ca. 330 ha auf. Der durchschnittliche

Jahresniederschlag beträgt 856 mm (1996-2017, Kläranlage Borken). Das Fachinformationssystem Klimaanpassung (LANUV) gibt für 1971-2000 Niederschläge von 750-780 mm/a an. Die durchschnittliche Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet ist mit rd. 800.000 m³/a ermittelt (Erläuterungsbericht Wasserschutzgebiet Rhede, StAWA 1993). Zum originären Grundwasserdargebot ist das Uferfiltrat der Bocholter Aa von bis zu 33 % bei einer max. Förderung von 1.200.000 m³/a hinzu zu addieren.“

5 Systembeschreibung

Das Einzugsgebiet der Wassergewinnungsanlage Rhede wird durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Geologische Formation der Quartärrinne, Durchlässigkeitsänderung in Richtung Norden
- Grundwasserneubildung im langjährigen Mittel, flurabstandsabhängig (kapillarer Aufstieg)
- Uferfiltratanteile aus der Bocholter Aa im Süden, Kettelerbach im Westen und Rheder Bach im Osten sind beeinflusst durch Kolmation und zeitweises Trockenfallen

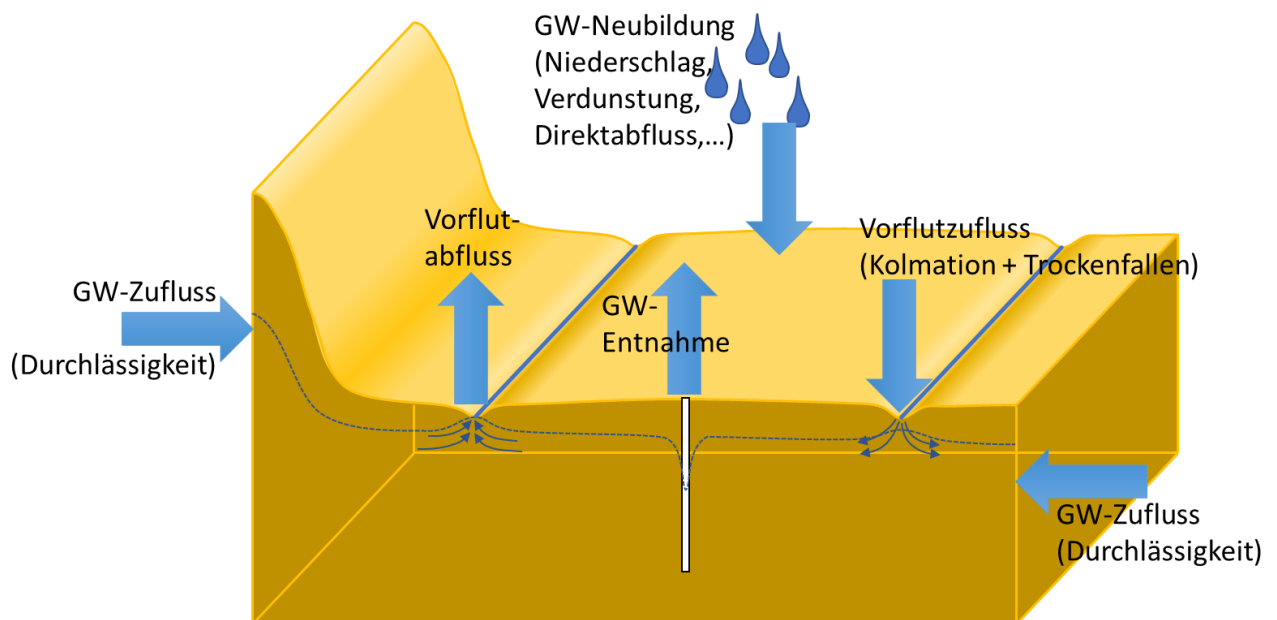


Abbildung 2: Einzugsgebiet mit allen Bilanzgrößen

Die Geologische Formation (Rinnenstruktur) weist im Bereich der Fläche RHE1 eine wassererfüllte Mächtigkeit von ca. 8 bis 10 m auf. Die Mächtigkeit reduziert sich nördlich der Fläche RHE1 bis auf 0 m. Dadurch wird die Grundwasserneubildung (kapillarer Aufstieg)

und die Durchlässigkeit Richtung Norden wesentlich reduziert (Wechsel zu einer anderen geologischen Einheit).

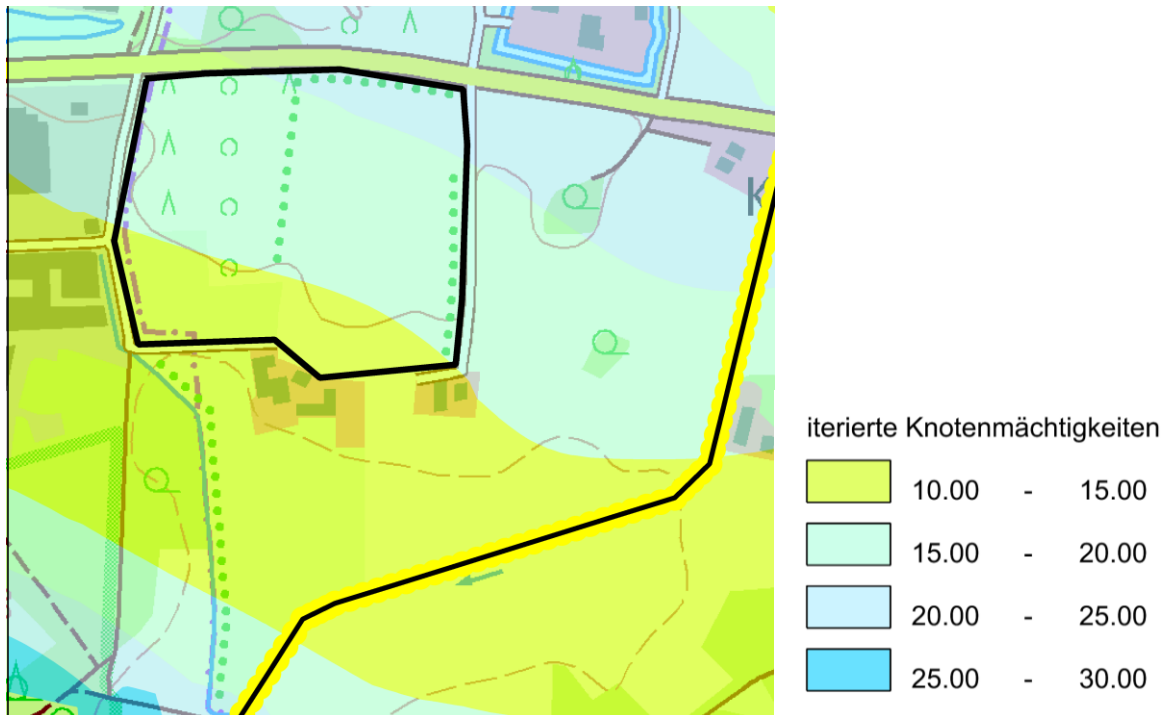


Abbildung 3: Grundwassermächtigkeit [m] im Modell auf der Basis von [2] mit Lage der Fläche RHE1



Abbildung 4: Oberlauf des Kettelerbaches nach naturnaher Umgestaltung 2019 [5]



Abbildung 5: Rheder Bach in Höhe von Münsterstr., Hoxfelder Weg, Schloßstraße [6]

Der Wasserstand und der Zustand der Sohle eines Gewässers beeinflusst die Zu- und Abflüsse der Oberflächengewässer in dem Einzugsgebiet. In Abbildung 4 und Abbildung 5 ist zu erkennen, dass der Kettelerbach deutlich weniger Wasser führt als der Rheder Bach. Daher ist die Neubildungsreduzierung im Bereich der Fläche RHE1 als sensitiv einzustufen.

Die Grundwasserneubildung ist vom Flurabstand abhängig. Im Bereich von geringen Flurabständen kann kapillarer Aufstieg von Grundwasser erfolgen. Dieser kapillare Aufstieg führt u.U. zu einer signifikanten Reduzierung der Grundwasserneubildung. In Extremsituationen können sogar Grundwasserzehrungen (negative Neubildung) entstehen.

Die Flurabstände im überwiegenden Teil der Fläche RHE1 sind größer als 2 bzw. 3 m (Abbildung 6), damit treten hier keine Grundwasserzehrungen auf.

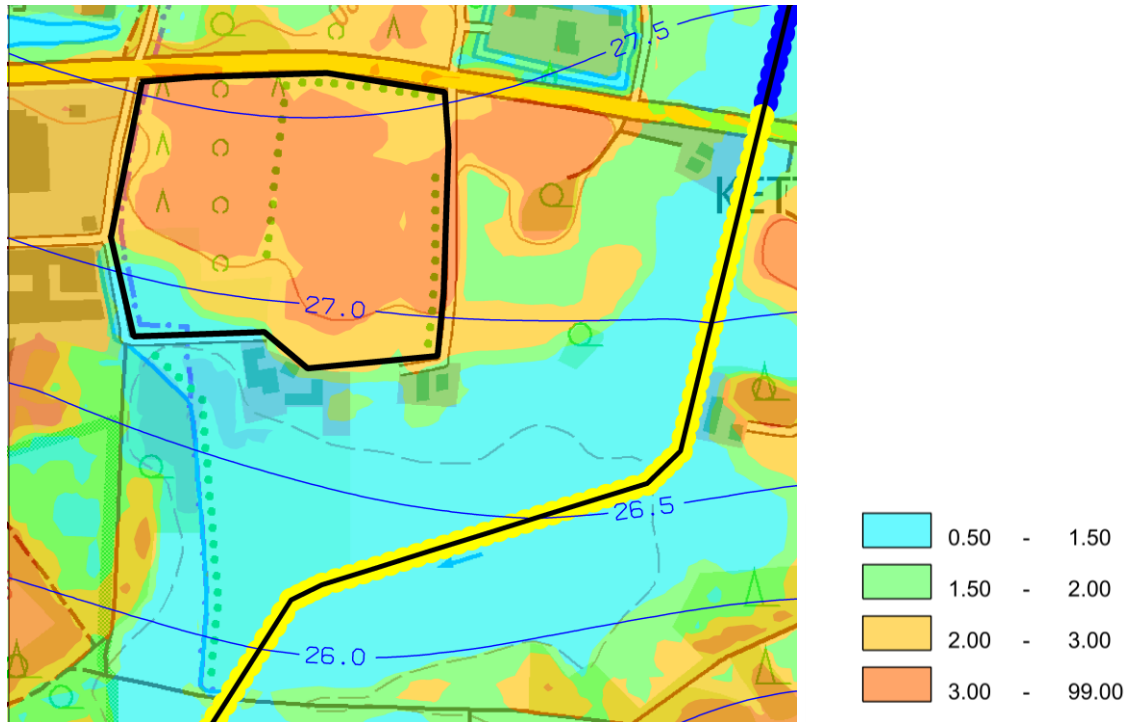


Abbildung 6: Flurabstände in m (flächenhafte Darstellung), Infiltrationsbereich (gelbe Punkte) des Kettelerbaches und Lage der Fläche RHE1

6 Datengrundlage

Im Folgenden werden die Eingangsdaten aufgeführt, die für die Erstellung des numerischen Grundwassermodells zur Verfügung standen.

6.1 Untersuchungsgebiet

Das Modellgebiet (Abbildung 7) wurde mit einer Gesamtfläche von 35,4 km² etwas größer gewählt als das Einzugsgebiet des Wasserwerks Rhede.

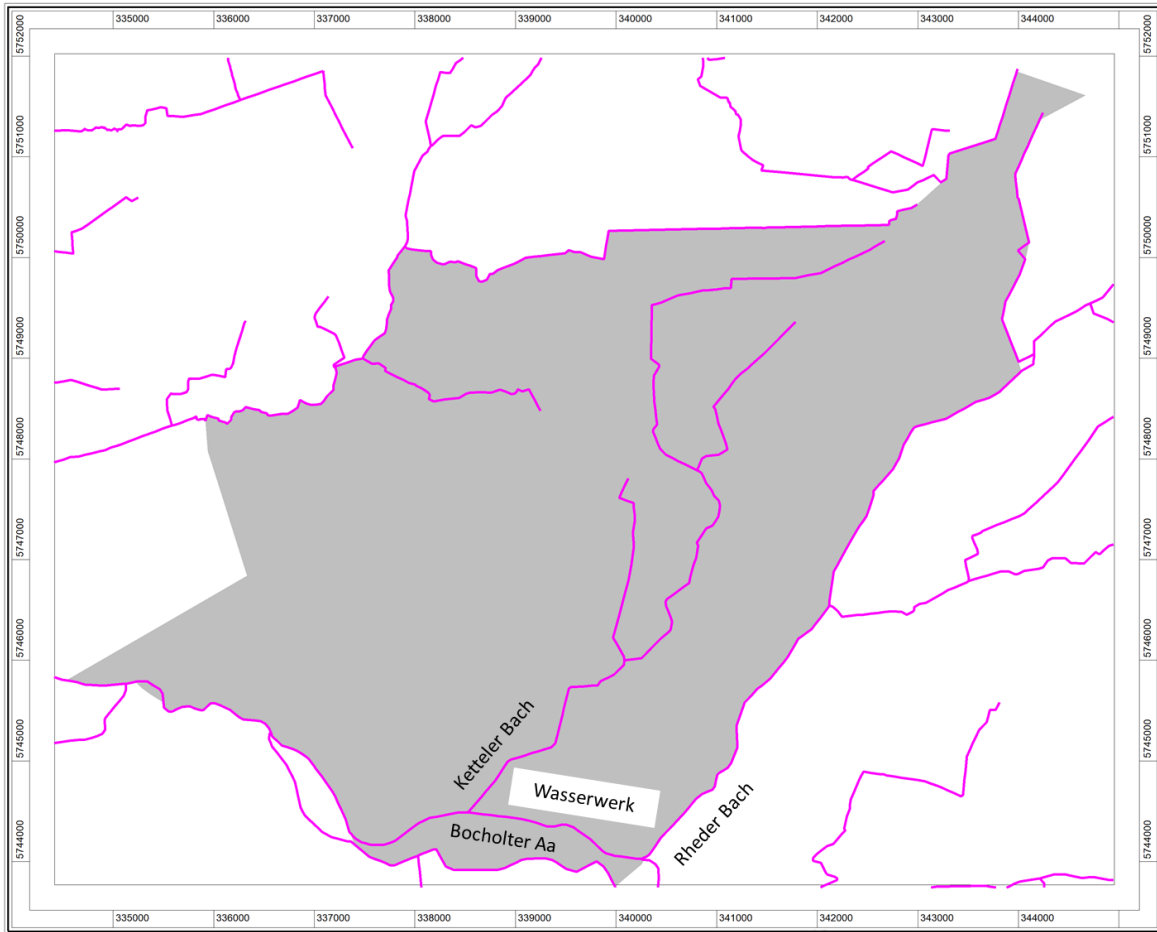


Abbildung 7: Untersuchungsgebiet

6.2 Gelände

Als Datengrundlage für die Geländehöhen liegt das Digitale Geländemodell des Geoportals NRW im 1x1m-Raster vor. Dieses wurde auf das Modellnetz interpoliert. Die daraus resultierende Modelloberfläche kann der Abbildung 8 entnommen werden.

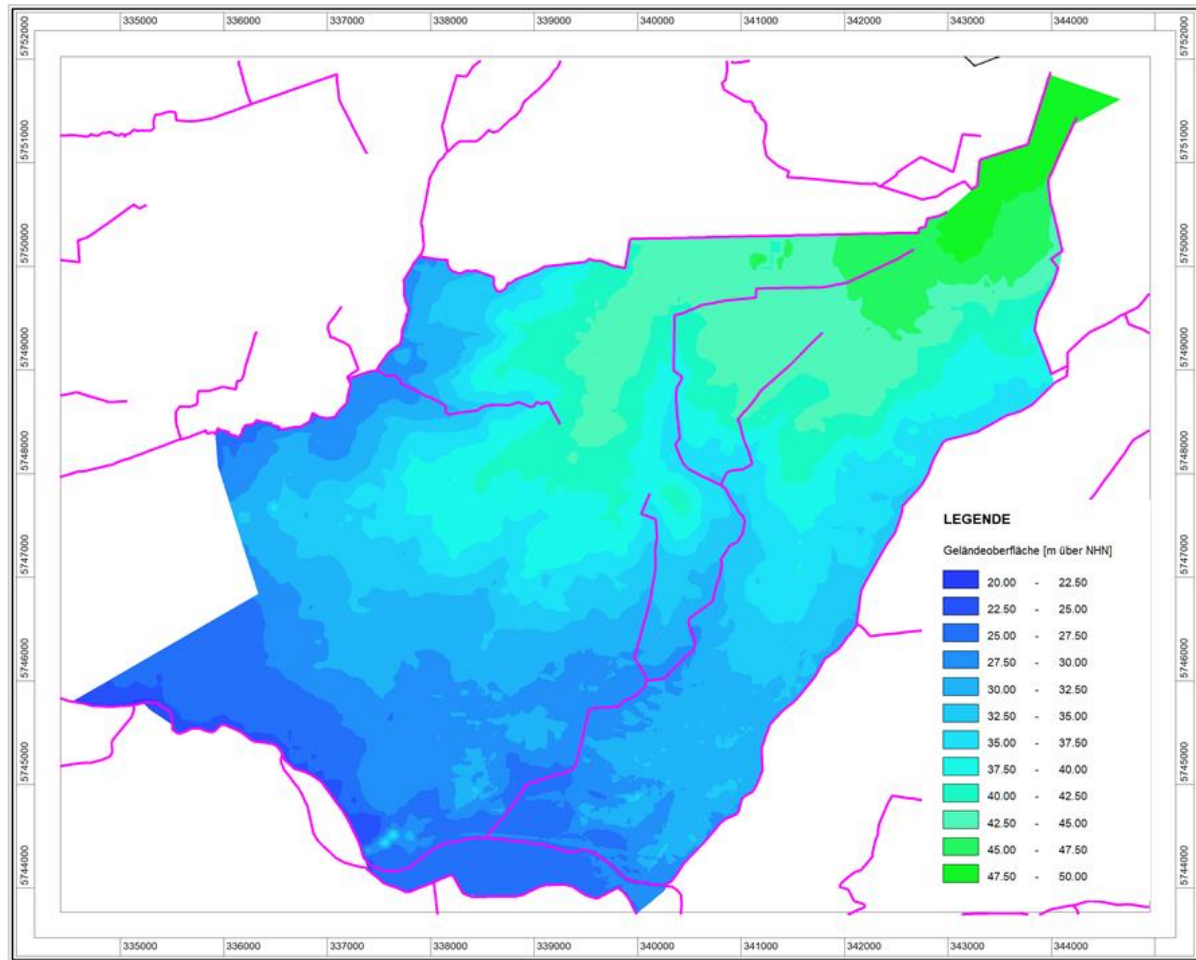


Abbildung 8: Geländeoberfläche

6.3 Quartärbasis

Die Datengrundlage für die Quartärbasis ist die Geologische Karte 100 (GK100) von NRW. Zusätzlich wurden Angaben zur Mächtigkeit des Grundwasserleiters in [3] ausgewertet. Im Untersuchungsgebiet ergibt sich die Quartärbasis in Abbildung 9.

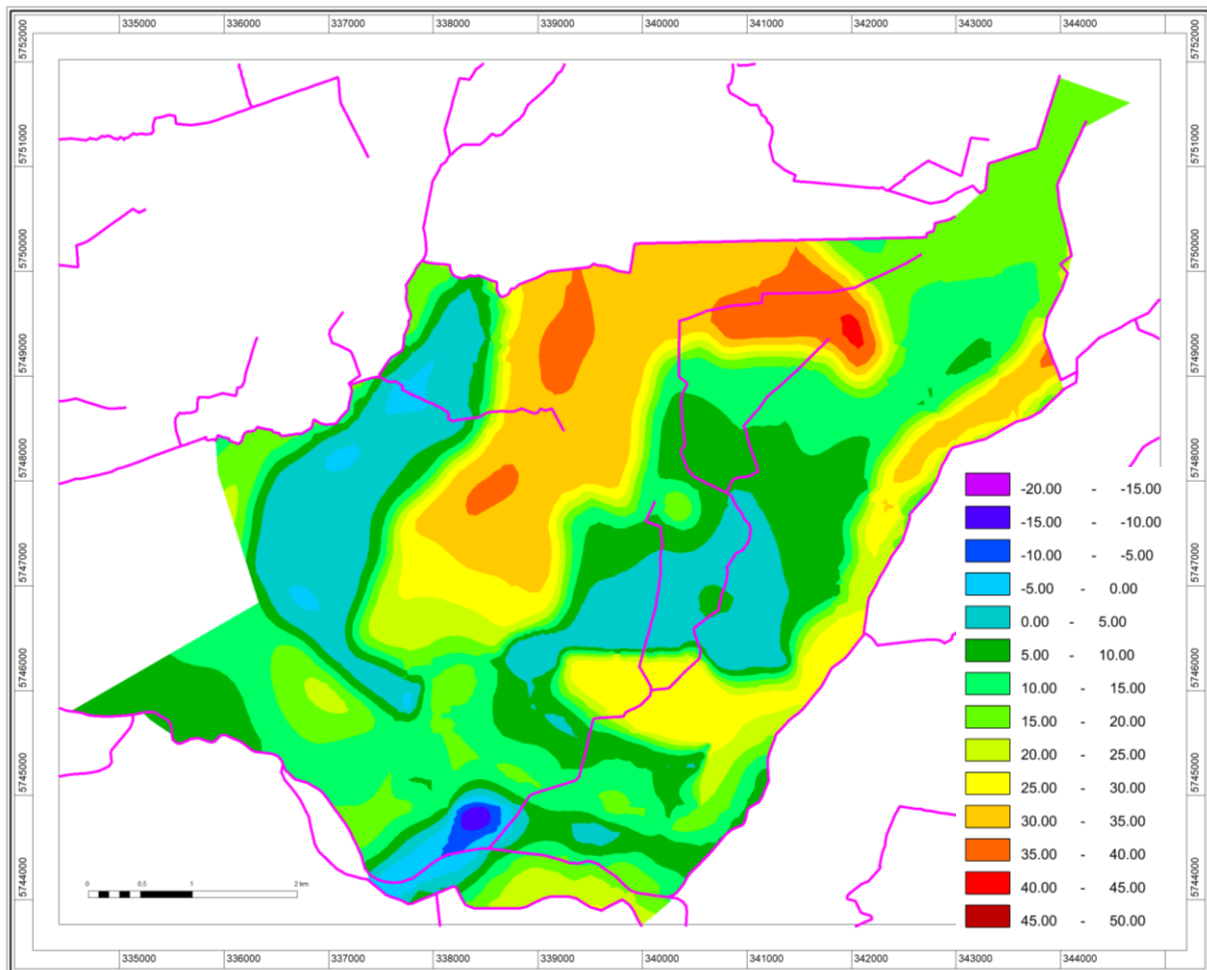


Abbildung 9: Quartärbasis (m über NHN)

6.4 Grundwasserentnahmen

Von den Stadtwerken Rhede wurden Daten zu Fördermengen des Wasserwerks Rhede zur Verfügung gestellt. Das Wasserrecht des Wasserwerks Rhede beläuft sich aktuell auf 1,2 Mio. m³/a. Das Wasserwerk fördert mittels 8 Vertikalbrunnen. Die Lage der Brunnen ist in Abbildung 10 dargestellt.

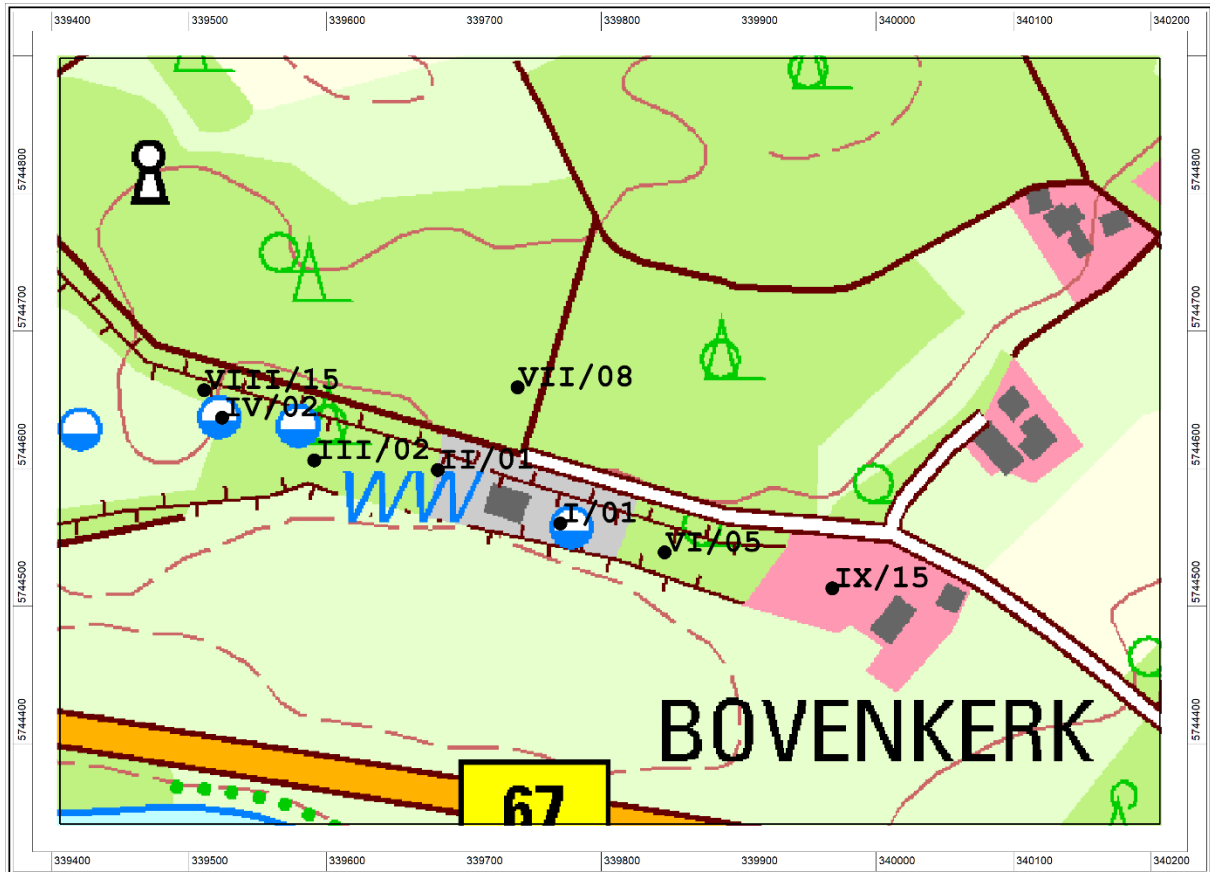


Abbildung 10: Lage der Förderbrunnen WW Rhede

Aus den vorliegenden Daten zur Inbetriebnahme der Brunnen, zur Gesamtfördermenge sowie zur Verteilung der Fördermengen auf die Einzelbrunnen in den Jahren 2013 und 2015 wurden die folgenden Zeitreihen für die Fördermengen an den Einzelbrunnen abgeleitet.

Tabelle 1: Ansatz zu Fördermengen an den Einzelbrunnen über die Zeit (m³/a)

Ab Datum	I/01	II/01	III/02	IV/02	VI/05	VII/08	VIII/15	IX/15
01.01.2007	209.274	396.257	101.424	89.415	303.369	0	0	0
01.01.2008	186.888	353.869	90.575	79.850	270.917	0	0	0
01.01.2009	148.120	280.463	71.786	63.286	214.719	200.902	0	0
01.01.2010	146.517	277.428	71.009	62.601	212.395	198.727	0	0
01.01.2011	149.823	283.688	72.612	64.014	217.187	203.212	0	0
01.01.2012	168.373	318.811	81.602	71.939	244.077	228.371	0	0
01.01.2013	154.766	293.048	75.007	66.126	224.353	209.916	0	0
01.01.2014	157.115	297.494	76.145	67.129	227.757	213.101	0	0
01.01.2015	155.036	293.558	75.138	66.241	224.744	210.282	0	0
01.09.2015	136.860	259.143	66.329	58.475	198.396	185.629	120.167	0
01.01.2016	136.368	258.211	66.090	58.265	197.682	184.962	119.735	0
01.05.2016	135.732	164.231	94.884	61.555	95.650	163.776	158.474	147.009

01.01.2017	135.155	163.532	94.480	61.293	95.243	163.079	157.799	146.384
01.01.2018	136.223	164.824	95.227	61.778	95.996	164.367	159.046	147.540
Wasserrecht	159.480	192.965	111.485	72.325	112.385	192.430	186.200	172.730

6.5 Grundwassermessstellen

Von den Stadtwerken Rhede wurden Grundwasserstände an insgesamt 182 Messstellen sowie drei interpolierte Grundwassergleichenpläne zur Verfügung gestellt. Nach Aufbereitung der Daten für den gewählten Zeitraum der Modellierung 2007-2020 konnten davon 62 Messstellen für die Kalibrierung des Modells verwendet werden (Abbildung 11).

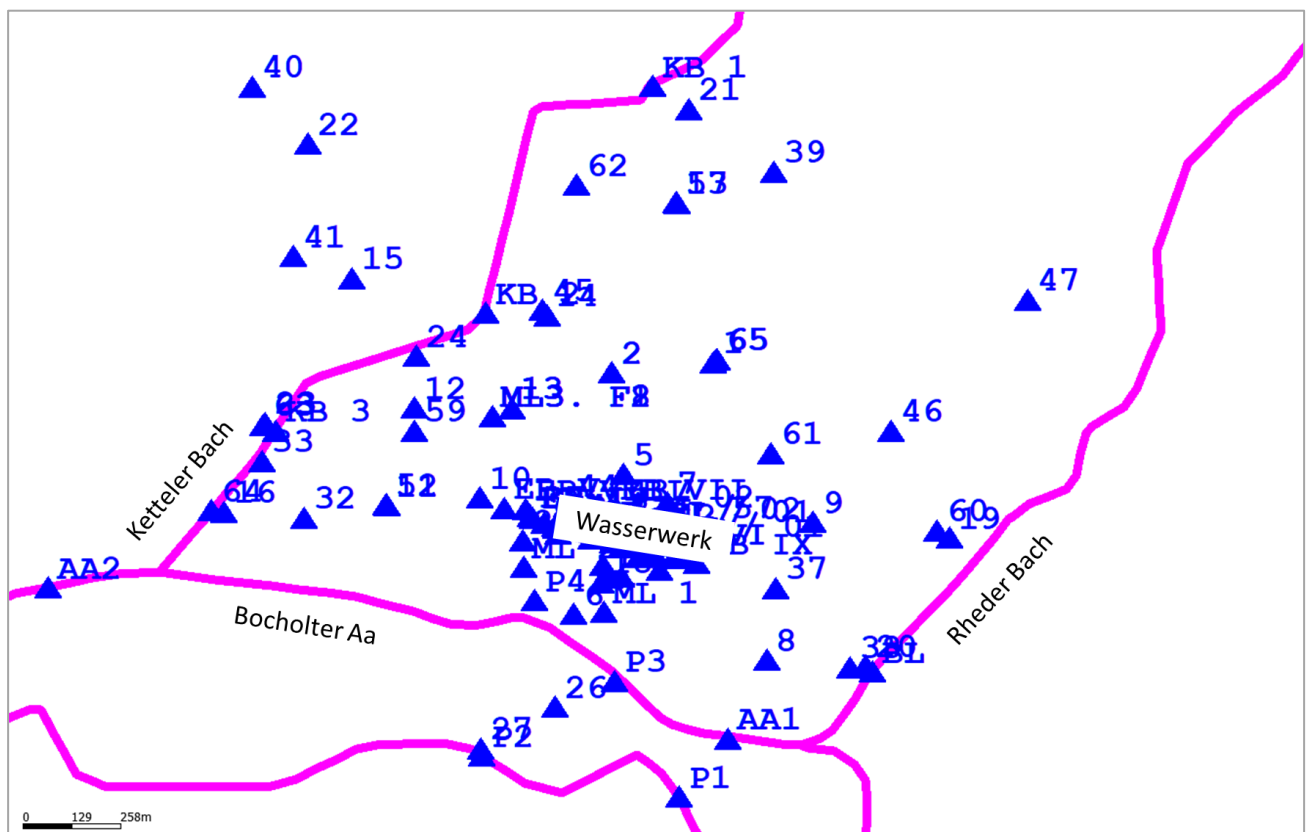


Abbildung 11: Grundwassermessstellen der Stadtwerke Rhede

7 Aufbau des numerischen Grundwassermodells

Der Aufbau des numerischen Modells beschreibt die Verbindung der geologischen und hydrogeologischen Informationen durch die Wahl geeigneter Randbedingungen und plausibler hydraulischer Parameter und durch eine der Fragestellung entsprechenden Netzdiskretisierung.

Zunächst erfolgt die Entwicklung eines hydrogeologischen Strukturmodells. Auf der Grundlage der zusammengetragenen und ausgewerteten Daten wurde eine hydrogeologische Systemvorstellung entwickelt. Dies beinhaltet die Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Grundwasser, Vorflutwasserständen und Grundwasserneubildung.

Durch Strukturierung des Modellraums erfolgt die Entwicklung einer hydrogeologischen Modellvorstellung. Es werden Modellgrenzen festgelegt und Randbedingungen als Vorbereitung zum numerischen Grundwassermodell definiert.

Der Aufbau des hydrogeologischen Strukturmodells erfolgt dabei in Anlehnung an den Leitfaden „Hydrogeologische Modelle. Ein Leitfaden mit Fallbeispielen“ (Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 10 und Heft 24).

Im nächsten Schritt erfolgt die Übernahme des Strukturmodells in ein zweidimensionales horizontales numerisches Grundwasserströmungsmodell. Hierfür werden die Grundlagendaten in die für die Modellierung erforderlichen Formate überführt. Anschließend erfolgen die Generierung des Modellnetzes und die Parametrisierung des Modells.

Die Randbedingungen und Eingangparameter (geologische Informationen, Grundwasserneubildung, Geländehöhen, Vorflutwasserstände, etc.) werden auf Basis der recherchierten Daten und in Annäherung an die realen Verhältnisse gewählt.

7.1 Diskretisierung

Anhand der gewählten Modellgrenzen wurde ein zweidimensionales Grundwassermodell mit einer Fläche von 35,4 km² erstellt. Im engeren Untersuchungsgebiet, das das Einzugsgebiet des WW Rhede sowie die angrenzenden Vorfluter Bocholter Aa im Süden, den Kettelerbach im Westen sowie den Rheder Bach im Osten enthält, beträgt die Kantenlänge der Finiten Elemente ca. 20 m. Im Nahbereich des WW Rhede erfolgte eine weitere Verfeinerung des Modellnetzes bis auf ca. 5 m Kantenlänge. Im restlichen Außenbereich liegt

die Kantenlänge bei etwa 80 m. Dadurch ergibt sich ein Elementnetz mit 20.387 Knoten und 22.376 Elementen.

Das Modellnetz ist in Abbildung 12 dargestellt.

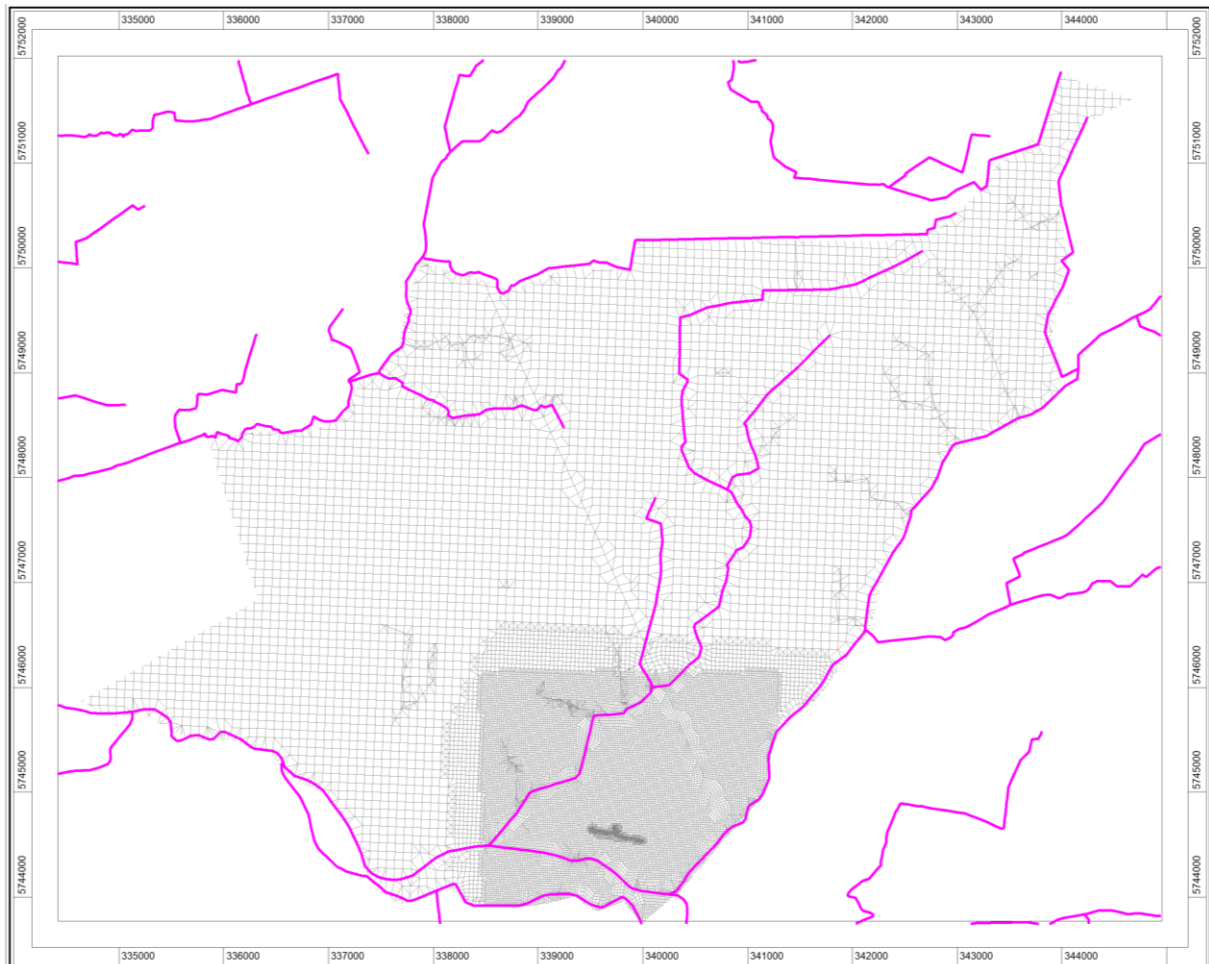


Abbildung 12: Aufbau des Modellnetzes

7.2 Modellrandbedingungen

Das Grundwassermodell Rhede wird an den Modellrändern durch Festpotenzialrandbedingungen begrenzt, die aus vorhandenen Großraummodellen übernommen wurden. Im Modellinneren finden sich weitere Gewässer, die anhand der amtlichen Basiskarten für das Modellgebiet digitalisiert wurden. Die Vorfluthöhen der Gewässer wurden auf Grundlage des digitalen Geländemodells mit einem Meter unterhalb der Geländehöhe angesetzt. Die Vorfluthöhen der Gewässer Kettelerbach, Rheder Bach und Bocholter Aa im engeren Untersuchungsgebiet wurden anhand der Angaben in den verfügbaren Gleichenplänen angesetzt. Die Leakagefaktoren der einzelnen Gewässer wurden während der Kalibrierung angepasst.

7.3 Grundwasserneubildung: instationäre Neubildungsberechnung

Es erfolgte eine instationäre, flächendifferenzierte Berechnung der Grundwasserneubildung nach der Methode RUBINFLUX (H. Zepp, Ch. M. König, J. Kranl, M. Becker, B. Werth, M. Rathje: Implizite Berechnung der Grundwasserneubildung (RUBINFLUX) im instationären Grundwasserströmungsmodell SPRING. Eine neue Methodik für regionale, räumlich hochaufgelöste Anwendungen; Grundwasser Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, Band 22, Heft 2, Juni 2017).

Die Methode RUBINFLUX basiert auf der Ermittlung der täglichen Bodenwasserbilanz in Abhängigkeit der Standorteigenschaften und mit Berücksichtigung schneller Abflusskomponenten aus Hangneigung und Bodenfeuchte, sowie aus dem Befestigungsgrad. Der Speicherung von Niederschlagswasser im Bodenwasserspeicher wird darüber hinaus die Interzeptionsspeicherung vorgeschaltet.

Die der Methode zugrundeliegenden Gleichungen sind in die Grundwassermodellierungssoftware SPRING implementiert, so dass hier direkt die notwendigen Verschneidungen der flächendifferenzierten Standortparameter durchgeführt werden können.

Die täglichen Evapotranspirations-, Direktabfluss- und Sickerwasserhöhen sind neben den Gebieteigenschaften und dem Tagesniederschlag abhängig von der aktuellen Bodenfeuchte und zugleich neben dem Niederschlag auch deren wichtigste Einflussgröße. Die realitätsnahe Abbildung dieser zum größten Teil bidirektionalen Zusammenhänge war Ziel bei der Entwicklung des Bodenwasserhaushaltsmodells.

Die Tagessummen der Prozesse Evapotranspiration, Direktabfluss und Versickerung müssen in Abhängigkeit von der aktuellen Bodenfeuchte bestimmt werden. Bei der gegebenen zeitlichen Auflösung von einem Tag entfällt im Modell die zeitliche Differenzierung der Bodenfeuchte innerhalb eines Tages, so dass die Tagessummen der genannten Prozesse jeweils aus einem Tageswert der Bodenfeuchte abgeleitet werden. Ebenfalls entfällt die Abbildung der räumlichen Verteilung. Dies ist zum einen den genannten Anforderungen an die Komplexität geschuldet. Zum anderen wäre eine vertikale Differenzierung der Bodenfeuchte bei Betrachtung nur eines Zeitpunkts innerhalb eines Tages häufig nicht sinnvoll: Der Feuchtegang in geringen Bodentiefen unterliegt in der Regel deutlich größeren Schwankungen innerhalb eines Tages als der Feuchtegang des gesamten Bodens,

da die oberen Bodenbereiche schnell auf trockene und warme Witterung sowie auf Niederschläge reagieren. Entsprechend kann der mittlere Wassergehalt eines Tages für den Gesamtboden exakter erfasst werden als für die oberen Bodenschichten.

Abbildung 13 zeigt das Modellkonzept. Die Simulation beginnt mit einem Wassergehalt zu Tagesbeginn. An Tag 1 der Simulation wird dieser Wert auf Feldkapazität gesetzt. An allen weiteren Tagen der Simulation entspricht der Wassergehalt zu Tagesbeginn dem Wassergehalt zum Ende des Vortages.

In Schritt 1 werden die Tagessummen der für den Bodenwasserhaushalt relevanten Prozesse Direktabfluss und Evapotranspiration in Abhängigkeit des Wassergehalts zu Tagesbeginn bestimmt. Des Weiteren werden die von der Bodenfeuchte unabhängigen Größen Interzeptionshöhe und Höhe der Interzeptionsverdunstung berechnet.

In Schritt 2 erfolgt eine Bilanzierung des Niederschlags und der in Schritt 1 bestimmten Größen:

$$\begin{aligned} \text{WG}_{\text{neu}} = & \quad \text{WG}_{\text{Tagesbeginn}} [\text{mm}] \\ & + \text{Freilandniederschlag} [\text{mm}] \\ & - \text{Effektivniederschlag} [\text{mm}] \\ & - \text{Interzeption} [\text{mm}] \\ & - \text{Evapotranspiration} [\text{mm}] \end{aligned}$$

Dieser neue Wassergehalt dient in Schritt 3 zur Bestimmung der Sickerwasserhöhe dieses Tages.

Durch Bilanzierung von WG_{neu} und der ermittelten Sickerwasserhöhe ergibt sich der Wassergehalt zum Tagesende.

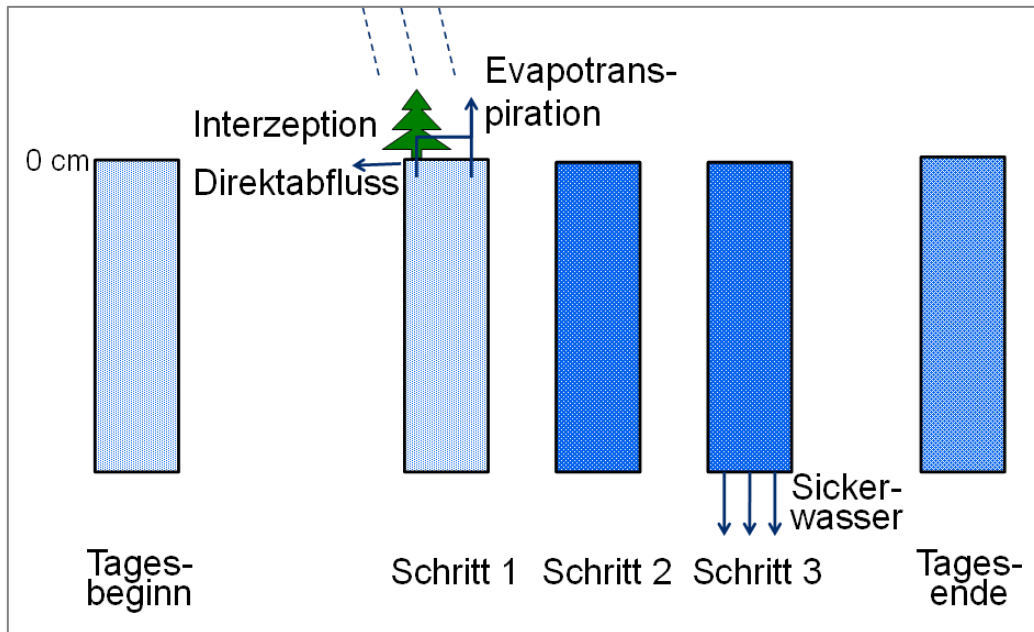


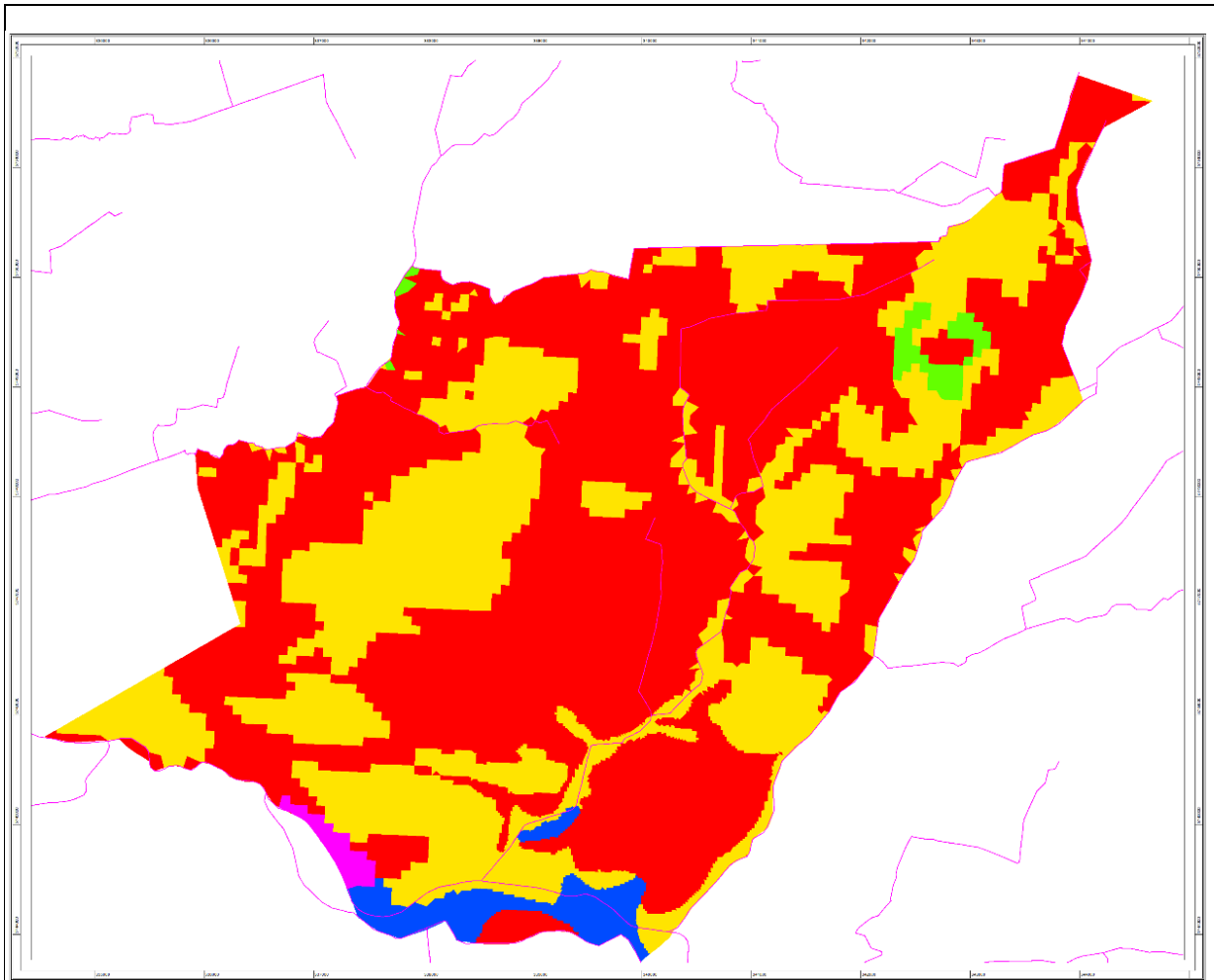
Abbildung 13: Modellkonzept

Die zeitliche Dynamik der Grundwasserstände wird maßgeblich durch den saisonalen Gang der Grundwasserneubildung bestimmt. Daher wurde für das Grundwassermodell Rhede eine instationäre Grundwasserneubildungsermittlung auf Grundlage der Methode RUBINFLUX durchgeführt.

Für die Berechnung der instationären Grundwasserneubildung mit der Methode RUBINFLUX sind Daten zur Geländesituation, Bodenparameter, Daten zur Flächennutzung und Klimadaten erforderlich.

Die Standortparameter wurden aus den Datensätzen [8] und [9] ermittelt. Für die Berechnung wurden Klimadaten für den Zeitraum 01.01.2007 bis 31.12.2020 verwendet.

Die Geländehöhen, die zur Ermittlung des Gefällegradienten und der Hangexposition erforderlich sind, wurden aus den bereits interpolierten Modelldaten zur Geländehöhe übernommen (Abbildung 8). Als Grundlage für die anzusetzenden Bodenparameter diente die Bodenkarte IS BK 50 NRW des Geologischen Dienstes [9]. Aus der nutzbaren Feldkapazität und der Feldkapazität bezogen auf die Durchwurzelungstiefe wurden die Wassergehalte in Vol.-% bei Erreichen der Feldkapazität und bei Erreichen des Permanenten Welkepunkts, sowie die Bodenart gemäß Einteilung des Geologischen Dienstes ermittelt. Abbildung 14 bis Abbildung 18 zeigen flächendifferenzierte Darstellungen der verwendeten Bodenparameter.



Farbkodierung	Bodenklasse BK50	Bodenartengruppe	Hydrologischer Bodentyp
	0	Torf, Feinhumus, künstliches Material	Bodentyp C: geringes Versickerungsvermögen
	2		
	4	Tonig-lehmig	Bodentyp B: mittleres Versickerungsvermögen
	5	Sandig-lehmig	
	7	Stark lehmig-sandig	
	8	Lehmig-sandig	
		sandig	

Abbildung 14: Bodenarten und hydrologische Bodentypen im Untersuchungsgebiet

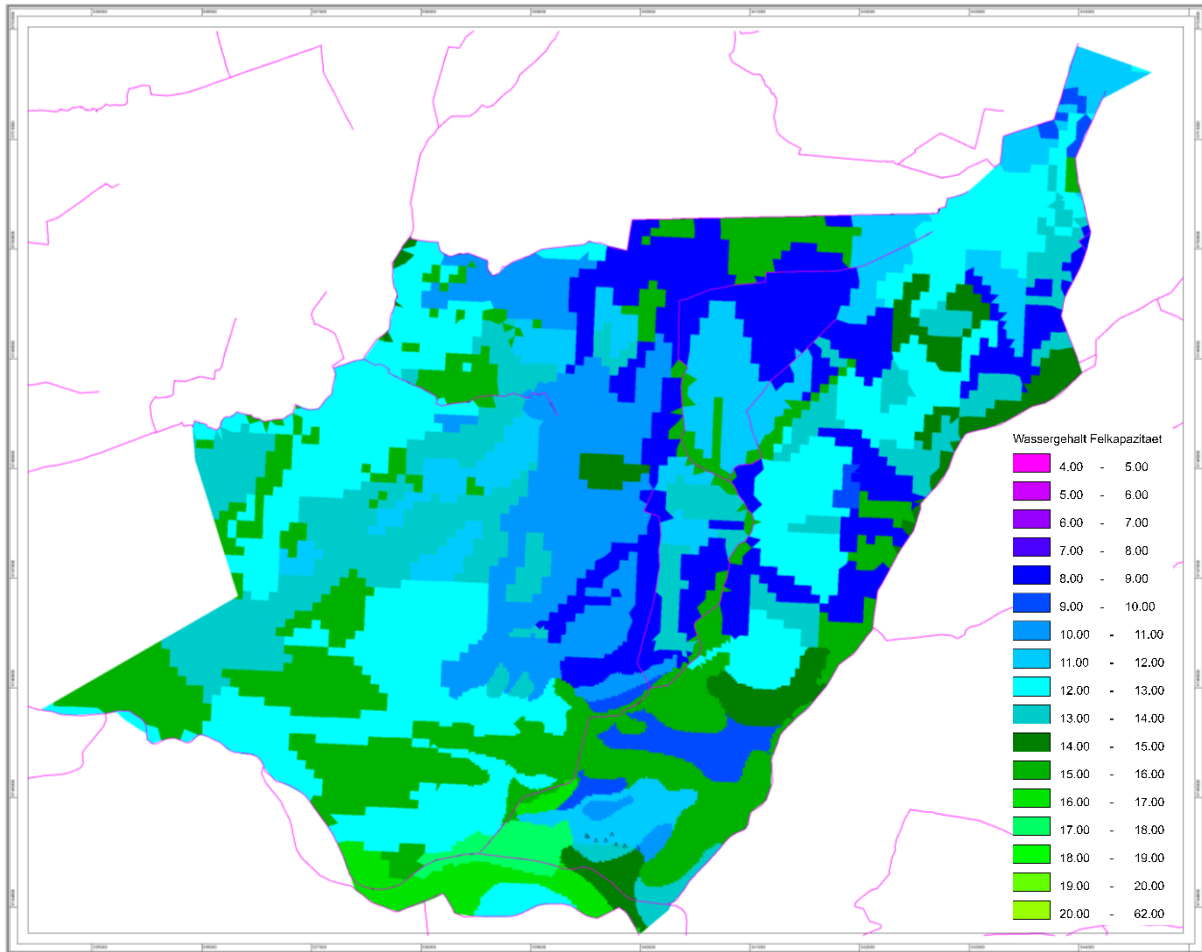


Abbildung 15: Wassergehalt bei Erreichen der Feldkapazität in Vol.-%

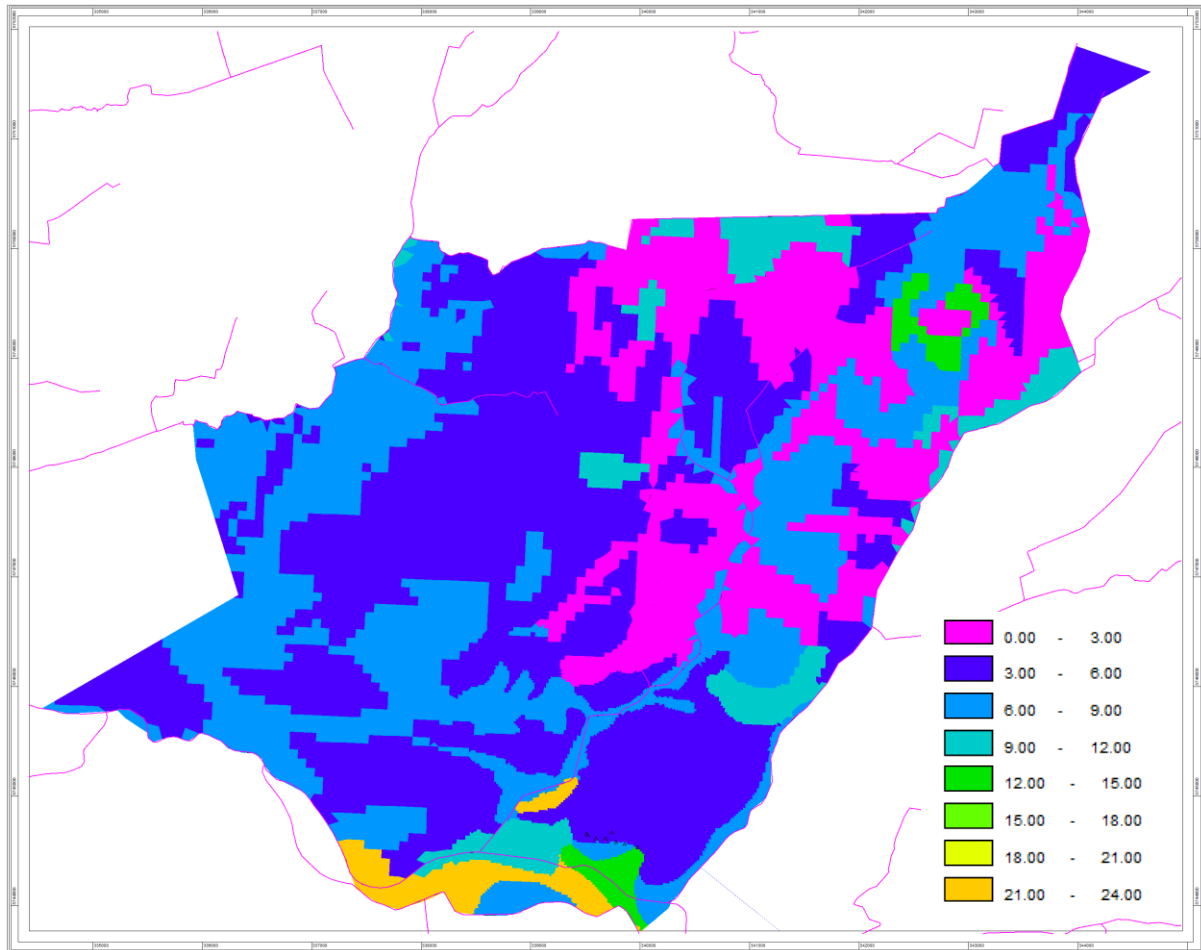
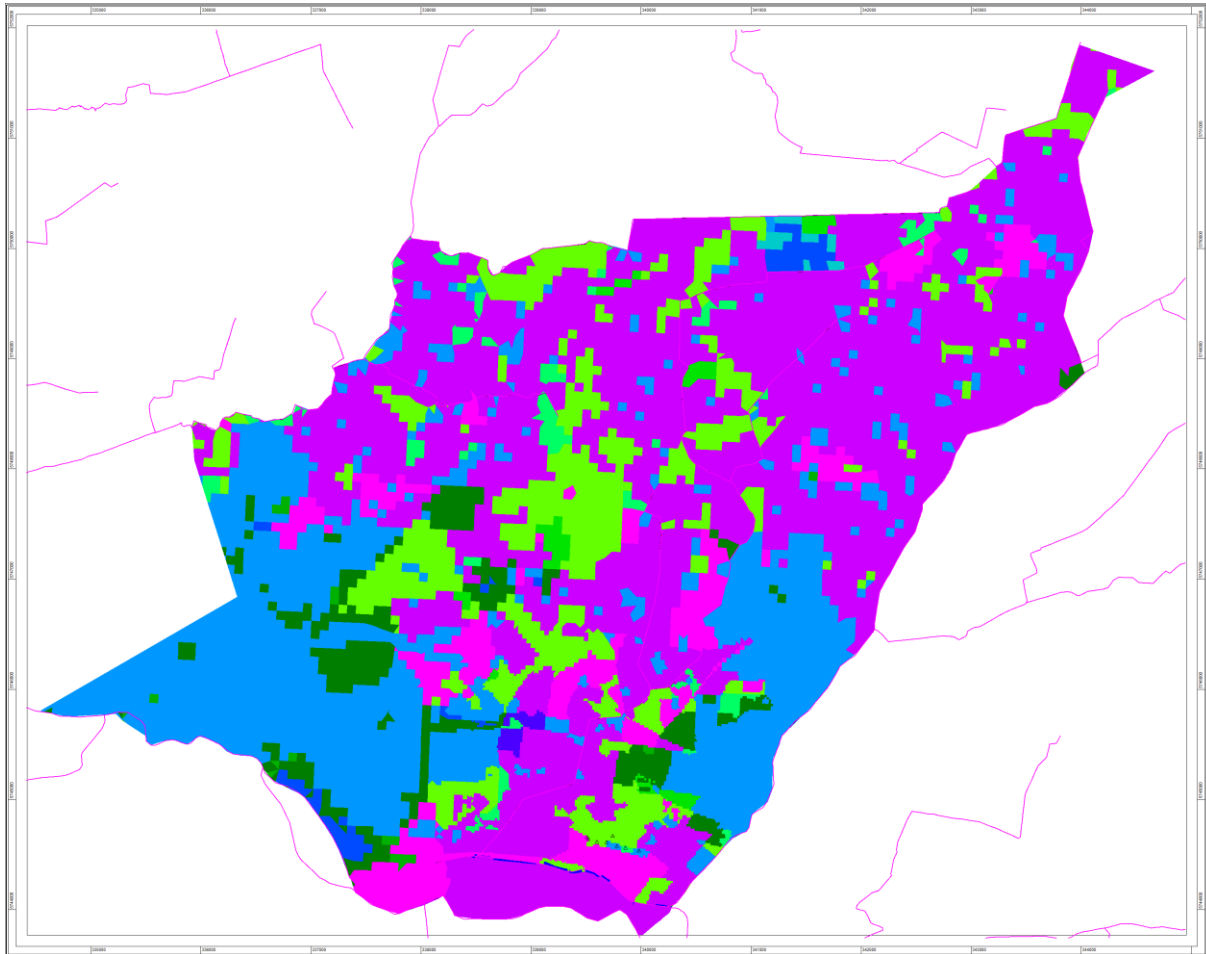


Abbildung 16: Wassergehalt bei Erreichen des Permanenten Welkepunkts in Vol.-%

Die Grundlagen zur Flächennutzung und dem Versiegelungsgrad wurden dem ATKIS-Datensatz des Digitalen Landschaftsmodells DLM50 (2020) entnommen [8]. Die Daten wurden als ATKIS-Basis-DLM-Shape vom Geodatenportal NRW heruntergeladen.

Die dem Elementnetz zugewiesene Kodierung der Flächennutzung kann Abbildung 17 entnommen werden, der prozentuale Versiegelungsgrad ist in Abbildung 18 dargestellt.























	Grünland
	Acker
	Gartenland
	Baumschule / Obstplantage
	Fließgewässer
	Stehendes Gewässer
	Wohnbau, Industrie, Gewerbe, Schiffsverkehr, Flughafen, öffentliche Einrichtungen
	Gemischte Nutzung (Versiegelt + zugehörige Freifläche, z.B. Bauernhof), Brachflächen
	Halde
	Tagebau, Grube, Steinbruch
	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche, Friedhof, Spielplätze
	Verkehrsflächen
	Nadelwald, Baumbestand/Baumreihe aus Nadelholz
	Laubwald, Baumbestand/Baumreihe aus Laubholz
	Hecken, Gebüsch, Streuobst
	Mischwald, Baumbestand/Baumreihe aus Laub- u. Nadelholz bzw. ohne Differenzierung
	Röhricht, Schilf
	unbekannte Nutzung
	vegetationslose Fläche
	Heide

Abbildung 17: Schlüssel Flächennutzung im Untersuchungsgebiet

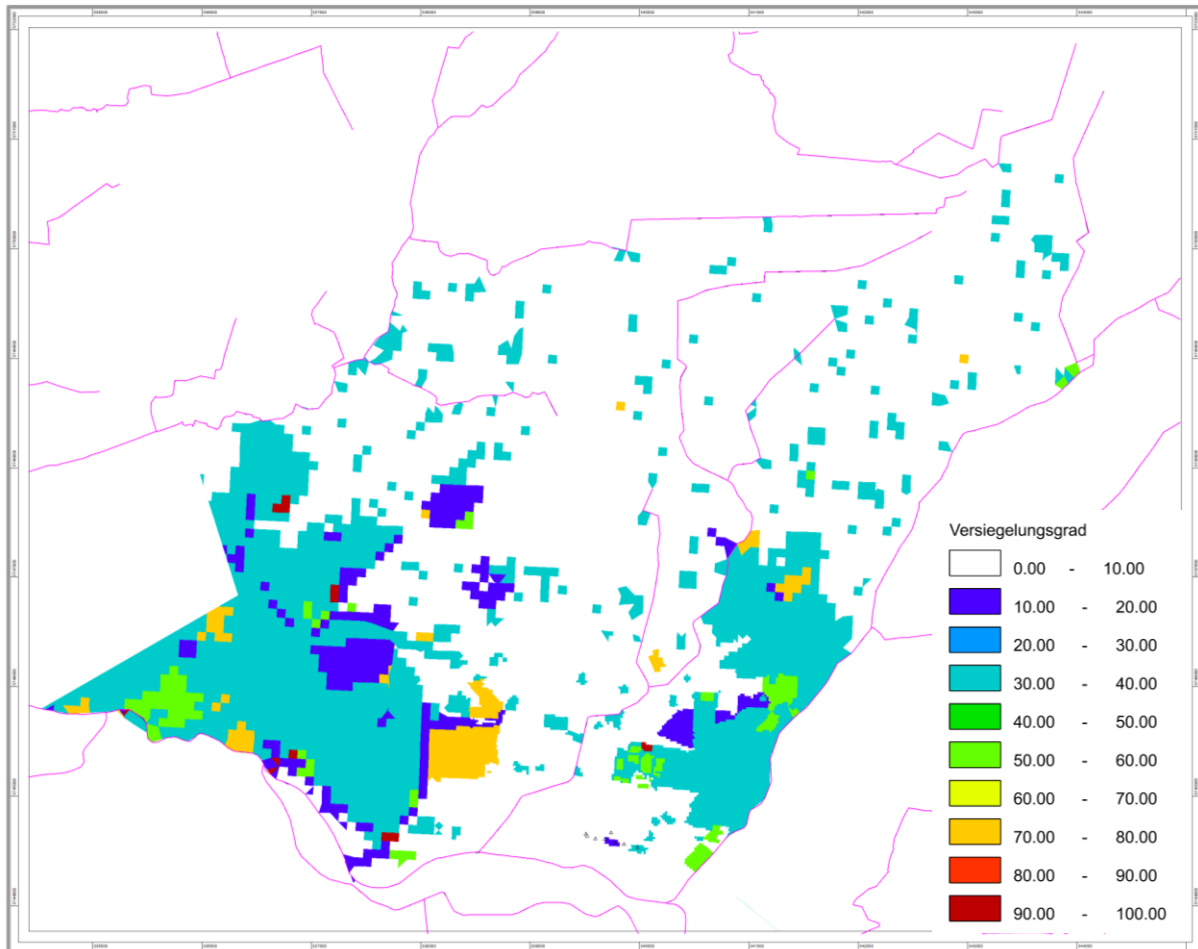


Abbildung 18: Versiegelung in % im Untersuchungsgebiet

Für die Ermittlung der Grundwasserneubildungsraten mit RUBINFLUX werden folgende Wetterdaten in Tageswerten benötigt:

- Niederschlag als Tagessumme in mm
- Verdunstungsparameter (nach Sensitivität für die Berechnung):
 1. Tägliche mittlere Lufttemperatur in °C
 2. Täglicher mittlerer Dampfdruck in hPa
 3. Tägliche Sonnenscheindauer in Stunden
 4. Tägliche mittlere Windgeschwindigkeit 2 m über Gelände in m/s

Der Niederschlag und die Verdunstungsparameter wurden aus den Aufzeichnungen der folgenden Klimastationen des DWD übernommen:

Station KL_00617

Vorhandene Messgrößen: tägliche Niederschlagshöhe (mm), Tagesmittel der Temperatur (°C), Tagesmittel des Dampfdruckes (hpa)

Verwendete Messgrößen: tägliche Niederschlagshöhe (mm), Tagesmittel der Temperatur (°C)

Station KL_07374

Vorhandene Messgrößen: Tagesmittel der Windgeschwindigkeit Messnetz 3 (m/s), tägliche Niederschlagshöhe (mm), Sonnenscheindauer Tagessumme (Stunde), Tagesmittel der Temperatur (°C), Tagesmittel des Dampfdruckes (hpa)

Verwendete Messgrößen: Tagesmittel der Windgeschwindigkeit Messnetz 3 (m/s), Sonnenscheindauer Tagessumme (Stunde), Tagesmittel des Dampfdruckes (hpa)

Die folgenden Abbildungen zeigen die verwendeten Klimadaten im betrachteten Zeitraum 01.01.2007 bis 31.12.2020.

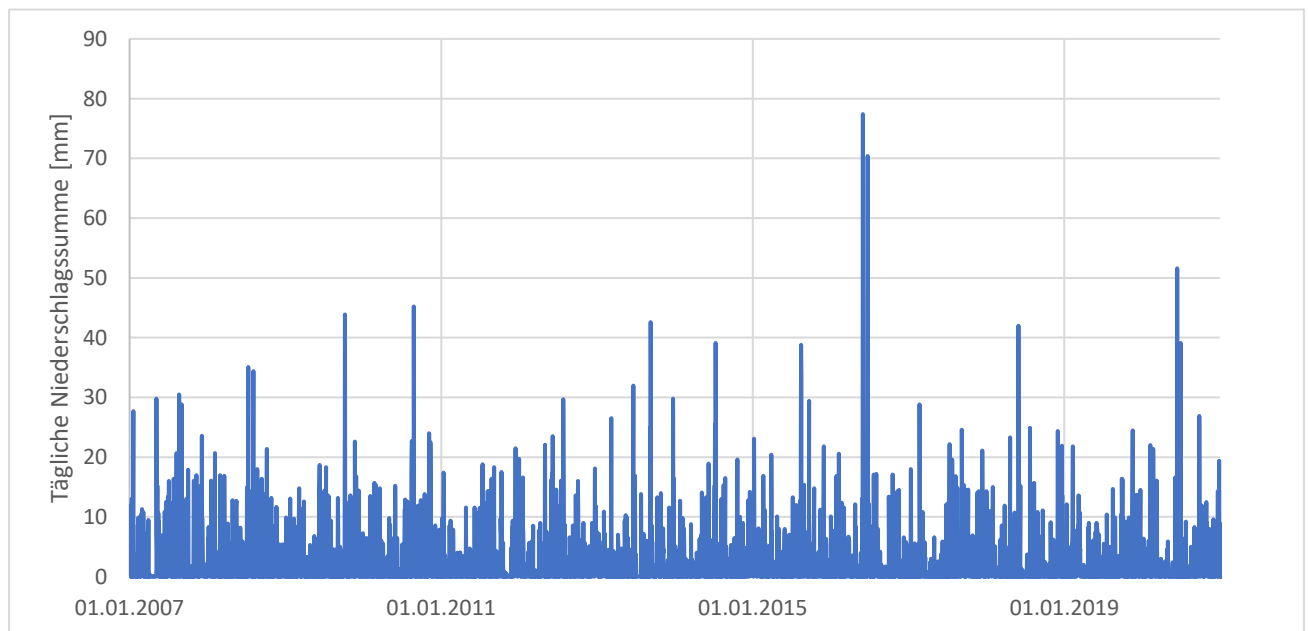


Abbildung 19: Gemessene tägliche Niederschlagshöhe an der Station KL_00617

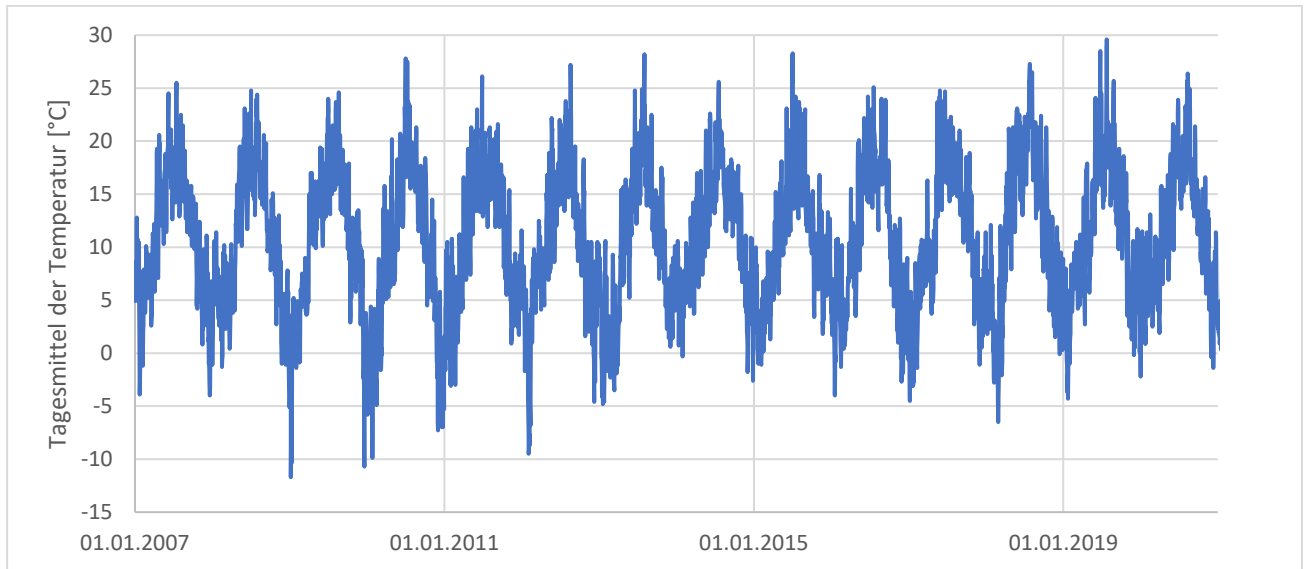


Abbildung 20: Gemessene Tagesmittel der Temperatur an der Station KL_00617

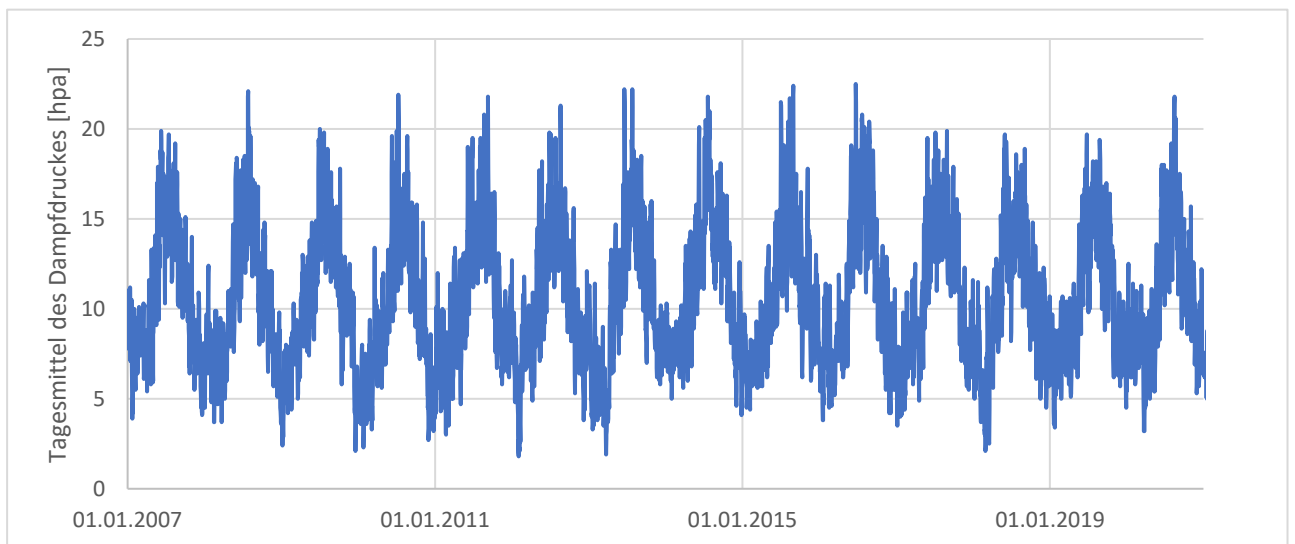


Abbildung 21: Gemessene Tagesmittel des Dampfdruckes an der Station KL_07374

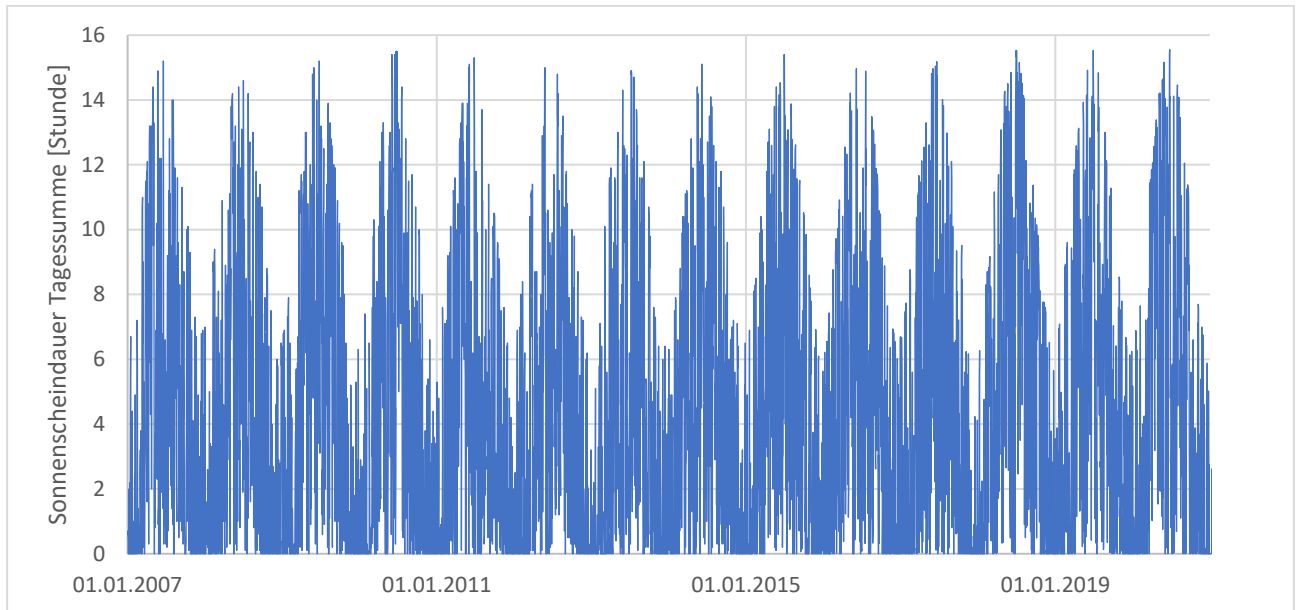


Abbildung 22: Gemessene Sonnenscheindauer Tagessumme an der Station KL_07374

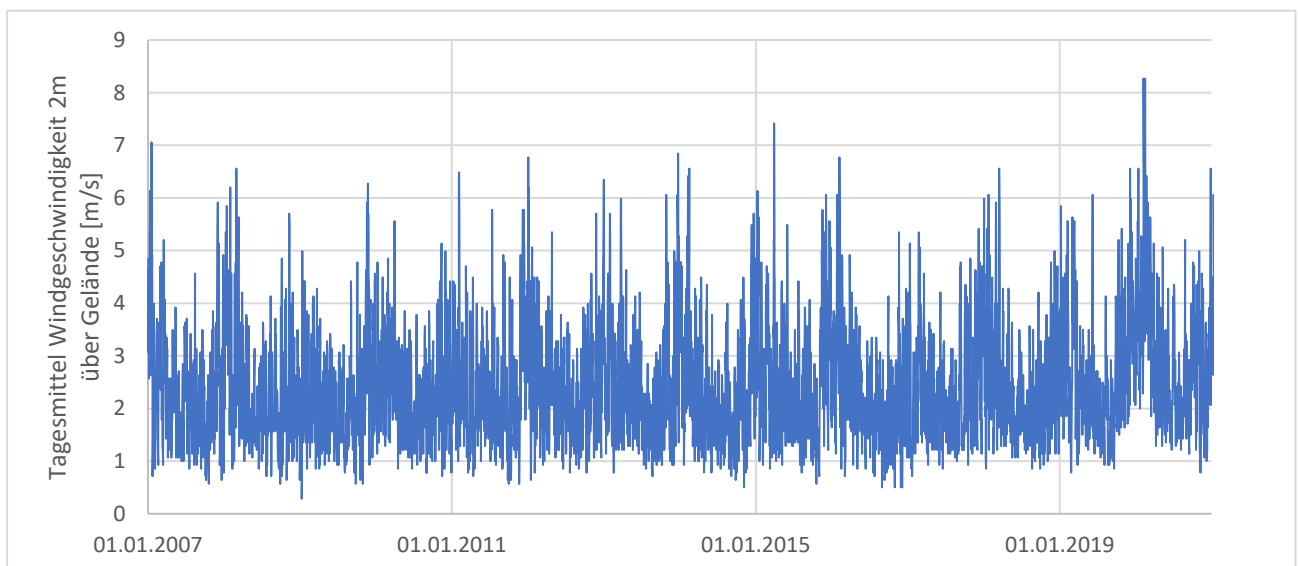


Abbildung 23: Tagesmittel der Windgeschwindigkeit 2 m über Gelände, umgerechnet aus den Messungen an der Station KL_07374

Zur Verwendung in RUBINFLUX war für jedes Element innerhalb des Untersuchungsgebietes eine Zeitreihe mit den Tageswerten für Niederschlag, Temperatur, Sonnenscheindauer, Dampfdruck und Windgeschwindigkeit zuzuordnen.

Über die gesamte instationäre Neubildungsberechnung von 2007 bis 2020 wurde eine mittlere Neubildungsrate von 256 mm/Jahr ermittelt. In Abbildung 24 ist die mittlere berechnete Grundwasserneubildung dargestellt.

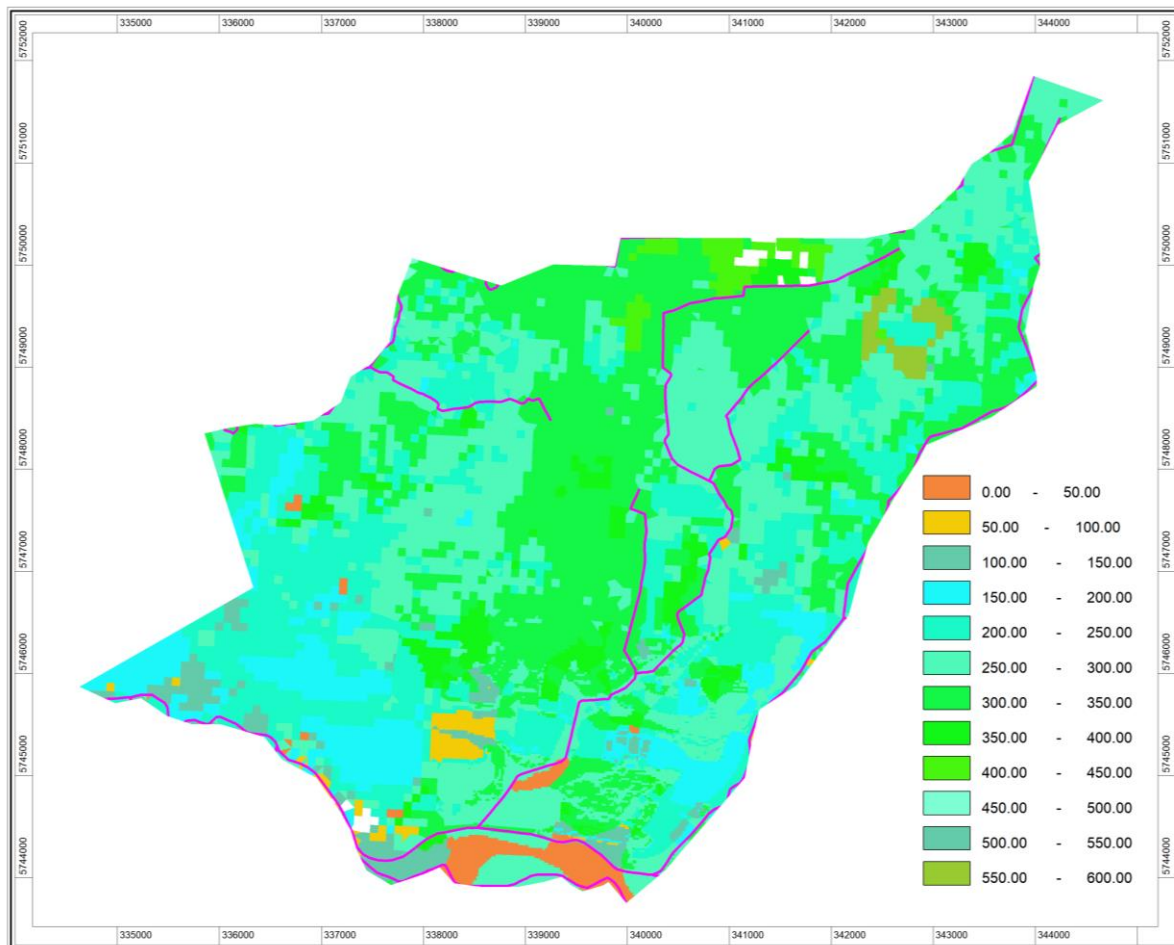


Abbildung 24: Mittlere Grundwasserneubildung in mm/Jahr (2007-2020)

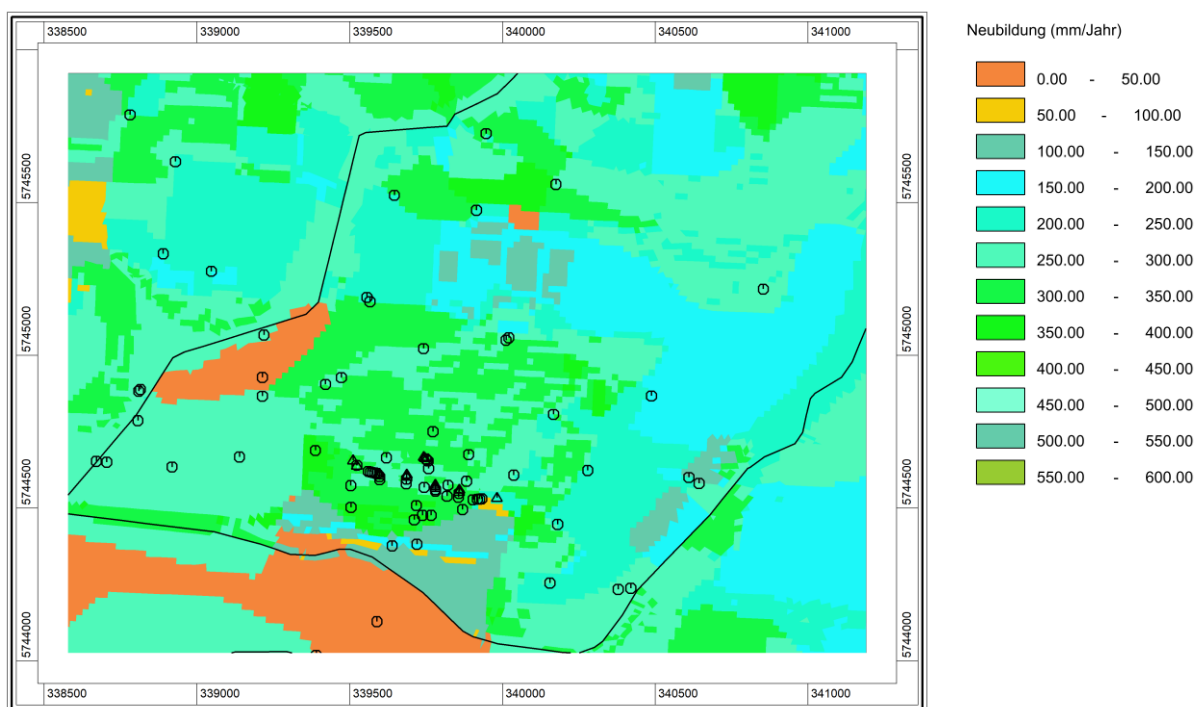


Abbildung 25: Mittlere Grundwasserneubildung in mm/Jahr im engeren Untersuchungsgebiet (2007-2020)

8 Kalibrierung des numerischen Modells

Das Modell wurde instationär auf Basis der verfügbaren Beobachtungswerte für die Grundwasserstände und Wasserstände in den Gewässern kalibriert. Die primären Kalibriergrößen sind die Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte und die Leakagekoeffizienten der Gewässer. Ziel der Kalibrierung ist die Minimierung der Abweichungen zwischen den berechneten und den gemessenen Grundwasserständen unter Einhaltung plausibler Parameterspannweiten. Zudem muss das Modell eine schlüssige Strömungssituation in Bereichen ohne gemessene Grundwasserstände abbilden.

Die Kalibrierung der Durchlässigkeiten erfolgte mit der in SPRING verfügbaren automatisierten Modellkalibrierung. Die Leakagekoeffizienten wurden manuell iterativ variiert und angepasst. Der Schwerpunkt der Kalibrierung wurde auf das Gebiet des geplanten Gewerbegebietes und den Kettelerbach gelegt. Es wurde festgestellt, dass die Lage des Einzugsgebietes des Wasserwerks sensitiv vom Leakagekoeffizienten des Kettelerbachs abhängig ist. Dieser Einfluss wurde ausführlich untersucht, um eine belastbare Aussage treffen zu können.

Abbildung 26 zeigt den Vergleich von gemessenen und gerechneten Grundwasserständen im Nahbereich des WW Rhede. Abbildung 27 zeigt, dass das Modell im Nahbereich der Fläche RHE1 die Strömungsverhältnisse richtig abbildet. Die berechneten Grundwasserstände an den Messstellen 22, 40 und 41 stimmen sehr gut mit den Messwerten überein. Abbildung 29 zeigt, dass auch die Strömungsverhältnisse am Unterlauf des Kettelerbaches richtig abgebildet werden.

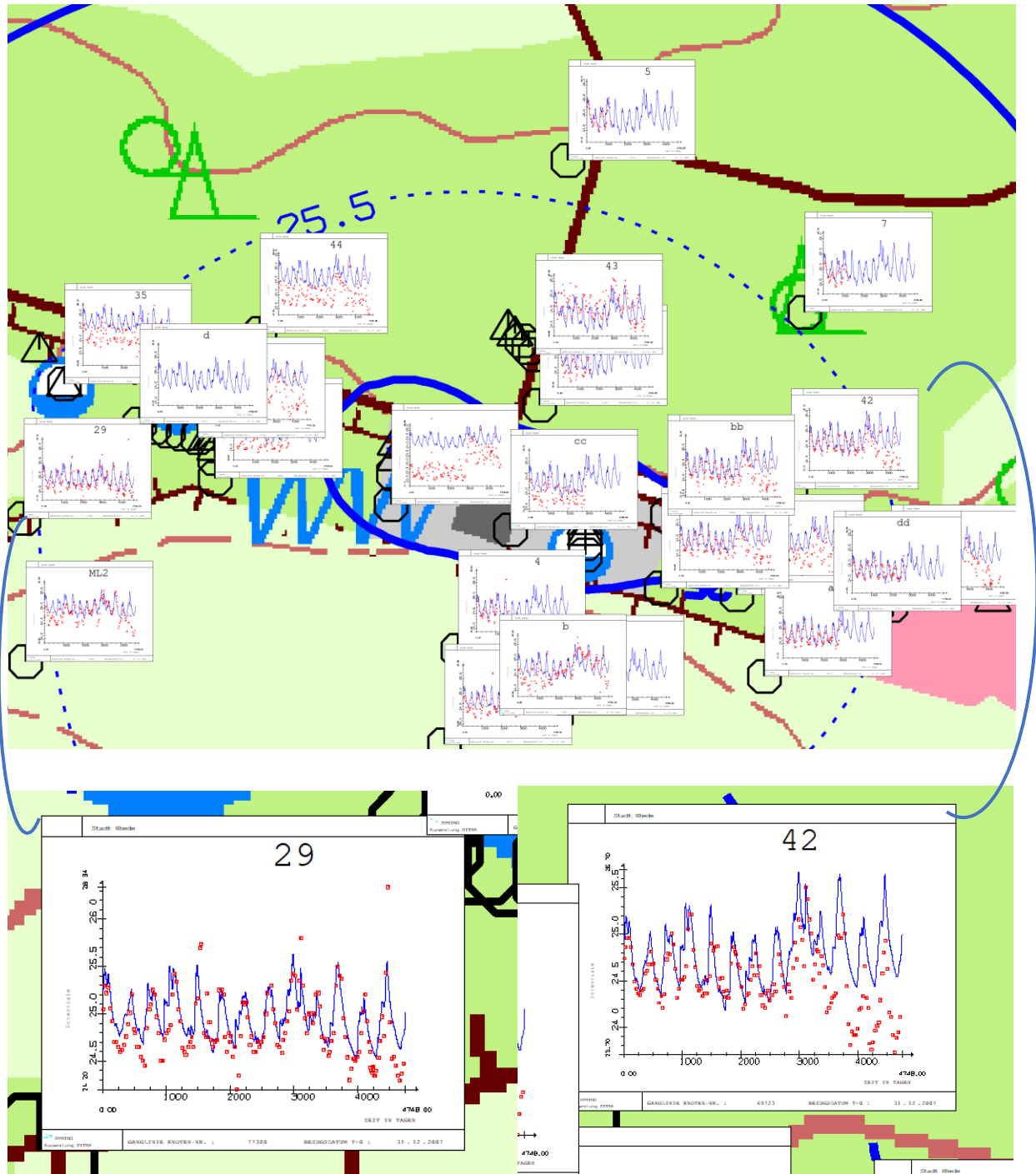


Abbildung 26: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände im Nahbereich des WW Rhede

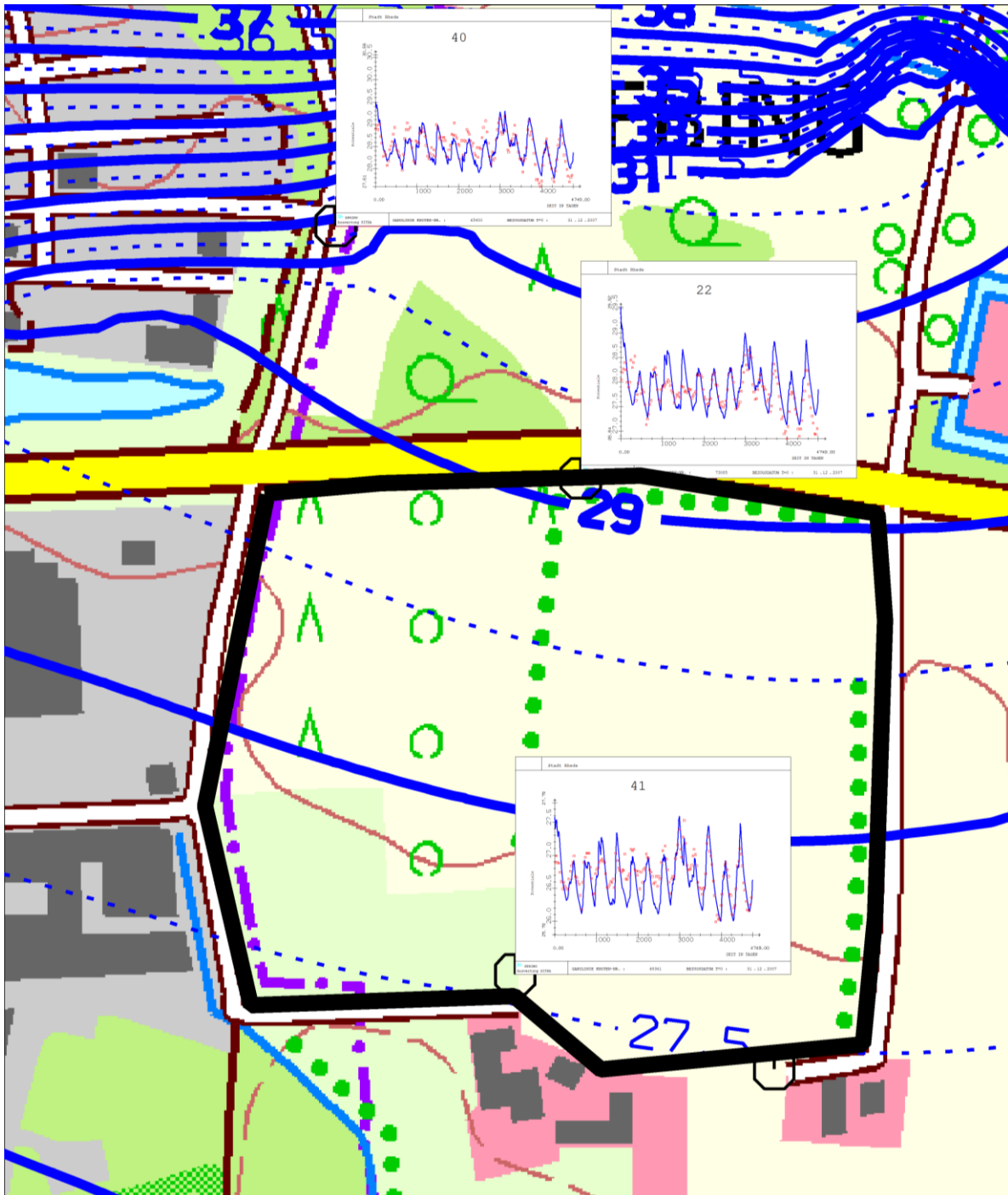


Abbildung 27: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände im Bereich der Fläche RHE1



Abbildung 28: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände am Oberlauf des Kettelerbaches

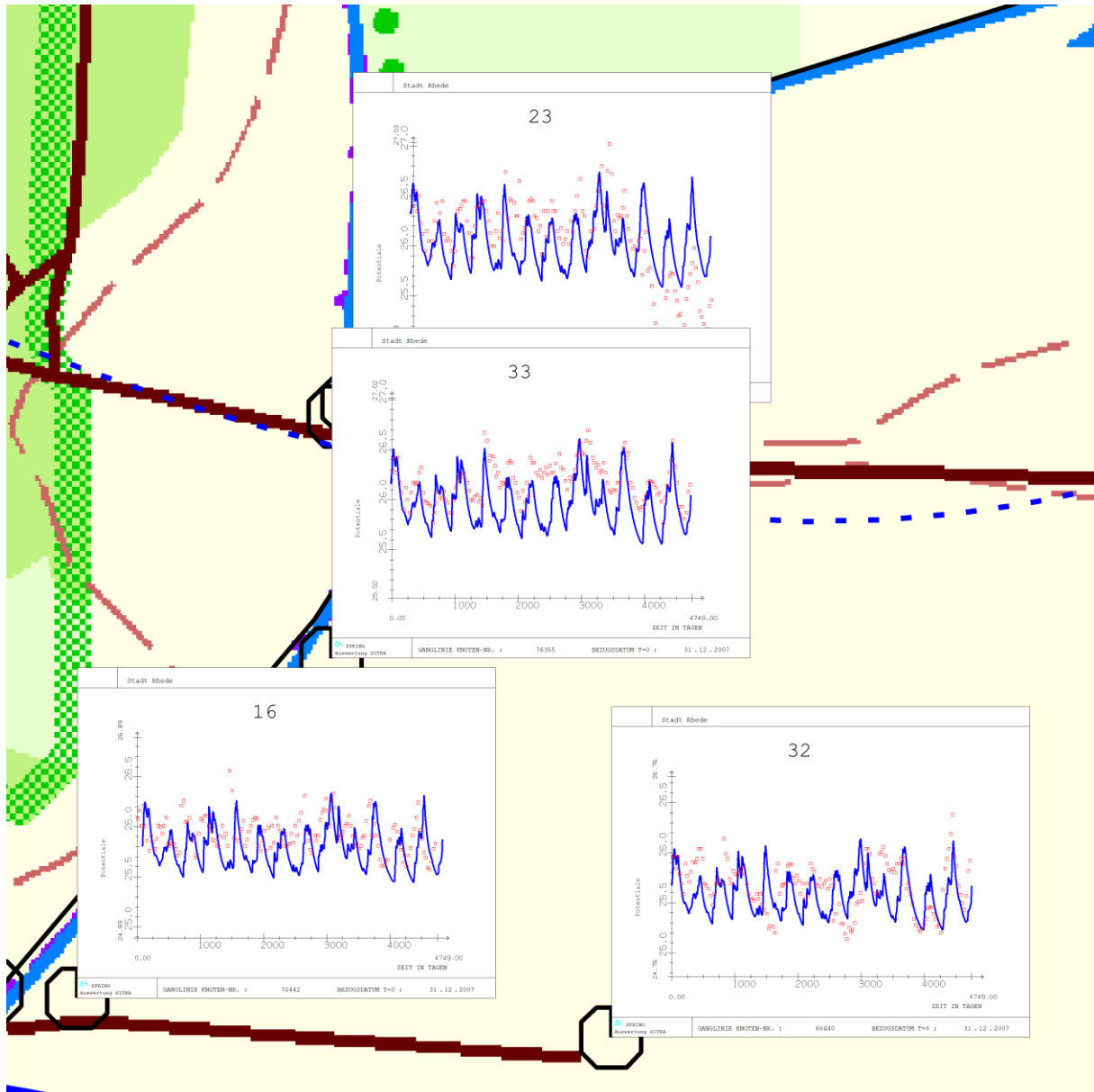


Abbildung 29: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände am Unterlauf des Kettelerbaches

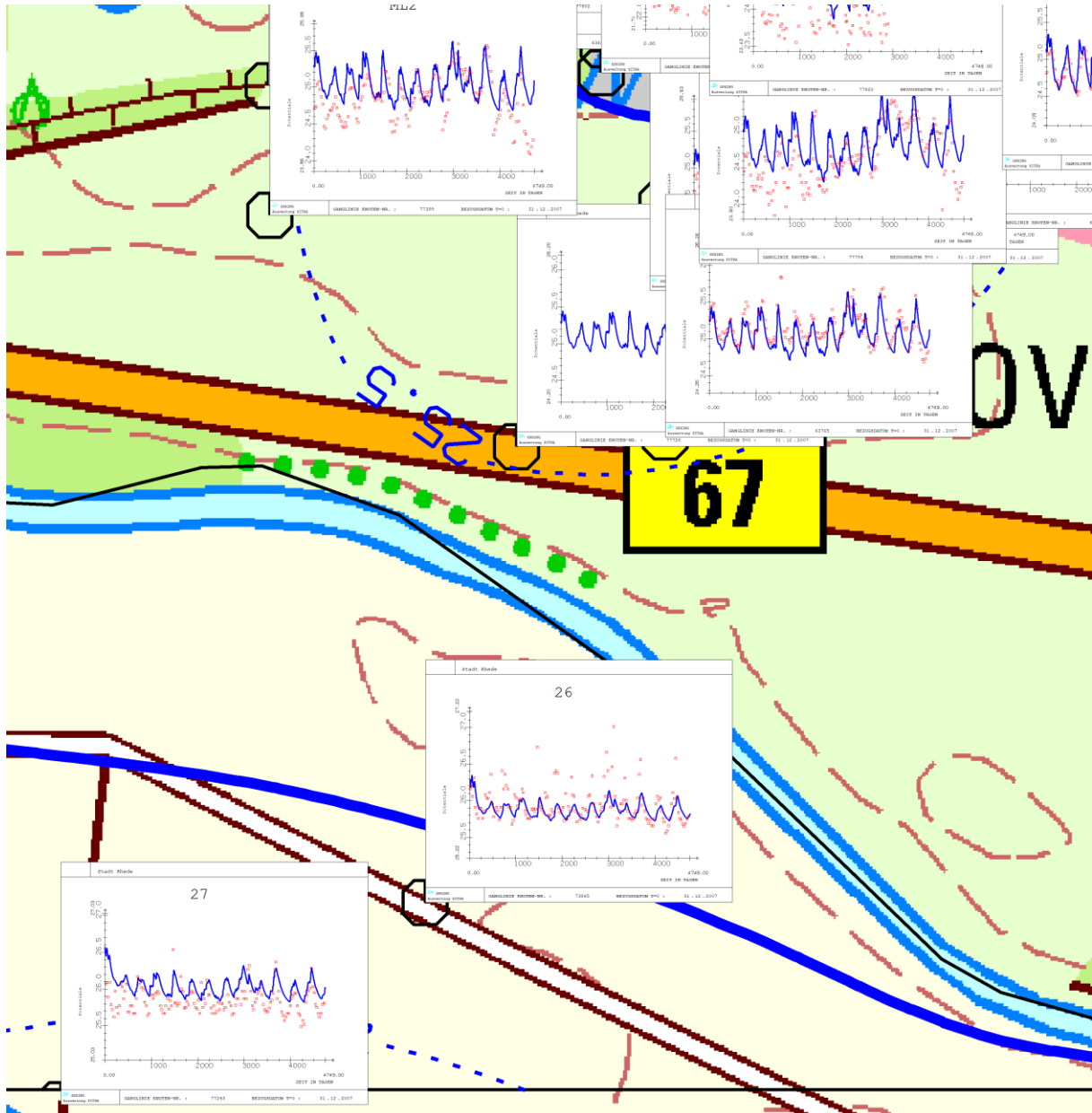
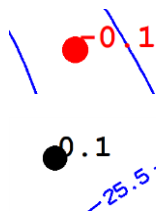
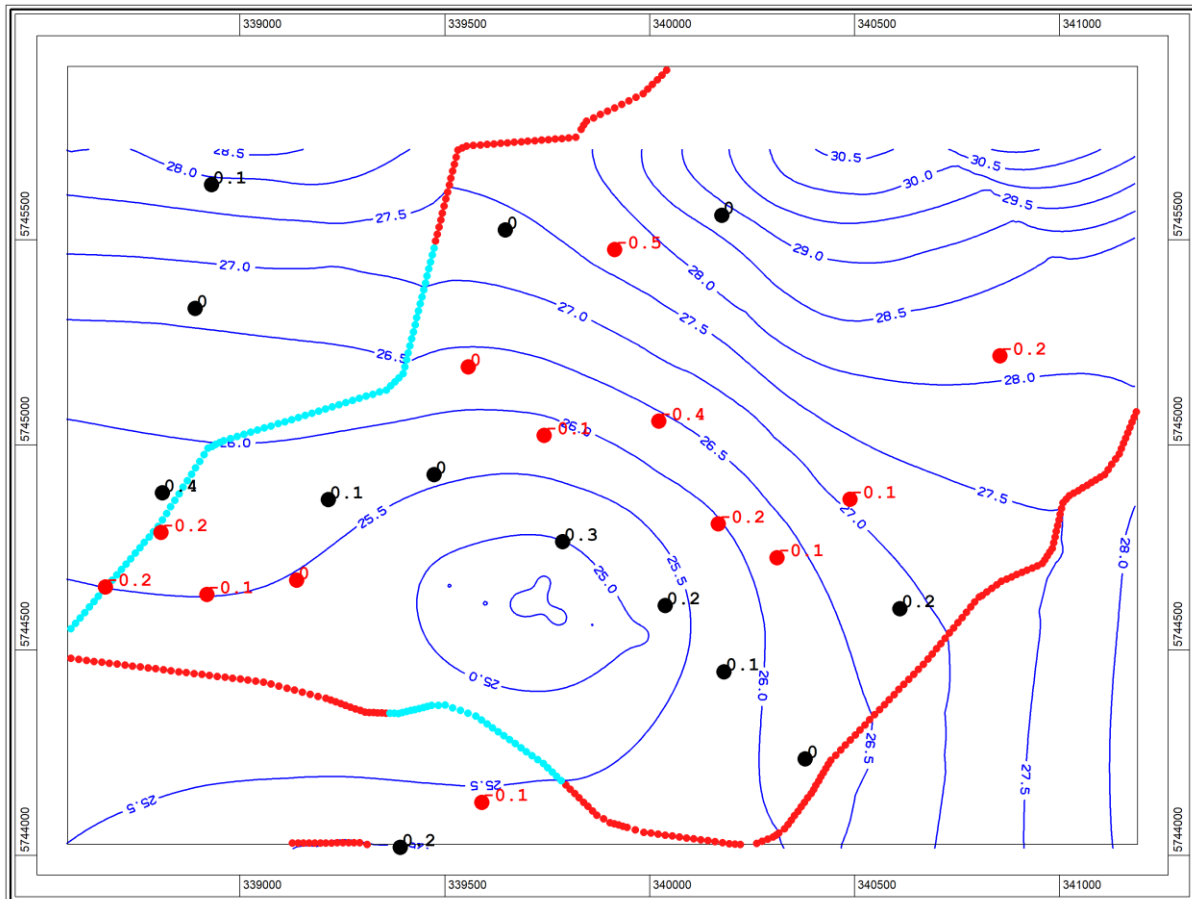


Abbildung 30: Vergleich gemessene (rot) und gerechnete (blau) Grundwasserstände im Bereich der Bocholter Aa

Für den Stichtag 02.06.2020 entsprechend Grundwassergleichenplan 06/2020 [13] stellt Abbildung 31 die Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen dar. Die berechnete maximale Abweichung beträgt 0,54 m mit einer Standardabweichung (zu 0) von 0,2 m und einer mittleren Abweichung von 0,19 m.



Negative Abweichung: Gerechneter Wasserstand niedriger als der Messwert

Positive Abweichung: Gerechneter Wasserstand höher als der Messwert

Abbildung 31: Vergleich gemessene und gerechnete Grundwasserstände für den Stichtag 02.06.2020, Infiltrationsbereiche an den Vorflutern (hellblau)

Das kalibrierte Grundwassermodell dient als Grundlage für die durchzuführenden Prognoserechnungen und wird als Ist-Zustand z.B. für die quantitative Ausweisung von Differenzen aus Prognoserechnungen herangezogen.

9 Prognoserechnungen mit dem numerischen Modell

Mit dem instationär kalibrierten Modell wurden stationäre Berechnungen zur Abgrenzung des Einzugsgebietes durchgeführt. Hierfür wurden die Fördermengen an den Brunnen entsprechend dem Wasserrecht von 1,2 Mio. m³/a angesetzt (*Tabelle 1*).

Abbildung 32 zeigt das im Modell ermittelte Einzugsgebiet. Es ist gegenüber [3] und [13] am Südrand sowie am Nordwestrand leicht verändert. Die Bocholter Aa wird unterströmt. Damit geht eine Vergrößerung des Einzugsgebietes in Richtung Süden einher. Im Nordwesten strömt dem Wasserwerk Wasser aus Richtung Norden zu. Dadurch wird das Einzugsgebiet in Richtung Norden vergrößert, ist aber am Westrand schmaler.

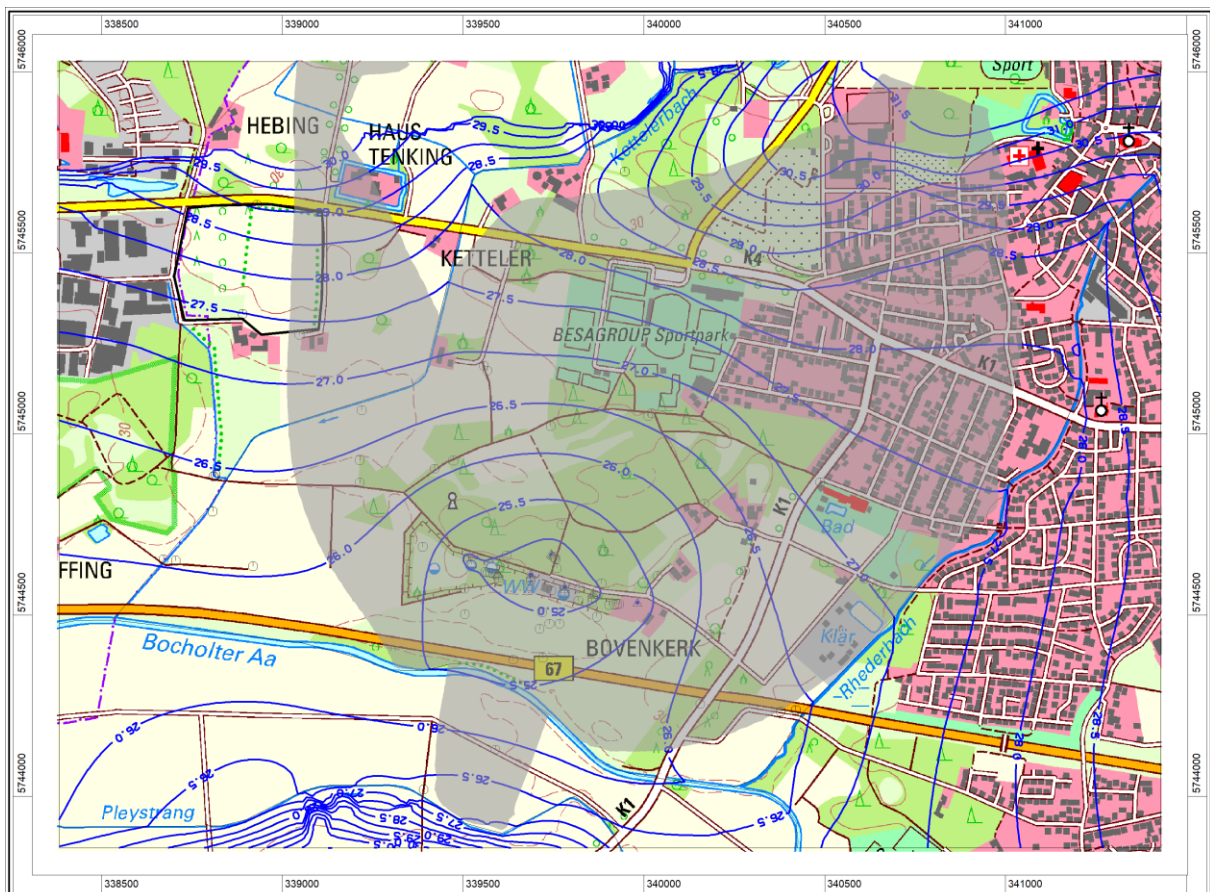


Abbildung 32: Berechnetes Einzugsgebiet des WW Rhede bei Förderung entsprechend Wasserrecht, Lage RHE1 (schwarze Linie)

Abbildung 33 zeigt den Rand des ermittelten Einzugsgebietes im Detail. Der Flächenanteil der geplanten Gewerbefläche, der innerhalb des Einzugsgebietes liegt, beträgt 14%.

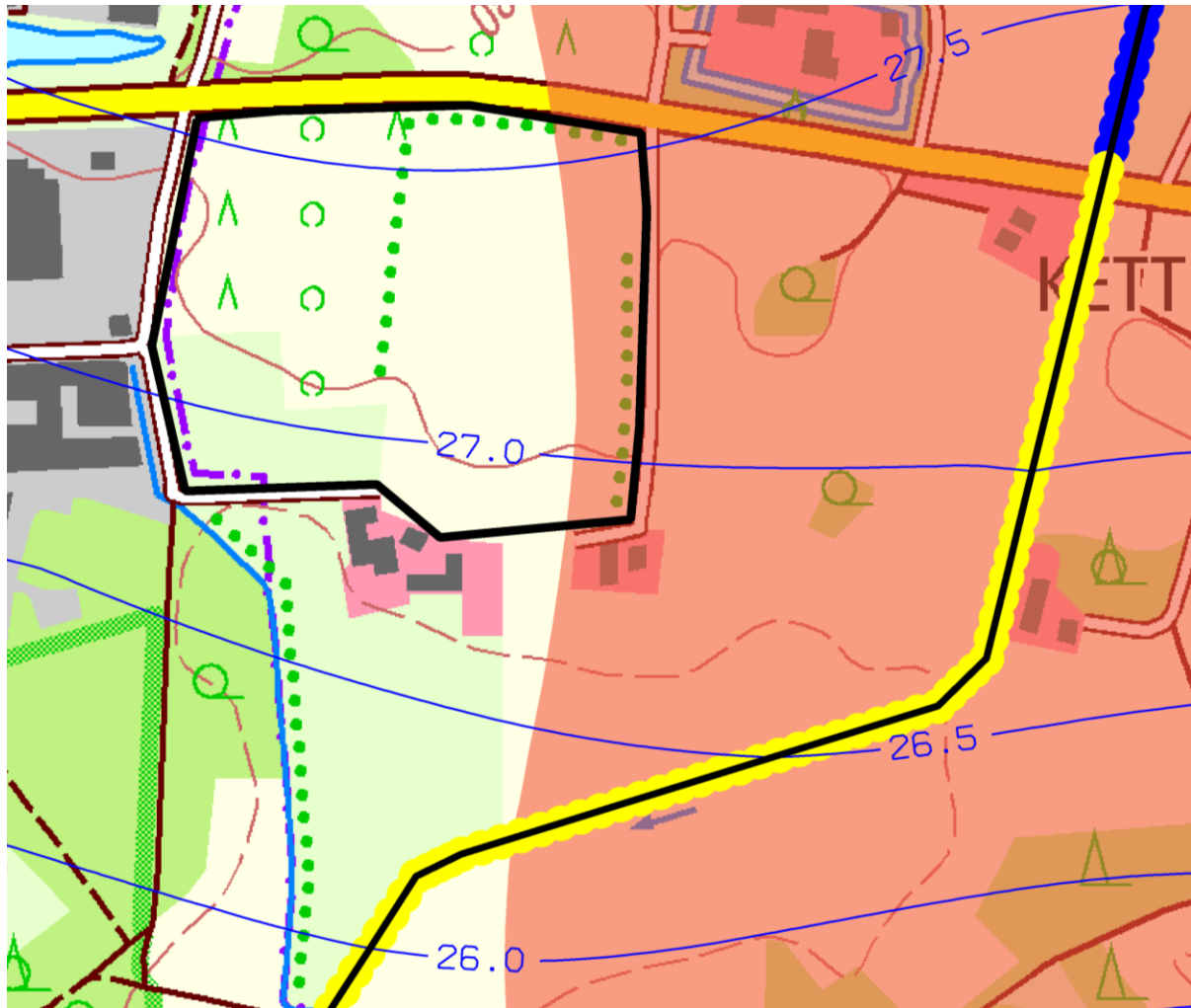


Abbildung 33: Berechnetes Einzugsgebiet des WW Rhede bei Förderung entsprechend Wasserrecht, Lage RHE1 (schwarze Linie), Infiltrationsbereiche am Kettelerbach (gelbe Markierung)

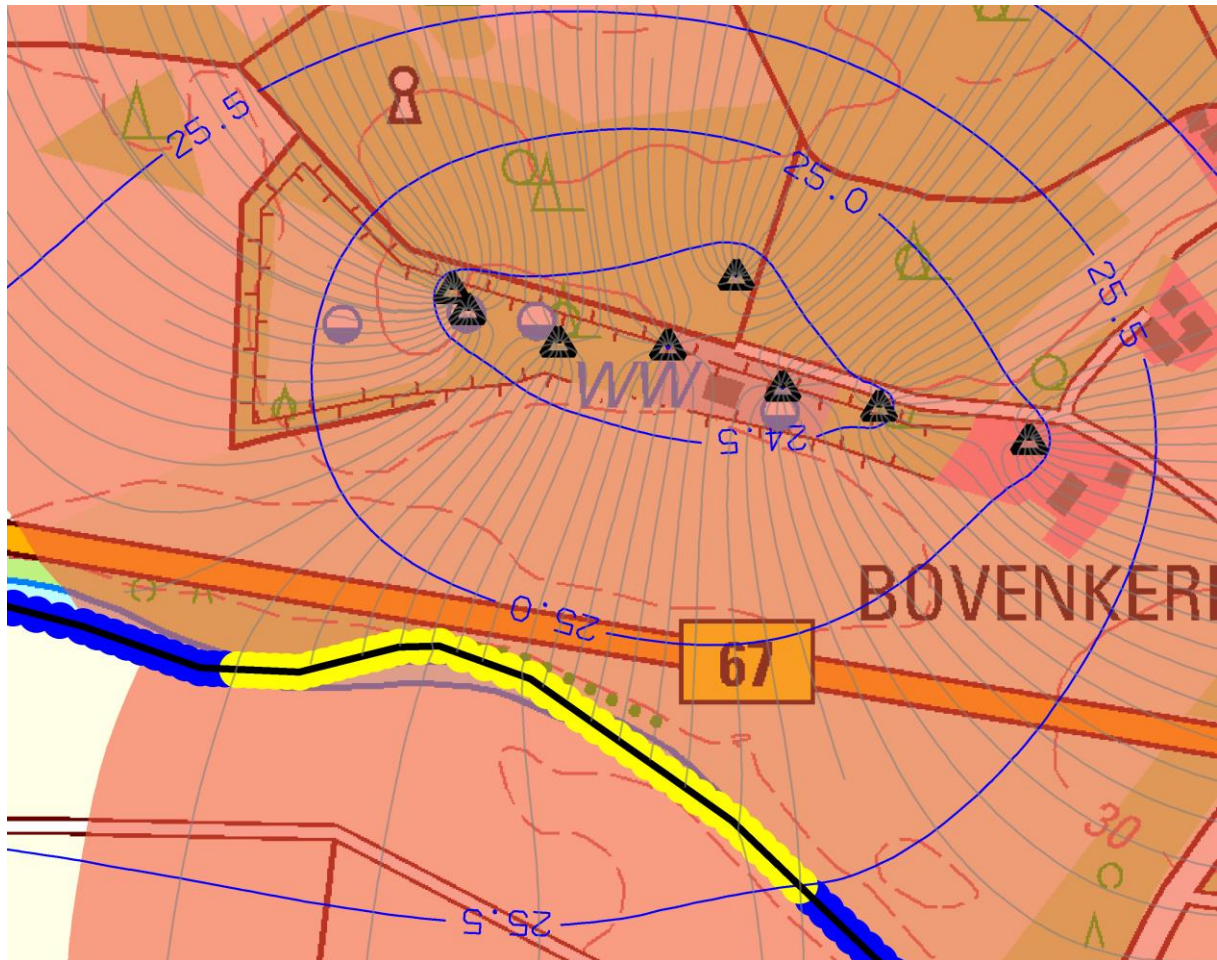


Abbildung 34: Detail Stromlinien am WW Rhede bei Förderung entsprechend Wasserrecht, Infiltrationsbereiche Bocholter Aa (gelbe Markierung)

Es wurde eine Prognoserechnung durchgeführt, die das Szenario der Versiegelung der Fläche RHE1 und die entsprechende Reduzierung der Grundwasserneubildung abbildet. Abbildung 35 zeigt die sich für diesen Fall ergebenden Wasserstandsdifferenzen, die unter 0,10 m bleiben.

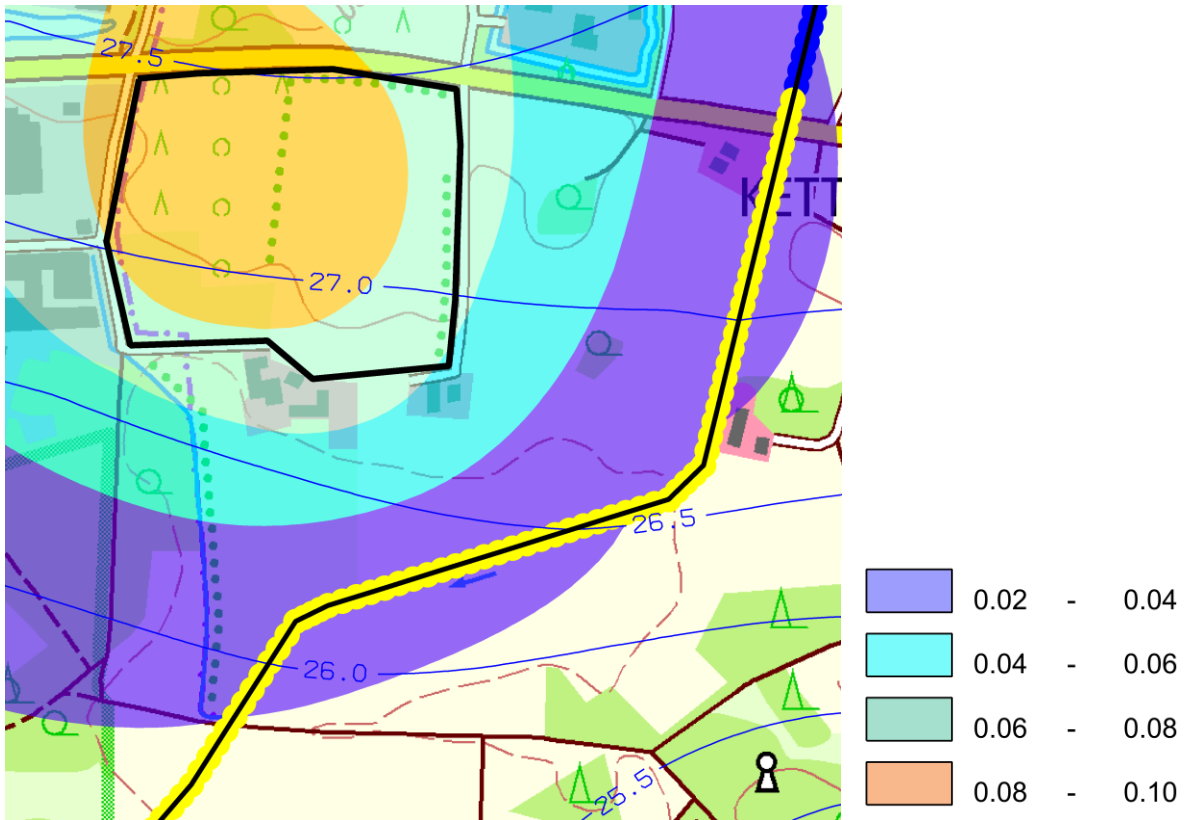


Abbildung 35: Grundwasserstandsdifferenzen [m]

Des Weiteren wurden die Grundwassergleichen für niedrige, mittlere und hohe Grundwasserverhältnisse ermittelt. Abbildung 36 stellt die berechneten Grundwassergleichen vergleichend für die drei Zustände im Bereich der Fläche RHE1 dar. Bei Niedrigwasser besteht die Gefahr, dass der Kettelerbach trockenfällt und entsprechend nicht mehr ins Grundwasser infiltriert.

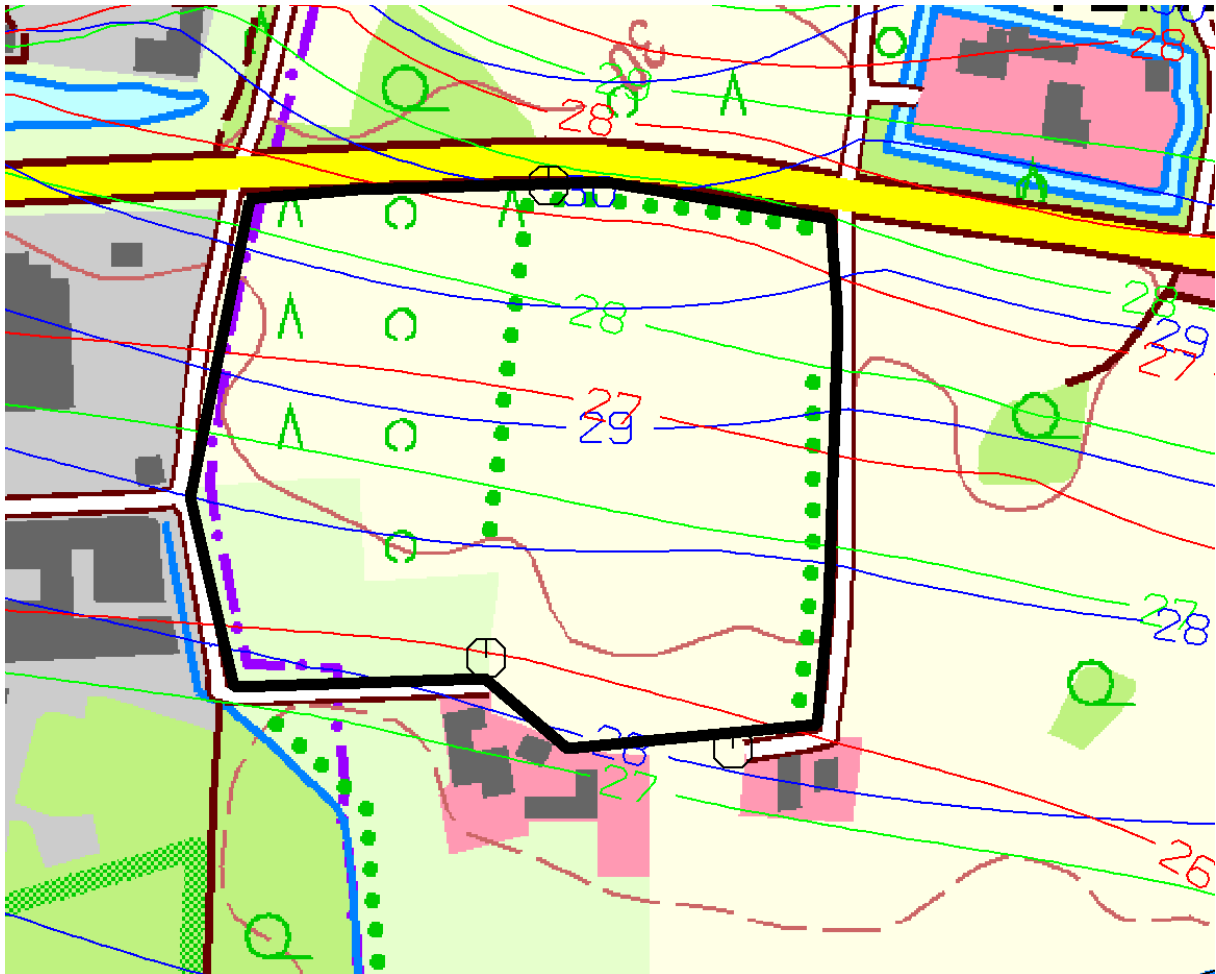


Abbildung 36: Extremzustände im Bereich der RHE1
grüne Linie Mittelwasser – rote Linie Niedrigwasser- blaue Linie Hochwasser

Im Rahmen einer Bilanzierung wird das Grundwasserdargebot ermittelt und wie sich die Fördermenge des Wasserwerks aus Neubildung und Infiltration aus Vorflutern zusammensetzt. Abbildung 37 zeigt beispielhaft die Leakagemengen an einem ausgewählten Knoten des Kettelerbachs in der Nähe der Fläche RHE1.

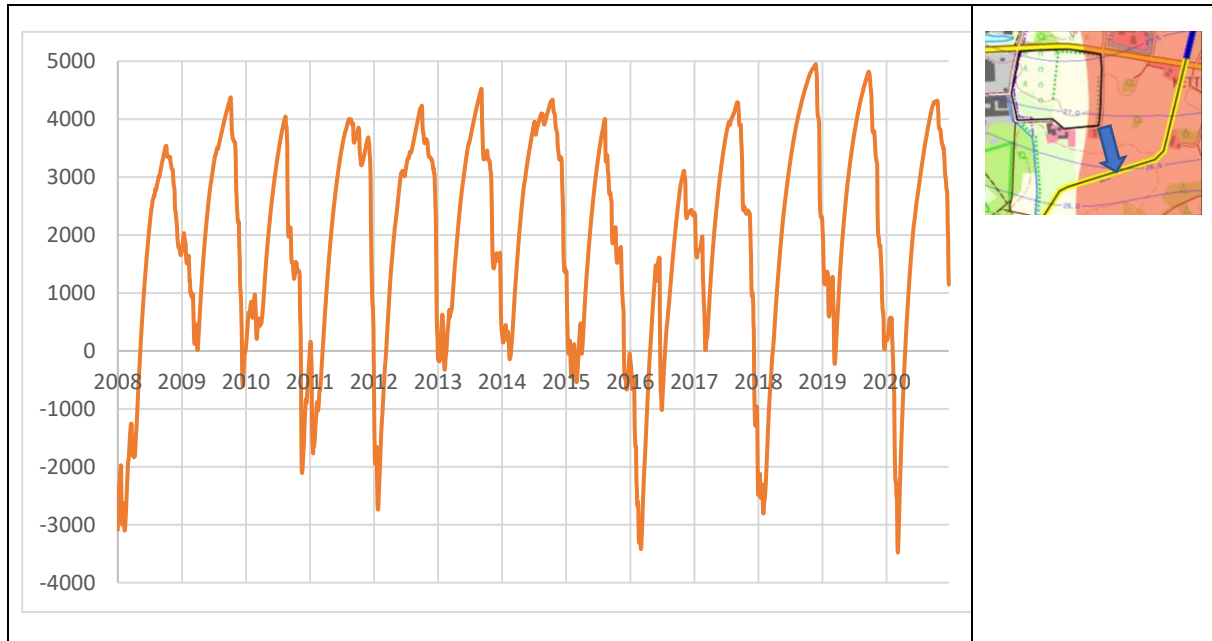


Abbildung 37: Leakagemengen (m^3/Tag) am Kettelerbach (siehe Karte rechts): >0 = Infiltration ins Grundwasser, <0 = Exfiltration aus dem Grundwasser

In der nachfolgenden Tabelle sind die im Modell ermittelten Bilanzgrößen den von verschiedenen Autoren zuvor ermittelten Werten gegenübergestellt:

	LÖHNERT (1984)	TUTTAHS & MEYER (2004)	SCHNEIDER (1988)	Aquanta	Modell delta h
Förderung (m^3/a)	1.360.000	1.150.000	1.100.000	1.100.000	1.100.000
GW-Neubildung (m^3/a)	806.000	806.000	806.000	806.000	728.000
Infiltrat B. Aa (m^3/a)	380.800	420.000	297.000	341.000	215.000
Infiltratanteil B. Aa (%)	28	37	27	31	20
Infiltrat Bäche (m^3/a)	100.000	100.000	100.000	100.000	157.000
Infiltratanteil Bäche (%)	7	8	9	9	14
Uferfiltrat gesamt (m^3/a)	480.800	520.000	397.000	441.000	372.000
Uferfiltratanteil gesamt (%)	35	45	36	40	34

Tabelle 2: Infiltratanteil Vorfluter aus [3] ergänzt um Ergebnisse des Modells bei Mittelwasser

Die Wassergewinnungsanlage hat nach [3] 40% Uferfiltratanteile. Das Modell errechnete einen Uferfiltratanteil von 34%.

10 Stellungnahme

Das erstellte instationäre Grundwasserströmungsmodell erbrachte folgende Ergebnisse und bildet damit die Grundlage der Stellungnahme:

- Die Bocholter Aa wird unterströmt. Damit geht eine Vergrößerung des Einzugsgebietes Richtung Süden einher.
- Der Kettelerbach infiltriert auf einer Länge von 1,2 km ca. 14% und die Bottroper Aa auf einer Länge von ca. 0,5 km ca. 20% der Gesamtförderung.
- Das Einzugsgebiet ist im Nordwesten in Richtung Norden vergrößert, dafür aber schmaler an der westlichen Seite.
- Ca. 14% der Gewerbefläche RHE1 liegen innerhalb des Einzugsgebietes des Wasserwerks. Dies entspricht einer Reduzierung der Neubildung im Einzugsgebiet des Wasserwerks von ca. 5.000 m³/Jahr (entspricht 0,4% der Gesamtfördermenge).
- Dieser Anteil ist komplett reduzierbar, wenn die Förderung der Brunnen mehr nach Richtung Osten ausgerichtet werden würde, d. h. eine Verlegung der Brunnen VIII und IV z. B. auf freie Flächen westlich und östlich der Jahnstraße.

Prinzipiell bestätigen wir die Anmerkung des GD, jedoch sind die Auswirkung der geplanten Gewerbefläche auf das Grundwasserdargebot im Einzugsgebiet des Wasserwerks als gering und damit als vernachlässigbar zu bewerten.