

**Errichtung neuer Brunnen im Wasserwerk Ottersdorf der Stadtwerke
Rastatt:
Grundwassermodelluntersuchung zur Prognose der zu erwartenden
Grundwasserabsenkungen und PFC-Konzentrationen**

Auftraggeber: Stadtwerke Rastatt
Markgrafenstraße 7
76437 Rastatt

Auftragsdatum: 08.01.2020

Auftragsnummer: A815

Berichtsnummer: A815-1

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Armin Durach M.Sc.
Dr.-Ing. Ulrich Lang

Stuttgart, 30.11.2021



Dipl.-Ing. Armin Durach M.Sc.



Dr. Ulrich Lang

INHALT

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
TABELLENVERZEICHNIS	IV
1 Einleitung.....	1
2 Hydrogeologische Grundlagen	3
2.1 Hydrogeologisches Modell	3
2.2 Berücksichtigung der durchgeführten hydrogeologischen Erkundungen.....	5
3 Modellaufbau	6
3.1 Gewähltes Modellsystem.....	6
3.2 Abgrenzung des Modellgebiets	6
3.3 Modelldiskretisierung	9
3.3.1 Horizontale Diskretisierung.....	9
3.3.2 Vertikale Diskretisierung.....	9
3.4 Äußere Randbedingungen	11
3.4.1 Östlicher Modellrand (Schwarzwaldrand, Vorbergzone).....	11
3.4.2 Westlicher Modellrand (Rhein)	11
3.4.3 Nördlicher und südlicher Modellrand	11
3.5 Innere Randbedingungen	11
3.5.1 Grundwasserneubildung.....	11
3.5.2 Gewässernetz.....	12
3.6 Baggerseen	12
4 Grundwasserströmungssituation im WSG Ottersdorf	13
5 PFC-Situation im WSG Ottersdorf	15
6 Prognose der zu erwartenden Grundwasserstände	20
6.1 Betrachtete Entnahmeszenarien	20
6.2 Grundwasserverhältnisse für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf	20
6.3 Grundwasserverhältnisse für den Notbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf	25
6.4 Reaktion des Mühlwerlgrabens	26
7 Abgrenzung des Einzugsgebiets mit Hilfe des Modells für den Normalbetrieb.....	28
8 Prognose der PFC-Konzentrationen.....	32
8.1 Prognose der PFC-Konzentrationen an den Brunnen A, B und C für das Status Quo Szenario	32
8.2 Prognose der PFC-Konzentrationen an den Brunnen D, E und F bei Normalbetrieb.....	38
8.3 Bewertung der erhöhten PFOS-Werte aus westlicher Richtung	44
9 Zusammenfassung	46
10 Literaturverzeichnis	47

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1: Längsschnitt durch das Wasserschutzgebiet (OGWL=Oberer Grundwasserleiter: Oberer Abschnitt der oberen Ortenuformation, MGWL=Mittlerer Grundwasserleiter: Unterer Abschnitt der oberen Ortenuformation, UGWL=Unterer Grundwasserleiter: Untere Ortenuformation, ZH: Zwischenhorizont).....	5
Abbildung 3.1: Modellgebiet.....	8
Abbildung 4.1: Berechnete Grundwassergleichen für Mittlere Verhältnisse im Wasserschutzgebiet Ottersdorf.....	14
Abbildung 5.1: Untersuchte PFC-Flächen im Bereich des Wasserschutzgebietes Ottersdorf	17
Abbildung 5.2: Im Grundwasser gemessene und mit dem Grundwassermodell berechnete Quotientensumme im Oberen Grundwasserleiter	19
Abbildung 6.1: Berechnete Grundwassergleichen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf	21
Abbildung 6.2: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Unteren Grundwasserleiter	23
Abbildung 6.3: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Mittleren Grundwasserleiter	24
Abbildung 6.4: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Oberen Grundwasserleiter	25
Abbildung 6.5: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Oberen Grundwasserleiter	26
Abbildung 7.1: Abgrenzung des Einzugsgebietes für die Brunnen D und E bei einer Entnahme von 71 l/s aus dem Wasserwerk Ottersdorf.	30
Abbildung 7.2: Abgrenzung des Einzugsgebietes für den Brunnen F bei einer Entnahme von 71 l/s aus dem Wasserwerk Ottersdorf.	31
Abbildung 8.1: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen A bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Unteren Grundwasserleiter.....	33

Abbildung 8.1: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen A bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Mittleren Grundwasserleiter.	34
Abbildung 8.1: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen B bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Unteren Grundwasserleiter.	35
Abbildung 8.1: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen B bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Mittleren Grundwasserleiter.	35
Abbildung 8.1: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen C bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Unteren Grundwasserleiter.	36
Abbildung 8.1: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen C bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Mittleren Grundwasserleiter.	36
Abbildung 8.1: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen D	38
Abbildung 8.2: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen B	39
Abbildung 8.3: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen C	39
Abbildung 8.4: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2025 im OGWL (links) und im MGWL (rechts).....	40
Abbildung 8.5: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2030 im OGWL (links) und im MGWL (rechts).....	41
Abbildung 8.6: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2035 im OGWL (links) und im MGWL (rechts).....	41
Abbildung 8.7: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2040 im OGWL.....	42
Abbildung 8.8: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2040 im MGWL.....	43

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1:	Mittels Pumpversuch ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert.....	5
Tabelle 6.1:	Entnahmeszenarien	20

1 Einleitung

Die Stadtwerke Rastatt GmbH versorgt die Stadt Rastatt aus drei lokalen Wasserwerken in Ottersdorf, Rauental und Niederbühl. Die großräumige PFC-Belastung des Grundwassers im Raum Rastatt/ Baden-Baden betrifft die Einzugsgebiete aller 3 Standorte. Der Brunnen Niederbühl ist aufgrund der PFC-Belastung bereits seit mehreren Jahren außer Betrieb. Das Wasserwerk Rauental wurde aufgrund der PFC-Verunreinigung mehrere Jahre vom Netz genommen und mit einer modernen Aktivkohle Anlage ausgestattet. Seit Ende 2018 ist es wieder in Betrieb.

Die Trinkwassergewinnung von Ottersdorf besteht aus drei Tiefbrunnen im östlichen Bereich der bestehenden Schutzzone II. Aktuell werden hier nur geringe PFC-Konzentrationen gemessen. Allerdings weisen zahlreiche Grundwassermessstellen, im weiteren Anstrom auf die 3 bestehenden Brunnen, deutlich erhöhte PFC-Konzentrationen auf. In zahlreichen landwirtschaftlich genutzten Flächen im Bereich südlich und östlich des Baggersees Kühl/Peter wurden erhöhte PFC-Konzentrationen im Eluat gemessen. Es ist davon auszugehen, dass die PFC-Belastung im Wasserschutzgebiet in den nächsten Jahren zu den bestehenden Trinkwasserbrunnen gelangen wird.

Aufgrund der zukünftig zu erwartender PFC-Belastung im östlichen Teil des Wasserschutzgebietes Ottersdorf, plant die Stadtwerke Rastatt GmbH zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung der Stadt Rastatt, die Errichtung neuer Tiefbrunnen im westlichen Bereich der Zone II des bestehenden Wasserschutzgebietes.

Im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg bearbeitet die Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH derzeit das Grundwassermodell für die PFC-Belastung im Raum Rastatt und Baden-Baden. Dieses beinhaltet auch das Einzugsgebiet des Trinkwasserbrunnens für das Wasserwerk Ottersdorf. Mit Zustimmung der LUBW wurde die Untersuchungen zur Planung neuer Brunnen, im Wasserschutzgebiet Ottersdorf daher mit dem sogenannten Landesmodell durchgeführt.

Das Landesmodell Mittelbaden wurde entwickelt, um quantitative Aussagen hinsichtlich der PFC-Belastung aus landwirtschaftlichen Flächen im Raum Rastatt/Baden-Baden bereit stellen zu können. Hierfür wurde das Modell nach aktuellem hydrogeologischem Kenntnisstand aufgebaut. Das Strömungsmodell wird einmal jährlich mit den hydrologischen Informationen aktualisiert. Das Transportmodellmodell wird mehrmals jährlich mit den aktuell bekannten PFC-Eintragsflächen aktualisiert und weitergehend kalibriert.

Momentan sind die 5 häufigsten PFC-Spezies, die über die landwirtschaftlichen Flächen ins Grundwasser eingetragen werden, im Modell enthalten. Diese Spezies sind die Perfluorcarbonsäuren PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA und PFOA. Aktuell gibt es Überlegungen, die relevanten Vertreter aus der Gruppe der Perfluorsulfonsäuren ebenfalls in das Landmodell Mittelbaden zu integrieren. Die Perfluorsulfonsäuren stammen typischerweise aus anderen Quellen als die Perfluorcarbonsäuren. Im Raum Rastatt/ Baden-Baden ist hier insbesondere die Verwendung in älteren Feuerlöschschäumen zu nennen.

Für die konkrete Standortplanung wurde mit dem Landesmodell Mittelbaden untersucht, welche Auswirkungen eine Entnahme am geplanten Brunnenstandort auf die Grundwasserverhältnisse hat. Hierbei sind neben den Grundwasserabsenkungen vor allem die, zukünftige, zeitliche Entwicklung der Perfluorcarbonsäuren am geplanten Standort relevant.

Im Rahmen der Standortsuche wurden mehrere Standorte für den Neubau von Brunnen untersucht. Auch wurden unterschiedliche Entnahmeszenarien angesetzt, um in einem Variantenvergleich die nach objektiven Gesichtspunkten optimale Lösung zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung zu finden.

Für jede Variante wurde dabei folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Prognose der zu erwartenden Absenkungen im Aquifer
diese dienen unter anderem, als Bewertungsgrundlage für die Umweltverträglichkeitsprüfung von SFN
- Abgrenzung des Einzugsgebiets mit Hilfe des Modells
- PFC-Prognose über 20 Jahre

In diesem Bericht sind die o.g. Ergebnisse für die favorisierte Variante dargestellt.

2 Hydrogeologische Grundlagen

2.1 Hydrogeologisches Modell

Dem Leitfaden der Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft (FHDGG, 2002 und FHDGG, 2010) folgend, ist die Ausarbeitung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells die Grundvoraussetzung für den Aufbau eines numerischen Grundwassermodells. Ziel des hydrogeologischen Modells ist hierbei die Herausarbeitung und Abstrahierung aller relevanten hydrogeologischen Systemeigenschaften und Prozesse für das zu untersuchende Grundwassersystem in einem konzeptionellen Modell. Ein Hydrogeologisches Modell sollte hierbei die folgenden wesentlichen Punkte umfassen (FHDGG, 2010):

- Abgrenzung des Modellraums/Bilanzraums
soweit möglich sollte die Abgrenzung des Modellraums den natürlichen geohydraulischen Grenzen folgen
- Strukturierung des Modellraums
 - o vertikale Strukturierung: Schichtlagerung
 - o laterale Strukturierung: räumliche Verteilung von Aquifer Kennwerten
- Analyse der Grundwasserhydraulik
 - o Laterale und vertikale Zuordnung der Grundwassermessstellen zu den relevanten (hydro)geologischen Einheiten
 - o Grundwassergleichenpläne
 - o Grundwasserdynamik (Ganglinien)
- Ermittlung der Randbedingungen
 - o Grundwasserneubildung
 - o Grundwasser-Oberflächengewässer Interaktion
 - o Lateraler Grundwasserzustrom über den Modellrand
- Abschätzung der Grundwasserbilanz für den Modellraum/Bilanzraum.

Das Landesmodell für Mittelbaden basiert bezüglich seiner hydrogeologischen, hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Grundlagen auf dem Grundwassermodell LOGAR [LUBW 2012]. Diese hydrogeologische Grundlage wurde im nördlichen Raum des LOGAR-Modells hinsichtlich der für die PFC-Fragestellung relevanten hydrogeologischen Einheiten, insbesondere der Zwischenhorizonte, differenzierter ins Grundwassermodell überführt, als dies im großräumigen Modell möglich war.

Da sich die hydrogeologische Grundlage des LOGAR-Modells seit seiner Bearbeitung erweitert hat, erfolgte eine grundlegende Überarbeitung des Hydrogeologischen Modells, bei der alle o.g. Kernpunkte erneut durchleuchtet wurden. Damit ergibt sich eine auf der bisherigen Modellierung aufbauende, verbesserte Modellierung der Grundwasserverhältnisse mit dem Ziel der Verbesserung des Systemverständnisses

im Untersuchungsraum zur weiter abgesicherten Prognosefähigkeit des Grundwassermodells.

Die Brunnen des Wasserwerks Rastatt-Ottersdorf liegen in der Rheinniederung ca. 3 km westlich von Rastatt. Die Entfernung zum Rhein im Westen beträgt ca. 3 km. Im Bereich der bestehenden Brunnen ist die Grundwasserströmungsrichtung N-NNE. Das hydraulische Gefälle beträgt 0,5 bis 0,7 ‰. Die Brunnen haben einen Abstand von 100 bzw. 170 m in etwa quer zur natürlichen Grundwasserströmung. Im Zustrom der Brunnen liegt in ca. 800 m Entfernung der Kaltenbachsee. Im weiteren Einzugsgebiet, südlich des Kaltenbachsees Richtung Sandweier, versteilt sich der hydraulische Gradient auf bis zu 1,5‰ bei NNW-NW Strömungsrichtung.

In Abbildung 2.1 ist ein Längsschnitt auf Basis der Grundwassermodellgeometrie durch das Wasserschutzgebiet dargestellt. Im Südosten beträgt die Aquifer Mächtigkeit ca. 25 m. Sie erhöht sich in Strömungsrichtung. Im Bereich der Brunnen des Wasserwerks Ottersdorf, beträgt die Aquifer Mächtigkeit über 50 m. Im Bereich des Wasserschutzgebietes sind mehrere Zwischenhorizonte vorhanden. Diese sind hinsichtlich ihrer Verbreitung und Mächtigkeit aber nicht so stark ausgeprägt, dass es zu einer merklichen hydraulischen Trennung einzelner Grundwasserstockwerke kommt.

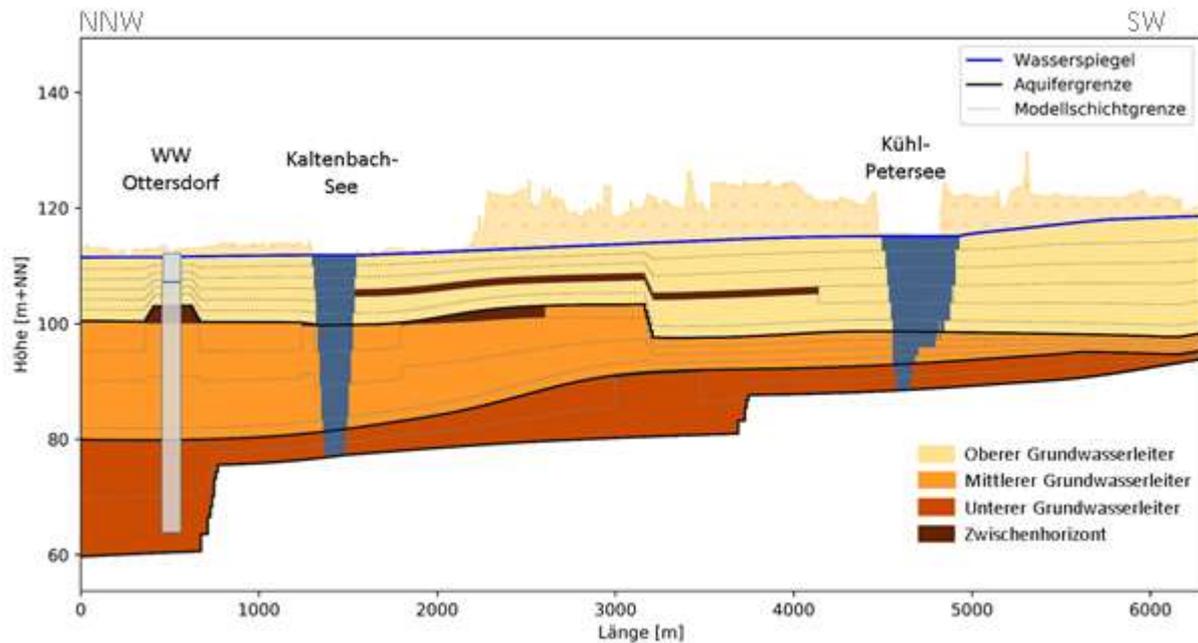


Abbildung 2.1: Längsschnitt durch das Wasserschutzgebiet (OGWL=Oberer Grundwasserleiter: Oberer Abschnitt der oberen Ortenauformation, MGWL=Mittlerer Grundwasserleiter: Unterer Abschnitt der oberen Ortenauformation, UGWL=Unterer Grundwasserleiter: Untere Ortenauformation, ZH: Zwischenhorizont).

2.2 Berücksichtigung der durchgeführten hydrogeologischen Erkundungen

Die begleitenden hydrogeologischen Untersuchungen wurden von E. Funk Büro für Hydrogeologie durchgeführt und in Funk (2021) dokumentiert.

Insbesondere die durchgeführten Pumpversuche liefern wertvolle Erkenntniszugewinn. Gemäß den Empfehlungen werden, die im Rahmen der Pumpversuche ermittelten, hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte für alle 3 Grundwasser-Stockwerke verwendet.

Tabelle 2.1: Mittels Pumpversuch ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert

Aquifer	Kf-Wert [m/s]
Oberer Grundwasserleiter	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Mittlerer Grundwasserleiter	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Unterer Grundwasserleiter	$1,3 \cdot 10^{-3}$

3 Modellaufbau

3.1 Gewähltes Modellsystem

Das Grundwassermodell Mittelbaden wurde entwickelt, um die PFC-Belastung des Grundwassers im Raum Rastatt/Baden-Baden quantifizieren, und die weitere Entwicklung abschätzen zu können.

Die Arbeiten am Grundwassermodell Mittelbaden, insbesondere an der Kalibrierung des PFC-Transports dauern noch an, da auch aktuell noch PFC-Flächen erkundet werden. Eine Beschreibung des Modellsystems liegt in Form eines Zwischenberichtes vor. Dieser kann auf der Seite der LUBW unter <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/54057> heruntergeladen werden. An dieser Stelle werden daher nur die wichtigsten Punkte kurz aufgeführt.

Das Grundwassermodell für die Fragestellungen im Zusammenhang mit der PFC-Problematik besteht aus einem Strömungs- und einem Transportmodell. Als Software werden die Programmsysteme MODFLOW-LUBW und MT3D-LUBW verwendet. Das Strömungsmodell verwendet als Basis, das von United States Geological Survey entwickelte Programm MODFLOW2000. Dabei wird ein Finite-Differenz-Verfahren zur Lösung der Strömungsgleichung verwendet. Das Originalprogramm MODFLOW2000 wurde von der LUBW für die speziellen Fragestellungen im Oberrheingraben erweitert.

Zur Lösung der Transportgleichung kommt das von Zheng und Wang (1999) entwickelte Programm MT3DMS zum Einsatz. Dieses Programm ist auf das Strömungsprogramm MODFLOW angepasst und übernimmt alle erforderlichen Strömungsdaten, um die Transportgleichung zu lösen.

3.2 Abgrenzung des Modellgebiets

Das betrachtete Gebiet für die Fragestellungen im Zusammenhang mit der PFC-Problematik in Mittelbaden umfasst den quartären Lockergesteinsgrundwasserleiter im Oberrheingraben in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden. Für eine abgesicherte Modellbetrachtung ist es notwendig das Modellgebiet für das Grundwassermodell anhand nachvollziehbarer Modellgrenzen, unter Berücksichtigung der natürlichen hydrogeologisch-geohydraulischen Gegebenheiten, abzugrenzen und nach Möglichkeit natürliche geohydraulische Grenzen zur Abgrenzung heranzuziehen. Generell sollten die Modellränder einen genügend großen Abstand vom Aussagegebiet, jenem Bereich des Modellgebiets für welchen später belastbare Aussagen getroffen werden aufweisen, um den Einfluss der Randbedingungen auf die Berechnungsergebnisse im Bereich des Aussagegebiets zu minimieren.

Das Modellgebiet wird entsprechend den Vorgaben aus dem Hydrogeologischen Modell (kup-Bericht A 586-2, kup, 2017) abgegrenzt und erstreckt sich vom Rhein im Westen bis zur Verbreitungsgrenze der quartären Kiesfüllung des Oberrheingrabens im Osten (Schwarzwaldrand) und von Achern im Süden bis Au am Rhein im Norden. Das Modellgebiet umfasst eine Fläche von 218,7 km² und hat eine maximale Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 24,5 km und eine maximale West-Ost-Ausdehnung von ca. 11,5 km. Die Abgrenzung des Modellgebiets ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

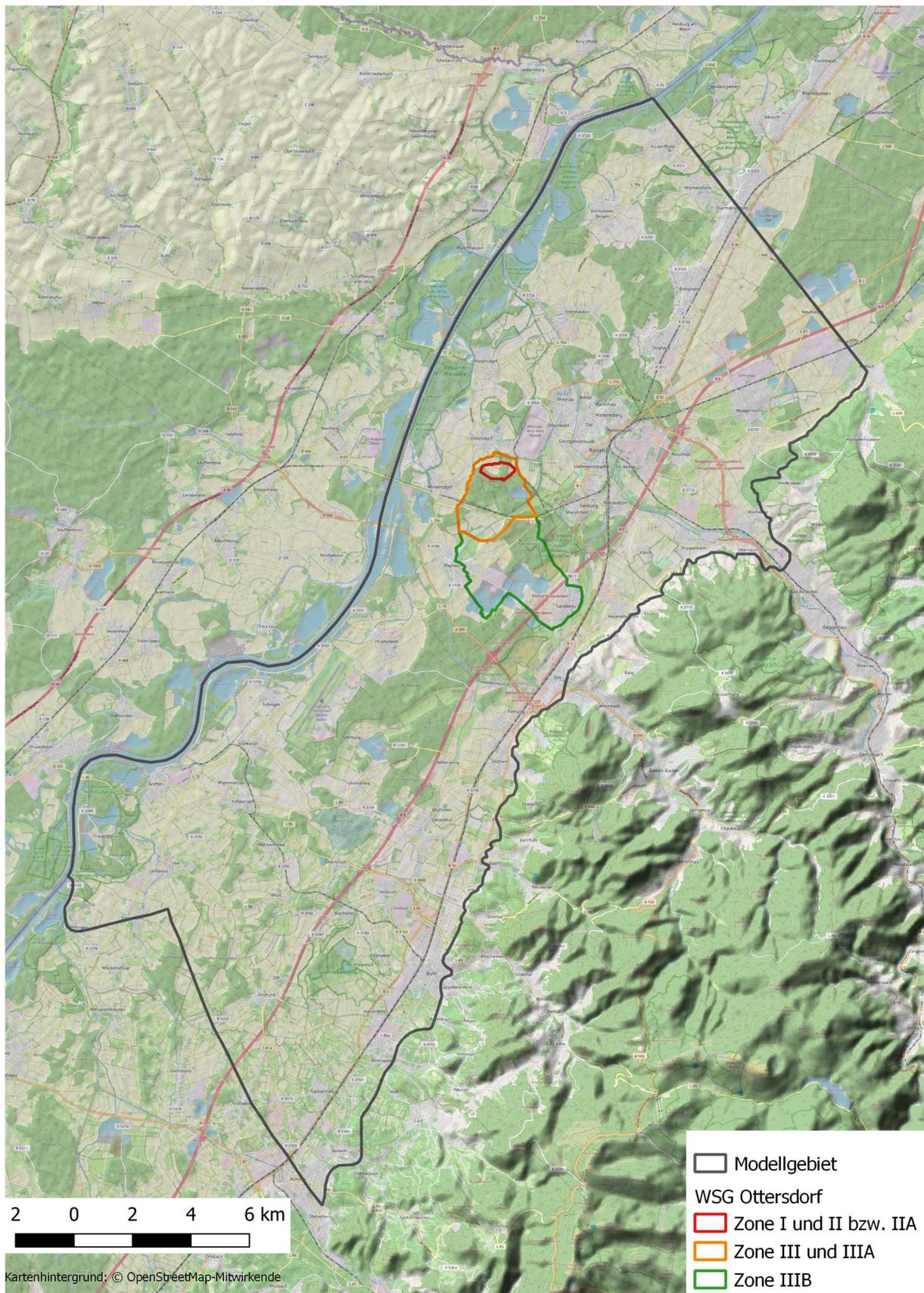


Abbildung 3.1: Modellgebiet

Entsprechend der Abgrenzung des Modellgebietes können die hydrogeologischen Randbedingungen für die einzelnen Abschnitte des Modellrands wie folgt definiert werden:

- **westlicher Rand** (Rhein): Leakage-Randbedingung
- **östlicher Rand** (Verbreitungsgrenze quartäre Füllung der Oberrheingrabens, Schwarzwaldrand): Randzustrom
- **nördlicher und südlicher Rand**: Festpotentialrand.

3.3 *Modelldiskretisierung*

3.3.1 *Horizontale Diskretisierung*

Um den Eintrag, den Transport und ggf. Abwehr- und Sanierungsmaßnahmen im Zusammenhang mit der PFC-Problematik möglichst detailliert mit dem Modell nachbilden zu können, wurde der gesamte Bereich, in dem PFC-Verunreinigungen im Grundwasser beobachtet wurden, in Modellzellen mit einer Rastergröße von 10 m X 10 m diskretisiert. Außerhalb dieses Bereiches wurde eine Rasterweite von 50 m gewählt. Der Verfeinerungsbereich ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Dieses Diskretisierungsschema führt zu 2312 Modellzeilen und 2032 Modellspalten und somit zu 4 707 232 Zellen pro Modellschicht.

3.3.2 *Vertikale Diskretisierung*

Der quartäre Lockergesteinsgrundwasserleiter des Oberrheingrabens im Bereich des Modellgebiets des Landesmodells Mittelbaden lässt sich aufgrund von Unterschieden in den hydrogeologischen Eigenschaften zunächst in 2 Grundwasserleiter Unterteilen: die obere Ortenauformation und die untere Ortenauformation. Die obere Ortenauformation wiederum lässt sich in einen oberen Abschnitt und einen unteren Abschnitt unterteilen. Der gesamte Lockergesteinsgrundwasserleiter wurde vertikal in 12 Modellschichten untergliedert. Die Modellschichten 1 bis 6 bilden hierbei den oberen Abschnitt der oberen Ortenauformation, die Modellschichten 7 bis 10 bilden den unteren Abschnitt der Oberen Ortenauformation und die Modellschichten 11 und 12 die untere Ortenauformation.

Im Modellgebiet gibt es diverse, mehr oder weniger wirksam ausgebildete Zwischenhorizonte: von oben nach unten sind dies FH1 bis FH3, OZH und ZH3. Da die Zwischenhorizonte FH1 und FH2 nur eine vergleichsweise kleine Verbreitung und Mächtigkeit haben, wurden sie zusammengefasst. Dort wo die Zwischenhorizonte vorhanden sind, hat die Modellschicht die Mächtigkeit des Zwischenhorizontes und eine geringe horizontale und vertikale Durchlässigkeit. Die Mächtigkeiten für die wichtigeren Zwischenhorizonte OZH und ZH3 sind räumlich variabel vom LGRB

kartiert. Die Zwischenhorizonte FH1 bis FH3 erhalten eine mit dem LGRB abgestimmte konstante Mächtigkeit (Fh1+Fh2: 2,1 m; FH3: 1,3 m). Sind die Zwischenhorizonte nicht vorhanden, erhält die Modellzelle die Durchlässigkeit des angrenzenden Aquifers.

Es ergibt sich somit für die 12 Modellschichten folgende Zuordnung zu den Hydrogeologischen Einheiten:

- Modellschicht 1: Oberer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 2: FH1/2 bzw. oberer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 3: Oberer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 2: FH3 bzw. oberer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 5: Oberer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 6: Oberer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 7: OZH bzw. unterer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 8: Unterer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 9: Unterer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 10: Unterer Abschnitt der oberen Ortenuformation
- Modellschicht 11: ZH3 bzw. untere Ortenuformation
- Modellschicht 12: Untere Ortenuformation

Die Oberkante der Modellschicht 1 bildet die Basis der Deckschichten. Die Unterkante der Modellschicht 6 wurde auf die Oberkante des OZH gesetzt. Die Oberkante der Modellschicht 6 wurde zwei Meter über die Unterkante gelegt, da vom LGRB oberhalb des OZH eine etwa 2 m mächtige, sogenannte Grobkieslage identifiziert wurde. Die Schichten zwischen Modellschicht 1 und Modellschicht 6 wurden gleichmäßig, unter Berücksichtigung eventuell vorhandener Zwischenhorizonte, verteilt.

Die Unterkante der Modellschicht 10 wurde auf die Oberkante des ZH3 gesetzt. Darüber wurde ebenfalls eine 2 m mächtige Modellschicht zur Abbildung einer Grobkieslage gelegt. Die Schichten zwischen Modellschicht 7 und Modellschicht 10 wurden ebenfalls gleichmäßig, unter Berücksichtigung des eventuell vorhandenen OZH, verteilt.

Die Modellunterkante bildet die vom LGRB kartierte Aquiferbasis. Modellschicht 11 und 12 erhalten entweder die gleiche Mächtigkeit, oder bei Vorhandensein des ZH3 erhält Modellschicht 12 die komplette Mächtigkeit der unteren Ortenuformation und Modellschicht 11 die Mächtigkeit des ZH3.

3.4 Äußere Randbedingungen

3.4.1 Östlicher Modellrand (Schwarzwaldrand, Vorbergzone)

Der östliche Rand des Modellgebiets ist gegeben durch die Verbreitungsgrenze der quartären Kiesfüllung des Oberrheingrabens. Aus dem Bereich des Schwarzwalds kommt es zum Grundwasserzustrom über den östlichen Modellrand. Der Großteil des Grundwasserzustroms erfolgt hierbei über die quartären Lockergesteinsgrundwasserleiter in den angrenzenden Schwarzwaldtälern (z. B. Murgtal). Dieser unterirdische Randzustrom wurde im Zuge der LOGAR-Bearbeitung von der LUBW ermittelt und unverändert übernommen. Der Einfluss des unterirdischen Randzustroms wird in einer Sensitivitätsstudie untersucht.

3.4.2 Westlicher Modellrand (Rhein)

Den westlichen Rand des Modellgebiets bildet der Rhein. Dieser wurde als Leakage-Randbedingung über das sogenannte River-Package des Modellsystems MODFLOW im Grundwassermodell implementiert. Hierbei wird dem Grundwassermodell der Wasserspiegel des Rheins für jede Modellzelle entlang des Rands vorgegeben. In Abhängigkeit von Rhein- und Grundwasserspiegel sowie der hydraulischen Durchlässigkeit des Rheinbettes kommt es zur Infiltration von Wasser aus dem Rhein in den Grundwasserleiter bzw. zur Exfiltration von Grundwasser in den Rhein. Im Gegensatz zu anderen Wasserversorgungsbrunnen im Modellgebiet ist der Rhein, aufgrund seiner Entfernung, für das Wasserwerk Ottersdorf von untergeordneter Bedeutung. Die Sensitivität auf das Modellergebnis im Bereich Wasserschutzgebiet Ottersdorf wurde daher nicht untersucht.

3.4.3 Nördlicher und südlicher Modellrand

Der nördliche und der südliche Rand des Modellgebiets wurden als Festpotentialränder im Modell berücksichtigt. Für den Bereich des Wasserschutzgebietes Ottersdorf sind die beiden Modellränder aufgrund ihrer Entfernung von untergeordneter Bedeutung. Die Sensitivität auf das Modellergebnis im Bereich WW Ottersdorf wurde daher nicht untersucht.

3.5 Innere Randbedingungen

3.5.1 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildungsraten für das Modellgebiet wurden mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW berechnet und von der LUBW auf Tagesbasis bereitgestellt. Für die stationäre Kalibrierung wurde das langjährige Mittel

angesetzt. Für die instationäre Rechnung wurden die entsprechenden Monatswerte verwendet.

3.5.2 Gewässernetz

Der Rhein stellt für das Modell Mittelbaden den Westlichen Modellrand dar. Er wird über das River-Package simuliert, bei dem die Wasserspiegel des Oberflächengewässers vorgegeben werden. Alle weiteren Oberflächengewässer innerhalb des Modellgebietes wurden mit dem sogenannten Streamflow-Ansatz des Modellsystems Modflow abgebildet. Hierbei wird der Wasserspiegel in den Gewässern entsprechend dem Durchfluss über eine Normalabflussbeziehung berechnet. Wobei der Durchfluss im Gewässer für jede Modellzelle über die Bilanzierung der Zu- und Abflüsse inklusive des Austauschs mit dem Grundwasserleiter ermittelt wird. Diese Vorgehensweise erfordert eine Segmentierung der Gewässerabschnitte und die Erstellung eines Fließschemas für das gesamte Gewässernetz. Im Gegensatz zum River-Ansatz wird beim Streamflow-Ansatz der Wasserspiegel im Oberflächengewässer nicht fest vorgegeben. Dies ist insbesondere für die Berechnung des Grundwasseraustauschs mit kleinen Gewässern (mit einem geringen Abfluss) zielführend, da hier der Wasserstand im Gewässer und somit die Potentialdifferenz zwischen Gewässer und Grundwasser (die treibende Größe für den Grundwasser-Oberflächenwasser-Austausch) entsprechend des Abflusses im Gewässer berechnet wird. Fällt das Gewässer temporär trocken impliziert dies im Modell automatisch einen Austausch von 0.

3.6 Baggerseen

Die hydraulischen Verhältnisse in den Baggerseen wurden über vergleichsweise große Durchlässigkeiten nahe 1 m/s abgebildet. Dies hat zur Folge, dass sich innerhalb des Baggersees näherungsweise gleiche Piezometerhöhen, sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen ergeben und sich ein ebener Grundwasserspiegel einstellt. Zusätzlich wurde für die instationäre Strömung der Speicherkoeffizient zu 1,0 gesetzt, um die instationären Speicher- und Entleerungsprozesse innerhalb der Baggerseen abbilden zu können. Zusätzlich wurde im Transportmodell der Wasserkörper eines Baggersees in jedem Transportzeitschritt horizontal und vertikal durchmischt. Im Anstrom auf das Wasserwerk Ottersdorf tragen die Baggerseen Kühl/Peter, Peter/Kern und der Kaltenbachsee zu einer beschleunigten Verlagerung der PFC-Konzentrationen in die Tiefe bei.

4 Grundwasserströmungssituation im WSG Ottersdorf

Die mit dem Grundwassermodell für mittlere Verhältnisse berechnete Strömungssituation bei Betrieb der 3 bestehenden Brunnen mit 29 l/s zeigt Abbildung 4.1 für den mittleren Grundwasserleiter.

Unterstrom der beiden Baggerseen Kühl/Peter und Peter/Kern ist die Grundwasserströmungsrichtung zunächst Nord/Nordwestlich gerichtet. Im Bereich des Übergangs von Zone III B zur Zone IIIA dreht sich die Strömungsrichtung langsam. Die dominierende Strömungsrichtung ist nun Nord/Nordosten.

Der hydraulische Gradient nimmt in Strömungsrichtung ab. Im südlichen Bereich des WSG Ottersdorf liegt er bei ca. 1-1,5 Promille. Im Bereich der Zone 2 sinkt er auf 0,2 bis 0,4. Ursache hierfür ist die Zunahme der Aquifermächtigkeit und damit verbunden eine Zunahme der Transmissivität sowie die Grundwasserentnahme der Stadtwerke Rastatt

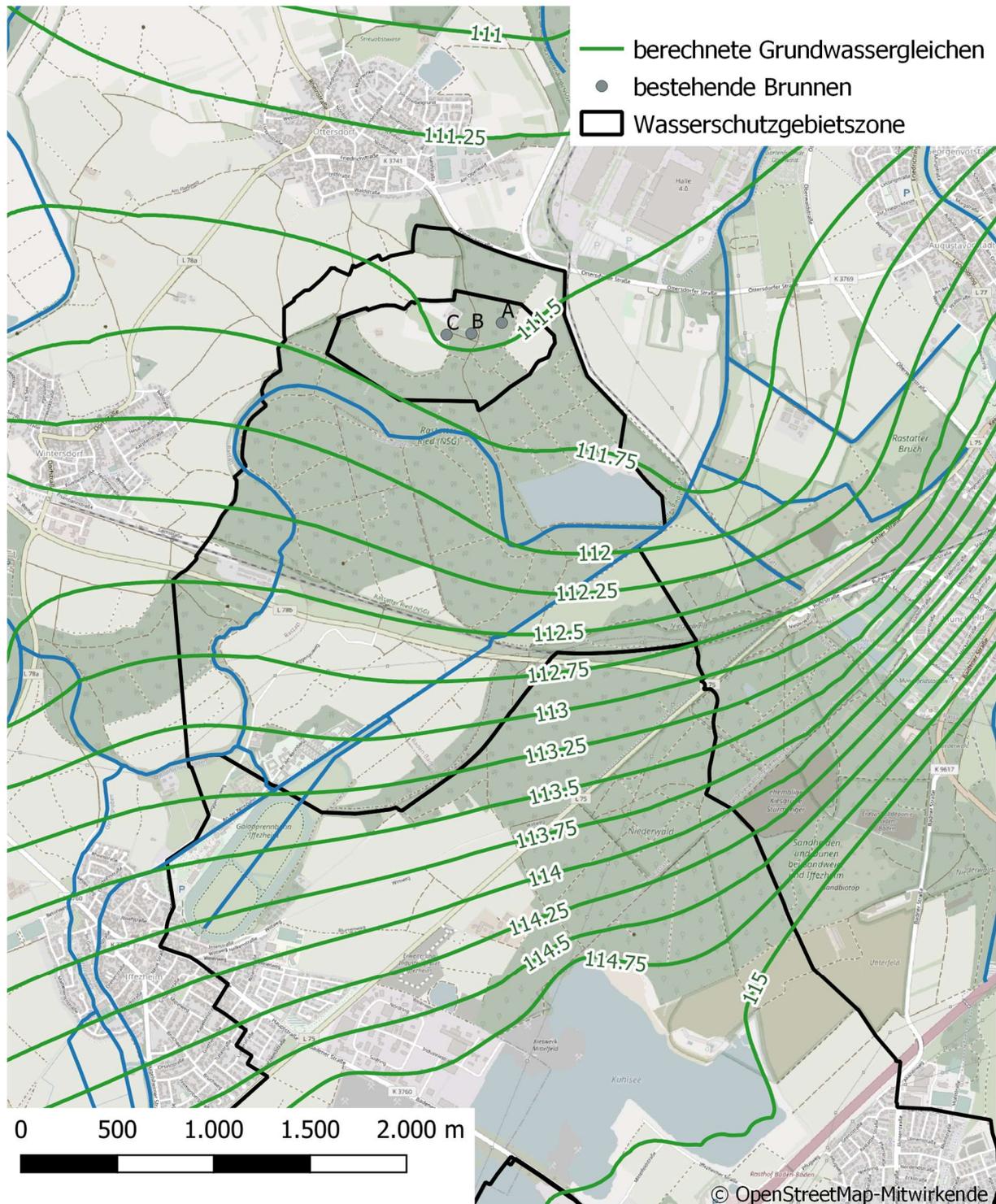


Abbildung 4.1: Berechnete Grundwassergleichen für Mittlere Verhältnisse im Wasserschutzgebiet Ottersdorf

5 PFC-Situation im WSG Ottersdorf

Im Wasserschutzgebiet Ottersdorf liegen zahlreiche mit PFC belastete landwirtschaftliche Eintragsflächen. Zur Gruppe PFCs gehören eine Vielzahl Einzelverbindungen. Mittlerweile wird die Gruppe der PFCs überwiegend als PFAS bezeichnet. In diesem Bericht wird die Bezeichnung PFC verwendet. Bewertungsmaßstab für die PFC-Belastung des Bodens hinsichtlich des Wirkungspfads Boden-Grundwasser sind die für eine Grundwasserbelastung geltenden Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) sowie die Quotientensumme (QS). Die QS wird dabei gebildet aus der PFC-Konzentration des Bodeneluats und dem derzeit gültigen GFS-Wert für alle untersuchten PFC-Spezies. Ist die Quotientensumme im Eluat größer 1, so wird die Fläche als belastet eingestuft. Ist die QS kleiner 1, so wird die Fläche als "unbelastet" eingestuft. Dennoch wird auch für diese Flächen im Grundwassermodell eine Eintragsfunktion kalibriert.

Abbildung 5.1 zeigt die untersuchten PFC Flächen. Die Mehrzahl der belasteten Flächen liegt dabei im südöstlichen Bereich des Wasserschutzgebiet Ottersdorf, bzw. südlich davon.

Abbildung 5.2 zeigt die zeitliche Entwicklung der gemessenen Quotientensumme an 3 Grundwassermessstellen im Anstrom auf das Wasserwerk Ottersdorf. Die Messstelle 2106/211-2 ist ca. 2800 m von den Brunnen entfernt. Hier steigen die Messwerte seit 2014 kontinuierlich an. Aktuell beträgt die gemessene Quotientensumme 8- 10.

Die Messstelle 3167/211-4 liegt ca. 600 m unterstrom und somit ca. 2200 m von den Brunnen entfernt. Sie reagiert der Fließzeit entsprechend 2-3 Jahre verzögert. Auch hier werden aktuell sehr hohe PFC-Konzentrationen gemessen. Die Quotientensumme liegt bei 6 -8.

Die Messstelle 3167/211-4 liegt ca. 600 m unterstrom und somit ca. 2200 m von den Brunnen entfernt. Sie reagiert der Fließzeit entsprechend 2-3 Jahre verzögert. Auch hier werden aktuell sehr hohe PFC-Konzentrationen gemessen. Die Quotientensumme liegt bei 6 -8.

Die Messstelle 2130/211-9 liegt ca. 1400 m von den Brunnen entfernt. Ihr Anstieg scheint flacher und verzögerter zu sein. Als Gründe kommen die zunehmende Verdünnung entlang der Fließstrecke und die mit der Fließstrecke zunehmende Wirkung der Retardation insbesondere der langkettigen PFCs in Betracht. Jedoch verdoppelte sich auch an dieser Messstelle die gemessene Quotientensumme zwischen 2018 und 2020. Der letzte vorliegende Messwert aus dem Jahr 2020 liegt bei einer Quotientensumme von 0,8 und damit nur noch knapp unter dem Schwellenwert von 1.

Abbildung 5.3 zeigt den Vergleich der im Grundwasser gemessenen Quotientensumme mit der mit dem Grundwassermodell berechneten Quotientensumme für den Bereich des Wasserschutzgebietes Ottersdorf.

Es wird deutlich, dass die Hauptbelastung von PFC im Grundwasser im östlichen Teil des Wasserschutzgebietes liegt. Das Modell kann die Belastungssituation gut nachbilden. Im Nachbereich der bestehenden Brunnen der Stadtwerke Rastatt berechnet das Modell den PFC-Transport zu schnell. Mögliche Ursachen hierfür sind eine höhere Retardation als im Modell angenommen, ein zusätzlicher Rückhalt von PFC in der Sohle des Kaltenbachsees, oder eine Unterschätzung des Austrags von PFC über den Riedkanal.

Mit einer leichten Überschätzung der PFC-Situation im Wasserwerk Ottersdorf liegt das Modell aber für die PFC-Prognosen auf der sicheren Seite.

Da die PFC-Situation im westlichen Teil der Zone II des Wasserschutzgebietes deutlich besser ist, konzentrierte sich die Standortfindung für weitere Brunnen auf diesen Bereich. Mehrere Varianten wurden untersucht.

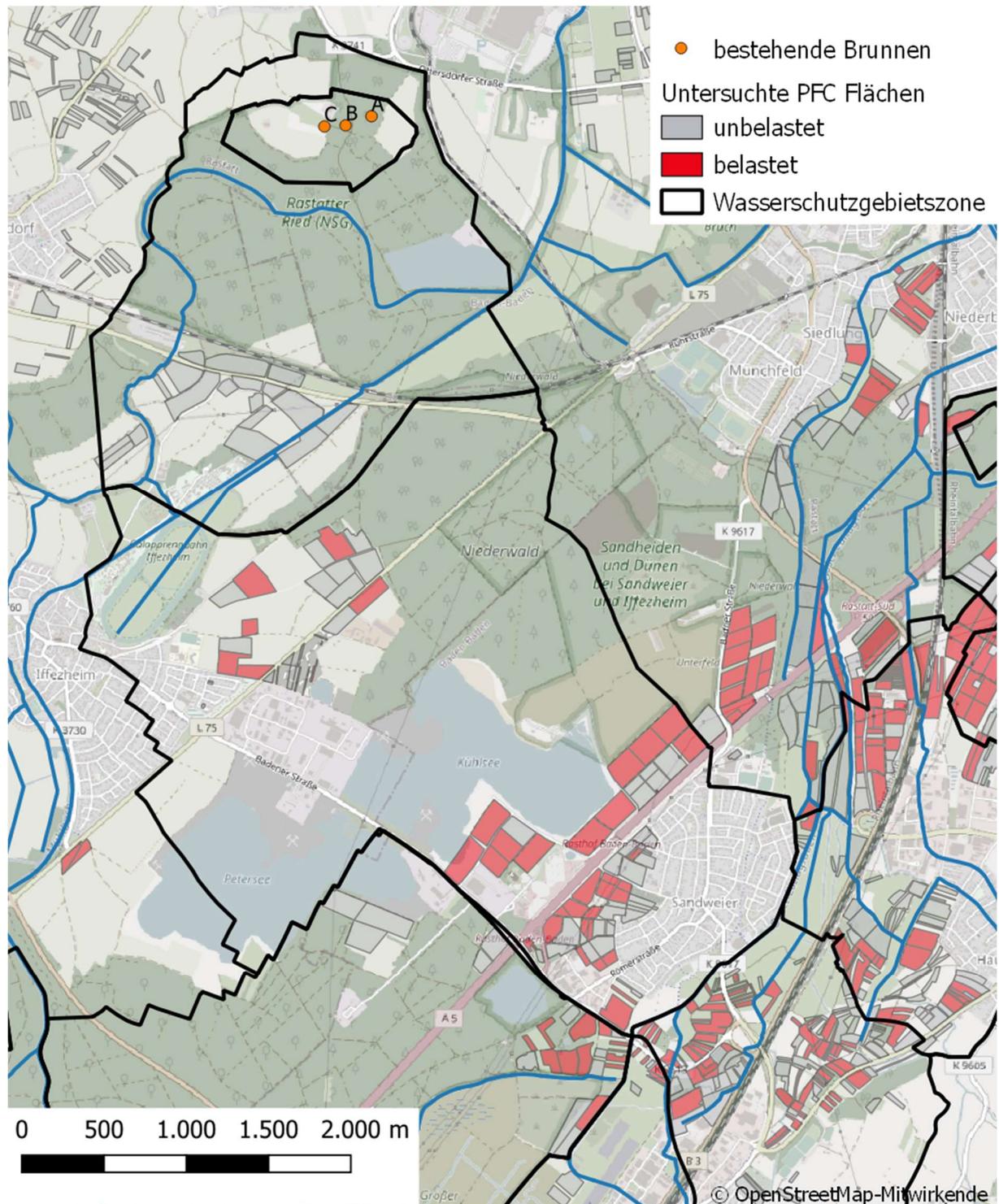


Abbildung 5.1: Untersuchte PFC-Flächen im Bereich des Wasserschutzgebietes Ottersdorf

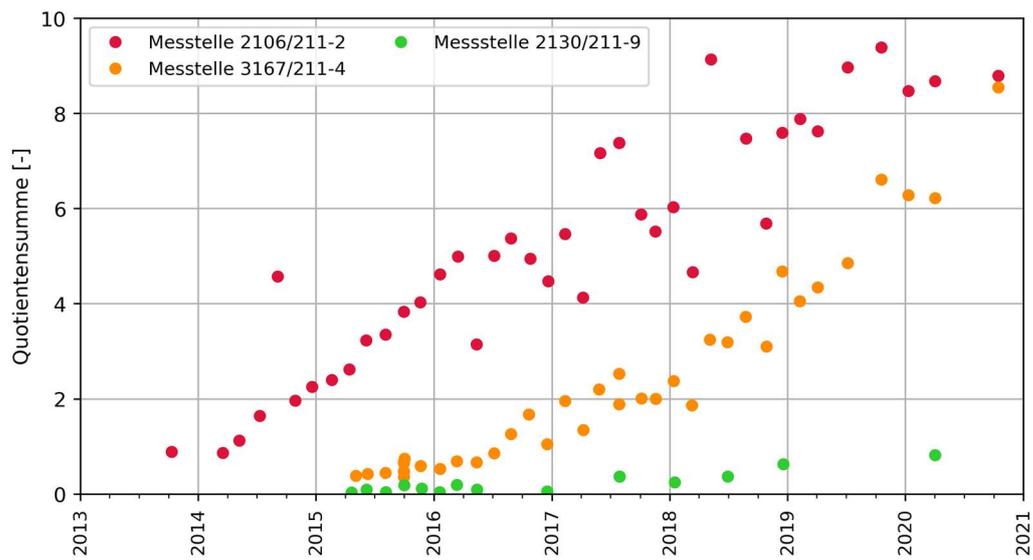


Abbildung 5.2: Zeitliche Entwicklung der gemessenen Quotientensumme an 3 Messstellen im Zustrom auf das Wasserwerk Ottersdorf

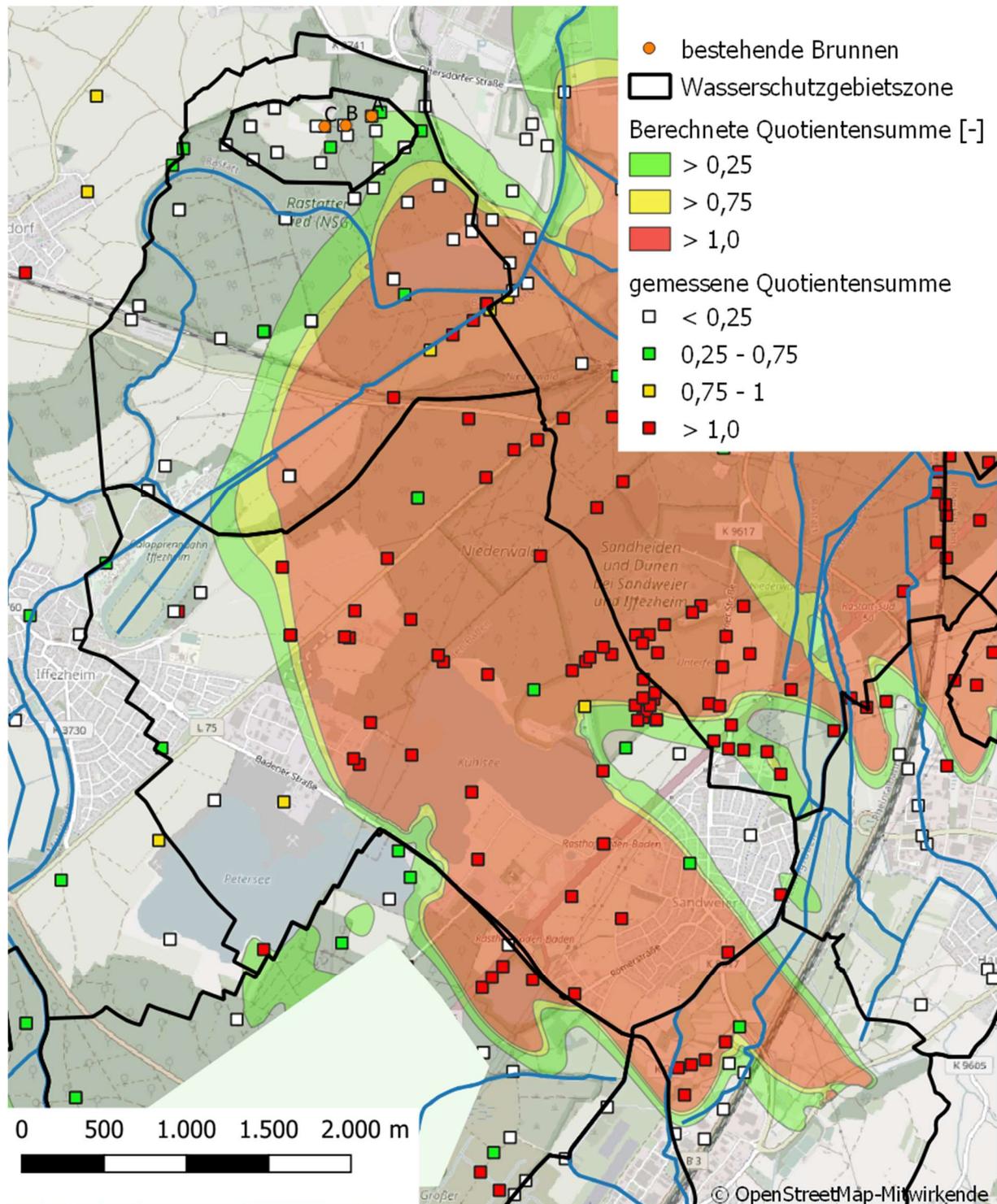


Abbildung 5.3: Im Grundwasser gemessene und mit dem Grundwassermodell berechnete Quotientensumme im Oberen Grundwasserleiter

6 Prognose der zu erwartenden Grundwasserstände

6.1 Betrachtete Entnahmeszenarien

Für den Normalbetrieb, d.h. Versorgung zu gleichen Teilen aus den Wasserwerken Ottersdorf und Rauental, werden gemäß der aktuellen Planung die Entnahmeraten wie in Tabelle 6.1 angesetzt. Im Falle einer notwendigen Alleinversorgung durch das Wasserwerk Ottersdorf werden die Entnahmeraten gemäß dem Szenario „Notbetrieb“ angesetzt.

Zur Ermittlung der resultierenden Veränderungen der Grundwasserstände dient das Status-Quo-Szenario.

Tabelle 6.1: Entnahmeszenarien

Brunnen	Status Quo [l/s]	Normalbetrieb [l/s]	Notbetrieb [l/s]
Brunnen D	0	16	36
Brunnen E	0	32	71
Brunnen F	0	13	24
Brunnen A	29	0	0
Brunnen B	29	5	5
Brunnen C	29	5	5
Summe	87	71	141

6.2 Grundwasserverhältnisse für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf

Mit dem kalibrierten Strömungsmodell wurden die Auswirkungen einer Entnahme von 71 l/s im Wasserwerk Ottersdorf auf den Aquifer ermittelt. Abbildung 6.1 zeigt die berechneten Grundwassergleichen im Wasserschutzgebiet Ottersdorf für den Mittleren Grundwasserleiter.

Die grundsätzliche Strömungssituation ändert sich durch die geänderte Entnahmesituation nicht. Im Bereich der Zone II sind die Auswirkungen der Umschichtung der Entnahmerate zu den geplanten Brunnen in den westlichen Bereich der Zone II erkennbar.

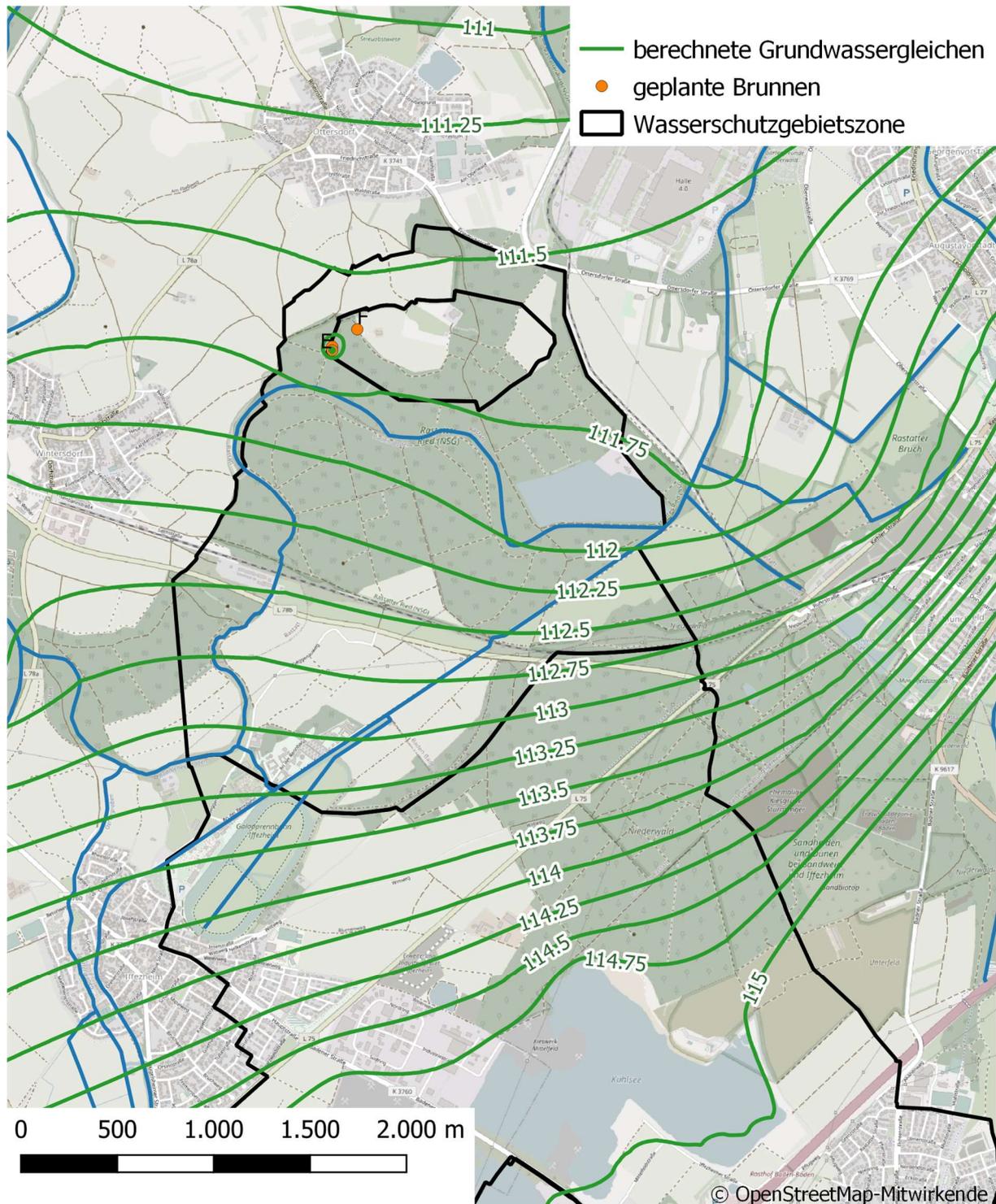


Abbildung 6.1: Berechnete Grundwassergleichen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf

In den Abbildungen Abbildung 6.2 bis Abbildung 6.4 sind die mit dem Grundwassermodell berechneten Absenkungen im Vergleich zum Status Quo Szenario für den Unteren, Mittleren und oberen Grundwasserleiter dargestellt.

Die Entnahme findet im Mittleren und Unteren Grundwasserleiter statt, daher sind hier die Absenkungsbeträge in Brunnennähe etwas größer und die einzelnen Brunnenstandort zeichnen sich ab.

Für die kleineren Absenkungsbeträge (7,5 cm und kleiner) sieht der Absenkungstrichter in allen 3 Grundwasserleitern sehr ähnlich aus. Aufgrund des Fehlens mächtiger, hydraulisch wirksamer Trennhorizonte und des stationären Modellansatzes, bei dem die Entnahme quasi unendlich lang, bei konstanten Randbedingungen wirkt, paust sich die Wirkung über alle 3 Stockwerke durch.

Die Fläche des Bereiches mit einer Absenkung von 5 cm und mehr beträgt ca. 45 ha. Aufgrund der Entnahmereduktion an den 3 bestehenden Brunnen von 87 l/s auf 10 l/s werden hier vergleichsweise große Grundwasseraufhöhungen ermittelt. So ist die Fläche mit einer Aufhöhung von 5 cm mit ca. 90 ha doppelt so groß als die entsprechende Absenkungsfläche.

Die maximalen Absenkungen an den Brunnen betragen im mittleren Grundwasserleiter am Brunnen E ca. 78 cm und im unteren Grundwasserleiter am Brunnen D 54 cm

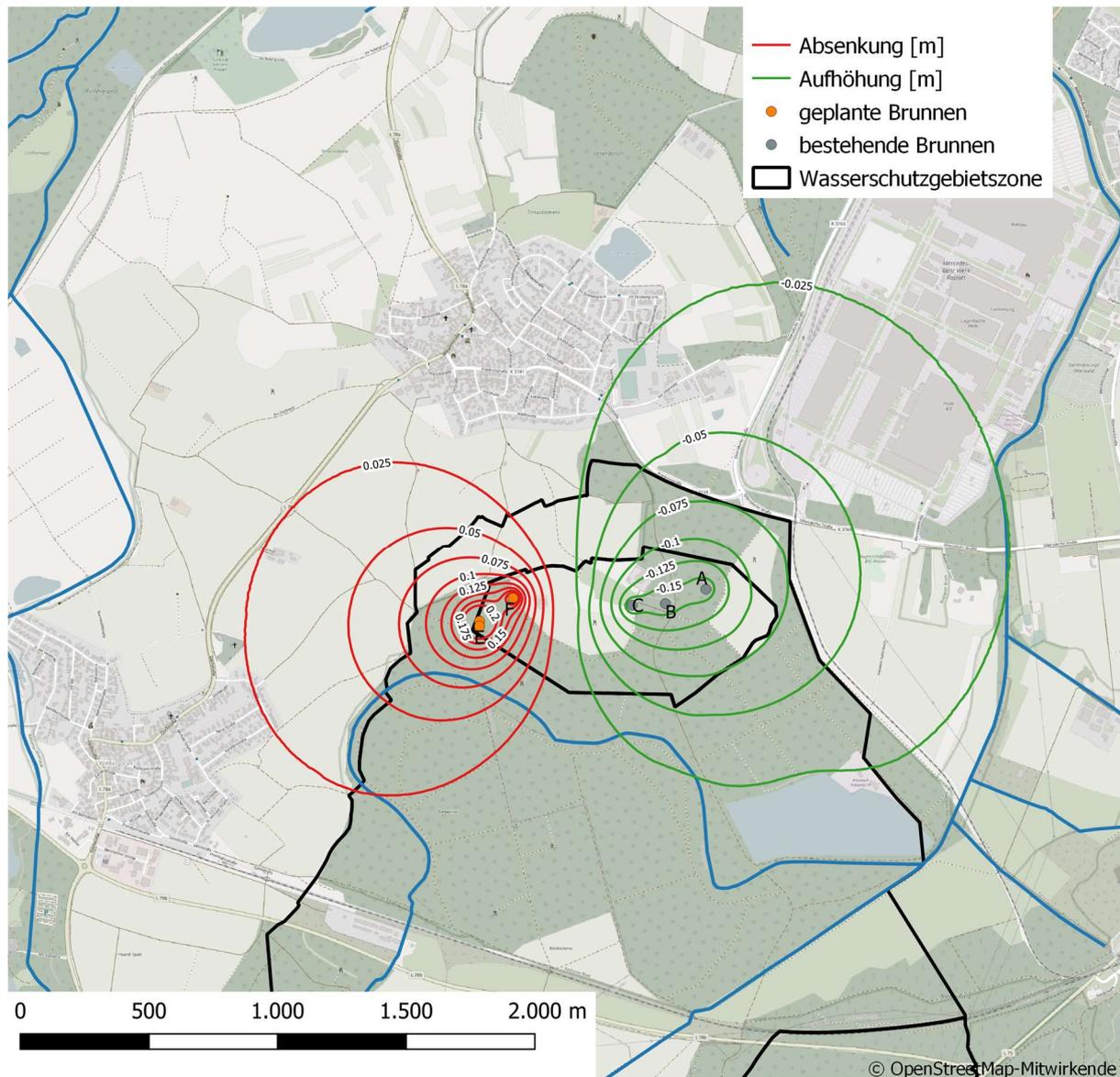


Abbildung 6.2: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Unteren Grundwasserleiter

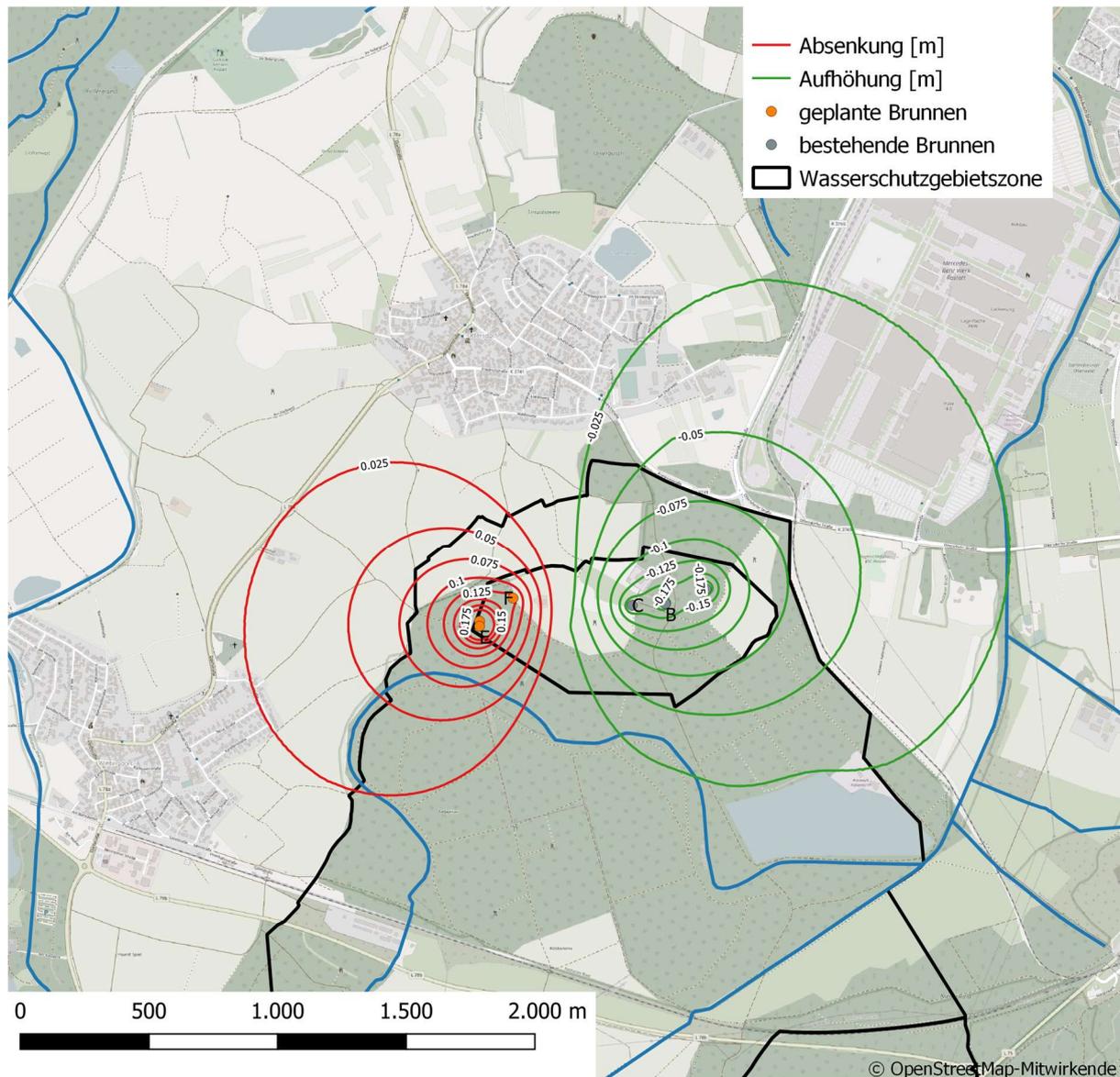


Abbildung 6.3: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Mittleren Grundwasserleiter

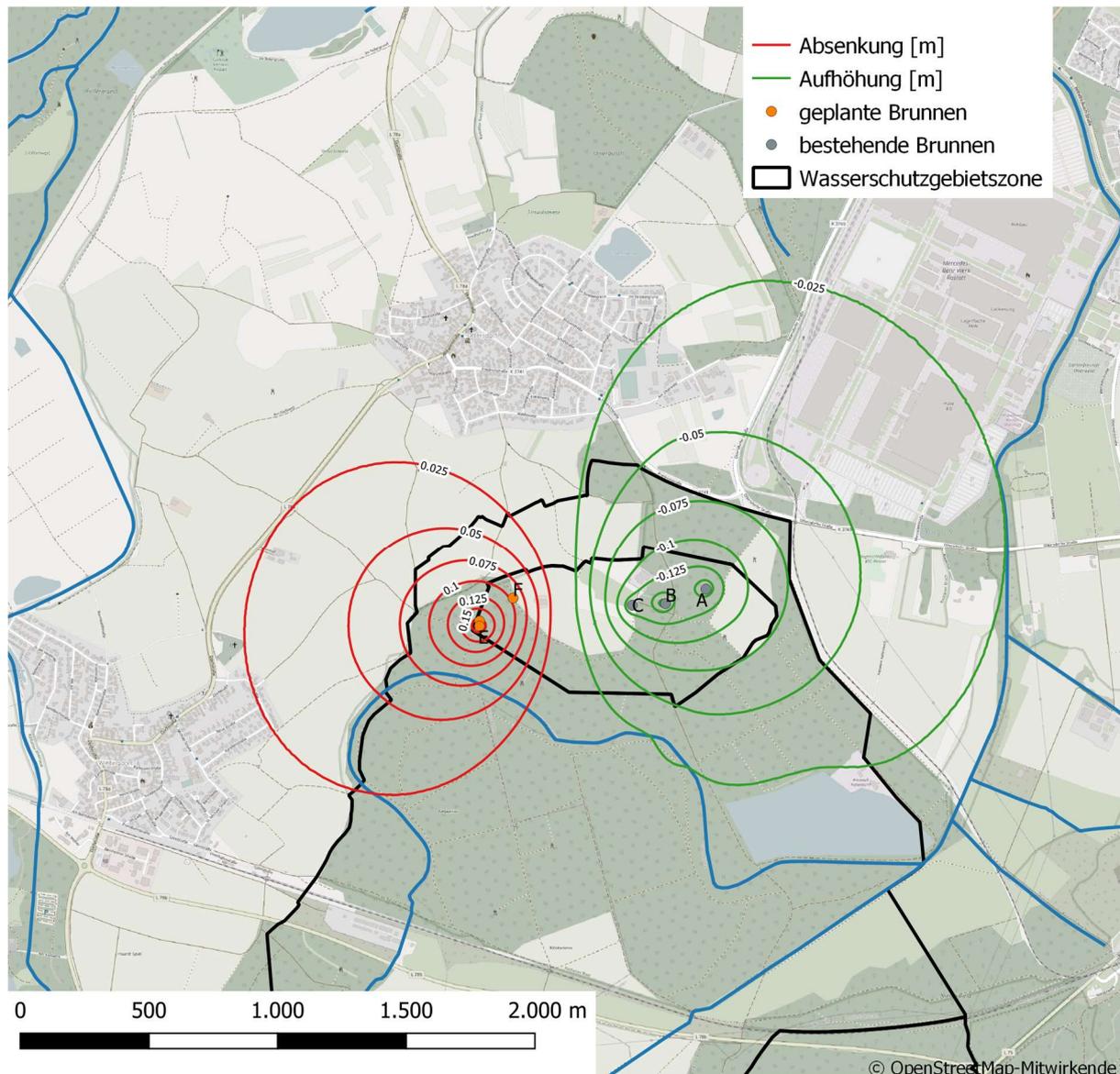


Abbildung 6.4: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Oberen Grundwasserleiter

6.3 Grundwasserverhältnisse für den Notbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf

Im Falle eines Ausfallens des Wasserwerkes Rauental, stellt das Wasserwerk Ottersdorf das einzige Standbein der Stadtwerke Rastatt dar. Für eine Entnahme von 141 l/s aus dem Wasserwerk Ottersdorf ergibt sich im Oberen Grundwasserleiter eine Verteilung der Absenkungen wie in Abbildung 6.5.

Der Bereich mit Absenkungsbeträgen über 5 cm vergrößert sich in diesem Falle auf ca. 250 ha.

Es ist anzumerken, dass es sich hierbei um einen Notbetrieb handelt. Der stationäre Modellansatz, gleichbedeutend mit einer unendlich lang andauernden Entnahme von 141 l/s, stellt daher den Worst-Case dar.

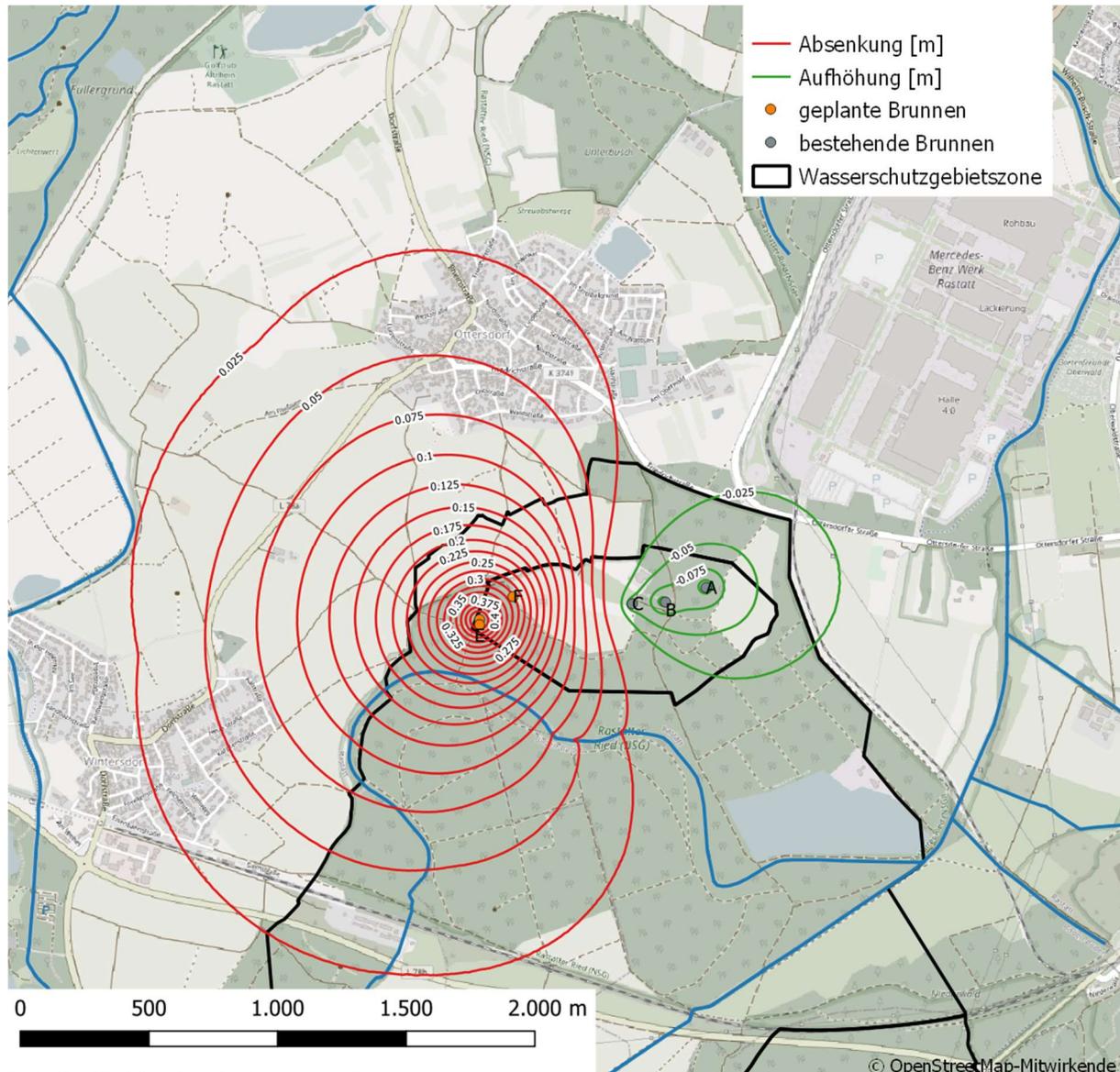


Abbildung 6.5: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Notbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Oberen Grundwasserleiter

6.4 Reaktion des Mühlwerlgrabens

Der Mühlwerlgraben fließt durch den Bereich mit Grundwasserabsenkungen und Grundwasseraufhöhungen. Im Status Quo Szenario, nimmt der Mühlwerlgraben bis zu der Stelle, wo er parallel zum Kaltenbachsee nach Osten verläuft, ca. 80 l/s auf. Für das Szenario Normalbetrieb reduziert sich dieser Wert um ca. 8 l/s, für den

Notfallbetrieb um ca. 23 l/s. Auch hier ist anzumerken, dass die stationäre, d.h. unendlich lange, Betrachtung des Notfallbetriebes den Worst Case darstellt.

7 Abgrenzung des Einzugsgebiets mit Hilfe des Modells für den Normalbetrieb

Zur modellgestützten Ermittlung des Einzugsgebiets stehen folgende zwei Methoden zur Verfügung:

- **Bahnlinienbetrachtung:** Mit Hilfe der Simulation von Bahnlinien wird der Zuströmungsbereich identifiziert, der sich aus dem reinen advektiven Transport von Wasserinhaltsstoffen ergibt. Quervermischungsprozesse sind dabei nicht mitberücksichtigt.
- **Transportbetrachtung mit invertierter Strömung:** Bei der Transportbetrachtung mit invertierter Strömung werden sowohl advektive als auch dispersive Transportprozesse betrachtet. Dabei wird die Längs- und Quervermischung von Wasserinhaltsstoffen in natürlichen Grundwasserleitern berücksichtigt, die dazu führt, dass auch Wasserteilchen außerhalb des advektiv abgegrenzten Einzugsgebiets dem Trinkwasserbrunnen zufließen. Nach der bayrischen Schutzgebietsausweisung lassen sich damit sogenannte Zuspeisungswahrscheinlichkeiten zum Brunnen ermitteln.

Da aus der Bearbeitung der PFC-Problematik mit dem Landesmodell Mittelbaden bereits ein kalibriertes Transportmodell vorliegt, wird die Transportbetrachtung bei invertierter Strömung genutzt, um das Einzugsgebiet der geplanten Brunnen Ottersdorf abzugrenzen.

Die Zuspeisungswahrscheinlichkeit ist nach dem LFU-Merkblatt Nr. 1.2/7 ein wichtiges Kriterium bei der Schutzgebietsausweisung in Bayern. Insbesondere bei lang gestreckten Einzugsgebieten spielt dabei die Dispersion eine wichtige Rolle, die zusätzlich zum reinen advektiven Transport eine Querkomponente und damit einerseits eine Verbreiterung der Einzugsgebietsfläche aber auch eine Verdünnung bewirkt. Von Procher (2005) wurde eine analytische Methode entwickelt, um die Aufspreizung des Einzugsgebiets anhand von analytischen Methoden abzuschätzen. Mit dem vorhandenen Transportmodell ist die Ermittlung der Zuspeisungswahrscheinlichkeit auch numerisch möglich und hat den Vorteil, dass die dreidimensionale Grundwasserströmung konsistent erfasst wird.

Mit Hilfe einer entgegen der Strömungsrichtung durchgeführten Transportsimulation wurden das Einzugsgebiet und die Zuspeisungswahrscheinlichkeit ermittelt. Dazu wurde das stationäre Strömungsfeld invertiert, so dass sich an den Brunnen Ottersdorf eine Zugabe einstellt. Die „rechnerische Zugabe“ an den Brunnen wurde dauerhaft mit einer Konzentration von 1 oder 100% markiert. Die Zuspeisungswahrscheinlichkeit im Einzugsgebiet ergibt sich dann direkt aus der ermittelten Konzentrationsverteilung. Die Berechnungen erfolgten für eine Längsdispersion von 40 m.

Das so ermittelte gemeinsame Einzugsgebiet für die Brunnen D und E für eine Entnahmerate von 71 l/s aus dem Wasserwerk Ottersdorf ist in Abbildung 7.1 dargestellt. Es erstreckt sich von den Brunnen 4 km in südlicher Richtung bis zum Peter/Kernsee. Beim Erreichen des Sees wurde das Einzugsgebiet begrenzt. Rechnerisch gehört der See somit noch zum Einzugsgebiet der Brunnen. Der Bereich mit einer Zuspisungswahrscheinlichkeit von mehr als 25% („mittlere Schutzbedürftigkeit“) hat eine Breite von bis zu 650 m.

Der Vergleich zwischen dem berechneten Einzugsgebiet und der festgesetzten Zone III zeigt, dass nahezu das gesamte berechnete Einzugsgebiet im zugehörigen Schutzgebiet Ottersdorf enthalten ist. Die westliche Grenze des ermittelten Einzugsgebietes verläuft in etwa parallel zur westlichen Schutzgebietsabgrenzung. Im Nahbereich ragt das Einzugsgebiet leicht über die bestehende Zone IIIA hinaus.

Das entsprechende Einzugsgebiet für den Brunnen F zeigt Abbildung 7.2. Da unmittelbar Oberstrom des Brunnens das Einzugsgebiet der Brunnen D und E mit größeren Entnahmeraten liegt, ist das Einzugsgebiet des Brunnen F zweigeteilt und umströmt die Brunnen D und E östlich und westlich. Die höchsten Zustromwahrscheinlichkeiten und analog damit die hauptsächlich zuströmende Wassermenge, kommt aus dem östlichen Bereich. Im Fernfeld ist das Einzugsgebiet analog zu dem der Brunnen D und E bei kleineren Zustromwahrscheinlichkeiten.

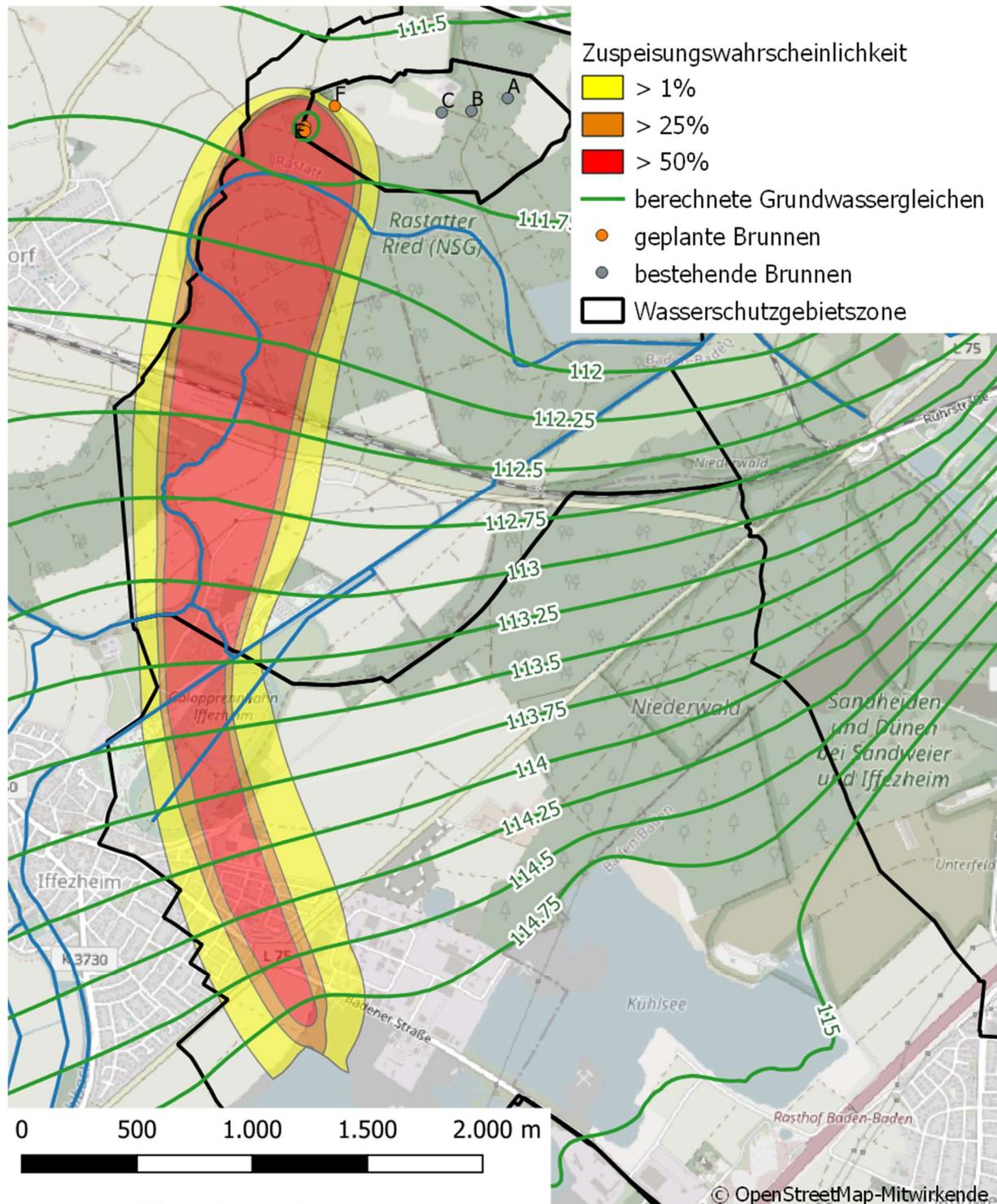


Abbildung 7.1: Abgrenzung des Einzugsgebietes für die Brunnen D und E bei einer Entnahme von 71 l/s aus dem Wasserwerk Ottersdorf.

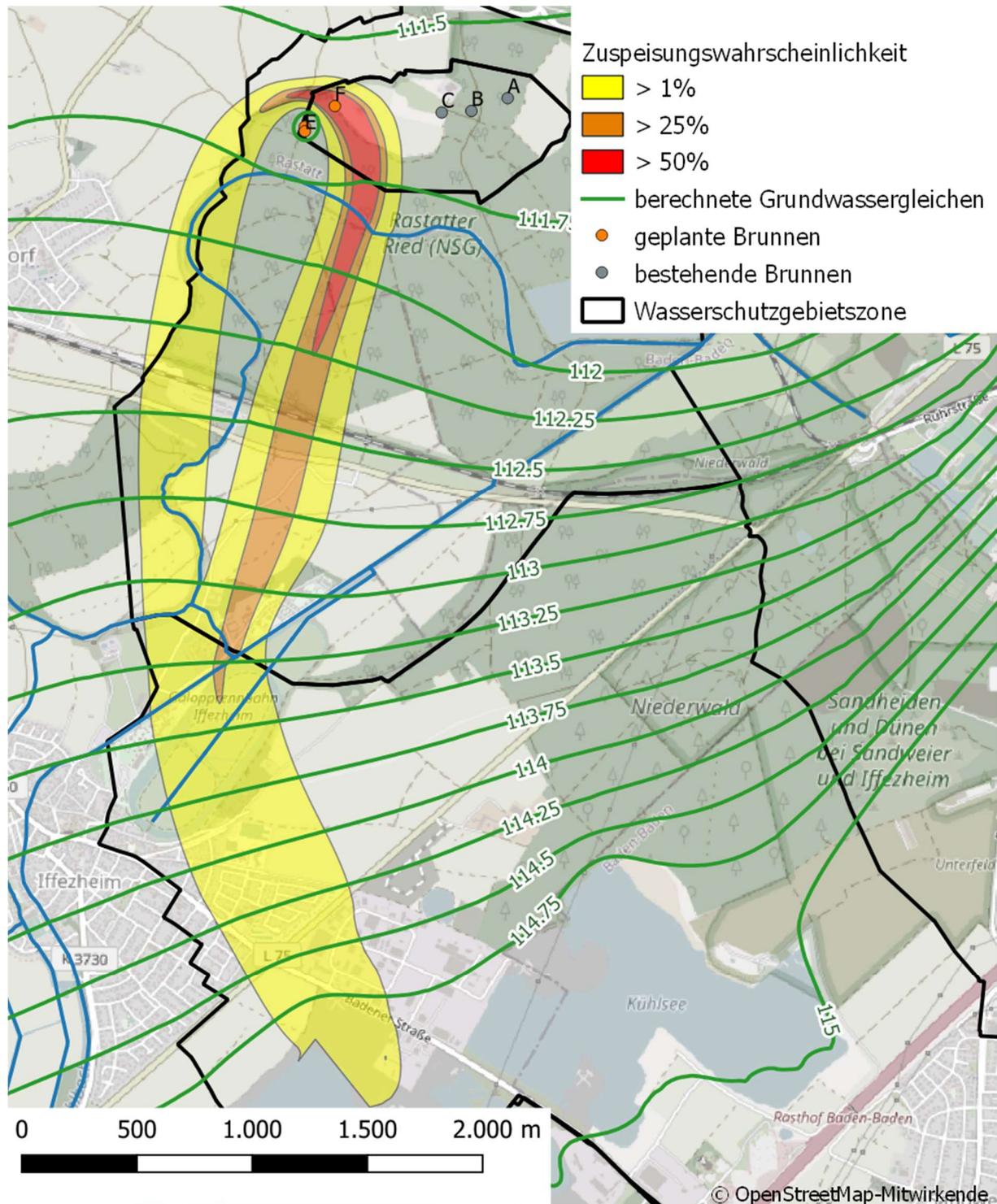


Abbildung 7.2: Abgrenzung des Einzugsgebietes für den Brunnen F bei einer Entnahme von 71 l/s aus dem Wasserwerk Ottersdorf.

8 Prognose der PFC-Konzentrationen

Mit Hilfe des Grundwassermodells, das sowohl hinsichtlich Grundwasserströmung als auch bezüglich des PFC-Eintrags über die landwirtschaftlichen Flächen intensiv kalibriert wurde, wurden Modellprognosen zur weiteren Entwicklung der PFC-Konzentrationen im Wasserschutzgebiet Ottersdorf durchgeführt. Zur Interpretation der Prognosen ist zu beachten, dass mit dem Modell die aktuelle PFC-Situation und die zeitliche Entwicklung in der Vergangenheit näherungsweise abgebildet werden. Allerdings ergeben sich aufgrund der im Vergleich zu den Grundwasserströmungsverhältnissen dünnen Datengrundlage entsprechende Unschärfen, die insbesondere auch die Prognosen beeinflussen. Zu nennen sind hierbei allgemeine Unsicherheiten die die Transportsimulation im Grundwasser betreffend, die zusätzliche Unsicherheit bzgl. des Transports von PFC im Besonderen, Unsicherheiten bei der Prognose der zeitlichen Entwicklung des zukünftigen Austrags von PFC aus den landwirtschaftlichen Flächen und zusätzliche Unsicherheiten bestehen aufgrund der beschränkten Kenntnisse zu den Vorläufersubstanzen und deren Abbau unter Freisetzung von PFC.

Aus diesen Unschärfen resultiert eine Bandbreitenbetrachtung, die eine günstige und ungünstige Prognose der weiteren zeitlichen Entwicklung der PFC-Konzentrationen an den Brunnen im Wasserschutzgebiet Ottersdorf ermöglicht.

8.1 Prognose der PFC-Konzentrationen an den Brunnen A, B und C für das Status Quo Szenario

Zunächst wurde die weitere zeitliche Entwicklung der PFC-Konzentrationen bei gleichbleibender Entnahme aus den bestehenden Brunnen im Wasserschutzgebiet Ottersdorf über die nächsten 20 Jahre prognostiziert. Die Entnahmeraten aus den bestehenden Brunnen A-C betragen für alle 3 Brunnen jeweils konstant 29 l/s (siehe Tabelle 6.1; Status Quo).

Für den am weitesten östlich gelegenen Brunnen A ergibt sich damit eine zeitliche Entwicklung der Quotientensumme gemäß Abbildung 8.1 im Unteren Grundwasserleiter und Abbildung 8.2 im Mittleren Grundwasserleiter. Für den Mittleren Grundwasserleiter kann mit einer Überschreitung des kritischen Werts der PFC-Quotientensumme von 1 ab 2031 gerechnet werden. Für den Unteren Grundwasserleiter erfolgt dies deutlich später.

Da der Brunnen A sowohl Wasser aus dem Unteren als auch dem Mittleren Grundwasserleiter entnimmt, und im Nahbereich des Brunnens aufgrund der vertikalen Gradienten nicht von einer hydraulischen Trennung der Grundwasserstockwerke

ausgegangen werden kann, kann demzufolge nicht ausgeschlossen werden, dass 2031 der kritische Wert von 1 im Rohwasser des Brunnens überschritten wird.

Aufgrund der möglichen weiteren Verschärfung der Schwellenwerte, kann eine Grenzwertüberschreitung auch schon früher eintreten.

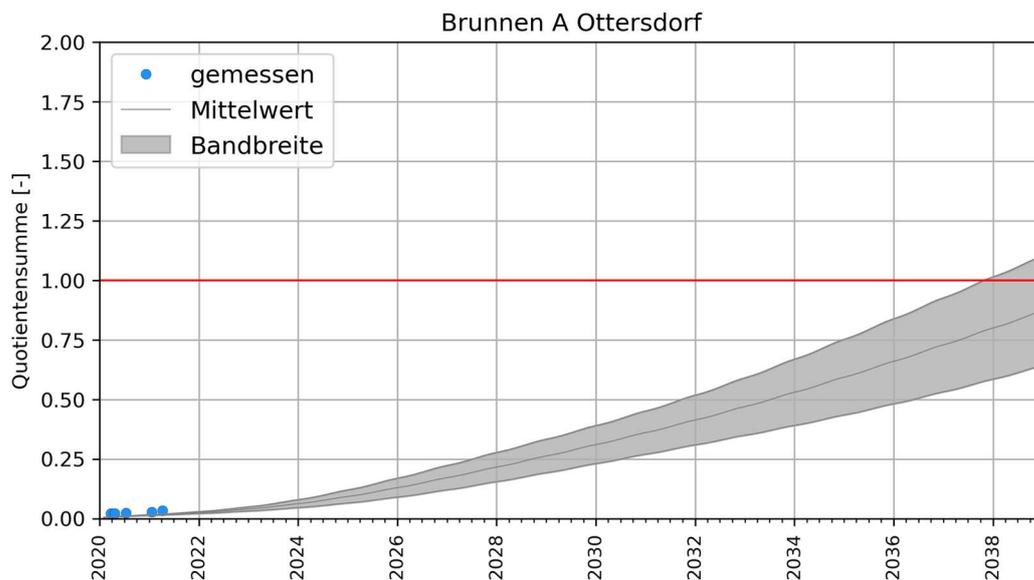


Abbildung 8.1: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen A bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Unteren Grundwasserleiter.

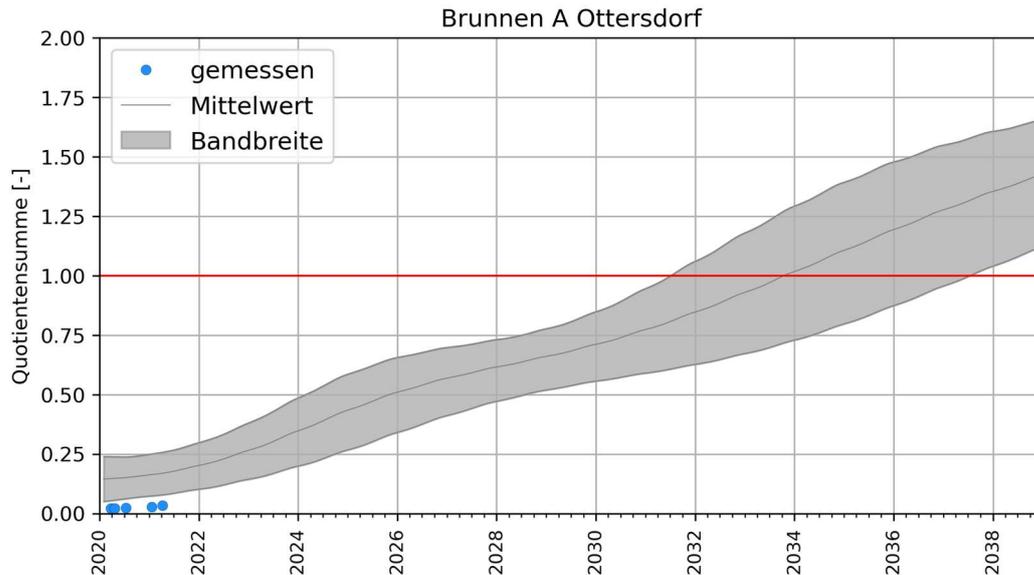


Abbildung 8.2: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen A bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Mittleren Grundwasserleiter.

Die entsprechenden Auswertungen für die Brunnen B und C sind in den Abbildungen Abbildung 8.3 bis Abbildung 8.6 dargestellt. Da diese Brunnen weiter westlich des Zentrums der PFC-Fahne liegen, ist der Anstieg hier langsamer und geringer. Die PFC-Konzentrationen nehmen aber deutlich zu, so dass bei heutigem Entnahmeregime eine Überschreitung der Quotientensumme von nicht ausgeschlossen werden kann.

Die weitere Entwicklung der PFC-Gehalte an den bestehenden Brunnen A-C macht daher eine Umschichtung der Trinkwasserentnahme in den westlichen Teil des Wasserschutzgebietes Ottersdorf notwendig.

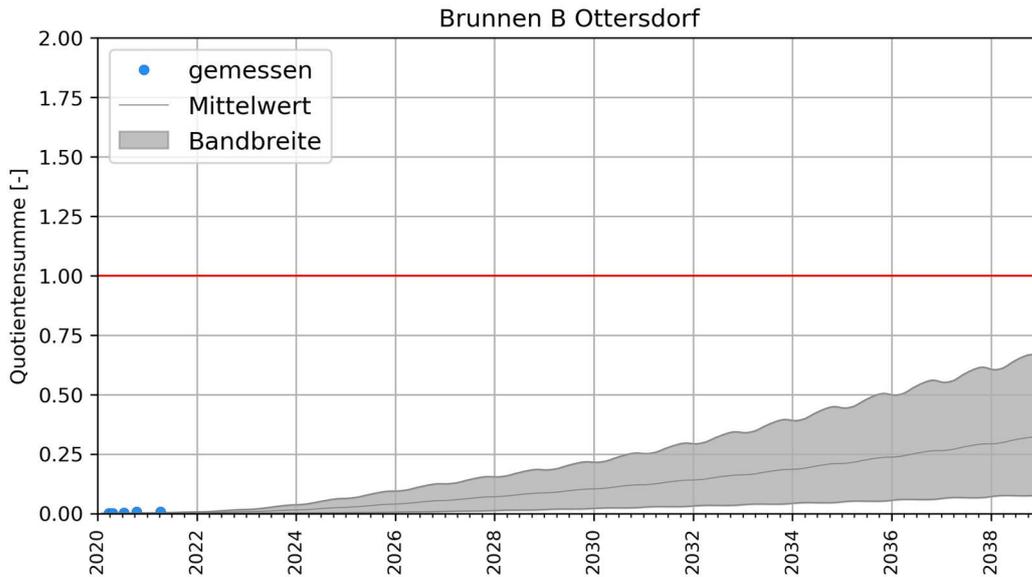


Abbildung 8.3: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen B bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Unteren Grundwasserleiter.

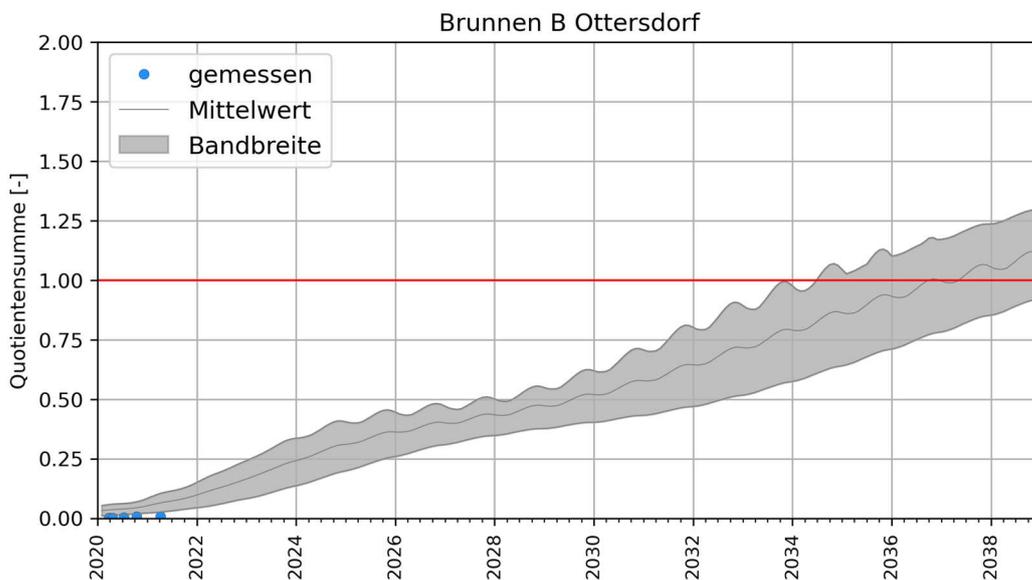


Abbildung 8.4: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen B bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Mittleren Grundwasserleiter.

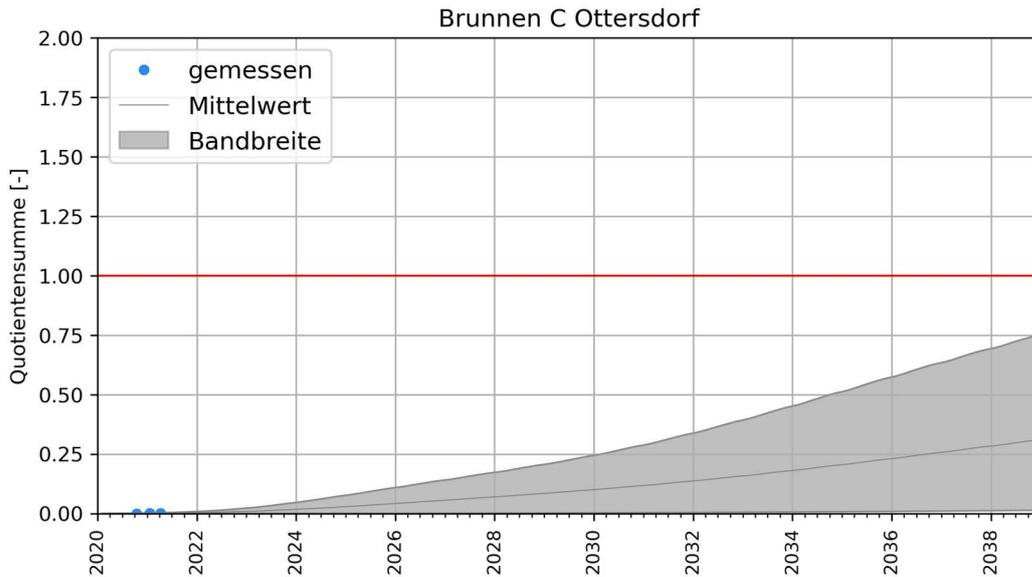


Abbildung 8.5: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen C bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Unteren Grundwasserleiter.

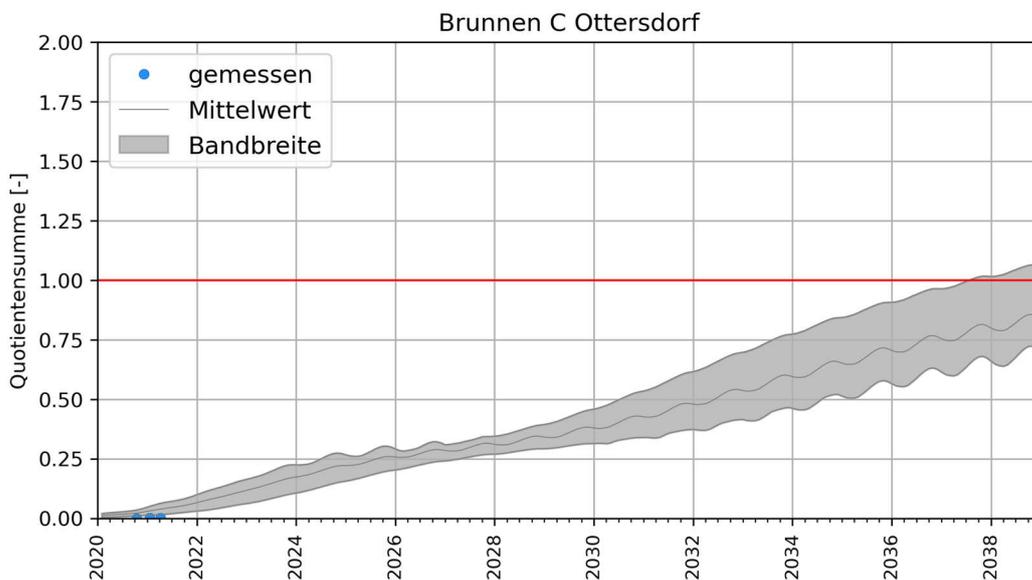


Abbildung 8.6: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen C bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Mittleren Grundwasserleiter.

Im westlichen Bereich des Wasserschutzgebietes Ottersdorf sind die prognostizierten PFC-Konzentrationen für die nächsten 20 Jahre klein. Abbildung 8.7 zeigt exemplarisch die prognostizierte zeitliche Entwicklung am Standort des geplanten Brunnen E (ohne Entnahme am Brunnen E). Der berechnete Anstieg der Quotientensumme ist sehr flach und langsam. In 20 Jahren ist die berechnete Quotientensumme kleiner 0,1.

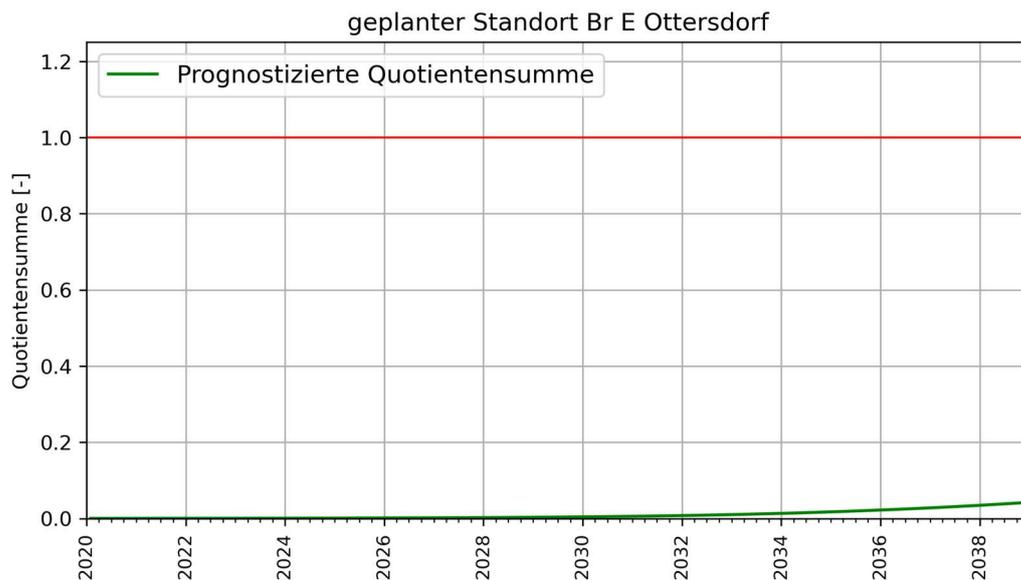


Abbildung 8.7: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am geplanten Standort des Brunnen E bei Beibehaltung des derzeitigen Entnahmeregime im Mittleren Grundwasserleiter.

8.2 Prognose der PFC-Konzentrationen an den Brunnen D, E und F bei Normalbetrieb

Zur Überprüfung, ob an den geplanten Brunnenstandorte D, E und F, im westlichen Bereich des Wasserschutzgebietes Ottersdorf, der kritische Wert der Quotientensumme von 1 über die nächsten 20 Jahre nicht überschritten wird, wird die Berechnung aus Kapitel 8.1 mit geänderten Entnahmeraten wiederholt. Es wurden die Entnahmeraten für den geplanten Normalbetrieb (siehe Tabelle 6.1) angesetzt.

Die prognostizierte weitere zeitliche Entwicklung der Quotientensumme an den geplanten Brunnen im Wasserschutzgebiet Ottersdorf ist in den Abbildung 8.8 bis Abbildung 8.10 dargestellt. An keinem der 3 Brunnen ergibt sich in den nächsten 20 Jahre eine Überschreitung der Quotientensumme von 1. Die höchsten Konzentrationen ergeben sich erwartungsgemäß am östlichsten Brunnen F.

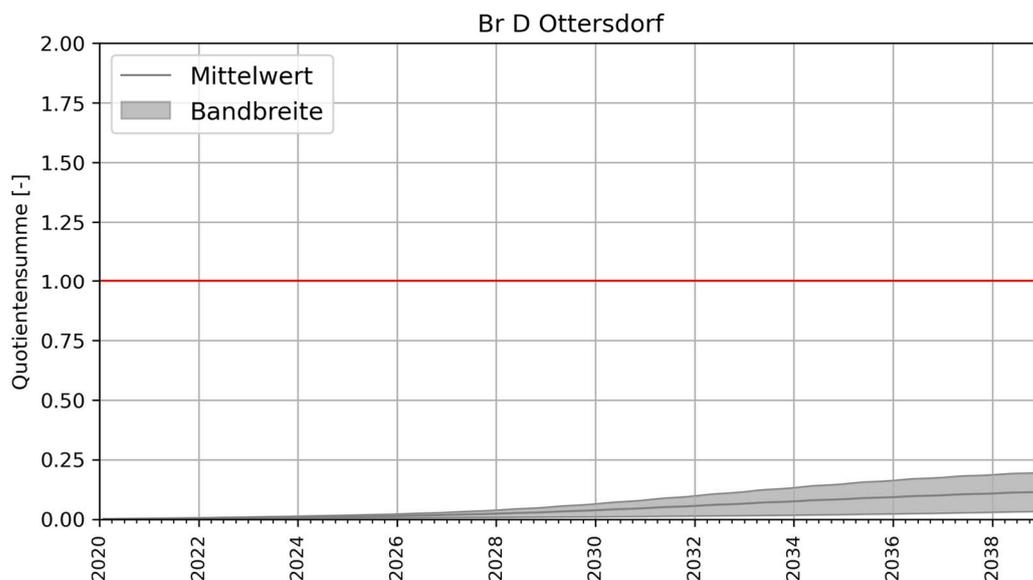


Abbildung 8.8: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen D .

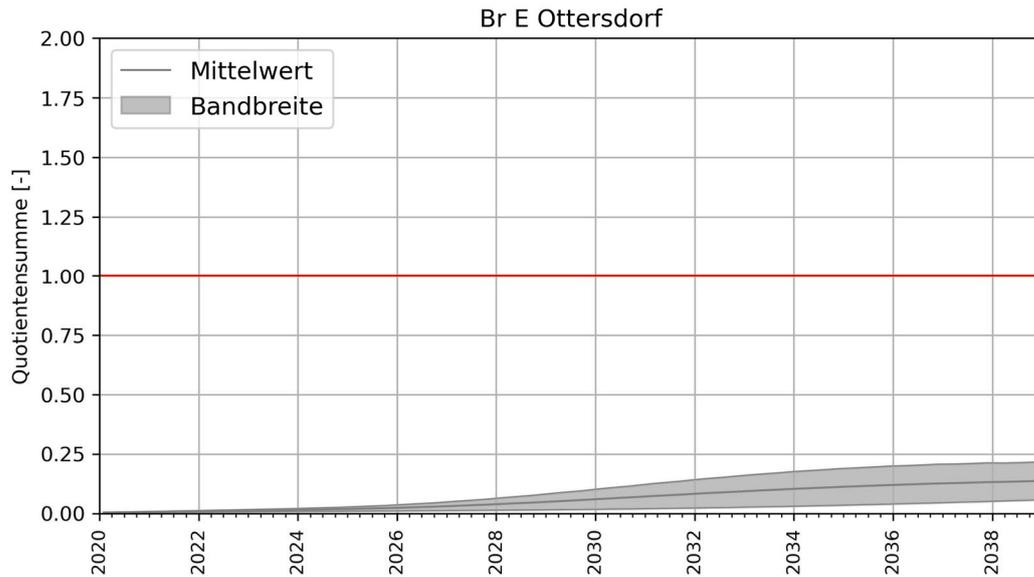


Abbildung 8.9: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen B.

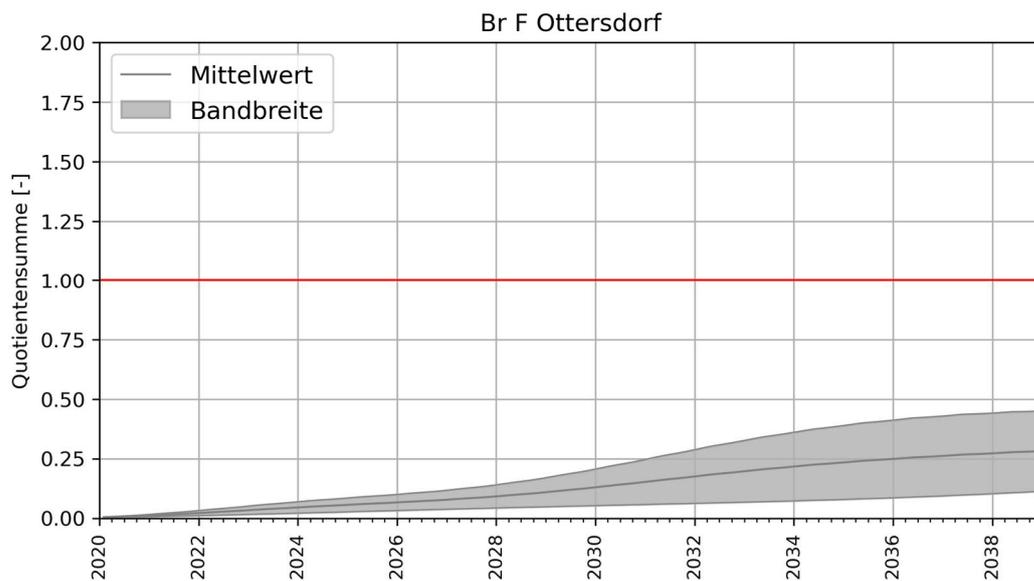


Abbildung 8.10: Prognostizierte zeitliche Entwicklung der PFC-Quotientensumme am Brunnen C.

Die prognostizierten Verteilungen der Quotientensumme im Oberen und Mittleren Grundwasserleiter für 2025, 2030, 2035 und 2040 sind in Abbildung 8.11 bis Abbildung 8.15 dargestellt.

Es wird deutlich, dass der leichte Anstieg der PFC-Konzentrationen an den geplanten Brunnen hauptsächlich durch Entnahmebedingungen seitlichen Beizug von PFC-haltigen Grundwasser aus östlicher Richtung erfolgt.

Trotz Abschalten des Brunnens A und einer starken Reduktion der Entnahme am Brunnen B wird an beiden Brunnen im Jahr 2025 die Quotientensumme von 1 überschritten.

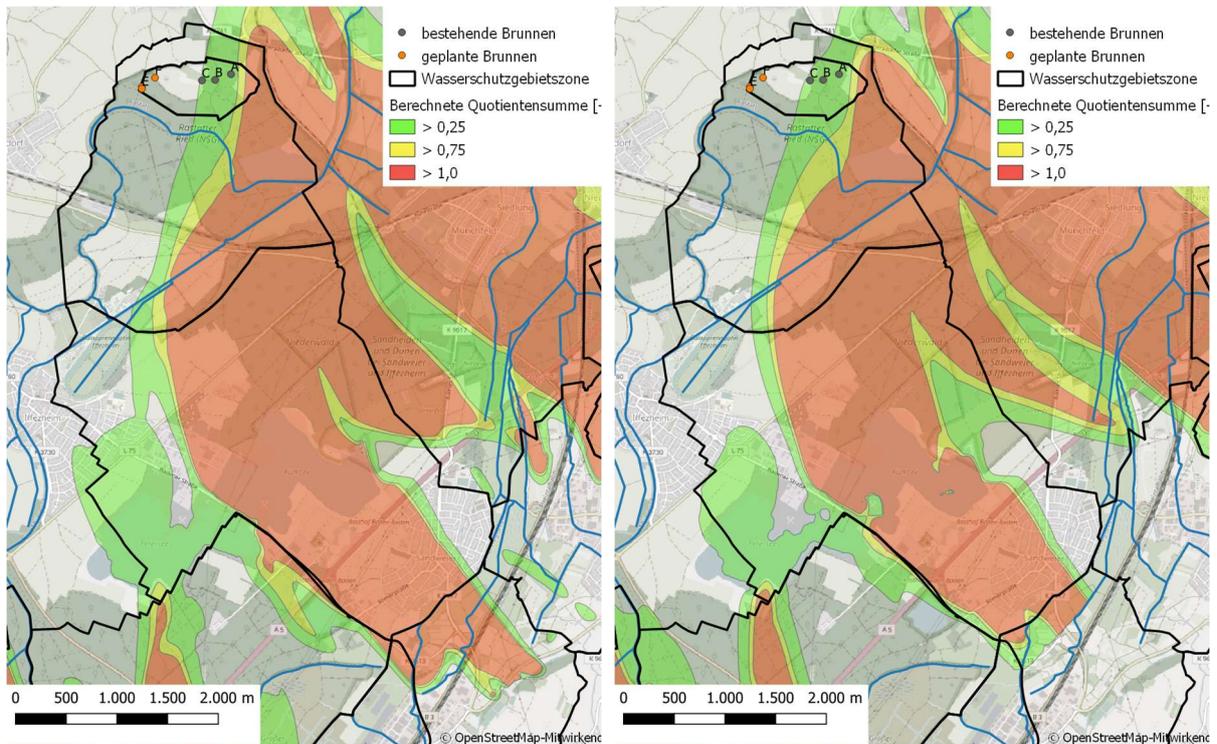


Abbildung 8.11: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2025 im OGWL (links) und im MGWL (rechts).

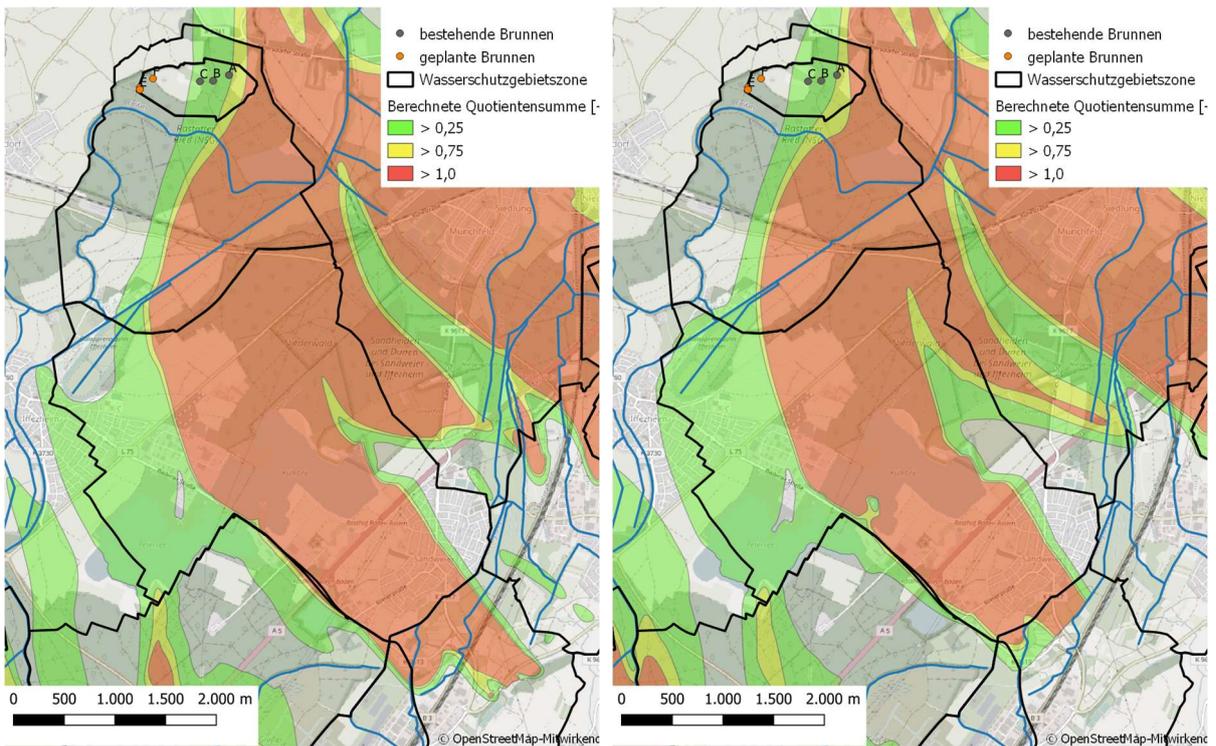


Abbildung 8.12: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2030 im OGWL (links) und im MGWL (rechts).

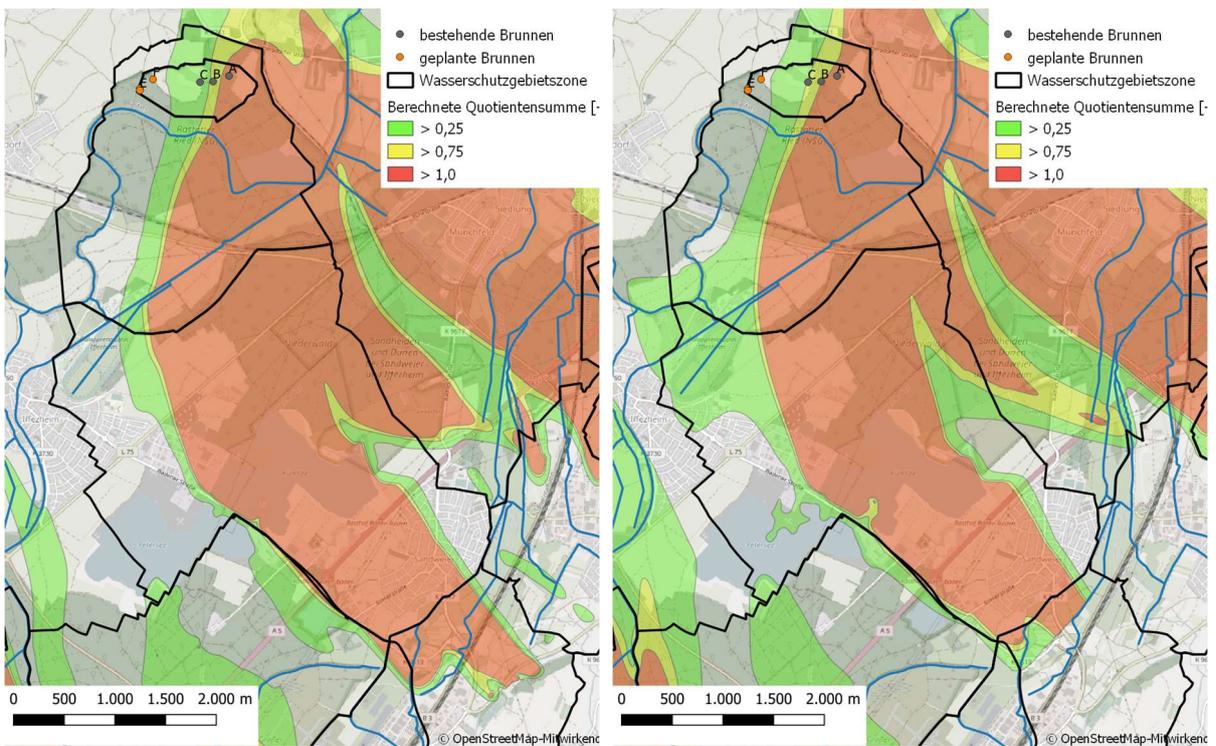


Abbildung 8.13: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2035 im OGWL (links) und im MGWL (rechts).

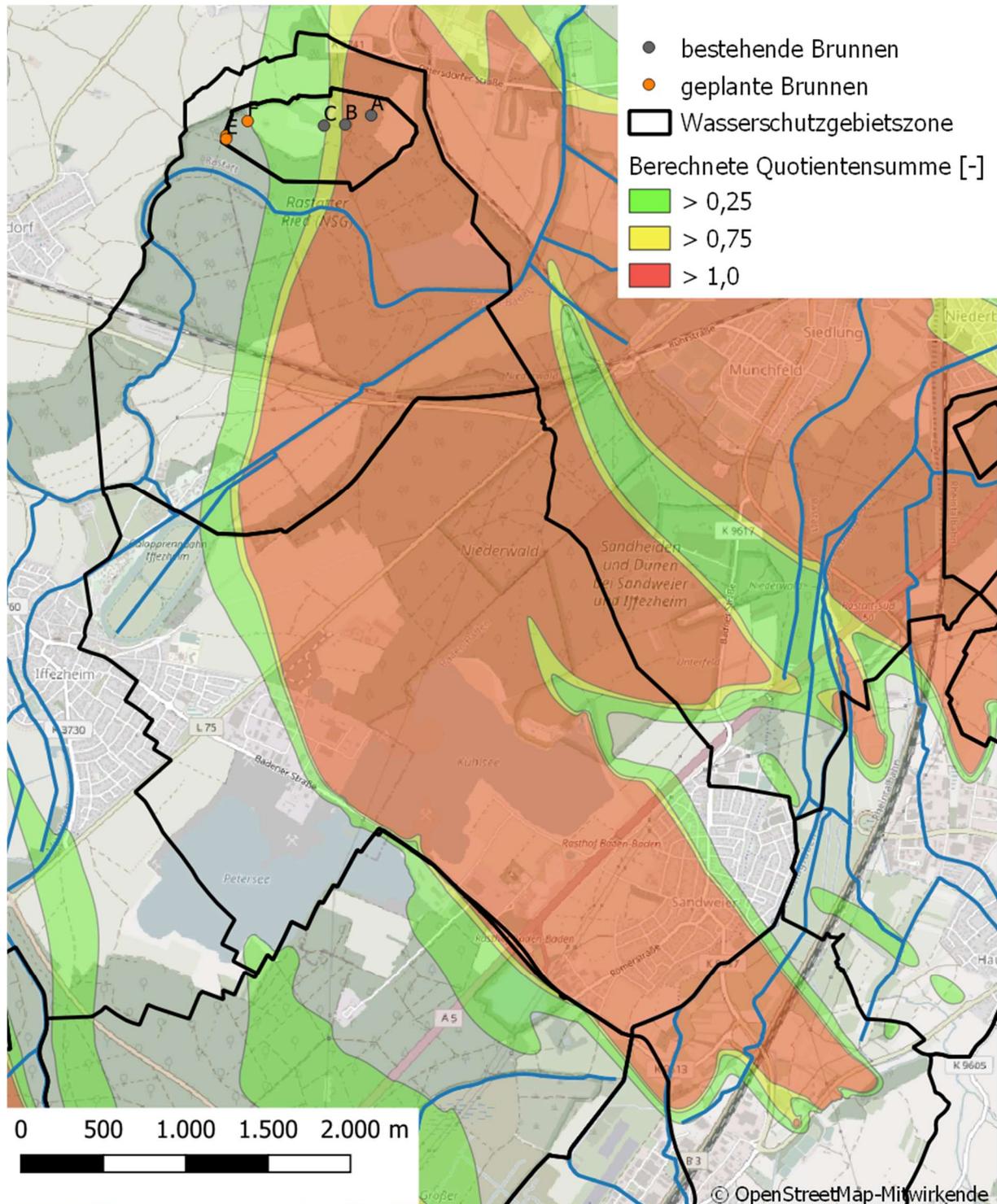


Abbildung 8.14: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2040 im OGWL.

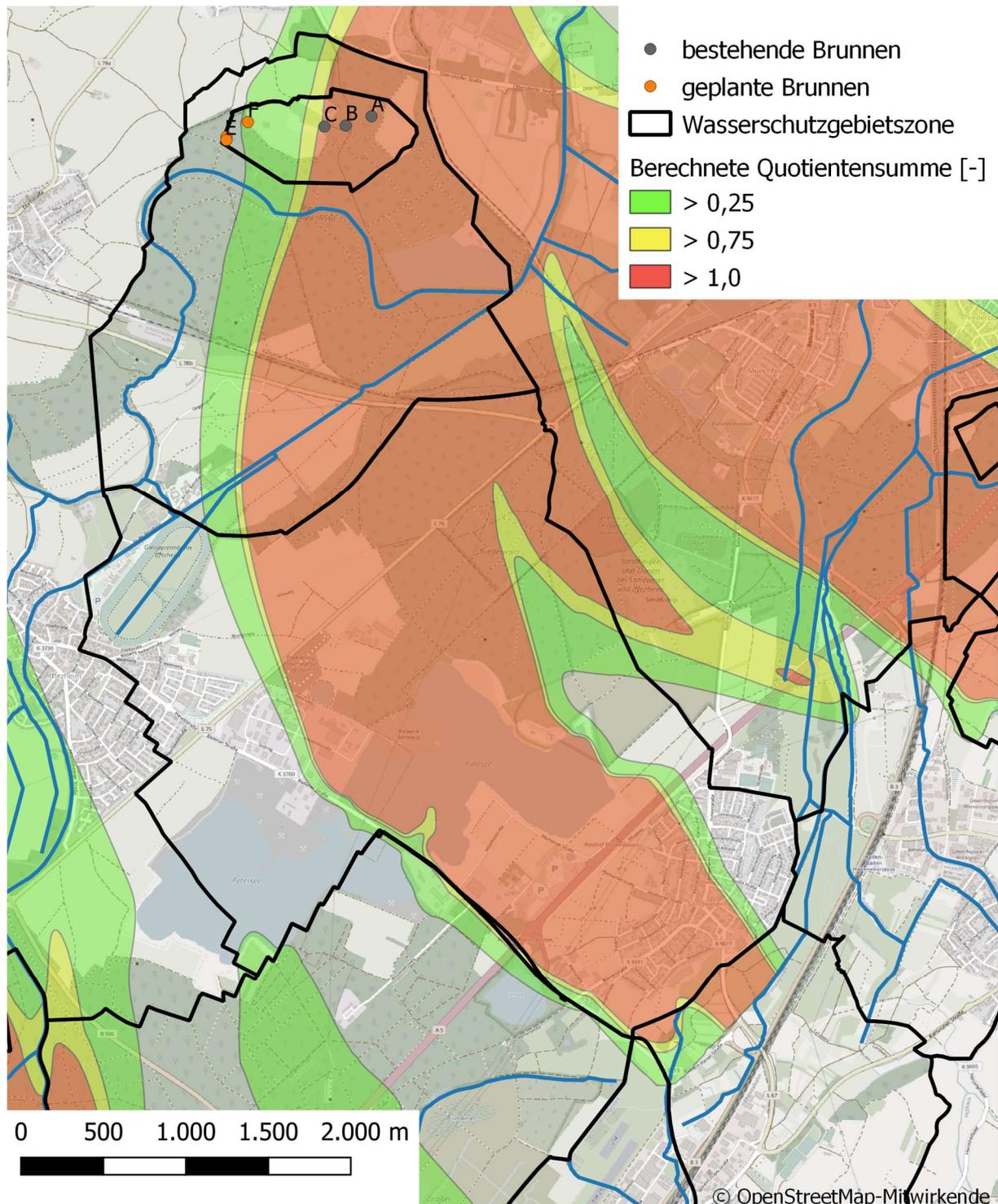


Abbildung 8.15: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2040 im MGWL.

Im unmittelbaren Nahbereich der geplanten Brunnen ist dabei der Unterschied der berechneten PFC-Konzentrationen über die Tiefe wesentlich geringer als im Bereich der bestehenden Brunnen A-C. Ursache hierfür ist, dass sich im Bereich der bestehenden Brunnen die PFC-Fahne in erster Linie dem natürlichen Grundwassergradient folgend bewegt. Das PFC wurde und wird oberflächlich

eingetragen, daher sind die Konzentrationen im Oberen und Mittleren Grundwasserleiter höher als im Unteren Grundwasserleiter.

Im Bereich der geplanten Brunnen ist der Aquifer über seine gesamte Tiefe nahezu PFC-frei. Aufgrund des geplanten Betriebs der Brunnen, erfolgt lediglich ein seitlicher Beizug von PFC-Haltigem Wasser aus dem östlichen Bereich des Wasserschutzgebietes. Dieser Beizug verteilt sich vergleichsweise homogen über die gesamte Aquifertiefe.

8.3 Bewertung der erhöhten PFOS-Werte aus westlicher Richtung

Unter anderem aufgrund der PFC-Belastung im östlichen Bereich des WSG-Ottersdorf wurden die geplanten Brunnen möglichst weit nach Westen innerhalb der Zone II gesetzt.

Westlich des Wasserschutzgebietes Ottersdorf, im Bereich Wintersdorf bzw. Sämansee, liegen erhöhte Werte von PFOS vor. Die Herkunft dieser Belastung ist nicht abschließend geklärt. Eine mögliche Erklärung ist der Baden-Airpark bzw. seine frühere militärische Nutzung. PFOS wurde vor allem in Löschsäumen verwendet. Diese AFFF-Löschsäume wurden insbesondere auch von Flughafenfeuerwehren genutzt.

Die Verlagerung nach Norden Richtung Wintersdorf kann über den Rheinniederungskanal erfolgt sein, der entlang des Baden-Airparks verläuft. Hier kann er PFOS-haltiges Grundwasser aufnehmen. Vor seiner Mündung ist der Rheinniederungskanal aufgestaut, und kann seinerseits PFOS-haltiges Wasser ins Grundwasser infiltrieren.

Die Frage, ob die geplanten Brunnen durch diese PFOS-Belastung gefährdet sind, lässt sich nicht mit dem Landesmodell beantworten, da die Spezies PFOS aktuell nicht im Landesmodell enthalten ist. Der Fokus des Landesmodells liegt auf der Nachbildung der durch landwirtschaftliche Flächen hervorgerufenen PFC-Belastung. Die relevanten Spezies hierfür sind aber die Perfluorcarbonsäuren und nicht die Perfluorsulfonsäuren. Auch der Transportpfad entlang des Rheinniederungskanals lässt sich aktuell nicht mit dem Modell nachbilden,

Eine qualitative Bewertung der Auswirkung der erhöhten PFOS-Konzentrationen lässt sich jedoch durchführen:

- Die PFC-Messungen im Bereich der geplanten Brunnen ergaben allenfalls minimale PFOS-Konzentrationen
- Die an der westlichen Grenze des WSG vorliegenden PFOS-Konzentrationen (z.B. Messstelle 150/161-4) zeigen seit Jahren keine ansteigende Tendenz, sondern ein leichtes Abfallen der PFOS-Konzentrationen; aktuell werden 4 – 8 ng/l gemessen
- eine Analyse der Strömungsrichtungen hat ergeben, dass östliche Strömungskomponenten, die das PFOS-haltige Grundwasser aus Richtung Wintersdorf ins WSG Ottersdorf transportieren können, allenfalls kurzfristig vorliegen,
- das Einzugsgebiet der geplanten Brunnen D bis F reicht nicht bis nach Wintersdorf, sondern höchstens leicht über die WSG-Grenze hinaus
- von der westlichen Grenze des WSG wo aktuell PFOS-Konzentrationen von 4-8 ng/l gemessen werden, ergibt sich eine weitere Verdünnung von Faktor 8-12 bis zu den geplanten Brunnen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein leichter Beizug von PFOS-haltigem Grundwasser zu den geplanten Brunnen nicht vollständig ausschließen lässt. Die zu erwartenden Konzentrationen sind dabei aber im Bereich weniger Nanogramm. Zudem lässt sich PFOS mit Aktivkohle vergleichsweise effektiv entfernen.

9 Zusammenfassung

Im Auftrag der LUBW hat die Ingenieuregesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH das Landesmodell Mittelbaden zur Nachbildung der PFC-Belastung in den Kreisen Baden-Baden und Rastatt aufgebaut. Dieses beinhaltet auch das Einzugsgebiet der Trinkwasserbrunnens für das Wasserwerk Ottersdorf. Von der LUBW wurde das Landesmodell Mittelbaden zur Verfügung gestellt, um die Stadtwerke Rastatt GmbH bei der Standortsuche für zusätzliche Brunnen im Wasserschutzgebiet Ottersdorf zu unterstützen.

Die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die aus aktuellen Pumpversuchen abgeleiteten Durchlässigkeitsbeiwerte, insbesondere für den Mittleren und Unteren Grundwasserleiter wurden übernommen.
- Für verschiedenen Standorte und Entnahmeszenarien wurden die zu erwartenden Grundwasserabsenkungen, die Brunneneinzugsgebiete und die zu erwartenden PFC-Konzentrationen ermittelt.
- Die Grundwasserabsenkungen wurden als Basis für die UVS-Kartierung an SFN übergeben.
- Das für die finale Variante ermittelte Einzugsgebiet passt sehr gut zum bestehenden Schutzgebiet, reicht aber etwas weiter nach Westen
- Für den östlichsten bestehenden Brunnen A ist innerhalb der nächsten 10 Jahren gemäß den durchgeführten Prognosen eine Überschreitung der Quotientensumme über den maßgeblichen Wert von 1 zu erwarten. Aufgrund der Anpassung der Schwellenwerte ist auch zu einem früheren Zeitpunkt das Überschreiten der maßgeblichen Werte möglich
- Mit den aktuell bekannten PFC-Belastungsflächen ist gemäß den durchgeführten Prognosen eine Überschreitung der Quotientensumme über den maßgeblichen Wert von 1 an den geplanten Brunnen innerhalb der nächsten 20 Jahren nicht zu erwarten.
- Die Konzentrationen liegen hier insgesamt sehr günstig

Einschränkend ist festzuhalten, dass für die PFC-Problematik sowohl die Erkenntnislage als auch die gesetzlichen Regelungen vergleichsweise dynamisch sind. Das Bekanntwerden bisher unbekannter Eintragsherde oder eine Verschärfung der relevanten Schwellenwerte ist nicht auszuschließen und können eine Neubewertung der Situation notwendig machen.

10 Literaturverzeichnis

FUNK (2021): Stadtwerke Rastatt - Wasserwerk Ottersdorf Errichtung neue Tiefbrunnen; Fachbeitrag zur UVS Fachbereich Hydrogeologie

GLA, 1977, GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG: W.V. Gaggenau / Rastatt Wassergewinnungsstellen Kuppenheim / Rauental / Muggensturm Geologisches Gutachten Schutzzonen Nr II/3 -632/77, unveröffentlicht.

kup, 2017: Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH: Grundwassermodell Mittelbaden - Hydrogeologisches Modell, A-586-2

kup, 2017: Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH: Grundwassermodell Mittelbaden - Grundwasserströmungsmodell, A-586-5

LGRB, 2007 - Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (2007): Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg), LGRB Informationen 19

LUBW (2012): LOGAR: Länderübergreifende Organisation für Grundwasserschutz am Rhein; Grundwassermodell für den südlichen Oberrhein

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Merkblatt Nr. 1.2/7: Wasserschutzgebiete für die öffentliche Wasserversorgung Teil 1: Wasserschutzgebiete als Bereiche besonderer Vorsorge – Aufgaben, Bemessung und Festsetzung, Stand: 01. Januar 2010

Procher (2005): Möglichkeit zur Gliederung lang gestreckter Grundwassereinzugsgebiete in Porengrundwasserleitern, Anlage 2 des Merkblatts Nr. 1.2/7 des Bayrischen Landesamts für Umweltschutz, Wasserwirtschaftsamt Kempten

Technische Regel Arbeitsblatt W 101 des DVGW: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete, I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser, Juni 2006

Technische Regel Arbeitsblatt W 101 des DVGW: Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten