



Stadtwerke Rastatt - Wasserwerk Ottersdorf Errichtung neue Tiefbrunnen

Fachbeitrag zur UVS Fachbereich Hydrogeologie

E. Funk
Büro für Hydrogeologie

Rothofweg 5
79219 Staufen
Tel. 07633/7270
Fax 07633/5797

funk@geohydraulik.com
www.geohydraulik.com

- Projekt:** Erweiterung Wasserwerk Ottersdorf
Errichtung neue Tiefbrunnen
- Auftraggeber:** Stadtwerke Rastatt
Markgrafenstraße 7, 76437 Rastatt
- Maßnahmen:** Bestandsaufnahme, Errichtung von Grundwassermessstellen,
Pumpversuche, Hydrochemische Analysen, Stichtagsmessungen
Numerische Modellrechnungen mit Stofftransport
- Zeitraum:** Januar 2020 – Mai 2021

Bericht erstellt: Staufen, 27.05.2021

E. Funk
(Dipl. Geologe)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1 Anlass	5
1.2 Aufgabenstellung	5
1.3 Lage des Untersuchungsgebietes	6
2. Durchgeführte Untersuchungen	6
2.1 Bestandsaufnahme	6
2.2 Errichtung von Grundwassermessstellen	7
2.3 Pumpversuche	8
2.4 Entnahme von Wasserproben – Hydrochemie und Isotopen	11
2.5 Stichtagsmessungen TZW.....	11
2.6 Numerisches Grundwassermodell mit Stofftransport	12
3. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse	12
3.1. Regionale Geologie	12
3.2. Schichtenfolge im Untersuchungsgebiet – Lagerungsverhältnisse	14
3.3 Hydrogeologische Verhältnisse	15
3.3.1 Aquiferaufbau und -mächtigkeit, Stockwerksgliederung	15
3.3.2 Durchlässigkeiten – Auswertung des Pumpversuches	16
3.3.3 Grundwasserganglinien, Flurabstände, Schwankungsbereiche	18
3.3.4 Grundwasserfließrichtung, -gefälle, -geschwindigkeit	20
3.3.5 Oberflächengewässer	22
3.3.6 Grundwasserüberdeckung	22
3.3.7 Wasserentnahmen – Wasserrecht	22
3.3.8 Grundwassereinzugsgebiet – Neubildung.....	23
3.4 Hydrochemische Analysen	23
3.5 Isotopenhydrologische Analysen	27
3.5.1 Stabile Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium - Grundlagen und Ergebnisse.....	27
3.5.2 Tritium – Grundlagen und Ergebnisse.....	29
3.6 Wasserschutz-, Wassersicherungs- und Überschwemmungsgebiete.....	31
3.7 Sonstige Schutzgebiete	31
3.8 Altlasten und Altablagerungen.....	32
4. PFC-Problematik	32
4.1. Allgemeines zur PFC-Belastung.....	32
4.2. Belastungssituation Boden	32
4.3. Belastungssituation Grundwasser	33
4.4. Vorgehen nach dem Bundesbodenschutzgesetz	36
4.4.1. Erfahrungen mit der technischen Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen.....	38
4.5. PFC-Belastung im Einzugsbereich der Brunnen	38
4.5.1 PFC-Belastungsgebiete Rastatt Baden-Baden – Modell kup 2019.....	38
4.5.2 Ist-Zustand (Reihenuntersuchungen TZW)	39
4.5.3 Ergebnisse Grundwassermodell Kobus und Partner 2021	42
5. Entnahmemengen - Dimensionierung der neuen Tiefbrunnen	44
5.1 Entnahmemengen und Standorte.....	44
5.2 Dimensionen der alten und neuen Brunnen	45

5.2.1 Vorhandene Tiefbrunnen A, B, und C	45
5.2.2 Geplante Tiefbrunnen D und E.....	45
6. Auswirkung der Grundwasserentnahme	47
6.1 Entnahmereichweite - Reichweite der Absenkungen.....	47
6.2 Auswirkungen auf das Wasserschutzgebiet	49
6.3 Entwicklung der PFC-Belastung	52
7. Literaturverzeichnis	53
8. Liste der Abkürzungen	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt aus Querschnitt 1 (LGRB Informationen Nr. 19).	13
Abbildung 2: Grundwasserstände relevanter Grundwassermessstellen im Bereich der Tiefbrunnen im Zeitraum von 2000 bis 2020	19
Abbildung 3: Korrelation Deuterium-Gehalt versus Sauerstoff-18-Gehalt	30
Abbildung 4: Berechnete PFC-Belastung im oberen Grundwasserleiter 2018 (Quotientensumme aus den Konzentrationsverteilungen der Einzelspezies) aus LUBW (2019).....	37
Abbildung 5: Verbreitung der PFC-Fahne im Bereich des WSG Ottersdorf im Grundwasserleiter Oben, Dezember 2019 (Quelle TZW)	41
Abbildung 6: Im Grundwasser gemessene und mit dem Grundwassermodell berechnete Quotientensumme im Oberen Grundwasserleiter (aus kup, 2021).....	43
Abbildung 7: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Oberen Grundwasserleiter aus kup (2021).....	48
Abbildung 8: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Notbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Oberen Grundwasserleiter	49
Abbildung 9: Einzugsgebiet der neuen Brunnen D und E bei Normalbetrieb mit 71 l/s (aus kup 2021).....	51
Abbildung 10: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2040 im OGWL (aus Kup 2021).....	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stammdaten der Grundwassermessstellen B17	7
Tabelle 2: Stammdaten der neu errichteten Grundwassermessstellen B18	8
Tabelle 3: Daten des Pumpversuchs GWM B17 Tief	9
Tabelle 4: Daten des Pumpversuchs GWM B17 Mitte.....	9
Tabelle 5: Daten des Pumpversuchs GWM B18 Tief	10
Tabelle 6: Daten des Pumpversuchs GWM B18 Mitte.....	10
Tabelle 7: Daten des Pumpversuchs GWM B 18 Flach.....	11
Tabelle 8: Aquiferparameter	16
Tabelle 9: Grundwasserstände im Bereich der Tiefbrunnen.....	18
Tabelle 10: Hydraulische Parameter des Oberen Grundwasserleiters im Bereich der Tiefbrunnen.....	20

Tabelle 11: Grundwasserförderung in den Tiefbrunnen Rastatt-Ottersdorf	22
Tabelle 12: Hydrochemische Analysen.....	26
Tabelle 13: Ergebnisse der Isotopenanalysen 2020	28
Tabelle 14: Gesundheitliche Trinkwasserhöchstwerte unterschiedlicher Kategorien für PFC gemäß Regierungspräsidium Karlsruhe (Stand April 2020)	35
Tabelle 15: PFC-Summenkonzentration im Bereich der Tiefbrunnen	40
Tabelle 16: Durchschnittliche Entnahmemengen	44
Tabelle 17: Stammdaten Tiefbrunnen A – C (1 – 3)	45
Tabelle 18: Berechnung der Brunnen nach Dupuit-Thiem und Sichert	46

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersichtskarte Maßstab 1: 25.000
Anlage 2: Lageplan 1: 4.000
Anlage 3.1-2: Schnitte aus Grundwassermodell Wald + Corbe
Anlage 4: Grundwassergleichenplan MW
Anlage 5: Grundwassergleichenplan HW
Anlage 6: Grundwassergleichenplan NW
Anlage 7: Schutzgebiete und Überschwemmungsgebiete
Anlage 8-1:Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B17F
Anlage 8-2:Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B17M
Anlage 8-3:Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B17T
Anlage 9-1:Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B18F
Anlage 9-2:Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B18M
Anlage 9-3:Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B18T
Anlage 10: Hydrochemische Analysen

1. Einleitung

1.1 Anlass

Im Landkreis Rastatt und im Stadtkreis Baden-Baden wurden auf verschiedenen landwirtschaftlich genutzten Flächen im Boden und im Grundwasser hohe Konzentrationen von PFC (Per- und polyfluorierte Chemikalien) gemessen. Hiervon sind auch Flächen westlich der A5 im Bereich von Sandweier betroffen, die am Nordostrand des Wasserschutzgebietes des Wasserwerks Ottersdorf der Stadtwerke Rastatt GmbH liegen. Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass sich die Ausbreitung der Kontamination mit PFC in Richtung Nord-Nordwest bewegt und das kontaminierte Grundwasser somit auf das Wasserwerk Rastatt-Ottersdorf der Stadtwerke Rastatt GmbH zuströmt. Diese Annahme wurde durch das Grundwassermodell sowie das Schadstofftransportmodell der Fa. Wald und Corbe (2016) bereits bestätigt. Auf Grundlage des Modells wurde von der Fa. Wald und Corbe empfohlen einen Ersatzstandort im westlichen Bereich der Schutzzone II des Wasserschutzgebietes Ottersdorf zu errichten um die Trinkwasserversorgung auch zukünftig sicher zu stellen. Weitere Modellrechnungen im Rahmen des LUBW-Projektes Dokumentation Wasserschutzgebiete PFC-Belastungsgebiet Rastatt/Baden-Baden durch das Büro Kobus+Partner (kup) bestätigen diese Tatsache. Vor diesem Hintergrund sollten weitere Untersuchungen im Rahmen des anstehenden Wasserrechtsverfahrens bzw. der zu erstellenden UVP erfolgen. Der Unterzeichner wurde von den Stadtwerke Rastatt GmbH beauftragt im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung für den neuen Standort das gegenständliche Fachgutachten Hydrogeologie zu erstellen.

1.2 Aufgabenstellung

Neben der Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des neuen Brunnenstandortes sind gemäß dem Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung mögliche Auswirkungen des Vorhabens auf die Schutzgüter – hier Grundwasser – zu prüfen. Die hierfür zu klärenden Fragestellungen wurden im Rahmen des Scoping-Verfahrens festgelegt bzw. ergaben sich aufgrund der Entwicklung der Standortfestlegung, und beinhalten im Wesentlichen folgende Themen:

I. Geologie

- a) Geologie/Stratigraphie
- b) Lagerungsverhältnisse

II. Hydrogeologie

- a) Grundwasserleiter (Mächtigkeit, Durchlässigkeit)
- b) Stockwerksgliederung
- c) Grundwasserstände, Flurabstand, Schwankungsbereich
- d) Geohydraulische Verhältnisse
- e) Grundwasserfließrichtung, -gefälle, -geschwindigkeit
- f) Mächtigkeit, Beschaffenheit der Grundwasserüberdeckung
- g) Hydrochemie

- h) Grundwassereinzugsgebiete, Wasserschutz- und Wasserschongebiete etc.
- i) Wasserbilanz
- j) PFC-Problematik
- k) Auswirkungen der Grundwasserentnahme - Erweiterung des Wasserschutzgebietes

1.3 Lage des Untersuchungsgebietes

Die Tiefbrunnen der Stadtwerke Rastatt GmbH liegen auf der Gemarkung Ottersdorf, ca. 700 m südlich der Ortschaft Ottersdorf (siehe Anlage 1 und 2). Das dazugehörige Wasserschutzgebiet „WWK Ottersdorf“ erstreckt sich südwestlich von Rastatt, zwischen den Ortschaften Ottersdorf, Iffezheim und Sandweier, in südsüdöstliche Richtung.

2. Durchgeführte Untersuchungen

2.1 Bestandsaufnahme

Zur Sichtung und Auswertung vorhandener Daten wurden relevante Unterlagen vom Büro Wald und Corbe zur Verfügung gestellt. Weiter Unterlagen wurden beim Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) in Freiburg, bei der Landesanstalt für Umwelt- Boden- und Wasserschutz (LUBW) in Karlsruhe, beim Landratsamt Rastatt, beim Technologiezentrum Wasser Karlsruhe und beim Auftraggeber erhoben. Siehe hierzu auch Kapitel 6 Literaturverzeichnis. Weiterhin wurden folgend Unterlagen verwendet:

- Auszug aus der TK 25, Blatt 7114, 7115, 7214 und 7215
- Auszug aus dem ALK
- Grundwasserdatenbank des Landratsamtes Rastatt (GWDB)
- Archiv des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
- Europäisches Programm INTERREG, Hydrogeologische Kartierung der Ober-
rheinebene (1995): Hydrogeologische Schnitte Strasbourg-Offenburg
- Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2007): LGRB-Informationen 19, Hydroge-
ologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben, Freiburg
- LUBW: Daten zu Biotopen, Wasser-, Natur- und anderen Schutzgebieten
- Unterlagen zu INTERREG
- Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.)
(2019): LGRB-Kartenviewer, <https://maps.lgrb-bw.de/>
- Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (2021): Errichtung neuer Brunnen im
Wasserwerk Ottersdorf der Stadtwerke Rastatt: Grundwassermodelluntersuchung zur Prog-
nose der zu erwartenden Grundwasserabsenkungen und PFC-Konzentrationen, Leinfeld-
Echterdingen

2.2 Errichtung von Grundwassermessstellen

Die ursprüngliche Planung sah vor, den Standort des neuen Tiefbrunnens im Bereich der GWM B17 zu errichten. Bereits im Jahr 2018 wurden hier zur Erkundung der PFC-Problematik die drei Grundwassermessstellen B17 Flach, Mitte und Tief errichtet. Aus ökologischen Gründen wurde der Standort dann in den Bereich der neuen GWM B 18 verlegt. Hier wurde dann zur Erkundung der hydrogeologischen, geohydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse im Zustrom der geplanten Tiefbrunnen die Errichtung der neuen GWM B18 im flachen, mittleren und tiefen Grundwasserleiter geplant. Siehe hierzu auch Bohranzeige des Unterzeichners vom 20.02.2020.

Mit Entscheidung vom 13.05.2020, und nach einer erneuten Standortverlegung mit Datum vom 09.06.2020 erfolgt die Erlaubnis für die geänderte Lage durch das Landratsamt Rastatt. Die Bohrungen wurde vom 29.06.2020 – 09.07.2020 durch die Fa. Hettmannsperger Bohrgesellschaft mbH im Rammkernbohrverfahren niedergebracht. Die Stammdaten der Grundwassermessstellen der beiden Standorte sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgelistet. Die Schichtenverzeichnisse und Ausbauzeichnungen sind in den Anlage 8 und 9 dokumentiert.

Tabelle 1: Stammdaten der Grundwassermessstellen B17

	GWM 17 Flach	GWM 17 Mitte	GWM 17 Tief
Rechtswert/ Ost	3438047,77 32437998	3438048,85 32437999	3438050,88 32438001
Hochwert/ Nord	5412876,77 5411151	5412875,06 5411150	5412874,11 5411150
GW-Nummer	2153/161-1	2154/161-7	2155/161-2
Geländehöhe, GOK (m+NN)	113,40	113,55	113,56
Messoberkante, MOK (m+NN)	114,40	114,55	114,56
Endteufe Bohrung/Ausbau (m u. GOK)	14/11,5	38,5/37	60/58,5
Bohrdurchmesser (mm)	324	324	324 - 419
Ausbaudurchmesser (mm)	125	125	125
Filter (m u. GOK)	3 -11	15-22/ 27-37	47 - 58
Wasserspiegel (m u. POK bei Pumpversuch)	2,69	2,66	2,53
Flurstück-Nr.	4294	4294	4294
Gemarkung	Ottersdorf	Ottersdorf	Ottersdorf

Tabelle 2: Stammdaten der neu errichteten Grundwassermessstellen B18

	GWM 18 Flach	GWM 18 Mitte	GWM 18 Tief
Rechtswert/ Ost	3438195,43 32438144,70	3438195,20 32438144,46	3438194,93 32438144,19
Hochwert/ Nord	5412986,40 5411260,75	5412984,73 5411259,07	5412983,09 5411257,43
GW-Nummer	-	-	-
Geländehöhe, GOK (m+NN)	114,0	113,95	113,86
Messoberkante, MOK (m+NN)	114,90	114,85	114,76
Endteufe Bohrung/Ausbau (m u. GOK)	16/15,1	47,6/47,4	64,4/62,5
Bohrdurchmesser (mm)	324	324	324 - 419
Ausbaudurchmesser (mm)	125	125	125
Filter (m u. GOK)	3 - 15	20 -37/ 43-47	51-62
Wasserspiegel (m u. POK bei Pumpversuch)	3,52	3,43	3,33
Flurstück-Nr.	4294	4294	4294
Gemarkung	Ottersdorf	Ottersdorf	Ottersdorf

2.3 Pumpversuche

Die ursprüngliche Planung sah vor, den Standort des neuen Tiefbrunnens im Bereich der GWM B17 zu errichten. Aus ökologischen Gründen wurde der Standort dann in den Bereich der neuen GWM B 18 verschoben. Hier wurde dann zur Erkundung die Errichtung der Neuen GWM B18 im flachen, mittleren und tiefen Grundwasserleiter geplant. Um für die aktuelle Grundwassermodellierung durch kup (2021) belastbare Aquiferparameter zu erhalten, wurden zusätzlich Pumpversuche in der GWM B17 Mitte und B17 Tief vorgezogen. Nach Fertigstellung der GWM B18 wurden dort ebenfalls Pumpversuche durchgeführt. Aus logistischen Gründen (Grundstücksverhältnisse) wurde dann im Sommer 2020 der Standort erneut auf den Bereich der GWM B17 verlegt.

Die jeweils 9-stündigen Stufenpumpversuche wurden vom 06.-07.04.2020 und vom 15.-21.07.2020 in den Grundwassermessstellen durchgeführt. Zur Bepumpung der Messstellen wurde jeweils eine Unterwasserpumpe vom Typ GRUND-FOS SP14/A13 mit einer Förderrate von max. ca. 5,5 l/s in den Messstellen eingebaut. Um einen hydraulischen Kurzschluss zu vermeiden wurde das während des Pumpversuchs geförderte Wasser über eine ca. 100 m lange Ablaufleitung unterstromig im Gelände versickert.

Zur kontinuierlichen, digitalen Registrierung des Wasserspiegels und der Temperatur wurde in die Messstellen Drucksonden eingebaut. Die Fördermenge (Induktivmessgerät) wurde in der Ablaufleitung ebenfalls kontinuierlich digital aufgezeichnet. Die ermittelten Wasserspiegeldaten der Messstellen sind in Anlage 8 und 9 in graphischer Form dargestellt.

Pumpversuche B17 Mitte und Tief

Die Pumpversuche in den Grundwassermessstellen B17 Mitte und B17 Tief wurden am 06.04.2020 und 07.04.2020 durchgeführt. Die Stammdaten der Messstellen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Versuchsdaten sind in den Tabellen 3 - 4 zusammengefasst. Im Verlauf des Pumpversuchs in der Messstelle B17 Mitte wurde eine geringe Absenkung des Wasserspiegels in der Messstelle B17 Tief von etwa 0,03 m festgestellt. In der Messstelle B17 Flach wurde nur eine sehr geringe Absenkung festgestellt. Während des Pumpversuchs in der Messstelle B17 Tief wurde in der Messstelle B17 Mitte ebenfalls eine geringe Absenkung des Wasserspiegels von ca. 0,02 m gemessen. In der Messstelle B17 Flach wurde keine Absenkung festgestellt (siehe Anlage 8). Bei B17 Mitte und Tief liegen jeweils gespannte Verhältnisse vor, mit einem Druckpotential das über dem des Oberen Grundwasserleiters liegt. Ein direkter hydraulischer Kontakt wird nicht angenommen. Vielmehr handelt es sich bei den Reaktionen um Druckentlastungen bei den Messstellen.

Interessant ist auch, dass während der Pumpversuche und bei den über Nacht beobachteten Wiederanstiegen keine Reaktionen auf den Pumpbetrieb der Tiefbrunnen A - C am Verlauf der Wasserspiegel zu erkennen ist.

Tabelle 3: Daten des Pumpversuchs GWM B17 Tief

Phase	Datum, Uhrzeit	Dauer Std. : Min	Wassersp. (m u. ROK)	Absenkung (m)	Förderrate (l/s)
Rwsp. und Vortest	06.04.2020 09:20	00:41	2,53		
Beginn Stufe 1	06.04.2020 10:01		2,55		2,31
Ende Stufe 1 Beginn Stufe 2	06.04.2020 13:01	03:00	3,4	0,85	2,54 3,71
Ende Stufe 2 Beginn Stufe 3	06.04.2020 16:01	03:00	3,885	1,335	3,81 5,45
Ende Stufe 3 Beginn WA	06.04.2020 19:01	03:00	4,57	2,02	5,5
Ende WA	06.04.2020 20:50	01:49	2,53		

Tabelle 4: Daten des Pumpversuchs GWM B17 Mitte

Phase	Datum, Uhrzeit	Dauer Std. : Min	Wassersp. (m u. ROK)	Absenkung (m)	Förderrate (l/s)
Rwsp. und Vortest	07.04.2020 08:20	00:41	2,66		
Beginn Stufe 1	07.04.2020 09:01		2,67		2,24
Ende Stufe 1 Beginn Stufe 2	07.04.2020 12:01	03:00	3,00	0,33	2,59 3,83
Ende Stufe 2 Beginn Stufe 3	07.04.2020 15:01	03:00	3,175	0,505	3,86 5,30
Ende Stufe 3 Beginn WA	07.04.2020 18:01	03:00	3,41	0,74	5,32
Ende WA	07.04.2020 18:36	00:35	2,685		

Pumpversuche B18 Flach, Mitte und Tief

Die Pumpversuche in den Grundwassermessstellen B18 Flach, Mitte und Tief wurden zwischen dem 15.07.2020 und 21.07.2020 durchgeführt. Der Pumpversuch in der Messstelle B18 Mitte musste nach 7 Stunden, im Verlauf der Stufe 3, aufgrund von technischen Problemen abgebrochen werden. Die Stammdaten der Messstellen sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Versuchsdaten sind in den Tabellen 5 - 7 zusammengefasst. Im Rahmen des Pumpversuchs in der Messstelle B18 Mitte wurde in der Messstelle B18 Tief eine Absenkung von ca. 0,095 m gemessen. In der Messstelle B 18 Flach wurde keine Absenkung registriert. Während des Pumpversuchs in der Messstelle B18 Tief wurde in der Messstelle B18 Mitte ebenfalls eine geringe Absenkung von ca. 0,105 m festgestellt. In der Messstelle B18 Flach wurde ebenfalls keine Absenkung gemessen (siehe Anlage 9).

Auch hier liegen bei der mittleren und tiefen Messstelle jeweils gespannte Verhältnisse vor, mit einem Druckpotential das über dem des Oberen Grundwasserleiters liegt. Ein direkter hydraulischer Kontakt wird auch hier nicht angenommen, da es sich bei den Reaktionen um Druckentlastungen bei den Messstellen handelt. Auch hier wurde keine Reaktion auf den Pumpbetrieb des Wasserwerks festgestellt.

Tabelle 5: Daten des Pumpversuchs GWM B18 Tief

Phase	Datum, Uhrzeit	Dauer Std. : Min	Wassersp. (m u. ROK)	Absenkung (m)	Förderrate (l/s)
Rwsp. und Vortest	15.07.2020 09:27	00:34	3,33		
Beginn Stufe 1	15.07.2020 10:01		3,35		2,77
Ende Stufe 1 Beginn Stufe 2	15.07.2020 13:02	03:01	4,525	1,175	2,95 3,7
Ende Stufe 2 Beginn Stufe 3	15.07.2020 16:02	03:00	5,005	1,655	4,02 5,02
Ende Stufe 3 Beginn WA	15.07.2020 19:02	03:00	5,355	2,005	4,99
Ende WA	15.07.2020 22:25	03:23	3,32		

Tabelle 6: Daten des Pumpversuchs GWM B18 Mitte

Phase	Datum, Uhrzeit	Dauer Std. : Min	Wassersp. (m u. ROK)	Absenkung (m)	Förderrate (l/s)
Rwsp. und Vortest	16.07.2020 08:30	01:16	3,43		
Beginn Stufe 1	16.07.2020 09:46		3,44		2,06
Ende Stufe 1 Beginn Stufe 2	16.07.2020 12:47	03:01	4,295	0,855	2,84 4,01
Ende Stufe 2 Beginn Stufe 3	16.07.2020 15:49	03:02	4,685	1,245	4,02 5,00
Ende Stufe 3 Beginn WA	16.07.2020 16:51	01:02	4,99	1,55	4,97
Ende WA	16.07.2020 18:10	01:19	3,43		

Tabelle 7: Daten des Pumpversuchs GWM B 18 Flach

Phase	Datum, Uhrzeit	Dauer Std. : Min	Wassersp. (m u. ROK)	Absenkung (m)	Förderrate (l/s)
Rwsp. und Vortest	21.07.2020 07:30	00:30	3,52		
Beginn Stufe 1	21.07.2020 08:00		3,52		3,01
Ende Stufe 1 Beginn Stufe 2	21.07.2020 11:02	03:02	3,72	0,2	2,94 4,04
Ende Stufe 2 Beginn Stufe 3	21.07.2020 14:02	03:00	3,81	0,29	4,02 5,30
Ende Stufe 3 Beginn WA	21.07.2020 17:02	03:00	3,94	0,42	5,24
Ende WA	21.07.2020 17:41	00:39	3,525		

2.4 Entnahme von Wasserproben – Hydrochemie und Isotopen

Zur Bewertung der tiefenbezogenen hydrochemischen Beschaffenheit des Grundwassers wurden in den Messstellen B18 Flach, Mitte, Tief am Ende der Pumpversuche Grundwasserproben entnommen und dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe (TZW) übergeben. In den GWM B17 wurde am 19.11.2020 durch das TZW weitere Beprobungen durchgeführt um auch hier eine repräsentative Übersicht über die zu erwartende Qualität des Grundwassers zu erhalten.

Die Proben wurden gemäß der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) analysiert. Zusätzlich wurden die Proben auf PFC untersucht. Die Protokolle über die Entnahme der Wasserproben, sowie die Analyseprotokolle sind in Anlage 10 diesem Bericht beigelegt. In den beprobten Messstellen wurden jeweils auch Isotopenproben zur Bestimmung der Tritium-, Sauerstoff-18- und Deuterium Gehalte entnommen.

2.5 Stichtagsmessungen TZW

Vom Technologiezentrum Wasser (TZW) werden seit dem Jahr 2015 vierteljährig Stichtagsmessungen im Einzugsgebiet der Tiefbrunnen durchgeführt. Dabei wird neben dem Wasserspiegel auch der PFC- und Nitratgehalt sowie der Gehalt an Röntgenkontrastmitteln (RKM) untersucht. Neben Grundwassermessstellen werden auch relevante Oberflächengewässer beprobt. Im Jahr 2020 wurden bei den vierteljährlichen Stichtagsmessungen zwischen 30 und 34 Messstellen und Oberflächengewässer beprobt, in den Jahren zuvor waren es teilweise deutlich weniger. Für drei Stichtage, die jeweils die Fließverhältnisse im Bereich des Wasserschutzgebietes zu Mittelwasser-, Hochwasser- und Niedrigwasserverhältnissen repräsentieren, wurden die von der TZW ausgewerteten Messungen in Form von Grundwassergleichplänen dargestellt. Dabei wurden bereichsweise im Umfeld der Baggerseen Anpassungen der Isolinien vorgenommen (siehe Anlage 4, 5 und 6).

2.6 Numerisches Grundwassermodell mit Stofftransport

Aufbauend auf den Ergebnissen von Kup (2019) wurden im Bereich der bestehenden und geplanten Brunnen sowie deren Einzugsgebiet ergänzende numerische Modellrechnungen mit Simulation des PFC-Transports durchgeführt. Dabei wurde zunächst die Entwicklung der PFC-Konzentrationen an den vorhandenen Brunnen aufgezeigt. Weiterhin wurden die Prognosen für den Alternativstandort der neuen Brunnen für den UGWL und den MGWL durchgeführt. Dabei wurde die Ausbreitung der PFC-Belastung bis zum Jahr 2040 berechnet. Mit dem numerischen Modell (Finite-Differenzen) wurde außerdem die hydraulische Reaktion des Grundwasserspiegels im Gefolge des zukünftigen Betriebs der geplanten Brunnen berechnet (Reichweite und Betrag der Grundwasserabsenkung). Dies auch vor dem Hintergrund der erforderlichen Anpassung bzw. Erweiterung der Wasserschutzonen. Das Modellgebiet wurde entsprechend den Hydrogeologischen Verhältnissen 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 (siehe Abbildung 4).

3. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

3.1. Regionale Geologie

Der Standort der Brunnen liegt im Bereich der quartären Ablagerungen des Rheintalgrabens. Die Oberrheinebene gliedert sich in die morphologischen Landschaftsbereiche Rheinniederung, die Niederungen der Nebenflüsse und die Niederterrassenflächen. Das Untersuchungsgebiet im Bereich der Tiefbrunnen liegt westlich des Riedkanals im Bereich der Rheinniederung. Die Zone IIIA bzw. IIIB des Wasserschutzgebietes erstreckt sich nach Süden bzw. Südosten zusätzlich auf Niederterrassenflächen. Die Kiese und Sande der Rheinterasse wurden während der letzten Eiszeit abgelagert und im Bereich der Niederungen anschließend umgelagert. Die Ablagerungen reichen vom Holozän bis ins älteste Quartär und Jungtertiär. Der regionale Schichtenaufbau in der Umgebung der Brunnen kann aus dem Querschnitt Q1 der LGRB-Informationen-Nr. 19 (Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben, LGRB 2007) entnommen werden (siehe Abbildung 1). Demnach wird der Untergrund im Bereich der Brunnen gemäß der Gliederung in o. g. Veröffentlichung in folgende Einheiten unterteilt:

- 0,00 - ca. 2,0 m Deckschichten/Bodenbildung
- ca. 13,0 m Ortenau-Formation Oben oberer Abschnitt (OGWL)
- ca. 37,0 m Ortenau-Formation Oben unterer Abschnitt (MGWL)
- ca. 59,0 m Ortenau-Formation Unten (UGWL)
- ca. 130,0 m Iffezheim-Formation (fluviatiles Jungtertiär)

Dabei sind die jüngeren Ablagerungen in der Regel vorwiegend stärker kiesig ausgebildet, die tieferen stärker sandig und schluffig. Unter den quartären Sedimenten und dem Jungtertiär steht bereits das Festgestein an. Innerhalb der quartären Kiese sind die feinklastische Zwischenhorizonte (FH3, OZH und ZH3) eingeschaltet.

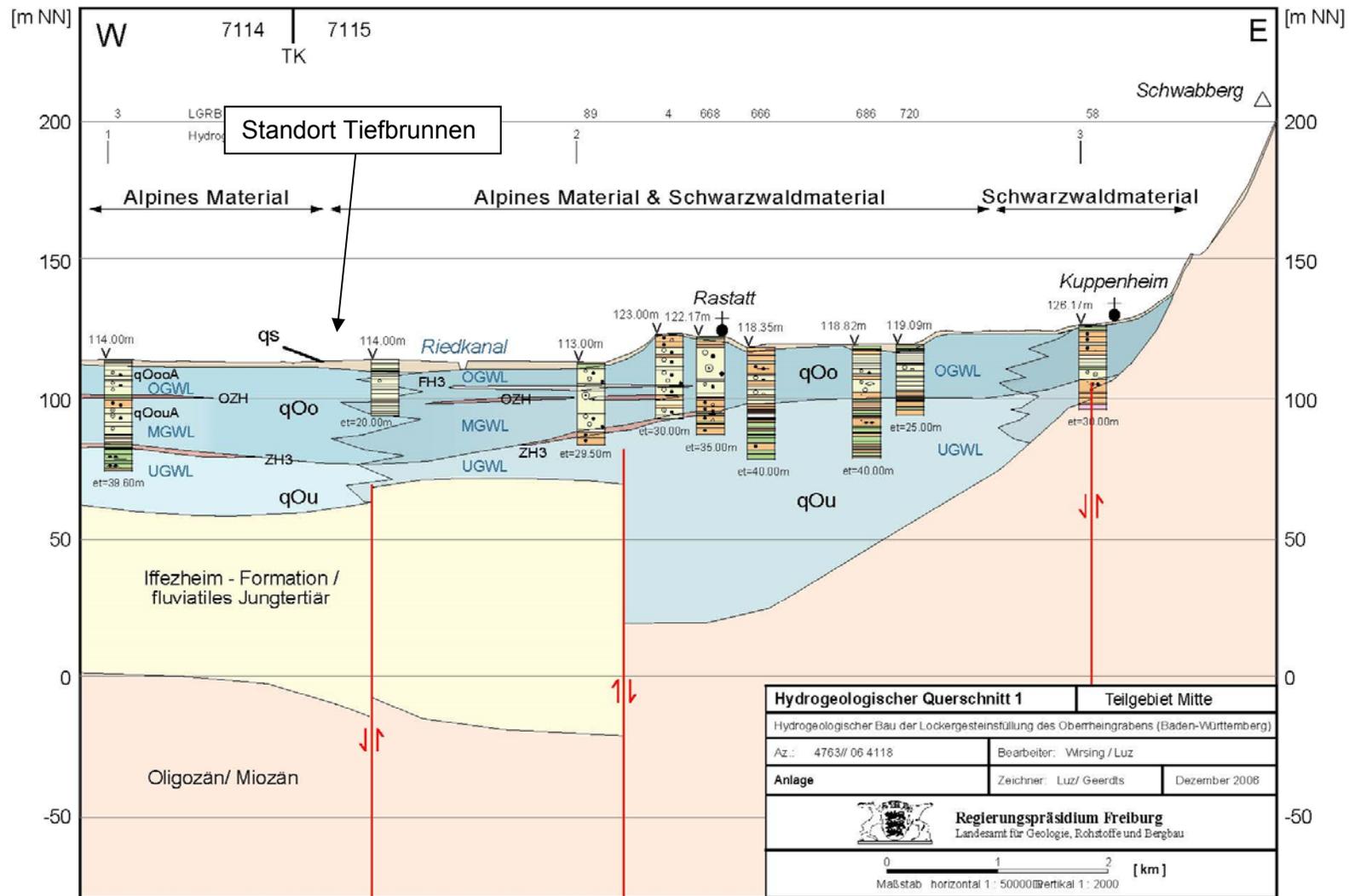


Abbildung 1: Ausschnitt aus Querschnitt 1 (LGRB Informationen Nr. 19). qOo = „Ortenau-Formation oben“; qOu = „Ortenau-Formation unten“; qs = „Deckschichten“; ZH = „Zwischenhorizont“, OGWL = „Obere Grundwasserleiter“; MGWL = „Mittlerer Grundwasserleiter“; UGWL = „Unterer Grundwasserleiter“;

3.2. Schichtenfolge im Untersuchungsgebiet – Lagerungsverhältnisse

Zur Beschreibung des geologischen Aufbaus am Standort der geplanten Tiefbrunnen D und E werden die Schichtenverzeichnisse der Grundwassermehrfachmessstellen B17 und B18 sowie die hydrogeologischen Profilschnitte der LGRB-Informationen Nr. 19 herangezogen. Die lithostratigraphischen Einheiten werden nachfolgend zusammengefasst:

0 – ca. 1,0 m: Deckschicht

Bodenhorizont (0,3 – 0,60 m), darunter folgen feinsandige, z. T. tonige und feinkiesige Schluffe sowie Fein-Mittelsand (hellbraun bis braun). Es handelt sich bei dieser Schicht um den Verwitterungshorizont.

- ca. 12,0 – 14,0 m: Ortenau-Formation Oben oberer Abschnitt (OGWL)

Überwiegend sandige Kiese (grau bis brau-braun). Im unteren Bereich sandiger grauer Kies.

- ca. 13,7 (B17) – 16,4 (B18) m: Oberer Zwischenhorizont (FH3)

Schluff, tonig, sandig, z.T. kiesig mit humosen Komponenten (grau bis schwarzbraun).

- ca. 37,5 m: Ortenau-Formation Oben unterer Abschnitt (MGWL)

Kiesiger Sand und sandiger Kies (grau – dunkelgrau) im Bereich der Basis zum Teil steinig.

- ca. 46,0 m: Zwischenhorizont (ZH3)?

Sandiger Schluff und schluffiger, fein-mittelsandiger Sand. Im unteren Bereich geringmächtige Lagen mit tonigem, feinsandigem Schluff (dunkelgrau – grau).

- ca. 59 m: Ortenau-Formation Unten (UGWL)

Hauptsächlich fein-mittelkiesiger Sand und Kies stark sandig (grau – dunkelgrau). Die Basis der quartären Ablagerung wurde in der GWM B17 bei ca. 59 m erbohrt. Im Bereich der GWM B18 bei ca. 62,4 m.

- ca. 130 m: Fluviales Jungtertiär – Iffezheim-Formation

Im Bereich der GWM B17 und B18 Schluff, tonig, feinsandig, Sonst auch Mittel-Grob-sand, bereichsweise feinkiesig sowie sandig-schluffig-tonige Ablagerungen. Im Bereich des Grabenzentrums von auffallend grauer bis überwiegend grauweißer Farbe.

3.3 Hydrogeologische Verhältnisse

3.3.1 Aquiferaufbau und -mächtigkeit, Stockwerksgliederung

Der vertikale lithologische Aufbau des Aquifers kann in die im vorigen Kapitel erläuterten quartären Schotter der Ortenau-Formation Oben oberer Abschnitt (Oberer Grundwasserleiter), Ortenau-Formation Oben unterer Abschnitt (Mittlerer Grundwasserleiter), die Ortenau-Formation Unten (Unterer Grundwasserleiter) und den Schluffen und Sanden des fluviatilen Jungtertiärs, der Iffezheim-Formation gegliedert werden.

Die Basis der quartären Ablagerungen im Bereich der geplanten Tiefbrunnen bei B17 liegt an der Basis der Ortenau-Formation Unten (Unterer Grundwasserleiter) in ca. 59,0 m Tiefe. Der Grundwasserspiegel ist im Bereich des Oberen Grundwasserleiters ungespannt. Im Rahmen der Pumpversuche wurde am 21.07.2020 ein Wasserspiegel von 3,52 m unter GOK gemessen. Im Bereich des Mittleren und Unteren Grundwasserleiters ist der Grundwasserspiegel gespannt. Das Potential des gespannten Grundwasserspiegels wurde ebenfalls im Rahmen der Pumpversuche mit 2,66 – 3,43 m unter GOK für den Mittleren Grundwasserleiter und mit 2,53 – 3,33 m unter GOK für den Unteren Grundwasserleiter gemessen. Dabei liegt das Potential des Druckspiegels der mittleren und tiefen Messstellen wenige cm über dem der oberen Messstellen. Es herrscht also im mittleren und tiefen Grundwasserleiter eine aufwärts gerichtete Strömung.

Gemäß der Schichtenfolge im Untersuchungsgebiet kann für den Oberen Grundwasserleiter eine Aquifermächtigkeit von ca. 10 - 12 m, für den Mittleren Grundwasserleiter ca. 19 - 24 m und für den Unteren Grundwasserleiter ca. 12 - 13 m angegeben werden.

Im Untersuchungsraum bzw. im Bereich der geplanten Brunnen sind die drei Grundwasserstockwerke durch die Zwischenhorizonte hydraulisch voneinander getrennt. Gemäß LGRB (2007) sind die Zwischenhorizonte westlich des Untersuchungsgebietes nicht oder nur schwach ausgeprägt. Die hydraulische Trennung der Stockwerke ist in diesen Bereichen daher nur gering bzw. nicht vorhanden.

Wie oben bereits dargestellt wurde im Rahmen der Pumpversuche in den Messstellen B17 und B18 Mitte auch eine Absenkung des Wasserspiegels in den Messstellen B18 und B17 Tief festgestellt. Analog dazu wurde während der Pumpversuche in den Messstellen B17 und B18 Tief ebenfalls eine Absenkung des Wasserspiegels in den Messstellen B18 und B17 Mitte gemessen. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine hydraulische Trennung der verschiedenen Grundwasserleiter im Teilbereichen des Untersuchungsgebietes vorhanden ist. Bei den Reaktionen im Rahmen der Pumpversuche handelt es sich um Druckentlastungen.

3.3.2 Durchlässigkeiten – Auswertung des Pumpversuches

Der Verlauf der Absenkphasen der Pumpversuche in den Grundwassermessstellen B17 Mitte, Tief und B18 Flach war in der 1. und 2. Stufe überwiegend stationär und in der 3. Stufe überwiegend instationär. In den Grundwassermessstellen B18 Mitte und Tief verlief die Absenkphase der 1. und 2. Stufe instationär, während die 3. Stufe stationär verlief. Es wurde daher als repräsentative Auswertung für die Messstellen die jeweiligen instationären Stufen nach COOPER & JACOB ausgewertet. Da es sich um Stufenpumpversuche handelt, wurde bei der Auswertung vereinfachend angenommen, dass es sich bei der Steigerung der Fördermenge bzw. bei einer weiteren Stufe um einen abgesenkten Ruhewasserspiegel handelt. Daher wurde auch für die Auswertung der jeweiligen Stufe nur die Höhe der Steigerung der Fördermenge berücksichtigt (Fördermengendifferenz). Neben den relevanten Stufen wurde der Wiederanstieg nach THEIS ausgewertet. Zur Korrektur der Absenkung für ungespannte Verhältnisse wurde die Aquifermächtigkeit entsprechend der von der Fa. Hettmannsperger Bohrgesellschaft mbH überlassenen Ausbauezeichnungen, bzw. der vom jeweiligen Filter erschlossene Bereich berücksichtigt.

Zusätzlich wurde die Auswertung der Pumpversuchsdaten in einem sogenannten Leistungsdiagramm (Darstellung Q/s) vorgenommen. Um auch die einzelnen Pumpstufen auszuwerten wurde hier die Transmissivität näherungsweise nach LOGAN abgeschätzt. Dazu muss die gemessene Absenkung um den Anteil der brunnenbedingten Absenkung (Brunnenverlust) korrigiert werden um die rein aquiferbedingte Absenkung für die Auswertung zu erhalten. Die brunnenbedingte Absenkung entsteht durch Eintritts- und Reibungswiderstände im Filterkies und Filterrohr. Gemäß Arbeitsblatt "Pumpversuche in Porengrundwasserleitern" (GLA 1976) kann dies rechnerisch oder auch grafisch mit dem erwähnten Q/s-Diagramm erfolgen. Grundlage für die Auswertung ist ein Stufenpumpversuch mit mindestens 3 Pumpstufen von möglichst gleich langer Dauer. Die Ergebnisse der Auswertungen sind in Tabelle 8 aufgelistet. Die lineare Darstellung der Daten und die Auswertungen sind in der Anlagenreihe 8 und 9 zusammengestellt.

Tabelle 8: Aquiferparameter

GWM	Absenkung nach COOPER&JACOB Transmissivität [m ² /s]	Absenkung nach LOGAN Transmissivität [m ² /s]	Wideranstieg nach THEIS Transmissivität [m ² /s]	Aquifermächtigkeit* [m]	mittlere Durchlässigkeit kf-Wert** [m/s]
B18 Flach	Stufe 3: $5,66 \cdot 10^{-2}$	$2,34 \cdot 10^{-2}$	$6,23 \cdot 10^{-2}$	12,38	$4,8 \cdot 10^{-3}$
B17 Mitte	Stufe 3: $2,97 \cdot 10^{-2}$	$1,06 \cdot 10^{-2}$	$2,40 \cdot 10^{-2}$	20,50	$1,3 \cdot 10^{-3}$
B18 Mitte	Stufe 1: $3,18 \cdot 10^{-2}$ Stufe 2: $2,39 \cdot 10^{-2}$	$4,25 \cdot 10^{-3}$	$4,49 \cdot 10^{-2}$	24,20	$1,3 \cdot 10^{-3}$
B17 Tief	Stufe 3: $1,41 \cdot 10^{-2}$	$3,97 \cdot 10^{-3}$	$1,42 \cdot 10^{-2}$	12,20	$1,2 \cdot 10^{-3}$
B18 Tief	Stufe 1: $1,58 \cdot 10^{-2}$ Stufe 2: $1,23 \cdot 10^{-2}$	$3,09 \cdot 10^{-3}$	$2,75 \cdot 10^{-2}$	13,50	$1,4 \cdot 10^{-3}$

*vom Brunnen erschlossen, ** Berücksichtigung von COOPER&JACOB und THEIS (ohne LOGAN)

Die durchgeführten Pumpversuche ergaben eine für den oberen Grundwasserleiter (Ortenau-Formation Oben) repräsentative Durchlässigkeit von $4,8 \cdot 10^{-3}$ m/s. Für den mittleren Grundwasserleiter (Ortenau-Formation Oben) wurde eine mittlere Durchlässigkeit von ca. $1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt. Für den Bereich des Unteren Grundwasserleiters (Ortenau-Formation Unten) ergab die Pumpversuchsauswertung ebenfalls eine durchschnittliche Durchlässigkeit von ca. $1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s.

3.3.2.1 Diskussion der Durchlässigkeiten

Im Rahmen des hydrogeologischen Gutachtens (1977) zu den Tiefbrunnen A - C wurden umfangreiche Pumpversuchsauswertungen durchgeführt. Die dabei im Bereich der Brunnen ermittelte mittlere Durchlässigkeit erscheint jedoch für die einzelnen Grundwasserleiter nicht repräsentativ, da die Brunnen durchgehend verfiltert sind und somit die einzelnen Grundwasserstockwerke hydraulisch kurzgeschlossen sind.

Für den Bereich des Tiefbrunnens C wurde im Rahmen des Gutachtens ein durchgehender kf-Wert von ca. $5,4 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt. Gemäß LGRB (2007) werden für die einzelnen Grundwasserstockwerke regional zwar unterschiedliche Durchlässigkeiten angegeben, Belegpunkte sind außer den Tiefbrunnen jedoch keine vorhanden. Eine zusätzliche Recherche mit Hilfe des LGRB in den dortigen analogen und digitalen Archiven ergab, dass außer dem Pumpversuch Nr. 31332 aus 1977 im Bereich der Tiefbrunnen keine weiteren Belegpunkte der kf-Wertverteilung für das Planungsgebiet vorliegen.

So wird für den Oberen Grundwasserleiter gemäß LGRB (2007) eine Durchlässigkeiten von ca. $4-6 \cdot 10^{-3}$ m/s angegeben. Dies ist in guter Übereinstimmung mit dem Pumpversuch in GWM 18 Flach, in dem ein kf-Wert von ca. $4,8 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt wurde.

Für den Mittleren Grundwasserleiter wurde gemäß LGRB (2007) ein kf-Wert von ca. $5-10 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt. Im Rahmen der Pumpversuche wurde für die Messstellen B17 Mitte und B18 Mitte eine deutlich geringere Durchlässigkeit von nur ca. $1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt.

Für den Unteren Grundwasserleiter wird laut LGRB (2007) ein Durchlässigkeitswert von ca. $2-8 \cdot 10^{-3}$ m/s angegeben. Insbesondere im Bereich der bestehenden Tiefbrunnen wird gemäß LGRB (2007) ein hoch durchlässiger Bereich mit einem kf-Wert von ca. $6-8 \cdot 10^{-3}$ m/s ausgewiesen. Allerdings sind auch in diesem Fall keine Belegpunkte vorhanden. Anhand der Pumpversuchsergebnisse kann eine deutlich geringere Durchlässigkeit von ca. $1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s auch für den Unteren Grundwasserleiter angegeben werden.

Eine Verwendung der Durchlässigkeiten aus dem o.g. Pumpversuch bzw. aus LGRB (2007) für das Planungsgebiet erscheint daher aus hydrogeologische Sicht problematisch. Es wird aus hydrogeologischer Sicht empfohlen die kf-Wertverteilung des numerischen Modells entsprechend der neu gewonnen Pumpversuchsergebnisse anzupassen

Gemäß oben genannter Diskussion und den Ergebnissen der aktuellen Pumpversuche wird für den Bereich der bestehenden Brunnen und dem Standort der neuen Brunnen folgende Verteilung der Durchlässigkeiten vorgeschlagen:

OGWL kf-Wert	4,8*10 ⁻³ m/s
MGWL kf-Wert	1,3*10 ⁻³ m/s
UGWL kf-Wert	1,3*10 ⁻³ m/s

3.3.3 Grundwasserganglinien, Flurabstände, Schwankungsbereiche

In Tabelle 9 sind die Grundwasserstände der erhobenen Grundwassermessstellen, GWM 0135/161-6, GWM 0115/161-5 und GWM 0167/211-1 zusammengestellt. Die Lage der Messstellen, östlich der Zone II, im Siedlungsgebiet Wintersdorf und im Bereich der Bahntrasse ist aus Anlage 1 ersichtlich. Der Schwankungsbereich zwischen Niedrigstwasser und Höchstwasser (HW-NW) liegt in den betrachteten Messstellen bei 1,33 m – 1,97 m. Der Flurabstand bei Niedrigstwasser liegt etwa zwischen 3,35 m – 4,16 m ca. u. GOK. Der minimale Flurabstand bei Höchstwasser liegt bei 1,38 m – 2,74 m u. GOK. Bei Mittelwasserverhältnissen liegt der Flurabstand bei ca. 2,54 – 3,68 m unter GOK (siehe auch Tabelle 9 und Abbildung 2).

Tabelle 9: Grundwasserstände im Bereich der Tiefbrunnen

Parameter	Dim.	GWM 0135/161-6	GWM 0115/161-5	GWM 0167/211-1
MW*	m+NN	112,20	112,16	111,32
NW	m+NN	111,83	111,35	110,84
HW	m+NN	113,16	113,32	112,26
HW-NW**	m+NN	1,33	1,97	1,42
Flurabstand*** MW	m	3,45	2,54	3,68
Flurabstand*** NW	m	3,82	3,35	4,16
Flurabstand*** HW	m	2,49	1,38	2,74
Zeitraum		01.2000-12.2020	01.2000-09.2020	12.2001-09.2020

*MW = Rechnerischer Mittelwert der gesamten Messreihe;

**HW-NW = Schwankungsbereich

***GOK gemäß Angabe LGRB Archiv

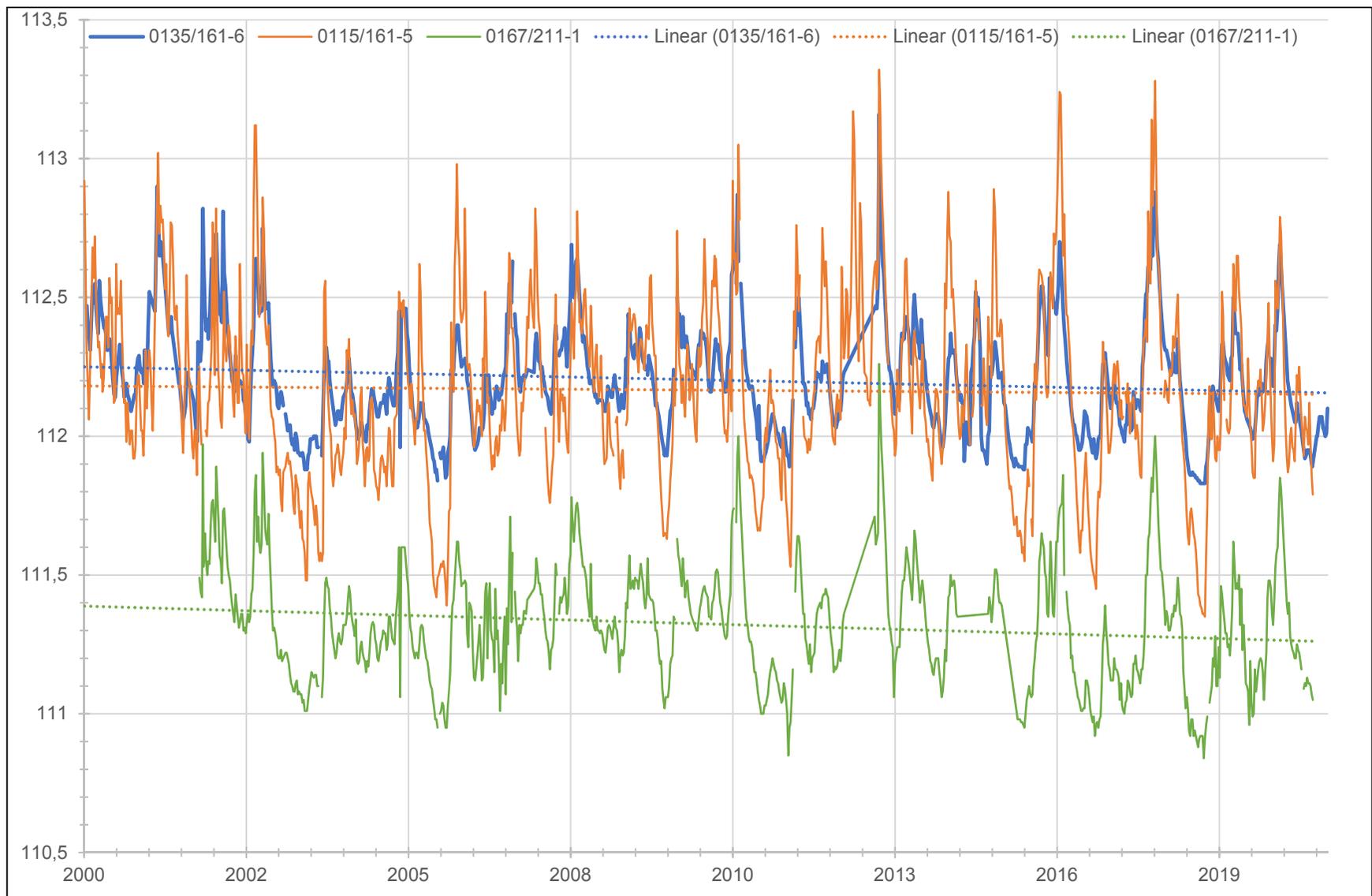


Abbildung 2: Grundwasserstände relevanter Grundwassermessstellen im Bereich der Tiefbrunnen im Zeitraum von 2000 bis 2020

3.3.4 Grundwasserfließrichtung, -gefälle, -geschwindigkeit

Aus den vierteljährigen Stichtagsmessungen des Technologiezentrums Wasser (TZW) wurden repräsentative Stichtage ausgewählt die die Fließverhältnisse im Bereich der Brunnen und des Wasserschutzgebietes zu einem relativen Niedrigwasser-, Mittelwasser- und Hochwasserstand im Oberen Grundwasserleiter abbilden. Auf Grundlage der Stichtagsmessungen wurden vom TZW Grundwassergleichenpläne konstruiert, welche die Fließverhältnisse zu den jeweiligen Wasserständen darstellen. Die Grundwassergleichenpläne sind in leicht abgeänderter Form in den Anlagen 4-6 dargestellt.

Die mittlere Fließgeschwindigkeit v_0 (Abstandsgeschwindigkeit) des oberen Grundwasserleiters wurde für die unterschiedlichen Fließverhältnisse (= rel. Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserstand) nach

$$V_0 = \frac{k_f * i_0 * 86400}{p} = m/Tag$$

mit k_f = Durchlässigkeit des OGWL ($4,8 \cdot 10^{-3}$ m/s – siehe Kap. 3.3.2)
 i_0 = Gefälle des Ruhewasserspiegels
 p = nutzbare Porosität (0,15)

berechnet. Die verwendeten Größen zur Berechnung der Abstandsgeschwindigkeiten, sowie die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Im Bereich der Schutzzone IIIA und IIIB, insbesondere im Bereich der Seen, liegen die Fließgeschwindigkeiten aufgrund der Zunahme des Grundwassergefälles deutlich höher. Bei einer Verdoppelung des Gradienten ergibt sich eine Verdoppelung der Fließgeschwindigkeit.

Tabelle 10: Hydraulische Parameter des Oberen Grundwasserleiters im Bereich der Tiefbrunnen

	HW Stichtag 16.01.18	MW Stichtag 23.07.20	NW Stichtag 21.10.20
kf-Wert* (m/s) (Durchlässigkeit)	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
i_0 (Grundwassergefälle)	0,00057	0,00057	0,00059
p** (nutzbare Porosität)	0,15	0,15	0,15
v_0 (m/Tag) (Abstandsgeschwindigkeit)	1,58	1,58	1,63

*aus Pumpversuch

** angenommener Wert

Grundwasserverhältnisse bei relativem Mittelwasserstand (Stichtag 23.07.2020)

Am Stichtag, dem 23.07.20, sind im Untersuchungsgebiet Grundwasserstände gemessen worden, die einem relativem Mittelwasserstand entsprechen. Die generelle Fließrichtung des Grundwassers im Bereich der Brunnen verläuft ähnlich der Fließrichtung der Oberflächengewässer mit relativ flachem Gefälle von Südwest nach Nordost (siehe Anlage 4). Im nördlichen Bereich der Zone IIIA liegt ebenfalls eine nach Nordosten gerichtete Fließrichtung vor, die sich südlich des Baggersees der Firma Kaltenbach mit etwas steilerem Gefälle nach Norden einstellt. Im Bereich südlichem Bereich der Zone IIIA und im Bereich der Schutzzone IIIB fließt das Wasser dann bei einheitlichem Gefälle in nordwestliche Richtung ab. Im ober- und unterstromigen Bereich des Baggersees der Firma Kaltenbach, des Kühl/Petersees bzw. des IKE/Kern-Petersees und des Leifsees kommt es durch die Freilegung des Grundwassers, und der dadurch bedingten Kippung der Grundwasseroberfläche, zu lokalen Veränderungen der Grundwasserströmungsrichtung sowie des Grundwassergefälles. Besonders im südlichen Bereich der Zone IIIB, südlich des Kühl/Petersees bzw. des IKE/Kern-Petersees sowie im Bereich des Leifsees, kommt es bereichsweise zu einer deutlichen Zunahme des Grundwassergefälles.

Grundwasserverhältnisse bei relativem Hochwasserstand (Stichtag 16.01.2018)

Grundwasserstände die einem relativem Hochwasserstand entsprechen wurden im Untersuchungsgebiet am Stichtag den 16.01.2018 gemessen. Im Bereich der Brunnen bzw. im Bereich der Zone II liegt zu Hochwasserständen eine leicht veränderte Grundwasserfließrichtung nach Ostnordost vor. Die generelle Fließrichtung des Grundwassers bei Hochwasserstand verläuft im restlichen Teil des Schutzgebietes analog zu der Fließrichtung bei Mittelwasserverhältnissen. Im Bereich südlich des Kühl/Petersees bzw. des IKE/Kern-Petersees steigt das Grundwassergefälle stärker an als bei Mittelwasserverhältnissen. Aus dem Vergleich der Grundwassergleichenpläne 4 und 5 ist ersichtlich, dass bei diesem relativen Hochwasser die Grundwasserstände ca. 0,5 m - 0,75 m über den Ständen des Stichtages vom 23.07.2020 liegen (relativer Mittelwasserstand).

Grundwasserverhältnisse bei relativem Niedrigwasserstand (Stichtag 21.10.2020)

Die mit Stichtag vom 21.10.2020 gemessenen Grundwasserstände entsprechen einem relativem Niedrigwasserstand. Die Fließrichtung bei Niedrigwasserständen verläuft ähnlich wie zu Mittelwasserverhältnissen. Die Grundwasserstände beim ausgewählten Niedrigwasserstand vom Oktober 2020 liegen im Bereich der Brunnen nur ca. 0,05 – 0,1 m untern den Grundwasserständen bei Mittelwasserverhältnissen. Nach Süden hin nimmt der Unterschied zwischen Mittelwasser- und Niedrigwasserstand zu und liegt im Bereich der Schutzzone IIIB bei bis zu 0,25 m (siehe Anlagen 4 - 6).

3.3.5 Oberflächengewässer

Das Wasserschutzgebiet Ottersdorf liegt im Einzugsgebiet des Riedkanals, der von Iffezheim kommend im mittleren Bereich das Schutzgebiet kreuzt und in nordwestliche Richtung abfließt. Dem System des Riedkanals zugehörig ist auch der Mühlwerlgraben, der südlich der Zone II dem Riedkanal zufließt. Westlich der Zone IIIA befindet sich der Bruchwiesengraben der ebenfalls dem Riedkanal zufließt. Die oben genannten Fließgewässer werden von der LUBW als Gewässer II. Ordnung geführt und sind somit von wasserwirtschaftlicher Bedeutung.

Weitere bedeutende Oberflächengewässer bilden der Kaltenbachsee im Südosten des Wasserwerks, der Kühl/Petersee sowie der IKE/Kern-Petersee zwischen Iffezheim und Sandweier und außerdem der Leifsee südwestlich von Sandweier. Die Gewässer wurden entsprechend ihrer Anbindung an das Grundwasser bei den numerischen Modellrechnungen berücksichtigt (Infiltration oder Exfiltration).

3.3.6 Grundwasserüberdeckung

In den Bohrungen GWM B18 und B17 wurde eine Deckschichtmächtigkeit von bis zu ca. 1 m angetroffen. Gemäß den Schichtenverzeichnissen besteht die Deckschicht aus Mutterboden (0-0,40 m) darunter folgen feinsandige, z. T. tonige und feinkiesige Schluffe sowie Fein-Mittelsand. Die Flurabstände liegen je nach klimatischen Verhältnissen bei ca. 2,74 – 3,64 m. Der Grundwasserspiegel ist im Oberen Grundwasserspiegel ungespannt und in den darunter folgenden Stockwerken gespannt.

3.3.7 Wasserentnahmen – Wasserrecht

Gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis des Regierungspräsidiums Karlsruhe vom 14.03.1975 zur Grundwasserentnahme im Wasserwerk Rastatt-Ottersdorf dürfen insgesamt 4.450.000 cbm/Jahr aus insgesamt 6 Tiefbrunnen gefördert werden. Allerdings wurden insgesamt nur 3 Tiefbrunnen (A, B, C) realisiert bzw. in Betrieb genommen, welche eine Jahresentnahme von ca. 2.737.500 cbm/Jahr aufweisen. Für den Planzustand mit insgesamt 5 bzw. später eines 6. Brunnen soll die ursprünglich genehmigte Jahresentnahme von 4.450.000 cbm/Jahr wieder zugrunde gelegt werden. In Tabelle 11 sind die aktuellen und geplanten bzw. zu beantragenden Wasserentnahmen aufgelistet.

Tabelle 11: Grundwasserförderung in den Tiefbrunnen Rastatt-Ottersdorf

Parameter	Entnahmemenge aktuell	Entnahmemenge Planung	Wasserrecht*
l/s	?	342	342
cbm/Tag	ca. 10.500	23.600	23.600
cbm/Jahr	ca. 2.737.500	4.450.000	4.450.000

* Befristet bis 31.12.2028

3.3.8 Grundwassereinzugsgebiet – Neubildung

Das oberstromige Einzugsgebiet der Brunnen erstreckt sich in südsüdöstliche Richtung und besteht aus Waldgebieten und landwirtschaftlichen Flächen. Etwa 1,2 km südöstlich des Wasserwerks liegt der Baggersee der Firma Kaltenbach auf der Gemarkung Ottersdorf. Im weiteren Schutzgebiet liegen zwei weitere Baggerseen (Firmen Kühl, Peter, IKE und Kern auf den Gemarkungen Sandweier bzw. Iffezheim).

Daten zur Grundwasserneubildung wurden im Rahmen der Kalibrierung des Grundwasserströmungsmodells von der Fa. Wald und Corbe (2016) bei der LUBW erhoben. Die erhobenen Daten aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW für ein 250 m x 250 m Raster umfassen einen Zeitraum von 1986 bis 2015. Für das Gebiet der Modellierung wurde von Wald und Corbe für den oben genannten Zeitraum ein Gebietsmittel von ca. 8,4 l/s*km² angegeben. Im Wasser und Boden Atlas (WaBoA) der LUBW wird die mittlere jährliche Grundwasserneubildung für den Bereich des Schutzgebietes mit ca. 7,9 l/s*km² angegeben.

3.4 Hydrochemische Analysen

Grundwassermessstelle B17

In Tabelle 12 sind die Analyseergebnisse der entnommenen Grundwasserproben aus den Grundwassermessstellen B17 Mitte und Tief zusammengestellt. Die Analysenprotokolle sind in Anlage 10 dem Bericht beigelegt. Die untersuchten Grundwässer können gemäß Mittelung TZW (2021) wie folgt charakterisiert werden.

- Die Gesamthärte in den Messstellen liegt etwa im mittleren Bereich, wie sie für den Oberrheingraben typisch ist. Eine Abnahme der Gesamthärte mit zunehmender Tiefe kann in der Messstelle B17 festgestellt werden.
- Beide Wässer wiesen erhöhte Trübungen auf. Die Trübungen betragen 6,2 FNU in der Messstelle B17M und 5,9 FNU in der Messstelle B17T. Dies liegt vermutlich an der mangelnden Klarspülung der Messstellen.
- Die Wässer aus B17M und B17T wiesen einen leichten Geruch nach Schwefelwasserstoff auf. Zusammen mit dem Nichtvorhandensein von Nitrat und Sauerstoff ist dies ein Hinweis auf reduzierende Verhältnisse (sauerstoffarmes Milieu). Sulfid oder Methan konnten ebenfalls nicht nachgewiesen werden.
- Die Eisen-, Mangan- und Ammoniumwerte konnten in geringen Mengen festgestellt werden. Eisen und Mangan liegen dabei nahezu vollständig in gelöster Form vor. In der mittleren und tiefen Messstelle B17 wird für Eisen jeweils eine Konzentration von 1,2 mg/L gemessen. Für Ammonium liegt eine Konzentration von 0,22 – 0,36 mg/l vor. Für Mangan werden die höchsten Konzentrationen mit 0,314 mg/L im Mittleren

Bereich festgestellt. Im Tieferen Bereich liegt die Konzentration bei 0,201 mg/L. Die Konzentrationen an Eisen, Mangan und Ammonium sind aufbereitungsrelevant.

- Bei Natrium ist ebenfalls eine Zunahme der Konzentration in zunehmender Tiefe festzustellen. Derselbe Effekt ist für SAK und zum Teil für TOC zu beobachten.
- Bor und Uran werden nur in sehr geringer Konzentration von 0,0003 mg/L in B17M und 0,0001 mg/L in B17T festgestellt. Die Bestimmungsgrenze beträgt 0,0001 mg/L.
- Für alle untersuchten PSM-Wirkstoffe und Metabolite sowie für die drei leichtflüchtigen Halogenwasserstoffe wurden erfreulicherweise keine Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze festgestellt.

Grundwassermessstelle B18

In Tabelle 12 sind die Analyseergebnisse der entnommenen Grundwasserproben aus den Grundwassermessstellen B18 Flach, Mitte und Tief zusammengestellt. Die Protokolle zur Entnahme der Wasserproben und die Analysenprotokolle sind in Anlage 10 dem Bericht beigefügt. Die untersuchten Grundwässer können gemäß Mittelung TZW (2021) wie folgt charakterisiert werden.

- Die Gesamthärte in den Messstellen liegt etwa im mittleren Bereich, wie sie für den Oberrheingraben typisch ist. Eine Abnahme der Gesamthärte mit zunehmender Tiefe kann festgestellt werden.
- In der Messstelle B18 wurde eine deutliche Zunahme der Trübung mit zunehmender Tiefe gemessen.
- In der Mittleren und Tiefen Messstelle B 18 wurde kein Nitrat festgestellt. In der Messstelle B18 Flach wurde ein geringer Nitratgehalt von 6 mg/l gemessen.
- Die Eisen-, Mangan- und Amoniumwerte konnten in geringen Mengen festgestellt werden.
- Bei Natrium ist ebenfalls eine Zunahme der Konzentration in zunehmender Tiefe festzustellen. Derselbe Effekt ist für SAK und zum Teil für TOC zu beobachten.
- Bor wird nur in sehr geringer Konzentration gemessen. In der Messstelle 18T wurde Uran nicht über der Bestimmungsgrenze festgestellt.
- Für alle untersuchten PSM-Wirkstoffe und Metabolite sowie für die drei leichtflüchtigen Halogenwasserstoffe wurden auch hier keine Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze festgestellt.

- In den Wasserproben aus B18M und B18T konnten keine Röntgenkontrastmittel (RKM) nachgewiesen werden. In der flachen Messstellen B18F, konnte von den untersuchten RKM lediglich Amidotrizoesäure in geringen Konzentrationen von 0,024 µg/L nachgewiesen werden.

Nitrat im Einzugsgebiet

Die Nitratbelastung im Einzugsgebiet ist insgesamt gering bis moderat. Die höchste Nitratbelastung im Einzugsgebiet wird in der Messstellen B14 Flach gemessen, die sich in der Schutzzone IIIB befindet. In der Messung vom 12.03.2018 wurde mit 51,3 mg/L eine einmalige Überschreitung des Grenzwertes von 50 mg/L festgestellt. In den folgenden Messungen wurde ein Rückgang auf 23,5 – 37,8 mg/L gemessen.

In der Schutzzone IIIA werden in der Messstell B 12 Flach die höchsten Nitratwerte gemessen. Der Nitratgehalt liegt hier bei 34,2 – 41,8 mg/L, seit 2018 kann ein deutlich ansteigender Trend festgestellt werden. Im Bereich der Schutzzone II liegt der Nitratgehalt in der Messstelle 106.51-12 flach mit einer Konzentration von 7,2 - 15,3 mg/L am höchsten. Die Belastung des Grundwassers in den Brunnen 1 – 3 liegt zwischen 3,4 – 7,2 mg/L und damit in einem unauffälligen Bereich. Im Bereich der Messstelle B17 liegen Messdaten seit Juni 2018 vor. Dabei wird nur im oberen Grundwasserleiter eine geringe Nitratbelastung von 5,2 – 6,6 mg/L gemessen. Im mittleren und unteren Bereich ist kein Nitrat nachgewiesen.

Generell ist die Nitratbelastung im Einzugsgebiet im Oberen Grundwasserleiter am höchsten. Im Mittleren und Unteren Grundwasserleiter wird nur in wenigen Messstellen eine geringe Nitratbelastung gemessen.

Tabelle 12: Hydrochemische Analysen

Prüfparameter	Dim.	19.11.2020		15.07.2020	16.07.2020	17.07.2020
		GWM B17 Mitte	GWM B17 Tief	GWM B18 Tief	GWM B18 Mitte	GWM B18 Flach
Fassungstemperatur	°C	11,5	11,6	11,7	11,6	12,6
Färbung, 436 nm	1/m	0,1	0,2	< BG	< BG	< BG
Trübung, quantitativ	FNU	6,2	5,9	13	9,5	1,1
Geruch, qualitativ	-	l. n. H2S	l. n. H2S	leicht mod- rig	leicht mod- rig	ohne
Vor-Ort, Leitfähigkeit (25°C)	µS/cm	577	531	539	530	596
Vor-Ort, pH-Wert	-	7,29	7,39	-	-	-
Vor-Ort, Sauerstoff	mg/L	< BG	< BG	-	-	-
Elektr. Leitfähigkeit bei 25°C	µS/cm	583	535	562	567	643
pH-Wert, Labor	-	7,24	7,33	7,38	7,31	7,17
pH-Wert bei Fassungstemperatur	-	7,33	7,43	-	-	-
pH-Wert nach Calcitsättigung b. Fassungstemp.	-	7,23	7,32	-	-	-
Säurekapazität bis pH 4,3	mmol/L	5,47	5,26	5,39	5,31	5,53
Basekapazität bis pH 8,2	mmol/L	0,67	0,52	0,48	0,56	0,81
Gesamthärte	mmol/L	2,83	2,32	1,86	2,59	3,1
Gesamthärte °dH	° dH	15,8	13	-	-	-
Hydrogencarbonat	mg/L	331	318	-	-	-
Sättigungsindex	-	0,15	0,15	-	-	-
Calcitlösekapazität	mg/L	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Calcitabscheidekapazität	mg/L	14	12	-	-	-
Ammonium	mg/L	0,22	0,36	0,42	0,22	0,02
Calcium	mg/L	96,1	78,2	61,5	87,9	109
Magnesium	mg/L	10,5	9	7,8	9,7	9,2
Eisen	mg/L	1,22	1,26	1,16	1,15	0,32
Eisen, gelöst	mg/L	1,2	1,2	1,03	1,06	0,31
Mangan	mg/L	0,314	0,201	0,132	0,344	0,13
Mangan, gelöst	mg/L	0,315	0,2	0,127	0,339	0,13
Aluminium	mg/L	< BG	< BG	0,05	0,03	< BG
Natrium	mg/L	14,5	26	46,6	15,8	10,7
Kalium	mg/L	2,2	2,8	3	1,7	2,3
Chlorid	mg/L	12,7	13	19,2	13,4	20,6
Nitrat	mg/L	< BG	< BG	< BG	< BG	6
Sulfat	mg/L	25,4	9,1	5,3	20,3	35,7
Sulfid	mg/L	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Phosphor, gesamt	mg/L	< BG	< BG	0,1	< BG	< BG
Cyanid, gesamt	mg/L	< BG	< BG	-	-	-
Fluorid	mg/L	0,07	0,08	0,09	0,07	0,07
Silicium	mg/L	6,6	7,8	7,6	6,3	4,5
TOC	mg/L	0,82	0,99	0,7	1	0,67
SAK, 254 nm	1/m	2,4	2,8	3,6	2,1	1,4
Methan	µg/L	< BG	< BG	-	-	-
Bor	mg/L	0,03	0,05	0,06	0,03	0,03
Chrom	mg/L	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Selen	mg/L	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Quecksilber	mg/L	< BG	< BG	-	-	-
Uran	mg/L	0,0003	0,0001	< BG	0,0004	0,0009
Amidotrizoesäure	µg/L	-	-	< BG*	< BG*	0,025*

*Messung vom 19.10.2020

3.5 Isotopenhydrologische Analysen

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Isotopenanalysen aus dem Jahr 2020 der GWM B17 und B18 zusammengefasst. Es sind die Tritium-, Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte in den Messstellen bestimmt worden.

3.5.1 Stabile Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium - Grundlagen und Ergebnisse

Im Wasserkreislauf kommen diese Wassermoleküle in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Bei allen Phasenumwandlungen des Wassers, wie Kondensations- bzw. Verdunstungsvorgängen, findet eine temperaturabhängige Isotopenfraktionierung statt. Als Teil des Wassermoleküls stellen die stabilen Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium ideale Tracer dar, die flächenhaft mit dem Niederschlag eingetragen werden. Somit liefern die stabilen Isotope des Wassers Sauerstoff-18 und Deuterium Hinweise auf die Herkunft und Bildungsbedingungen von Grundwässern.

Hierbei kann auch der Höheneffekt eine Rolle spielen. Grund- und Oberflächenwässer aus höher gelegenen Einzugsgebieten oder Einzugsgebieten mit kälteren Klimabedingungen, wie z. B. beim Rheinwasser aufgrund seines dominierend alpinen Einzugsgebietes, zeigen eine charakteristische Markierung durch niedrige Sauerstoff-18-Werte (leichte Signatur), wohingegen höhere Werte (schwere Signatur) auf wärmere Bedingungen bzw. niedriger gelegene Einzugsgebiete hinweisen (z. B. Oberrheinebene). Grund- und Oberflächenwässer aus dem Schwarzwald (Bsp. Kinzig-Uferfiltrat) nehmen hier eine Mittelstellung ein. Der Höheneffekt zwischen Oberrheinebene und Schwarzwald liegt bei etwa 0,2 ‰ pro 100 m.

Die ^{18}O - und ^2H -Gehalte werden als $\delta^{18}\text{O}$ - bzw. $\delta^2\text{H}$ - Werte in ‰ dargestellt. Sie beziehen sich auf den internationalen Standard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) und weisen wegen der generellen Abreicherung gegenüber dem Meerwasser negative Werte auf. Die analytischen Messgenauigkeiten liegen bei $\pm 0,15$ ‰, bzw. bei $\pm 1,5$ ‰ (Deuterium). Zwischen den ^{18}O - und ^2H -Gehalten im Niederschlag besteht eine lineare Beziehung, die sich durch die sogenannte Niederschlagsgerade darstellen lässt. Im Bereich des Oberrheingrabens liegt d (Deuterium-Exzess) bei etwa 8 bis 10, Rhein-Uferfiltrat weist in der Regel einen vergleichsweise höheren Deuterium-Exzess von etwa $d = 10$ auf.

Mit Hilfe von ^{18}O - und ^2H -Untersuchungen lassen sich zudem Einflüsse von Baggersee-Uferfiltrat erkennen, da die obere Wasserschicht eines Grundwassersees (Epilimnion) in den Sommermonaten als Folge von Verdunstungsprozessen durch Anreicherung der Isotopen ^{18}O - und ^2H im Verhältnis zu ^{16}O und ^1H markiert ist. Dies äußert sich durch vergleichsweise schwere Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte (je mehr ^{18}O - und ^2H -Isotope im Verhältnis zu ^{16}O und ^1H umso „isotopisch schwerer“ ist ein Wasser). Durch die Isotopenfraktionierung verringert sich auch der Deuterium-Exzess. Die Wässer, die

bei fortschreitender Verdunstung eines Ausgangswassers entstehen, liegen im Diagramm auf der so genannten Verdunstungsgeraden. Die Markierungen des See-Uferfiltrats werden unterstromig durch Vermischungsprozesse mit Grundwässern anderer Herkunft überlagert. Ein durch Verdunstungsprozesse markiertes Seewasser lässt sich unterstromig des Sees durch eine Art „Fahne“ mit vergleichsweise isotopisch schweren ^{18}O und ^2H -Gehalten sowie geringen Deuterium-Exzessen verfolgen.

Dies kann genutzt werden, um die Vermischung von Seewasser und von Seewasser unbeeinflusstem Grundwasser zu bilanzieren. Zusätzlich lassen sich aus dem Verlauf der „Fahne“ die Grundwasserfließrichtung und bei Zeitreihenuntersuchungen auch Grundwasserfließzeiten und Abstandsgeschwindigkeiten abschätzen. Baggerseen mit einer geringen Anbindung an den Grundwasserstrom aufgrund von Kolmation („Seenalterung“) oder Selbstabdichtung durch sedimentierte Schwebstoffe (bei Baggerbetrieb) zeigen aufgrund ihrer geringen Austauschrate eine zunehmende Isotopenanreicherung.

Ergebnisse

An den Proben der untersuchten Messstellen wurden die Sauerstoff-18- und Deuterium Gehalte insgesamt zwischen $-8,37$ und $-8,17$ ‰ ($d^{18}\text{O}$) bzw. $-57,1$ und $-55,7$ ‰ ($d^2\text{H}$) gemessen. Unter Berücksichtigung der analytischen Messgenauigkeiten von $\pm 0,15$ ‰ ($d^{18}\text{O}$) und $\pm 1,5$ ‰ ($d^2\text{H}$) sind die Sauerstoff-18- und Deuterium Gehalte der Proben B 17 M und B17 T sowie B 18 F, B 18 M und B 18 T quasi identisch. Alle 5 Proben liegen auf der mittleren Niederschlagsgerade. Dies zeigt auch, dass keine Einflüsse durch Verdunstung bzw. Baggersee-Uferfiltrat von den weiter südlich liegenden Baggerseen erkennbar sind (siehe Abbildung 3). Die Analysewerte zeigen entsprechen dem typischen Wertebereich von jüngeren Grundwässern der Region, die unter den aktuellen (OGWL) bzw. den Klimabedingungen der letzten Jahrzehnte (UGWL) neu gebildet wurden und die aufgrund ihrer Lage auf der Niederschlagsgerade keine Hinweise auf Verdunstungsprozesse anzeigen.

Tabelle 13: Ergebnisse der Isotopenanalysen 2020

Datum	GWM	Sauerstoff-18 ($d^{18}\text{O}$)	Deuterium ($d^2\text{H}$)	Deuterium- Excess	Tritium (^3H)
19.11.2020	B17M	-8,17	-55,7	9,66	3,2 (+/- 0,5)
19.11.2020	B17T	-8,30	-57,1	9,3	< 0,6
21.07.2020	B18F	-8,37	-56,9	10,06	7,9 (+/- 1,1)
16.07.2020	B18M	-8,26	-56,2	9,88	3,9 (+/- 1,6)
15.07.2020	B18T	-8,32	-56	10,56	0,7 (+/- 0,5)

3.5.2 Tritium – Grundlagen und Ergebnisse

Tritium ist das radioaktive Isotop des Wasserstoffs (^3H ; Halbwertszeit 12,3 Jahre). Die natürliche Produktionsrate von Tritium ist gerade so hoch, dass die Niederschläge ca. 5 TU enthalten (TU = Tritium-Units, 1 TU = 0,119 Bq/l). Als Folge der Wasserstoffatombombentests in den 1950-er und 1960-er Jahren kam es zu Tritiumgehalten in den Niederschlägen von mehreren 1000 TU, die seither abnehmen. Wie die Tritium-Zeitreihenuntersuchungen der Niederschlagsmessstation Freiburg zeigen, weisen die aktuellen Niederschläge als Spätfolge dieser und jüngerer Tests noch Tritiumgehalte von etwa 5 - 15 TU auf, wobei Winterniederschläge durch vergleichsweise geringe (4-8 TU) und Sommerniederschläge durch vergleichsweise hohe Gehalte (8-13 TU) geprägt sind. Im Jahr 2000 lagen die ^3H -Gehalte der mitteleuropäischen Niederschläge noch zwischen 20 und 30 TU. Die Tritiumkonzentrationen der Grundwässer können zur Abschätzung der mittleren Verweilzeit (MVZ) der Jungwasserkomponente (nach 1953 gebildet) herangezogen werden.

Ergebnisse

Die Tritiumgehalte liegen insgesamt zwischen $< 0,6$ TU und $7,9 \pm 1,5$ TU. Anhand der Tritiumgehalte der Proben B 17 M und B17 T sowie B 18 F, B 18 M und B 18 T lassen sich deutliche Unterschiede ablesen. Die Tritiumgehalte der vergleichsweise tief zirkulierenden Grundwässer (B 17 T und B 18 T) sind Tritium-frei ($< 0,6$ TU) bzw. annähernd Tritium-frei ($0,7 \pm 0,5$ TU).

Diese Grundwässer sind dominant vor dem Jahr 1953 neugebildet worden (d. h. „alte Tritium-freie Grundwasserkomponente“). Gemäß den Ergebnissen der hydrochemischen Untersuchungen liegen hier sogenannte Ionenaustauschwässer vor (kaum oder kein Chlorid und erhöhte Natriumgehalte). Somit bestätigen sowohl die hydrochemischen als auch die isotopenhydrologischen Untersuchungen, dass es sich hier um „alte Grundwasserkomponenten“ handelt.

An der flachen Messstellen B 18 F ist ein Tritiumgehalt von $7,9 \pm 1,5$ TU festzustellen (Probe vom 21.07.2021). Dieser Tritiumgehalt entspricht den aktuellen Tritiumgehalten im Niederschlag (d. h. „junge Grundwasserkomponente“).

Die Tritiumgehalte der Grundwässer der Messstellen B 17 M und B 18 M ($3,2 \pm 0,5$ TU bzw. $3,9 \pm 1,6$ TU) deuten auf ein Mischwassersystem aus „jungen Grundwasserkomponenten“ und „alten Grundwasserkomponenten“ hin. Die hydrochemischen Untersuchungen deuten hier ebenfalls auf Mischwässer hin („altes Ionenaustauschwasser“ und „Jungwasser“). Detaillierte Aussagen zu Mischungsanteilen wären über kombinierte Untersuchungen von Tritium zusammen mit einem zweiten Datierungstracer möglich (z. B. SF6). Es wird empfohlen im Rahmen einer Stichtagsmessung im gesamten Einzugsgebiet der Tiefbrunnen eine isotopenhydrologische Bestandsaufnahme zu veranlassen um die tiefenbezogene Beschaffenheit der Grundwasserleiter zu erfassen.

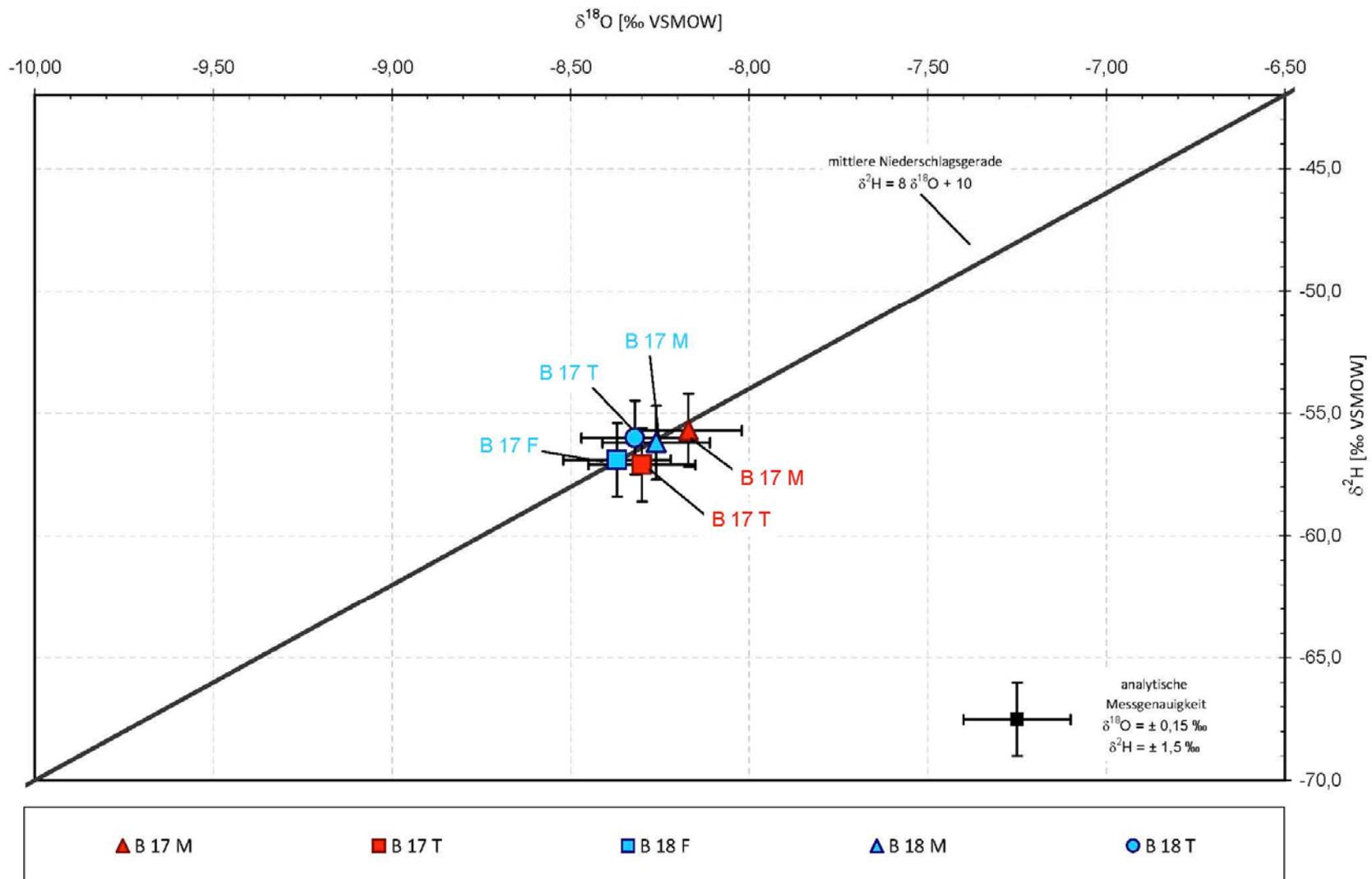


Abbildung 3: Korrelation Deuterium-Gehalt versus Sauerstoff-18-Gehalt

Dass es sich bei dem Grundwasser des Unteren Leiters um ein relativ von den Oberen Grundwasserleitern isoliertes Wasser handelt, bestätigen auch die höheren Druckspiegel des Unteren und Mittleren Grundwasserleiters gegenüber dem oberen Leiter. Durch das höhere Potential wird ein Zuströmen vom oberen bzw. mittleren Grundwasserleiter in den unteren zumindest im Bereich der Messstellen verhindert. Das erklärt auch das Fehlen von PFC im Mittleren und Unteren Grundwasserleiter, neben den trennenden Zwischenhorizonten ist dies auch auf die Druckunterschiede zurückzuführen.

3.6 Wasserschutz-, Wassersicherungs- und Überschwemmungsgebiete

Die Tiefbrunnen der Stadtwerke Rastatt GmbH sind Teil der Trinkwasserversorgung der Stadt Rastatt. Die Zone II dieser Brunnen im Wasserschutzgebiet „Stadt Rastatt WSK Ottersdorf“, liegt südlich der Ortschaft Ottersdorf und westlich der Stadt Rastatt. Die Zone III erstreckt sich in südsüdöstliche Richtung bis zur Ortschaft Sandweier. An die Zone IIIB dieses Wasserschutzgebietes schließt die Zone II des Wasserschutzgebietes „Grundwasserwerk Sandweier“ der Stadt Baden-Baden an (siehe Anlage 7). Vor dem Hintergrund der Errichtung der neuen Brunnen 4 und 5 ist eine Erweiterung der Zone II nach Westen erforderlich.

Ein HQ-100 Überschwemmungsgebiet ist ca. 150 m südlich der Zone II, im Bereich des Mühlwehrgrabens sowie im Bereich des ca. 500 m südlich gelegenen Baggersee (Firma Kaltenbach auf Gemarkung Ottersdorf) ausgewiesen (siehe Anlage 7).

3.7 Sonstige Schutzgebiete

In Anlage 7 sind die ausgewiesenen Biotope und Flora-, Fauna- Habitatgebiete (FFH-Gebiete) sowie die Natur- und Landschaftsschutzgebiete dargestellt.

Im Bereich der Schutzzone II, im näheren Umfeld des Tiefbrunnens C, liegt das Offenlandbiotop „Naßwiesen am Wasserwerk Ottersdorf“ und das Biotop „Feldhecken südwestlich des Wasserwerkes bei Ottersdorf“. Weitere Offenlandbiotope, hauptsächlich Feldgehölze und Naßwiesen, befinden sich südlich der Bahntrasse. Entlang der südöstlichen Abgrenzung der Zone II liegen die Waldbiotopkartierungen „Waldmeister- Buchenwald und Oberwald“ und „Waldmeister- Buchenwald W Rastatt“. Im Bereich des Mühlwehrgrabens ist das Waldbiotop „Mühlwehrgraben – Altwasser S Oberwald“ ausgewiesen. Zwischen dem Mühlwehrgraben und der Bahntrasse befindet sich zudem das Waldbiotop „Buchenwald in der Geggenau“.

Weiterhin erstreckt sich im Bereich der Zone II, bis hin zu den Bahngleisen nordwestlich des Riedkanals, das FFH-Gebiet „Rheinniederung zwischen Wintersdorf und Karlsruhe“. Südlich der Bahngleise, im östlichen Bereich des Wasserschutzgebietes, liegt das FFH-Gebiet „Rheinniederungen und Hardtebene zwischen Lichtenau und Iffezheim“.

Das Naturschutzgebiet „Rastatter Ried“ liegt ebenfalls im Bereich der Schutzzone II und wird im Süden von der Bahntrasse und im Südosten vom Riedkanal begrenzt. Zwischen

dem Wasserwerk Ottersdorf und dem Siedlungsgebiet der Stadt Rastatt befindet sich das Naturschutzgebiet „Rastatter Bruch“. Entlang der östlichen Abgrenzung des Wasserschutzgebietes liegt das Naturschutzgebiet „Sandheiden und Dünen bei Sandweier und Iffezheim“.

Landschaftsschutzgebiete befinden sich nordöstlich des Wasserwerkes „Rastatter Ried“, und westlich des Schutzgebietes, „Rastatter Bruch“. Im westlichen Bereich der Zone IIIB liegen das Landschaftsschutzgebiet „Iffezheimer Sanddünen“ und „Sanddünen Niederwald“. Des Weiteren verläuft ein Niedermoor entlang des Mühlwehrgrabens.

3.8 Altlasten und Altablagerungen

Im Bereich der Brunnenanlagen sowie des Wasserschutzgebietes sind keine Altlastenstandorte bekannt.

4. PFC-Problematik

4.1. Allgemeines zur PFC-Belastung

Seit dem Jahr 2013 erstmalig poly- und perfluorierte Chemikalien (PFC) in der Trinkwasserversorgung der Stadt Rastatt nachgewiesen wurden, beschäftigen sich verschiedene Stellen der Verwaltung intensiv mit der PFC-Problematik und erarbeiten individuelle und allgemeine Lösungsmöglichkeiten zum Umgang mit dieser. Die Belastungssituation, Bewertungsgrundlage sowie das Vorgehen sind auf der Internetsite der Stabstelle PFC, Regierungspräsidium Karlsruhe ausführlich erläutert und werden im Folgenden zusammengefasst und ergänzt.

4.2. Belastungssituation Boden

Die landwirtschaftlich genutzten und PFC-belasteten Flächen in Mittel- und Nordbaden sind „flickenteppichartig“ und inhomogen verteilt. Die Größe und Form der belasteten Flächen variieren stark. Die Abgrenzung zwischen belasteten und unbelasteten Flächen vollzieht sich anhand der Grenzen von Ackerschlägen. Dies liegt wohl an der mutmaßlichen Ursache der Belastung, nämlich dem Aufbringen von mit PFC-haltigen Papierschlämmen belastetem Kompost auf einzelne Ackerschläge der Region.

Die Belastungssituation ist zudem geprägt durch sehr unterschiedliche PFC-Belastungswerte in der Fläche und in der Tiefe, unterschiedliche Eintragszeiten sowie noch unvollständige Kenntnisse des Verhaltens der unterschiedlichen PFC-Verbindungen und deren Vorläufersubstanzen im Boden und im Grundwasser. Bekannt ist, dass der Transport der PFC im Boden vom jeweiligen Anreicherungsvermögen bzw. von der Mobilität der einzelnen PFC abhängt. Kurzkettige PFC reichern sich schlechter an der organischen Matrix des Bodens an und haben eine höhere Mobilität als langkettige PFC. Während

die kurzkettingen Verbindungen durch Regenwasser vermehrt in Richtung Grundwasser ausgewaschen werden, verbleiben die langkettigen Vertreter länger in den Böden.

Zudem liegen Anhaltspunkte vor, dass sogenannte Precursor (polyfluorierte Vorläuferverbindungen) in den Böden vorliegen. Bei dieser noch vergleichsweise wenig ergründeten Teilgruppe der PFC handelt es sich um komplexe fluororganische Verbindungen. In der Literatur werden die Precursor als Stoffgruppe definiert, die das Potenzial haben, zu Perfluoralkancarbonsäuren und -sulfonsäuren (PFOA oder PFOS), also zu den bekannten messbaren PFC abgebaut werden zu können.

Insgesamt wurden in den betroffenen Regionen im Landkreis Rastatt, der Stadt Baden-Baden und der Stadt Mannheim bisher (Stand Juni 2017) rund 1186 Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche untersucht, 595 Hektar dieser Flächen weisen eine PFC-Belastung (Quotientensumme im Bodeneluat größer 1) auf.

4.3. Belastungssituation Grundwasser

Da der PFC-Auftrag auf die Böden vermutlich bereits vor über 10 Jahren erfolgte, konnten die PFC bereits über die Oberböden durch die gesamte Bodenschicht bis ins Grundwasser gelangen und haben dort zu großflächigen Grundwasserbelastungen im Abstrom der Flächen geführt. Durch die Überlagerung der Einträge vieler Einzelflächen kommt es zu teils erhöhten Konzentrationen im Grundwasser.

Aufgrund der Grundwasserfließrichtung in nordwestlicher Richtung (in Richtung Rhein), breitet sich auch die PFC-Belastung im Grundwasser in diese Richtung aus. Durch die Fließrichtung Richtung Rhein vermischen sich die PFC-Verunreinigungen im in diese Richtung mächtiger werdenden Grundwasserleiter, sodass eine Verdünnung eintritt. Während es im mittelbadischen Raum durch die PFC im Grundwasser auch zu Beeinträchtigungen mehrerer Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung kam, ist im Norden Mannheims die öffentliche Trinkwasserversorgung bisher nicht betroffen.

Durch ein engmaschiges Netz aus Grundwassermessstellen kann die Belastungssituation eingeschätzt werden. Jedoch können diese jeweils nur eine punktuelle Bewertung der Belastung am Ort der Messstelle liefern. Die LUBW wurde daher beauftragt ein Grundwassermodell für die Region Rastatt/Baden-Baden zu erstellen. Dadurch lässt sich der Transport, die flächenhafte Ausbreitung und die Tiefenausbreitung der PFC Belastung im Grundwasser besser nachvollziehen

4.3.1. Bewertungsgrundlage

Das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) trifft grundsätzliche Regelungen zur Untersuchung und Sanierung derartiger schädlicher Bodenveränderungen und hierdurch hervorgerufener Grundwasserbelastungen. Unter einer schädlichen Bodenveränderung versteht man Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen (insbesondere deren natürliche Funktionen als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen), die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen.

Um PFC-Belastungen in Boden, Grundwasser und Pflanzen umfassend beurteilen und die von ihnen ausgehenden Gefahren bewerten zu können, fehlen derzeit belastbare und gesetzlich normierte Prüf- und Grenzwerte. In der nationalen Trinkwasserverordnung sind für PFC oder einzelne Vertreter dieser Substanzklasse bislang keine Grenzwerte festgelegt. Auf europäischer Ebene ist aktuell eine Berücksichtigung der Substanzklasse der PFC in der Trinkwasser-Richtlinie geplant. Nach Veröffentlichung der novellierten Richtlinie Ende 2020, in der erstmalig auch Grenzwerte für per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) festgelegt wurden, müssen die Bestimmungen innerhalb von zwei Jahren national umgesetzt werden. Eine vorläufige Beurteilung für das Grundwasser erfolgt auf der Basis der vom Umweltbundesamt zum Schutz des Trinkwassers festgelegten Leitwerte (LW) und Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW), die für 13 maßgebliche PFC-Einzelverbindungen gelten. Von diesen für das Trinkwasser geltenden Beurteilungswerten werden in Baden-Württemberg die zur vorläufigen Beurteilung von Boden und Grundwasser heranzuziehenden Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) abgeleitet.

Die PFC-Belastung von Fließgewässern wurde im Rahmen des Oberflächengewässer-Monitoring PFC des Landkreises Rastatt untersucht und ist weitgehend bekannt (Landkreis Rastatt 2018).

4.3.2. Bewertungsgrundlage Boden

Meist werden die auftretenden Verunreinigungen in Boden und Grundwasser durch verschiedene PFC hervorgerufen. Um dies bei der Bewertung, ob eine schädliche Bodenveränderung vorliegt, berücksichtigen zu können, wird eine Quotientensumme gebildet. Dabei wird für jede gefundene PFC-Einzelsubstanz im Bodeneluat der Quotient aus gemessenem Wert und zugehörigem GFS-Wert berechnet. Die einzelnen Quotienten werden dann addiert und bilden so die Quotientensumme. Bei einer Quotientensumme "kleiner oder gleich 1" ist nicht von einer schädlichen Bodenveränderung auszugehen. Bei einer Quotientensumme über 1 ist näher zu prüfen, ob eine schädliche Bodenveränderung vorliegt. Denn die Überschreitung der Quotientensumme bedeutet nicht gleichzeitig eine Gefährdung für betroffene Schutzgüter, sondern dient als Schwellenwert, ab dem durch die zuständigen Bodenschutzbehörden nähere Untersuchungen angestellt werden müssen.

4.3.3. Bewertungsgrundlage Grundwasser

Im März 2017 wurden mit der „Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser“ des Umweltbundesamtes für 13 PFC-Verbindungen Leitwerte (LW) und gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) angepasst bzw. festgelegt, diese sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Sind mehrere PFC-Verbindungen mit jeweils festgelegtem Leitwert in relevanten Konzentrationen im Trinkwasser enthalten, wird die Gesamtbewertung anhand einer Quotientensumme errechnet (Additionsregel). Dabei wird für jede PFC-Einzelsubstanz, für die ein Leitwert festgesetzt wurde, der Quotient aus gemessenem Wert und zugehörigem Leitwert berechnet und anschließend werden die Quotienten aufsummiert. Bei einer Quotientensumme unter 1 wird von einem ausreichenden Schutz für alle Bevölkerungsgruppen bei lebenslanger Aufnahme ausgegangen.

Daneben gibt es noch den allgemeinen Vorsorgewert in Höhe von 0,1 µg/l für alle PFC-Einzelstoffe. Aufgrund des Minimierungsgebots der Trinkwasserverordnung besteht für die Wasserversorger bereits bei Überschreitung des allgemeinen Vorsorgewertes ein konkreter Anlass, geeignete Maßnahmen zu prüfen und im Rahmen der Verhältnismäßigkeit auch umzusetzen, um eine Reduzierung der PFC-Gehalte erzielen. Soweit die geltenden Leitwerte für einzelne Substanzen niedriger oder gleich niedrig sind wie die allgemeinen Vorsorgewerte, so sind diese natürlich ohnehin einzuhalten.

Tabelle 14: Gesundheitliche Trinkwasserhöchstwerte unterschiedlicher Kategorien für PFC gemäß Regierungspräsidium Karlsruhe (Stand April 2020)

Abkürzung	Name	MW (µg/l)	LW (µg/l)	GOW (µg/l)
PFBA	Perfluorbutansäure		10	
PFPeA	Perfluorpentansäure			3,0
PFHxA	Perfluorhexansäure		6	
PFHpA	Perfluorheptansäure			0,3
PFOA	Perfluoroktansäure	0,05*,**	0,1**	
PFNA	Perfluornonansäure		0,06	
PFDA	Perfluordekansäure			0,1
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure		6	
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure		0,1	
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure			0,3
PFOS	Perfluoroktansulfonsäure	0,05*,**	0,1**	
H4PFOS	H4-Polyfluoroktansulfonsäure			0,1
PFOSA	Perfluoroktansulfonamid			0,1

*) Mit Stellungnahme vom 18. Dezember 2019 empfiehlt das Umweltbundesamt aus Vorsorgegründen einen Maßnahmenwert (MW) für PFOA und PFOS in Höhe von jeweils 0,05 µg/l für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen wie Schwangere, Säuglinge und Kleinkinder. Bei Überschreitung dieses Wertes ist das Wasser für die genannten Gruppen, auch bei kurzfristiger Überschreitung, nicht zum Trinken, zum Verzehren oder zur Zubereitung von Speisen verwendbar.

**) Der Maßnahmenwert soll vorübergehend bis zur Festlegung neuer weiter abgesenkter Leitwerte für diese beiden PFC-Vertreter gelten. Hintergrund der Empfehlung ist die noch nicht abgeschlossene Neubewertung von PFOA und PFOS im Trinkwasser durch das Umweltbundesamt, die in Hinblick auf eine strengere Bewertung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) im Jahr 2018 für diese Substanzen in Lebensmitteln erfolgen soll. Die für die besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppen empfohlenen vorübergehenden Maßnahmenwerte gelten bis zur Festlegung der neuen Leitwerte für PFOA und PFOS.

4.4. Vorgehen nach dem Bundesbodenschutzgesetz

Schädliche Bodenveränderungen und dadurch verursachte Grundwasserverunreinigungen sind nach den gesetzlichen Vorgaben des Bundesbodenschutzgesetzes zu untersuchen und zu sanieren.

An die orientierenden Untersuchungen (OU), die dem Auffinden belasteter Flächen nach Auftreten eines Anfangsverdachts dienen und die durch die zuständigen unteren Boden-schutzbehörden durchgeführt werden, schließen sich Detailuntersuchungen (DU) an. Diese dienen dem Nachweis einer schädlichen Bodenveränderung; ihr Ziel ist die abschließende Gefährdungsabschätzung und die Feststellung des genauen Ausmaßes des Schadens. Die Detailuntersuchungen sind grundsätzlich durch den oder die bodenschutzrechtlich Verantwortlichen (juristisch Störer genannt) durchzuführen und werden durch die Behörden angeordnet. Kommt der oder die Störer ihrer Verpflichtung nicht nach, kann die Behörde die notwendigen Schritte im Wege der Ersatzvornahme selbst durchführen und dem oder den Störern die Kosten hierfür auferlegen. Die Ergebnisse der Detailuntersuchungen können zur Sanierung mit vorhergehender Sanierungsuntersuchung führen.

Die Stadt Baden-Baden und der Landkreis Rastatt haben seit dem Jahr 2013 zahlreiche OU durchgeführt. Sanierungsverfahren für eine flächendeckende Sanierung des Bodens stehen derzeit ebenso wenig zur Verfügung wie Verfahren zur umfänglichen Sanierung des Grundwassers.

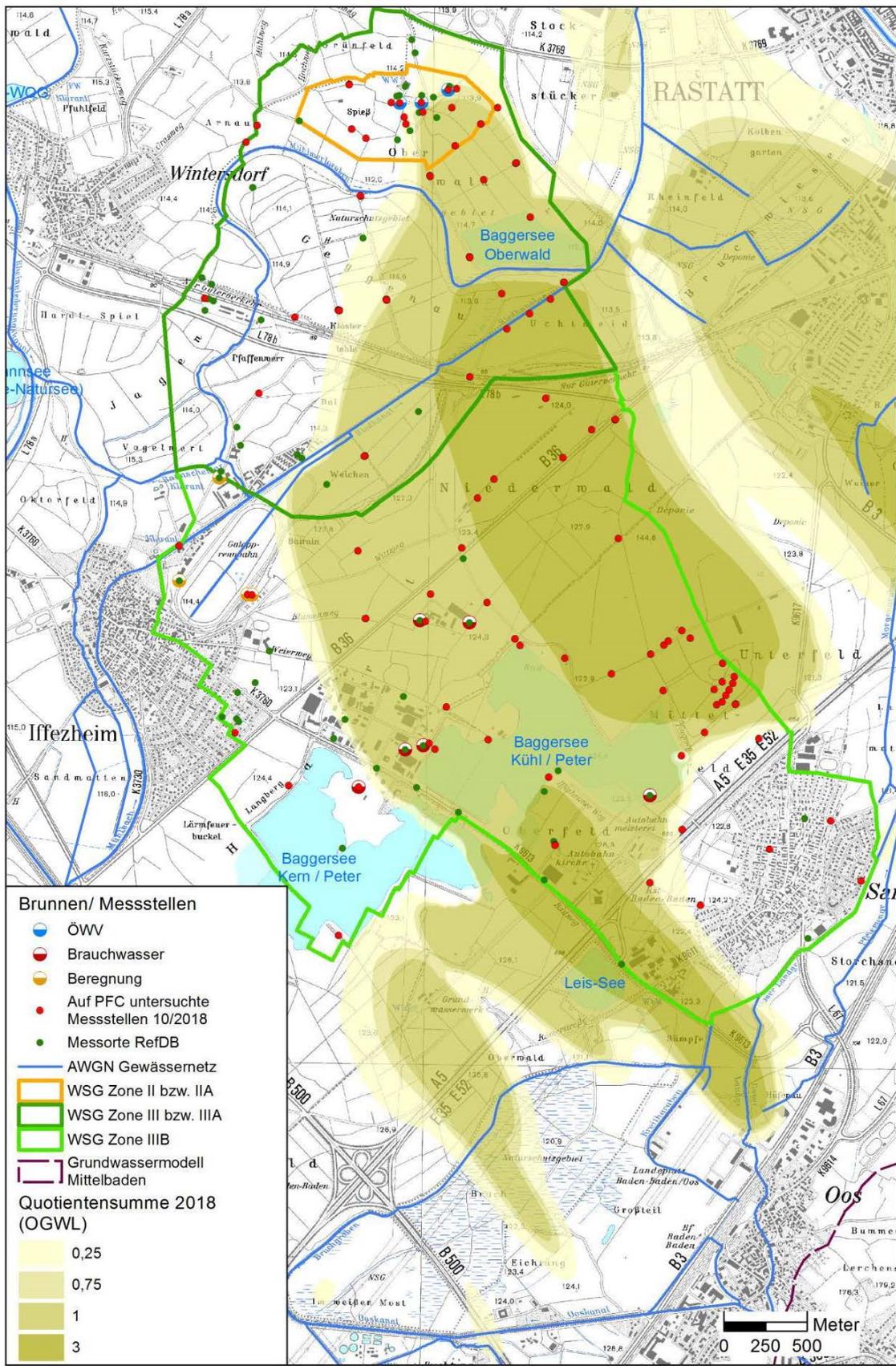


Abbildung 4: Berechnete PFC-Belastung im oberen Grundwasserleiter 2018 (Quotientensumme aus den Konzentrationsverteilungen der Einzelspezies) aus LUBW (2019)

4.4.1. Erfahrungen mit der technischen Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen

Sanierungsverfahren für eine punktuelle Reinigung des Grundwassers werden derzeit im Rahmen eines Pilotprojektes des Landes Baden-Württemberg erprobt. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist angesichts der großflächigen Ausdehnung der PFC-Verunreinigungen eine zeitnahe und flächendeckende Sanierung von Boden und Grundwasser mit verhältnismäßigen Mitteln nicht möglich.

Im Rahmen der Sanierung von PFC-Belastungen in Nordrhein-Westfalen wurden für Grundwassersanierungen Pump & Treat Verfahren mit Aktivkohle und Ionenaustausch herangezogen. Bei Bodenbelastungen wurden Bodensanierungen durch Bodenaustausch vorgenommen (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2017). Im Bereich der Aufbereitung in Wasserwerken wird überwiegend mit Aktivkohle abgereinigt.

Im Wasserwerk Rauental der Stadtwerke Rastatt wird seit 2018 das Rohwasser über eine Aktivkohle Anlage mit vier Aktivkohlefiltern abgereinigt. Momentan werden so rund 250 m³ Wasser pro Stunde aufbereitet.

4.5. PFC-Belastung im Einzugsbereich der Brunnen

4.5.1 PFC-Belastungsgebiete Rastatt Baden-Baden – Modell kup 2019

Für Wasserschutzgebiete, die im Bereich der großflächigen PFC-Belastung im Raum Rastatt / Baden-Baden liegen, wurden Dokumentationen für die Fachverwaltung aus dem Bereich Wasserwirtschaft erstellt. Die Dokumentation beinhaltet allgemeine Informationen zum Wasserschutzgebiet, Daten zur Rohwasserqualität, zu den hydrogeologischen Verhältnissen, zur Landnutzung sowie zu den derzeit bekannten PFC-Belastungsquellen. Darüber hinaus ist eine aktuelle Analyse der PFC-Belastungssituation enthalten, die auf dem derzeitigen Stand der Kalibrierung des Grundwassermodells Mittelbaden beruht.

Die Trinkwassergewinnung von Ottersdorf besteht aus drei Tiefbrunnen, an denen bis Ende 2017 nur Spuren von PFC angekommen sind. Allerdings weisen zahlreiche oberflächennahe Grundwassermessstellen im Schutzgebiet deutlich erhöhte PFC-Konzentrationen auf. Die nach derzeitigem Kenntnisstand mit PFC belasteten Flächen liegen im Schutzgebiet vor allem westlich der BAB 5 vor. Die im direkten Anstrom der Trinkwasserbrunnen untersuchten Flächen haben keinen Hinweis auf PFC-Belastung ergeben.

Die Spitzen der PFC-Fahnen sind im östlichen Bereich des Wasserschutzgebiets zwischen dem Baggersee des Kieswerks Gebr. Kaltenbach und der Zone II zu vermuten. Im westlichen Teil des Wasserschutzgebiets liegen die Spitzen der PFC-Fahnen noch deutlich südlicher, vermutlich auf Höhe der Grenze zwischen der Zone III A und B. Da

der Baggersee des Kieswerks Kühl/Peter bereits erhöhte PFC-Konzentrationen aufweist, erfolgt eine Verlagerung der PFC-Fahnen nach Westen. Allerdings führt die Durchströmung des Baggersees auch zu einer Verdünnung der PFC-Konzentrationen. In wieweit PFC durch die Vermischung im See in größere Tiefen transportiert werden ist auf Grund der fehlenden Datenlage unklar. Ebenso lässt sich nicht abschließend beurteilen, ob der südliche Baggersee auf Grund des Wasserspiegelunterschieds eine weitere Verlagerung der PFC-Fahne nach Westen bewirkt. Ein Teil der eingetragenen PFC-Masse wurde bereits wieder über Mühlwerlgraben und Riedkanal ausgetragen.

Derzeit sind noch 227 kg im Grundwasserleiter innerhalb des Schutzgebiets vorhanden. Da der Eintrag bereits abnimmt, ist auch mit einem Rückgang der PFC-Masse im oberen Grundwasserleiter zu rechnen. Im tieferen Teil des Grundwasserleiters ist eher mit einer Zunahme der PFC-Belastung zu rechnen. Es ist davon auszugehen, dass die PFC-Fahnen im Wasserschutzgebiet in den nächsten Jahren zu den Trinkwasserbrunnen gelangen. Allerdings ist unklar in welcher Größenordnung die teilweise bis 50 m Tiefe verfilterten Brunnen mit PFC belastet werden. Nach den Modellbetrachtungen liegt der Schwerpunkt der PFC-Fahnen östlich der Trinkwasserbrunnen, so dass die Belastung am westlichsten Brunnen voraussichtlich am geringsten sein wird.

4.5.2 Ist-Zustand (Reihenuntersuchungen TZW)

Die Belastungssituation des Grundwassers mit PFC wird vom TZW Karlsruhe seit ca. 2015 vierteljährlich untersucht. Dabei werden im Einzugsbereich der Brunnen verschiedene Grundwassermessstellen und Oberflächengewässer beprobt. Im Jahr 2020 waren es zwischen 30 und 34 Entnahmestellen, in den Jahren zuvor teilweise deutlich weniger. In der letzten Beprobung im Untersuchungsraum vom 19.-21.10.2020 wurden insgesamt 34 Entnahmestellen beprobt davon 17 flache Messstellen, 3 mittlere Messstellen und 10 tiefe Messstellen sowie 4 Oberflächengewässer.

In Tabelle 15 wird die PFC-Belastung des letzten Jahres im Bereich der Brunnen und der Messstellen B17 und B18 als Summenkonzentration aufgelistet (siehe auch Anlage 10). Die Ergebnisse zeigen, dass die PFC-Summenkonzentration im östlich gelegenen Brunnen 1 mit 0,057 - 0,073 µg/L am höchsten liegt, gefolgt von Brunnen 2 und dem westlich gelegenen Brunnen 3, in dem nur sehr geringe Summenkonzentrationen von bis zu 0,002 µg/L vorliegen. Bei den Brunnen ist zu beachten, dass die Brunnen die unterschiedlichen Grundwasserleiter durch den Ausbau bedingt kurzschließen und damit Mischproben der drei Grundwasserleiter entstehen.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass die Belastung mit PFC in den flachen Messstellen B17 und B18 deutlich höher ist als in den mittleren und unteren Filterstrecken. Die PFC-Summenkonzentration beträgt in den flachen Messstellen 0,026 - 0,028 µg/L. In der mittleren Messstelle B17 wurde einmalig eine Konzentration von 0,014 µg/L gemessen. In der Messstelle B18M wurde ebenfalls nur einmalig eine Konzentration von 0,006 µg/L

gemessen. In den tiefen Messstellen B17T und B18T wurde keine PFC-Belastung festgestellt. Auffallend ist, dass PFC in den mittleren Messstellen nur im April und Juli, jeweils zum Zeitpunkt der Pumpversuche festgestellt werden konnte. Dies liegt vermutlich an den hier höheren Förderraten (bis 5,5 l/s) und der längeren Förderdauer (bis 9 Std.). Dadurch wurde nicht nur der Inhalt der Messstellen ausgetauscht wie bei einer Standardprobe, sondern es wurden größer Wassermengen aus der Umgebung angezogen. Insofern sind die Ergebnisse der Standardproben nicht repräsentativ für größere, dauerhafte Fördermengen wie sie später auch bei einem Brunnen realisiert werden.

Tabelle 15: PFC-Summenkonzentration im Bereich der Tiefbrunnen

Messstelle	Dim.	06.04.2020	15.07.2020	20.10.2020	18.01.2021
Tiefbrunnen A	µg/L	0,057	0,064	-	0,073
Tiefbrunnen B	µg/L	0,01	0,011	0,026	-
Tiefbrunnen C	µg/L	außer Betrieb	außer Betrieb	0,002	0,00
B17 Flach	µg/L	0,025	0,026	0,026	- *
B17 Mitte	µg/L	0,014	0	0	- *
B17 Tief	µg/L	0	0	0	- *
B18 Flach	µg/L	-	0,028	0,04	- *
B18 Mitte	µg/L	-	0,006	0	- *
B18 Tief	µg/L	-	0	0	- *

*Ergebnisse liegen noch nicht vor

Oberer Grundwasserleiter

Die PFC-Summenwerte der einzelnen Wasserproben im Oberen Grundwasserleiter reichen von unter der Bemessungsgrenze (<BG) bis zu 1,356 µg/L. Die höchsten PFC-Summenkonzentrationen wurden in der Schutzzone IIIB gemessen (Spannweite: 0,240 bis 1,356 µg/L). Die höchsten Summenkonzentrationen wurden im Abstrom des Kühlsees in den GWM (B16F, 137/211-5) und am östlichen Rand der Schutzzone IIIB (GWM 135/211-6) gemessen. Insbesondere aufgrund der hohen PFOA-Konzentrationen in diesen Messstellen wurden hier auch mit Abstand die höchsten Bewertungsindices der aktuellen Kontrollaktion mit Werten zwischen 3,381 und 4,783 erfasst (Berechnung wie für Trinkwasser). Die Messstellen in der Schutzzone IIIA weisen bereits geringe PFC-Summenkonzentrationen auf (Spannweite: „< BG“ bis 0,832 µg/L). Im Bereich der Schutzzone II wurden die niedrigsten PFC-Summenkonzentrationen gemessen (Spannweite: „< BG“ bis 0,207 µg/L). Im westlichen Bereich der Zone II wurde in den Messstellen B17 und B18 eine Konzentration von 0,025 – 0,028 µg/L gemessen. In Abbildung 5 ist die Verbreitung der PFC-Fahne auf Grundlage des Bewertungsindex im Gebiet des WSG Ottersdorf im oberen Grundwasserleiter im Dezember 2019 dargestellt.

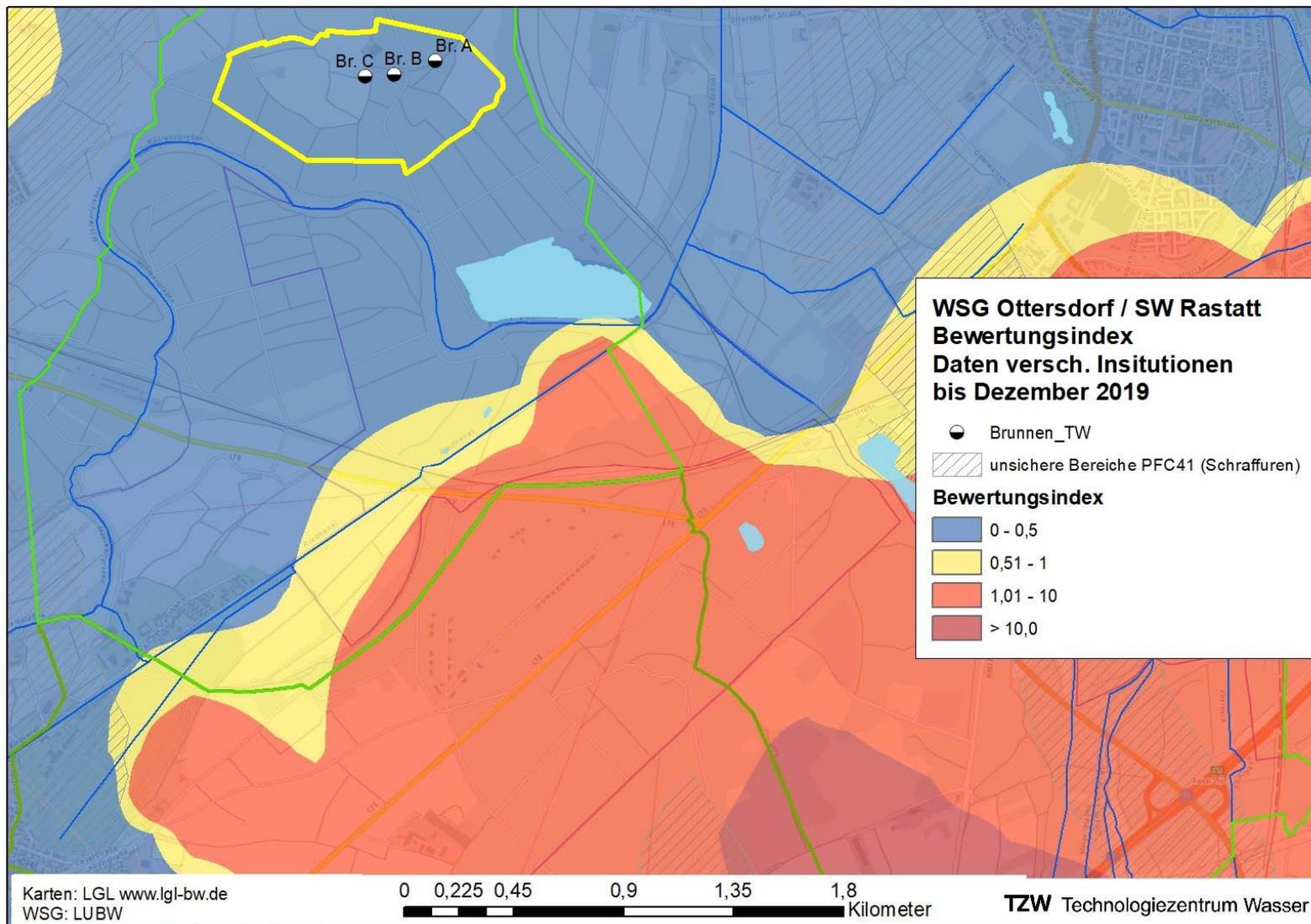


Abbildung 5: Verbreitung der PFC-Fahne im Bereich des WSG Ottersdorf im Grundwasserleiter Oben, Dezember 2019 (Quelle TZW)

Mittlerer Grundwasserleiter

Im Nahbereich des zukünftigen Brunnenstandortes liegt im Mittleren Grundwasserleiter keine bzw. nur eine geringe PFC-Belastung vor. In der Beprobung vom 15.07.2020 wurde in der Messstelle B18M eine Konzentration von 0,006 µg/L gemessen, in der Messstelle B17M wurde kein PFC nachgewiesen. In der Messung vom 06.04.2020 wurde ein Wert von 0,014 µg/L in der Messstelle B17M festgestellt, während in der Messstelle 18M kein PFC nachgewiesen wurde. In der im Südwesten der Schutzzone IIIA gelegenen Messstelle B13M wurde in der Messung vom 20.10.2020 eine PFC-Konzentration von 0,045 µg/L festgestellt. Ein Jahr zuvor, am 22.10.2019 wurde in der Messstelle eine ähnlich hohe Konzentration von 0,041 µg/L festgestellt.

Unterer Grundwasserleiter

Für den Unteren Grundwasserleiter wurde im westlichen Bereich der Schutzzone II, in den Messstellen B1T, B2T, B17T und B18T, keine Belastung des Grundwassers mit PFC nachgewiesen. In der Messstelle 106.51-3, im Osten der Schutzzone II, wurde eine geringe PFC-Konzentration von 0,05 µg/L gemessen. In der Messung vom 06.08.2020 wurde mit 0,046 µg/L eine ähnliche Konzentration in der Messstelle gemessen. Im südwestlichen Bereich der Schutzzone wurde in der Messstelle B13T ebenfalls keine PFC-Belastung nachgewiesen.

Die höchsten PFC-Belastungen im Unteren Grundwasserleiter werden in der Schutzzone IIIB, nordwestlich des Kühl/Petersees bzw. IKE/Kern-Petersee gemessen. In den Messstellen B14T und B16T, die sich im Abstrom der Seen befinden, wurde eine PFC-Konzentration von 0,754 – 0,782 µg/L festgestellt. Die festgestellten Konzentrationen sind vergleichbar mit vorangegangenen Messungen. In der Messstelle B15T, die sich im Abstrom des IKE-Sees befindet, wurde eine Belastung von 0,105 µg/L gemessen. In der letzten Messung in dieser Messstelle vom Juni 2018 wurde eine etwas geringere Konzentration von 0,061 µg/L gemessen.

4.5.3 Ergebnisse Grundwassermodell Kobus und Partner 2021

Mit dem Grundwassermodell konnte nachgewiesen werden, dass die Hauptbelastung von PFC im Grundwasser im östlichen Teil des Wasserschutzgebietes für die Tiefbrunnen liegt (siehe hierzu Abbildung 6): "Im Nahbereich 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 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."

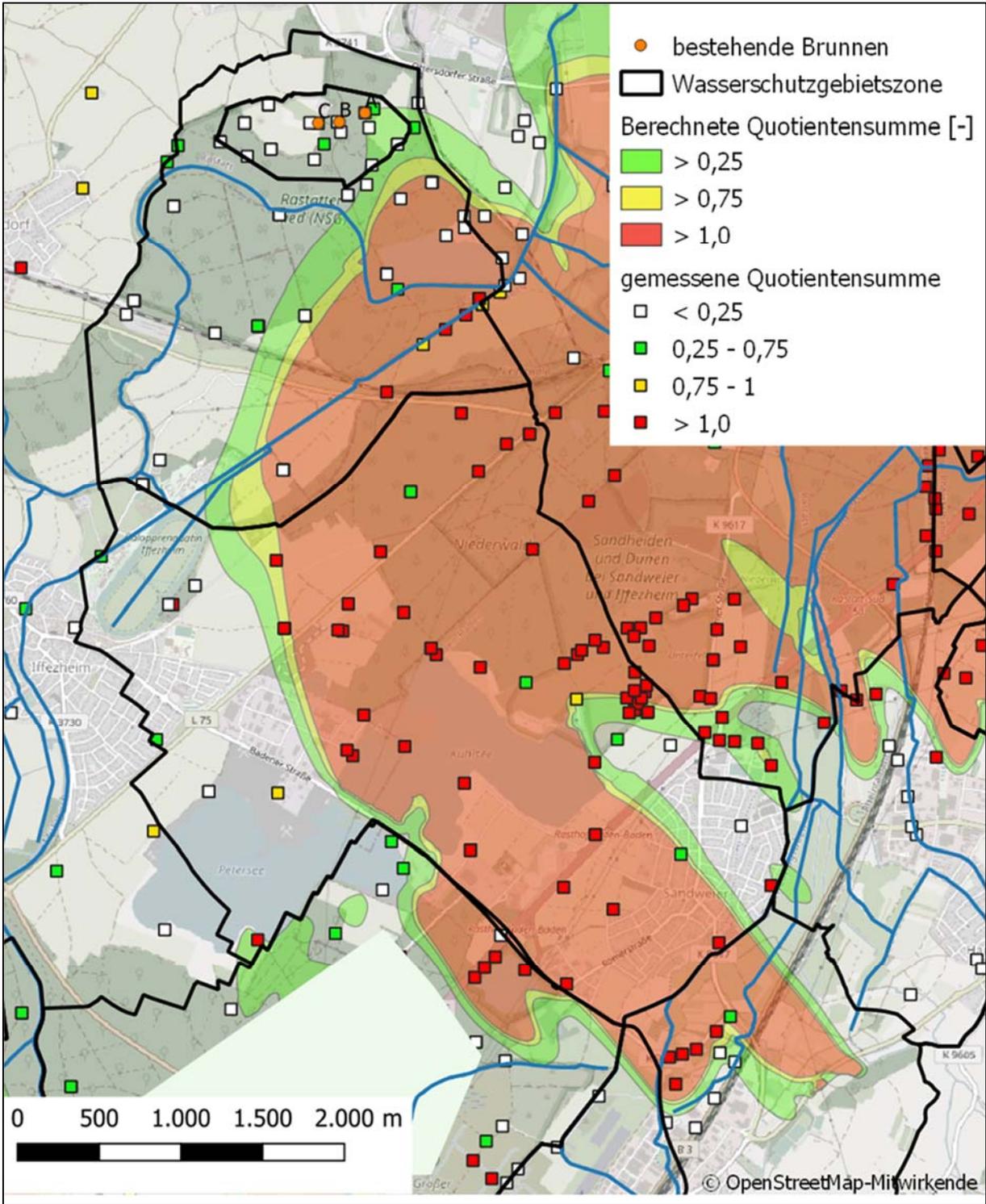


Abbildung 6: Im Grundwasser gemessene und mit dem Grundwassermodell berechnete Quotientensumme im Oberen Grundwasserleiter (aus kup, 2021)

5. Entnahmemengen - Dimensionierung der neuen Tiefbrunnen

5.1 Entnahmemengen und Standorte

Aufgrund der PFC-Belastung des Grundwassers im östlichen Zustrom der bestehenden Brunnen, sollen zur Sicherung der Trinkwasserversorgung der Stadt Rastatt weitere Brunnen im westlichen Bereich der Schutzzone II errichtet werden. In diesem Bereich, im Umfeld der Grundwassermessstellen B17, ist das Grundwasser in den tieferen Grundwasserstockwerken (Mittlerer Grundwasserleiter und Unterer Grundwasserleiter) nicht bzw. nur sehr gering mit PFC belastet (siehe Kapitel 4.5).

Vor dem Hintergrund der zur Tiefe hin abnehmenden PFC-Belastungen und der lithostratigraphischen Verhältnisse sowie der angestrebten Fördermenge im Bereich des neuen Standortes wird empfohlen Grundwasser getrennt aus dem mittleren (Tiefbrunnen E) und dem tiefen Grundwasserleiter (Tiefbrunnen D) mit je einem Brunnen zu erschließen. Da die Belastung mit PFC im unteren Grundwasserleiter bislang nicht vorhanden ist, sollte dieser Aquifer primär erschlossen werden. Da aber die Ergiebigkeit dieses Aquifers für die gewünschten Fördermengen nicht ausreicht, wird vorgeschlagen den mittleren ebenfalls nicht, bzw. sehr gering belasteten Grundwasserleiter mit einem weiteren Brunnen zu erschließen. So kann bei Zunahme der PFC-Belastung im mittleren Bereich die Entnahme auf den tieferen Bereich verlagert werden. Allerdings sind die Ergiebigkeiten aufgrund der Durchlässigkeit und der Aquifermächtigkeit begrenzt.

Gemäß den übermittelten Daten der aktuellen Planung sollen zukünftig ca. 71 l/s als voraussichtliche langfristige durchschnittliche Entnahmerate beim Wasserwerk Ottersdorf gefördert werden. Im Falle eines sogenannten Notbetriebs bzw. bei einer Alleinversorgung durch das Wasserwerk Ottersdorf sollen ca. 141 l/s gefördert werden. In Spitzenzeiten soll eine Förderrate von ca. 273 l/s erfolgen. Da sich voraussichtlich die PFC-Belastungen bei den bestehenden Tiefbrunnen A, B und C erhöhen wird, soll angestrebt werden die Fördermenge hier zu drosseln und am neuen Standort mit den Brunnen D und E die überwiegende Menge zu fördern. Für weitere Reserven ist zukünftig noch ein 6. Brunnen F vorgesehen. Nachfolgend sind die Szenarien aufgelistet, die so auch in den Modellrechnungen berücksichtigt wurden.

Tabelle 16: Durchschnittliche Entnahmemengen

Brunnen	Status Quo [l/s]	Normalbetrieb [l/s]	Notbetrieb [l/s]	Spitzen (l/s)
Brunnen A	29	0	0	34
Brunnen B	29	5	5	34
Brunnen C	29	5	5	34
Brunnen D	0	16	36	49
Brunnen E	0	32	71	97
Brunnen F	0	13	24	25
Summe	87	71	141	273

5.2 Dimensionen der alten und neuen Brunnen

5.2.1 Vorhandene Tiefbrunnen A, B, und C

Die Daten der vorhandenen Tiefbrunnen A-C (1 – 3) sind nachfolgender Tabelle 17 zu entnehmen. Gemäß den Ausbauten der Brunnen ist ersichtlich, dass jeweils der obere und mittlere (Brunnen A und B) und auch der tiefere Grundwasserleiter (Brunnen C) komplett mit den Filterstrecken erschlossen werden. Die Vollrohrstrecken sind nicht mit Ton abgedichtet, sondern mit Filterkies (8/16!) hinterfüllt. Dadurch werden die verschiedenen Grundwasserleiter im Bereich der Brunnen hydraulisch kurzgeschlossen. Es wird daher auch angenommen, dass das meiste Wasser aus dem oberen, sehr gut durchlässigen Grundwasserleiter gefördert wird, bzw. den Brunnen zuströmt.

Tabelle 17: Stammdaten Tiefbrunnen A – C (1 – 3)

Parameter	Dim.	Tiefbrunnen A	Tiefbrunnen B	Tiefbrunnen C
Oberkante Gelände	m+NN	114,2	114,5	113,3
Endtiefe	m u. GOK	38,0	36,5	51,5
Filterstrecken	m u. GOK	5,8-16,8 18,8-19,8 20,8-23,8 26,8-30,8 31,8-35,8	4,65-16,65 18,65-20,65 25,65-30,65 31,65-34,15	5-12,5 14-16,5 20,0-21,0 24,5-33,5 42,5-43,5 46-50
Filterstrecke gesamt	m	23	21,5	25
Bohrdurchmesser	mm	1.800	1.800	1.800
Ausbau-durchmesser	mm	1.000	1.000	1.000
Förderrate *	l/s	57	57	57

* Installierte Leistung der Unterwasserpumpen bei 19 h

5.2.2 Geplante Tiefbrunnen D und E

Für die Abschätzung der Ergiebigkeit im Bereich der geplanten Standorte wurde die Brunnendimension und Absenkung für den Wasserandrang nach Dupuit-Thiem und das Fassungsvermögen nach Siechartd für gespannte Verhältnisse für je einen Brunnen im mittleren und unteren Grundwasserleiter ermittelt. Als Brunnendimension werden die Maße der bestehenden Brunnen übernommen, da davon ausgegangen wird, dass pro Brunnen wegen Redundanz zwei Unterwasserpumpen installiert werden. Gemäß den hydraulischen Parametern und Aquifergeometrie und der gewählten Brunnendimensionen wurden die in Tabelle 18 aufgeführten Ergebnisse ermittelt.

Tabelle 18: Berechnung der Brunnen nach Dupuit-Thiem und Sichardt

Parameter	Dim.	Tiefbrunnen E MGWL	Tiefbrunnen D UGWL
Filterstrecke	m	18,0 – 37,5	46,3 - 58,5
Aquifermächtigkeit	m	19,5	12,2
Bohrdurchmesser	mm	1.800	1.800
Filterdurchmesser	mm	1.000	1.000
kf-Wert*	m/s	0,0013	0,0012
Absenkung	m	5	5
Fassungsvermögen	l/s	206	123
Wasserandrang	l/s	119	62
Reichweite	m	540	519

* gemäß PV GWM B17 Mitte und Tief

Unter Verwendung der am Standort B17 ermittelten Durchlässigkeiten und Aquifermächtigkeit ist die angestrebte max. Fördermenge von ca. 146 l/s (Siehe Tabelle 16 Brunnen D und E) aus den geplanten Brunnen rechnerisch möglich (Absenkung jeweils ca. 5 m). Dabei sollte entsprechend der Aquifermächtigkeit bzw. der technischen Ergiebigkeit der Brunnen ca. 2/3 aus dem mittleren Bereich und 1/3 aus dem unteren Bereich gefördert werden.

Der untere Bereich kann rein rechnerisch auch höher beansprucht werden (bei höherer Absenkung). Der verfügbare Aquiferbereich von ca. 12 m (entsprechend B17) ist dafür bezüglich der Filtergeschwindigkeit noch ausreichend (DN1800/1000)! Dabei ist zu beachten, dass durch Verschraubungen nur ca. 80 % der Filterstrecke auch wirksam sind, also ca. 9,6 m. Damit reduziert sich die Fördermenge weiter. Es sollte nicht davon ausgegangen werden, höhere Leistungen in solch einem Brunnen dauerhaft fördern zu können.

Sollte aufgrund der zukünftigen PFC-Belastung komplett aus dem unteren Bereich gefördert werden, sind mehrere Brunnen erforderlich, die möglichst weiter Richtung Westen platziert werden sollten.

Eine weitere Vergrößerung der Brunnen bringt jedoch keine wesentliche Steigerung des Wasserandrangs. Dieser kann jedoch rechnerisch erhöht werden, was eine Erhöhung der Absenkung zur Folge hätte. Ein Problem im tieferen Bereich ist dann die begrenzte Filterstrecke die zu einer zu großen Filtergeschwindigkeit führt, wodurch die Filterrohre Schaden nehmen können.

6. Auswirkung der Grundwasserentnahme

6.1 Entnahmebereich - Reichweite der Absenkungen

Die Ausdehnung der Reichweiten und der Strömungsdistanzen bzw. Entnahmebereiche an den Brunnen können analytisch abgeschätzt werden. Im vorliegenden Fall kann zur Bestimmung der Auswirkungen der zukünftigen Entnahmen auf die Grundwasserverhältnisse im Umfeld der Brunnen auf die numerischen Modellrechnungen zurückgegriffen werden. Wegen der zu betrachtenden naturräumlichen Auswirkungen auf grundwasserabhängige Ökosysteme an der Oberfläche wurden die Veränderungen des Grundwasserspiegels im Vergleich zum Istzustand, also dem Betrieb der Brunnen A, B und C berechnet. Gemäß Kapitel 6 in Kup (2021) wurden die Veränderungen des Grundwasserspiegels für den Normalbetrieb und den Notbetrieb (siehe Tabelle 16) für die jeweiligen drei Grundwasserleiter berechnet. Nachfolgend werden die Auswirkungen zusammengefasst.

Normalbetrieb mit 71 l/s

Da die Entnahme im Mittleren und Unteren Grundwasserleiter erfolgt, sind hier die Absenkungsbeträge in Brunnennähe etwas größer. Die Fläche des Bereiches mit einer Absenkung von 5 cm und mehr beträgt ca. 45 ha. Für Absenkungsbeträge von 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.

Aufgrund der Entnahmereduktion an den 3 bestehenden Brunnen von 87 l/s auf 10 l/s werden hier vergleichsweise große Grundwasseraufhöhungen ermittelt. 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. Die Reichweite der Absenkung bis 0,025 m reicht innerhalb aller drei Grundwasserleiter ca. 900 m weit nach Westen von den neuen Brunnenstandorten aus. In Abbildung 7 ist die Veränderung des Grundwasserspiegels im Oberen Grundwasserleiter dargestellt.

Es ist hier anzumerken, dass die Veränderungen im Vergleich zum Betrieb im Istzustand berechnet wurden. Bei einer Berechnung der Absenkungen im Vergleich zum Ruhezustand des Grundwasserspiegels, also des Stillstandes aller Brunnen würde sich die Veränderung des Wasserspiegels anders, bzw. konzentrischer um die Brunnen D und E ausbilden.

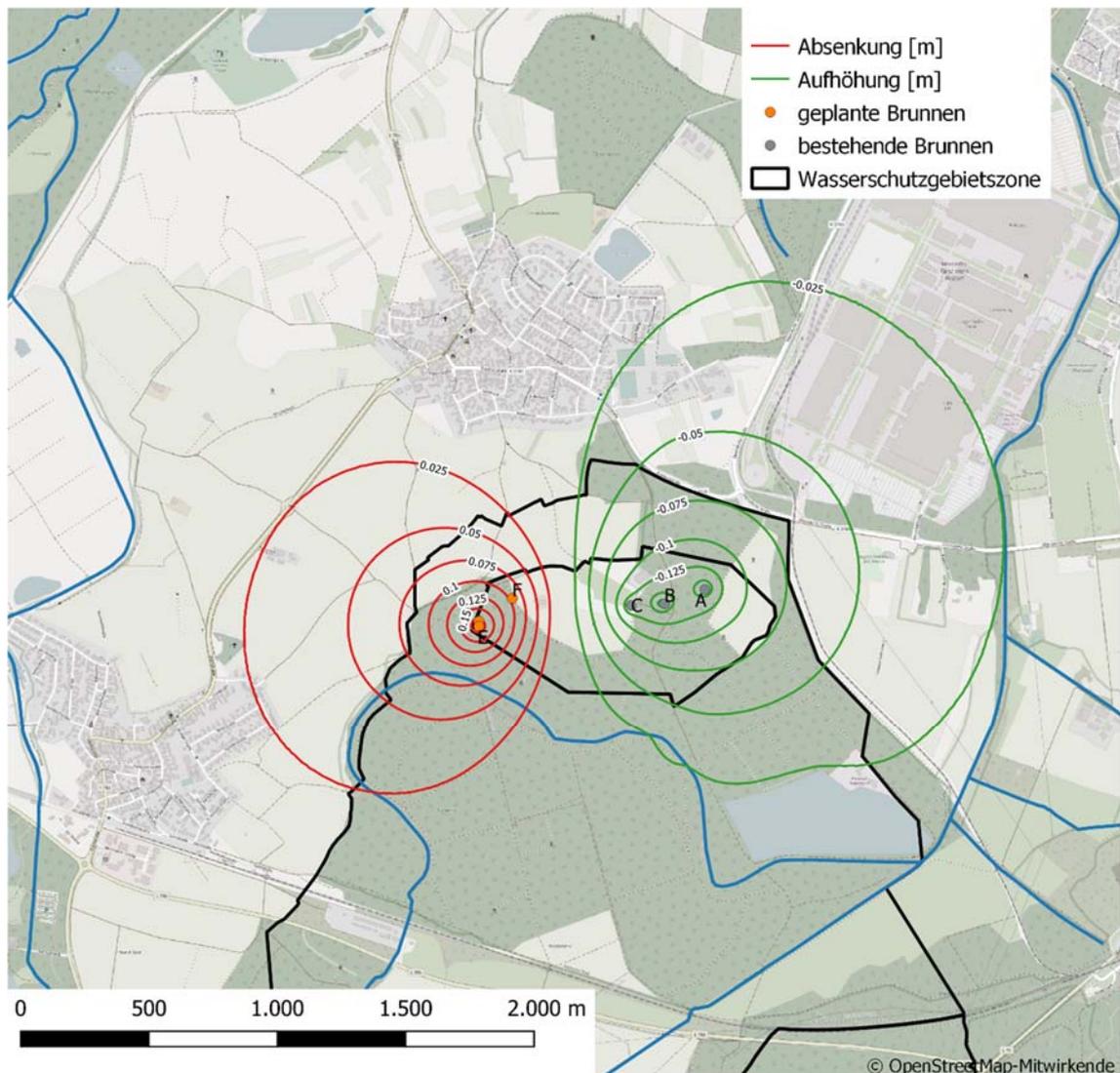


Abbildung 7: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Normalbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Oberen Grundwasserleiter aus kup (2021)

Notbetrieb mit 141 l/s

Bei einer Entnahme von 141 l/s handelt es sich um einen Notbetrieb, bei dem die Versorgung alleine aus dem Wasserwerk Ottersdorf erfolgt. Der stationäre Modellansatz, ist gleichbedeutend mit einer unendlich lang andauernden Entnahme von 141 l/s und stellt daher einen Worst-Case dar. Der Bereich mit Absenkungsbeträgen über 5 cm vergrößert sich in diesem Falle auf ca. 250 ha. Die Reichweite der Absenkung bis 0,025 m reicht innerhalb aller drei Grundwasserleiter ca. 1.500 m weit nach Norden, Westen und Süden von den neuen Brunnenstandorten aus. In Abbildung 8 ist die Veränderung des Grundwasserspiegels im Oberen Grundwasserleiter dargestellt. Auch hier ist anzumerken, dass bei einer Berechnung der Absenkungen im Vergleich zum Ruhezustand des Grundwasserspiegels sich die Veränderung des Wasserspiegels konzentrischer um die Brunnen D und E ausbilden würde.

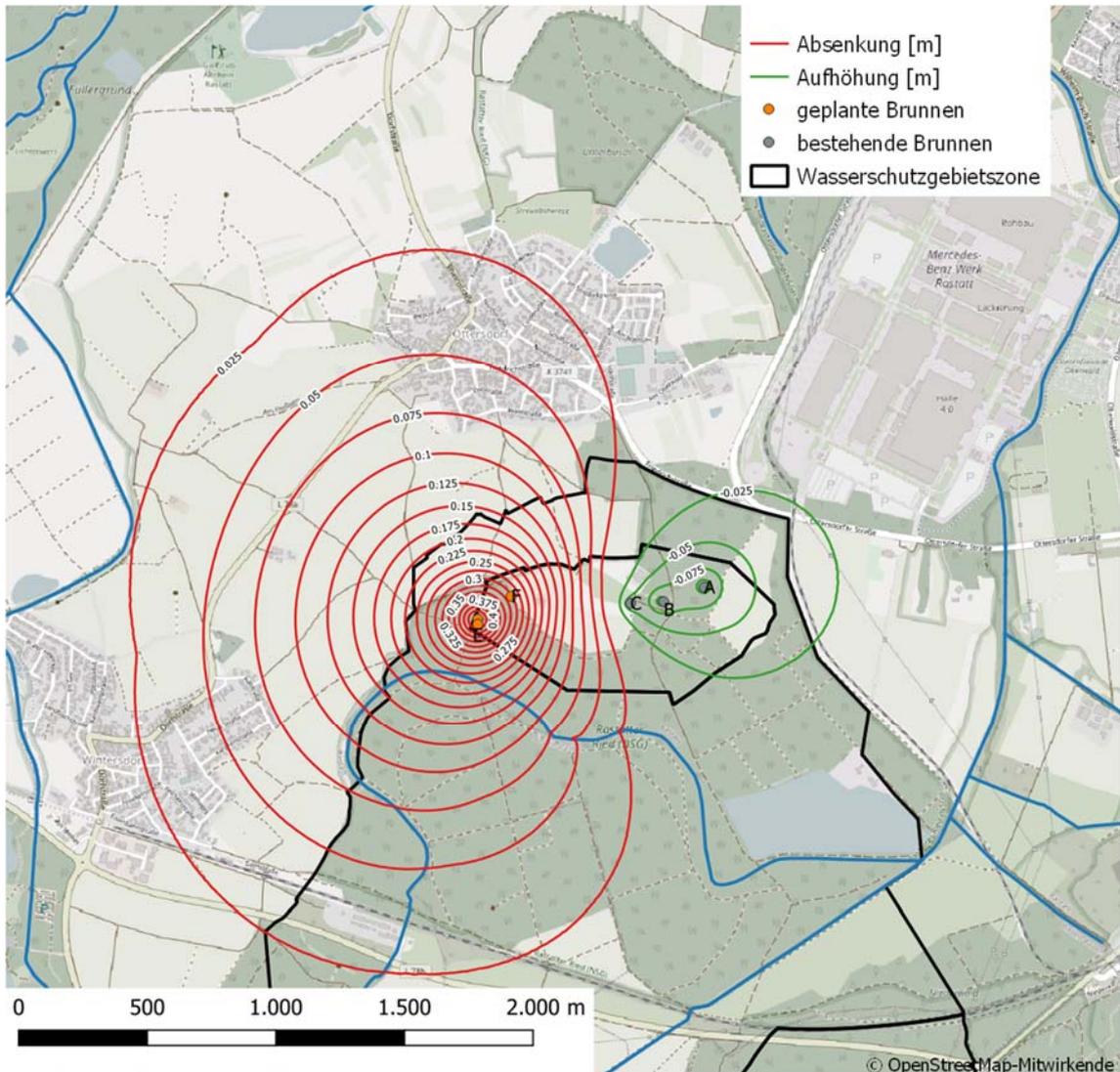


Abbildung 8: Berechnete Grundwasserabsenkungen und – Aufhöhungen für den geplanten Notbetrieb im Wasserwerk Ottersdorf im Oberen Grundwasserleiter

6.2 Auswirkungen auf das Wasserschutzgebiet

Auch hier leistet das Grundwassermodell einen wertvollen Beitrag mit dem man das Einzugsgebiet der neuen Brunnen D, E und F abgrenzen kann. Da die drei neuen Brunnen gegenüber der bisherigen Planung der Brunnenstandorte wesentlich weiter westlich am Rand der aktuellen Zone 2 des Wasserschutzgebietes liegen ist von einer Erweiterung der Schutzzonen nach Westen auszugehen. Grundsätzlich stehen auf der Basis des Grundwassermodells gemäß kup (2021) 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 advective 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.

Einzugsgebiet Brunnen D und E (aus kup 2021)

Das so ermittelte gemeinsame Einzugsgebiet für die Brunnen D und E für eine Entnahmerate von 71 l/s 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 Zuspeisungswahrscheinlichkeit 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.

Erweiterung der Schutzzonen

Abbildung 9 zeigt, dass der nähere Entnahmebereich der Brunnen über die bestehende Schutzzone II hinaus nach Westen bis zum Rand der aktuellen Schutzzone IIIA reicht. Eine entsprechende Erweiterung bzw. Anpassung der Zone II und IIIA wird daher erforderlich sein.

Die anstehende Erweiterung der Wasserschutzzonen wird im gegenständlichen Verfahren nicht bearbeitet. Hierzu wird vermutlich ein gesondertes Verfahren bei der Unteren Wasserbehörde beantragt und unter Einbeziehung des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) die erforderlichen Grundlagen für die fachtechnische Abgrenzung festgelegt.

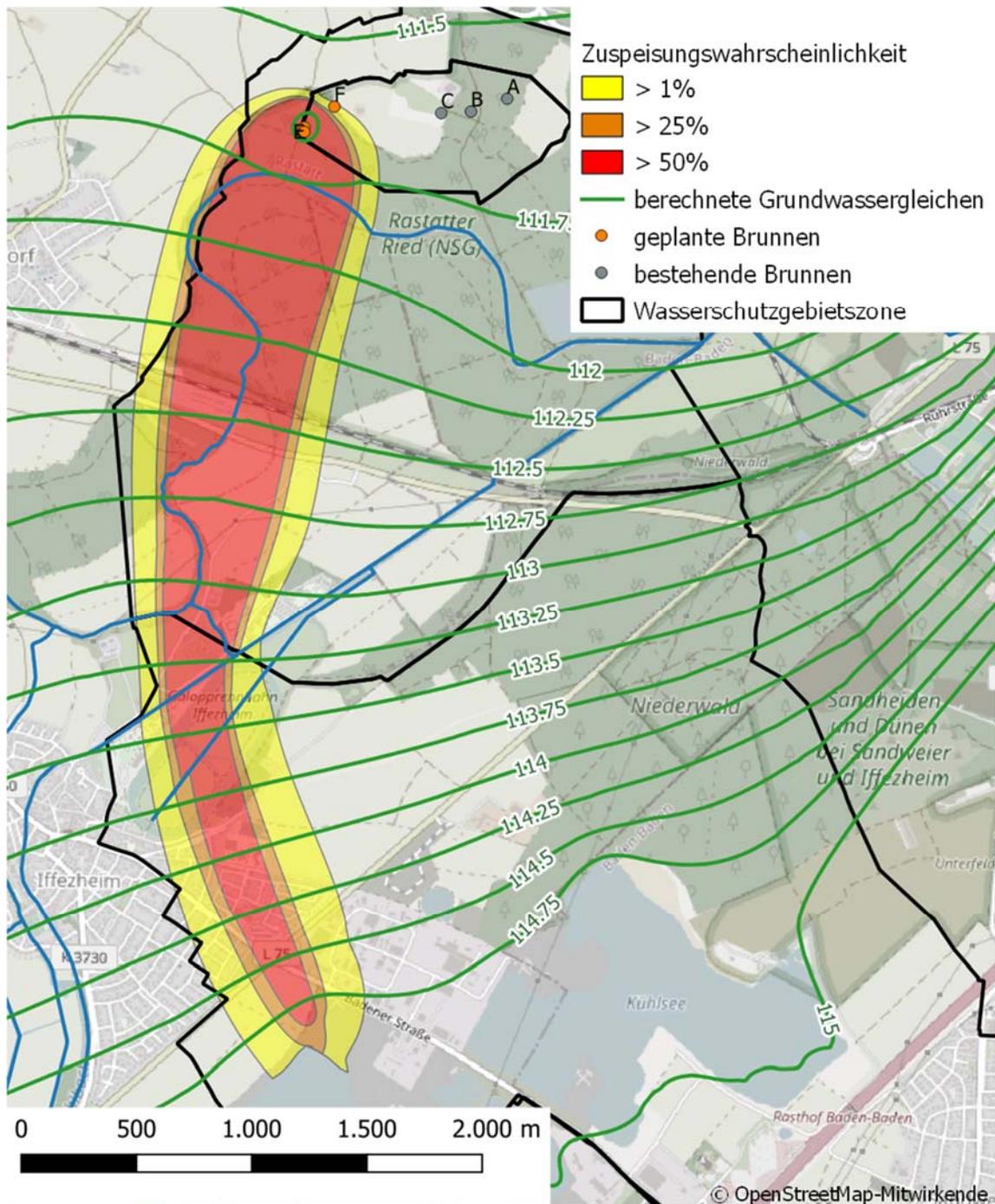


Abbildung 9: Einzugsgebiet der neuen Brunnen D und E bei Normalbetrieb mit 71 l/s (aus kup 2021)

6.3 Entwicklung der PFC-Belastung

Gemäß der dargestellten PFC-Belastung im Einzugsgebiet der Brunnen in Kapitel 4.5 wurde darauf aufbauend die Entwicklung der PFC-Fracht für die nächsten 20 Jahre an den geplanten neuen Brunnen mit dem Grundwassermodell berechnet bzw. prognostiziert.

Gemäß Kup (2021) ergibt sich an keinem der drei Brunnen in den nächsten 20 Jahre eine Überschreitung der Quotientensumme von 1. Die höchsten Konzentrationen ergeben sich erwartungsgemäß am östlichsten Brunnen F. Die Entwicklung der prognostizierten Verteilungen der Quotientensumme im Oberen und Mittleren Grundwasserleiter für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 machen deutlich, dass ein leichter Anstieg der PFC-Konzentrationen an den geplanten Brunnen hauptsächlich durch Entnahmebedingten 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 diesen beiden Brunnen im Jahr 2035 die Quotientensumme von 1 überschritten.

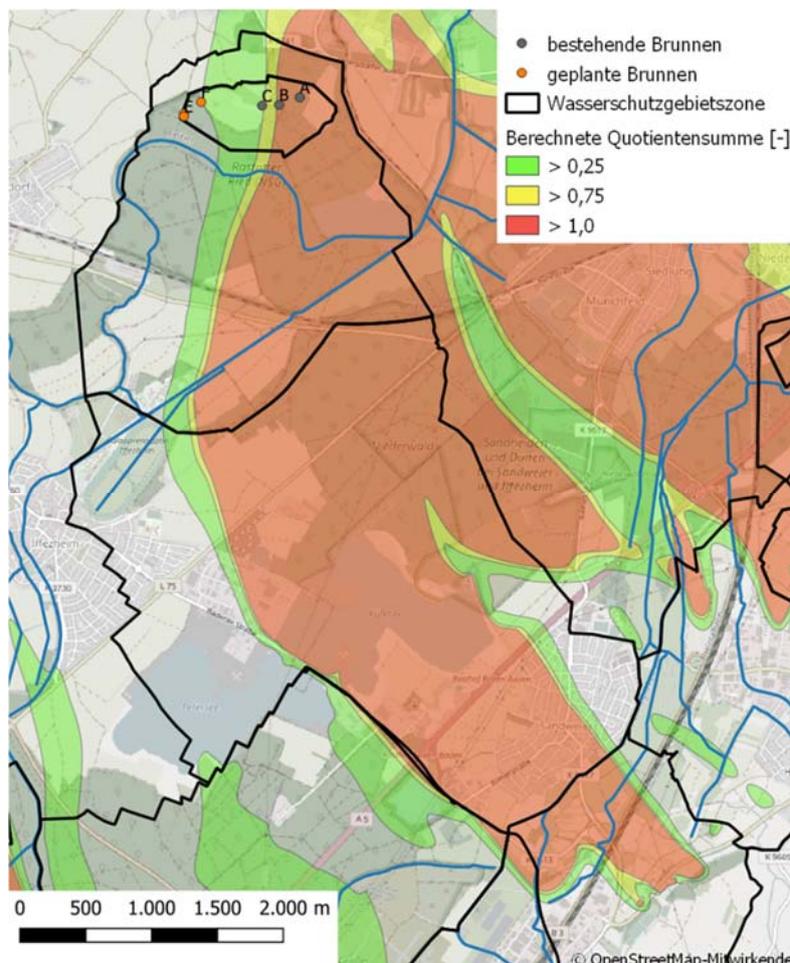


Abbildung 10: Prognostizierte PFC-Quotientensumme für 2040 im OGWL (aus Kup 2021)

7. Literaturverzeichnis

Europäisches Programm INTERREG, Hydrogeologische Kartierung der Oberrheinebene (1995): Hydrogeologische Schnitte Straßburg-Offenburg

Erich Bieske Verlag Oldenburg (1992): Bohrbrunnen 7. Auflage, München

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg GLA (1977): Hydrogeologisches Gutachten zur Auswertung der Pumpversuche in den Brunnen 9, 7, 10 des Wasserwerks Rastatt-Ottersdorf, Lkr. Rastatt (TK 25, Bl. 7114 Iffezheim und BL. 7115 Rastatt), Freiburg

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1978): - Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg, Rastatt, Maßstab 1: 50.000, Freiburg

Ing.- Büro Rösch Kessler Beratende Ingenieure VBI (1981): Erläuterungsbericht Schutzgebiet des Wasserwerkes Ottersdorf, Karlsruhe

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (2021): Errichtung neuer Brunnen im Wasserwerk Ottersdorf der Stadtwerke Rastatt: Grundwassermodelluntersuchung zur Prognose der zu erwartenden Grundwasserabsenkungen und PFC-Konzentrationen, Leinfelden-Echterdingen

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) und Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (2019): Dokumentation Wasserschutzgebiete PFC-Belastungsgebiet Rastatt / Baden-Baden, Karlsruhe

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) und Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (2017): Analyse und Prognose der PFC-Belastung im Raum Rastatt und Baden-Baden, Karlsruhe

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

LUBW (2002): Wasser und Bodenatlas Baden-Württemberg. – Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, 70 Karten mit Begleittexten; Karlsruhe.

TZW (2021): Bereitstellung der Ergebnisse der Stichtagsmessungen – hydrochemische Analysen Wasserspiegeldaten, Auswertungen, Karlsruhe

Wald und Korbe Beratende Ingenieure (2016): Wasserwerk Ottersdorf PFC-Belastung im Einzugsgebiet -Grundwasserströmungs- und Transportmodell zur Prognose der Ausbreitung der PFC-Schadstoffwolke und zur Konzipierung von Sicherungs- und Ersatzmaßnahmen- Erläuterungsbericht, Hügelsheim

8. Liste der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
a	Jahr
d	Tag
DOC	Dissolved Organic Carbon
FZH	Feinklastischer Horizont
GOK	Geländeoberkante
GLA	Geologische Landesanstalt
GW	Grundwasser
GWM	Grundwassermessstelle
H	Aquifermächtigkeit
HGK	Hydrogeologische Karte
HW	Hochwasserstand
i_0	Gefälle des Ruhewasserspiegels
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert od. Durchlässigkeit
km^2	Quadratkilometer
l	Liter
Lfd.-Nr.	Laufende Nummer
LRA	Landratsamt
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz
m	Meter
m + NN	Meter über Normal Null
μg	Mikrogramm
mg	Milligramm
mm	Millimeter
MOK	Messoberkante
MGWL	Mittlere Grundwasserleiter
MW	Mittlerer Wasserstand
NW	Niedrigwasserstand
OGWL	Oberer Grundwasserleiter
p	nutzbare Porosität
PFC	Per- und polyfluorierte Chemikalien
POK	Pegeloberkante
PV	Pumpversuch
Q	Wassermenge
RW	Rechtswert
Rwsp.	Ruhewasserspiegel
s	Sekunde
s.o.	siehe oben
UGWL	Unterer Grundwasserleiter
v_0	Abstandsgeschwindigkeit
WA	Wiederanstieg
WaBoA	Wasser und Bodenatlas

ANLAGEN

- Anlage 1: Übersichtskarte Maßstab 1: 25.000
- Anlage 2: Lageplan 1: 4.000
- Anlage 3.1-2: Schnitte aus Grundwassermodell Wald + Corbe
- Anlage 4: Grundwassergleichenplan MW
- Anlage 5: Grundwassergleichenplan HW
- Anlage 6: Grundwassergleichenplan NW
- Anlage 7: Schutzgebiete und Überschwemmungsgebiete
- Anlage 8-1: Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B17F
- Anlage 8-2: Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B17M
- Anlage 8-3: Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B17T
- Anlage 9-1: Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B18F
- Anlage 9-2: Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B18M
- Anlage 9-3: Ausbaupläne Schichtenverzeichnisse und Pumpversuchsdaten GWM B18T
- Anlage 10: Hydrochemische Analysen