

PFAS in Feinstaubproben des Landes Salzburg



Erstellt von Michaela PORKERT
Anne KASPER-GIEBL

Durchführung Berichterstellung

Technische Universität Wien

Institut für Chemische Technologien und Analytik

Getreidemarkt 9/164 UPA

1060 Wien

Wien am 10.12.2025

Auftraggeber

Amt der Salzburger Landesregierung

Abteilung 5 Natur- und Umweltschutz, Gewerbe

Postfach 527 5010 Salzburg

Berichtnummer: CTA-EAC 08/25

Kurzfassung

Im Zeitraum von 10.Oktobe 2024 bis 12.Februar 2025 wurden an drei Standorten im Land Salzburg Feinstaubproben der PM₁₀ Fraktion gesammelt und in der Folge auf 10 Perfluorcarbonsäuren und 10 Perfluorsulfonsäuren untersucht. Diese Verbindungen stellen eine wichtige Untergruppe der großen Substanzklasse der Per- und Polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) dar. Sie werden sowohl direkt produziert und so in die Umwelt eingebracht als auch in der Umwelt als Abbauprodukte anderer PFAS gebildet. Die Messungen wurden an den Standorten Lamprechtshausen, Anthering und Flughafen Salzburg durchgeführt. Es wurden Tagesproben gesammelt.

Die Analyse der Filter als Wochenproben zeigte einige Gemeinsamkeiten zwischen den drei Messpunkten. Am häufigsten wurde PFBA nachgewiesen, gefolgt von PFPeA und PFHxA. Generell zeigten alle drei Stationen ähnliche zeitliche Verläufe der Konzentrationswerte. Im direkten Vergleich der drei Stationen innerhalb einer Kalenderwoche, lagen die Konzentrationswerte in Lamprechtshausen oft etwas über den zwei weiteren Stationen. In der am stärksten belasteten Woche wurde der maximale Konzentrationswert der Summe der Perfluorcarbonsäuren allerdings an der Station Flughafen Salzburg gemessen. Die bisherigen Messungen erlauben es nicht eine allgemeingültige Aussage zu einem Konzentrationsgradienten zwischen den Stationen abzuleiten.

Die Analyse ausgewählter Einzeltage bestätigt und erweitert das Bild, das bereits aus den Wochenproben abgeleitet wurde. An einzelnen Tagen konnten an den Stationen Lamprechtshausen und Flughafen Salzburg weiterer Komponenten, konkret PFHpA, PFOA, PFDoA und PFBS nachgewiesen werden. Interessant ist die Analyse einzelner Tage rund um den Jahreswechsel und damit der am stärksten belasteten Wochenprobe. Die höchsten Konzentrationswerte wurden bereits am 29.12.204 an der Station Salzburg Flughafen gemessen. In dieser Zeit unterscheiden sich die Konzentrationswerte und auch die Verteilungsmuster zwischen den Stationen am stärksten. Es wird deutlich, dass die Verteilung der analysierten Vertreter der PFAS durch mehrere Einflussgrößen bedingt ist und auf Basis der vorliegenden Messungen noch keine einheitlichen Trends abzuleiten sind.

Beim Vergleich der Messergebnisse aus Salzburg mit Angaben in der wissenschaftlichen Literatur ist zu beachten, dass die Studien im Hinblick auf die Analyten, die Messmethodik und die Zeiträume der Probenahme unterschiedlich ist. Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen entsprechend die in der vorliegenden Studie dargestellten Substanzen und deren Konzentrationsbereiche den Messergebnissen, die bisher für Europa beschrieben wurden.

Abkürzungsverzeichnis

\bar{x}	Mittelwert
ADONA	Ammoniumsalz der Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure (DONA)
ANTH	Anthering
Ar	Argon
c	Konzentration
ESI	Elektronen Spray Ionisation
EU	Europäische Union
FLUG	Flughafen Salzburg
FTOH	Fluortelomeralkohole
HV	High Volume
HPLC-MS/MS	High Performance Liquid Chromatographie Triple Mass Spectrometer
ITT	Ion Transfer Tube
KW	Kalenderwoche
LAMP	Lamprechtshausen
LWC	Flüssig Wasser Gehalt
M	Molmasse
m	Masse
Max	Maximale Konzentration
Min	Minimale Konzentration
n	Anzahl
N ₂	Stickstoff
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
PFAS	Poly- und Perfluorierte Alkylsubstanzen
PFBA	Perfluorbutansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFCA	Perfluorcarbonsäure
PFDA	Perfluordekansäure
PFDoA	Perfluordodekansäure
PFDoDS	Perfluordodekansulfonsäure
PFDS	Perfluordekansulfonsäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA	Perfluorononansäure
PFNS	Perfluorononansulfonsäure
PFOA	Perfluoroktansäure
PFOS	Perfluoroktansulfonsäure
PFPeA	Perfluorpentansäure
PFPeS	Perfluorpentansulfonsäure
PFSA	Perfluorsulfonsäure
PFTeDA	Perfluortetradekansäure
PFTrDA	Perfluortridekansäure
PFTrDS	Perfluortridekansulfonsäure
PFUnDA	Perfluorundekansäure
PFUnDS	Perfluorundekansulfonsäure
PM	Particulate Matter, Feinstaub
PU, PUF	Polyurethan Polyurethan Schaum
s	Standardabweichung
SSA	Sea Spray Aerosol
t	Zeit
V	Volumen
z	Ladung

INHALT

1	EINFÜHRUNG IN DIE AUFGABENSTELLUNG	1
1.1	PFAS	3
1.2	Feinstaub	5
2	METHODIK	6
2.1	Probenahme	6
2.2	Probenvorbereitung und Analytik	6
2.3	Blindwerte, Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze	8
3	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	9
3.1	Darstellung der Immissionssituation	9
3.2	Auswertungen der Wochenmittel	10
3.3	Auswertung der Einzeltage	13
3.4	Literaturvergleich	16
4	ZUSAMMENFASSUNG	18
5	LITERATUR	19
6	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	22
7	TABELLENVERZEICHNIS	23
8	ANHANG	24

1 Einführung in die Aufgabenstellung

Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind auch als „Ewigkeits-Chemikalien“ bekannt und in der Umwelt omnipräsent. Das zeigen umfassende Berichte und Ergebnisse von Umweltproben aus aller Welt (Abunada et al., 2020; Cordner et al., 2024). In Wasser- und Bodenproben sind PFAS bereits gut erfassbar. Die vermehrte Analysetätigkeit zeigt eine zunehmende Anzahl kontaminierten Flächen. PFAS zeigen industriell gut einsetzbare Eigenschaften, wie thermische und chemische Stabilität, hydrophobes und oleophobes Verhalten und Oberflächenaktivität. Dies hat zu einer starken Verbreitung in unterschiedlichen Industriezweigen und Branchen geführt. Es sind sowohl PFAS-Vorläufersubstanzen wie zum Beispiel PTFE oder PVDF zu berücksichtigen, als auch der direkte Einsatz von PFAS als Industriechemikalien. PFAS werden seit den 1940er Jahren verwendet und die Zahl der Anwendungen hat sich in den folgenden Jahrzehnten vervielfacht. Bei Gebrauch und auch bei der Entsorgung der Produkte können PFAS oder deren Vorläufersubstanzen freigesetzt werden. Die Stabilität und Reaktionsträgheit von PFAS in der Umwelt und in Organismen hat Persistenz zur Folge, was in weiterer Folge zur Bioakkumulation führen kann. Da Vertreter der PFAS auch toxisch sind, werden sie zu den besorgniserregenden Verbindungen gezählt. Aus allen diesen Gründen ist die Verwendung einzelner Verbindungen, wie beispielsweise PFOA, mittlerweile verboten (Stockholm Convention, 2024).

Der Industriepark Gendorf in Bayern beinhaltet einen Produktionsstandort des Betriebes 3M (Dyneon). 3M zählt neben DuPont zu den größten PFAS-Produzenten weltweit (Harrad, 2010). Es ist bekannt, dass PFOA von 1968 bis 2003 an diesem Standort produziert und mindestens bis 2008 verwendet wurde (LfU Bayern, 2025). Im Jahr 2006 wurden erhöhte Konzentrationswerte von PFOA (500 – 800 ng/L) in Grund- und Trinkwasser des Einzugsgebietes der Alz und dem Raum Gendorf gefunden (LGL Bayern, 2023a). 2008 wurde PFOA durch ADONA ersetzt. ADONA, das Ammoniumsalz der Perfluor-4,8-dioxa-3H-nonansäure (DONA), zählt ebenso zu der Gruppe der PFAS. Häufig findet es Anwendung als Emulgator bei der Herstellung von Fluorpolymeren. ADONA erfüllt die notwendigen Prozessanforderungen und kann laut Unternehmen (3M) zu 95% im Kreislauf geführt werden (LGL Bayern, 2023b). Im Raum Gendorf sollte so die Immission von PFOA erheblich reduziert werden, was in der Studie des (LGL Bayern, 2023a) auch gezeigt werden konnte.

Bereits 2008 wurden Versuche unternommen die PFAS-Belastung in der Umgebung von Gendorf in verschiedenen Umweltmatrices zu erfassen (Körner et al., 2012). Auch deponierte Stäube wurde mittels Bergerhoff-Bechern über eine Beprobungszeit von 28 Tagen von Februar bis August an fünf Messstationen auf 11 PFAS untersucht. Dabei konnten PFOA-Einträge von 70 bis zu 6609 ng/(m²*d) erfasst werden. PFOA zeigte die höchsten Konzentrationen gefolgt von analogen Perfluorcarbonsäuren wie PFHpA und PFHxA, Perfluorsulfonsäuren konnten nicht nachgewiesen werden. Im Vergleich zum städtischen Hintergrund ohne bekannte Punktquelle lagen die PFOA-Konzentrationen um das Fünffache höher. 2010 wurde eine weitere Versuchsreihe an denselben Messstationen durchgeführt (Ulman et al., 2012). Die Beprobungszeit wurde auf 14 Tage verringert, sonst wurden die Messungen analog zu der Messserie im Jahr 2008 durchgeführt. Die PFOA-Belastung zeigte zwei Jahre nach dem Wechsel von PFOA auf ADONA eine erhebliche Reduktion, mit Einträgen von 3.3 - 105 ng/(m²*d) PFOA. ADONA hingegen wurde an jener Messstelle (Bruck), die zwei Jahre zuvor besonders stark mit PFOA belastet war, in Konzentrationen von 258 – 2444 ng/(m²*d) detektiert. Die sinkenden PFOA-Konzentrationen deuten hier nicht zwingend auf einen raschen Abbau von PFOA hin, sondern auf die Reduktion der lokalen Emissionen, verbunden mit einer weiteren Verteilung in der Umwelt.

2015 und 2016 wurden 396 Blutplasmauntersuchungen der ansässigen Bürger durchgeführt, um die PFAS-Immissionen abzuschätzen (Fromme et al., 2017). Die Untersuchungen zeigten nur in einzelnen Proben ADONA Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze von 0.2 µg/L, jedoch noch immer erhöhte Konzentrationen an PFOA mit 85.5 µg/L bei Betroffenen nahe an der Produktionsstätte, während die Kontrollgruppe PFOA Konzentrationen bis zu 2.4 µg/L im Blutplasma erreichte. Auch PFOS konnte im Blutplasma mit Konzentrationswerten bis zu 13.5 µg/L, PFNA mit 3.0 µg/L und PFHxS mit bis zu 1.5 µg/L gefunden werden. In einer Untersuchung flussabwärts der Alz wurden Kontaminationen entlang des Donauufers entdeckt, die mit den Emissionen des Industrieparks in Verbindung gebracht wurden (Liu et al., 2023). Allerdings wird betont, dass die erreichten Frachten nicht allein auf den Zulauf der Alz zurückzuführen sind und auch Kläranlagenabläufe wirksam werden. ADONA, welches vermutlich aus dem Zustrom der Alz stammte, erreichte bei den Untersuchungen die höchste mittlere Konzentration von 10 ng/L. PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA und PFBS, PFHxS, PFOS und GenX wurden in den meisten Proben über der Bestimmungsgrenze gefunden, lagen aber im Mittel unter der Konzentration von ADONA.

Die Folgen der Produktion und der Anwendung von PFAS konnten auch in Österreich nachgewiesen werden. Zwischen 2021 und 2024 wurde in Oberösterreich (Trinkwasseraufsicht des Landes OÖ, 2025) ein umfangreiches Trinkwasser Screening auf den Summenparameter PFAS-20 durchgeführt. Mit dem Summenparameter PFAS-20 werden die Alkylsäuren mit einer Kettenlänge C4 bis C13 zusammengefasst, wobei sowohl Perfluorcarbonsäuren als auch Perfluorsulfonsäuren berücksichtigt werden. Die EU Trinkwasserrichtlinie gibt einen Grenzwert von 0.1 µg/L für die Summe dieser 20 PFAS in Trinkwasser an. Bei 19 von gesamt 555 Proben wurden Überschreitungen des Grenzwertes von 0.1 µg/L PFAS-20 festgestellt, wobei alle Überschreitungen im an Bayern angrenzende Mühlviertel gefunden wurden, (Land Oberösterreich, 2025a). Der Großteil der untersuchten Proben (74% der Proben) zeigte Konzentrationswerte unter der Bestimmungsgrenze. PFOA wurde am häufigsten über der Bestimmungsgrenze erfasst, gefolgt von PFBA, PFBS, PFHxA, PFPeA, PFOS, PFHpA, PFHxS und zuletzt PFPeS. Alle anderen gemessenen PFAS wurden in den untersuchten Proben nie über der Bestimmungsgrenze erfasst.

Seit 2009 wurden in Bayern flächendeckend Untersuchungen von Lebensmitteln tierischen Ursprungs der beiden Leitsubstanzen PFOA und PFOS durchgeführt (Knapp and Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2022). Im Landkreis Altötting wurden besonders hohe Konzentrationswerte in Wildschweinfleisch erfasst. In anderen Wildtieren wie Rehen, Enten und Hasen wurden geringere Konzentrationen festgestellt. Man geht davon aus, dass es an der Ernährung von Wildschweinen liegt, die vorrangig im Boden wühlen, um Nahrung aufzuspüren und dabei sehr viel Erde mit der Nahrung aufnehmen. Aufgrund der Erkenntnisse des Land Bayerns wurden auch im angrenzenden Bezirk Braunau in Oberösterreich umfangreiche Untersuchungen zum Auftreten von PFAS in Wildfleisch durchgeführt (Land Oberösterreich, 2025b). Die verantwortliche Firma Dyneon hat sich bereiterklärt für „verseuchte“ Tiere aufzukommen (OÖ Landes Jagd Verband, 2025).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass für Österreich bereits Berichte zur Messung von PFAS in Wasser (Liu et al., 2023; Trinkwasseraufsicht des Landes OÖ, 2025) und Nahrungsmitteln (AGES, 2025; Land Oberösterreich, 2023) vorliegen. Über das Auftreten von PFAS, speziell der zuvor angesprochenen Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäuren (PFAS-20), in Aerosolproben gibt es noch keine Angaben.

Im Zuge des vorliegenden Projektes war zu untersuchen, in welchen Konzentrationswerten ausgewählte PFAS in Feinstaubproben (PM_{10}) aus Salzburg gefunden werden. Da die zuvor beschriebenen Messungen den Industriepark Gendorf im Raum Altötting bereits als Emissionsquelle für PFAS identifizierten, wurden drei Standorte mit zunehmender Entfernung zum Industriepark ausgewählt. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Messpunkte. Lamprechtshausen (LAMP) stellt dabei die zum Industriepark nächstgelegene Messstelle dar. Anthering (ANTH) liegt etwas weiter südlich, die unmittelbare Umgebung des Messpunktes kann als ländlicher Hintergrund beschrieben werden. Der Messpunkt Flughafen Salzburg (FLUG) ist am weitesten vom Industriepark entfernt. Gleichzeitig befindet sich bei diesem Messpunkt eine Altlast, aufgrund eines ehemaligen Feuerwehrübungsortes (Umweltbundesamt, 2022). Die Messungen wurden im Zeitraum von 10.10.2024 bis 11.2.2025 durchgeführt.

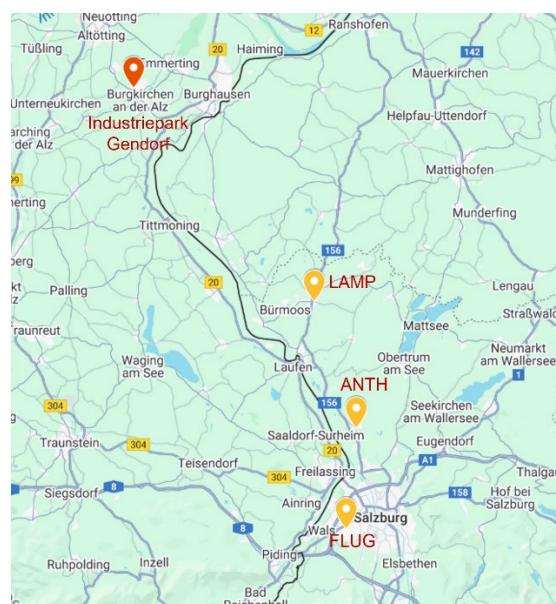


Abbildung 1: Karte der drei Messstellen Lamprechtshausen (LAMP), Anthering (ANTH) und Flughafen Salzburg (FLUG) und dem Industriepark Gendorf

1.1 PFAS

Bei den Per- und Polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) oder „Ewigkeits-Chemikalien“ handelt es sich um eine große Gruppe an menschgemachten Substanzen mit verschiedenen Anwendungsgebieten. Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) definiert PFAS als fluorierte Substanzen, die mindestens ein komplett fluoriertes Kohlenstoffatom besitzen (Wang et al., 2021). Laut OECD und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) sind mehr als 4 700 Verbindungen bekannt, welche eine registrierte CAS. Nummer besitzen. Dazu kommen noch Abbauprodukte und Isomere die bei dieser Aufzählung nicht zwingend enthalten sind und die Anzahl nochmals drastisch erhöhen. Untersuchungen mittels non-target Analyse haben gezeigt, dass es zahlreiche weitere Verbindungen gibt, welche die PFAS-Kriterien erfüllen, allerdings nicht registriert und gelistet sind(OECD, 2024).

Die große Anzahl an Verbindungen geht mit einem breiten Einsatz von PFAS in der Industrie einher. PFAS kommen in den unterschiedlichsten Formen und Kettenlängen vor. Abbildung 2 enthält ein paar Strukturbespiele für einige PFAS-Spezies. Je nach Anzahl der Verzweigungen, Ringe, Kettenlänge oder funktioneller Gruppe variieren die Eigenschaften der Einzelsubstanzen.

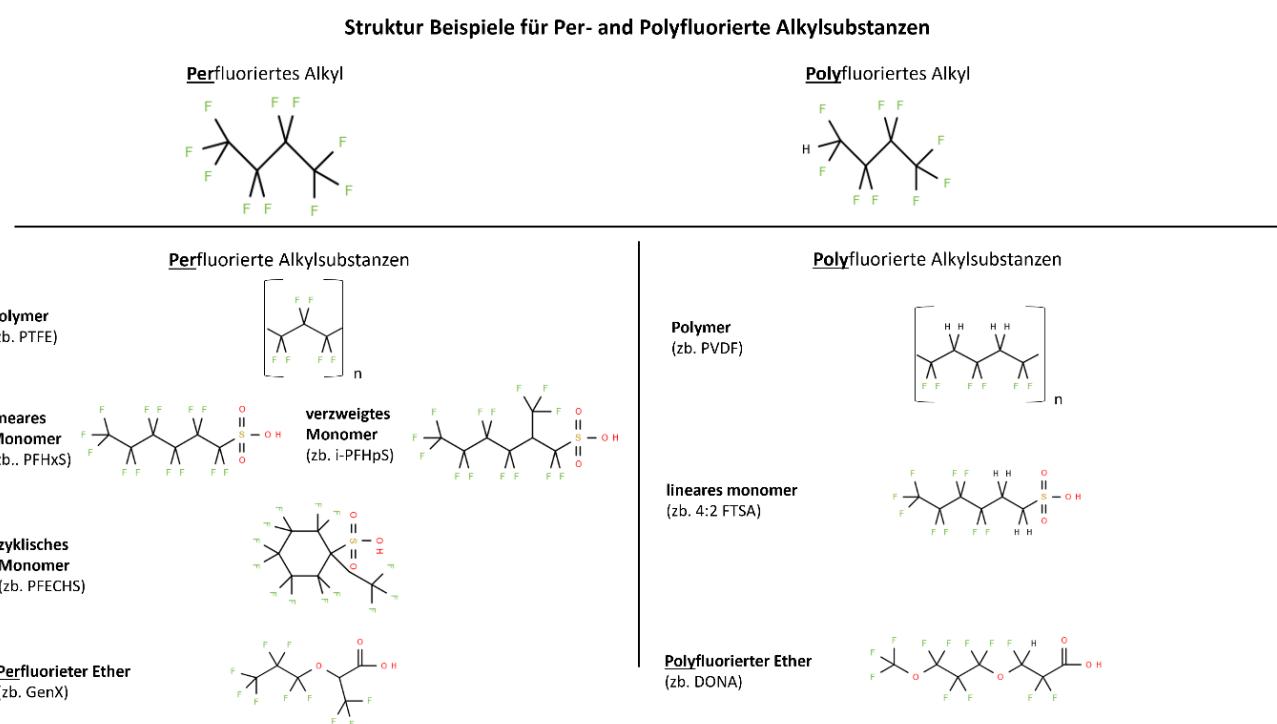


Abbildung 2: Strukturbespiele PFAS nach (Kaiser, 2022)

Die Eigenschaften der PFAS werden größtenteils von den Kohlenstoff-Fluor Bindungen bestimmt. Kohlenstoff-Fluor-Bindungen zeichnen sich durch eine hohe Bindungsenergie aus, was zu einer hohen chemischen und thermischen Stabilität der Moleküle führt. Durch ihren Aufbau sind PFAS gut wasserlöslich, wobei diese Fähigkeit mit steigender Anzahl an Verzweigungen und der Kettenlänge des Kohlenstoffgerüsts, in Abhängigkeit von den enthaltenen funktionellen Gruppen, abnimmt. Aufgrund aller dieser Eigenschaften sind PFAS unter Umweltbedingungen langlebig, oberflächenaktiv und mobil. Viele verfügbare Daten zu den physikalischen und chemischen Eigenschaften sind von der Struktur abgeleitet. Die Ermittlung empirischer Daten ist schwierig, da die Anzahl der Verbindungen sehr groß ist, oft nur sehr geringen Substanzmengen in hoher Reinheit vorliegen, die Verbindungen extremen Eigenschaften aufweisen und einzelne Verbindungen sowohl als Salze als auch als Säuren vorliegen können.

Aufgrund der gut modifizierbaren und speziellen Eigenschaften der PFAS ergab sich seit der Einführung der Chemikalien ein großes Feld an Einsatzmöglichkeiten. Besonders Oberflächenapplikationen nehmen einen hohen Stellenwert ein, egal ob als Hilfsmittel bei Beschichtungsverfahren, wie in der Halbleiterindustrie, oder als Beschichtungsbestandteil selbst, wie bei Outdoorkleidung oder Antihafbeschichtungen. Weiters finden PFAS in der Kosmetikindustrie, im Haushalt, bei Lebensmittelverpackungen, Skiwachsen oder auch in Flammenschutzmitteln Einsatz. Sowohl bei der Herstellung, Verwendung als auch bei der Entsorgung betreffender Produkte können PFAS in die Umwelt freigesetzt werden.

Ein Großteil der bekannten mit PFAS kontaminierten Flächen und Verdachtsflächen in Europa liegt in Deutschland, den Niederlanden und Dänemark (Cordner et al., 2024). Den Hauptteil machen Produktionsstätten von PFAS oder PFAS enthaltenden Produkten, sowie Flugplätze und Feuerlöschübungsplätze aus.

Perfluorierte Alkylsäuren umfassen sowohl Carbonsäuren als auch Sulfonsäuren und stellen eine wichtige Untergruppe der PFAS dar, da sie Verbindungen umfassen, die für den direkten Gebrauch hergestellt wurden und auch Abbauprodukte anderer PFAS sind (Kolanczyk et al., 2023). Alkylsäureverbindungen haben sehr niedrige pK_s Werte (z.B. PFOA - 0.2 bis 2.8) und liegen unter Umweltbedingungen vorwiegend dissoziert vor (Interstate Technology Regulatory Council - ITRC, 2020). In dissoziierter Form sind PFAS aufgrund der geringen Flüchtigkeit vorwiegend in der Partikelphase zu finden. Daher ist es zulässig bei ersten Messungen zur Erfassung der genannten Alkylsäuren in der Atmosphäre nur die Partikelphase zu berücksichtigen.

Über die Dauer des Verbleibs in der Umwelt gibt es unterschiedliche Daten. Sehr oft ist die Halbwertszeit in der Atmosphäre geringer als in anderen Umweltbereichen. Für PFOA geht man von einer Verweilzeit in der Atmosphäre von etwa 130 Tagen aus, während die Halbwertszeit in der Umwelt mit über 92 Jahren geschätzt wird und die Substanz damit als nahezu nicht abbaubar gilt. Je nach Umweltmedium und Umgebungsbedingungen variieren die Angaben deutlich (Vierke et al., 2012). Es gibt Studien dazu, dass einige Mikroorganismen in der Lage sind, höher molekulare PFAS zu persistenten Alkylsäuren abzubauen, allerdings ist über den Mechanismus noch recht wenig bekannt, zudem ist auch der weitere Weg von PFAS in der Umwelt derzeit unbekannt (Kolanczyk et al., 2023).

Für die vorliegende Studie wurden 20 perfluorierte Alkylsäuren ausgewählt, die auch in der EU-Trinkwasserrichtlinie (Richtlinie (EU) 2020/2184) gelistet sind. Die getroffene Auswahl ist in Tabelle 1 aufgelistet. Die Verbindungen PFOS und PFOA werden oft als Leitsubstanzen betrachtet, da sie in der Vergangenheit ein breites Anwendungsgebiet erfahren haben. Da perfluorierte Alkylsäuren in der Natur vorwiegend dissoziert oder als Salz vorliegen, ist die Probenahme der partikelgebundenen Form der Verbindungen über Filtermessungen möglich.

Tabelle 1: Auflistung der untersuchten Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren

C-Kettenlänge	Abkürzung	Verbindung
4	PFBA	Perfluorbutancarbonsäure
5	PFPeA	Perfluorpentancarbonsäure
6	PFHxA	Perfluorhexancarbonsäure
7	PFHpA	Perfluorheptancarbonsäure
8	PFOA	Perfluoroktancarbonsäure
9	PFNA	Perfluorononancarbonsäure
10	PFDA	Perfluordekancarbonsäure
11	PFUnDA	Perfluorundekancarbonsäure
12	PFDoA	Perfluordodekancarbonsäure
13	PFTrDA	Perfluortridekancarbonsäure
4	PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
5	PFPeS	Perfluorpentansulfonsäure
6	PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
7	PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
8	PFOS	Perfluoroktansulfonsäure
9	PFNS	Perfluorononansulfonsäure
10	PFDS	Perfluordekansulfonsäure
11	PFUnDS	Perfluorundekansulfonsäure
12	PFDoDS	Perfluordodekansulfonsäure
13	PFTrDS	Perfluortridekansulfonsäure

1.2 Feinstaub

Feinstaub bezeichnet sowohl kleine feste Partikel als auch flüssige Tröpfchen, die in der Luft suspendiert sind. Aufgrund ihrer geringen Größe können Feinstaubpartikel gut in die Atemwege und damit in die Körper von Menschen und Tieren eindringen. Die Größe der Partikel bestimmt die Eindringtiefe, kleinere Partikel können tiefer in die Atemwege eindringen. Mit Feinstaub in Verbindung gebrachte Gesundheitsrisiken sind Probleme mit dem respiratorischen System, wie Husten, Asthma, chronische obstruktive Lungen Krankheit (COPD) oder auch Lungenkrebs und negative Effekte am Herzmuskel, was mit einer erheblichen Reduktion der Lebenserwartung einherkommt (Loaiza-Ceballos et al., 2022; WHO, 2025). Je nach Größe der Partikel werden unterschiedliche Staubfraktionen unterschieden. PM₁₀ umfasst alle Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser bis zu 10 µm.

Für die Massenkonzentration von PM₁₀ und einzelne Inhaltsstoffe sind Grenzwerte definiert (Umweltbundesamt, 2025). Derzeit gibt es noch keine Regulationen für PFAS als Inhaltsstoffe von Feinstaub.

Eine gängige Methode zur Analyse von PFAS in Feinstaub ist die Probenahme der Stäube auf Filtern, gefolgt von einer chemischen Analyse dieser Filter. Zur Probenahme können sowohl High Volume Sammler (HV), aber auch Low Volume (LV) Sammler eingesetzt werden.

Bei diesem Projekt wurde ausschließlich die Partikelphase (Feinstaub) beprobt. Die betrachteten 20 PFAS sind starke Säuren und liegen daher unter Umweltbedingungen dissoziiert und damit vornehmlich in der Partikelphase vor (Arp and Goss, 2008; Ulman et al., 2012). Allgemein stellen die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und natürlich der pH-Wert wichtige Einflussgrößen zur Phasenverteilung der Analyten dar. Bei hohen Temperaturen neigen PFAS weniger zur Adsorption an Partikelloberflächen. Auch die Luftfeuchtigkeit und der Flüssigwassergehalt (LWC) der Atmosphäre beeinflussen die Aufnahme der PFAS an feuchten Oberflächen, sowie in Tröpfchen (Faust, 2022). Die Vielzahl an per- und polyfluorierten Verbindungen erschwert die Entwicklung einer universellen Methode zur Sammlung und Analyse einer großen Anzahl an Analyten. Oft werden Analyten entsprechend ihrer Eigenschaften gruppiert, um diese gemeinsam und angemessen zu sammeln und zu analysieren.

Es besteht die Möglichkeit der separaten Sammlung der Gasphase, indem zusätzlich zu einem Filter ein Adsorbens, wie zum Beispiel Polyurethanschaum (PU-Schaum), eingesetzt wird. Volatile und semivolatile PFAS können bei der Sammlung auf schwachen Adsorbenzen verloren gehen und zu einem Niederbefund führen. Lange Sammelzeiten und höhere Umgebungstemperaturen verstärken diesen Effekt (Arp and Goss, 2008; Faust, 2022; Ulman et al., 2012). Bei einem Vergleich unterschiedlicher Filtermaterialien wurde gezeigt, dass die Adsorption an Glasfaserfiltern unter Umgebungsbedingungen reversibel ist und dies zu Verlusten an Analyten führen kann (Arp and Goss, 2008). PTFE, ein weiteres gängiges Filtermaterial, ist für die Sammlung von PFAS gänzlich ungeeignet, da es eine Vorläufersubstanz der Analyten darstellt.

2 Methodik

2.1 Probenahme

Die Probenahme der Staubfraktion PM₁₀ erfolgte im Zeitraum von 10.10.2024 bis 11.2.2025 an den Standorten Lamprechtshausen (LAMP), Anthering (ANTH) und Flughafen Salzburg (FLUG), die bereits in Abbildung 1 gezeigt wurden. Es wurden Tagesproben mit einem High Volume Digitel Sammler (Digitel Elektronik AG) auf Quarzfaserfilter (CYTIVA PALL, TISSUQUARTZ 2500 QAT-UP 150mm) gesammelt. Die Proben wurden gefroren gelagert und monatlich ungekühlt an die TU Wien geschickt. Die Tagesproben wurden nach Kalenderwochen zu 19 Wochenproben gepoolt, um einen Verlauf der Konzentrationswerte darzustellen. Weiters wurden 15 Tagesproben analysiert.

2.2 Probenvorbereitung und Analytik

Eine definierte Menge des Filtermaterials wurde ausgestanzt und mit Wasser und Methanol (1:1) im Ultraschallbad extrahiert. Der Extrakt wurde über ein 0,45 µm Spritzenvorsatzfilter filtriert und anschließend zentrifugiert. Der Überstand wurde durch Zugabe von konzentrierter Essigsäure auf einen pH-Wert <3 eingestellt und mit einem internen Standard versetzt. Die gelösten Carbon- und Sulfonsäuren wurden anschließend mittels Koppelung von Flüssigchromatographie und Massenspektrometrie (HPLC-MS/MS Vanquish Duo Altis Plus, Thermo Fisher Scientific) aufgetrennt und quantifiziert. Die Quantifizierung erfolgte über externe Standards, als Standardreihe von 0.5 bis 100 ng/L.

Abhängig von ihrer Polarität neigen PFAS zur Anlagerung an Grenzflächen. Dadurch kommt es speziell bei den langketigen PFAS (>C9) zu sogenannten „Wandeffekten“. Damit bezeichnet man die physikalischen Vorgänge der Anlagerung der PFAS an Gefäßwände und einen damit einhergehender Unterbefund der Analytkonzentration. Um den resultierenden Fehler zu korrigieren, wurden C-13 dotierte interne Standardsubstanzen verwendet. So konnten etwaige matrixbedingte Verluste ausgeglichen werden. Die Zuordnung der verwendeten dotierten Standards zu den Analyt-Standards und eine Liste der untersuchten Massen und zugehörigen Fragmente sowie die Retentionszeiten und Einstellungen für die Detektion sind im Anhang unter Tabelle A 1. zu finden.

Angaben zu den verwendeten Reagenzien und Verbrauchsmaterialien befinden sich in Tabelle 2. Die Parameter zur Analytik sind Tabelle 3 und Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 2: Übersicht verwendeter Reagenzien und Verbrauchsmaterialien

Reagenz/ Verbrauchsmaterial	Bezeichnung	Hersteller	Qualität/Material
Wasser	LC-MS Ultra CHRO-MASOLV™ 14263-2L	Honeywell Riedel-de Haen	UHPLC-MS
Methanol	A458-1 Methanol	Thermo scientific	UHPLC-MS 0.1µm filtriert
Essigsäure	Essigsäure ROTIPURAN ® 100% p.a.	Carl Roth GmbH + Co. KG	100% p.a.
Standard 20 PFAS, 2µg/mL Mixstandard	5813/20PFAS Native Solution/Mixture EU-5813-NSS	Wellington Laboratories	ISO Certified ISO/IEC 17025, ISO17034, ISO9001
Interne Standard Lösung 500ng/mL	EPA Method 533 Isotope Dilution Standard PDS EPA-533ES	Wellington Laboratories	ISO Certified ISO/IEC 17025, ISO17034, ISO9001
Zentrifugenröhren 15 mL	Art. Nr. 7696712	Th.Geyer GmbH & Co. KG	PP
HPLC-Vial N9 1.5mL	REF 702500	Macherey-Nagel GmbH & Co. KG	PP
HPLC-Vial Schraubkappe N9	Part Nr. 702402	Macherey-Nagel GmbH & Co. KG	Silikon/Polyimide
0.45 µm Spritzenvorsatzfilter	6757-1304 Whatman Puradisc 13	Cytiva	PP/RC
Einweg Spritze 10 mL	Luer Lock Solo Ref 4617100V	Omnifix®	PP

Tabelle 3: Chromatographie Parameter

Parameter	
Verzögerungssäule	2 mal 2.1x 50 mm C18
Vorsäule	2.1x 20 mm C18
Trennsäule	2.1x 100 mm C18
Laufmittel	Wasser/Methanol Gradient von 0-100% mit Ammoniumacetat und Essigsäure Puffer
Säulenofen Temperatur	40 °C
Injektionsvolumen	250 µL
Fluss	0.4 mL/min
Laufzeit	25 min

Tabelle 4: Massenspektrometer Parameter

Parameter	
Ionen Quelle	H-ESI
Spray Spannung	Statisch
Spannungs Modus	Negativ
Spannung	1000 V
Sheat Gas (Arb)	40
Auxillary Gas (Arb)	10
Ion Transfer Tube Temperatur	200 °C
Ion Vaporizer Temperatur	300 °C
Auflösung FWHM	0.7
CID Gas (mTorr)	2.5
Kollision Gas	Argon

2.3 Blindwerte, Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze

Aufgrund der geringen Konzentrationswerte der PFAS in Umweltproben und der breiten Anwendungsbereiche einzelner PFAS ist es äußerst wichtig Blindwerte darzustellen. Um mögliche Querkontaminationen und Überbefunde zu vermeiden, wurde wie folgt vorgegangen:

1. Untersuchung von unbeprobenen Filtern zur Darstellung von Blindwerten im Filtermaterial, in Reagenzien oder den verwendeten Labormaterialien; Bestimmung der Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze der Methode
2. Laufende Überprüfung von Feldblindwerten

Zur Bestimmung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze wurden 10 Aliquote der unbeprobenen Filter analog zu den Messfiltern extrahiert und analysiert. Diese Mehrfachbestimmung bildet die Basis für die Berechnung der Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze der Methode nach der Leerwert-Methode, das heißt anhand der Standardabweichung s der Ergebnisse der Mehrfachanalyse. Die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 angeführt. Für die Komponenten, die in den Extrakten der unbeprobenen Filtern keine Messwerte zeigten, wurden die Nachweis- und Erfassungsgrenzen aus den Parametern der Kalibrationsfunktionen berechnet. Die Angaben in pg/m³ wurden über ein theoretisches Luftvolumen von 720 m³ berechnet.

$$\text{Nachweisgrenze (LOD):} \quad s * 3 = LOD$$

$$\text{Bestimmungsgrenze (LOQ):} \quad s * 9 = LOQ$$

Tabelle 5: Nachweis- und Bestimmungsgrenze (LOD und LOQ) für zehn Perfluorcarbonsäuren

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTrDA
LOD pg/m ³	0.08	0.070	0.18	0.050	0.070	0.060	0.10*	0.16*	0.21*	0.21*
LOQ pg/m ³	0.24	0.22	0.53	0.15	0.22	0.17	0.23*	0.39*	0.49*	0.49*

*über Kalibrationsgerade bestimmt; weitere Angaben über Leerwert-Methode bestimmt

Tabelle 6: Nachweis- und Bestimmungsgrenze (LOD und LOQ) für zehn Perfluorsulfonsäuren

	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoS	PFTrDS
LOD pg/m ³	0.020	42.1	0.090	0.030	0.11*	0.060*	0.11*	0.13*	0.18*	0.21*
LOQ pg/m ³	0.070	126	0.28	0.10	0.27*	0.15*	0.27*	0.31*	0.42*	0.49*

* über Kalibrationsgerade bestimmt; weitere Angaben über Leerwert-Methode bestimmt

Auch bei der Probenahme, der Lagerung und dem Versand der Proben besteht die Gefahr der Kontamination. Um dies erkennen zu können, wurden an allen Standorten Feldblindwerte (FBW) entnommen. Feldblindwerte durchlaufen denselben Prozess, den auch die Probenfilter durchlaufen, mit Ausnahme der direkten Exposition. Pro Messpunkt und zweiwöchigem Intervall der Probenahme wurde ein Feldblindwert mitgeführt und ausgewertet. Die Ergebnisse der Probenfilter wurden mit den jeweiligen Feldblindwerten korrigiert. Bei den Feldblindwerten lag nur die Konzentration von PFBA über dem LOQ, sowie die Konzentration von PFBS über dem LOD der Methode. In beiden Fällen zeigten die Feldblindwerte über den gesamten Messzeitraum nur geringe Schwankungen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Darstellung der Immissionssituation

Während des Beobachtungszeitraums wurden an den drei Messpunkten in Salzburg Tagesmittel der PM₁₀-Konzentration im Bereich von 1.8 bis 50.3 µg/m³ gemessen. Abbildung 3 zeigt den Konzentrationsverlauf der Staubkonzentration zwischen dem 10.10.2024 und dem 11.02.2025 an allen 3 Standorten. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Kalenderwochen eingetragen, für die in der Folge Mittelwerte bestimmt wurden.

Der Verlauf der PM₁₀-Konzentrationswerte über den Projektzeitraum war an allen drei Stationen ähnlich. Die genauere Betrachtung zeigt, dass an einigen Tagen an den Messstellen Lamprechtshausen (LAMP) oder auch Flughafen (FLUG) höhere Konzentrationswerte gemessen wurden als in Anthering (ANTH). Dies gilt besonders für den Jahreswechsel. Von Kalenderwoche 5 zu Kalenderwoche 6 stiegen die Messwerte an allen Stationen deutlich an und erreichten am 10. Februar 2025 mit 40.4 bis 50.3 µg/m³ die höchsten Werte innerhalb des Beobachtungszeitraumes. Diese Zunahme der Staubkonzentration war durch den Ferntransport von Mineralstaub bedingt.

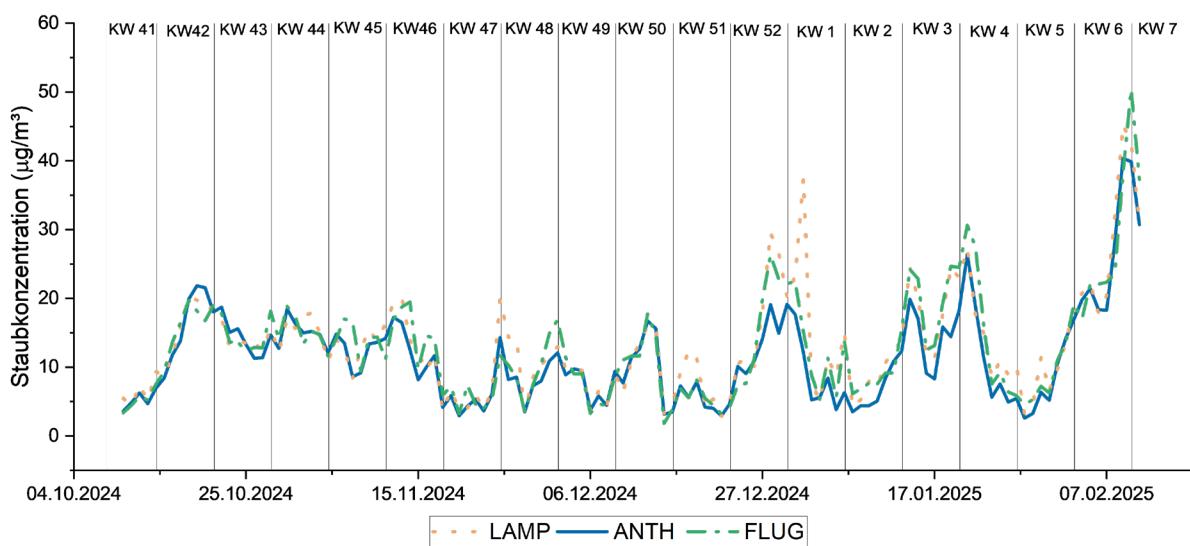


Abbildung 3: Übersicht der Staubkonzentration in µg/m³ über den gesamten Projektzeitraum (KW41-KW7) an den 3 Messstandorten Lamprechtshausen (orange), Anthering (blau) und Flughafen Salzburg (grün)

Die drei untersuchten Standorte wurden auch hinsichtlich der Lufttemperatur und der relativen Feuchte verglichen. Die geringsten Temperaturen variierten von -7.1 °C (LAMP) bis -6.8 °C (ANTH) und erreichten Höchstwerte von 22 °C (ANTH) bis 24.9 C (FLUG). Die relative Luftfeuchtigkeit lag zwischen 31 % (ANTH & FLUG) sowie 37 % (LAMP) und 96 % (FLUG) sowie 97 % (LAMP & ANTH).

3.2 Auswertungen der Wochenmittel

Wie in Tabelle 1 dargestellt, umfasst der Analysenumfang 10 Perfluorcarbonsäuren (PFCAs) und 10 Perfluorsulfonsäuren (PFSAs). In den folgenden Abbildungen werden nur Messwerte gezeigt, die über der Bestimmungsgrenze liegen und damit quantifizierbar sind. Entsprechend sind in Abbildung 4 nur die Perfluorcarbonsäuren dargestellt, da die Konzentrationswerte der Perfluorsulfonsäuren bei der Analyse der Wochenproben immer unter der Bestimmungsgrenze lagen. Die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen sind in Abschnitt 2.3 angeführt. Die Summe der Perfluorcarbonsäuren (Σ PFCAs) erreichen Werte bis zu $7 \text{ pg}/\text{m}^3$, wobei dieser Maximalwert um den Jahreswechsel bestimmt wurde.

Abbildung 4 zeigt, dass in nahezu allen Proben PFBA bestimmt wurde. PFBA ist eine kurzkettige Perfluorcarbonsäure, und stellt ein häufiges stabiles Abbauprodukt von höhermolekularen PFAS und Vorläufersubstanzen dar. Ein direkter Einsatz in der Industrie ist nicht bekannt, allerdings ist die Anwendung in Feuerlöschschäumen, Antihaltbeschichtungen oder als Hilfsmittel bei Antihaltbeschichtungen nicht auszuschließen (Buck et al., 2011). In den ersten vier Messwochen waren die Konzentrationswerte von PFBA geringer als im weiteren Verlauf der Messungen. In acht der 19 Messwochen war auch PFPeA quantifizierbar. In der Hälfte der Fälle wurde PFPeA dann an allen drei Standorten erfasst, sonst zumindest an zwei der Messpunkte, wobei die Station Lamprechtshausen immer betroffen war. In vier Wochen wurde auch PFHxA nachgewiesen, dann zum Teil in höheren Konzentrationen als PFBA. Der erste Zeitabschnitt, in dem mehrere Perfluorcarbonsäuren nachweisbar waren, umfasst die Kalenderwochen 45 und 46 des Jahres 2024. Der zweite Zeitabschnitt umfasst Kalenderwoche 52 und Kalenderwoche 1 des Jahres 2025.

Vergleicht man die Stationen untereinander, so sind sowohl hinsichtlich der Anzahl der bestimmten PFCAs als auch hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs der Konzentrationswerte einige Gemeinsamkeiten zu erkennen. Meist weist die Station Lamprechtshausen die höchsten Konzentrationswerte auf. Diese Station liegt am weitesten nördlich und am nächsten zur Landesgrenze nach Deutschland. Betrachtet man den weiteren Konzentrationsverlauf Richtung Süden so ist kein einheitlicher Trend zu erkennen. Teilweise nehmen die Konzentrationswerte von Norden nach Süden ab, teilweise werden an der mittleren Station, Anthering, die geringsten Konzentrationswerte gemessen. In zwei Wochen wurden an der Station Flughafen höhere Konzentrationswerte bestimmt als in Lamprechtshausen. Eine dieser Wochen ist Kalenderwoche 1 des Jahres 2025, die an allen Stationen die höchsten Konzentrationswerte für PFCAs zeigt.

Abbildung 4 zeigt, in Ergänzung zu den mit Balken dargestellten Konzentrationswerten der PFCAs, auch die Staubkonzentration der PM_{10} -Fraktion. Es ist klar zu erkennen, dass kein Zusammenhang zwischen der PM_{10} -Konzentration und den Konzentrationswerten der untersuchten PFAS besteht. PFAS sind im Feinstaub nur als Spurenkomponenten enthalten. Die erhöhten PFAS-Konzentrationswerte in KW 46, KW 52 und KW 1 gehen nicht mit den Wochen mit den höchsten Konzentrationswerten an Feinstaub (PM_{10}) einher.

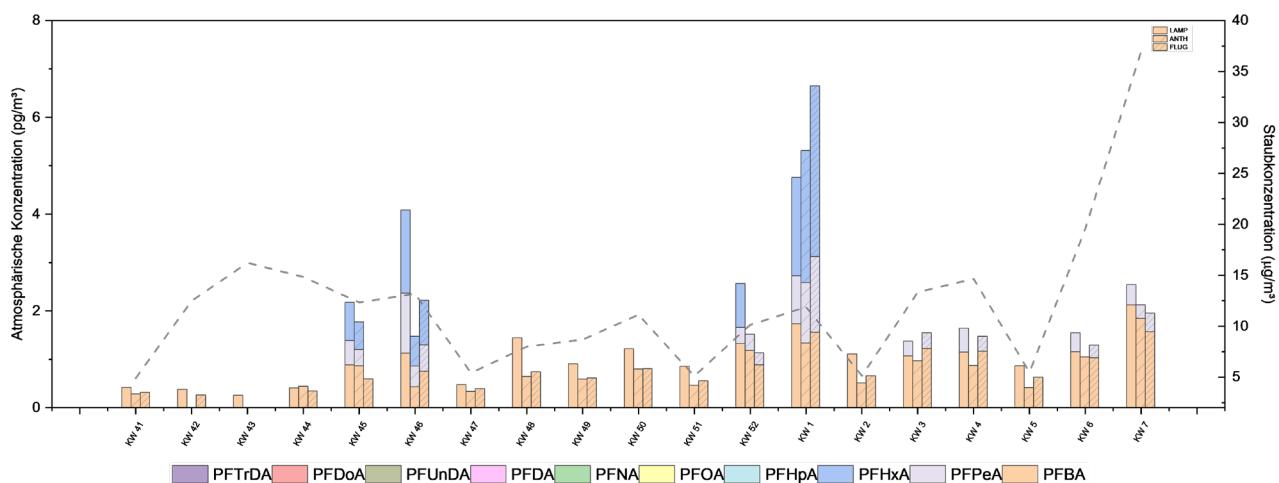


Abbildung 4: Konzentrationen der 10 Perfluorcarbonsäuren Beladung in pg/m^3 über der LOQ nach KW für die drei Standorte LAMP, ANTH und FLUG (v.l.n.r.) inklusive gemittelter Staubkonzentration

Ergebnisse zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze sind in Abbildung 4 nicht dargestellt, aber in den Gesamtergebnissen im Anhang in den Tabelle A 3 bis Tabelle A 5 aufgelistet.

Tabelle 7 zeigt einen Überblick über alle Analysenergebnisse mit Konzentrationswerten über der Nachweisgrenze. Es sind die Mittelwerte, Standardabweichungen, minimalen und maximalen Konzentrationen sowie die Anzahl der Proben mit Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze für jede untersuchte Substanz dargestellt. Die Daten sind dabei getrennt, nach den drei Messstandorten angeführt. Die Zusammenstellung zeigt, dass PFOA in mehreren Wochen identifiziert wurde. Die Konzentrationswerte waren aber so gering, dass eine verlässliche Quantifizierung nicht möglich war. PFNA wurde nur in einer Wochenprobe der Station Lamprechtshausen detektiert. Carbonsäuren mit einer Kettenlänge von 10 bis 13 Kohlenstoffatomen wurden in keiner Probe über der Nachweisgrenze detektiert.

Tabelle 7: Mittelwerte x, Standardabweichungen s, minimale und maximale Konzentrationswerte Min, Max in pg/m³ der gemessenen 10 Perfluorcarbonsäuren, n bezeichnet die Anzahl der Proben mit Messwerten über dem LOD bei einer Gesamtzahl von 19 Proben je Standort

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTrDA
x_{LAMP} pg/m ³	0.99	0.47	1.18	0.08	0.09	0.08	<0.1	<0.16	<0.21	<0.21
s_{LAMP} pg/m ³	0.48	0.35	0.62	0.04	0.05	-	-	-	-	-
Min_{LAMP} pg/m ³	0.25	0.12	0.46	0.05	0.07	0.08	-	-	-	-
Max_{LAMP} pg/m ³	2.12	1.24	2.04	0.13	0.16	0.08	-	-	-	-
$n_{LAMP} > LOD$	19	11	5	6	10	1	0	0	0	0
x_{ANTH} pg/m ³	0.70	0.25	0.94	0.08	0.12	<0.06	<0.1	<0.16	<0.21	<0.21
s_{ANTH} pg/m ³	0.43	0.28	0.64	0.05	0.06	-	-	-	-	-
Min_{ANTH} pg/m ³	0.21	0.07	0.27	0.05	0.08	-	-	-	-	-
Max_{ANTH} pg/m ³	1.84	1.25	2.73	0.14	0.18	-	-	-	-	-
$n_{ANTH} > LOD$	19	16	5	8	8	0	0	0	0	0
x_{FLUG} pg/m ³	0.75	0.30	1.28	0.09	0.11	<0.06	<0.1	<0.16	<0.21	<0.21
s_{FLUG} pg/m ³	0.40	0.35	0.82	0.04	0.06	-	-	-	-	-
Min_{FLUG} pg/m ³	0.20	0.09	0.33	0.05	0.07	-	-	-	-	-
Max_{FLUG} pg/m ³	1.57	1.56	3.53	0.12	0.17	-	-	-	-	-
$n_{FLUG} > LOD$	19	16	4	5	7	0	0	0	0	0

Tabelle 8 zeigt eine analoge Zusammenstellung für die Substanzklasse der Perfluorsulfonsäuren. PFBS, PFHxS, PFHpS und PFOS wurden in einzelnen Proben detektiert, die an den Stationen Lamprechtshausen und Flughafen Salzburg gesammelt wurden. Da die Bestimmungsgrenzen nicht überschritten wurden, ist keine verlässliche Quantifizierung möglich.

Tabelle 8: Mittelwerte x, Standardabweichungen s, minimale und maximale Konzentrationswerte Min, Max in pg/m³ der gemessenen 10 Perfluorsulfonsäuren, n bezeichnet die Anzahl der Proben gemessen über dem LOD bei einer Gesamtzahl von 19 Proben je Standort

	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoS	PFTrDS
$x_{\text{LAMP}} \text{ pg/m}^3$	0.04	<42.081	<0.09	0.03	<0.11	<0.06	<0.11	<0.13	<0.18	<0.21
$s_{\text{LAMP}} \text{ pg/m}^3$	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\text{Min}_{\text{LAMP}} \text{ pg/m}^3$	0.02	-	-	0.03	-	-	-	-	-	-
$\text{Max}_{\text{LAMP}} \text{ pg/m}^3$	0.06	-	-	0.03	-	-	-	-	-	-
$n_{\text{LAMP} > \text{LOD}}$	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$x_{\text{ANTH}} \text{ pg/m}^3$	<0.02	<42.081	<0.09	<0.03	<0.11	<0.06	<0.11	<0.13	<0.18	<0.21
$s_{\text{ANTH}} \text{ pg/m}^3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\text{Min}_{\text{ANTH}} \text{ pg/m}^3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\text{Max}_{\text{ANTH}} \text{ pg/m}^3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$n_{\text{ANTH} > \text{LOD}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_{\text{FLUG}} \text{ pg/m}^3$	0.04	<42.081	0.16	<0.03	0.14	<0.11	<0.06	<0.11	<0.13	<0.18
$s_{\text{FLUG}} \text{ pg/m}^3$	0.01	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-
$\text{Min}_{\text{FLUG}} \text{ pg/m}^3$	0.04	-	0.11	-	0.14	-	-	-	-	-
$\text{Max}_{\text{FLUG}} \text{ pg/m}^3$	0.04	-	0.21	-	0.14	-	-	-	-	-
$n_{\text{FLUG} > \text{LOD}}$	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0

3.3 Auswertung der Einzeltage

Die Analysen und Auswertungen der Einzeltage erlaubten eine detailliertere Darstellung der Konzentrationswerte. Im Vergleich mit den für die Stadt Salzburg erstellten Rückwärtstrajektorien (48h) wurde überprüft, ob eine erste Abschätzung möglicher Herkunftsgebiete möglich ist. Es wurden 15 Tagesproben ausgewählt, die vornehmlich aus Wochen stammen, in denen die Konzentrationswerte der PFAS, als Summe berechnet, höher war als im Mittel über die gesamte Beobachtungsperiode. Die 15 Einzeltage wurden in 4 zeitlich abgegrenzte Gruppen (römisch I-IV) eingeteilt.

Gruppe I umfasst vier Tage aus KW 46. In dieser Woche wurden die Verbindungen PFBA, PFPeA und PFHxA detektiert. In Lamprechtshausen wurde der für diese Station zweithöchste Wert bestimmt. Die Feinstaubkonzentration (PM_{10}) lag bei $9.3 - 10.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, was einer mittleren Belastung im Beobachtungszeitraum entspricht. Die qualitative Auswertung der Rückwärtstrajektorien (48 h) zeigte, speziell wenn der Transport in niedrigeren Höhen berücksichtigt wird, zumeist den Antransport von Luftmassen aus dem Osten beziehungsweise dem Nordosten. Nur am ersten Tag ist auch eine Anströmung aus westlicher Richtung zu erkennen.

Gruppe II enthält fünf zeitlich aufeinanderfolgende Tage am Übergang von KW 52 (2024) zu KW 1 (2025). Es wird der Jahreswechsel abgebildet. Diese Gruppe stellt einige Einzeltage aus der Wochenprobe dar, die an allen Stationen die höchsten Konzentrationswerte der PFCAs zeigte. Die Feinstaubkonzentration war in KW 1 allerdings nicht deutlich erhöht. Es wurden Konzentrationswerte von $7.3 - 11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Die Rückwärtstrajektorien zeigten einen Herantransport von Luftmassen aus westlicher, teilweise auch südwestlicher Richtung.

Gruppe III bildet zwei Tagen aus KW 6 ab. Diese Woche wurde als Beispiel für eine Periode ausgewählt, während der die PFCA-Konzentrationswerte den Mittelwerten über den gesamten Beobachtungszeitraum entsprechen. Es wurden ausschließlich die Verbindungen PFBA und PFPeA, an der Station Anthering ausschließlich PFBA detektiert. Die Staubkonzentrationen lagen bei $16.3 - 17.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Rückwärtstrajektorien zeigten einen Einfluss aus Nordwest.

Gruppe IV umfasst vier Tage aus KW 7. Die Wochenmittel der Konzentrationswerte der PFAS sind etwas höher als in KW 6, allerding deutlich geringer als in Gruppe I und Gruppe II. Der starke Anstieg der Konzentrationswerte für Feinstaub auf $25.8 - 30.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kann durch den Ferntransport von Wüstenstaub nach Mitteleuropa erklärt werden. Entsprechend zeigen auch die Rückwärtstrajektorien an der Mehrzahl der Einzeltage den Einfluss von Luftmassen aus südlicher Richtung.

Tabelle 9: Übersicht der ausgewählten Einzeltage für die PFAS-Analyse und Angabe der Herkunftsgebiete basierend auf der Auswertung der Rückwärtstrajektorien

Datum	KW	Herkunft Trajektorien	Gruppe
11.11.2024	46	Nordost	I
12.11.2024	46	Nordost	I
13.11.2024	46	Osten	I
14.11.2024	46	Norden	I
29.12.2024	52	Südwest	II
30.12.2024	1	Westen	II
31.12.2024	1	Westen	II
01.01.2025	1	Westen	II
02.01.2025	1	Westen	II
03.02.2025	6	Nordwest	III
04.02.2025	6	Norden	III
08.02.2025	7	Süden	IV
09.02.2025	7	Süden	IV
10.02.2025	7	Süden	IV
11.02.2025	7	Südwest	IV

In Abbildung 5 bis Abbildung 7 sind, für die drei Standorte getrennt, die Tagesmittel der Konzentrationswerte der PFAS dargestellt. Ergänzend sind im rechten Teil der Abbildungen auch die Konzentrationswerte für PM_{10} angeführt. Wie bereits bei der Darstellung der Wochenmittel besprochen, geht eine höhere Staubbelastung nicht zwangsläufig mit höheren Konzentrationswerten für PFAS einher. Besonders deutlich wird dies im Vergleich der Tage aus dem Dezember und Februar. Die Einzeltage aus dem Dezember zeigen die höchsten in dieser Studie bestimmten Konzentrationswerte der PFAS. Im Gegensatz dazu weisen die Proben der Februarstage zwar geringere PFAS-Gehalte auf, aber eine hohe PM_{10} Konzentration.

Wie bereits bei der Darstellung der Wochenmittel werden nur die Konzentrationswerte abgebildet, die über der Bestimmungsgrenze (LOQ) der Methode liegen. Ergänzend sind die Konzentrationswerte aller PFAS im Anhang in Tabelle A 6

bis Tabelle A 8 aufgelistet. Ein unmittelbarer Vergleich der Konzentrationswerte der Einzeltage und der Wochenmittel ist nicht möglich, da in keinem Fall alle Tage einer Woche auch als Einzelproben analysiert wurden.

In Lamprechtshausen (Abbildung 5) zeigen die Novembertage Konzentrationen der Σ PFAS von bis zu 7 pg/m³, während Ende Dezember (Gruppe II) die für diesen Messpunkt höchsten Werte von bis zu 11 pg/m³ erreicht werden. Die Einzeltage im Februar (Gruppe III und IV) weisen hingegen deutlich geringere Konzentrationen auf, mit maximal etwa 3 pg/m³. Unter den detektierten Substanzen ist PFBA am häufigsten vertreten, während PFHxA die höchsten Konzentrationen aufweist, gefolgt von PFPeA, PFBA und PFOA. Die Perfluorsulfonsäuren zeigen erneut geringere Konzentrationswerte. Ausschließlich PFBS wurde Ende Dezember über der Bestimmungsgrenze detektiert.

Ein ähnlicher Trend zeigt sich an der Messstation Anthering (Abbildung 6). Die höchsten Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren wurden im Dezember (Gruppe II) mit bis zu 17 pg/m³ als Σ PFAS beobachtet, gefolgt von den Novembertagen (Gruppe I) mit maximal 5.5 pg/m³. Das Konzentrationsmuster der PFCAs ähnelt jenem in Lamprechtshausen. In Gruppe III und Gruppe IV sind die Konzentrationswerte erneut geringer als in Gruppe I und II. In Anthering wurde keine der Perfluorsulfonsäuren über dem LOQ bestimmt.

Auch am Flughafen Salzburg (FLUG) (Abbildung 7) wurden im Dezember (Gruppe II) die höchsten Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren gemessen, als Σ PFAS werden 26 pg/m³ erreicht. Dies ist der höchste Wert, der im Untersuchungszeitraum an einer der drei Messstationen detektiert wurde. Die Novembertage (Gruppe I) liegen mit bis zu 5 pg/m³ an zweiter Stelle. Die Februarstage (Gruppe III und IV) weisen deutlich geringere Werte von maximal 2 pg/m³ auf. Wieder werden in Gruppe II und Gruppe I deutlich mehr Vertreter der Perfluorcarbonsäuren bestimmt als in Gruppe III und Gruppe IV. Als Besonderheit ist hervorzuheben, dass an der Station Flughafen Salzburg auch PFHpA und PFDoDA detektiert wurden. Von den Perfluorsulfonsäuren wurde ausschließlich PFBS bei Gruppe II über der Bestimmungsgrenze gefunden.

Für alle Stationen gilt somit, dass in Gruppe II die höchsten Konzentrationswerte und die höchste Anzahl an PFAS detektiert wurden. Auch Gruppe I zeigt erhöhte Werte, während zu Gruppe IV und Gruppe III die Konzentrationswerte und die Anzahl der erfassten PFAS abfallen. PFBA ist die Komponente, die an allen Einzeltagen gemessen wurde. Weitere Perfluorcarbonsäuren wurden hauptsächlich in Gruppe I und Gruppe II bestimmt, wobei PFPeA und PFHxA am häufigsten quantifiziert werden. Sofern PFHxA erfasst wird, liegen die Konzentrationswerte oft höher als für PFBA. Dies stimmt mit den Ergebnissen der Wochenproben überein. Auf Basis der Einzeltage konnten, speziell in Gruppe II, auch PFHpA, PFOA, PFDoDA und PFBS über der Bestimmungsgrenze detektiert werden. Dies betraf nur wenigen Tagen und auch nur an der Stationen Lamprechtshausen und Flughafen Salzburg. PFDoDA trat nur an der Station Flughafen Salzburg auf, dort aber auch in einer Probe der Gruppe IV.

Der Vergleich der Stationen untereinander zeigt, dass entlang des Nord-Süd Transekts sowohl eine Abnahme als auch eine Zunahme der Konzentrationswerte auftritt. Dies kann am Beispiel der Gruppen I und II, und damit für die höchsten Konzentrationswerte dargestellt werden. Die folgende Beurteilung bezieht sich immer auf die Summe der PFAS und nicht auf Einzelkomponenten. In Gruppe I wurde auf Basis der Wochenmittel in Lamprechtshausen der höchste Konzentrationswert bestimmt, gefolgt von Flughafen Salzburg und Anthering. Auf Basis der Tageswerte tritt allerdings kein einheitlicher Konzentrationsgradient entlang des Nord-Süd Transekts auf. Am ersten Tag (11.11.2024) wurde am Messpunkt Lamprechtshausen der höchste Konzentrationswert bestimmt, am Folgetag wird am Flughafen der höchste Tagesmittelwert gemessen. In Gruppe II sind die Unterschiede zwischen den Stationen deutlich größer. Im Wochenmittel wurde die höchste Konzentration an der Station Flughafen Salzburg gemessen. Auf Basis der Einzeltage ist am 29.12.2024 die Station Flughafen Salzburg sehr dominant, spätester sind die Werte in Lamprechtshausen höher.

Die Berücksichtigung der Rückwärtstrajektorien unterstreicht, dass die Unterschiede zwischen den Stationen nicht allgemeingültig zusammengefasst werden können. Es gibt kein derzeit noch eindeutiges Bild zu möglichen Einflussgebieten. Wie im folgenden Kapitel zum Vergleich mit der wissenschaftlichen Literatur weiter ausgeführt, liegen die in Salzburg bestimmten Konzentrationswerte in einem Bereich, der für weite Gebiete Europas charakteristisch ist und sowohl durch den Transport der langlebigen Komponenten als auch durch lokale Quellen geprägt sein kann. Ein Hinweis auf eine Anreicherung aus lokalen Quellen ist am 29.12.2024 gegeben, als an der Station Salzburg Flughafen der höchste Konzentrationswert aller Einzeltage gemessen. An diesem Tag herrschte eine massive Inversionswetterlage mit milden Temperaturen am Gaisberg und Temperaturen unter dem Gefrierpunkt in der Stadt Salzburg. Aufgrund der wiederholt dargestellten Abnahme der Konzentrationswerte in Nord-Süd Richtung (Wochenmittel und an einigen Einzeltagen) kann ein Ferntransport aus belasteten Gebieten nördlich der Stadt Salzburg nicht ausgeschlossen werden. Für eine detailliertere Untersuchung wäre ein ganzjähriges Monitoring von PFAS interessant und auch eine Erweiterung der Messungen auf zusätzliche Analyten.

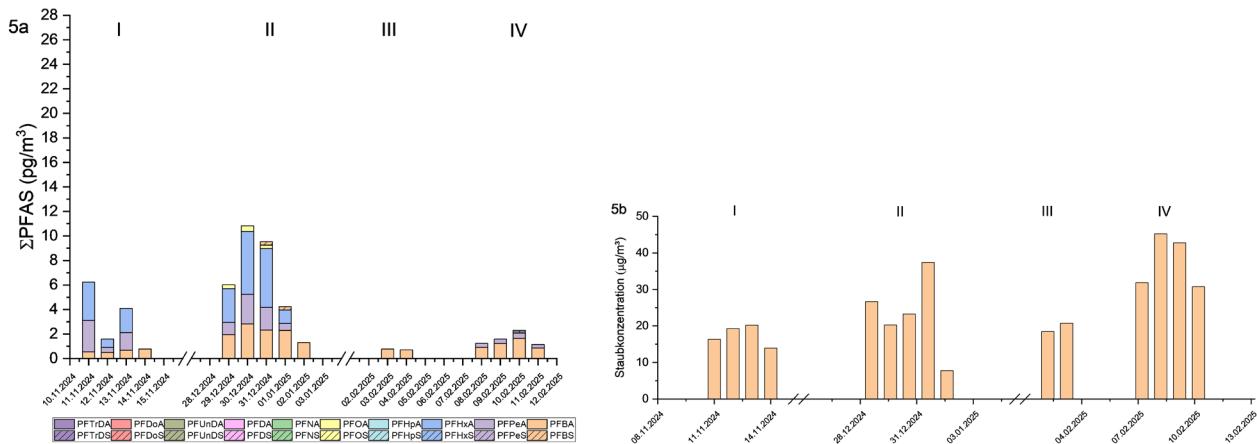


Abbildung 5: 5a: Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren in pg/m^3 an den ausgewählten Einzeltagen des Standortes LAMP; 5b: Staubkonzentration an den Einzeltagen des Standortes LAMP in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

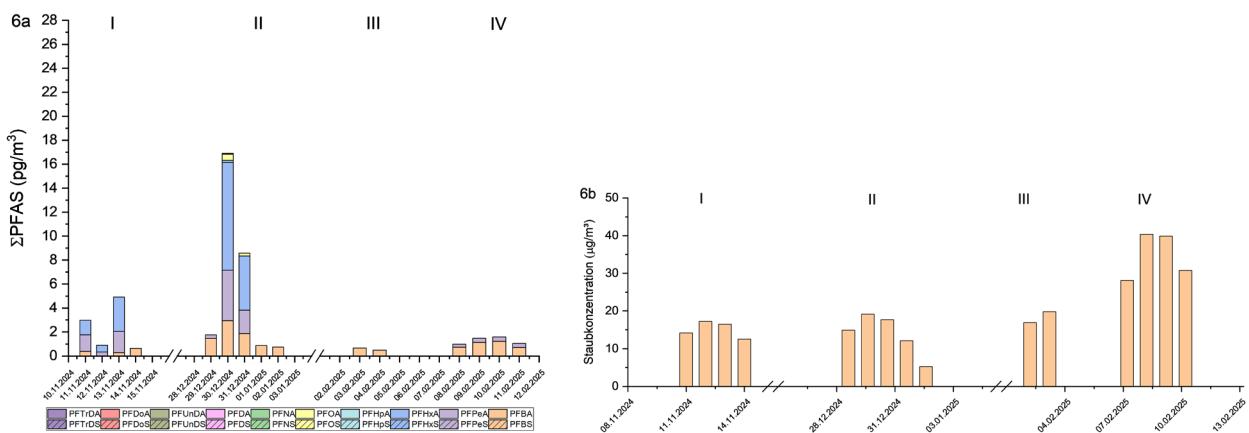


Abbildung 6: 6a: Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren in pg/m^3 an den ausgewählten Einzeltagen des Standortes ANTH; 6b: Staublast an den Einzeltagen des Standortes ANTH in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

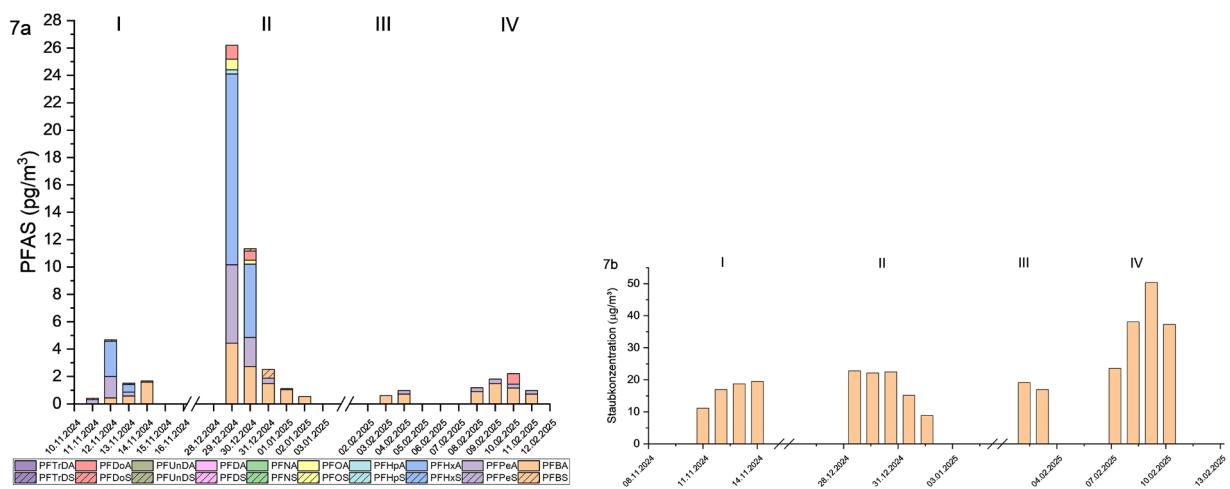


Abbildung 7: 7a: Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren in pg/m^3 an den ausgewählten Einzeltagen des Standortes FLUG; 7b: Staublast an den Einzeltagen des Standortes FLUG in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.4 Literaturvergleich

Beim Vergleich mit Literaturwerten ist zu berücksichtigen, dass sowohl die Anzahl als auch die Art der untersuchten PFAS-Verbindungen zwischen den Studien stark variieren. Aufgrund der Vielzahl einzelner Substanzen werden nicht immer dieselben Verbindungen analysiert, was den direkten Vergleich der Konzentrationswerte erschwert.

In einer der ersten Studien aus Europa (Barber et al., 2007) wurden zwischen 2005 und 2006 Proben an 4 verschiedenen Stationen in Europa gesammelt. Als Messstationen standen Hazelrigg (UK) als halb ländliche Messstelle, Manchester (UK) als urbane Messstelle, sowie Mace Head (Irland) und Kjeller (Norwegen) als ländliche Umgebungen zur Verfügung. Zur Sammlung wurde ein HighVolume-Sammler mit Glasfaserfilter für die Partikelphase und PU-Schaum für die Gasphase verwendet. PFOA war die häufigste gefundene Substanz in der Partikelphase mit Konzentrationen von 1 bis 818 pg/m³, während 8:2FTOH und 6:2FTOH, neutrale Fluortelomeralkohole, die häufigsten Verbindungen in der Gasphase waren mit Konzentrationen von 5 bis 243 pg/m³ und 5 bis 189 pg/m³. PFOA war zur Zeit der Entstehung dieser Studie in Europa weit verbreitet und in Verwendung. Dies ist ein markanter Unterschied zur heutigen Situation und erklärt, dass im vorliegenden Bericht geringere Konzentrationen an PFOA gemessen wurden. PFCAs mit Kettenlängen von 4 und 5 Kohlenstoffatomen wurden bei der Studie aus den Jahren 2005 und 2006 nicht erfasst. Daher ist es nicht möglich die Ergebnisse von PFBA und PFPeA, wie sie in Salzburg bestimmt wurden, zu vergleichen.

In einer etwas jüngeren Studie wurden in den Jahren 2007 bis 2008 über 14 Monate Proben in Hamburg (Deutschland) gesammelt (Dreyer et al., 2009). Für die Probenahme partikelgebundener PFAS wurden Glasfaserfilter verwendet, sowie PU-Schaum mit Aktivkohleröhrchen (XAD-2) für die Probenahme der Gasphase. Die Studie diente hauptsächlich der Untersuchung von neutralen und volatilen PFAS, wie zum Beispiel Fluortelomeralkohole oder Sulfonamide. Der Großteil der untersuchten Verbindungen wurde in der Gasphase detektiert, zudem zeigte sich im Sommer ein Anstieg der Konzentrationswerte. In der Partikelphase war die häufigste Verbindung PFOS gefolgt von PFBS, PFBA und PFOA. Die Konzentrationen der persistenten Perfluoralkylsäuren sind in einer ähnlichen Größenordnung wie die in Salzburg detektierten Verbindungen und lagen in der mittleren Summe bei 3 pg/m³.

In einer Studie aus Křešín (Tschechien) wurden zwischen Dezember 2011 und Dezember 2014 in einem Hintergrundgebiet Konzentrationen von 0.3 bis 2.08 pg/m³ für ΣPFCAs und 0.02 bis 0.85 pg/m³ für ΣPFSA gemessen (Paragot et al., 2020). Untersucht wurde sowohl die Partikelphase (Quarzfaserfilter) als auch die Gasphase (PU-Schaum) mittels HV-Sammelns. Ein wesentlicher Unterschied zu den akutellen Messungen in Salzburg besteht darin, dass in der Studie aus Tschechien PFTeDA anstelle von PFBA untersucht wurde. Da PFBA in Salzburg die am häufigsten über der Nachweisschwelle gefundene Substanz war, erklärt dieser methodische Unterschied den höheren Anteil an PFCAs in den Salzburger Proben.

In Tschechien wurden PFBS und PFOS als dominierende PFSAs identifiziert. Dies wurde damit begründet, dass PFOS historisch weit verbreitet eingesetzt wurde und PFBS häufig als Ersatzstoff verwendet wird. Im Rahmen dieser Studie wurde zudem ein Jahrestrend ermittelt, jedoch keine ausgeprägte Saisonalität festgestellt. Ein weiterer bedeutender Unterschied ist, dass (Paragot et al., 2020) sowohl die Partikel- als auch die Gasphase untersuchte. Dabei zeigte sich, dass der Großteil der untersuchten PFAS in der Partikelphase vorlag, nur PFOA und PFDA bildeten Ausnahmen. Die Verteilung war stark von meteorologischen Bedingungen abhängig.

Ähnliche Konzentrationen wurden auch in Zürich festgestellt (Müller et al., 2012). Im Jahr 2010 wurden über wenige Tage Proben mittels HV-Sammler auf Quarzfaserfiltern und auch auf PU-Schaum gesammelt. Die Messungen wurden in einer urbanen Region (Zürich) und in einem Hintergrundgebiet (Uetliberg) durchgeführt. In beiden Fällen waren die Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren höher als jene der Sulfonsäuren. Die Werte in der urbanen Region lagen etwa zwei- bis dreimal über denen im Hintergrundgebiet. So wurden für PFBA 7 pg/m³ (Zürich) und 2.8 pg/m³ (Uetliberg) gemessen, für PFHpA 3 pg/m³ (Zürich) und 1 pg/m³ (Uetliberg). PFOA und PFBA waren die am häufigsten vorkommenden und konzentriertesten PFCAs. Die in Salzburg gemessenen Werte liegen zwischen denen für Zürich und den Uetliberg dargestellten Werten. In den Proben aus Salzburg wurde PFOA deutlich seltener gefunden. Auch hier ist anzuführen, dass der Einsatz und die Herstellung von PFOA seit 2010 mit der Aufnahme der Substanz in die Stockholmer Konvention, verboten wurde, und die Verbreitung damit stark eingeschränkt wurde. Aufgrund der Langlebigkeit und den möglichen Abbau von höhermolekularen PFAS zu PFOA und anderen kürzeren Perfluoralkylsäuren wird PFOA auch heute noch detektiert.

In einer weiteren Studie aus Terni (Zentralitalien) wurden 2016 insgesamt 75 PM₁₀-Tagesproben auf 33 PFAS untersucht (Moretti et al., 2024). Zur Sammlung wurde ein HV-Sammler mit Quarzfaserfiltern verwendet. Der Analyseumfang enthielt zusätzlich längere Alkylsäureverbindungen aber auch mit anderen funktionellen Gruppen wie Fluortelomersäuren, Sulfonamide, oder Ether. PFOA und PFOS waren die am häufigsten detektierten PFAS, gefolgt von PFHxA, PFHpA

und PFDA. Es wurden mittlere Gesamtkonzentrationen (Σ PFAS) von 17.8 pg/m³ gemessen wobei die Perfluorcarbon-säuren den größten Anteil hatten. Die höheren Werte sind teilweise darauf zurückzuführen, dass mehr Substanzen einbezogen und ausschließlich Proben aus einem urbanen Gebiet analysiert wurden. Zudem zeigte sich eine deutliche Saisonalität, mit höheren PFAS-Anteilen in der Staubfraktion während der Sommermonate.

Für eine Studie in Norwegen wurden zwischen 2018 und 2020 an den Küstengebieten, Andøya und Birkenes, 48 h Proben auf einem Quarzfaserfilter mittels HighVolume-Sammler genommen, um den Einfluss des Seesalz-Aerosols (SSAs) auf die atmosphärischen PFAS zu bestimmen (Sha et al., 2022). Es wurden 11 Einzelsubstanzen der PFCAs (8) und PFSAs (3) untersucht und mittels Pearson Korrelation ein starker Zusammenhang zwischen dem Meersalz und PFAS vorkommen in den Proben festgestellt. In allen Proben an beiden Standorten (n=57) wurden PFAS detektiert. PFOS wurde in fast allen Proben gefunden und PFHxS in mehr als 70% der Proben und erreichten zusammen Konzentrationen von 0.004- 0.16 pg/m³. PFOA wurde in Konzentrationen von <0.003 – 1.3 pg/m³ detektiert und stimmt mit Messungen aus vorangegangen Jahren überein. Anders als in älteren Berichten wurden PFCAs mit Kettenlänge >C8 in etwa 25% der Proben gefunden. PFOA konnte in (Sha et al., 2022) mit wesentlich geringerer Nachweisgrenze erfasst werden als bei den Messungen in dieser Arbeit im Land Salzburg, das könnte den Unterschied zur Häufigkeit der Beobachtungen von PFOA erklären. PFOA wurde in der vorliegenden Studie nur in geringen Mengen und an einzelnen Tagen nachgewiesen. Obwohl PFOA eine sehr stabile Verbindung ist, kann es über Abbauprozesse zu kürzerkettigen PFAS zersetzt werden. Beispiele dieser Verbindungen sind PFHxA, PFPeA und PFBA (Liang et al., 2023; Liu and Mejia Avendaño, 2013), die nachgewiesen werden konnten.

Neuere Studien stammen vorwiegend aus Asien. Der Vergleich zeigt, dass in Europa die PFAS-Belastung der Luft gering ist (Faust, 2022). In Weifang, China, wurden in urbanen Regionen PFOA Konzentrationen von 3.79 bis 3820 pg/m³ gefunden (Yu et al., 2018). Dies ist ein extremes Beispiel, da es mittlerweile zahlreiche Studien gibt, in denen die PFOA-Konzentration auch in Asien deutlich niedriger ist, wenn auch immer noch erhöht (Faust, 2022).

Insgesamt zeigen die Literaturvergleiche, dass die in Salzburg gemessenen PFAS-Konzentrationen den Konzentrationswerten entsprechen, die in Europa in urbanen und ländlichen Gebieten oder auch in Hintergrundgebieten bereits gemessen wurden. Unterschiede in den PFAS-Mustern und auch den Konzentrationswerten sind durch mögliche lokale Emissionsquellen, unterschiedliche Messansätze und regionale Nutzungs- bzw. Verbotszeiträume und großräumigen Transport bedingt.

4 Zusammenfassung

Im Zuge des Projektes „PFAS in Feinstaubproben aus dem Land Salzburg“ wurden im Zeitraum vom 10.Oktobe 2024 bis 11.Februar 2025 an drei Standorten im Land Salzburg (Lamprechtshausen, Anthering, Flughafen Salzburg) Feinstaubproben der PM₁₀ Fraktion als Tagesproben auf Quarzfaserfiltern gesammelt. Ziel des Projektes war es, eine erste Information zur Konzentration ausgewählter PFAS in Feinstaubproben aus Salzburg zu erhalten und mögliche räumliche Unterschiede zu erfassen, die auf dominante Eintragspfade für PFAS über die Luft hinweisen. Als Analyten wurden zehn Perfluorcarbonsäuren und zehn Perfluorsulfonsäuren ausgewählt. Diese Untergruppe der PFAS ist besonders interessant, da einzelne Vertreter sowohl direkt in die Umwelt eingebracht werden, aber auch Abbauprodukte anderer PFAS darstellen.

Die Auswertung der Wochenmittel zeigte Gemeinsamkeiten zwischen den drei Messpunkten. Am häufigsten wurden PFBA, PFPeA und PFHxA gefunden, wobei nur PFBA in allen Kalenderwochen detektiert wurde. Dabei lagen die Konzentrationswerte zu Beginn des Untersuchungszeitraumes geringer als am Ende der Periode. Sofern PFHxA detektiert wurde, lagen die Konzentrationswerte oft höher als die Messwerte für PFBA. Die Konzentrationswerte der Perfluorsulfonsäuren lagen unter der Bestimmungsgrenze. Diese Konzentrationsunterschiede zwischen Carbonsäuren und Sulfonsäuren entsprechen bereits publizierten Studien zum Auftreten von PFAS. Speziell in den Kalenderwochen 46 (2024) und 1 (2025) traten höhere Konzentrationswerte auf. Der höchste Wochenmittelwert wurde in Kalenderwoche 1 (2025) an der Station Flughafen Salzburg bestimmt. Unabhängig von diesem Maximalwert an der Station Flughafen Salzburg, wurde in mehreren Wochen an der Station Lamprechtshausen ein höheres Wochenmittel bestimmt als an den anderen beiden Messpunkten.

Aus dem Beobachtungszeitraum wurden 15 Einzeltage ausgewählt und als Tagesproben analysiert. Die Analyse der Einzeltage ermöglichte die Detektion zusätzlicher Verbindungen. So konnte an einzelnen Tagen an den Messpunkten Lamprechtshausen und Flughafen Salzburg auch PFBS, als einziger Vertreter der perfluorierten Sulfonsäuren, bestimmt werden. Weiters wurde auch PFOA gemessen, welches in den Wochenproben aufgrund der Mittelung über einen längeren Zeitraum nicht quantifiziert werden konnte. An der Station Flughafen Salzburg wurde auch PFDoA nachgewiesen. Die höchsten Konzentrationswerte und die größte Anzahl an Verbindungen wurden Ende Dezember dargestellt. Der Maximalwert wurde am 29.12.2024 an der Station Flughafen Salzburg gemessen. Am 30.12.2024 zeigten alle drei Messpunkten erhöhte Werte, die den Maximalwert aber nicht mehr erreichten. Am tatsächlichen Jahreswechsel (1.1.2025) sind die Konzentrationswerte wieder deutlich geringer.

Die unterschiedlichen Verteilungsmuster der Konzentrationswerte entlang des Nord-Süd Transekts und auch der Vergleich mit den für die Stadt Salzburg berechneten Rückwärtstrajektorien zeigt, dass unterschiedliche Transportpfade und Quellen für die jeweiligen Zu- und Abnahmen der Konzentrationswerte wirksam werden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die im Feinstaub (PM₁₀) analysierten Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren in Konzentrationen auftreten, die im Bereich der bisher für Europa publizierten Messungen liegen und in urbanen und ländlichen Gebieten und bis in Hintergrundgebiete auftreten. Einzelne Episoden, insbesondere rund um den Jahreswechsel, weisen auf konkrete Emissionsquellen hin. Auswertungen anderer Tage mit einer Abnahme der Konzentrationswerte in Nord-Süd Richtung lassen einen Ferntransport aus belasteten Gebieten nördlich der Stadt Salzburg nicht ausschließen. Für weiterführende Untersuchungen wäre ein ganzjähriges Monitoring interessant. Dabei wäre auch eine Erweiterung der Analyten anzustreben.

5 Literatur

- Abunada, Z., Alazaiza, M.Y.D., Bashir, M.J.K., 2020. An Overview of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the Environment: Source, Fate, Risk and Regulations. *Water (Basel)* 12, 3590. <https://doi.org/10.3390/w12123590>
- AGES, 2025. Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) [WWW Document]. URL <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/per-und-polyfluorierte-alkylverbindungen-pfas#c31072> (accessed 10.30.25).
- Arp, H.P.H., Goss, K.U., 2008. Irreversible sorption of trace concentrations of perfluorocarboxylic acids to fiber filters used for air sampling. *Atmos Environ* 42, 6869–6872. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.012>
- Barber, J.L., Berger, U., Chaemfa, C., Huber, S., Jahnke, A., Temme, C., Jones, K.C., 2007. Analysis of per- and polyfluorinated alkyl substances in air samples from Northwest Europe. *Journal of Environmental Monitoring* 9, 530–541. <https://doi.org/10.1039/b701417a>
- 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., 2011. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integr Environ Assess Manag* 7, 513–541. <https://doi.org/10.1002/ieam.258>
- Cordner, A., Brown, P., Cousins, I.T., Scheringer, M., Martinon, L., Dagorn, G., Aubert, R., Hosea, L., Salvidge, R., Felke, C., Tausche, N., Drepper, D., Liva, G., Tudela, A., Delgado, A., Salvatore, D., Pilz, S., Horel, S., 2024. PFAS Contamination in Europe: Generating Knowledge and Mapping Known and Likely Contamination with “Expert-Reviewed” Journalism. *Environ Sci Technol* 58, 6616–6627. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c09746>
- Dreyer, A., Matthias, V., Temme, C., Ebinghaus, R., 2009. Annual time series of air concentrations of polyfluorinated compounds. *Environ Sci Technol* 43, 4029–4036. <https://doi.org/10.1021/es900257w>
- Faust, J.A., 2022. PFAS on atmospheric aerosol particles: a review. *Environ Sci Process Impacts* 25, 133–150. <https://doi.org/10.1039/d2em00002d>
- Fromme, H., Wöckner, M., Roscher, E., Völkel, W., 2017. ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany. *Int J Hyg Environ Health* 220, 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.12.014>
- Harrad, S., 2010. Persistent organic pollutants. Wiley, Birmingham, UK.
- Interstate Technology Regulatory Council - ITRC, 2020. PFAS — Per- and Polyfluoroalkyl Substances [WWW Document]. URL https://pfas-1.itrcweb.org/4-physical-and-chemical-properties/#4_3 (accessed 10.14.25).
- Kaiser, A.-M., 2022. Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen—Überblick und Situation in Österreich [WWW Document]. URL <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0820.pdf> (accessed 10.9.25).
- Knapp, H., Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, 2022. Untersuchung von Wildfleisch und -innereien sowie Wildschweinfleisch und -innereien auf per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)-Untersuchungsergebnisse 2009–2019 [WWW Document]. URL https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/pfas/ue_2010_pft_lebensmittel_wild_sonstigesbayern.htm (accessed 10.9.25).
- Kolanczyk, R.C., Saley, M.R., Serrano, J.A., Daley, S.M., Tapper, M.A., 2023. PFAS Biotransformation Pathways: A Species Comparison Study. *Toxics* 11. <https://doi.org/10.3390/toxics11010074>
- Körner, W., Sengl, M., Wanner, A., Fischer, A., Schüßler, W., Wehrle, R., 2012. Bestimmung persistenter, bioakkumulierender Perfluoralkylverbindungen in verschiedenen Umweltmatrices [WWW Document]. URL www.lfu.bayern.de (accessed 11.11.25).
- Land Oberösterreich, 2025a. PFAS im oberösterreichischen Trinkwasser Ein Bericht der Trinkwasseraufsicht des Landes OÖ [WWW Document]. URL <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/> (accessed 10.30.25).

- Land Oberösterreich, 2025b. PFAS - Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen [WWW Document]. URL <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/343808.htm> (accessed 10.30.25).
- Land Oberösterreich, 2023. Verdacht auf Umweltkontamination - Abklärung der Belastung bei Wildschweinen [WWW Document]. URL <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/520233.htm> (accessed 10.30.25).
- LfU Bayern, 2025. PFOA-Problematik im Raum Gendorf [WWW Document]. URL https://www.lfu.bayern.de/altlasten/pfoa_gendorf/index.htm (accessed 10.28.25).
- LGL Bayern, 2023a. Messwerte des LGL zu per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen in Trinkwasser, Landkreis Altötting, 2016 - 2022 [WWW Document]. URL www.lgl.bayern.de (accessed 10.9.25).
- LGL Bayern, 2023b. ADONA und andere perfluorierte Substanzen in Blutproben – Human-Biomonitoring und Zeitverlauf in Südbayern [WWW Document]. URL https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/umweltbezogener_gesundheitsschutz/projekte_a_z/hbm_adona_suedbayern.htm (accessed 8.12.25).
- Liang, J., Guo, L., Xiang, B., Wang, X., Tang, J., Liu, Y., 2023. Research Updates on the Mechanism and Influencing Factors of the Photocatalytic Degradation of Perfluoroctanoic Acid (PFOA) in Water Environments. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules28114489>
- Liu, J., Mejia Avendaño, S., 2013. Microbial degradation of polyfluoroalkyl chemicals in the environment: A review. *Environ Int* 61, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.08.022>
- Liu, M., Saracevic, E., Kittlaus, S., Oudega, T., Obeid, A., Nagy-Kovács, Z., László, B., Krlovic, N., Saracevic, Z., Lindner, G., Rab, G., Derx, J., Zoboli, O., Zessner, M., 2023. PFAS-Belastungen im Einzugsgebiet der oberen Donau. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 75, 503–514. <https://doi.org/10.1007/s00506-023-00973-x>
- Loaiza-Ceballos, M.C., Marin-Palma, D., Zapata, W., Hernandez, J.C., 2022. Viral respiratory infections and air pollutants. *Air Qual Atmos Health* 15, 105–114. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01088-6>
- Moretti, S., Castellini, S., Barola, C., Bucaletti, E., Petroselli, C., Selvaggi, R., Galletti, M., Cappelletti, D., Galarini, R., 2024. Determination of Perfluorinated and Polyfluorinated Alkyl Substances (PFASs) in PM10 Samples: Analytical Method, Seasonal Trends, and Implications for Urban Air Quality in the City of Terni (Central Italy). *Separations* 11. <https://doi.org/10.3390/separations11020042>
- Müller, C.E., Gerecke, A.C., Bogdal, C., Wang, Z., Scheringer, M., Hungerbühler, K., 2012. Atmospheric fate of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs): I. Day-night patterns of air concentrations in summer in Zurich, Switzerland. *Environmental Pollution* 169, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.04.010>
- OECD, 2024. OECD Global Forum on the Environment dedicated to Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) [WWW Document]. URL <https://www.oecd.org/en/events/2024/02/global-forum-environment-per-and-polyfluoroalkyl-substances.html> (accessed 10.9.25).
- OÖ Landes Jagd Verband, 2025. Entschädigung - Schadenersatz für erlegte, mit PFAS verseuchte, Wildschweine [WWW Document]. URL <https://kundenzone.ooejv.at/de/entschaedigung-schadenersatz-fuer-erlegte-mit-pfas-verseuchte-wildschweine> (accessed 8.9.25).
- Paragot, N., Bečanová, J., Karásková, P., Prokeš, R., Klánová, J., Lammel, G., Degrendele, C., 2020. Multi-year atmospheric concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) at a background site in central Europe. *Environmental Pollution* 265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114851>
- Sha, B., Johansson, J.H., Tunved, P., Bohlin-Nizzetto, P., Cousins, I.T., Salter, M.E., 2022. Sea Spray Aerosol (SSA) as a Source of Perfluoroalkyl Acids (PFAAs) to the Atmosphere: Field Evidence from Long-Term Air Monitoring. *Environ Sci Technol* 56, 228–238. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04277>
- Stockholm Convention, 2024. Industrial POPs - PFAS [WWW Document]. URL <https://www.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFAS/Overview/tabid/5221/Default.aspx> (accessed 4.30.25).
- Trinkwasseraufsicht des Landes OÖ, 2025. PFAS im oberösterreichischen Trinkwasser [WWW Document]. URL <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/> (accessed 10.30.25).

- Ulman, M., Sengl, M., Körner, W., Mair, A., Horst, K., 2012. Bayerisches Landesamt für Umwelt Medienübergreifende Umweltanalytik persistenter Perfluortenside und Bestimmung (semi)flüchtiger Vorläuferverbindungen PFC in der Umwelt UmweltSpezial [WWW Document]. URL www.lfu.bayern.de (accessed 10.30.25).
- Umweltbundesamt, 2025. Luft Grenzwerte [WWW Document]. URL <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthem/luft/daten-luft/luft-grenzwerte> (accessed 4.30.25).
- Umweltbundesamt, 2022. Altstandort „Flughafen Salzburg – Feuerlöschübungsgelände“ [WWW Document]. URL <https://www.altlasten.gv.at/dam/> (accessed 9.21.25).
- Vierke, L., Staude, C., Biegel-Engler, A., Drost, W., Schulte, C., 2012. Perfluorooctanoic acid (PFOA)-main concerns and regulatory developments in Europe from an environmental point of view. Environ Sci Eur 24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-16>
- Wang, Z., Buser, A.M., Cousins, I.T., Demattio, S., Drost, W., Johansson, O., Ohno, K., Patlewicz, G., Richard, A.M., Walker, G.W., White, G.S., Leinala, E., 2021. A New OECD Definition for Per- and Polyfluoroalkyl Substances. Environ Sci Technol 55, 15575–15578. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06896>
- WHO, 2025. Air Pollution [WWW Document]. URL https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (accessed 4.30.25).
- Yu, N., Guo, H., Yang, J., Jin, L., Wang, X., Shi, W., Zhang, X., Yu, H., Wei, S., 2018. Non-Target and Suspect Screening of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Airborne Particulate Matter in China. Environ Sci Technol 52, 8205–8214. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02492>

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Karte der drei Messstellen Lamprechtshausen (LAMP), Anthering (ANTH) und Flughafen Salzburg (FLUG) und dem Industriepark Gendorf	2
Abbildung 2: Strukturbeispiele PFAS nach (Kaiser, 2022)	3
Abbildung 3: Übersicht der Staubkonzentration in µg/m³ über den gesamten Projektzeitraum (KW41-KW7) an den 3 Messstandorten Lamprechtshausen (orange), Anthering (blau) und Flughafen Salzburg (grün)	9
Abbildung 4: Konzentrationen der 10 Perfluorcarbonsäuren Beladung in pg/m³ über der LOQ nach KW für die drei Standorte LAMP, ANTH und FLUG (v.l.n.r.) inklusive gemittelter Staubkonzentration	10
Abbildung 5: 5a: Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren in pg/m³ an den ausgewählten Einzeltagen des Standortes LAMP; 5b: Staubkonzentration an den Einzeltagen des Standortes LAMP in µg/m³	15
Abbildung 6: 6a: Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren in pg/m³ an den ausgewählten Einzeltagen des Standortes ANTH; 6b: Staublast an den Einzeltagen des Standortes ANTH in µg/m³	15
Abbildung 7: 7a: Konzentrationen der Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren in pg/m³ an den ausgewählten Einzeltagen des Standortes FLUG; 7b: Staublast an den Einzeltagen des Standortes FLUG in µg/m³	15

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der untersuchten Perfluorcarbonsäuren und Perfluorsulfonsäuren	4
Tabelle 2: Übersicht verwendeter Reagenzien und Verbrauchsmaterialien	6
Tabelle 3: Chromatographie Parameter	7
Tabelle 4: Massenspektrometer Parameter	7
Tabelle 5: Nachweis- und Bestimmungsgrenze (LOD und LOQ) für zehn Perfluorcarbonsäuren	8
Tabelle 6: Nachweis- und Bestimmungsgrenze (LOD und LOQ) für zehn Perfluorsulfonsäuren	8
Tabelle 7: Mittelwerte x, Standardabweichungen s, minimale und maximale Konzentrationswerte Min, Max in pg/m ³ der gemessenen 10 Perfluorcarbonsäuren, n bezeichnet die Anzahl der Proben mit Messwerten über dem LOD bei einer Gesamtzahl von 19 Proben je Standort	11
Tabelle 8: Mittelwerte x, Standardabweichungen s, minimale und maximale Konzentrationswerte Min, Max in pg/m ³ der gemessenen 10 Perfluorsulfonsäuren, n bezeichnet die Anzahl der Proben gemessen über dem LOD bei einer Gesamtzahl von 19 Proben je Standort	12
Tabelle 9: Übersicht der ausgewählten Einzeltage für die PFAS-Analyse und Angabe der Herkunftsgebiete basierend auf der Auswertung der Rückwärtstrajektorien	13

8 Anhang

Tabelle A 1: Übersicht der gemessenen PFAS-Analyten und internen Standards inklusive der Messparameter Retentionszeit, Massen/Ladungsverhältnisse, Kollisionsenergie, RF Lens Spannung und Dwell Time

Verbindung	Retentionszeit (min)	Vorläufer (m/z)	Produkt (m/z)	Kollisions Energie (V)	RF Lens (V)	Min Dwell Time (ms)
PFBA	11.75	168.97	168.97	5	30	282.528
PFBA	11.75	212.979	168.97	9	30	282.528
MPFBA	11.75	217	172	9	30	28.254
PFBS	13.44	298.943	79.957	34	116	39.261
PFBS	13.44	298.943	98.956	29	116	39.261
M3PFBS	13.44	302	80	34	116	19.631
PFPeA	13.64	262.976	219.042	9	31	39.261
M5PFPeA	13.64	268	223	9	31	3.927
PFPeS	14.75	348.94	80.042	33.66	145	34.745
PFPeS	14.75	348.94	99	31	145	34.745
PFHxA	15.07	312.973	119.042	18.76	39	34.745
PFHxA	15.07	312.973	268.97	9	39	34.745
M5PFHxA	15.07	318	273	9	39	17.373
PFHxS	15.8	398.937	79.957	39	135	36.677
PFHxS	15.8	398.937	98.956	35	135	36.677
M3PFHxS	15.8	402	80	39	135	3.669
PFHpA	16.2	362.97	168.97	15.53	43	38.884
PFHpA	16.2	362.97	319.042	9	43	38.884
M4PFHpA	16.2	367	322	15.53	43	3.889
PFHpS	16.8	448.933	80.012	37.6	131	42.471
PFHpS	16.8	448.933	98.97	36.2	131	42.471
PFOA	17.2	412.966	169	16.1	49	36.822
PFOA	17.2	412.966	369.042	9	49	36.822
M8PFOA	17.2	421	376	9	56	18.411
PFOS	17.7	498.93	79.957	47	159	24.882
PFOS	17.7	498.93	98.956	40	159	24.882
M8PFOS	17.7	507	80	40	160	12.442
PFNA	18.1	462.963	169	17.51	52	23.781
PFNA	18.1	462.963	219.012	15.23	52	23.781
PFNA	18.1	462.963	418.97	9	52	23.781
M9PFNA	18.1	472	427	9	52	11.891
PFNS	18.4	548.927	80.071	42.34	148	23.781
PFNS	18.4	548.927	98.97	40.67	148	23.781
PFDA	18.8	512.96	219.012	16.14	56	23.781
PFDA	18.8	512.96	269.042	15.8	56	23.781
PFDA	18.8	512.96	469.042	9	56	23.781
M6PFDA	18.8	519	474	9	56	11.891

Fortsetzung Tabelle A 1:

Verbindung	Retentions-zeit (min)	Vorläufer (m/z)	Produkt (m/z)	Kollisions Energie (V)	RF Lens (V)	Min Dwell Time (ms)
PFDS	19.1	598.924	80.042	44.92	169	23.781
PFDS	19.1	598.924	98.929	43.48	169	23.781
PFUdA	19.5	562.957	219	17.32	62	23.781
PFUdA	19.5	562.957	269.03	16.94	62	23.781
PFUdA	19.5	562.957	518.97	9	62	23.781
M7PUUDA	19.5	570	525	17.32	62	11.891
PFUnDS	19.7	648.94	80	57	249	23.781
PFUnDS	19.7	648.94	99	47	249	23.781
PFDoA	20	612.954	169.03	23.69	67	23.781
PFDoA	20	612.954	319.042	17.54	67	23.781
PFDoA	20	612.954	569	9	67	23.781
MPFDoA	20	615	570	9	67	11.891
PFDoS	20.2	698.9	80	53	175	26.897
PFDoS	20.2	698.9	99	48	175	26.897
PFTrDA	20.54	662.95	168.97	25.16	71	26.897
PFTrDA	20.54	662.95	369.071	17.85	71	26.897
PFTrDA	20.54	662.95	619.042	9	71	26.897
PFTrDS	20.89	748.92	80	58	250	28.37
PFTrDS	20.89	748.92	98.8	57	250	28.37
PFTrDS	20.89	748.92	379.8	57	250	28.37

Tabelle A 2: Übersicht der untersuchten Analyt Substanzen und der zugehörigen internen Standardsubstanzen

Analyt Substanz	Interne-Standard Substanz
PFBA	MPFBA
PFPeA	M5PFPeA
PFHxA	M5PFHxA
PFHpA	M4PFHpA
PFOA	M8PFOA
PFNA	M9PFNA
PFDA	M9PFDA
PFUnDA	M7PFUnDA
PFDoA	MPFDoA
PFTrDA	MPFDoA
PFBS	M3PFBS
PFPeS	M3PFBS
PFHxS	M3PFHxS
PFHpS	M3PFHxS
PFOS	M8PFOS
PFNS	M8PFOS
PFDS	M8PFOS
PFUnDS	M8PFOS
PFDoDS	M8PFOS, MPFDoA
PFTrDS	M8PFOS, MPFDoA

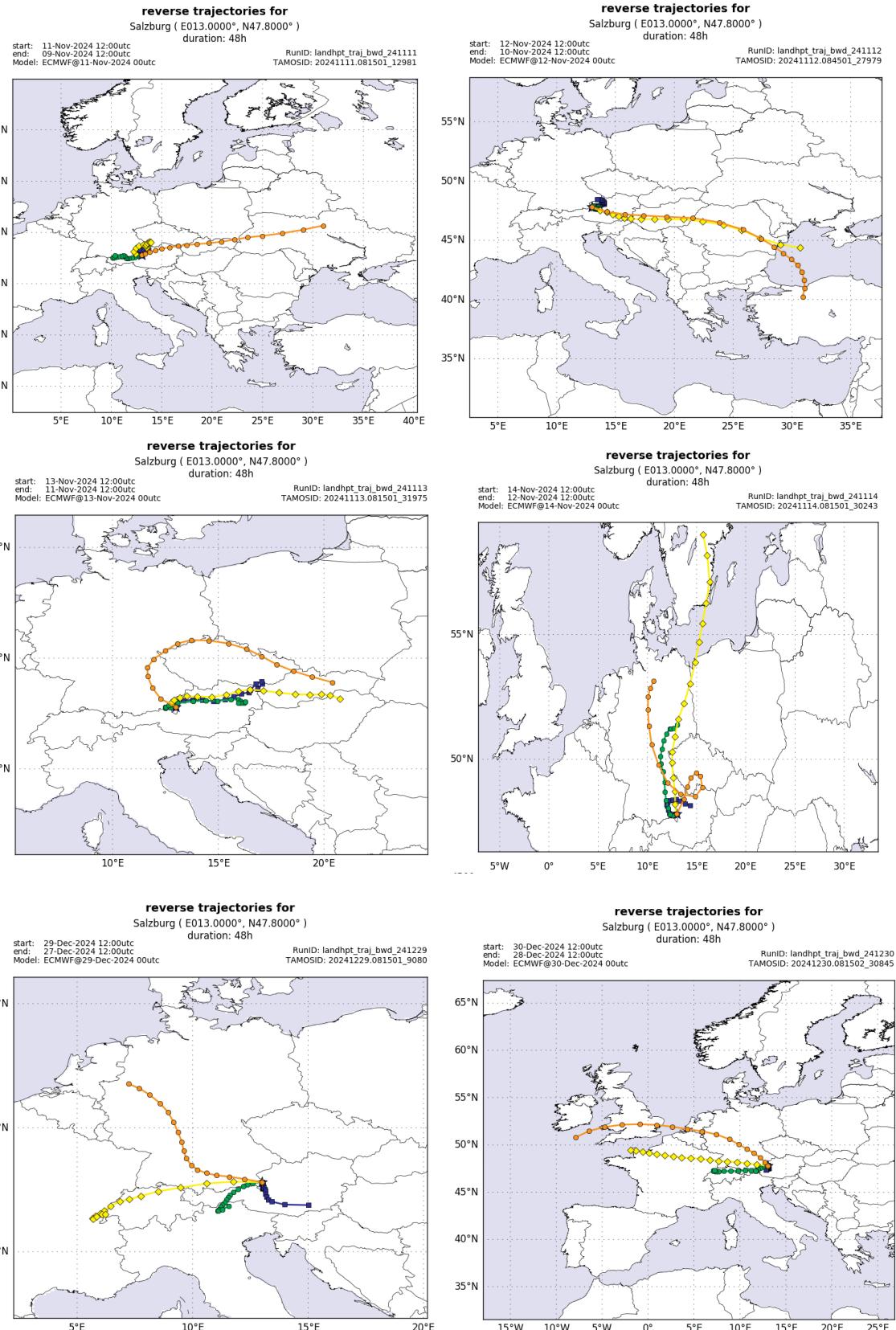


Abbildung A 1: Rückwärtstrajektorien der Einzeltage 11.11.24 bis 30.12.24

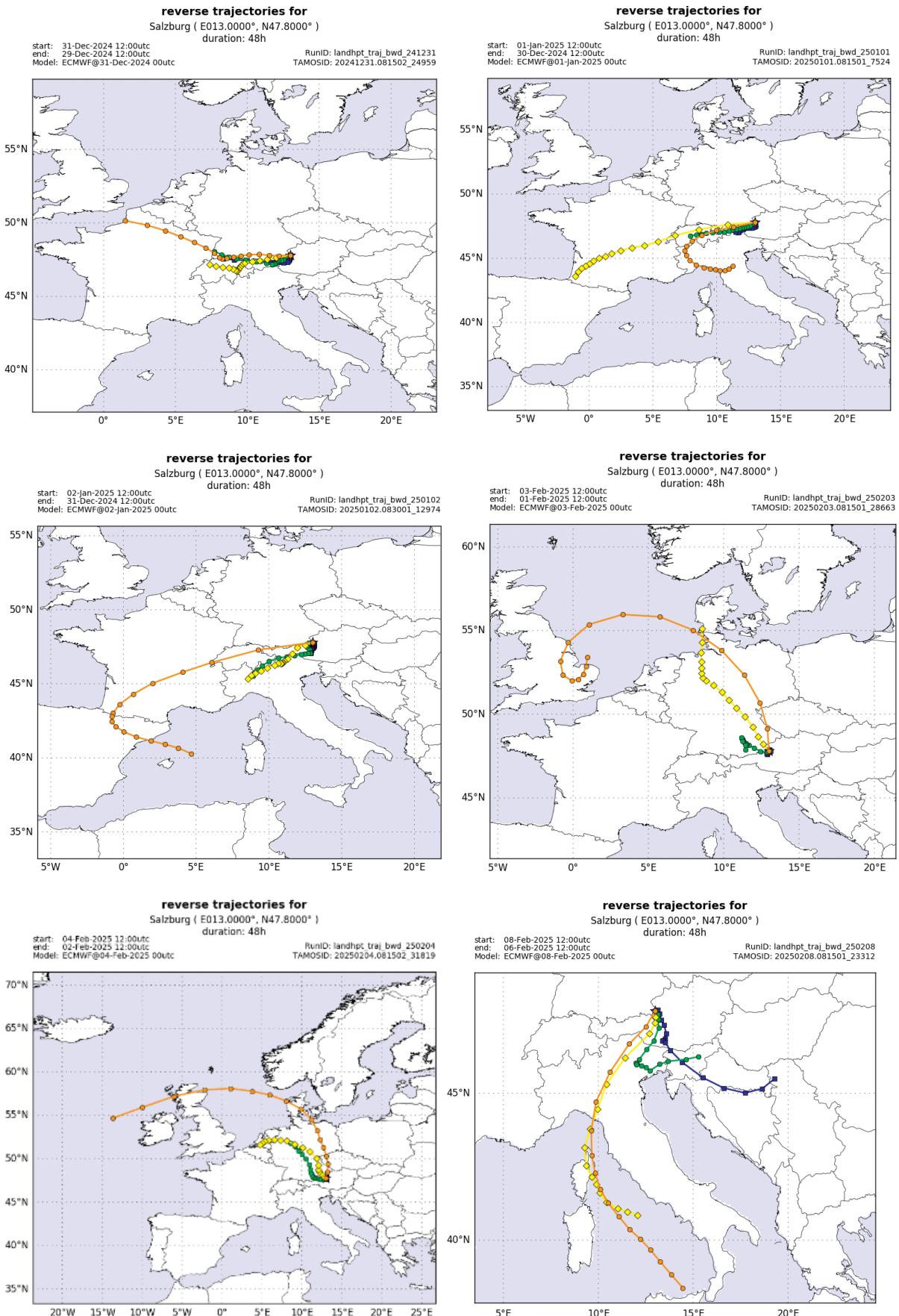


Abbildung A 2: Rückwärtstrajektorien der Einzeltage 31.12.24 bis 08.02.25

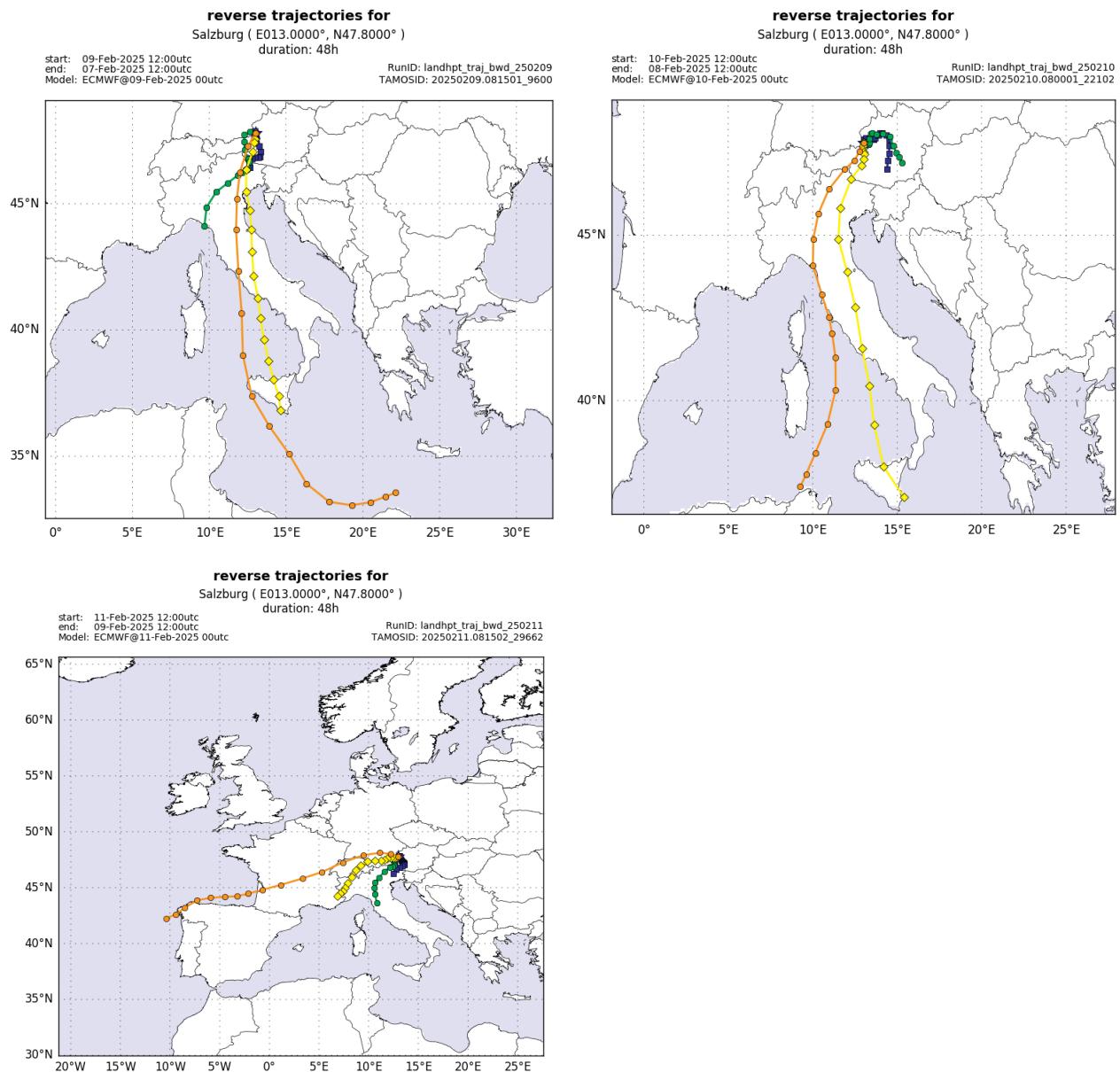


Abbildung A 3: Rückwärtstrajektorien der Einzeltage 09.02.25 bis 11.02.25

Tabelle A 3: Ergebnisse der PFAS-Konzentrationen in PM₁₀ in den gepoolten Wochenproben für den Standort LAMP in pg/m³

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTrDA	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoS	PFTrDS
LAMP FF KW 41	0.415	<LOD	<LOD	<LOD	0.091	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 42	0.373	<LOD	<LOD	<LOD	0.073	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 43	0.248	<LOD	<LOD	<LOD	0.075	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 44	0.405	0.154	0.461	0.064	0.116	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 45	0.881	0.499	0.790	0.069	0.073	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.040	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 46	1.124	1.240	1.720	0.126	0.091	0.076	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 47	0.469	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 48	1.439	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 49	0.904	<LOD	<LOD	<LOD	0.071	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 50	1.213	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 51	0.852	<LOD	<LOD	<LOD	0.073	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 52	1.320	0.337	0.909	0.065	0.123	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 1	1.731	0.989	2.035	0.096	0.157	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 2	1.108	0.121	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 3	1.065	0.305	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.059	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 4	1.145	0.495	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 5	0.864	0.178	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 6	1.148	0.393	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.023	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP FF KW 7	2.121	0.417	<LOD	0.052	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.047	<LOD	<LOD	0.033	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	

Tabelle A 4: Ergebnisse der PFAS-Konzentrationen in PM₁₀ in den gepoolten Wochenproben für den Standort ANTH in pg/m³

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTrDA	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoS	PFTrDS
ANTH FF KW 41	0.277	<LOD	<LOD	<LOD	0.079	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 42	0.209	0.083	<LOD	0.054	0.111	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 43	0.206	0.116	<LOD	0.055	0.085	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 44	0.435	0.211	0.496	0.075	0.132	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 45	0.862	0.333	0.577	0.083	0.113	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.040	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 46	0.427	0.428	0.614	<LOD	<LOD	0.076	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 47	0.330	0.073	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 48	0.643	0.104	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 49	0.584	0.141	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 50	0.795	0.155	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 51	0.458	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 52	1.180	0.334	0.272	0.058	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 1	1.333	1.246	2.733	0.144	0.182	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 2	0.506	0.081	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 3	0.963	0.167	<LOD	<LOD	0.098	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.059	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 4	0.866	0.115	<LOD	0.053	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 5	0.406	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 6	1.044	0.174	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.023	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH FF KW 7	1.842	0.277	<LOD	0.119	0.129	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.047	<LOD	<LOD	0.033	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	

Tabelle A 5: Ergebnisse der PFAS-Konzentrationen in PM₁₀ in den gepoolten Wochenproben für den Standort FLUG in pg/m³

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTrDA	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoS	PFTrDS
FLUG FF KW 41	0.314	<LOD	<LOD	<LOD	0.074	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 42	0.257	<LOD	<LOD	<LOD	0.114	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 43	0.202	<LOD	<LOD	0.052	0.106	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 44	0.339	0.125	0.333	<LOD	0.095	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 45	0.590	0.115	0.333	<LOD	0.077	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.110	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 46	0.748	0.546	0.924	0.078	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 47	0.387	0.087	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 48	0.737	0.166	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 49	0.605	0.178	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 50	0.799	0.126	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 51	0.549	0.119	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 52	0.877	0.248	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 1	1.555	1.561	3.533	0.123	0.167	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 2	0.653	0.169	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 3	1.220	0.326	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.042	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 4	1.161	0.312	<LOD	0.065	0.144	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 5	0.627	0.116	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 6	1.023	0.263	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.042	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG FF KW 7	1.568	0.381	<LOD	0.114	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.035	<LOD	0.214	<LOD	0.139	<LOD	<LOD	<LOD	

Tabelle A 6: PFAS-Konzentrationen in PM₁₀, Einzeltage Standort LAMP in pg/m³

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTrDA	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoS	PFTrDS
LAMP 11.11.24	0.543	2.569	3.115	0.118	0.130	0.108	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 12.11.24	0.499	0.406	0.688	<LOD	0.061	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 13.11.24	0.673	1.445	1.972	<LOD	0.083	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 14.11.24	0.779	0.218	0.140	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 29.12.24	1.952	1.011	2.747	<LOD	0.310	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 30.12.24	2.833	2.404	5.125	0.089	0.472	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 31.12.24	2.330	1.847	4.785	<LOD	0.289	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 1.1.25	2.295	0.560	1.110	<LOD	0.101	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 2.1.25	1.306	0.143	0.126	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 3.2.25	0.773	0.142	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 4.2.25	0.704	0.205	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 8.2.25	0.912	0.333	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.185	<LOD	<LOD	0.081	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 9.2.25	1.230	0.360	<LOD	<LOD	0.060	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.326	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 10.2.25	1.640	0.446	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.310	0.046	0.114	0.063	<LOD	<LOD	<LOD	
LAMP 11.2.25	0.855	0.293	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.156	<LOD	<LOD	0.111	<LOD	<LOD	<LOD	

Tabelle A 7: PFAS-Konzentrationen in PM₁₀, Einzeltage Standort ANTH in pg/m³

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTrDA	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoS	PFTrDS
ANTH 11.11.24	0.383	1.375	1.230	0.125	0.088	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 12.11.24	0.160	0.334	0.564	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 13.11.24	0.278	1.768	2.874	0.089	0.075	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 14.11.24	0.630	0.214	0.152	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 29.12.24	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 30.12.24	1.454	0.311	0.423	<LOD	0.090	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.145	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 31.12.24	2.930	4.231	9.002	0.165	0.496	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.035	<LOD	0.128	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 1.1.25	1.879	1.946	4.516	0.074	0.238	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.076	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 2.1.25	0.881	0.179	0.140	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 3.2.25	0.741	0.085	0.063	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 4.2.25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 8.2.25	0.670	0.146	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.035	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 9.2.25	0.500	0.138	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 10.2.25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
ANTH 11.2.25	0.727	0.266	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.030	<LOD	0.125	<LOD	<LOD	0.101	<LOD	<LOD	<LOD	

Tabelle A 8: PFAS-Konzentrationen in PM₁₀, Einzeltage Standort FLUG in pg/m³

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTrDA	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFUnDS	PFDoS	PFTrDS
FLUG 11.11.24	0.345	0.532	0.920	0.074	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.049	<LOD	0.200	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 12.11.24	0.224	0.306	0.518	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.106	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 13.11.24	0.439	1.554	2.581	0.110	0.061	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 14.11.24	0.580	0.282	0.548	0.087	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.265	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 29.12.24	1.592	0.161	0.064	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.403	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 30.12.24	4.444	5.724	13.939	0.309	0.767	<LOD	<LOD	<LOD	1.009	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 31.12.24	2.733	2.116	5.355	0.127	0.294	<LOD	<LOD	<LOD	0.669	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 1.1.25	1.480	0.392	0.099	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 2.1.25	1.034	0.172	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 3.2.25	0.540	0.111	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.092	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 4.2.25	0.613	0.131	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 8.2.25	0.721	0.251	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 9.2.25	0.897	0.279	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.221	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 10.2.25	1.470	0.332	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.363	0.129	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
FLUG 11.2.25	1.164	0.289	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.757	<LOD	<LOD	0.233	0.077	<LOD	0.076	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	

