

Numerisches dreidimensionales PFC-Transportmodell

I: Multispezies-Modell

Die PFC-Belastung im Raum Mittelbaden wird durch 5 im Grundwasser mobile PFC-Komponenten dominiert. Da diese Stoffe unterschiedliche Eigenschaften aufweisen und mit etwa folgenden Anteilen im Grundwasser zu finden sind, ist eine so genannte Multi-Speziesbetrachtung notwendig.

- 9% PFBA (Perfluorbutansäure)
- 27% PFPeA (Perfluorpentansäure)
- 27% PFHxA (Perfluorhexansäure)
- 8% PFHpA (Perfluorheptansäure)
- 29% PFOA (Perfluoroctansäure)

PFCs lassen sich in langkettige und kurzkettige Spezies unterscheiden. Im Raum Mittelbaden ist PFOA die einzige langkettige Spezies von Relevanz im Grundwasserleiter. Langkettige PFCs haben stärker sorptive Eigenschaften, die zu einem verlangsamten Transport im Grundwasser führen. Die kurzkettigen PFCs sind mobiler.

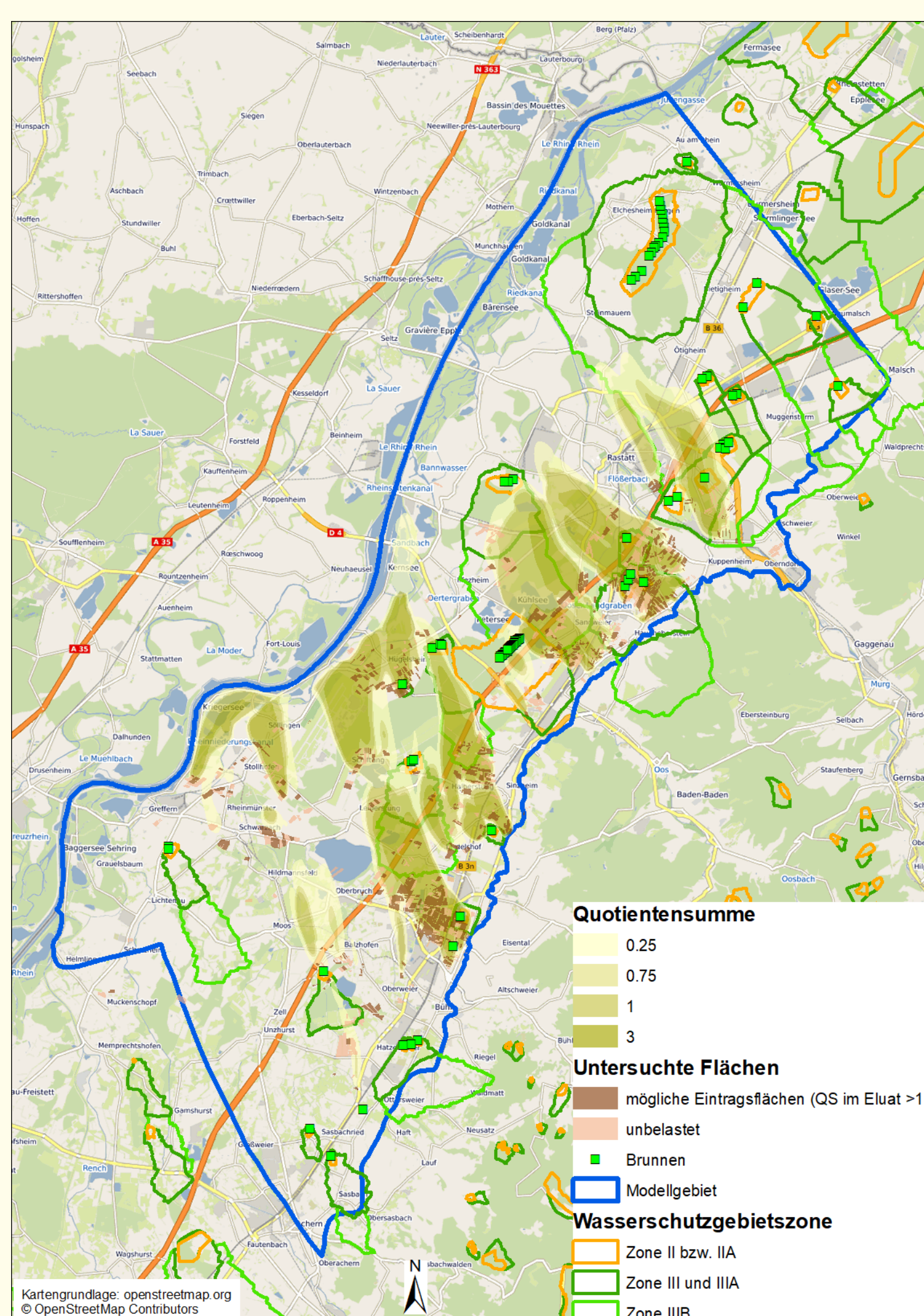
III: Nachbildung der aktuellen Verhältnisse

Für eine abgesicherte Prognose der PFC-Verhältnisse in der Zukunft ist es notwendig, dass das Transportmodell die bisherigen Verhältnisse adäquat abbildet. Dazu wird auf dem instationären Strömungsfeld der PFC-Transport zwischen 2004 und 2018 berechnet und mit den gemessenen Verhältnissen verglichen. Mit dem Modell werden die gemessenen PFC-Konzentrationen näherungsweise abgebildet. Es wird als prognosefähig erachtet, wenn wie im vorliegenden Fall folgende Kriterien erfüllt sind:

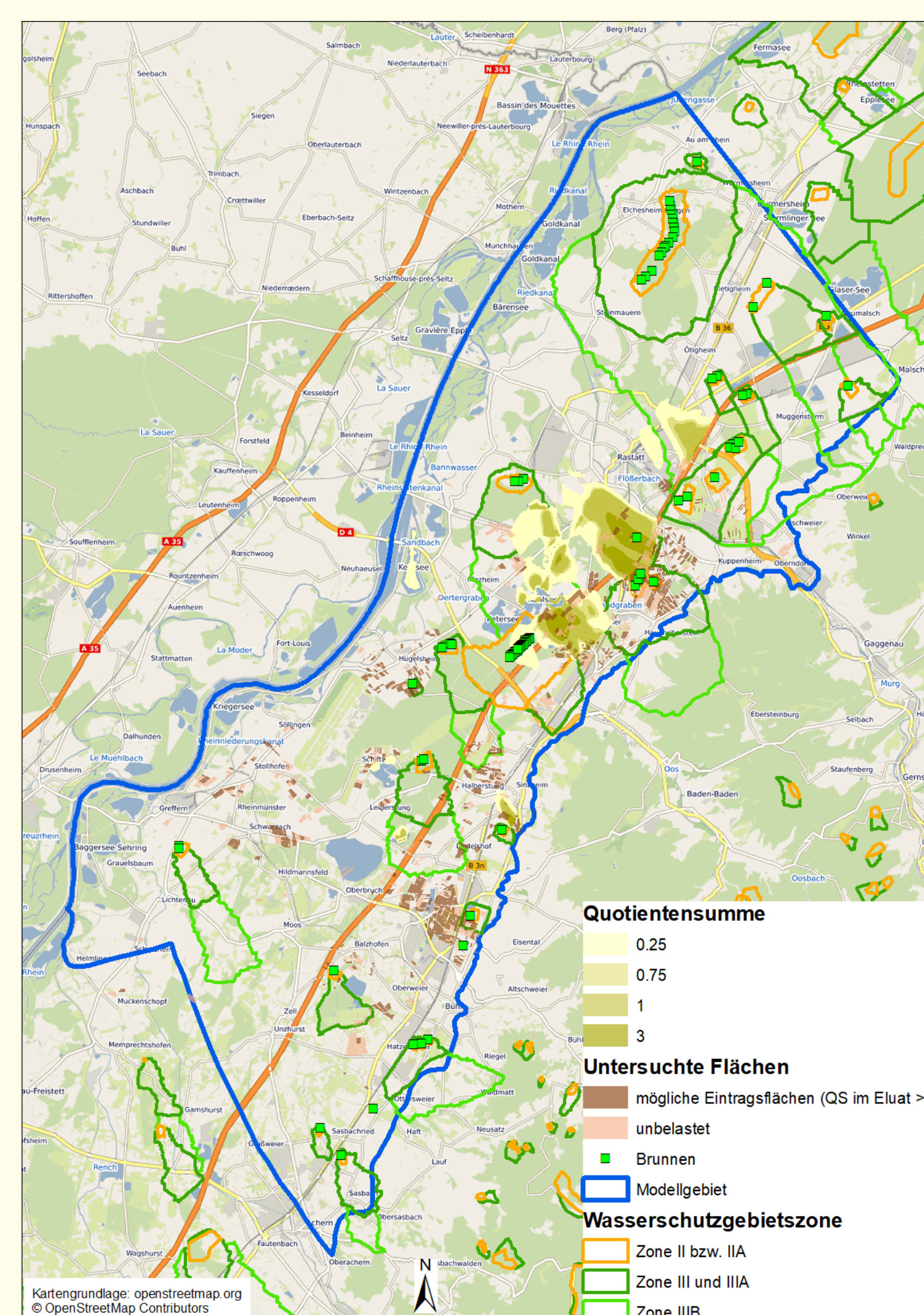
- Nachbildung der unterschiedlichen PFC-Konzentrationen in den unterschiedlichen Grundwasserleitern
- Nachbildung der Dynamik mit saisonaler und langfristiger Entwicklung

Die Belastungssituation im Grundwasser lässt sich über die so genannte Quotientensumme ermitteln. Diese Quotientensumme ergibt sich aus dem Quotienten der PFC-Konzentration der Einzelspezies c_i mit dem jeweiligen Gerinfügigkeitsschwellenwert GFS_i der Einzelspezies i . Er wird damit wie folgt berechnet:

$$\sum_i \frac{c_i}{GFS_i} < 1$$



Berechnete PFC-Belastung im oberen Grundwasserleiter Ende 2018. Dargestellt ist die Quotientensumme aus den Konzentrationsverteilungen der Einzelspezies

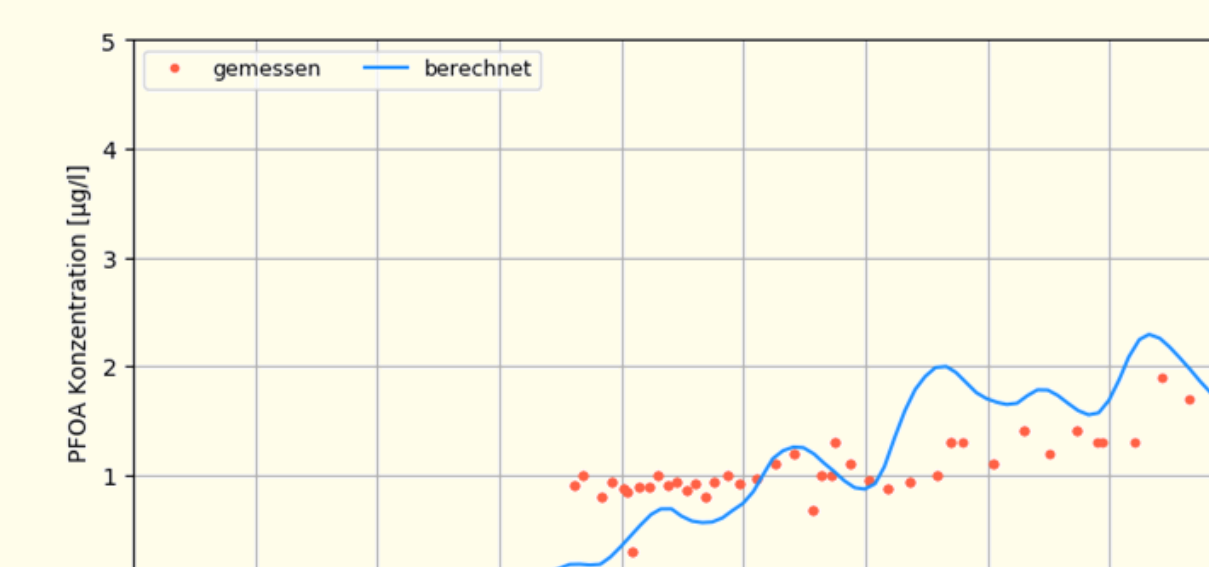


Berechnete PFC-Belastung im unteren Grundwasserleiter Ende 2018. Dargestellt ist die Quotientensumme aus den Konzentrationsverteilungen der Einzelspezies

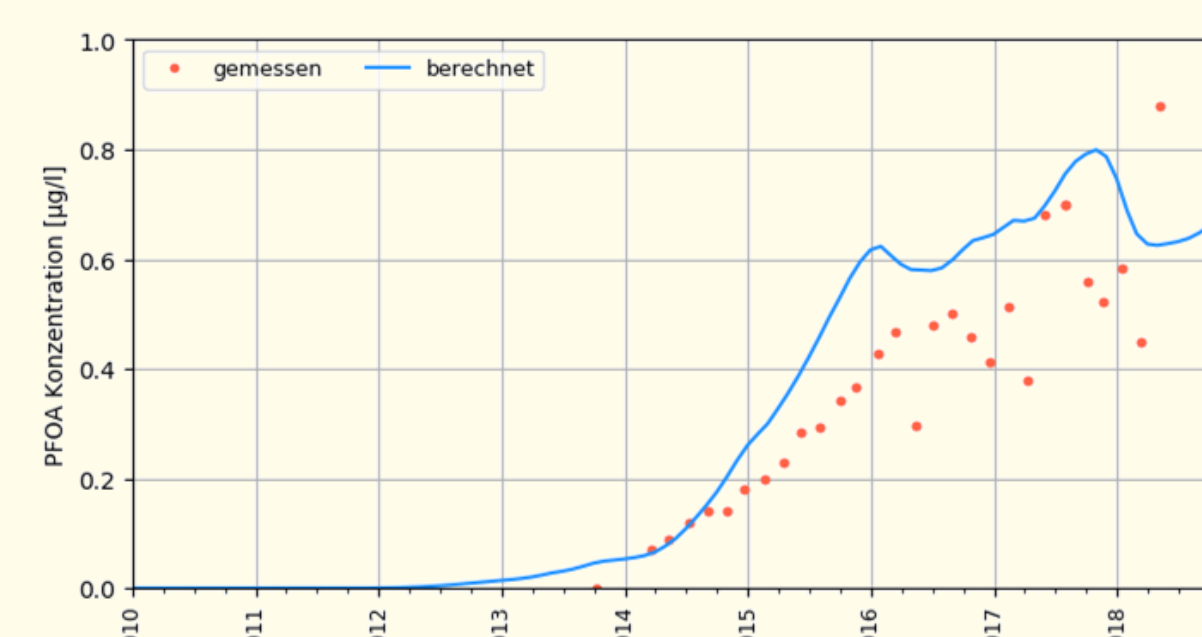
II: PFC-Eintrag in den Aquifer

Der PFC-Austrag aus dem Boden wurde über eine Kalibrierung der Austragsfunktion bestimmt. Dabei wurde die Austragsfunktion der einzelnen belasteten landwirtschaftlichen Flächen für alle 5 Spezies so modifiziert, dass die gemessenen PFC-Konzentrationen im Grundwasserleiter bestmöglich abgebildet werden können.

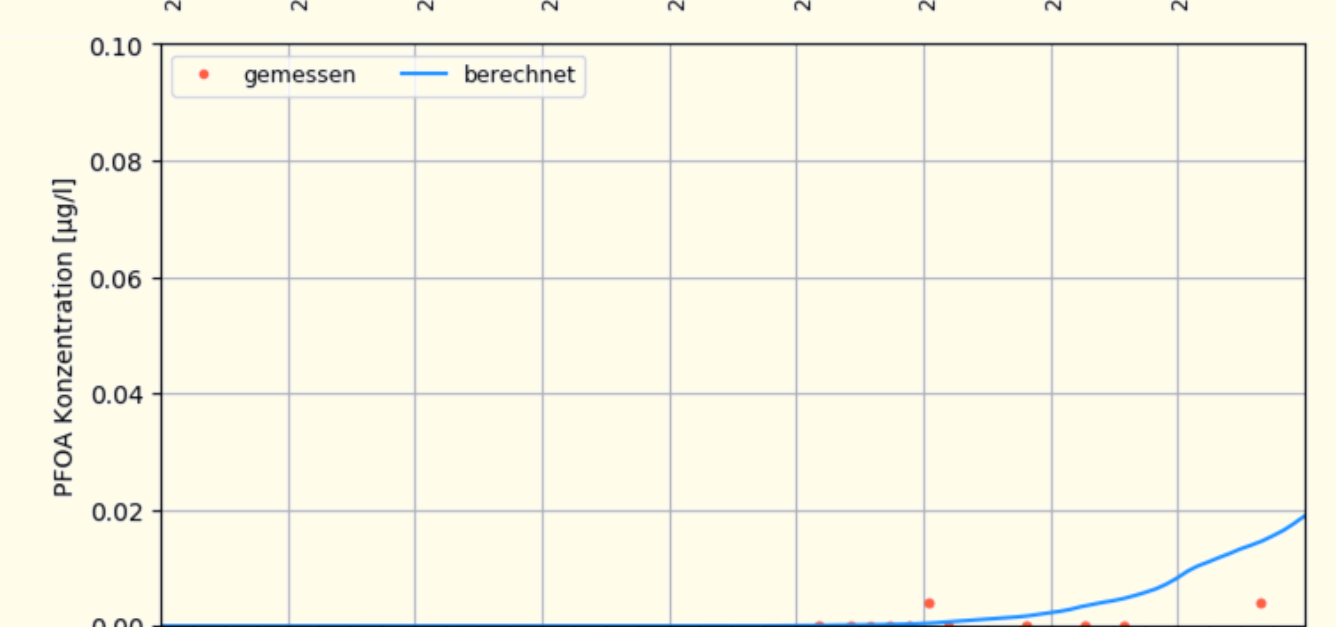
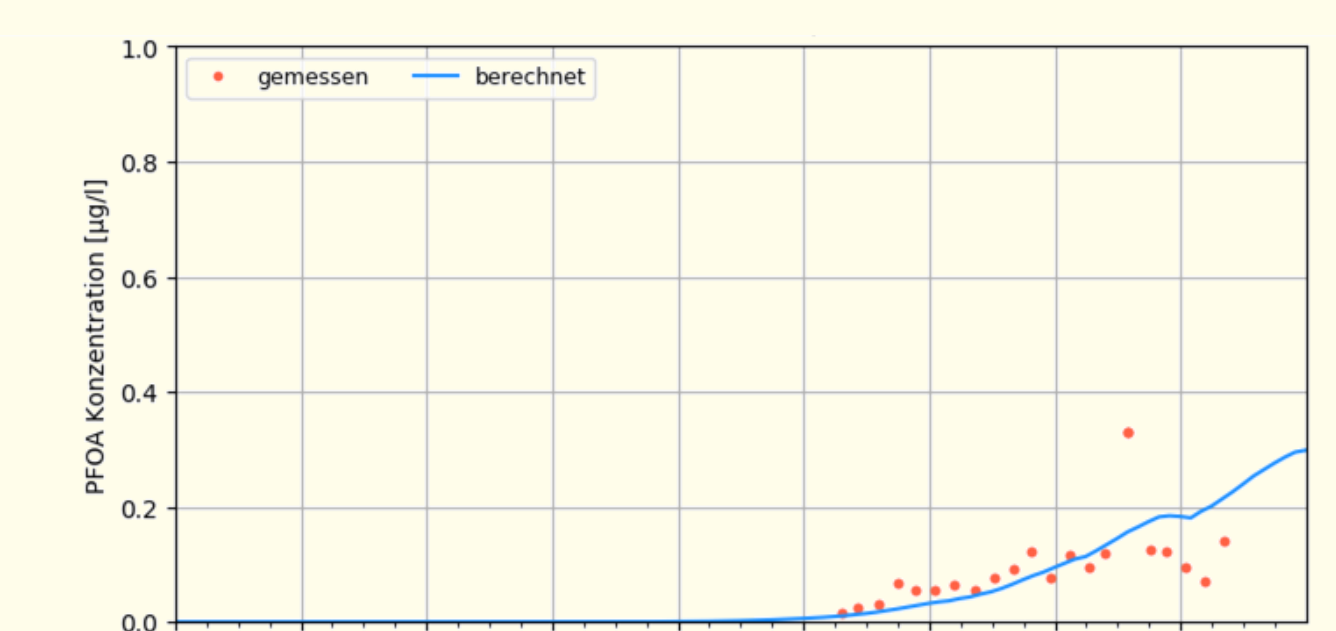
Spezies	Austrag aus Boden	Ungesättigte Zone	Eintrag in Aquifer
PFBA	138	9	129
PFPeA	420	18	402
PFHxA	418	18	400
PFHpA	114	8	106
PFOA	435	52	383
Σ [kg]	1525	105	1420



Berechnete und gemessene PFOA-Konzentrationen an einer Grundwassermessstelle im direkten Abstrom von PFC belasteten Flächen



Berechnete und gemessene PFOA-Konzentrationen an einer Grundwassermessstelle im weiteren Abstrom von PFC belasteten Flächen



Vergleich der gemessenen und berechneten PFOA-Konzentrationen in Abhängigkeit der Tiefe: die obere Messstelle ist im oberen Aquiferbereich, die untere im unteren Aquiferbereich verfiltert. Im tiefen Bereich sind die Konzentrationen bei Mess- und Rechenwerten deutlich geringer.

IV: PFC-Bilanz

Mit Hilfe des Modells lässt sich die PFC-Bilanz bis Jahresende 2018 für den gesättigten Grundwasserleiter aufstellen. Der größte Massenanteil umfasst die im Grundwasserleiter gespeicherte PFC-Masse. Diese beträgt ca. 740 kg. Von den insgesamt 1400 kg eingetragenen PFC sind nach den Modellbetrachtungen bislang ca. 600 kg über die Oberflächengewässer ausgetragen worden. Der Austrag über Grundwasserentnahmen an Brunnen ist mit 45 kg vergleichsweise gering. Die zeitliche Entwicklung der PFC-Massen zeigt, dass die Masse an kurzkettigen PFC eher wieder abnimmt. Bei PFOA ist noch mit einem geringen Anstieg der Gesamtmasse zu rechnen.

Spezies	Eintrag	Austrag Oberflächengewässer	Austrag Entnahmen	im Aquifer
PFBA	129	54	4	71
PFPeA	402	202	14	186
PFHxA	400	201	15	184
PFHpA	106	56	4	46
PFOA	383	120	8	255
Σ [kg]	1420	633	45	742

