

PFAS in urbanem Regenwasserabfluss eines industriellen Einzugsgebietes und einem urbanen See

Daniel Wicke¹, Franziska Knoche¹, Andreas Matzinger¹, Ulf Mieke¹,
Fiona Rückbeil², Alexander Sperlich², Regina Gnirss², Tobias Hensel²,
Frederik Zietzschmann², Veronika Zhiteneva¹

¹ Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Grunewaldstraße 61-62, 10825 Berlin, Deutschland

² Berliner Wasserbetriebe, Neue Jüdenstraße 1, 10179 Berlin, Deutschland

Kurzfassung: Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) stellen aufgrund ihrer Persistenz und Toxizität ein wachsendes Risiko für Wasserressourcen dar. In einer achtmonatigen Messkampagne wurde Regenwasserabfluss eines Berliner Industriegebiets auf 26 PFAS und andere Industriechemikalien untersucht. Zusätzlich wurde ein urbaner See beprobt, der ausschließlich durch Regenwasserabfluss und Grundwasser gespeist wird. PFAS-Konzentrationen im Regenwasserabfluss lagen zwischen 5 und 35 ng/L, PFOA und PFHxA waren am häufigsten nachweisbar. Die Konzentrationen lagen im Bereich vorgeschlagener Umweltqualitätsnormen für Oberflächengewässer mit Maximalwerten deutlich darüber. Im See wurden deutlich höhere Konzentrationen (bis 99 ng/L) gemessen, die vermutlich durch Altlasten des benachbarten Flughafens und nicht primär durch Regenwasserabfluss verursacht werden. Im Vergleich zu Kläranlagenabläufen waren die gemessenen PFAS-4-Konzentrationen im Regenwasserabfluss in dieser Studie um den Faktor 3-10 niedriger. Für Gewässer sind Kläranlagenabläufe auch durch die größeren Volumina als Eintragspfad von PFAS wahrscheinlich von größerer Relevanz als Regenwasserabflüsse. Dennoch ist Regenwasserabfluss insbesondere in Schwammstadtkonzepten mit Versickerungssystemen als potentiell relevanter Eintragspfad für PFAS zu betrachten. Die Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit eines besseren Verständnisses urbaner PFAS-Quellen für ein effektives Wasserschutzmanagement.

Keywords: Spurenstoffe, Regenwasserabfluss, PFAS, Gewässer

1 Hintergrund

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) stellen aufgrund ihrer Persistenz und Toxizität ein erhebliches Umweltproblem dar. Als eine Klasse synthetischer organischer Verbindungen, die sich durch ihre starken Kohlenstoff-Fluor-Bindungen auszeichnen, sind die meisten PFAS sehr widerstandsfähig gegenüber dem Abbau in der Umwelt. Die vielseitigen technischen Eigenschaften und der breite Einsatz haben

zu einer weitreichenden Verbreitung, insbesondere in städtischen Gebieten geführt (z.B. Liu et al. 2023). Durch ihre teilweise hohe Toxizität werden Grenzwerte für PFAS-Konzentrationen in Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser zunehmend verschärft, mit vorgeschlagenen Limits im niedrigen ng/L-Bereich. Für Schwammstadtkonzepte stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage der potentiellen Belastung von Regenwasserabfluss mit PFAS, welche bei Versickerungssystemen zu einer Beeinträchtigung von Grundwasser führen könnte. Das Verständnis der Quellen und Transportwege wird daher immer wichtiger, um eine Kontamination zu verhindern oder zu minimieren.

Urbaner Regenwasserabfluss ist ein möglicher Weg für den Transport von PFAS aus verschiedenen Quellen in Gewässer, insbesondere bei Trennkanalisation. Regenwasser, das mit potenziell kontaminierten Oberflächen in Berührung kommt und von versiegelten Flächen abfließt, könnte diese persistenten Chemikalien mobilisieren und über die Regenwasserkanäle in Flüsse und Seen transportieren. Obwohl in früheren Monitoringstudien bereits vereinzelt PFAS-Verbindungen (vor allem PFOS und PFOA) gemessen wurden, ist das Wissen über Quellen und Pfade immer noch unzureichend, insbesondere im Hinblick auf andere PFAS-Verbindungen mit hoher Toxizität, die in neuen Vorschriften enthalten sind (z. B. PFNA, PFDA, PFHxS). In einer früheren Studie mit Probenahmen in fünf typischen städtischen Gebietstypen haben wir PFOA in Konzentrationen bis zu 70 ng/L gefunden (Wicke et al. 2021). Die häufigsten Nachweise und höchsten Konzentrationen wurden in Regenwasserabfluss von einem industriellen Einzugsgebiet gefunden, während die Funde in anderen Einzugsgebieten (z. B. innerstädtische Wohngebiete, Einfamilienhäuser, Verkehrsflächen) seltener und in niedrigeren Konzentrationen auftraten. Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wurde daher Regenwasserabfluss eines industriellen Einzugsgebietes auf 26 PFAS untersucht. Zusätzlich wurde ein urbaner See beprobt, der ausschließlich aus Regeneinträgen (einschließlich des beprobten Industriegebietes) und Grundwasser gespeist wird, um das Verständnis zur Relevanz von Regenwasserabfluss als Eintragspfad für PFAS zu erweitern.

2 Vorgehen

In einem Industrie- und Gewerbegebiet im Nordwesten Berlins (Deutschland), das im Einzugsgebiet eines urbanen Sees (Flughafensee) liegt, wurde Regenwasserabfluss aus zwei Regenkanälen der Trennkanalisation beprobt (Abbildung 1). Die Einzugsgebiete der beiden Teilgebiete sind 36 ha (Standort GEW) und 6 ha (Standort MIR) groß. Das Gebiet beinhaltet auch Industrieunternehmen, die potenziell PFAS in ihren Prozessen verwenden (z.B. Pharma, Kunststoffproduktion, Metallverarbeitung, chemische Reinigung). An beiden Messstellen wurde jeweils ein Durchflussmessgerät (PCM4, Nivus) im Regenkanal installiert und ein tragbarer automatischer Probennehmer (Sigma SD 900, Hach Lange) im Kanalschacht befestigt (Abbildung 1). Jeder Probennehmer war mit 8×2-L-Glasflaschen und PE-LD-Zulaufschläuchen (Polyethylen niedriger Dichte) ausgestattet, um eine mögliche Sorption und Kontamination der Proben zu vermeiden. Zudem wurden etablierte Protokolle für die Entnahme von

Wasserproben für die PFAS-Analyse befolgt (z.B. EGLE 2018). Die automatischen Probenehmer wurden bei Überschreitung eines festgelegten Wasserstands ausgelöst, der zwischen 7 und 12 cm lag. Für jedes untersuchte Regenereignis wurde eine volumenproportionale Mischprobe basierend auf den Abflussmessungen erstellt (Details siehe Wicke et al. 2021), um mittlere Ereigniskonzentrationen zu bestimmen. Während der achtmonatigen Monitoringkampagne (April bis November 2023) wurden insgesamt 47 volumenproportionale Mischproben an beiden Messstellen genommen. Zusätzlich wurden an drei Tagen (Mai, September, November) Stichproben aus dem Flughafensee (jeweils 4 Stellen) sowie eine volumenproportionale Probe eines Regenereignisses im Zulaufgraben des Sees genommen (Abbildung 1). Der Graben leitet ausschließlich den Regenwasserabfluss des 530 ha großen Einzugsgebietes (30% Gewerbe/ Industrie, einschließlich Untersuchungsgebiet, 70% Wohngebiet) in den See ab, der keine weiteren Zuflüsse hat. Alle Proben wurden auf 26 PFAS, 39 Pestizide, 16 PAK sowie 25 Industriechemikalien (4 Organophosphate, 3 Azole und 18 leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe) analysiert.



Abbildung 1: Links: Untersuchungsgebiet mit Probennahmepunkten für Regenwasserabfluss (Kreuze) und im See (Quadrate). Mitte und rechts: Installation von Durchflusssensor und Probenehmer im Regenkanal.

3 Ergebnisse

Ein Überblick über die Konzentrationsbereiche der untersuchten Substanzgruppen zeigt Abbildung 2 (Summe der Konzentrationen aller Verbindungen innerhalb einer Gruppe). Während die Summe der PFAS zwischen 5 und 35 ng/L liegt, sind die Konzentrationen der anderen Gruppen etwa zwei Größenordnungen höher mit einer mittleren Konzentration von etwa 0,5 µg/L (außer LHKW). Die höchste Konzentration von 27 µg/L wurde für die Summe der PAK bei einem Regenereignis im Juni 2023 nach einer langen Trockenperiode von etwa sieben Wochen gemessen. In der Gruppe der flüchtigen organischen Substanzen (LHKW) wurde nur eine Verbindung (Dioxan) gelegentlich nachgewiesen (18 von 45 Proben, Höchstkonzentration 90 ng/L).

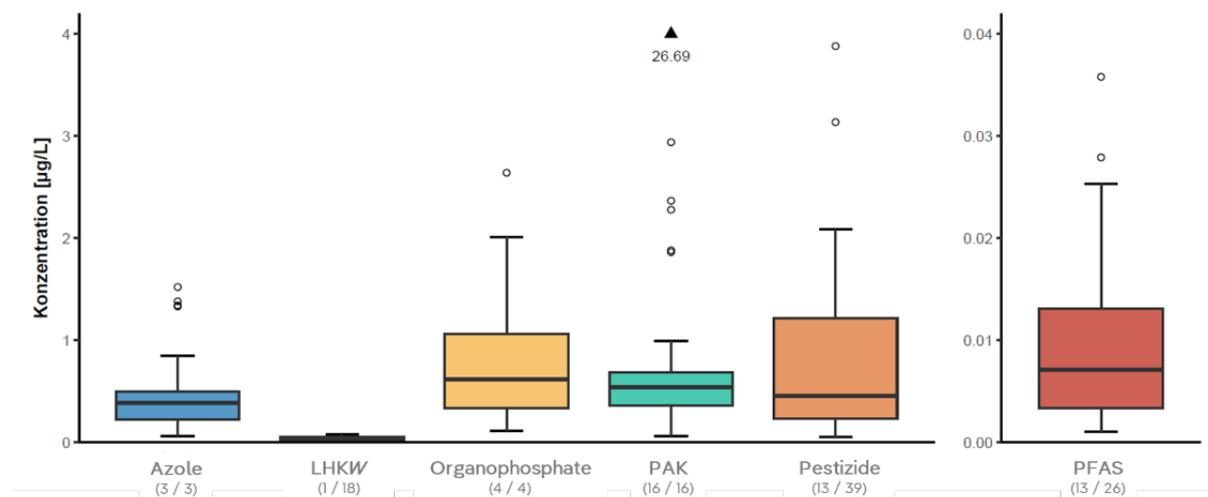


Abbildung 2: Überblick über die Konzentrationsbereiche der analysierten Stoffgruppen (Linie: Median; Whisker: 10% und 90%-Quantile, Kreise: Extremwerte). Jede Gruppe zeigt die Konzentrationssumme für alle Verbindungen mit Werten >BG innerhalb der jeweiligen Gruppe für alle beprobten Regenereignisse an beiden Standorten (n=47). In Klammern: Anzahl der Verbindungen >BG / Gesamtzahl der Verbindungen in jeder Gruppe.

Die Ergebnisse für einzelne PFAS-Verbindungen sind in Abbildung 3 dargestellt. Insgesamt wurden 12 der 26 analysierten PFAS im Regenwasserabfluss gefunden. Zu den PFAS mit der höchsten Anzahl von Nachweisen oberhalb der Bestimmungsgrenze (BG) gehören PFOA (33), PFHxA (30), PFHpA (26), PFOS (17) und PFBS (15). Unterschiede zwischen beiden Messstellen waren bis auf das häufigere Auftreten von PFHxS in Messstelle MIR gering. Die höchsten Konzentrationen traten für PFBA mit einem Maximum von 23 ng/L auf. PFOA-Äquivalentkonzentrationen im Regenwasserabfluss erreichten im Mittel die vorgeschlagenen Grenzwerte der Wasserrahmenrichtlinie für Oberflächengewässer, Maximalwerte liegen Faktor 10 darüber (Abbildung 3 rechts). Die Konzentrationen der PFAS-20-Summen und PFOA-Äquivalentkonzentrationen liegen in einem ähnlichen Bereich wie die PFAS-Konzentrationen in Regenwasserabfluss, die von Liu et al. (2023) für das obere Donaeinzugsgebiet berichtet wurden.

Die PFAS-20-Summe in der Probe aus dem Zulaufgraben des Flughafensees ist mit einem Wert von 7 ng/L genauso hoch wie die PFAS-20-Summe im Regenwasserabfluss des untersuchten Industriegebietes (Median: 7 ng/L). Dies deutet darauf hin, dass Regenwasserabfluss des untersuchten industriellen Gebietes nicht wie im Vorfeld vermutet deutlich höher belastet ist wie allgemeiner urbaner Regenwasserabfluss des 530 ha großen Einzugsgebietes des Sees mit 70% Wohngebieten.

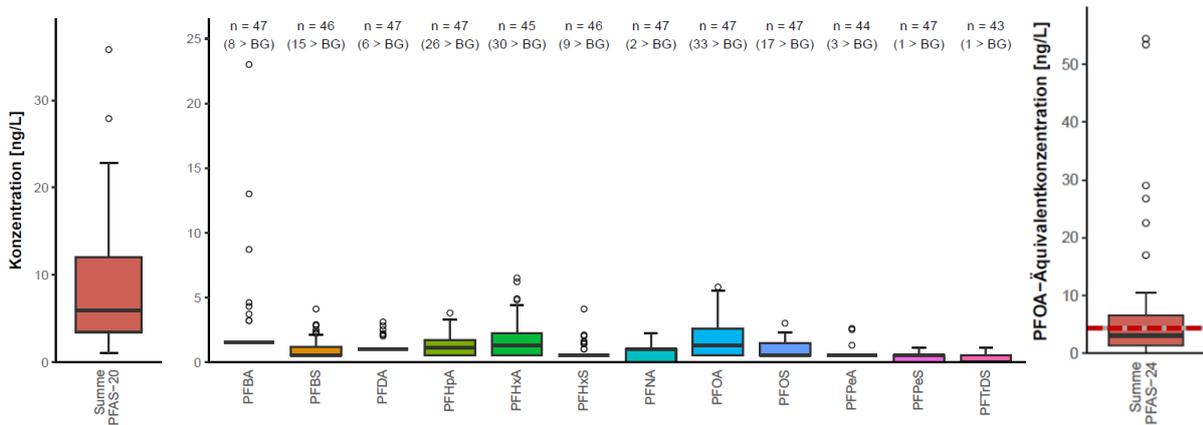


Abbildung 3: Links & Mitte: Boxplots der Konzentrationen von PFAS im Regenwasserabfluss zweier industrieller Einzugsgebiete (n=47 Regenereignisse); Rechts: Summe der PFOA-Äquivalentkonzentrationen (ermittelt anhand der in der überarbeiteten EU-Wasserrahmenrichtlinie beschriebenen relativen Potenzfaktoren (RPF)), rote Linie: vorgeschlagene Grenzwert von 4,4 ng/L für Oberflächengewässer.

Im Gegensatz dazu lagen die Konzentrationen von PFAS im Flughafensee selbst mit mittleren PFAS-20-Konzentrationen von 72 ng/L (53-99 ng/L) deutlich höher als im Regenwasserabfluss. Dabei konnten kaum Unterschiede sowohl zwischen oberflächennahen (Beprobungstiefe 1 m) und tiefen Proben (Beprobungstiefe 6-10 m) als auch den vier Probenahmestellen (Nord, Süd, Ost, West) festgestellt werden (Abbildung 4). Dies deutet auf eine vollständige Belastung des Sees im gesamten Wasserkörper hin. Einträge durch belastetes Grundwasser werden als wahrscheinlichere Quelle als Einträge durch den Regenwasserabfluss vermutet. Es ist bekannt, dass auf dem angrenzenden Flughafengelände eine Altlast vorhanden ist.

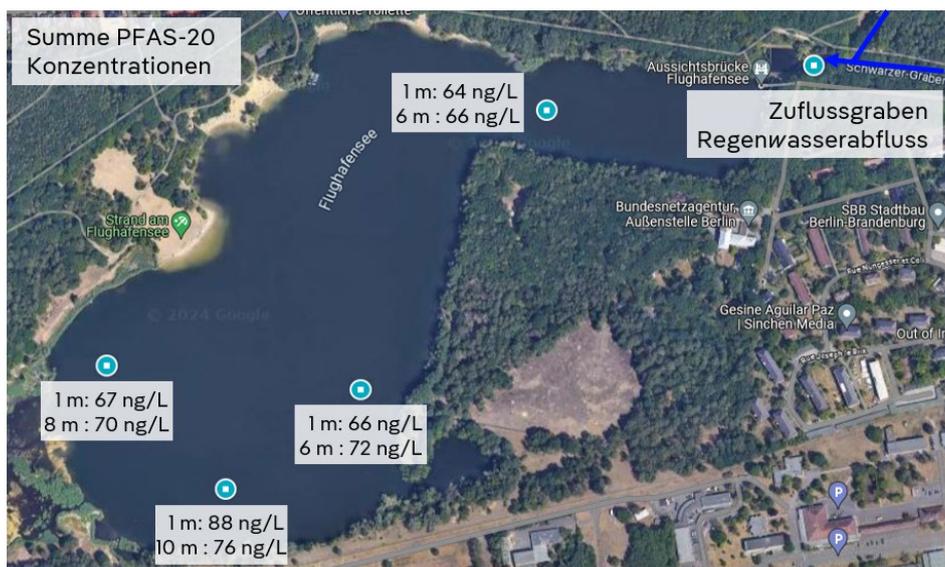


Abbildung 4: Mittlere PFAS-20-Konzentrationen im Flughafensee (n=3 je Messstelle).

Im Vergleich zu Klärwerkseinträgen sind PFAS-4-Konzentrationen (Summe von PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS) im untersuchten Regenwasserabfluss um den Faktor 3-10 niedriger im Vergleich zu Konzentrationen in Klärwerksablauf, die für das obere Donaeinzugsgebiet (Liu et al. 2023) bzw. in einer Deutschlandweiten Studie mit 49 Kläranlagen (Toshovski et al. 2020) berichtet wurden (Abbildung 5). Dies deutet darauf hin, dass Kläranlagenablauf für Oberflächengewässer von höherer Relevanz als PFAS-Quelle ist als Einträge aus urbanem Regenwasserabfluss.

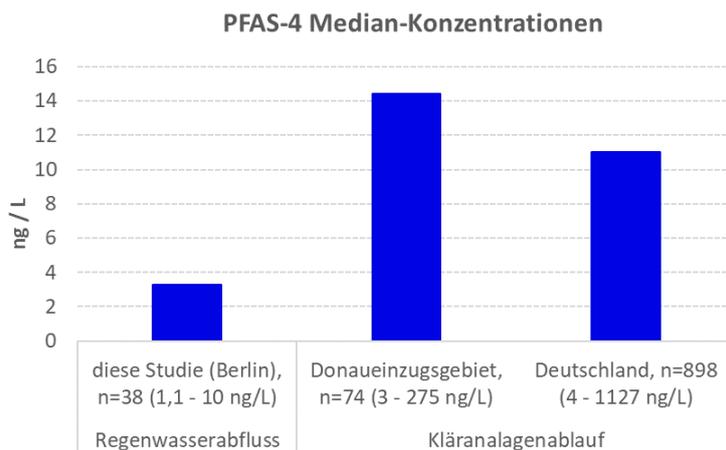


Abbildung 5: Vergleich der Konzentrationen von PFAS-4 im Regenwasserabfluss mit Klärwerksablauf (aus Liu et al. 2023 und Toshovski et al. 2020).

4 Schlussfolgerungen

PFAS können in urbanem Regenwasserabfluss für Oberflächengewässer relevante Konzentrationen erreichen, die teilweise deutlich über vorgeschlagenen Grenzwerten für Gewässer liegen, so dass insbesondere urbane Gewässer mit hohem Anteil an Regenwasserabfluss potentiell gefährdet sind. Bei gezielter Versickerung von Regenwasserabfluss kann zudem eine Belastung des Grundwassers erfolgen. Nach den Ergebnissen dieser Studie sind für Gewässer Regenwasserabflüsse als Eintragspfad von PFAS wahrscheinlich von geringerer Relevanz als Kläranlagenabläufe, weil nicht nur die Konzentrationen, sondern meist auch die jährlichen Ablaufmengen von Kläranlagen deutlich höher sind (in Berlin um den Faktor 3) als von Regenabflüssen.

5 Danksagung

Diese Studie ist Teil des von der Europäischen Union finanzierten EU-H2020-Projekts PROMISCES (No 101036449). Die Finanzierung der Konferenz- und Reisekosten erfolgte durch das vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen und das Land Berlin geförderte Projekt Smart Water, wofür wir uns herzlich bedanken.

6 Literatur

Wicke D, Matzinger A, Sonnenberg H, Caradot N, Schubert R-L, Dick R, Heinzmann B, Dünnbier U, von Seggern D, Rouault P. (2021) Micropollutants in Urban Stormwater Runoff of Different Land Uses. *Water* 13(9):1312.

Liu, M., Saracevic, E., Kittlaus, S. et al. (2023) Occurrence of PFAS in the catchment of the Upper Danube (PFAS-Belastungen im Einzugsgebiet der oberen Donau). *Österr Wasser- und Abfallw* 75, 503–514.

EGLE Michigan Department of Environment, Great Lakes, and Energy (2018) PFAS sampling quick reference field guide.

Toshovski, S., Kaiser, M., Fuchs, S., Sacher, F., Thoma, A., Kümmel, V. & Lambert, B. (2020) Prioritäre Stoffe in kommunalen Kläranlagen: Ein deutschlandweit harmonisiertes Monitoring. Umweltbundesamt.

Korrespondenz an:

Dr. Daniel Wicke
Grunewaldstraße 61-62, 10825 Berlin, Deutschland
Telefon: +49 30 53653 833
E-Mail: daniel.wicke@kompetenz-wasser.de