



Hamburg

Behörde für
Umwelt und Energie



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

**Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Hamburg
- Aktueller Stand der Untersuchungen, aktuelle Nachweise und Verbesserungspotenziale**

Bachelorarbeit im

Studiengang Umwelttechnik

angefertigt in der
Behörde für Umwelt und Energie

vorgelegt von

Juliane Behrendt



Hamburg am

31.08.2018

Gutachter: Prof. Dr. Carolin Floeter (HAW Hamburg)
Gutachter: Dipl. Ing. Irmgard von Kalben (BUE Hamburg)

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildungsverzeichnis..... | 2 |
| Tabellenverzeichnis..... | 3 |
| Abkürzungsverzeichnis..... | 3 |
| 1. Einleitung | 5 |
| 1.1 Per- und Polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS)..... | 5 |
| 1.1.1 Eigenschaften von PFAS | 8 |
| 1.1.2 Risikobewertung..... | 9 |
| 1.1.3 Regulatorische Maßnahmen | 12 |
| 1.1.4 Anwendungen | 14 |
| 1.1.5 Erste bekannte größere Schadensfälle in anderen Bundesländern | 15 |
| 2. Material und Methoden..... | 17 |
| 1.2 Turnus der Untersuchungen in Hamburg..... | 17 |
| 1.3 Untersuchungsverfahren | 18 |
| 1.4 Daten- und Kartenmaterial | 19 |
| 3. Ergebnisse | 20 |
| 1.5 Aktueller Stand der PFAS Erfassung und Kontamination in Hamburg | 20 |
| 1.5.1 Im Bereich vorsorgender Grundwasserschutz..... | 20 |
| 1.5.2 Im Bereich nachsorgender Grundwasserschutz | 23 |
| 1.5.3 Im Bereich Oberflächengewässer..... | 27 |
| 4. Diskussion..... | 33 |
| 1.6 Auswertung der Ergebnisse | 33 |
| 1.7 Vergleich Hamburg mit anderen Bundesländern | 38 |
| 1.8 Verbesserungspotenziale | 39 |
| 5. Literaturverzeichnis | 40 |
| 6. Eidesstattliche Erklärung | |
| 7. Anhang..... | |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Perfluorierte Alkylsubstanz, gehört zu den Carbonsäuren (Buck et al., 2011) ... | 5 |
| Abbildung 2: Polyfluorierte Alkylsubstanz, gehört ebenfalls zu den Carbonsäuren (Buck et al., 2011)..... | 5 |
| Abbildung 3 Terminologie der PFAS nach Buck et al (2011); entnommen aus OECD, 2013 . | 6 |
| Abbildung 4: Elektrofluorierung von Octansulfonylfluorid (Albers, 2011] | 7 |
| Abbildung 5: Kettenwachstums- und Terminierungsreaktion der Fluortelomerisierung (Albers, 2011)..... | 7 |
| Abbildung 6 Eigenschaften von PFAA (Stahl, 2015)..... | 8 |
| Abbildung 7: Lageplan vorsorgender Grundwasserschutz (BUE Hamburg)..... | 20 |
| Abbildung 8: Anzahl der Messungen im vorsorgenden Grundwasserschutz, die über bzw. unter der Nachweisgrenze lagen | 21 |
| Abbildung 9: Konzentrationen von PFOS über 0,0015 µg/l an verschiedenen Messstellen in den Jahren 2015 und 2016..... | 21 |
| Abbildung 10: PFOS Konzentrationen an den Messstellen 7268 und 5225 in den Jahren 2015 und 2016 | 22 |
| Abbildung 11: Lageplan PFAS Messstellen (selbst erstellt mit Daten der BUE Hamburg) | 24 |
| Abbildung 12: PFAS Konzentrationen im Becken auf dem Flughafen Fuhlsbüttel | 25 |
| Abbildung 13: Auswertung Messstelle M11 | 26 |
| Abbildung 14: Lageplan der Messstellen an Oberflächengewässern | 27 |
| Abbildung 15: Maximale Messwerte an der Messstelle Finkenwerder (Uesh) im Laufe der Jahre von 2011-2016..... | 28 |
| Abbildung 16: Maximale Messwerte an der Messstelle Zollenspieker (Oezs) im Laufe der Jahre von 2012 - 2016..... | 29 |
| Abbildung 17: Maximale Messwerte im Jahr 2016 n verschiedenen Stellen | 30 |
| Abbildung 18: Messwerte Untersuchungen Biota (Fisch)..... | 31 |
| Abbildung 19: Maximaler Gehalt von PFOS im Sediment an der Messstelle Oebu in den Jahren 2015 und 2016..... | 32 |
| Abbildung 20: : Maximaler Gehalt von PFOS im Sediment an der Messstelle Uesh in den Jahren 2013- 2016 | 32 |
| Abbildung 21: Auswertung Messstelle M11 mit Grenzwerten | 34 |
| Abbildung 22: Übersicht Messungen von PFOS im nachsorgenden Grundwasserschutz..... | 34 |
| Abbildung 23: Übersicht Messungen von PFOA im nachsorgenden Grundwasserschutz..... | 35 |
| Abbildung 24: Lage der Grundwassermessstellen und relevante Flächen (BUE Hamburg) .. | 36 |
| Abbildung 25: Übersicht von der Summe PFOA und PFOS in Wasser in verschiedenen Ländern (Stahl, 2015)..... | 38 |
| Abbildung 26: Karte der Trinkwasservorkommen in den USA mit detektierbaren PFAS (Hu, et al., 2016)..... | 39 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: GFS für die Verbindungen der ersten Priorität (Hädicke,2017)..... | 10 |
| Tabelle 2: PNEC _{aquatisch} -Werte für die PFC für die Beurteilung von Oberflächengewässern (LfU,2017) | 11 |
| Tabelle 3: Liste mit Trinkwasser- Leitwerten und gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) (Umweltbundesamt, 2017) | 11 |
| Tabelle 4: Parameterumfang in der DIN 38407-42 | 18 |
| Tabelle 5: Analysedaten an den Messstellen 5225 und 7268 (siehe Abbildung 7 ○) | 22 |
| Tabelle 6: Untersuchte Einzelsubstanzen im nachsorgenden Grundwasserschutz..... | 23 |
| Tabelle 7: Untersuchte Messungen unterhalb der Nachweisgrenze im nachsorgenden Grundwasserschutz..... | 26 |
| Tabelle 8: Messwerte in Oberflächengewässer der Messstelle Uesh im Jahr 2012 | 28 |
| Tabelle 9: Messwerte in Oberflächengewässer der Messstelle Oezs im Jahr 2012 | 29 |
| Tabelle 10: Auswertung der Grundwassermessungen vorsorgender Grundwasserschutz.... | 33 |
| Tabelle 11: Auswertung Messungen nachsorgender Grundwasserschutz | 35 |

1. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------------------|---|
| AFFF | Aqueous Film Forming Foams |
| BAIUDBw | Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr |
| ECHA | Europäische Chemikalienagentur |
| EU | Europäische Union |
| FT | Flourtelomere |
| GFS | Geringfügigkeitsschwellenwerte |
| GOW | gesundheitliche Orientierungswerte |
| H4PFOS | 1H,1H,2H,2H-Polyfluorooctansulfonsäure |
| JD | Jahresdurchschnitt |
| LAWA | Länderarbeitsgemeinschaft Wasser |
| LfU | Bayerisches Landesamt für Umwelt |
| PBT | persistent, bioakkumulierend, toxisch |
| PFAA | Perfluoralkylsäuren |
| PFAS | Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen |
| PFBA | Perfluorbutansäure |
| PFBS | Perfluorbutansulfonsäure |
| PFC | Per- und Polyfluorierte Chemikalien oder Perfluorkohlenstoff |
| PFCA | Perfluoralkylcarbonsäure |
| PFDA | Perfluordecansäure |
| PFD _o A | Perfluordodecansäure |

| | |
|-------|--|
| PFDS | Perfluordecansäure |
| PFHpA | Perfluorheptansäure |
| PFHxA | Perfluorhexansäure |
| PFHxS | Perfluorhexansulfonsäure |
| PFNA | Perfluornonansäure |
| PFOA | Perfluorooctansäure |
| PFOS | Perfluorooctansulfonsäure |
| PFOSA | Perfluorooctansulfonamid |
| PFPeA | Perfluorpentansäure |
| PFSA | Perfluoralkylsulfonsäure |
| PFT | Perfluorierte Tenside |
| PFUnA | Perfluorundecansäure |
| PNEC | Predicted no effect concentration |
| POP | persistent organic Pollutant |
| PTFE | Polytetrafluorethylen |
| REACH | Registrierung, Bewertung, Autorisierung und Beschränkung von Chemikalien; Europäische Chemikalienverordnung |
| SPE | Solid Phase Extraction, Fest-Phasen Extraktion |
| SVHC | Substances of very high concern |
| UBA | Umweltbundesamt |
| UQN | Umweltqualitätsnorm |

2. Einleitung

Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind eine Gruppe synthetisch hergestellter organischer Verbindungen, die in den verschiedensten Produkten aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften eingesetzt werden.

In den letzten Jahren rückte das Thema PFAS vermehrt in den Fokus von behördlichen Untersuchungen nachdem in verschiedenen Bundesländern größere Schadensfälle bekannt wurden. Auch Hamburg nahm die Gruppe der PFAS mit in ihre Messprogramme auf.

Diese Arbeit soll einen Überblick über die Untersuchungen, deren bisherigen Nachweise auf PFAS und Verbesserungspotenziale in den Bereichen Oberflächengewässer und vorsorgender und nachsorgender Grundwasserschutz in Hamburg geben, diese Ergebnisse miteinander verknüpfen, um so einen besseren Austausch zwischen den Bereichen zu schaffen.

Zunächst gibt es eine Einführung in das Thema PFAS und im weiteren Verlauf wird der Ablauf der Untersuchungen und deren Ergebnisse vorgestellt.

1.1 Per- und Polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS)

Bei PFAS handelt es sich um anthropogene Stoffe, die seit den 1950er synthetisch hergestellt werden. Als PFAS werden Substanzen bezeichnet, die eine oder mehrere Perfluoralkyleinheiten, $-C_nF_{2n+1}$, aufweisen. Ob eine Substanz polyfluoriert oder perfluoriert ist hängt davon ab, ob an alle Kohlenstoffatome in der Alkylkette Fluoratome gebunden sind (perfluoriert) (siehe Abbildung 1) oder ob nur an einigen C-Atomen F-Atome gebunden sind (polyfluoriert) (siehe Abbildung 2) (Buck, et al., 2011).

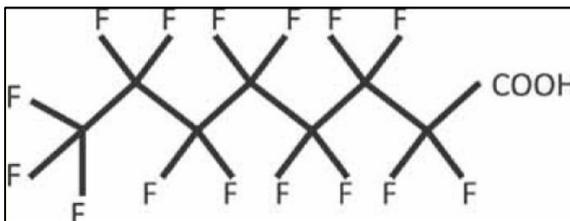


Abbildung 1: Perfluorierte Alkylsubstanz, gehört zu den Carbonsäuren (Buck et al., 2011)

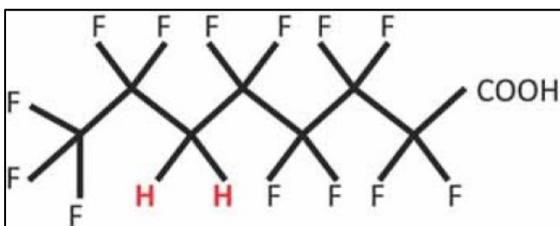


Abbildung 2: Polyfluorierte Alkylsubstanz, gehört ebenfalls zu den Carbonsäuren (Buck et al., 2011)

In einigen Arbeiten wird oft der Begriff PFC für PFAS verwendet, dieses kann aber zu Verwechslungen führen, da PFC auch für Perfluorkohlenstoff steht. Diese Stoffe bestehen allerdings nur aus Kohlenstoff und Fluor und weisen auch andere Eigenschaften als PFAS auf (Buck, et al., 2011).

In diesem Dokument verwende ich die Terminologie die von Buck et al. (2013) vorgeschlagen wurde. Dabei werden die PFAS in zwei Kategorien eingeteilt: Nicht- Polymere und Polymere (siehe Abbildung 3).

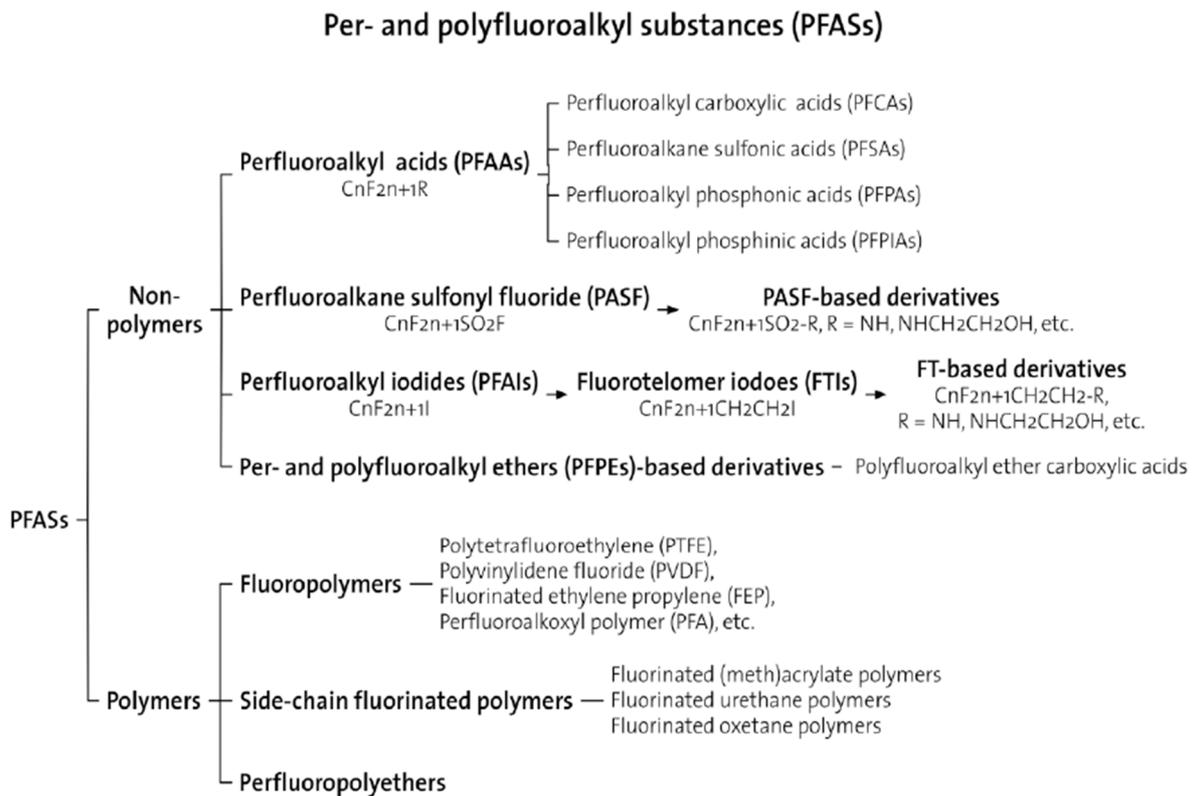


Abbildung 3 Terminologie der PFAS nach Buck et al (2011); entnommen aus OECD, 2013

Im deutschsprachigen Raum wird ebenfalls der Begriff Perfluorierte Tenside (PFT) oft verwendet, damit ist eine kleine Gruppe von Substanzen (ca. 300 Einzelsubstanzen) der PFAS gemeint, die bei der Herstellung zahlreicher Industrie- und Konsumgüter wegen ihrer Tensid- Eigenschaften verwendet werden (Stahl, 2015).

Dabei wird im Rahmen dieser Arbeit hauptsächlich auf die Nicht- Polymere eingegangen. Im Besonderen auf die Perfluoralkylsäuren. Sie gehören zu den PFAS, die am häufigsten in der Umwelt gefunden wurden (Knepper, et al., 2014).

Da PFAS nicht natürlich in der Umwelt vorkommen, müssen sie hergestellt werden, dafür gibt es zur Zeit zwei verschiedene Verfahren, die Elektrofluorierung und die Fluortelomerisierung. Bei der Elektrofluorierung werden die Edukte in Flusssäure (HF) gelöst und eine Spannung von 4,5-7,0 Volt angelegt. Die Grundstruktur bleibt erhalten, allerdings wurden alle Wasserstoffatome durch Fluoratome ersetzt. Um zum Beispiel Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) herzustellen, nimmt man als Edukt Octansulfonylfluorid. Dieses Verfahren ist zwar relativ kostengünstig, aber es entstehen auch eine Reihe von Nebenprodukten, sodass die Ausbeute nur 30- 45 % beträgt (Albers, 2011).

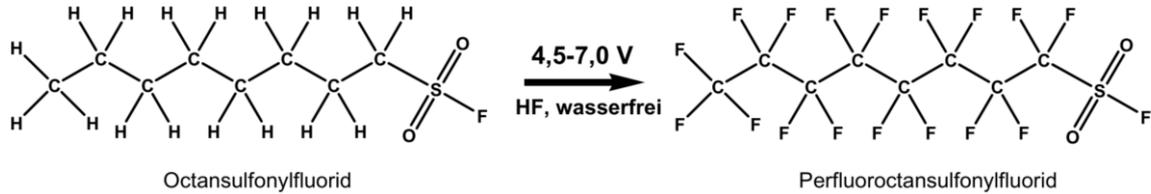


Abbildung 4: Elektrofluorierung von Octanesulfonylfluorid (Albers, 2011)

Bei dem anderen Herstellungsverfahren, der Fluortelomerisierung wird die Zielsubstanz schrittweise aufgebaut, dabei reagiert Tetrafluorethylen mit Pentafluoriodethan. Weitere Reaktionen mit Perfluorethen erhöhen die Anzahl an C-Atomen im Grundgerüst um zwei. In dem Prozess entsteht Perfluoralkyliodid, das wieder als Edukt in weiteren Syntheseprozessen verwendet werden kann. Die Telomerisierung wird durch Umsetzung des Iodids mit Ethen beendet. Auch in diesem Schritt entsteht wieder ein Stoff, der in der weiteren Synthese von zum Beispiel Telomeralkoholen eingesetzt werden kann.

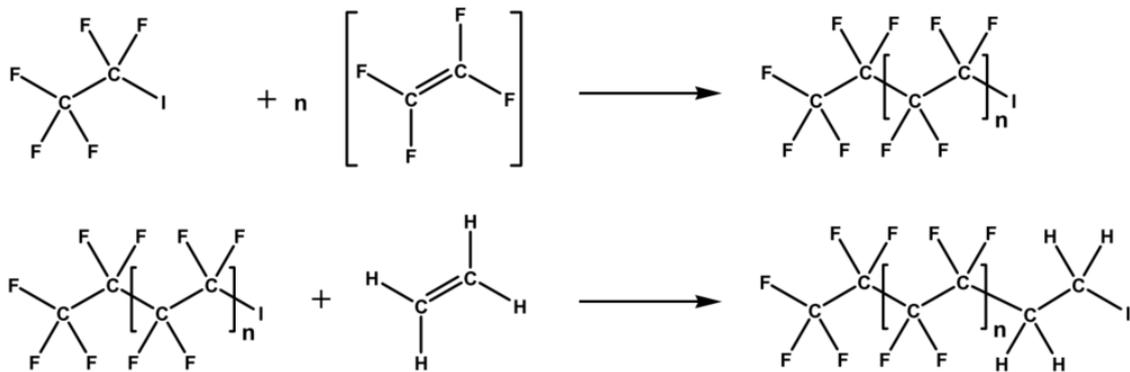


Abbildung 5: Kettenwachstums- und Terminierungsreaktion der Fluortelomerisierung (Albers, 2011)

1.1.1 Eigenschaften von PFAS

Der Grund für die weite Verbreitung von Perfluoralkylsäuren (PFAA) ist ihr breites Anwendungsspektrum, das wiederum auf den besonderen Eigenschaften beruht.

Die fluoridierte Alkylkette ist unpolar, also hydrophob bzw. wasserabstoßend, die Endgruppe dagegen ist polar, also hydrophil, bzw. wasseranziehend (siehe Abbildung 6) (BAIUDBw, 2016).

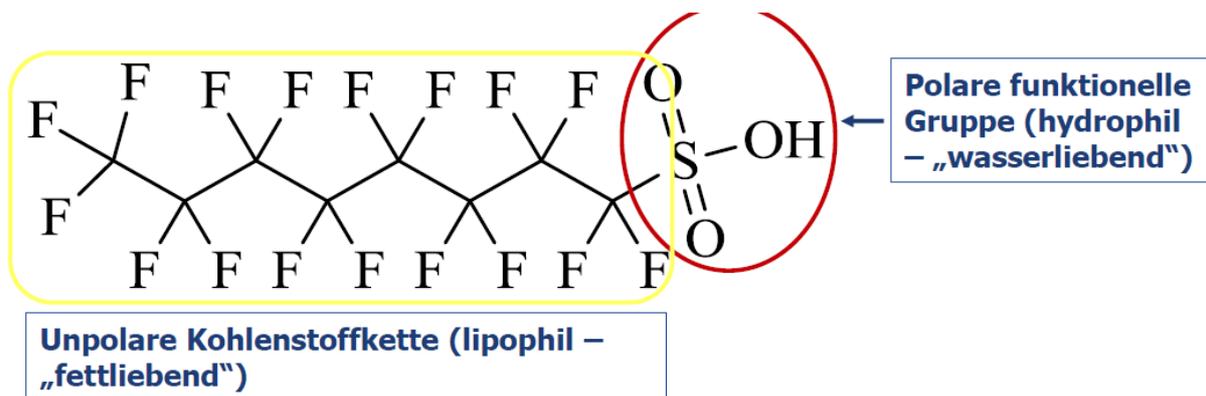


Abbildung 6 Eigenschaften von PFAA (Stahl, 2015)

Durch diese beiden Eigenschaften sind die Substanzen sowohl wasserabweisend, fettabweisend wie auch grenzflächenaktiv (BAIUDBw, 2016).

Eine weitere Besonderheit ist die hohe Stabilität der Kohlenstoff- Fluorbindung. Diese kovalente Bindung gehört zu den thermodynamisch stabilsten mit ca. 500 kJ/mol. Sie kann nur unter hohem Energieaufwand gelöst werden (Albers, 2011).

Zudem muss man auf Grund unterschiedlicher Eigenschaften zwischen langkettigen und kurzkettigen PFAS unterscheiden. Als langkettig werden Perfluorcarbonsäuren (PFCA) mit acht oder mehr Kohlenstoffatomen und Perfluorsulfonsäuren (PFSA) mit sechs oder mehr Kohlenstoffatomen bezeichnet (Buck, et al., 2011). Langkettige Verbindungen werden gut an Feststoff gebunden, kurzkettige sind eher in wässrigen Medien zu finden, da sie besonders hydrophil sind und weniger adsorptiv (BAIUDBw, 2016).

1.1.2 Risikobewertung

PFAS sind inzwischen ubiquitär in der Umwelt nachweisbar, dies liegt zum einen an ihrer breiten Anwendung, zum anderen daran, dass sie weder abiotisch noch biotisch abbaubar sind (Biegel-Engler, et al., 2013). Auch können sie nicht in Kläranlagen abgebaut werden, im Gegenteil entstehen dort durch Abbau oder Umwandlung von Precursor zusätzliche persistente perfluorierte Stoffe. Als Precursor werden Verbindungen genannt, die durch Transformation oder Abbau zu Stoffen mit PBT (persistent, bioakkumulierend, toxisch)-Eigenschaften verändert werden (Ahrens, et al., 2009). Das ist auch ein gutes Beispiel dafür, dass die Gefahr von Precursor stark unterschätzt wird (Held, 2016). Leichtflüchtige Precursor können weite Strecken über die Atmosphäre und ionische PFAS über die Wasserwege transportiert werden (Ahrens, et al., 2009). Besonders kurzkettige Substanzen weisen eine hohe Mobilität auf (Biegel-Engler, et al., 2017). Als besonders besorgniserregend unter der Europäischen Chemikalienverordnung REACH gelten langkettige PFAS. Sie sind stark bioakkumulierend, reichern sich also in Organismen an, zu dem weisen einige Vertreter reproduktionstoxische und bei hoher Exposition sogar kanzerogene Eigenschaften auf. (Biegel-Engler, et al., 2017) Die reproduktionstoxischen Eigenschaften von PFOS und PFOA wurden bereits durch Studien beim Menschen bestätigt. Sie beeinflussen die Fruchtbarkeit bei Frauen und reduzieren die Spermienqualität und die Spermienzahl bei Männern (Biegel-Engler, et al., 2013).

Durch belastetes Wasser, belastete Nahrung oder auch durch die Luft können Organismen PFAS aufnehmen. Eine Reihe von PFSA und PFCA wurden im Blut der Bevölkerung nachgewiesen (OECD/UNEP, 2013). PFOS und PFOA verbleiben lange im Blut (OECD/UNEP, 2013), PFOA hat eine Halbwertszeit von ca. 3,5 Jahre im menschlichen Blut. Eine erhöhte PFOA Konzentration im Blut begünstigt verschiedene Krankheiten wie man am Schadensfall in den USA erkannte. Zudem zeigten Langzeitstudien mit Ratten und Mäuse, dass PFOS und PFOA das Wachsen von Leber-, Bauspeicheldrüsen- und Leydigzell-Tumoren fördert (Biegel-Engler, et al., 2013).

Als Bewertungshilfe für das Grundwasser wurden 2017 von der LAWA (Bund-/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser) Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) für PFAS aufgestellt (siehe Tabelle 1). Die Geringfügigkeitsschwelle wird als Konzentration definiert, bei der trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber regionalen Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleitete Werte eingehalten werden. Zur Ableitung der GFS-Werte wurden verschiedene humantoxikologische und ökotoxikologische Studien ausgewertet (Hädicke, 2017).

Tabelle 1: GFS für die Verbindungen der ersten Priorität (Hädicke,2017)

| Name, Abkürzung (CAS-Nr.) | GFS [µg/L] | Basis [µg/L] | |
|--|------------|--------------|---------|
| | | Humantox. | Ökotox. |
| Perfluorbutansäure, PFBA (375-22-4) | 10 | 10 | 1260 |
| Perfluorpentansäure, PFPeA (2706-90-3) | - | - (GOW: 3,0) | 300 |
| Perfluorhexansäure, PFHxA (307-24-4) | 6 | 6 | 1000 |
| Perfluorheptansäure, PFHpA (375-85-9) | - | - (GOW: 0,3) | - |
| Perfluoroktansäure, PFOA (335-67-1) | 0,1 | 0,1 | 570 |
| Perfluornonansäure, PFNA (375-95-1) | 0,06 | 0,06 | 8 |
| Perfluordecansäure, PFDA (335-76-2) | - | - (GOW: 0,1) | 10 |
| Perfluorbutansulfonsäure, PFBS (375-73-5) | 6 | 6 | 3700 |
| Perfluorhexansulfonsäure, PFHxS (355-46-4) | 0 | 0,1 | 250 |
| Perfluorheptansulfonsäure, PFHpS (375-92-8) | - | - (GOW: 0,3) | - |
| Perfluoroktansulfonsäure, PFOS (1763-23-1) | 0,1 | 0,1 | 0,23 |
| H4- Polyfluoroktansulfonsäure, H4PFOS (27619-97-2) | - | - (GOW: 0,1) | 870 |
| Perfluoroktansulfonamid, PFOSA (754-91-6) | - | - (GOW: 0,1) | - |

Für die humantoxikologische Bewertung müssen mindestens 90 Tage- Studien vorliegen. In einem Bericht der U.S.-Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR 2015) wurden Wirkungen insbesondere bezüglich PFOA und PFOS beschrieben, die auf einer Aktivierung des Peroxisomen-Proliferator-aktivierten Rezeptor α (PPAR α) beruhen. Die beobachteten Wirkungen waren eine Vergrößerung der Leberzellen, Beeinträchtigung des Immunsystems, Fettwechselstörungen, verminderter Impfschutz, Verdacht auf Kanzerogenität und eine erhöhte Mortalität des Fötus im ersten Schwangerschaftsdrittel bei den Substanzen PFOA,PFOS und PFDA (Hädicke, 2017).

Die in der Liste unter Humantoxikologisch stehenden GOW (gesundheitliche Orientierungswerte) wurden bei Stoffen angewendet, bei denen keine ausreichenden Daten für eine humantoxikologische Bewertung vorlagen. Das GOW-Konzept, wobei GOW die Obergrenze des gesundheitlichen Vorsorgebereichs ist, wurde vom Umweltbundesamt für die Bewertung von humantoxikologisch nur teil- oder nicht bewertbaren Stoffen entwickelt (LAWA, 2017).

Bei einer Bewertung von PFAS- Gemischen, in denen die Einzelsubstanzen einen ähnlichen Wirkmechanismus aufweisen, kann eine Bewertung durch eine Summenwertregelung erfolgen. Für die Anzahl n PFAS ermittelten Konzentrationen C_n werden durch den jeweiligen Bewertungsmaßstab, in diesem Fall die humantoxikologisch abgeleiteten GFS- Werte, geteilt. Diese Quotienten werden wiederum zu einem Bewertungsindex addiert.

Formel 1 Quotientensumme

$$BI_{GFS_h} = \sum I_n = \frac{c1}{GFS_{h1}} + \frac{c2}{GFS_{h2}} + \frac{c3}{GFS_{h3}} + \dots$$

Zur Bewertung von Oberflächengewässern können PNEC- Werte (predicted no effect concentration) für den Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft zur Hilfe genommen werden. Für sechs PFAS sind PNEC_{aquatisch} – Werte verfügbar (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: PNEC_{aquatisch}-Werte für die PFC für die Beurteilung von Oberflächengewässern (LfU,2017)

| Stoff | PNEC _{aquatisch} in µg/l |
|--|-----------------------------------|
| H4PFOS H4-Polyfluoroktansulfonsäure | 870 |
| PFHxS Perfluorhexansulfonsäure | 250 |
| PFHxA Perfluorhexansäure | 1000 |
| PFPeA Perfluorpentansäure | 320 |
| PFBS Perfluorbutansulfonsäure | 3700 |
| PFBA Perfluorbutansäure | 1260 |

Für SVHC eingestufte Stoffe können keine PNEC–Werte abgeleitet werden, dazu gehören Perfluoroctansäure PFOA, Perfluornonansäure PFNA, Perfluoroctansulfonsäure PFOS und Perfluordecansäure PFDA.

Zur Bewertung von Trinkwasser hat das Umweltbundesamt (UBA) nach Anhörung der Trinkwasserkommission Leitwerte nach den Kriterien der Trinkwasserverordnung abgeleitet.

Tabelle 3: Liste mit Trinkwasser- Leitwerten und gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) (Umweltbundesamt, 2017)

| Lfd. Nr. | Name, Abkürzung (CAS Nr.) | TW _{Tr} [µg/l] | GOW [µg/l] |
|----------|---|-------------------------|------------|
| 1 | Perfluorbutansäure, PFBA (375-22-4) | 10 | – |
| 2 | Perfluorpentansäure, PFPeA (2706-90-3) | – | 3,0 |
| 3 | Perfluorhexansäure, PFHxA (307-24-4) | 6 | – |
| 4 | Perfluorheptansäure, PFHpA (375-85-9) | – | 0,3 |
| 5 | Perfluoroktansäure, PFOA (335-67-1) | 0,1 | – |
| 6 | Perfluornonansäure, PFNA (375-95-1) | 0,06 | – |
| 7 | Perfluordecansäure, PFDA (335-76-2) | – | 0,1 |
| 8 | Perfluorbutansulfonsäure, PFBS (375-73-5) | 6 | – |
| 9 | Perfluorhexansulfonsäure, PFHxS (355-46-4) | 0,1 | – |
| 10 | Perfluorheptansulfonsäure, PFHpS (375-92-8) | – | 0,3 |
| 11 | Perfluoroktansulfonat, PFOS (1763-23-1) | 0,1 | – |
| 12 | H4-Polyfluoroktansulfonsäure, H4PFOS (27619-97-2) | – | 0,1 |
| 13 | Perfluoroktansulfonamid, PFOSA (754–91-6) | – | 0,1 |

1.1.3 Regulatorische Maßnahmen

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften können PFAS nicht einheitlich geregelt werden, bislang gibt es nur Bestimmungen für Einzelsubstanzen. PFOS als eine der bekanntesten und am meisten verbreiteten Substanzen wurde 2009 als POP (Persistent Organic Pollutant) in der Stockholmer Konvention eingestuft und somit darf es weltweit bis auf einige Ausnahmen weder hergestellt noch verwendet werden. (Biegel-Engler, et al., 2017(13)). Dies wird in Europa durch die Verordnung 850/2004/EG („POP“-Verordnung) umgesetzt. Die Beschränkungen für PFOS sind zusätzlich durch die Verordnungen 756/2010/EU und 757/2010/EU detailliert geregelt.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (2017, S.5) zählt folgende Beschränkungen und Ausnahmen auf:

- Stoffe oder Gemische mit einem PFOS- Gehalt von >0,001%
- neue Erzeugnisse oder Teile davon mit einem PFOS- Gehalt von 0,1% und mehr
- Textilien oder andere neue beschichtete Werkstoffe mit einem Gehalt von 1 µg/m² oder mehr dürfen nicht hergestellt, nicht in den Verkehr gebracht und nicht verwendet werden.
- Im Anhang IV der Liste der Stoffe, die den Abfallbewirtschaftungsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen, wurden PFOS und seine Derivate mit der Konzentrationsgrenze von 50 mg/kg neu aufgenommen.

Ausnahmen gelten bzw. galten für folgende Verwendungen, solange keine Alternativen bestehen:

- Fotoresistlacke und Antireflexbeschichtungen für fotolithographische Prozesse
- fotografische Beschichtungen von Filmen, Papieren und Druckplatten
- Mittel zur Sprühnebelunterdrückung für nicht dekoratives Hartverchromen (Chrom VI) in geschlossenen Kreislaufsystemen
- PFOS-haltige Netzmittel für überwachte Galvanotechniksysteme (durften noch bis 26. August 2015 verwendet werden)
- Hydraulikflüssigkeiten für die Luftfahrt
- PFOS-haltige Feuerlöschschäume mit einem Gehalt von mehr als 0,001% (durften noch bis zum 27. Juni 2011 verwendet werden). „

PFOA ist eine weitere Leitsubstanz der PFAS, die bereits 2013 als reproduktionstoxisch und als PBT-Stoff (persistent, bioakkumulierend und toxisch) eingestuft wurde. Im selben Jahr wurde sie zusätzlich noch als SVHC- Stoffe (Substances of very high concern) gekennzeichnet und somit in die REACH Kandidatenliste aufgenommen. Nach diesem Schritt können auf diese Substanzen weitere Beschränkungen gelegt werden. Für PFOA gilt ab dem 04.07.2020 die EU-weite Beschränkung von Herstellung, Vermarktung, Import und Verwendung von PFOA, Salzen und Vorläuferverbindungen (Verordnung (EU) 2017/1000) bei einem PFOA-Gehalt über 25 ppb und einem Gehalt von mehr als 1000 ppb bei PFOA Vorläufersubstanzen. PFOA und PFHxS wurden als POP unter der Stockholme Konvention vorgeschlagen (Biegel-Engler, et al., 2017a).

Für einige Produkte wurden längere Übergangsfristen beschlossen, so gilt die Beschränkung für Latexdruckfarben und Ausrüstung für die Fertigung von Halbleitern erst ab dem 04.07.2022. Um ein weiteres Jahr (04.07.2023) wurde die Frist für Plasma-Nanobeschichtungen, Arbeitsschutztextilien, Membranen für medizinische Textilien, sowie für die Filterung bei der Wasseraufbereitung, bei Herstellungsverfahren und bei der Abwasserbehandlung verlängert. Eine Übergangsfrist von 12 Jahren (04.07.2032) gilt für medizinische Produkte, ausgenommen sind implantierbare medizinische Produkte, für die eine generelle Ausnahme besteht. Solche generellen Ausnahmen wurden ebenfalls für andere Produkte gemacht, so zum Beispiel für Feuerlöschgemische, die vor dem 07.07.2020 auf dem Markt waren (Biegel-Engler, et al., 2017a).

Weitere vier Verbindungen mit Kettenlängen von C11-14 stehen seit Dezember 2012 auf der Kandidatenliste der ECHA, da sie vPvB-Eigenschaften (very persistent, very bioaccumulative) aufweisen. Als SVHC wurden 2016 PFNA und PFDA in die Kandidatenliste aufgenommen (LfU, 2017).

In Zukunft sind langkettige PFAS EU-weit und international verboten. Die kurzkettigen PFAS sind noch nicht einheitlich geregelt, da die standardisierten Kriterien nicht darauf angewendet werden können. Zur Zeit wird über Möglichkeiten zur Regulierung noch diskutiert (Biegel-Engler, et al., 2017).

Eine Umweltqualitätsnorm (UQN) für PFOS ist in der Tochterrichtlinie „Prioritäre Stoffe“ (2013/39/EU) zur Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) von 0,65 µg/l als Jahresdurchschnittswert (JD-UQN) und 36 µg/l als zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN). Am 20. Juni 2016 wurden die Werte in deutsches Recht umgesetzt, zur Erreichung dieser Werte bis 2027 sollen bis zum 22.12.2021 vorläufige Maßnahmenprogramme erstellt werden. Da der JD-UQN bislang nicht mit den Analyseverfahren mit ausreichender Sicherheit nachweisbar ist, soll zur Überprüfung des Wertes ein Biota-Monitoring stattfinden. Die JD-UQN für Biota beträgt 9,1 µg/kg FG (Frischgewicht) (LfU, 2017).

1.1.4 Anwendungen

PFAS sind wegen ihrer Eigenschaft nicht nur interessant für einige Industriezweige, sondern auch wichtige Bestandteile für die Sicherheit. Ein Beispiel dafür ist die Galvanik.

PFAS werden in der Galvanik vor allem wegen der Prozesssicherheit eingesetzt. Dabei wird hauptsächlich Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) aufgrund der sehr hohen chemischen Stabilität verwendet. Es dient sowohl dazu die Oberflächenspannung der Behandlungsbäder herabzusetzen, wie auch die Bildung von toxischen Aerosolen zu verhindern. Da dies erheblich zu der Arbeitssicherheit beiträgt, gilt für den Gebrauch von PFOS in der Galvanik, trotz eines allgemeinen Verbots von PFOS, eine Ausnahmeregelung (Blepp, et al., 2016).

Besonders bekannt für die Anwendung von PFAS sind Feuerlöschschäume. Diese Schäume werden mit AFFF (Aqueous Film Forming Foams) bezeichnet. AFFF Schäume bilden dampfdichte, wässrige Flüssigkeitsfilme zwischen aufgespritztem Schaummittel und brennender Oberfläche, wodurch das Feuer erstickt wird. PFOS war die Substanz, die hauptsächlich in diesen Schäumen eingesetzt wurde. Inzwischen gilt für PFOS nach der EU-Richtlinie 2006/122/EG ein EU weites Verbot. Allerdings wurden durch die EU-Verordnung 757/2010 (Änderungsverordnung zur EU-Verordnung 850/2004/EG) PFOS-Konzentration für Stoffe und Gemische maximal von 10 mg/kg und für Erzeugnisse 1g/kg gültig (BAIUDBw, 2016).

Besonders geschätzt wurden der wasser- und schmutzabweisende Charakter in der Textilindustrie. 2012 führte Greenpeace eine Studie durch, bei der Outdoorbekleidung auf PFAS getestet wurde. Alle untersuchten Kleidungsstücke waren belastet. Die wasserdichten Membranen in der Kleidung bestehen aus Fluorpolymeren, wie zum Beispiel Polytetrafluorethylen (PTFE). Bei der Herstellung von PTFE wird oft Perfluorooctansäure (PFOA) als Hilfsmittel eingesetzt. Die fertigen Produkte können noch Spuren davon enthalten (Biegler- Engler, et al., 2013).

Diese oberflächenaktiven Eigenschaften werden ebenfalls in der Papierindustrie wertgeschätzt. Hier werden PFAS in Mittel eingesetzt, die zur Imprägnierung von Lebensmittelverpackungen, Backpapieren, Einweggeschirr und andere Verpackungsmaterialien dienen, wodurch die Oberflächen fett-, schmutz- oder wasserabweisend werden. Als Ausgangsstoffe werden dabei Fluortelomerthiol-basierte Phosphate eingesetzt und die Endprodukte enthalten meist Fluorcarbonharze und Perfluorpolyethen. Auch wenn Substanzen wie PFOA und PFOS nicht direkt verwendet werden können sie teilweise als Verunreinigungs- oder Umwandlungsprodukte auftreten. Im Jahr 2000 wurden in der EU ca. 160 Tonnen PFOS-verwandte Verbindungen in der Papierindustrie verwendet (Held, 2015).

Weitere Einsatzgebiete von PFAS finden oder fanden sich in der Fotoindustrie, der Halbleiterindustrie, der Lack- und Farbenherstellung, der Chemischen Industrie, in Reinigungsmitteln und Kosmetikartikeln und der Herstellung und Lagerung von luftfahrtspezifischen Hydraulikflüssigkeiten (Held, 2015).

1.1.5 Erste bekannte größere Schadensfälle in anderen Bundesländern

Ein großer Schadensfall wurde im Jahr 2006 in Nordrhein Westfalen aufgedeckt. Im Frühjahr 2006 untersuchte die Universität Bonn Oberflächengewässer und Trinkwasser auf PFT und maß dabei auffällige PFOA- Konzentrationen in der Ruhr von 0,1 bis 0,5 µg/l.

Flussaufwärts stieg die Konzentration weiter an, was ein Hinweis auf eine besondere Eintragsquelle war. Die Untersuchungen führten in ein landwirtschaftlich geprägtes Gebiet, dass in einem Teileinzugsgebiet der Möhne im Hochsauerland lag. Da aus der Ruhr durch Uferfiltration und Grundwasseranreicherung Trinkwasser gewonnen wird, gab es dringenden Anlass weitere Untersuchungen, Bewertungen und Maßnahmen zu veranlassen.

Als Haupteintragsquelle konnte eine Ackerfläche in Brilon- Scharfenberg identifiziert werden, die seit drei Jahren mit einem illegalerweise als Abfallgemisch nach der Bioabfallverordnung deklarierten Substrat namens „Terraform“ gedüngt worden war. Bei den Abfällen handelte es sich um PFT- belastete Abfälle aus Belgien und PFT- belastete Klärschlämme aus den Niederlanden, welche mit Materialien vermischt wurden und als Abfallgemisch auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht wurden. Nach weiteren Nachforschungen stellte man fest, dass das Produkt „Terraform“ nur in NRW auf mehr als 1300 landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht worden war.

Nach der Identifizierung der Flächen werden diese saniert. Die Sanierung der Ackerfläche in Brillon-Scharfenberg verfolgt das Ziel der Minimierung der Gewässerbelastung indem das Sickerwasser aufgefangen und einer Reinigungsanlage behandelt wird. Durch diesen Schadensfall wurde ebenfalls ein Messprogramm geplant, zum einen um den Erfolg der Maßnahmen zu kontrollieren und zu anderen um weitere größere Fälle zu vermeiden (LANUV, 2011).

Ein weiterer großer Schaden in NRW betrifft den Flughafen Düsseldorf. Bei Grundwasserqualitätskontrollen im Jahr 2008 wurden abströmig des Flughafens Düsseldorf erhöhte PFAS- Konzentrationen festgestellt. Woraufhin weitere Untersuchungen zur Eingrenzung des Schadens und zur Ursacherfindung erfolgten. Im Zuge dieser Untersuchungen fand man 3 Hauptschadensbereiche, welche durch den Gebrauch von Löschschäumen in den Boden eingetragen worden waren. Es wurden Sicherungsmaßnahmen konzipiert und 2015/16 mit den Grundwassersanierungsmaßnahmen begonnen. Zur Vermeidung weiterer Einträge von PFAS vom Boden in das Grundwasser, soll die ungesättigte Bodenzone saniert werden (Herz, Wieschemyer, 2017).

Ein Jahr später wurde ein Fall in Baden- Württemberg bekannt, dort waren ungefähr 400 ha Boden mit PFAS verunreinigt. In einigen Gemeinden wurden die Stoffe bereits im für das Trinkwasser verwendeten Grundwassers nachgewiesen, woraufhin einige Trinkwasserbrunnen geschlossen werden mussten. Ebenfalls wurden in den Feldfrüchten PFAS nachgewiesen. Auch in diesem Fall wurde als Ursache das Ausbringen von Kompost, der mit Abfällen aus der Papierindustrie gemischt worden war, identifiziert. Als weiteres Vorgehen wurden auch hier die PFAS dann in die regelmäßigen Kontrollen mit eingebunden (Biegel-Engler et al., 2017b).

Ein Fall aus den USA wurde im Jahr 2002 bekannt nachdem sechs Wasserversorger ein Vorkommen von PFOA im Trinkwasser im Südwesten Parkersburgs entdeckten. Das Chemieunternehmen DuPont, was unter anderem auch PFAS herstellte, hatte dort seinen Sitz und emittierte seit den 1950er PFOA in die Luft und in den Ohio River. Es wurden dort ca. 500-fach höhere Konzentrationen von PFOA im Blut der Bevölkerung gefunden, als bei der Allgemeinbevölkerung. Bei Untersuchungen von August 2005 und Juli 2006 stellten Wissenschaftler Zusammenhänge zwischen verschiedenen Krankheiten und der langen PFOA Exposition fest. Die hohen PFOA Konzentrationen im Blut fördern Schilddrüsenerkrankungen, Hoden- und Nierenkrebs, Präeklampsie und erhöhter Blutdruck während der Schwangerschaft (Biegel-Engler, et al., 2013).

Im Hinblick dieser Informationen über PFAS wird in den Bundesländern regelmäßig auf PFAS beprobt, dazu zählt auch Hamburg. Da im Laufe der Zeit, bereits eine Menge an Daten über das Vorkommen von PFAS in Hamburgs Oberflächengewässern und Grundwasser gesammelt wurden es aber bislang eine Zusammenfassung der Daten aus den verschiedenen Bereichen fehlte, wird zunächst in dem nächsten Kapitel näher auf die Untersuchungsverfahren eingegangen sowie auf den zeitliche Ablauf in den verschiedenen Bereichen. Das Kapitel Ergebnisse ist eine Zusammenfassung und Veranschaulichung der Daten aus den Bereichen des Gewässerschutzes der Stadt Hamburg. Im vierten Kapitel werden dann diese Ergebnisse im Hinblick vorhandener Grenz- oder Leitwerte analysiert. Zudem werden Vergleiche mit anderen Bundesländern sowie anderen Ländern aufgestellt. Zuletzt werden noch mögliche Verbesserungen eingebracht.

3. Material und Methoden

1.2 Turnus der Untersuchungen in Hamburg

Für den Grundwasserschutz ist ein Netz mit Grundwassermessstellen über das Hamburger Gebiet verteilt, sie dienen zur Überwachung der unterschiedlichsten Parameter. In den Jahren 2015 und 2016 wurden 108 dieser Messstellen im Frühjahr und Herbst Proben zur Analyse auf PFAS gezogen. Allerdings wurde bei der Mehrheit der Messstellen nur eine Probe im Jahr genommen, eine im Frühjahr und eine im Herbst.

Bei dem nachsorgenden Grundwasserschutz geht man in bestimmten Schritten vor, um eine eventuelle Kontamination zu finden. Es finden dabei keine routinemäßigen Wasseruntersuchungen statt, sondern erst wenn ein konkreter Verdacht der Kontamination auf einer Fläche vorliegt, werden Proben zur Untersuchung genommen. Dazu findet im Vorfeld eine historische Erkundung statt, bei der erfasst wird, auf welchen Flächen PFAS zur Anwendung kamen oder kommen. Dazu zählen Flächen, auf denen in der Vergangenheit ein erhöhter Einsatz von Löschschäumen verzeichnet wurde (Feuerlöschübungsplätze, größere Brände) oder andere Flächen, auf denen Industriebereiche mit einem erhöhten Einsatz von PFAS angesiedelt waren (siehe Kapitel 1.1.2). Nach einer genauen Bewertung der Hinweise und eines Fortbestehens des Verdachts, können erst Untersuchungen durchgeführt werden. Bei einem positiven Nachweis können detaillierte Untersuchungen zum Vorkommen durchgeführt werden. Die ersten Untersuchungen von zwei verdächtigen Flächen fanden 2013 statt.

Seit 2011 wurden an 20 Messstellen im Bereich Oberflächengewässer ungefähr jeden Monat Proben zur Analyse von PFAS genommen. Die erste beprobte Messstelle liegt an der Elbe bei Finkenwerder. An den Oberflächengewässern von Hamburg liegen mehrere Messstellen, wobei nur für zwei Messstellen an der Elbe Messdaten für mehrere Jahre vorliegen, bei diesen Messstellen handelt es sich um die bei Finkenwerder und um die am Zollenspieker Fährhaus. Für die restlichen Messstellen liegen nur Daten aus einem Jahr vor. Zusätzlich werden im Herbst Proben von Fischen auf die Konzentration von PFOS analysiert.

1.3 Untersuchungsverfahren

Um eine Vergleichbarkeit von Messergebnissen zwischen verschiedenen Laboren zu gewährleisten, wurden für die Analytik von PFAS 2011 genormt. Es wurden zwei Normen für die Bestimmung von PFAS in Klärschlamm und Boden und für die Bestimmung in Wasser erstellt. Dabei handelt es sich um die DIN 38414-14 und die DIN 39407-42. Das Verfahren der DIN 38407- 42 ist für die Anwendungsbereiche Trinkwasser, Grundwasser, Oberflächenwasser und gereinigtes Abwasser vorgesehen. Diese Norm wurde bei den vorliegenden Ergebnissen der Grundwasser- wie auch der Oberflächengewässeruntersuchungen angewendet.

Das Verfahren beinhaltet eine Fest-Phasen Extraktion (SPE, Solid Phase Extraction) zur Anreicherung, eine Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) zur Trennung mit anschließender massenspektrometrischer (MS-MS) Detektion. Die SPE hat die Funktion der Selektierung, Aufbereitung der PFAS und Entfernung von Störkomponenten. Die Trennung der einzelnen Komponenten und die quantitative Bestimmung erfolgt durch eine HPLC-MS/MS. Allerdings beinhaltet die DIN 38407- 42 bislang nur 10 Einzelstoffe der Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren (siehe Tabelle 1).

Tabelle 4: Parameterumfang in der DIN 38407-42

| Stoffname | Abkürzung |
|--------------------------|-----------|
| Perfluorbutansäure | PFBA |
| Perfluorpentansäure | PFPeA |
| Perfluorhexansäure | PFHxA |
| Perfluorheptansäure | PFHpA |
| Perfluoroctansäure | PFOA |
| Perfluornonansäure | PFNA |
| Perfluordecansäure | PFDA |
| Perfluorbutansulfonsäure | PFBS |
| Perfluorhexansulfonsäure | PFHxS |
| Perfluoroctansulfonsäure | PFOS |

Da die DIN Norm allerdings Erweiterungsmöglichkeiten zulässt, bieten einzelne kommerzielle Labore bereits die Analyse von bis zu 23 PFAS- Verbindungen an (Held, 2015).

Zur Analyse von Klärschlamm und Boden wird die Feststoffprobe im ersten Schritt getrocknet und homogenisiert und mit Methanol extrahiert. Diese nun flüssige Probe wird anschließend mittels der SPE aufgereinigt und die einzelnen Komponenten mit der HPLC-MS/MS getrennt und quantitativ bestimmt.

So wurde im Bereich des nachsorgenden Grundwasserschutzes weitere PFAS untersucht. Bei ein paar wenigen Messstellen wurde bereits ein Verfahren angewendet, das die bei der Routineanalyse nicht berücksichtigten Precursor erfassen soll. Das Verfahren wird TOP-

Assay abgekürzt, was für Total Oxidizable Precursor steht. Bei diesem Verfahren werden die Proben einmal ohne Vorbehandlung analysiert und einmal nach dem sie oxidiert wurden. Bei der Oxidation werden die Precursor zu Perfluoralkansäuren umgewandelt. Der Anstieg der Konzentration von Perfluoralkansäuren ist ein Maß für den Gehalt ans Precursor (Held, Reinhard, 2016).

1.4 Daten- und Kartenmaterial

Die Ergebnisse der Wasseruntersuchungen lagen in Form von Exceltabellen vor. Diese enthielten im Wesentlichen den Namen oder Nummer der Messstelle, das Datum der Probenahme, die Konzentrationseinheit und die Analysenwerte für die verschiedenen Parameter. Die Tabellen formatierte ich zunächst, sodass eine einfachere Weiterbearbeitung möglich war und wurden dann so bearbeitet, dass die Werte über der Nachweisgrenze oder dem jeweiligen Grenzwert unterschiedlich farbig markiert wurden. Um einen Überblick von der Anzahl dieser Überschreitungen zu bekommen, legte ich eine Tabelle an, die diese zählte. Die quantitative Darstellung der Analysenwerte veranschaulichte ich in Diagrammen.

Das Kartenmaterial für die Oberflächengewässer wurde mir vom Institut Hygiene und Umwelt zur Verfügung gestellt. Die Karten für die Messstellen des Grundwassermessnetzes stellte ich mithilfe der Datenbank für Grundwassermessstellen der BUE zusammen. Dazu wurden nur die beprobten Messstellen ausgewählt und auf der Karte dargestellt. Die Karte mit den Messstellen des nachsorgenden Grundwasserschutzes wurden mittels eines Kartier Programms, das die relevanten Daten bereits enthielt, erstellt. Die Karte mit den relevanten Flächen des nachsorgenden Grundwasserschutzes und den beprobten Messstellen des vorsorgenden Grundwasserschutzes wurden ebenfalls mithilfe dieses Kartier Programms erstellt.

4. Ergebnisse

1.5 Aktueller Stand der PFAS Erfassung und Kontamination in Hamburg

1.5.1 Im Bereich vorsorgender Grundwasserschutz

Insgesamt wurden in Hamburg 108 Messstellen im nachsorgenden Grundwasserschutz auf PFAS analysiert. Die Lage der Messstellen zeigt die Karte in Abbildung 7.

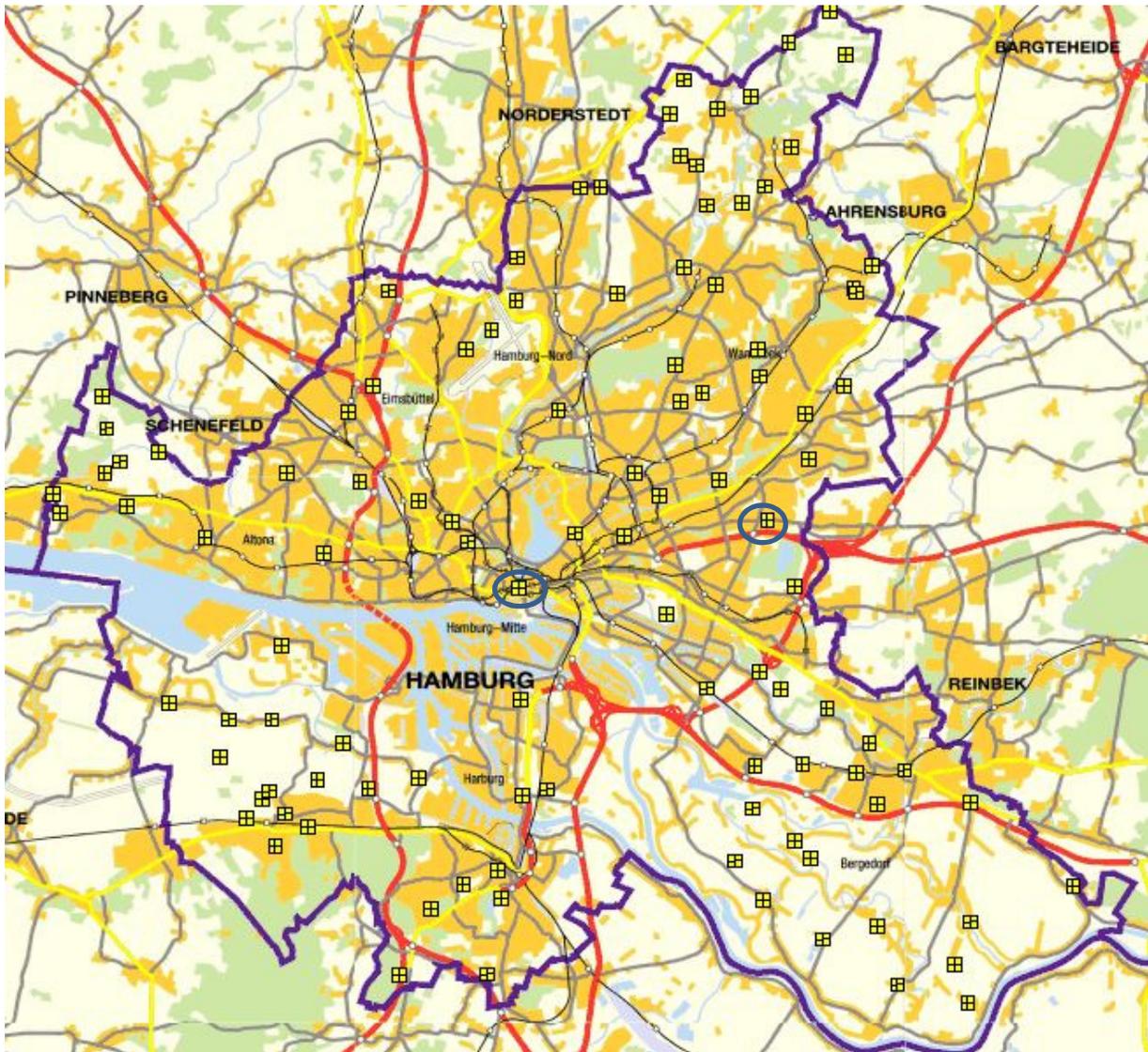


Abbildung 7: Lageplan vorsorgender Grundwasserschutz (BUE Hamburg)

Bei den 107 Messstellen wurden 234 Messungen durchgeführt, dabei wurden die Messstellen, bis auf zwei, mindestens zweimal beprobt.

Nur an wenigen Messstellen wurden Konzentrationen über der Nachweisgrenze gemessen (siehe Abbildung 8).

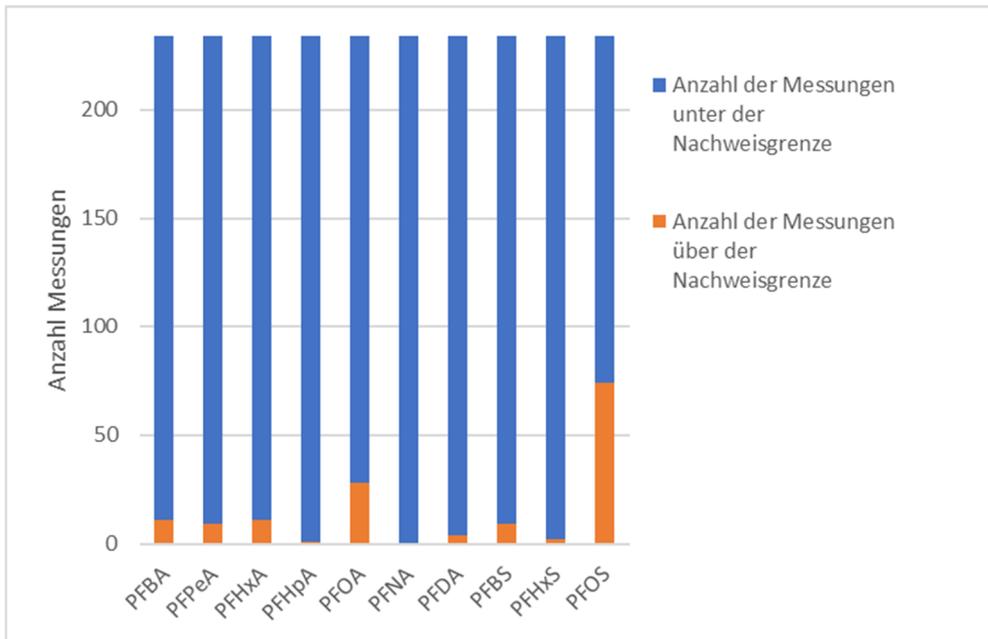


Abbildung 8: Anzahl der Messungen im vorsorgenden Grundwasserschutz, die über bzw. unter der Nachweisgrenze lagen

Anhand der Grafik erkennt man, dass am häufigsten PFOS, dann PFOA und PFBA und PFHxA nachgewiesen werden konnten. Die Abbildung 9 zeigt die Konzentrationen von PFOS an den unterschiedlichen Messstellen in den Jahren 2015 und 2016.

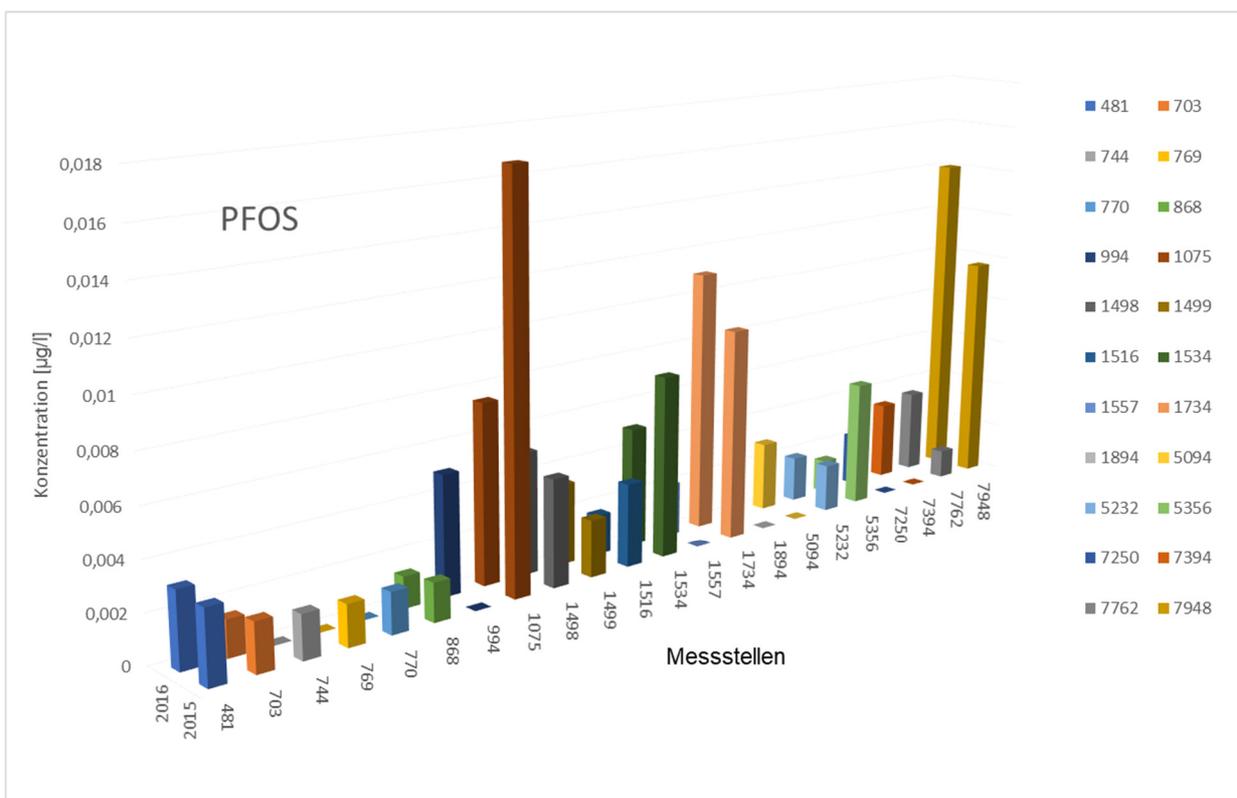


Abbildung 9: Konzentrationen von PFOS über 0,0015 µg/l an verschiedenen Messstellen in den Jahren 2015 und 2016

An der Messstelle 5225 und der Messstelle 7268 wurden für mehr als drei Parameter Konzentrationen über der Nachweisgrenze gemessen. Die an der Stelle 7268 gemessene PFOS-Konzentration mit 0,015 µg/l (siehe Abbildung 10) war die höchste gemessene Konzentration der 234 Messungen. Auch der PFOA-Gehalt ist an dieser Stelle höher als bei den anderen Messstellen.

Tabelle 5: Analysedaten an den Messstellen 5225 und 7268 (siehe Abbildung 7 )

| GWM | Datum | PFBA (µg/l) | PFPeA (µg/l) | PFHxA (µg/l) | PFHpA (µg/l) | PFOA (µg/l) | PFNA (µg/l) | PFDA (µg/l) | PFBS (µg/l) | PFHxS (µg/l) | PFOS (µg/l) |
|------|------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 5225 | 19.10.2016 | 0,0068 | 0,0087 | 0,0085 | -0,005 | 0,0089 | -0,005 | -0,005 | 0,0068 | -0,005 | 0,0065 |
| | 29.04.2015 | 0,0099 | 0,017 | 0,014 | 0,009 | 0,013 | -0,005 | -0,005 | 0,016 | -0,005 | 0,0032 |
| 7268 | 17.10.2016 | 0,0056 | 0,0081 | 0,0091 | -0,005 | 0,021 | -0,005 | -0,005 | 0,012 | -0,005 | 0,015 |
| | 19.10.2015 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0083 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0052 |
| | 20.04.2015 | -0,005 | -0,005 | 0,0059 | -0,005 | 0,015 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0056 |

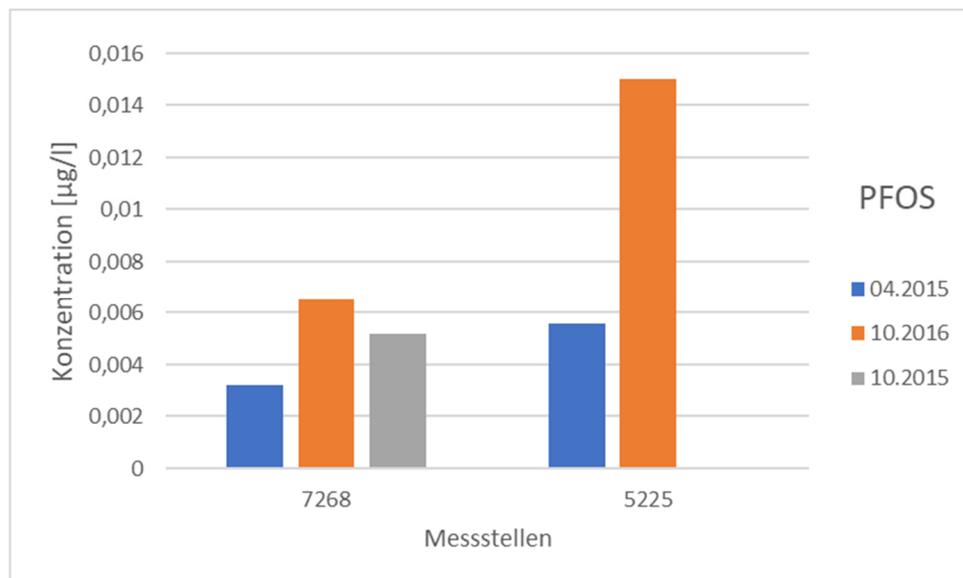


Abbildung 10: PFOS Konzentrationen an den Messstellen 7268 und 5225 in den Jahren 2015 und 2016

1.5.2 Im Bereich nachsorgender Grundwasserschutz

Wie bereits im Kapitel 2.4.1 erwähnt wurden im Bereich des nachsorgenden Grundwasserschutzes PFAS nur auf einzelnen Flächen verteilt über das Hamburger Stadtgebiet untersucht. Auf sieben Flächen mit insgesamt 67 Messungen wurde das Grundwasser auf verschiedene Einzelsubstanzen (siehe Tabelle 6) der Gruppe der PFAS analysiert. Die unterschiedliche Anzahl der Messungen bei den Einzelsubstanzen erklärt sich durch die Weiterentwicklung der Messverfahren. Zusätzlich wurden sechs Messstellen mittels des TOP Assay analysiert, dies gehörte mit zu den Untersuchungen eines Schadensfall um anhand von diesen neuen Erkenntnissen zu sehen wie gut dieses Verfahren anwendbar ist und wie sich dadurch die Ergebnisse verändern.

Tabelle 6: Untersuchte Einzelsubstanzen im nachsorgenden Grundwasserschutz

| Parameter | Parameter | Anzahl Messungen nach der DIN 38407-42 |
|---------------------------------------|-----------|--|
| Perfluorbutansäure | PFBA | 67 |
| Perfluorpentansäure | PFPeA | 67 |
| Perfluorhexansäure | PFHxA | 67 |
| Perfluorheptansäure | PFHpA | 67 |
| Perfluoroctansäure | PFOA | 67 |
| Perfluornonansäure | PFNA | 67 |
| Perfluordecansäure | PFDA | 67 |
| Perfluorbutansulfonsäure | PFBS | 67 |
| Perfluorhexansulfonsäure | PFHxS | 67 |
| Perfluoroctansulfonsäure | PFOS | 67 |
| Perfluoroctansulfonamid | PFOSA | 44 |
| 1H,1H,2H,2H-Polyfluoroctansulfonsäure | H4PFOS | 44 |

Die Abbildung 11 zeigt eine Karte von der Lage, der Messtellen. Die blauen Punkte zeigen dabei die genaue Lage jeder Messstelle an. Einige Messstellen liegen ganz im Norden von Hamburg, weiter auf dem Flughafen und weitere im Industriegebiet an der Elbe.

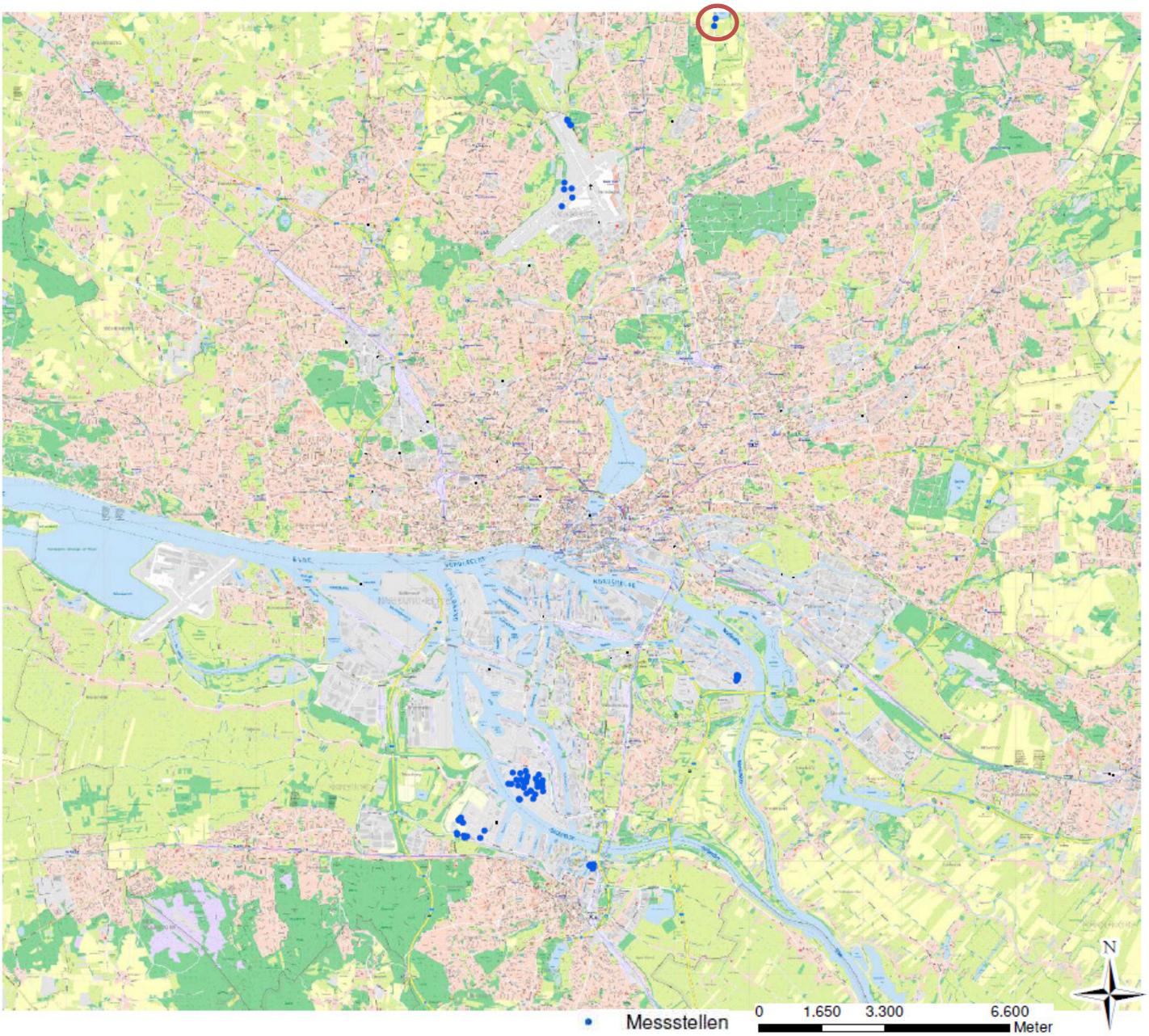


Abbildung 11: Lageplan PFAS Messstellen (selbst erstellt mit Daten der BUE Hamburg)

Vier dieser Flächen wurden untersucht, da dort ein Gebrauch von Löschschäumen mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte. Zum Teil handelte es sich dabei um Übungsplätze von Berufsfeuerwehren oder auch um eine ehemalige Brandfläche. Bei einer Fläche handelte es sich um eine Deponie im Norden von Hamburg (siehe ). Dort wurde an vier Stellen Proben entnommen, doch es konnten geringe Verunreinigungen mit PFOS (16ng/l) nachgewiesen werden.

Auf dem Flughafen Fuhlsbüttel wurden verschiedene Grundwassermessstellen, Brunnen und das Regenwasserauffangbecken beprobt. Dabei wurden in dem Becken PFAS gefunden. Die Konzentration von PFOS lag bei 560000 ng/l (siehe Abbildung 12). Dies war im Vergleich zu den anderen Messstellen die bislang höchste gemessene PFOS-Konzentration.

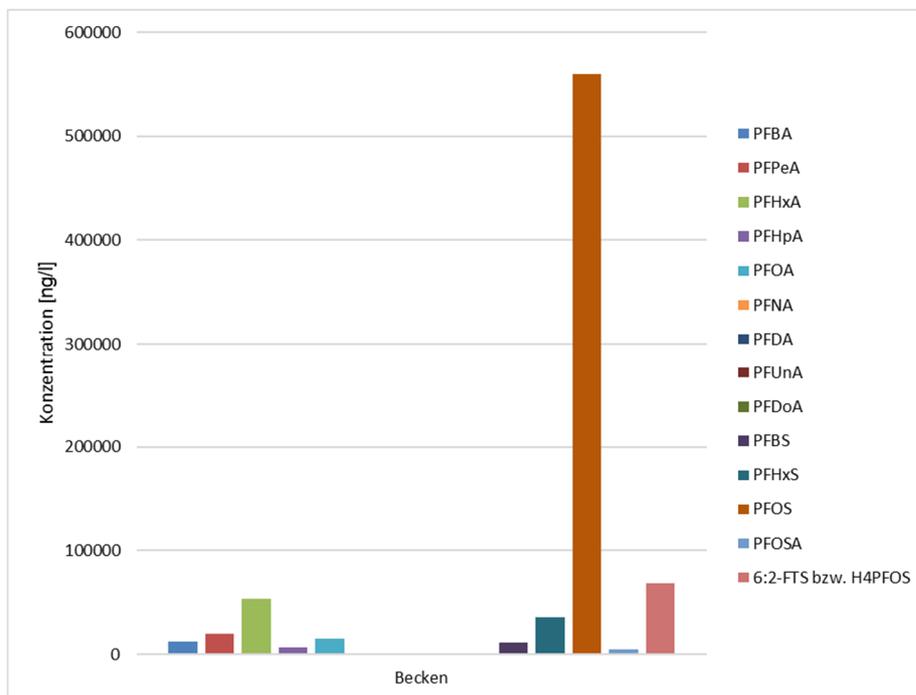


Abbildung 12: PFAS Konzentrationen im Becken auf dem Flughafen Fuhlsbüttel

Ein großes Untersuchungsprogramm wurde auf der Raffinerie Fläche im Hafen durchgeführt. Dabei wurden besonders im Sickerwasser hohe Konzentrationen von PFAS gemessen. Die ersten Messungen fanden bereits im Jahr 2014 statt und weitere dann im Jahr 2016 und im Jahr 2017. Es konnte bei der Summe aller PFT eine Verringerung der Konzentration festgestellt werden, allerdings wurde dagegen bei PFOS eine Erhöhung der Konzentration von dem Jahr 2016 auf das Jahr 2017 gemessen (siehe Abbildung 13).

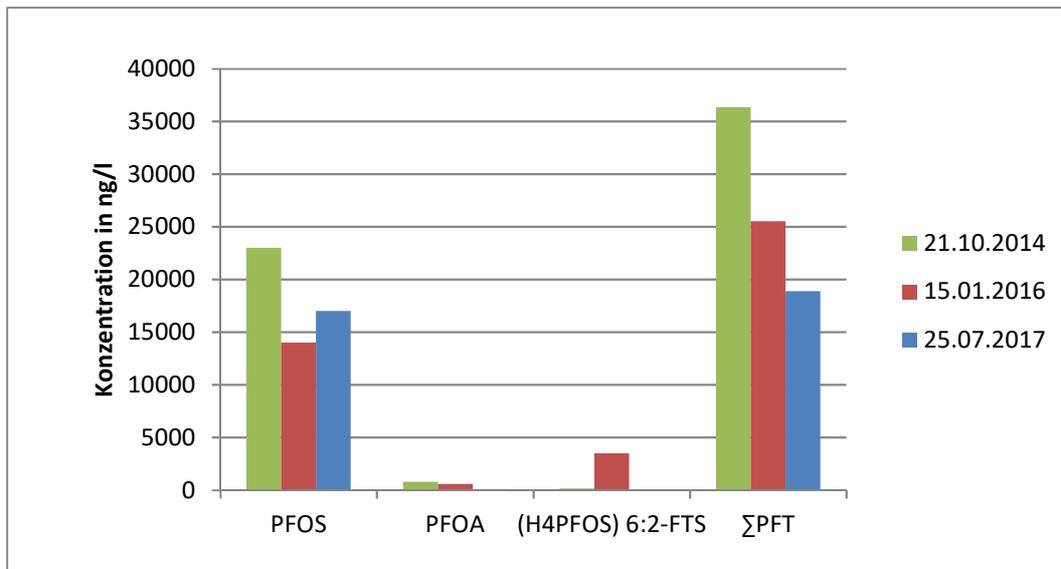


Abbildung 13: Auswertung Messstelle M11

Bei einigen der untersuchten Messstellen konnten keine Konzentrationen über der Nachweisgrenze ermittelt werden, die Tabelle 7 zeigt die Anzahl an Messungen für die einzelnen Parameter unterhalb der Nachweisgrenze lagen.

Tabelle 7: Untersuchte Messungen unterhalb der Nachweisgrenze im nachsorgenden Grundwasserschutz

| Parameter | Anzahl Messungen nach der DIN 38407-42 | Anzahl der Messungen unter der Nachweisgrenze | Anzahl der Messungen über Nachweisgrenze |
|-----------|--|---|--|
| PFBA | 67 | 33 | 34 |
| PFPeA | 67 | 27 | 40 |
| PFHxA | 67 | 26 | 41 |
| PFHpA | 67 | 35 | 32 |
| PFOA | 67 | 28 | 39 |
| PFNA | 67 | 63 | 4 |
| PFDA | 67 | 64 | 3 |
| PFBS | 67 | 46 | 21 |
| PFHxS | 67 | 33 | 34 |
| PFOS | 67 | 23 | 44 |
| PFOSA | 44 | 39 | 5 |
| H4PFOS | 44 | 27 | 17 |

Bislang wurden bis auf die Deponie nur Flächen untersucht, bei denen Löschschäume zum Einsatz kamen. Zur Zeit läuft eine Erkundung weiterer möglicher Standorte von Branchen in denen PFAS zum Einsatz kommen. Eine Liste mit Großbränden in Hamburg existiert bereits und eine Liste mit Galvanikbetrieben wird zur Zeit zusammengestellt.

1.5.3 Im Bereich Oberflächengewässer

Für die Kontrolle der Wasserqualität von Oberflächengewässern gibt es in Hamburg mehrere Messstellen, bei denen auch regelmäßig die Konzentration von PFAS im Wasser geprüft wird. Dabei werden die 10 in der DIN 38407-42 aufgelisteten Substanzen analysiert.

Die Abbildung 14 zeigt einen Lageplan der Messstellen für die Oberflächengewässer in Hamburg.

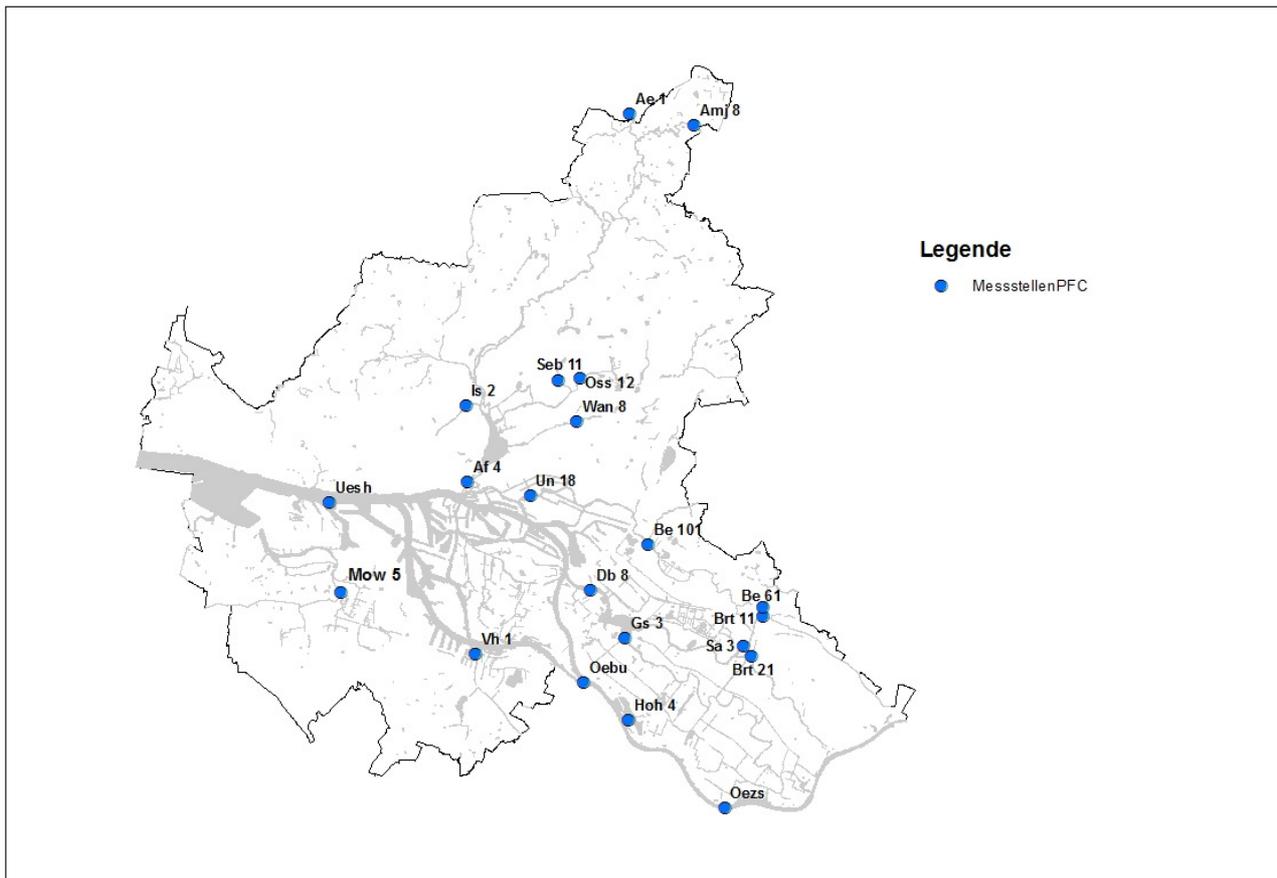


Abbildung 14: Lageplan der Messstellen an Oberflächengewässern

Die beiden Hauptmessstellen sind mit „Uesh“ und „Oezs“ gekennzeichnet. Bei Uesh handelt es sich um die Messstelle bei Finkenwerder und bei Oezs um die bei dem Zollenspieker Fährhaus.

Die Abbildung 15 zeigt die Messwerte der verschiedenen Parameter im Verlauf der Jahre an der Messstelle Uesh und Abbildung 16 zeigt die Messwerte an der Stelle Oesz.

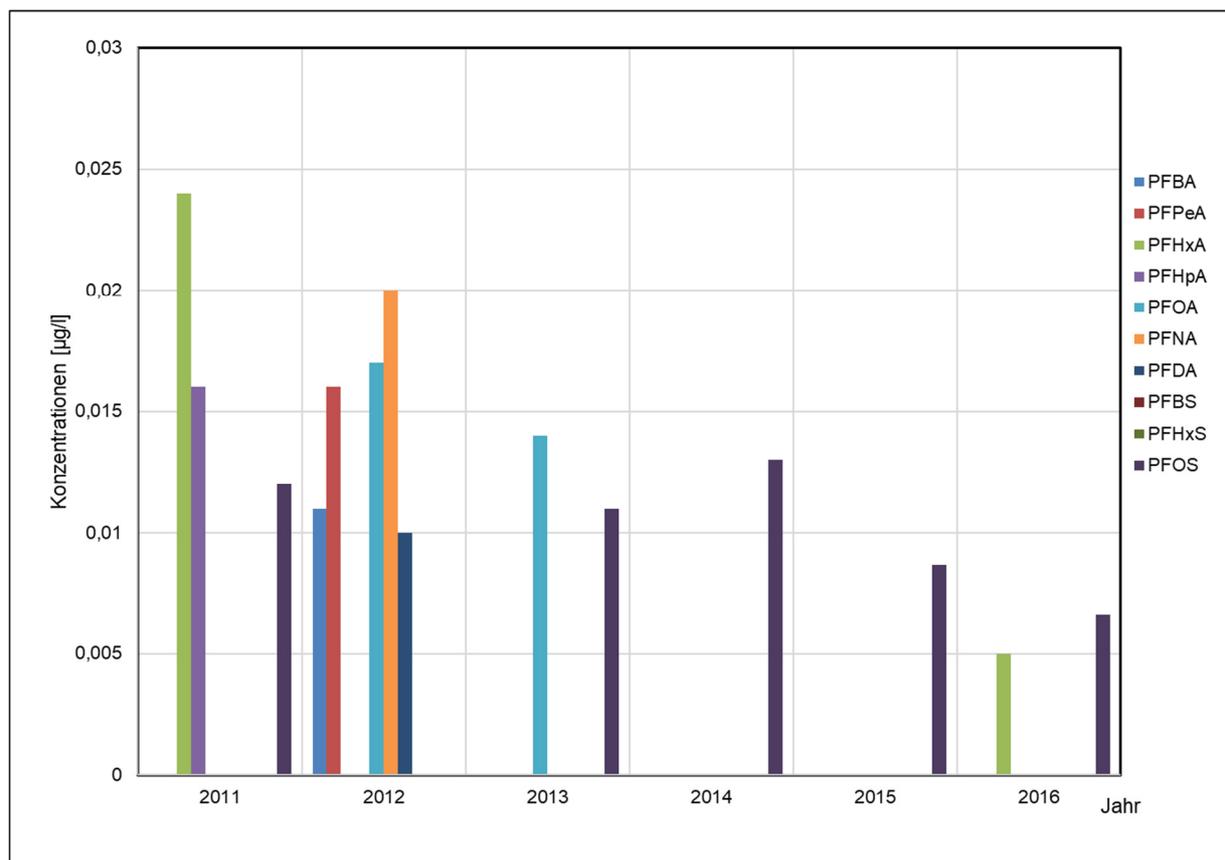


Abbildung 15: Maximale Messwerte an der Messstelle Finkenwerder (Uesh) im Laufe der Jahre von 2011-2016

Man erkennt, dass bei den meisten Messungen die Konzentration der Stoffe unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Vereinzelt treten höhere Konzentrationen auf besonders in den ersten Jahren der Messungen. Besonders auffällig ist dabei, dass die Konzentrationen von PFOS in allen Jahren außer 2012 über der Nachweisgrenze liegen aber seit 2014 stetig abnehmen.

Zusätzlich erkennt man in den Daten (siehe Tabelle 8), dass diese stärker erhöhten Werte im Jahr 2012 nur im Mai aufgetreten sind.

Tabelle 8: Messwerte in Oberflächengewässer der Messstelle Uesh im Jahr 2012

| | | | 11.01.2012 | 08.02.2012 | 07.03.2012 | 04.04.2012 | 09.05.2012 | 06.06.2012 |
|-------|--------------------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| PFBA | Perfluorbutansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,011 | <0,01 |
| PFPeA | Perfluorpentansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,016 | <0,01 |
| PFHxA | Perfluorhexansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFHpA | Perfluorheptansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFOA | Perfluoroctansäure | µg/l | <0,01 | 0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,014 | <0,01 |
| PFNA | Perfluorononansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFDA | Perfluordecansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | 0,01 | 0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFBS | Perfluorbutansulfonsäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFHxS | Perfluorhexasulfonsäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFOS | Perfluoroctansulfonsäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |

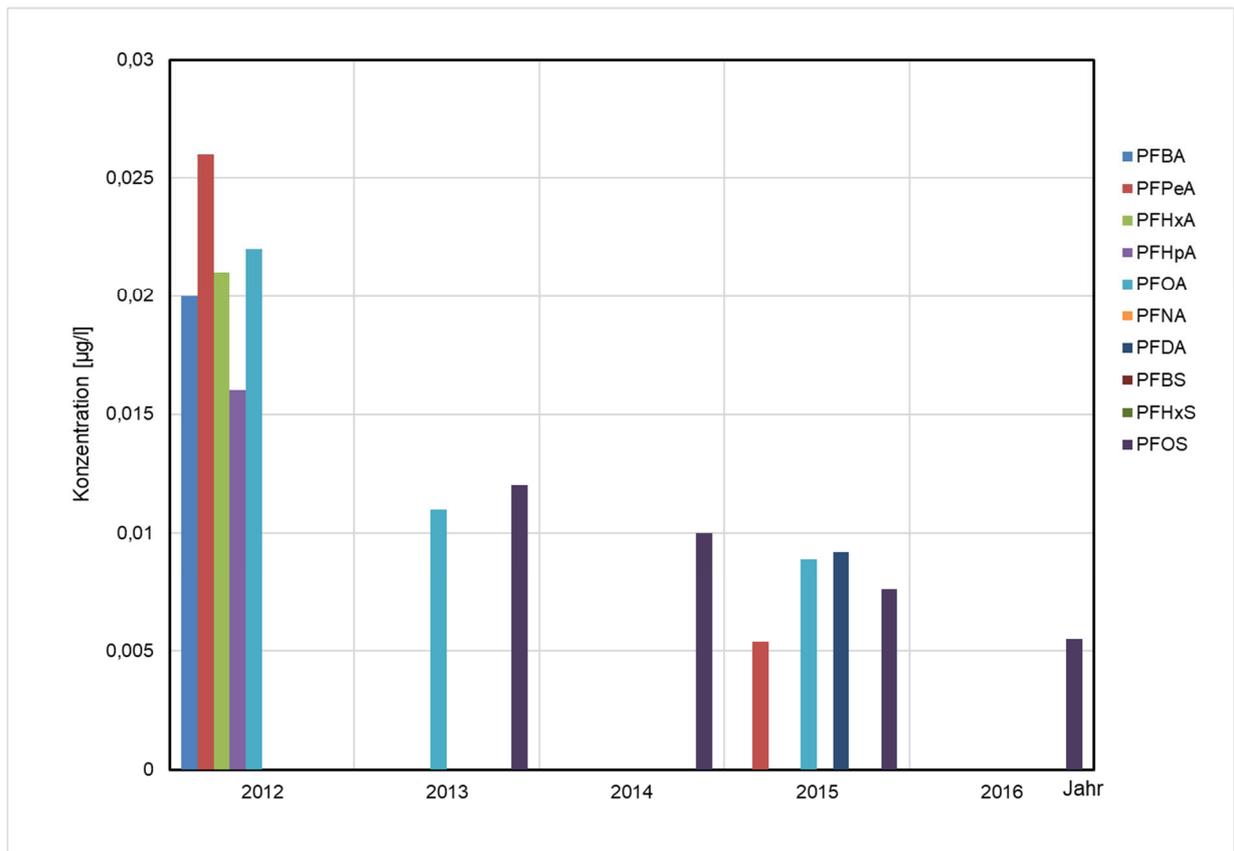


Abbildung 16: Maximale Messwerte an der Messstelle Zollenspieker (Oezs) im Laufe der Jahre von 2012 - 2016

Die gleiche abnehmende Tendenz von PFOS Konzentrationen wie an der Stelle Uesh erkennt man auch an der Messstelle Oezs. Zudem erkennt man hier auch erhöhte Werte im Jahr 2012, dabei sticht besonders die Konzentration von PFPeA hervor. Diese hohen Konzentrationen an PFAS sind an dieser Messstelle, wie schon bei der Messstelle Uesh, im Mai gemessen worden. (siehe Tabelle 9)

Tabelle 9: Messwerte in Oberflächengewässer der Messstelle Oezs im Jahr 2012

| | | | 11.01.2012 | 07.03.2012 | 04.04.2012 | 09.05.2012 |
|-------|--------------------------|------|------------|------------|------------|------------|
| PFBA | Perfluorbutansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 |
| PFPeA | Perfluorpentansäure | µg/l | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,026 |
| PFHxA | Perfluorhexansäure | µg/l | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,021 |
| PFHpA | Perfluorheptansäure | µg/l | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,016 |
| PFOA | Perfluoroctansäure | µg/l | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,022 |
| PFNA | Perfluornonansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFDA | Perfluordecansäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFBS | Perfluorbutansulfonsäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFHxS | Perfluorhexasulfonsäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| PFOS | Perfluoroctansulfonsäure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |

Die anderen Messstellen wurden bislang nur jeweils einmal beprobt, über die Jahre seit 2013 verteilt.

Im Jahr 2013 wurden die drei Messstellen an dem Isebekkanal (Is 2), an der Osterbek (Oss 12) und an der Seebek (Seb 11) beprobt. An der Stelle Is 2 wurde fast im ganzen Jahr Vorkommen von PFOA und PFOS festgestellt, die höchsten gemessenen Konzentrationen waren dabei PFOA= 0,026 µg/l und PFOS= 0,068µg/l. Bis auf diesen PFOS Ausreißer liegen die Konzentrationen unter 0,04 µg/l.

Im Jahr 2014 wurden nur zwei weitere Messstellen an der Ammersbek, nahe der Grenze zu Schleswig- Holstein (Amj 8) und am Verkehrshafen (Vh 1) untersucht, dabei fällt besonders die maximale Konzentration von PFBS an der Stelle Amj 8 (PFBS= 0,61 µg/l) auf.

Im Jahr 2015 wurden die Messstellen an der Alster nördlich von Duvenstedt (Ae 1), am Fleet südlich der Alster (Af 4), an der Moorwettern in Brakenburg (Mow 5), amSchleusengraben nah der Dove- Elbe (Sa 3) und an der Wandse (Wan 8) untersucht. Auch hier konnten Konzentrationen von PFBS nachgewiesen werden, sowie von PFOA und PFOS.

Im Jahr 2016 wurden mehr Messstellen untersucht, dazu gehören die Messstellen an der Bille, Höhe Rothenburgsort (Un 18), am Hohendeicher See (Hoh 4), an der Bille, nah an der A1 (Be 101), an der Bille in Bergedorf (Be 61), an der Alte Brookwetterung (Brt 11), an der Brookwetterung, nah der Dove- Elbe (Brt 21), an der Dove- Elbe, Höhe Moorfleet (Db 8) und an der Gose- Elbe (Gs 3). In diesem Jahr wurde an fünf der acht Messstellen PFOA in etwas höheren Konzentrationen nachgewiesen (siehe Abbildung 17)

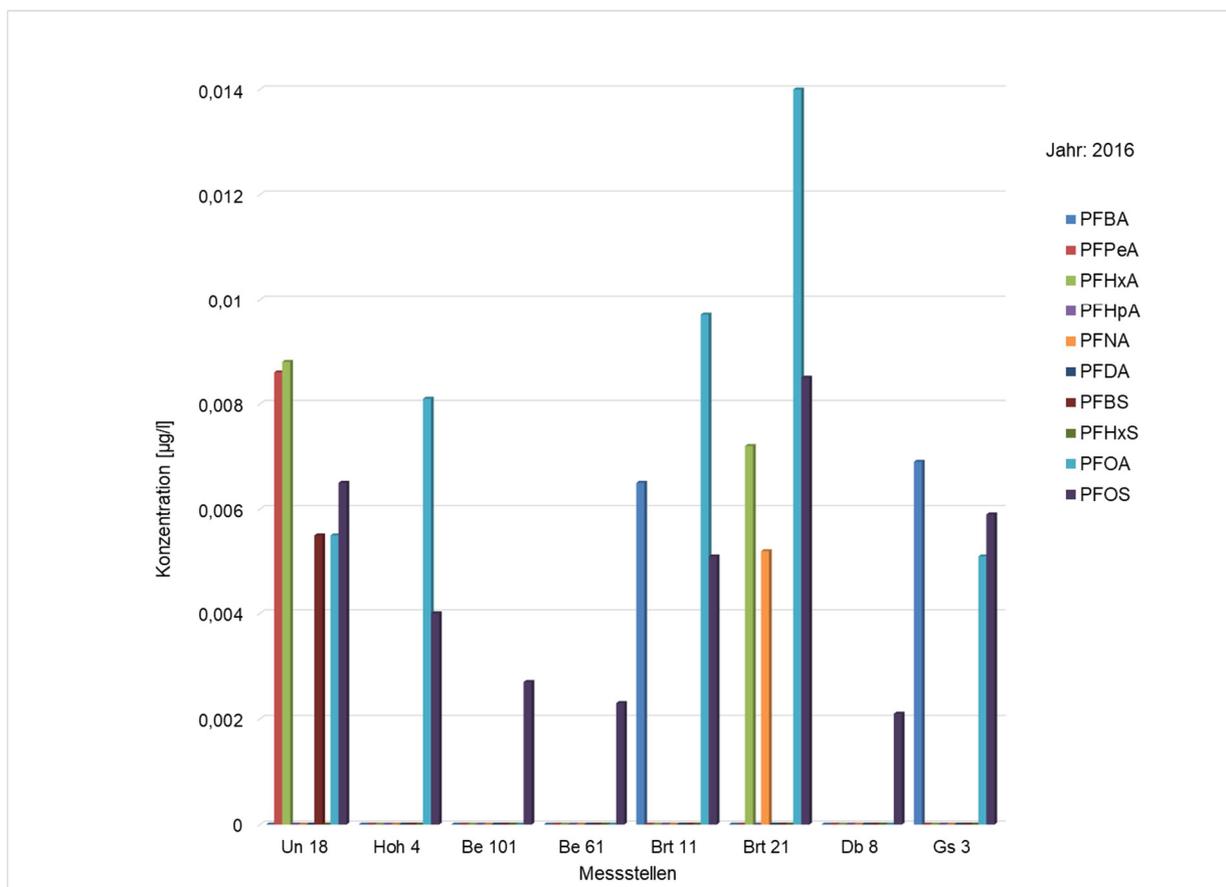


Abbildung 17: Maximale Messwerte im Jahr 2016 n verschiedenen Stellen

Die Untersuchungen von PFOS in Biota (Fisch) im Muskelgewebe zeigen unterschiedliche Gehalte von PFOS in Fischen im Laufe der Jahre (siehe Abbildung 18). Die hohe Konzentration im Jahr 2016 fällt dabei besonders auf. Die Proben wurden an der Messstelle Uesh genommen.

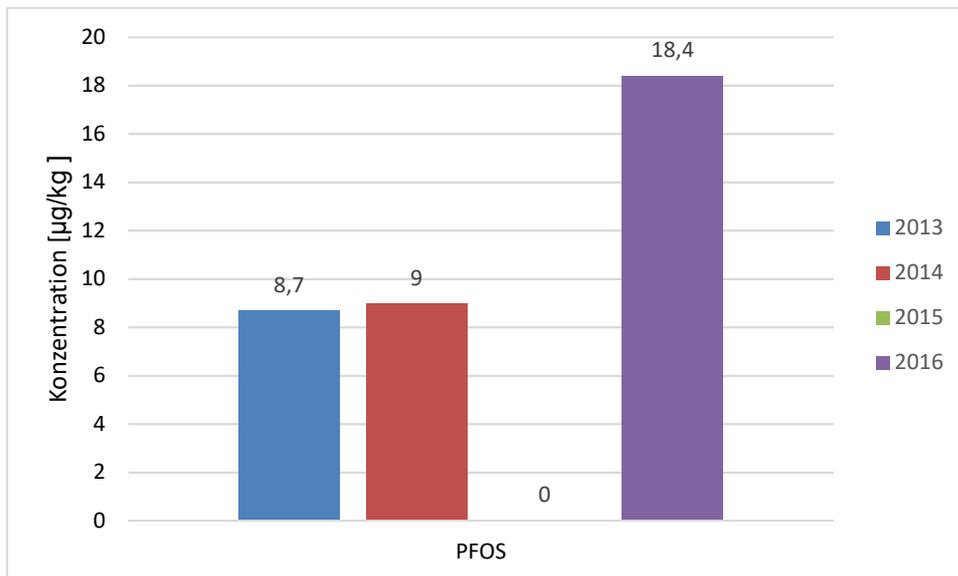


Abbildung 18: Messwerte Untersuchungen Biota (Fisch)

Am zwei Messtellen in Hamburg wurde das Sediment auf PFAS untersucht, einmal am Bunthaus (Oebu), das liegt an der Spitze der Elbinsel, wo sich die Elbe trennt und die andere ist wieder bei Finkenwerder Uesh. Die Abbildung 19 zeigt die maximal gemessenen Gehalte von PFOS im Sediment an der Stelle Oebu in den Jahren 2015 und 2016 und die Abbildung 20 zeigt die gemessenen Gehalte von PFOS in den Jahren 2013- 2016. In den Jahren 2015 und 2016 wurden zwar auch andere Parameter analysiert, allerdings waren bis auf zwei Messungen alle Werte unter der Nachweisgrenze. Diese beiden Werten lagen mit aber sehr nah an der Nachweisgrenze.

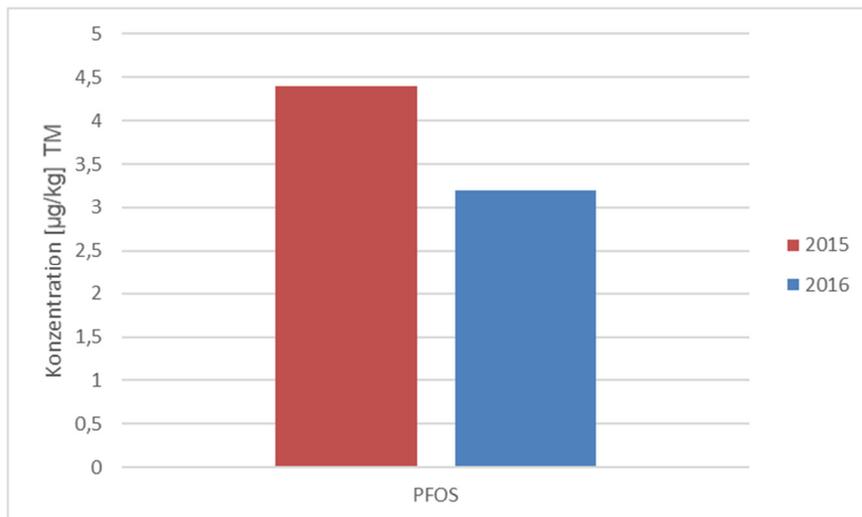


Abbildung 19: Maximaler Gehalt von PFOS im Sediment an der Messstelle Oebu in den Jahren 2015 und 2016

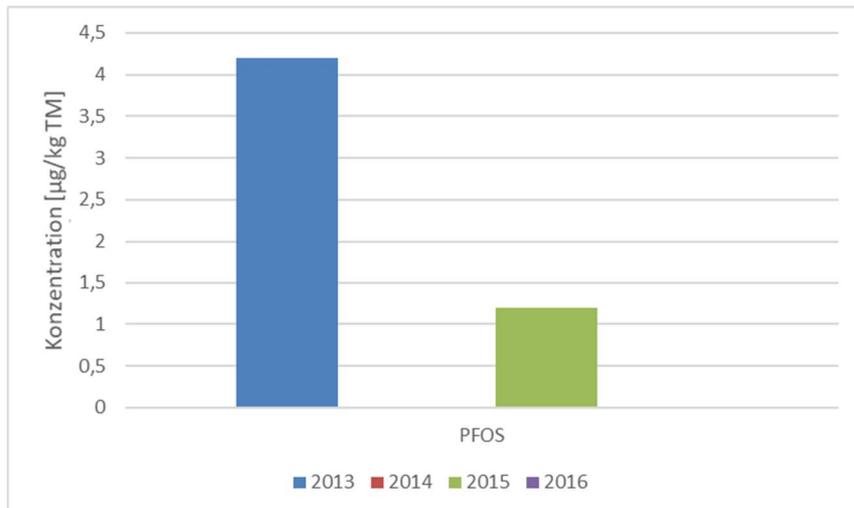


Abbildung 20: : Maximaler Gehalt von PFOS im Sediment an der Messstelle Uesh in den Jahren 2013- 2016

5. Diskussion

1.6 Auswertung der Ergebnisse

Bei der Auswertung der Daten im vorsorgenden Grundwasserschutz mit dem Bewertungsmaßstab der LAWA den Geringfügigkeitsschwellenwerten zeigt sich, dass keine der gemessenen Konzentrationen oberhalb der GFS-Werte lag (siehe Tabelle 10). Dabei wurden für die Parameter, für die kein GFS- Wert vorliegt der GOW als Maßstab genommen.

Tabelle 10: Auswertung der Grundwassermessungen vorsorgender Grundwasserschutz

| Parameter | Anzahl Messungen nach der DIN 38407-42 | Anzahl der Messungen unter der Nachweisgrenze | Anzahl der Messungen über der Nachweisgrenze | Anzahl Messungen über GFS |
|-----------|--|---|--|---------------------------|
| PFBA | 234 | 223 | 11 | 0 |
| PFPeA | 234 | 225 | 9 | 0 |
| PFHxA | 234 | 223 | 11 | 0 |
| PFHpA | 234 | 233 | 1 | 0 |
| PFOA | 234 | 206 | 28 | 0 |
| PFNA | 234 | 234 | 0 | 0 |
| PFDA | 234 | 230 | 4 | 0 |
| PFBS | 234 | 225 | 9 | 0 |
| PFHxS | 234 | 232 | 2 | 0 |
| PFOS | 234 | 160 | 74 | 0 |

Wie bereits in dem Kapitel 3.1.1 weist die Messstelle 7268 einen erhöhten Gehalt als PFOS & PFOA auf. Auch wenn der Wert noch nicht über den Schwellenwerte liegt könnte er doch ein Hinweis auf eine mögliche Kontamination in dem Bereich um diese Messstelle sein.

Insgesamt sind die Werte aber nicht besonders auffällig.

Im nachsorgenden Grundwasserschutz ist das Auffinden von Flächen mit erhöhten PFAS Konzentrationen nicht sonderbar, da hier genau nach diesen Flächen gesucht wird. Die in Kapitel 3.1.2 vermehrten erhöhten Werte von PFOA und PFOS auf der Fläche der Raffinerie ist nicht verwunderlich, da dort zwei große Fälle mit Einsatz von Löschschäumen vorkamen. Zum einen befindet sich auf der Fläche ein Feuerwehrrübungsplatz und zum anderen brannte es nicht weit davon einmal sehr stark. In beiden Fällen kam eine große Menge an PFOS-haltigen Löschschäumen zum Einsatz. Die Abbildung 21 zeigt die Messwerte in Relation zu dem GFS bzw. GOW.

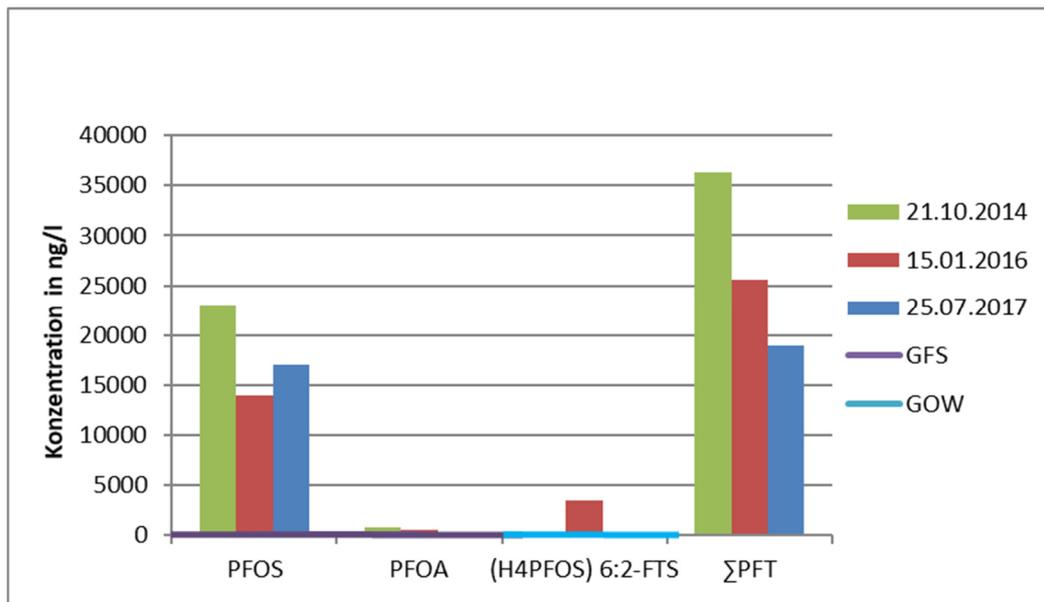


Abbildung 21: Auswertung Messstelle M11 mit Grenzwerten

Anhand von Abbildung 22 kann man erkennen, dass viele Messungen im nachsorgenden Grundwasserschutz für PFOS über der Geringfügigkeitsschwelle von 100 ng/l liegen.

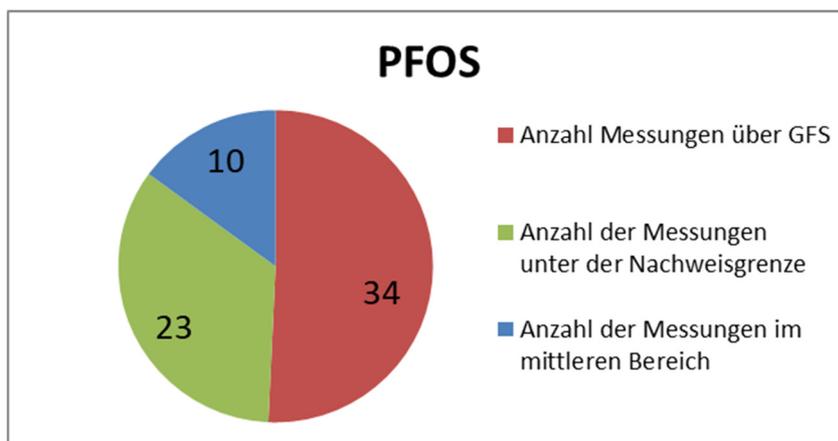


Abbildung 22: Übersicht Messungen von PFOS im nachsorgenden Grundwasserschutz

Dagegen ist die Anzahl der Messungen, bei denen die PFOA-Konzentration über dem GFS-Wert von 100 ng/l liegt schon geringer (siehe Abbildung 23).

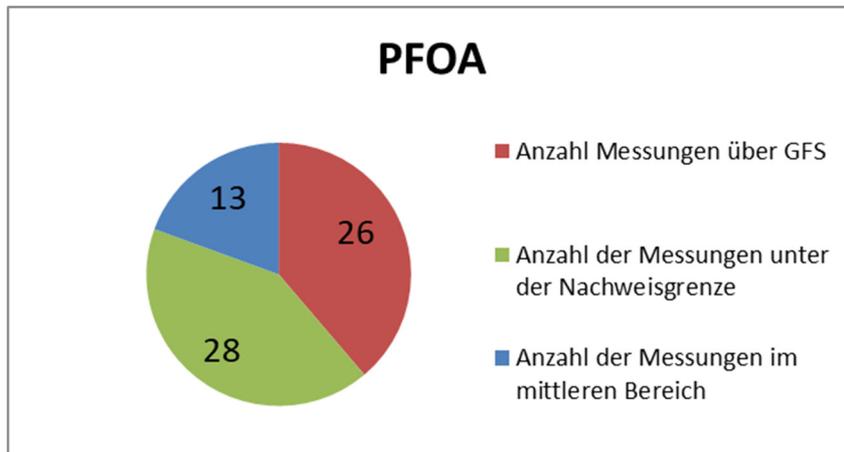


Abbildung 23: Übersicht Messungen von PFOA im nachsorgenden Grundwasserschutz

Die Tabelle 11 zeigt allerdings, dass nicht nur die beiden Hauptvertreter oft in erhöhten Konzentrationen vorkommen, sondern, dass auch PFHxS bei mehreren Messungen über den GFS-Wert von 100 ng/l liegt. Das PFHxS ein relevanter Stoff für die PFAS Untersuchungen ist, wurde bereits festgestellt, daher wurde der Stoff bereits als POP unter der Stockholm Konvention vorgeschlagen (siehe Kapitel 2.3)..

Tabelle 11: Auswertung Messungen nachsorgender Grundwasserschutz

| Parameter | Anzahl Messungen nach der DIN 38407-42 | Anzahl der Messungen unter der Nachweisgrenze | Anzahl der Messungen über Nachweisgrenze | Anzahl Messungen über GFS/GOW | Prozentualer Anteil von Messungen über dem GFS/GOW |
|-----------|--|---|--|-------------------------------|--|
| PFBA | 67 | 33 | 34 | 1 | 1,5% |
| PFPeA | 67 | 27 | 40 | 8 | 11,9% |
| PFHxA | 67 | 26 | 41 | 5 | 7,5% |
| PFHpA | 67 | 35 | 32 | 11 | 16,4% |
| PFOA | 67 | 28 | 39 | 26 | 38,8% |
| PFNA | 67 | 63 | 4 | 4 | 6,0% |
| PFDA | 67 | 64 | 3 | 1 | 1,5% |
| PFBS | 67 | 46 | 21 | 1 | 1,5% |
| PFHxS | 67 | 33 | 34 | 27 | 40,3% |
| PFOS | 67 | 23 | 44 | 34 | 50,7% |
| PFOSA | 44 | 39 | 5 | 3 | 6,8% |
| H4PFOS | 44 | 27 | 17 | 16 | 36,4% |

Die Karte in Abbildung 24 zeigt die Messtellen des Grundwassermessnetzes, bei denen PFAS analysiert wurden und die Flächen, welche als relevant für die PFAS Erkundung sind.

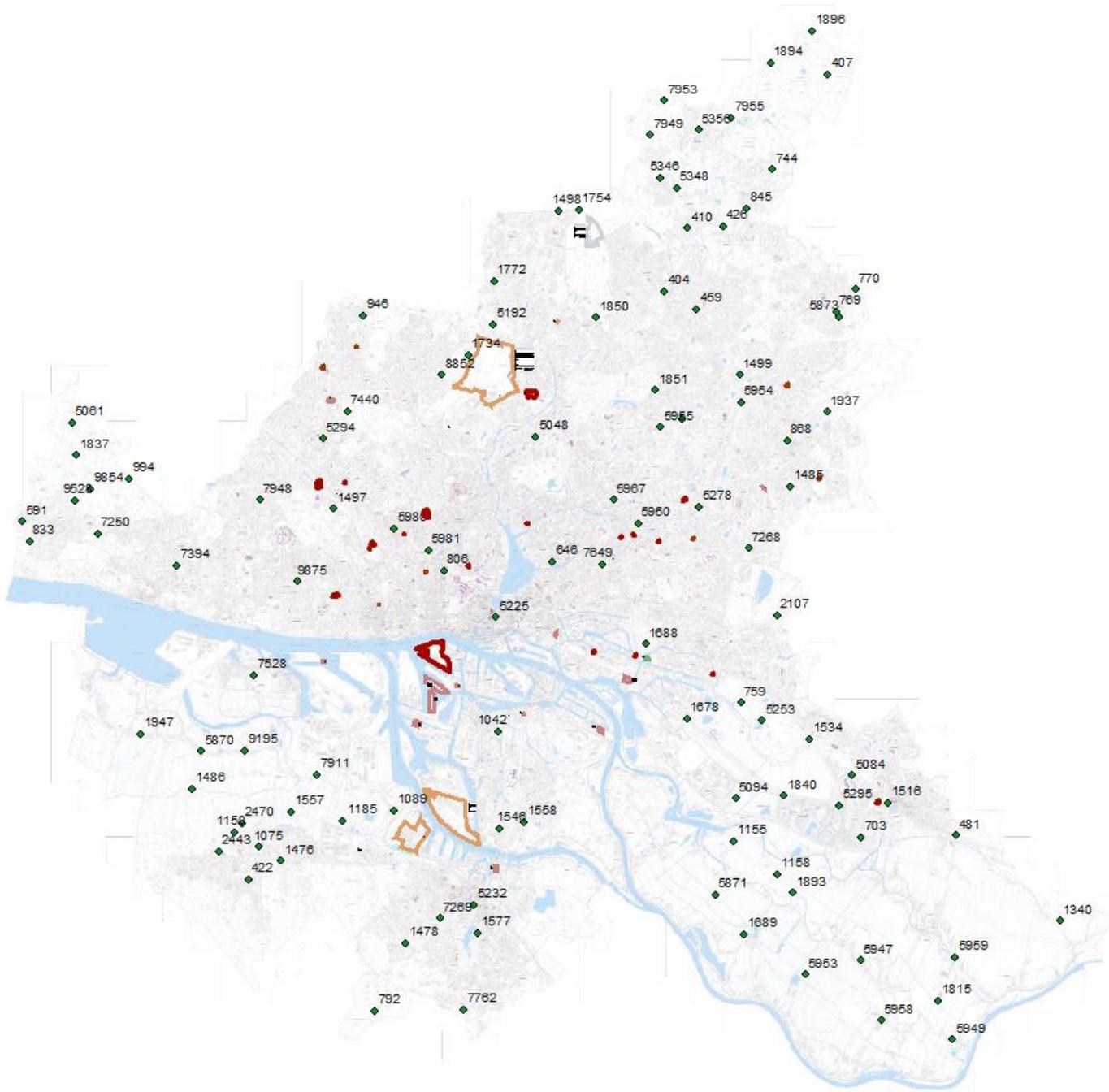


Abbildung 24: Lage der Grundwassermessstellen und relevante Flächen (BUE Hamburg)

Bei den roten Punkten auf der Karte handelt es sich um Flächen, auf denen ein größerer Brand stattgefunden hat wobei Löschschäume zum Einsatz gekommen sein konnten. Die orange eingerahmten Flächen sind Betriebe mit Werksfeuerwehren.

Die Messstelle 5225 liegt am Jungfernstieg, dort liegt ebenfalls eine relevante Fläche die als Einsatz Großbrand deklariert ist. Da diese Vermutung nicht gesichert ist, könnten die Werte an der Messstelle auf eine Kontamination hinweisen.

Zusätzlich sollten weitere Messungen an Stelle 7268 vorgenommen werden, falls die Konzentrationen dort durch eine bestimmte Quelle entstanden sind.

Auffällig ist bei den Messwerten im Bereich der Oberflächengewässer, dass bei der Betrachtung der beiden Hauptmessstellen Uesh und Oezs die Konzentrationen im Jahr 2012 im Verlauf der Elbe durch Hamburg abgenommen haben. Dies kann damit erklärt werden, dass zum einen andere Flüsse in der Elbe münden und somit die Wassermenge erhöht wird und zum anderen das Teile an das Sediment adsorbieren und sich damit im Hafen ablagern. Die Analysedaten des Sedimentes zeigen, dass sich PFOS daran adsorbiert. In Deutschland gibt es bislang noch keine Leit- oder Orientierungswerte für PFAS im Sediment.

Bewertet man die Konzentrationen von PFHxA, PFHxS, PFPeA, PFBS und PFBA im Hinblick auf die $PNEC_{aquatisch}$ – Werte, wird schnell deutlich, dass alle gemessenen Konzentrationen weit unterhalb der Werte liegen. Vergleicht man die gemessenen PFOS-Konzentrationen mit den, seit 2016 in der Oberflächengewässerverordnung festgelegten (siehe Kapitel 2.3), erlaubten Konzentrationen, liegen die Werte alle im erlaubten Bereich. Somit müssen hier keine Maßnahmen zur Verringerung getroffen werden.

Auffällig sind dagegen die PFOS Werte in Fischen. Es wurde eine JD-UQN von 9,1 µg/kg (Frischgewicht) festgehalten, dieser Wert wurde im Jahr 2016 überschritten. Da nur eine Messung durchgeführt wurde, könnte es sich zwar auch um einen Ausreißer handeln, aber sonst ist dieser Wert eher besorgniserregend. Mehrere Proben für eine bessere Aussage wären sinnvoll.

Da die Konzentration im Gewässer selbst eher gering war, könnten die Werte auch durch eine Anreicherung von PFOS im Organismus begründet sein.

1.7 Vergleich Hamburg mit anderen Bundesländern

In Deutschland wie auch international besteht für die Erforschung von PFAS mit den Risiken, Untersuchungsverfahren, Regelungen, Ersatzprodukten und auch die Sanierung bereits bestehender Schäden ein großer Bedarf. In den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Baden- Württemberg oder auch Bayern sind bereits mehr Erfahrungen mit dem Thema gemacht worden, was auch durch die dortigen Schadensfälle begünstigt wurde.

Die Abbildung 25 ist eine Übersicht von der Summe PFOA und PFOS in Wasser in verschiedenen Ländern. Bei einem Vergleich der Analysedaten der Oberflächengewässer in Hamburg mit den von anderen Oberflächengewässern zeigt sich, dass die Messwerte im gleichen Bereich (< 1 - 57 ng/l) liegen. An zwei Messstellen wurden Werte über dem diesem Bereich gemessen, allerdings in unterschiedlichen Jahren und in beiden Fällen nahmen die Konzentrationen in den folgenden Monaten wieder ab.

| Matrix** | Summe PFOA und PFOS (Angaben in ng/L) |
|---|--|
| Trinkwasser Südkorea | 7 – 108 |
| Trinkwasser Deutschland (NRW nach „Belastung“) | < 1 – 208 |
| Trinkwasser Deutschland („Referenzmessungen“) | < 1 – 7 |
| Leitungswasser Japan | < 1 – 39 |
| Leitungswasser Kanada, China, BRD, Schweden, Thailand | < 1 – 111 |
| Oberflächenwasser Deutschland (NRW nach „Belastung“) | 11 – 37.100 |
| Oberflächenwasser Deutschland (Rhein, Main, Lahn, Nahe, Ahr, Sieg, Wupper usw.) | < 1 – 57 |
| Offener Ozean | 18 – 620 |
| Regenwasser | < 1 – 90 |
| Michigan Grundwasser (nähe Feuerwehrrübungsplatz) | 4.000 – 215.000 |
| Mittelwert Deponiesickerwasser | 2.380 |

Abbildung 25: Übersicht von der Summe PFOA und PFOS in Wasser in verschiedenen Ländern (Stahl, 2015)

Auch in anderen Ländern wurde die Verbreitung von PFAS im Wasser untersucht. Ein Beispiel ist die Untersuchung von Trinkwasser in den USA, dort ist die Trinkwasserversorgung von bis zu 6 Million US Bürgern mit PFOS und PFOA, oberhalb des von der US EPA's lifetime health advisory vorgeschlagenen Grenzwertes (70ng/l), belastet. Die Abbildung 26 zeigt aber auch, dass für einen großen Teil der USA noch keine Daten für das Trinkwasser vorliegen (Hu, et al., 2016).

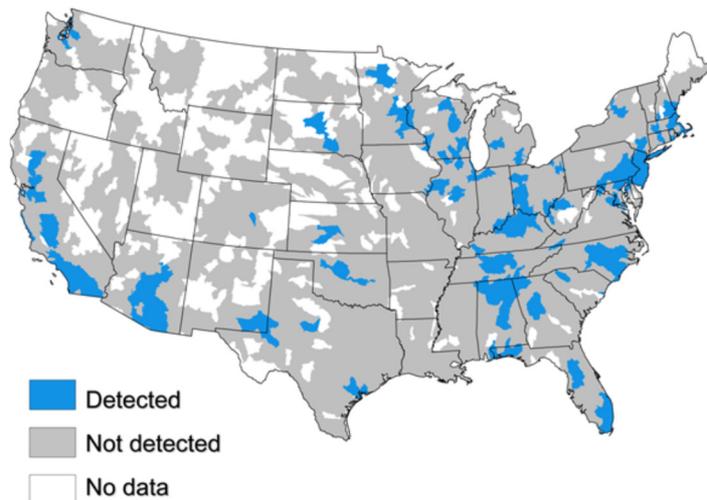


Abbildung 26: Karte der Trinkwasservorkommen in den USA mit detektierbaren PFAS (Hu, et al., 2016)

Bei einer Studie 2011 im Osten von China wurden 39 Proben von Oberflächengewässern, dabei fiel auf, dass dort nicht PFOS den höchsten Anteil der gesamten PFAS aufweist, sondern PFHxA. Die gemessenen Konzentrationen lagen auch hier nur im Nanogramm Bereich allerdings wurde ausgerechnet, dass im Jahr mehr als 4000 kg PFAS über die inländischen Oberflächengewässer in das Ostchinesische Meer gelangen (Lu, et al., 2015).

Dies zeigt, dass auch geringe Konzentrationen unterhalb der Grenzwerte nicht unterschätzt werden dürfen, gerade bei mehreren Gewässern, die im selben Gewässer münden.

1.8 Verbesserungspotenziale

Insgesamt erfolgen schon viele Maßnahmen um die PFAS Konzentrationen im Grundwasser und in den Oberflächengewässern zu kontrollieren oder auch zu verbessern, allerdings ist das Analysespektrum bei den Routine- Grundwasseruntersuchungen auf die zehn notwendigsten Stoffe begrenzt. Eine Erweiterung um die beiden, bereits von dem Umweltbundesamt mit GOW versehenen, Substanzen H4PFOS und PFOSA wäre zu empfehlen.

Zudem ist die Betrachtung weiterer Messverfahren wie zum Beispiel das TOP Assay sinnvoll, da vermehrt ein Umstieg von den persistenten bekannten Stoffen, zu Substanzen die als Vorläuferverbindungen gezählt werden können, stattfindet. Diese werden bei den herkömmlichen Verfahren noch nicht mit einbezogen.

Ein stärkerer Austausch von Daten zwischen den Bereichen wäre zu empfehlen, da auch geringere Konzentrationen im Wasser auf eine entfernte größere Kontamination hinweisen können. Dies gilt auch für einen Austausch mit den umliegenden Bundesländern, denn natürlich könnte ein solcher Schaden auch dort liegen.

6. Literaturverzeichnis

Ahrens, L., Felizeter, S., Sturm, R., Xie, Z., Ebinghaus, R., 2009. Polyfluorinated compounds in waste water treatment plant effluents and surface waters along the River Elbe, Germany [pdf]. Verfügbar über:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X09001829?via%3Dihub> [Letzter Aufruf 05 Juli 2018]

Albers, Matthias, 2011. Analytik und Elimination von perfluorierten Tensiden aus Prozesswässern der Galvanik [pdf] Wuppertal: Bergischen Universität Wuppertal. Verfügbar über: <http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/edocs/dokumente/fbc/chemie/diss2011/albers> [Letzter Aufruf 25 Mai 2018]

Bayrisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2017. Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden [pdf] Verfügbar über: https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/loeschschaume/doc/pfc_bewertungsleitlinien_03_2013.pdf [Letzter Aufruf 25 Januar 2018]

Biegel-Engler, A., Staude, C., Vierke, L., Schulte, C., 2013. Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC): Einsatz mit Konsequenzen [pdf] Roßlau-Dessau: Umweltbundesamt. Verfügbar über: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/per_und_polyfluorierte_chemikalien_pfc.pdf [Letzter Aufruf 25 Januar 2018]

Biegel-Engler, A., Staude, C., Vierke, L., 2017a. Regulierung von PFC: aktueller Stand, künftige Entwicklungen [Präsentation] Augsburg: Umweltbundesamt. Verfügbar über: https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/analytik_org_stoffe_perfluorierte_chemikalien/facht_agungen/doc/4_regulierung_von_pfc.pdf [Letzter Aufruf 08 Februar 2018]

Biegel-Engler, A., Vierke, L., Apel, P., Fetter, É., Staude, C., 2017b. Mitteilungen des Umweltbundesamtes zu per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) in Trinkwasser [pdf] Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar über: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00103-016-2507-4.pdf> [Letzter Aufruf 25 Januar 2018]

Blepp, M., Willand, W., Weber, R., 2016. Verwendung von PFOS in der Galvanik- Kennzeichen eines geschlossenen Kreislaufs, Verwendung von Ersatzstoffen [pdf] Verfügbar über: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/verwendung-von-pfos-in-der-galvanik-kennzeichen> [Letzter Aufruf 09 Februar 2018]

Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., De Voogt, P., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A., Van Leeuwen, S.P.J., 2011. Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins [online] Integr. Environ. Assess. Manag.. Verfügbar über: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3214619/> [letzter Aufruf 23 April 2018]

Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUDBw), 2016. Leitfaden: Bearbeitung von Verdachtsbereichen mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) auf von der Bundeswehr genutzten Liegenschaften [pdf] Bonn: Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr Verfügbar über:

http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B_4.14/index.jsp [Letzter Aufruf 25 Januar 2018]

Hädicke, Andrea, 2017. Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für per- und polyfluorierte Chemikalien [Artikel] Zur Verfügung gestellt: Irmgard von Kalben Behörde für Umwelt und Energie Hamburg

Held, T., 2015. Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei altlastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen [pdf] Darmstadt: Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall“. Verfügbar über:

http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LABO/B_4.14/00_PFC_Handbuch_Final.pdf [Letzter Aufruf 10 Juli 2018]

Held, T., Reinhard, M., 2016. Analysierte PFAS- die Spitze des Eisbergs? [Artikel] Altlasten Spektrum 5/2016. Zur Verfügung gestellt: Irmgard von Kalben Behörde für Umwelt und Energie Hamburg

Herz, M. von, Wieschemeyer, M., 2017. PFC-Schäden am Flughafen Düsseldorf- von Erkundungsstrategien bis zur Sanierungsplanung [Artikel] Altlastensymposium 2017.

Hu, X.C., Andrews, D.Q., Lindstorm, A.B., Bruton, T.A., Schaidler, L.A., Grandjean, P., Lohmann, R., Carignan, C.C., Blum, A., Balan, S.A., Higgins, C.P., Sunderland, E.M., 2016 Detection of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in U.S. Drinking Water Linked to Industrial Sites, Military Fire Training Areas and Wastewater Treatment Plants [online] Environmental Science & Technology Letters. Verfügbar über:

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.estlett.6b00260> [letzter Aufruf: 28 August 2018]

LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser), 2017. Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser [pdf] Zur Verfügung gestellt: Irmgard von Kalben Behörde für Umwelt und Energie Hamburg

Lu, z., Song, L., Zhao, Z., Ma, Y., Wang, J., Yang, H., Ma, H., Cai., M., Codling, G., Ebinghaus, R., Xie, Z., Giesy, J.P., 2015. Occurrence and trends in concentrations of perfluoroalkyl substances (PFAS) in surface waters of eastern China [online] Chemosphere. Verfügbar über: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653514010182> [letzter Aufruf: 28 August 2018]

Knepper, T.P.; Frömel, T.; Gremmel, C.; Driezum, I. von; Weil, H., 2014. Understanding the exposure pathways of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) via use of PFASs)-containing products - risk estimation for man and environment [pdf] Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar über:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/understanding-the-exposure-pathways-of-per> [letzter Aufruf 23 April 2018]

Umweltbundesamt, 2017. Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser [pdf] Verfügbar über: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/fortschreibung_der_uba-pfc-bewertungen_bundesgesundheitsbl_2017-60_s_350-352.pdf [Letzter Aufruf 25 Januar 2018]

OECD, UNEP, 2013. Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs) [pdf] Paris: OECD. Verfügbar über: http://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/PFC_FINAL-Web.pdf [Letzter Aufruf 23 April 2018]

Stahl T., 2015. Umwelt- und Gewässerbelastungen durch Fluorchemikalien – Gefahr für unser Grundwasser? [pdf] Landesbetrieb Hessisches Landeslabor. Verfügbar über: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/hydrogeologie/Fortbildungs-und_Vortragsveranstaltungen/2015/2_Grundwassertag/Umwelt_und_Gewaesserbelastungen_durch_Fluorchemikalien_Stahl.pdf [Letzter Aufruf 28 Februar 2018]

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Juliane Behrendt, versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem o.a. formulierten Thema ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 31.08.2018

Unterschrift: _____

Anhang

Analysendaten im vorsorgenden Grundwasserschutz

| | GWM | Datum | Analysenmethode | PFBA (µg/l) | PFPeA (µg/l) | PFHxA (µg/l) | PFHpA (µg/l) | PFOA (µg/l) | PFNA (µg/l) | PFDA (µg/l) | PFBS (µg/l) | PFHxS (µg/l) | PFOS (µg/l) |
|----|------|------------|--------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 71 | 5294 | 06.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| | 5294 | 22.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 72 | 5295 | 07.04.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,00076 |
| | 5295 | 13.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| 73 | 5346 | 11.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5346 | 15.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5346 | 16.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 74 | 5348 | 10.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| | 5348 | 20.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 75 | 5356 | 06.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,01 | -0,005 | -0,005 | 0,0051 | -0,005 | 0,0014 |
| | 5356 | 16.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,007 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0053 |
| 76 | 5870 | 11.04.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| | 5870 | 08.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| 77 | 5871 | 06.04.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| | 5871 | 12.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5871 | 07.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 78 | 5873 | 12.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5873 | 21.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,00037 |
| 79 | 5947 | 06.04.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,00056 |
| | 5947 | 08.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5947 | 07.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 80 | 5949 | 06.04.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| | 5949 | 08.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| 81 | 5950 | 13.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0068 | -0,005 | -0,005 | 0,0071 | -0,005 | 0,0014 |
| | 5950 | 28.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0011 |
| 82 | 5952 | 19.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5952 | 29.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 83 | 5953 | 06.04.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| | 5953 | 12.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| 84 | 5954 | 12.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5954 | 22.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 85 | 5955 | 19.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0012 |
| | 5955 | 29.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,00063 |
| 86 | 5958 | 06.04.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| | 5958 | 08.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| 87 | 5959 | 05.04.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| | 5959 | 08.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| 88 | 5967 | 18.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5967 | 28.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 89 | 5980 | 19.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | 0,013 | 0,011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5980 | 29.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | 0,014 | 0,011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 90 | 5981 | 19.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0006 |
| | 5981 | 19.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,0005 |
| | 5981 | 29.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | 0,0053 | 0,0054 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 91 | 7250 | 04.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0067 | -0,005 | 0,0054 | -0,005 | -0,005 | 0,0022 |
| | 7250 | 09.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,00025 |
| 92 | 7268 | 17.10.2016 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | 0,0056 | 0,0081 | 0,0091 | -0,005 | 0,021 | -0,005 | -0,005 | 0,012 | -0,005 | 0,015 |
| | 7268 | 19.10.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0083 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0052 |
| | 7268 | 20.04.2015 | PFC-HPLC-MS; DIN 38407-42, März 2011 | -0,005 | -0,005 | 0,0059 | -0,005 | 0,015 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | -0,005 | 0,0056 |

Analysedaten im nachsorgenden Grundwasserschutz

| Lagebeschreibung | Messstellennr. | Analyseverfahren | Einheit | Datum | PFBA | PFPeA | PFHxA | PFHpA | PFOA | PFNA | PFDA | PFUnA | PFDoA | PFBS | PFHxS | PFHpS | PFOS | PFDS | PFOSA | 6:2-FTS bzw. H4PFOS |
|---------------------------------|----------------|------------------|---------|------------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------------------|
| Priorität | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| GFS [ng/l] (2017) | | | | | 10000 | 3000 | 6000 | 300 | 100 | 60 | 100 | | | 6000 | 100 | 300 | 100 | | 100 | 100 |
| Deponie Hummelsbüttler Feldmark | 880 | DIN 38407-42 | ng/l | 17.07.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | 16 | | | |
| Deponie Hummelsbüttler Feldmark | 1735 | DIN 38407-42 | ng/l | 10.07.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Deponie Hummelsbüttler Feldmark | 5669 | DIN 38407-42 | ng/l | 09.07.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Deponie Hummelsbüttler Feldmark | 5689 | DIN 38407-42 | ng/l | 09.07.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Deponie Hummelsbüttler Feldmark | 9247 | DIN 38407-42 | ng/l | 16.07.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Flughafen Fuhsbüttel | Br Nord | DIN 38407-42 | ng/l | 23.06.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Flughafen Fuhsbüttel | Br 1053 | DIN 38407-42 | ng/l | 23.06.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Flughafen Fuhsbüttel | Br 1051 | DIN 38407-42 | ng/l | 23.06.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Flughafen Fuhsbüttel | Br 1052 | DIN 38407-42 | ng/l | 23.06.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Flughafen Fuhsbüttel | 7364 | DIN 38407-42 | ng/l | 14.08.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Flughafen Fuhsbüttel | 7408 | DIN 38407-42 | ng/l | 14.08.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Flughafen Fuhsbüttel | 8910 | DIN 38407-42 | ng/l | 14.08.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Flughafen Fuhsbüttel | 8911 | DIN 38407-42 | ng/l | 14.08.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Flughafen Fuhsbüttel | Becken | DIN 38407-42 | ng/l | 23.06.2014 | 12000 | 20000 | 53000 | 6400 | 15000 | 790 | 500 | 26 | 610 | 11000 | 36000 | | 560000 | < 10 | 4800 | 68000 |
| Hohe-Schaar-Straße | B5488/98 | DIN 38407-42 | ng/l | 21.10.2014 | 1800 | 5900 | 12000 | 1400 | 3300 | 80 | < 10 | < 10 | < 10 | 1100 | 24000 | | 340000 | < 10 | < 10 | 52000 |
| Hohe-Schaar-Straße | B531/02 | DIN 38407-42 | ng/l | 21.10.2014 | 250 | 800 | 630 | 130 | 520 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 520 | 1800 | | 2200 | < 10 | < 10 | 380 |
| Hohe-Schaar-Straße | M11 | DIN 38407-42 | ng/l | 21.10.2014 | 310 | 1100 | 1700 | 560 | 790 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 1400 | 7300 | | 23000 | < 10 | < 10 | 180 |
| Hohe-Schaar-Straße | B531/02 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | 500 | 190 | 400 | < 100 | 270 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 120 | 1500 | | 2100 | < 100 | < 100 | 160 |
| Hohe-Schaar-Straße | M11 | DIN 38407-42 | ng/l | 25.07.2017 | 170 | 770 | 260 | 170 | 120 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 410 | | 17000 | < 100 | < 100 | < 100 |
| Hohe-Schaar-Straße | B113/85 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | 23 | 26 | 60 | 33 | 570 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 33 | 290 | | 1400 | < 10 | < 10 | 330 |
| Hohe-Schaar-Straße | B114/85 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | 17 | 17 | 130 | 23 | 230 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 25 | 1100 | | 3700 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B178/87 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 23 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 29 | | 160 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B489/98 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | 18 | 43 | 52 | 16 | 31 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 10 | 270 | | 270 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B621/08 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B622/08 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B855/14 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | 170 | 14 | 25 | < 10 | 28 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 79 | | 420 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B883/14 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | 48 | 10 | 53 | 12 | 370 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 390 | | 970 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | M6 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2017 | < 10 | < 10 | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B48/85 | DIN 38407-42 | ng/l | 01.08.2017 | < 10 | 16 | 17 | 10 | 63 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 30 | | 120 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B49/85 | DIN 38407-42 | ng/l | 01.08.2017 | 63 | 190 | 130 | 43 | 160 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 10 | 590 | | 2900 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B854/14 | DIN 38407-42 | ng/l | 01.08.2017 | < 1000 | < 1000 | 1900 | < 1000 | 2400 | < 1000 | < 1000 | < 1000 | < 1000 | 1100 | 14000 | | 95000 | < 1000 | < 1000 | < 1000 |
| Hohe-Schaar-Straße | B881/14 | DIN 38407-42 | ng/l | 01.08.2017 | 24 | 82 | 86 | 27 | 500 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 28 | 320 | | 2800 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B254A/92 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | 21 | 59 | 79 | 22 | 300 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 15 | 550 | | 260 | < 10 | < 10 | 19 |
| Hohe-Schaar-Straße | B259/92 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | < 100 | < 100 | < 100 | 100 | 300 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 110 | | 200 | < 100 | < 100 | < 100 |
| Hohe-Schaar-Straße | B5557/03 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | 13 | 29 | 22 | < 10 | 21 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 85 | | 96 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B620/08 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B907/15 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 130 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 160 | | 2300 | < 100 | < 100 | < 100 |
| Hohe-Schaar-Straße | B911/15 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | 430 | 2500 | 2300 | 380 | 490 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 520 | 4400 | | 15000 | < 100 | < 100 | 770 |
| Hohe-Schaar-Straße | B932/16 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | 710 | 3500 | 14000 | 1100 | 1900 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 4600 | 28000 | | 320000 | 11000 | 940 | 78750 |
| Hohe-Schaar-Straße | M7 | DIN 38407-42 | ng/l | 24.07.2017 | < 100 | < 100 | 120 | < 100 | 430 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 390 | 3200 | | 240 | < 100 | < 100 | < 100 |
| Hohe-Schaar-Straße | B36/85 | DIN 38407-42 | ng/l | 25.07.2017 | 270 | 1700 | 1200 | 270 | 150 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 390 | 3200 | | 240 | < 100 | < 100 | < 100 |
| Hohe-Schaar-Straße | B230/90 | DIN 38407-42 | ng/l | 25.07.2017 | < 100 | 130 | 170 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 500 | | 980 | < 100 | < 100 | < 100 |
| Hohe-Schaar-Straße | B382/95 | DIN 38407-42 | ng/l | 25.07.2017 | 130 | 320 | 1400 | 100 | 390 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 920 | 4900 | | 7400 | < 10 | < 10 | 1210 |

Analysedaten im nachsorgenden Grundwasserschutz

| Lagebeschreibung | Messstellennr. | Analyseverfahren | Einheit | Datum | PFBA | PFPeA | PFHxA | PFHpA | PFOA | PFNA | PFDA | PFUnA | PFDoA | PFBS | PFHxS | PFHpS | PFOS | PFDS | PFOSA | 6:2-FTS bzw. H4PFOS |
|----------------------|----------------|------------------|---------|------------|---------|-------|-------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|---------|---------|---------------------------|
| Hohe-Schaar-Straße | B725/10 | DIN 38407-42 | ng/l | 25.07.2017 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 190 | | 730 | < 100 | < 100 | < 100 |
| Hohe-Schaar-Straße | Pumpenschacht | DIN 38407-42 | ng/l | 25.07.2017 | 150 | 540 | 1600 | 200 | 1500 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 440 | 6700 | | 75000 | < 100 | 100 | 5900 |
| Hohe-Schaar-Straße | Auslauf ARA | DIN 38407-42 | ng/l | 25.07.2017 | < 100 | 200 | 450 | < 100 | 480 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 1100 | | 13000 | < 100 | < 100 | 320 |
| Hohe-Schaar-Straße | B178/87 | TOP Assay | ng/l | 01.08.2017 | 12 | 22 | 28 | < 10 | 27 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 30 | | 150 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B489/98 | TOP Assay | ng/l | 01.08.2017 | < 10 | 13 | 26 | < 10 | 35 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 35 | | 200 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Hohe-Schaar-Straße | B854/14 | TOP Assay | ng/l | 01.08.2017 | 3700 | 4300 | 25000 | < 1000 | 25000 | < 1000 | < 1000 | < 1000 | < 1000 | < 1000 | 14000 | | 91000 | < 1000 | < 1000 | < 1000 |
| Hohe-Schaar-Straße | B254A/92 | TOP Assay | ng/l | 25.07.2017 | 400 | 450 | 3200 | < 100 | 260 | < 100 | < 100 | < 100 | < 100 | 100 | 1200 | | 11000 | < 100 | < 100 | < 100 |
| Hohe-Schaar-Straße | B259/92 | TOP Assay | ng/l | 25.07.2017 | 73 | 65 | 60 | 17 | 270 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 10 | 77 | | 83 | < 10 | < 10 | 19 |
| Hohe-Schaar-Straße | B932/16 | TOP Assay | ng/l | 25.07.2017 | < 10000 | 13000 | 25000 | < 10000 | 27000 | < 10000 | < 10000 | < 10000 | < 10000 | < 10000 | 48000 | | 25000 | < 10000 | < 10000 | < 10000 |
| Moorburger Straße | H5/1 | DIN 38407-42 | ng/l | 07.10.2013 | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 | | < 200 | < 200 | < 200 | < 200 |
| Moorburger Straße | H3/1 | DIN 38407-42 | ng/l | 08.10.2013 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Moorburger Straße | A5/1 | DIN 38407-42 | ng/l | 07.10.2013 | 4600 | 25000 | 16000 | 2900 | 720 | 170 | 41 | -10 | -10 | 240 | 460 | | 2200 | -10 | 610 | 18000 |
| Moorburger Straße | A5/1 | DIN 38407-42 | ng/l | 17.06.2014 | 3900 | 9900 | 9400 | 1400 | 680 | 130 | 25 | -10 | -10 | 10 | 200 | | 3000 | -10 | 52 | 82000 |
| Moorburger Straße | A6/2 | DIN 38407-42 | ng/l | 17.06.2014 | 120 | 510 | 400 | 110 | 12 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | 21 | < 10 | < 10 | 470 |
| Moorburger Straße | B5/1 | DIN 38407-42 | ng/l | 17.06.2014 | 45 | 120 | 90 | 38 | 18 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | 44 | < 10 | < 10 | 150 |
| Moorburger Straße | 50225 | DIN 38407-42 | ng/l | 27.03.2015 | 88 | 57 | 290 | 330 | 79 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 34 | | 150 | < 10 | < 10 | 5100 |
| Moorburger Straße 16 | 5360 | DIN 38407-42 | ng/l | 03.09.2014 | 27 | 100 | 66 | 21 | 18 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | 25 | | | |
| Moorburger Straße 16 | 5374 | DIN 38407-42 | ng/l | 08.09.2014 | 20 | 62 | 31 | 13 | 15 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | 12 | | | |
| Moorburger Straße 16 | 5376 | DIN 38407-42 | ng/l | 08.09.2014 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 12 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | 15 | | | |
| Moorburger Straße 16 | 5905 | DIN 38407-42 | ng/l | 11.09.2014 | 12 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Moorburger Straße 16 | 7213 | DIN 38407-42 | ng/l | 09.09.2014 | 28 | 98 | 72 | 20 | 22 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | 14 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2466 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2013 | 700 | 3100 | 1500 | 480 | 30 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | 180 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2467 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2013 | 600 | 3400 | 2320 | 650 | 300 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 10 | 80 | | 140 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2467 | DIN 38407-42 | ng/l | 21.08.2014 | 550 | 4000 | 1600 | 630 | 240 | < 10 | < 10 | | | < 10 | 39 | | 210 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2468 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2013 | 30 | 100 | 30 | 20 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2468 | DIN 38407-42 | ng/l | 21.08.2014 | 11 | 29 | 13 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2469 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2013 | < 10 | 20 | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2469 | DIN 38407-42 | ng/l | 21.08.2014 | < 10 | 12 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2474 | DIN 38407-42 | ng/l | 31.07.2013 | < 10 | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | | < 10 | | | |
| Nartenstraße 21 | 2474 | DIN 38407-42 | ng/l | 21.08.2013 | < 10 | 49 | 17 | 14 | < 10 | < 10 | < 10 | | | < 10 | < 10 | | 20 | | | |

Analysedaten in Biota (Fisch)

| Jahr | OWK | Messstelle | Medium | Parameter | Parameter | Einheit | | | | | | | | | | |
|------|--------|------------|---------------|-----------|---------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|------|---------|-------|
| Jahr | OWK | Messstelle | Medium | Parameter | Parameter | Einheit | 2013H01982 | | | | | | | | | |
| 2013 | el_02 | Uesh | Biota (Fisch) | PFOA | Perfluorooctansäure | µg/kg TM | 12.11.13 | n | | | | Min | MW-WRRL | Max | | |
| 2013 | el_02 | Uesh | Biota (Fisch) | PFOS | Perfluorooctansulfonsäure | µg/kg | <0,4 | 1 | | | | 0,4 | <0,2 | <0,4 | | |
| | | | | | | | | | | | | 8,7 | 8,7 | 8,7 | | |
| Jahr | OWK | Messstelle | Medium | Parameter | Parameter | Einheit | 2014H01540 | 2014H01541 | 2014H01542 | 2014H01543 | 2014H01544 | 2014H01545 | n | Min | MW-WRRL | Max |
| 2014 | el_02 | Uesh | Biota (Fisch) | PFOA | Perfluorooctansäure | µg/kg | 24.11.14 | 24.11.14 | 24.11.14 | 24.11.14 | 24.11.14 | 24.11.14 | 6 | 2 | <1 | <2 |
| 2014 | el_02 | Uesh | Biota (Fisch) | PFOS | Perfluorooctansulfonsäure | µg/kg | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | 4 | 2 | 5 | 9 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jahr | OWK | Messstelle | Medium | Parameter | Parameter | Einheit | 2015H01426 | | | | | | | Min | MW-WRRL | Max |
| 2015 | el_02 | Uesh | Biota (Fisch) | PFOA | Perfluorooctansäure | ng/kg | 14.12.15 | n | | | | | | 2000 | <1000 | <2000 |
| 2015 | el_02 | Uesh | Biota (Fisch) | PFOS | Perfluorooctansulfonsäure | ng/kg | <2000 | 1 | | | | | | 2000 | <1000 | <2000 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jahr | OWK | Messstelle | Medium | Parameter | Parameter | Einheit | 2016H01658 | | | | | | | Min | MW-WRRL | Max |
| 2016 | el_02 | Uesh | Biota (Fisch) | PFOS | Perfluorooctansulfonsäure | µg/kg | 20.10.16 | n | | | | | | 18,4 | 18,4 | 18,4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jahr | OWK | Messstelle | Medium | Parameter | Parameter | Einheit | 2016H01657 | | | | | | | Min | MW-WRRL | Max |
| 2016 | el_01 | Oezs | Biota (Fisch) | PFOS | Perfluorooctansulfonsäure | µg/kg | 25.09.16 | n | | | | | | 14,3 | 14,3 | 14,3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jahr | OWK | Messstelle | Medium | Parameter | Parameter | Einheit | 2016H01655 | 2016H01656 | | | | | | Min | MW-WRRL | Max |
| 2016 | bi_06b | Be 61 | Biota (Fisch) | PFOA | Perfluorooctansäure | µg/kg | 29.09.16 | 19.09.16 | n | | | | | 1 | <0,5 | <1 |
| 2016 | bi_06b | Be 61 | Biota (Fisch) | PFOS | Perfluorooctansulfonsäure | µg/kg | <1 | <1 | 2 | | | | | 2 | 2,1 | 2,2 |

