



Salzburger Flughafen GmbH
Altlastensanierung Lössschaum
Erkundungsmaßnahmen
2019 bis März 2022
3. Zwischenbericht

11. APRIL 2022

MUP UMWELTTECHNIK GMBH
FRIEDRICH-EBERT-STRASSE 78A
85055 INGOLSTADT

AUFTRAGGEBER

Salzburger Flughafen GmbH

Innsbrucker Bundesstraße 95
5020 Innsbruck

BEARBEITER

Dr. Thomas Hanauer
thomas.hanauer@mup-group.com

Ingolstadt, 11. April 2022



Dipl.-Geol. Dr. Thomas Hanauer

INHALT

1	AUFGABENSTELLUNG	5
2	PER- UND POLYFLUORIERTEN ALKYLSTANZEN	6
3	DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN.....	8
4	ERGEBNISSE	11
4.1	Untergrundbeschaffenheit, Hydrogeologie	11
4.2	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen an Mischproben	13
4.3	Ergebnisse der tiefendifferenzierten Bodenuntersuchungen.....	15
4.3.1	Untersuchungen im Bodeneluat 1:10.....	15
4.3.2	Untersuchungen im Bodeneluat 1:2	16
4.3.3	Untersuchungen im Feststoff.....	17
4.3.4	Untersuchungen auf PFAS-Precursor.....	18
4.3.5	Ergebnisse von Untersuchungen an Schöpfproben.....	19
4.3.6	Untersuchungen weiterer Schadstoffparameter.....	20
5	PUMPVERSUCH AN DER MESSSTELLE KB B3.....	23
6	GRUNDWASSERMONITORING.....	25
7	UNTERSUCHUNGEN AN OBERFLÄCHENGEWÄSSERN	26
8	GRUNDWASSERMODELLIERUNG	26
9	UNTERSUCHUNGEN AN NUTZPFLANZENPROBEN.....	26
10	EINSATZEITEN UND -MENGEN DER LÖSCHMITTEL	28
11	ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERE MAßNAHMEN.....	28
12	QUELLENVERZEICHNIS.....	29

ANHANG

- Anhang 1: Geoconsult ZT GmbH (2019): Salzburg Airport – Dokumentation der Schichtenverzeichnisse; September 2021.
- Anhang 2: Analyseergebnisse der Bodenuntersuchungen
- Anhang 3: Analyseergebnisse Pumpversuch an der Messstelle AS_KB_B3
- Anhang 4: Tiefenprofile der PFOS-Verunreinigung; Bodeneluat 1:10
- Anhang 5: Memo zur Erstellung des Grundwasserströmungsmodells
- Anhang 6: Analyseergebnisse der Untersuchungen an Oberflächengewässern
- Anhang 7: Analyseergebnisse der Grundwasseruntersuchungen
- Anhang 8: Memo zur Recherche des Löschmitteleinsatzes

ANLAGEN

Lagepläne

- Anlage 1.1: Übersichtsplan Flughafen
- Anlage 1.2: Lage der Untersuchungspunkte im Bereich Fahrzeugabstellfläche
- Anlage 1.3: Detaillageplan der PFOS-Bodenbelastungen (Perfluorooctansulfonsäure, Eluat)
- Anlage 1.4: Detaillageplan der PFOA-Bodenbelastungen (Perfluorooctansäure, Eluat)
- Anlage 1.5: Detaillageplan der PFHpA-Bodenbelastungen (Perfluorheptansäure, Eluat)
- Anlage 1.6: Detaillageplan der PFHxS-Bodenbelastungen (Perfluorhexansulfonsäure, Eluat)
- Anlage 1.7: Detaillageplan der PFHpS-Bodenbelastungen (Perfluorheptansulfonsäure, Eluat)
- Anlage 1.8: Detaillageplan der PFNA-Bodenbelastungen (Perfluornonansäure, Eluat)
- Anlage 1.9: Detaillageplan der H4PFOS-Bodenbelastungen (Perfluorooctansulfonat, Eluat)
- Anlage 1.10: Lageplan der PFOS-Bodenbelastung Gesamtgelände
- Anlage 1.11: Lageplan Grundwassermonitoring Ergebnisse PFOS, März 2022
- Anlage 1.12: Lageplan Grundwassermonitoring Ergebnisse PFAS, März 2022

1 AUFGABENSTELLUNG

Seit dem Jahr 2018 sind am Flughafen Salzburg Boden- und Grundwasserverunreinigungen durch per- und polyfluorierte Substanzen (PFAS) bekannt. Als Ursache dieser Verunreinigungen wurde der Einsatz von PFAS-haltigen Löschschaummitteln identifiziert.

Seitens der Flughafen Salzburg GmbH wurden daraufhin seit 2018 umfangreiche Untersuchungen des Grundwassers am Flughafen und im weiteren Grundwasserabstrom sowie der Böden im Bereich von Übungs- und Umgangsflächen mit Löschschäumen veranlasst. Parallel wurde der Einsatz der Löschmittel aus den Einsatzberichten der Flughafenfeuerwehr recherchiert.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in folgenden Untersuchungsberichten dokumentiert:

/1/ Hydrologische Untersuchungsstelle Salzburg GmbH (2019): Perfluorierte Verbindungen im Grundwasser im Bereich Flughafen Salzburg Messprogramm Grundwasser - Ergebnisse der bisherigen Erhebungen- Zwischenbericht.- Gutachten mit Datum vom 05.08.2019.

/2/ Geoconsult ZT GmbH (2019): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung; Bericht mit Datum vom 09.10.2019.

/3/ Geoconsult ZT GmbH (2020): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung; Bericht mit Datum vom 10.08.2020.

/4/ Geoconsult ZT GmbH (2020): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung; Bericht mit Datum vom 16.10.2020.

/5/ Geoconsult ZT GmbH (2021): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung; Bericht mit Datum vom 28.04.2021.

/6/ Tauw GmbH (2021): Salzburg Airport – Entsorgung kontaminierter Böden, Erkundungsmaßnahmen April 2021, Zwischenbericht mit Datum vom 18.05.2021.

/7/ Geoconsult ZT GmbH (2021): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung.- Bericht mit Datum vom 22.06.2021.

/8/ Geoconsult ZT GmbH (2021): Salzburg Airport- Schichtenverzeichnisse der Bodenuntersuchungen vom September 2021.- Schichtenprofile mit Prüfdatum vom 21.09.2021.

/9/ Tauw GmbH (2021): Salzburg Airport – Entsorgung kontaminierter Böden, Erkundungsmaßnahmen 2019 bis September 2021, 2. Zwischenbericht mit Datum vom 23.11.2021.

Mit dem vorliegenden 3. Zwischenbericht werden die bis zum März 2022 vorliegenden Ergebnisse der Boden- und Grundwasseruntersuchungen dokumentiert.

2 PER- UND POLYFLUORIERTEN ALKYLSTANZEN

In diesem Bericht wird für die Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen durchgehend die Bezeichnung PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances) verwendet. In der Literatur findet man synonym oft auch die Bezeichnung PFC (per- und polyfluorierte Chemikalien).

PFAS kommen nicht natürlich vor, sondern sind anthropogenen Ursprungs. Aktuell umfasst diese Stoffgruppe mehrere tausend Verbindungen. Allen PFAS gemeinsam sind vollständig (per-) oder teilweise (poly-) fluorierte aliphatische Kohlenstoffketten mit einer funktionellen Gruppe.

Die Industriechemikalien der PFAS-Gruppe werden seit Mitte des 20. Jahrhunderts hergestellt. PFAS sind wasser-, fett- und schmutzabweisend. Aufgrund dieser Eigenschaften werden sie in zahlreichen industriellen Prozessen und technischen Anwendungen eingesetzt und in zahlreichen Verbraucherprodukten wie Papier, Textilien, antihafbeschichteten Pfannen, Elektronikgeräten, Kosmetika oder Ski-Wachsen verarbeitet. Zudem werden PFAS zur Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen, in Reinigungs- und Pflanzenschutzmitteln, in der Fahrzeug- und Bauindustrie, im Energiesektor, in Farben sowie in einer Vielzahl weiterer Bereiche verwendet.

Im Bereich von Flughäfen kamen PFAS als Bestandteil von Feuerlöschschäumen insbesondere für Brände der Brandklasse B (Brände von Flüssigkeiten und schmelzenden Feststoffen) zum Einsatz.

Aufgrund ihrer vielfältigen Verwendungen existieren verschiedenste Eintragspfade in die Umwelt. Die perfluorierten Vertreter der Stoffgruppe sind in der Umwelt außerordentlich stabil. Sie werden praktisch nicht abgebaut. Deshalb lassen sie sich mittlerweile auch außerhalb von Schadensfällen in Spuren überall in der Umwelt nachweisen, auch in industriefernen Gebieten.

PFAS werden in langkettige und kurzkettige Verbindungen unterteilt, da sie unterschiedliche chemische Eigenschaften aufweisen. Als langkettig gelten nach einer Definition der OECD alle Perfluorcarbonsäuren mit sieben und mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen (also beginnend mit Perfluorheptansäure) und alle Perfluorsulfonsäuren mit sechs und mehr perfluorierten Kohlenstoffatomen (also beginnend mit Perfluorhexansulfonsäure).

Langkettige PFAS gelten als persistent und bioakkumulierbar. Im menschlichen Körper können langkettige PFAS an Proteine in Blut, Leber und Niere binden. Im Vergleich zu anderen Chemikalien werden langkettige PFAS sehr langsam ausgeschieden und können sich deshalb im Körper anreichern. Besonders kritisch ist auch die Weitergabe langkettiger PFAS von der Mutter zum Kind während der Schwangerschaft und Stillzeit.

Erhöhte Konzentrationen von PFOA und PFOS im menschlichen Blut können Wirkungen von Impfungen vermindern, die Neigung zu Infekten erhöhen, zu erhöhten Cholesterinwerten führen und bei Nachkommen ein verringertes Geburtsgewicht zur Folge haben. In der Muttermilch und im menschlichen Blut der Allgemeinbevölkerung sind langkettige PFAS nachweisbar. Nach der Europäischen Chemikalienverordnung REACH gelten einige dieser Verbindungen als „besonders besorgniserregend“.

PFAS unterscheiden sich substantiell von herkömmlichen „klassischen“ Schadstoffen. Aufgrund der Tatsache, dass perfluorierte Verbindungen weitgehend inert gegenüber mikrobiellem und chemischem Angriff sowie, mit Ausnahme der Fluortelomeralkohole (FTOH), nicht flüchtig sind, scheiden viele Sanierungsverfahren aus. Ihre hohe Mobilität führt nach dem Eintrag der PFAS ins Grundwasser rasch zu ausgedehnten Grundwasserfahnen.

Nur für einen geringen Teil der mehreren Tausend in Industrie und Haushalt eingesetzten PFAS-Verbindungen existieren kommerziell verfügbare analytische Nachweisverfahren

Ein großer Teil der PFAS ist polyfluoriert und teilweise mikrobiell transformierbar. Als nicht weiter abbaubare Endprodukte entstehen (oft mit großer Zeitverzögerung) die Perfluoralkancarbonsäuren und -sulfonsäuren. Dies sind genau die Substanzen, die mobil sind, toxisch wirken und für die es bereits teilweise eingeführte Prüfwerte gibt. Aufgrund der Transformierbarkeit werden die Ausgangsverbindungen als Precursor bezeichnet. Eine Nichtbeachtung der Precursor kann in allen Bearbeitungsstufen einer Altlastenerkundung zu unvollständigen Bewertungen führen. Deshalb sollten diese Substanzen im Sanierungsmanagement mitberücksichtigt werden, auch wenn es hierzu noch keine Beurteilungswerte gibt.

So kann beispielsweise bei Nichtberücksichtigen der Precursor eine Gefahrverdachtsuntersuchung unmittelbar nach dem Einsatz von fluorverbindungshaltigen Feuerlöschschäumen (sogenannte AFFF-Schäume) das Ergebnis haben, dass vermeintlich keine perfluorierten PFAS vorhanden sind. Aus den Precursorsubstanzen werden aber mit der Zeit die analytisch nachweisbaren perfluorierten PFAS durch mikrobielle Transformation gebildet und freigesetzt. Diese Gefährdung könnte im schlechtesten Fall bei einer Gefahrverdachtsuntersuchung übersehen und die Situation falsch eingeschätzt werden.

Zunächst wurden am Flughafen Salzburg bei regelmäßigen vorgeschriebenen Übungen und Funktionstests durch die Flughafenfeuerwehr ab den 1960er Jahren Proteinschäume eingesetzt, die bereits fluorierte Tenside enthielten. Dabei kann generell davon ausgegangen werden, dass seit 1963 PFOS Hauptbestandteil leistungsfähiger Schaumlöschmittel war.

Seit den 1980er Jahren erfolgte am Flughafen Salzburg der Einsatz von Mitteln der Fa. 3M (Light Water FC-203 und Light Water FC-602 ATC PLUS). Ab 2004 bis zum Jahr 2018 ist das Produkt STHAMEX AFFF F15 3% der Firma Dr. Sthamer zum Einsatz gekommen.

Die genaue Zusammensetzung der Schäume, die als Firmengeheimnis behandelt wird, ist in der Regel nicht bekannt. Zudem können die Bestandteile nicht nur von Hersteller zu Hersteller, sondern für ein bestimmtes Produkt auch über die Zeit variieren.

Light Water wurde im Jahr 2000 vom Hersteller 3M vom Markt genommen. Nach dem Ausstieg aus der PFOS-Produktion in den 2000er Jahren enthalten Schaummittel, mit Ausnahme der in China hergestellten Produkte, heute nahezu kein PFOS mehr. Zulässig ist aber weiterhin ein Anteil von maximal 0,001 % PFOS, was beispielsweise bei einer 3-%igen Lösung einer Konzentration von ca. 300 µg/L PFOS entspricht.

Mit Bekanntwerden der schädigenden Eigenschaften der langkettigen PFAS wurden anstelle von PFOS in der neueren Generation der AFFF-Löschmittel kürzerkettige PFAS, vor allem Fluortelomere oder Fluortelomer-basierte Verbindungen (im wesentlichen Fluortelomersulfate und Perfluorcarboxybetaine) mit 6 vollständig fluorierten Kohlenstoffatomen (z.B. 6:2-FTS) eingesetzt. Manche AFFF-Rezepturen enthielten bis zu 90 % dieser C6-Perfluortenside.

Neben den stark substituierten Verbindungen war 6:2 FTS (= H4PFOS) das Hauptersatzprodukt für PFOS in Löschschäumen. Die AFFF-Feuerlöschschaummittel der häufig eingesetzten Produkte enthalten neben einigen Perfluorcarbon- und -sulfonsäuren in geringer Konzentration die Verbindung 6:2 FTS und die beiden Betaine Capstone A und B.

3 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Die ersten Bodenuntersuchungen am Flughafen Salzburg erfolgten im September 2019 im Bereich der Fahrzeugabstellfläche im Süden des Vorfeldes. Hier wurden in der jüngeren Vergangenheit regelmäßig die gesetzlich erforderlichen Tests zum Einsatz von Feuerlöschschäumen durchgeführt.

In der Folge wurden weitere Probenahmen im Juli und Oktober 2020, sowie im April, Juni, September, November und Dezember 2021 durchgeführt. Insgesamt wurden bis zum März 2022 folgende Untersuchungen durchgeführt:

- 73 Baggerschürfen bis max. 5 m Tiefe mit Gewinnung von Bodenproben
- 24 Rammkernbohrungen bzw. Kleinrammsondierungen (DN 80/DN100) bis max. 8 m Tiefe mit Gewinnung von Bodenproben und z.T. Grundwasserschöpfproben.
- eine verrohrte Bohrung (178 mm) bis 20 m Tiefe mit Gewinnung von Bodenproben
- Errichtung von 3 Grundwassermessstellen (Ausbau 125 mm) bis 20 m Tiefe mit Gewinnung von Bodenproben
- Gewinnung von rd. 200 Grundwasserproben aus Grundwassermessstellen im Flughafenbereich und im weiteren Grundwasserabstrom
- Gewinnung von 3 Oberflächenwasserproben an Fließgewässern im Abfluss von Quellaustritten des Grundwasserkörpers im Grundwasserabstrom
- Durchführung von Grundwassermodellberechnungen zur Berechnung der Grundwasserströmung für verschiedene Zeiträume
- Durchführung eines 10-tägigen 3-stufigen Pumpversuchs im Haupteintragsbereich
- Untersuchungen an Nutzpflanzenproben auf homantoxikologische PFAS-Stoffe
- Bilanzierung und zeitliche Zuordnung der eingesetzten Löschschaummittel

Grundwasseruntersuchungen

Im Zeitraum vom Oktober 2018 bis zum März 2022 wurden an 23 Terminen insgesamt rd. 200 Grundwasserproben an maximal bis zu 35 Messstellen im Flughafenbereich und im weiteren Grundwasserabstrom entnommen und auf PFAS untersucht.

Im Anhang 7 ist eine Gesamtübersicht der Analysenergebnisse beigefügt.

Untersuchungen an Oberflächengewässern

Im Januar 2022 und im Februar 2022 wurden an der Altglan, dem Lieferinger Mühlbach sowie dem Fischerwirtsbach vor der Einmündung in den Lieferinger Mühlbach Gewässerproben entnommen und auf 20 PFAS-Einzelstoffe gemäß der EU-Trinkwasserrichtlinie untersucht.

Die Analysenergebnisse liegen als Anhang 6 bei.

Untersuchungen an Nutzpflanzen

Im November 2021 wurden in einem Privatgarten in Glanhofen und im Hausgarten der Christian Doppler Klinik Proben von Nutzpflanzen entnommen und an das Umweltbundesamt zur Analyse überstellt.

10-tägiger Pumpversuch im Haupteintragsbereich

Im Zeitraum 02.12.2021 bis 13.12.2021 wurde an der Grundwassermessstelle KB B3 im Haupteintragsbereich der Löschschaummittel südlich des Vorfeldes ein 10-tägiger Pumpversuch mit 3 Entnahmestufen durchgeführt. Das entnommene Grundwasser wurde zu Beginn und am Ende jeder Pumpstufe auf PFAS sowie gelöstes Eisen und Mangan sowie weitere Leitparameter untersucht.

Das geförderte Grundwasser wurde über eine Aktivkohlefilteranlage abgereinigt und im Grundwasserseitstrom versickert.

Die Analysenergebnisse liegen als Anhang 3 bei.

Grundwassermodellberechnungen

Die Fa. Geoconsult wurde im Oktober 2021 mit der Validierung eines bestehenden regionalen Grundwasserströmungsmodells und der Durchführung von instationären Modellberechnungen beauftragt. Ziel der Modellierung war es, die Strömungssituation in Abhängigkeit der verschiedenen am Flughafen und im Flughafenumfeld vorhandenen Grundwasserentnahmen und Grundwassereinspeisungen für verschiedene Zeiträume zu betrachten.

Im Anhang 5 ist ein Memo zur Erstellung des Grundwasserströmungsmodells beigefügt.

Errichtung von Grundwassermessstellen

Im November 2021 wurden zwei zusätzliche Grundwassermessstellen errichtet. Die Messstelle KB B3 wurde im Hauptschadensbereich südlich des Vorfeldes errichtet. An dieser Messstelle wurde der 10-tägige Pumpversuch durchgeführt. Die Messstelle KB B4 wurde im Osten der Start-/Landebahn im Bereich der Frachtabfertigung errichtet. Die Lage der Messstellen ist aus den Anlagen 1.2 und 1.10 ersichtlich.

Die Schichtenprofile der neu errichteten Messstellen liegen als Anhang 1 bei.

Bodenuntersuchungen

Die Feststoffprobenahme an Schürfen und Bohrungen erfolgte unter Berücksichtigung einer Betriebsanweisung zum Arbeitsschutz und einer Arbeitsanweisung zur Vermeidung von Querkontaminationen.

Die Details zur Durchführung der Feldarbeiten (Probenahmeprotokolle, Schichtenprofile, Zeitraum September 2021) sind den im Anhang beigefügten Berichten der Fa. Geoconsult ZT GmbH zu entnehmen (vgl. Anhang 1).

Aus den oberen Bodenschichten bis in Tiefen von rd. 3 m unter Gelände wurden bei den Untersuchungen in einem ersten Analysenschritt in der Regel die Konzentrationen der folgenden Stoffe im Bodeneluat 1:10 bestimmt:

Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)

Perfluordecansäure (PFDA)

Perfluorheptansäure (PFHpA)

Perfluorhexansäure (PFHxA)

Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)

Perfluornonansäure (PFNA)

Perfluoroctansäure (PFOA)

Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)

Perfluorbutansäure (PFBA)

Perfluorpentansäure (PFPeA)

1H,1H,2H,2H-Perfluorhexansulfonsäure (H4PFHxS; 4:2 FTS)

1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure (H4PFOS; 6:2 FTS)

1H,1H,2H,2H-Perfluordecansulfonsäure (H4PFDS; 8:2 FTS)

Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)

Perfluoroctansulfonsäureamid (PFOSA)

In diesen insgesamt 15 Substanzen sind auch die in den Leitlinien des bayerischen Landesamtes für Umwelt /10/ zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden aufgelisteten 13 Einzelsubstanzen beinhaltet. In den Untersuchungen ab September 2021 wurde der Umfang der Untersuchungen angepasst, so dass die in der EU-Trinkwasserrichtlinie als

Standard festgelegten insgesamt 20 Einzelstoffe erfasst werden. Diese sind im Anhang zur EU-Trinkwasserrichtlinie aufgelistet.

Ziel der Vorab-Untersuchung der Mischproben aus dem Tiefenbereich bis 3 m unter Geländeoberkante war es, die für weitere detaillierte Untersuchungen an weiteren Tiefenbereichen belasteten Bereiche erkennen und auswählen zu können. In einem zweiten Analysenschritt wurden dann ausgewählte Proben auf folgende Parameter analysiert:

- Vertikal weitere Bodenproben im Bodeneluat 1:19 auf PFAS
- Vertikal weitere Bodenproben im Bodeneluat 1 : 2 auf PFAS
- Weitere Bodenproben im Feststoff auf PFAS
- Weitere Bodenproben im Eluat 1:10 auf Precursor (AOF/TOP)
- Ausgewählte Bodenproben auf BTEX/MKW/PAK
- Eine repräsentative Bodenprobe auf die Parameter der Deponieverordnung

Die Ergebnisse der laboranalytischen Untersuchungen liegen in tabellarischer Form zur Übersicht in Anhang 2 bei.

4 ERGEBNISSE

4.1 UNTERGRUNDBESCHAFFENHEIT, HYDROGEOLOGIE

Der Salzburger Flughafen befindet sich im Bereich des Salzburger Beckens dessen glaziofluviale Auffüllung beträchtliche Mächtigkeiten von 200 m bis 250 m erreicht. Auf dem damaligen Beckenboden wurden zuerst Moränen abgelagert; gefolgt vom „Salzburger Seeton“ als mächtige Staubeckenfüllungen des spätglazialen Eissees. Dieser Salzburger Seeton besteht aus grauen bis graublauen Schlufftonen und schluffigen Feinsanden und erreicht Mächtigkeiten von über 200 m.

Über dem Seeton befinden sich überwiegend Aufschüttungsflächen aus Sand und lehmigen Schottern von einigen Metern Mächtigkeit. Diese Aufschüttungsflächen wurden mit zunehmender Eintiefung des Salzachtales zerschnitten und teilweise wieder abgetragen, sodass es zur Entstehung von mehr oder weniger ausgeprägten Terrassenflächen kam.

Im Frühjahr 2011 wurde im Rahmen des Projekts Wärmenutzung Terminalausbau Flughafen Salzburg eine 120 m tiefe Erkundungsbohrung (KB1/11) abgeteuft. Die Bohrung ergab ein geologisches Profil, bei dem zunächst bis etwa 20 m Tiefe der sandig/kiesige obere Grundwasserleiter, dann 80 m mächtiger Seeton und darunter wieder Sande und teilweise Kiese mit einem zweiten Grundwasserleiter erschlossen wurden. In der Erkundungsbohrung KB1/11 wurde der erste Grundwasserleiter ab einer Tiefe von 5,8 m bis etwa 20,2 m Tiefe aufgeschlossen. Im Zusammenhang mit den gegenständlichen Untersuchungen ist lediglich der obere oberflächennahe Grundwasserleiter von Bedeutung.

Im Nahebereich des Schwerpunktes der Grundwasserbelastung liegen Bohrprofile für die bestehenden Nutzwasserbrunnen des Flughafens Salzburg Brunnen N 4 bis Brunnen N 7 die im aufgeschlossenen Bereich ähnliche Verhältnisse wie die Erkundungsbohrung KB1/11 ergaben.

Im Bereich des Flughafens ist nach dem Grundwassermodell für die Stadt Salzburg mit Grundwasserspiellagen von ca. 427 m ü A bei hohem Grundwasserstand bzw. bei niedrigem Grundwasserstand mit ca. 425 m ü A zu rechnen. Die Grundwasserströmung ist in SW-NO bis SSW-NNO Richtung orientiert. Das Grundwassergefälle beträgt lokal ca. 2,5 ‰ bis ca. 3,5 ‰.

Hinsichtlich der Durchlässigkeit des Untergrundes wurde für die Auslegung der Brunnen N 4 bis N 7 auf Basis von Pumpversuchsauswertungen ein Durchlässigkeitsbeiwert

$k_f = 3 \times 10^{-4}$ m/s angesetzt.

Die obersten Bodenschichten sind lokal durch Feinsand- bzw. Schluffhorizonte wechselnder Mächtigkeit charakterisiert, die erfahrungsgemäß eine nur geringe Durchlässigkeit bzw. Sickerfähigkeit (zu erwartender Wertebereich $k_f = 1 \times 10^{-9}$ m/s bis 1×10^{-6} m/s) aufweisen.

Die Schichtprofile der Baggerschürfe, Rammkernsondierungen und der beiden tiefen Erkundungsbohrungen B1 und B2 sind im 2. Zwischenbericht der Fa. Tauw /9/ dokumentiert. Die Schichtenprofile der Messstellen AS_KB_B3 und AS_KB_B4 sind im Anhang 1 detailliert dokumentiert.

Der Aufbau des Untergrundes weist in diesen Profilen unter dem Mutterboden oder der Oberflächenbefestigung Sande und Kiese in unterschiedlicher Körnung auf. Mächtigere Schlufflagen im oberflächennahen Bereich treten in den Rammkernsondierungen östlich des Vorfeldes auf.

Zur Tiefe nimmt der Kiesanteil in den Erkundungsbohrungen ab und es werden überwiegend Sande mit zunehmendem Feinkornanteil erbohrt. Der Seeton wurde als solcher in Tiefen von 19-19,5 m unter Gelände angesprochen. Die neu errichteten Messstellen AS_KB_B3 und AS_KB_B4 wurden jeweils bis 20 m unter Gelände abgeteuft und bis zu einer Tiefe von 18,0 m (B3) bzw. 15,0 m (B4) im Durchmesser DN 125 ausgebaut.

Grundwasser wurde in der Messstelle KB B1 im Ausbauzustand bei 6,56 m, an der neu errichteten Grundwassermessstelle KB B3 bei 5,62 m und an der neue errichteten Messtelle KB B4 bei 4,49 m unter Gelände festgestellt. Der Grundwasseranschnitt lag in den Bohrungen zwischen 4,4 und 7,3 m unter Gelände. Nasse Böden wurden in den Rammkernsondierungen östlich des Vorfeldes zwischen 3,8 m und 5,3 m angetroffen. Die weiteren Aufschlüsse haben das Grundwasser nicht erreicht.

4.2 ERGEBNISSE DER BODENUNTERSUCHUNGEN AN MISCHPROBEN

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen sind zur Übersicht im Anhang 2 beigefügt.

In der folgenden Tabelle sind die Einzelstoffe mit den im Bodeneluat 1:10 festgestellten maximalen und mittleren Konzentrationen dargestellt.

Tabelle 4.1: Auftreten der Einzelstoffe im Bodeneluat 1:10

Einzelstoff	Maximal- konzentration in µg/l	Mittlere Konzentration in µg/l	Stufe-1-Wert gemäß PFC- Leitfaden LfU- Bayern /9/
Perfluorobutansäure (PFBA)	0,7	0,1	10,0
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	0,8	0,1	6,0
Perfluoropentansäure (PFPeA)	6,5	0,3	3,0
Perfluorhexansäure (PFHxA)	3,6	0,2	6,0
Perfluorheptansäure (PFHpA)	1,2	0,2	0,3
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	15	1,1	0,1
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	5	0,3	0,3
Perfluorooctansäure (PFOA)	2,2	0,2	0,1
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	270	6,1	0,1
Perfluorooctansulfonamid (PFOSA)	0,086	0,0	0,1
Perfluornonansäure (PFNA)	6,1	0,2	0,06
Perfluordecansäure (PFDA)	0,062	0,03	0,1
1H,1H,2H,2H-perfluorohexane sulfonate (FTS-4:2)	<0,01	<0,01	-
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonat (6:2-FTS)	5,1	0,3	0,1
1H,1H,2H,2H-Perfluordecansulfonat (8:2-FTS)	0,28	0,1	-

Der Hauptkontaminant aus dem PFAS-Stoffspektrum ist der Einzelstoff Perfluorooctansulfonsäure (PFOS). Dieser tritt im Mittel mit einem Massenanteil von etwa 70% im Stoffspektrum der Eluate auf. Auch im Grundwasser ist PFOS der relevante Hauptkontaminant.

Der wesentliche Nebenkontaminant ist die Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS). Diese ist im Mittel mit etwa 12% Massenanteil in den Stoffspektren nachweisbar. Die weiteren relevanten PFAS-Einzelstoffe sind:

PFOA (Perfluorooctansäure)

PFHpA (Perfluorheptansäure)

PFHpS (Perfluorheptansulfonsäure)

PFNA (Perfluornonansäure)

H4PFOS (Perfluorooctansulfonat)

Zur Übersicht der räumlichen Verteilung der Bodenbelastungen sind die Ergebnisse der Mischproben bis rd. 3 m Tiefe (Bodeneluat 1:10) für die genannten 7 Einzelstoffe in den Anlagen 1.3 bis 1.9 dargestellt.

Aus den Darstellungen ist ableitbar, dass sich drei Schadensbereiche unterscheiden lassen. Ein Bereich im Südosten der „Geräteabstellfläche Süd“ (Schadensbereich 1), ein weiterer im Südwesten des Vorfeldes (Schadensbereich 2) und ein Bereich mit untergeordneter Bedeutung im Südosten des Vorfeldes (zwischen Vorfeld und Parallelrollweg = Schadensbereich 3). Die drei Bereiche sind zur besseren Orientierung in der Anlage 1.2 dargestellt. Die Verteilung der Schadensbereiche konnte mit den Ergebnissen einer intensiven historischen Recherche, die in Zusammenarbeit mit der Feuerwehr am Flughafen erstellt wurde, in Übereinstimmung gebracht werden.

Der Hauptkontaminant PFOS tritt in allen drei Bereichen gleichermaßen auf. PFOA ist nur bei den Schadensbereichen 1 und 2 in leicht erhöhten Konzentrationen nachweisbar. PFHpA tritt singulär nur im Schadensbereich 2 auf.

PFHxS als relevanter Einzelstoff ist in den beiden Bereichen südlich des Vorfeldes nachweisbar. Nicht dagegen im Osten des Vorfeldes (Schadensbereich 3). PFHpS zeigt sich singulär nur im Schadensbereich 2. PFNA ist ebenfalls in diesem Schadensschwerpunkt stärker vertreten. H4PFOS ist ebenfalls nur in diesem Schadensbereich in den Mischproben bis 3 m Tiefe nachweisbar.

Neben den als hauptsächliche Einsatzbereiche bekannten Flächen wurden durch die historische Recherche weitere 10 Beprobungs- und Umgangsbereiche identifiziert (vgl. Anlage 1.10). Diese Flächen wurden im September 2021 und mit insgesamt 8 Schürfen erkundet.

Die Ergebnisse der Schurfuntersuchungen sind in Form von Schichtenverzeichnissen im Anhang 1 dokumentiert. Die Analysenergebnisse liegen im Anhang 2 bei. Aus diesen Schürfen wurden im November 2021 weitere Bodenproben verschiedener Tiefenbereiche untersucht sowie im Februar 2022 weitere 10 zusätzliche Schürfe angelegt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen liegen zum Zeitpunkt der Erstellung noch nicht vor.

Die Ergebnisse der analytischen Untersuchungen weisen keine erhöhten PFAS-Konzentrationen nach. Lediglich an den Aufschlusspunkten AS_BS_ZP_45, AS_BS_ZP_46 und AS_BS_ZP_47 wurde die Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l in der Mischprobe bis 3 m Tiefe überschritten, der Grenzwert der EU-Trinkwasserrichtlinie von 0,1 µg/l jedoch nicht erreicht. An der Rammkernbohrung AS_RKS_ZP_31 wurde in der Mischprobe bis 3 m Tiefe ein PFOS-Gehalt von 0,82 µg/l im Eluat 1:10 festgestellt.

4.3 ERGEBNISSE DER TIEFENDIFFERENZIIERTEN BODENUNTERSUCHUNGEN

4.3.1 UNTERSUCHUNGEN IM BODENELUAT 1:10

An den Probenahmestellen mit erhöhten Stoffgehalten in den Mischproben wurden weitere Bodenproben aus verschiedenen Tiefenbereichen untersucht.

Im Anhang 4 sind die Ergebnisse für das Bodeneluat 1:10 für den Hauptkontaminanten PFOS graphisch als Vertikalprofile dargestellt.

In den vertikalen Profilen der Schürfe und Bohrungen sind die maximalen Konzentrationen in der Regel im Tiefenbereich bis 1,0 m festzustellen. Bis zum Grundwasserschwankungsbereich gehen die Konzentrationen meist zurück. Im Tiefenbereich 4,0-5,5 m kann dann in einigen Profilen eine Aufkonzentration festgestellt werden. Im grundwassererfüllten Bereich gehen die PFAS-Konzentrationen dann rasch auf Werte unter 0,1 µg/l PFOS zurück. Dies konnte bislang an den beiden Kernbohrungen AS_BS_KB_01 und AS_BS_KB_02 nachgewiesen werden. Beide Bohrungen erreichen eine Tiefe von 19,5 m.

Die maximale Bodenbelastung im Eluat 1:10 wurde bei den tiefendifferenzierten Untersuchungen für den Einzelstoff PFOS im Bereich der Probenahmepunkte AS_BS_ZP_20 (61 µg/l), AS_BS_ZP_14 (29 µg/l) und AS_BS_KB_01 (45 µg/l) für die Eintragsbereiche SE' und NW' der Abstellfläche festgestellt.

Im Schadensbereich 3 östlich des Vorfeldes liegt der maximale PFOS-Gehalt bei 3,6 µg/l im Tiefenbereich 0-1,0 m und damit deutlich unter den Konzentrationen im Umfeld der Abstellfläche.

In den ergänzend durchgeführten tiefendifferenzierten Untersuchungen weist der Schurf AS_BS_ZP_45 lediglich in der Tiefe bis rd. 1 m mit einem Wert von 0,12 µg/l eine geringfügige Überschreitung des Orientierungswertes von 0,1 µg/l auf. In einer Tiefe von 3-4 m liegt die PGOS-Konzentration bei 0,03 µg/l.

Am Schurf AS_BS_ZP_46 wurde lediglich in einer Tiefe bis 1 m unter GOK eine Konzentration von 0,54 µg/l festgestellt. In den weiteren Tiefen von rd. 2 m und 3,0-3,5 m wurden keine PFAS mehr ermittelt.

Am Schurf AS_BS_ZP_47 lag die PFOS-Konzentration (1:10) im Bereich bis 0,5 m bei 1,5 µg/l. In einer Tiefe von 3,5-4,0 m wurden nur noch Spuren von 0,02 µg/l PFOS festgestellt.

In der nachstehenden Abbildung 4.1 sind die meterweise arithmetisch gemittelten Konzentrationen aller tiefendifferenzierten PFOS-Untersuchungen aufgetragen. Das Muster der vertikalen Tiefenverteilung spiegelt den Trend der Einzeldaten gut wider. Lediglich der mittlere Gehalt von rd. 9,81 µg/l im Grundwasserschwankungsbereich wird durch die geringe Probenzahl mit einem hohen Einzelwert tendenziell zu hoch bewertet.

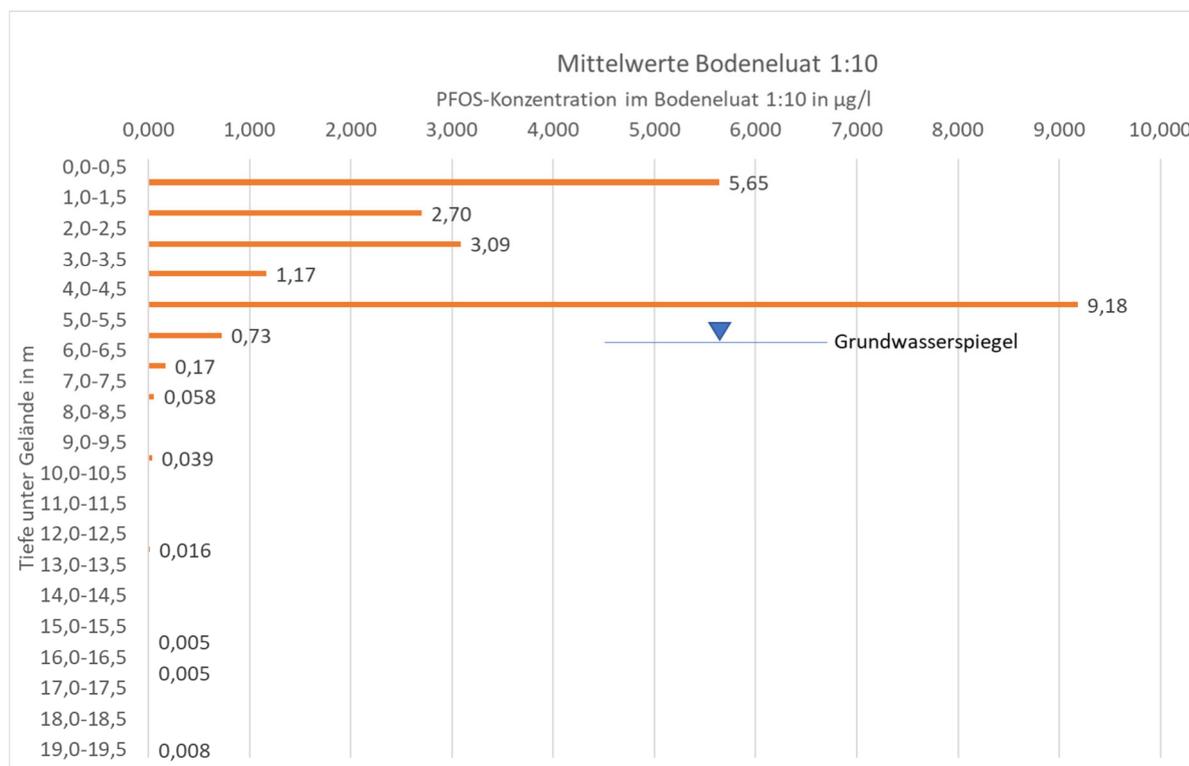


Abb. 4.1: Meterweise gemittelte Daten der PFOS-Untersuchungen

4.3.2 UNTERSUCHUNGEN IM BODENELUAT 1:2

Parallel zu den Untersuchungen im Bodeneluat 1:10 wurden ausgewählte Proben auch im Eluat 1:2 untersucht. Der Parameterumfang blieb dabei jeweils gleich. Die Laborergebnisse sind im Anhang 2 dokumentiert. In der Abbildung 4.2 sind die Ergebnisse der beiden Eluatverfahren gegenübergestellt.

Wie aus der Darstellung deutlich wird ergeben sich für 1:2-Eluate fast regelhaft höhere PFOS-Konzentrationen. Ein lineares Modell prognostiziert dabei etwa 3-fach höher Konzentrationen.

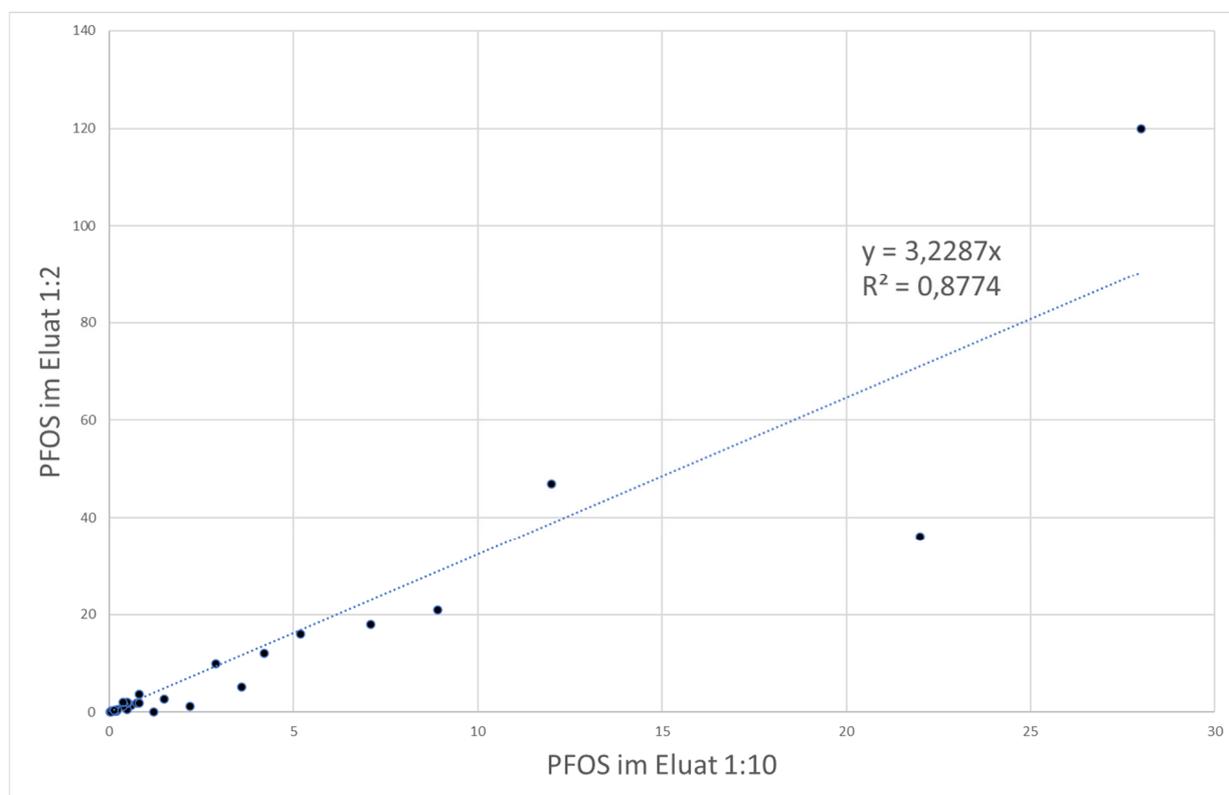


Abb. 4.2: Vergleich der Bodeneluat 1:10 und 1:2 für den Einzelstoff PFOS

4.3.3 UNTERSUCHUNGEN IM FESTSTOFF

Neben Eluatuntersuchungen wurde weitere ausgewählte Proben auf den Feststoffgehalt an PFAS untersucht. Die Ergebnisse sind in der nachstehenden Tabelle 4.2 zusammengestellt.

Auffällig ist, dass neben der Hauptkomponente PFOS jeweils nur eine oder keine Nebenkompente bestimmt werden konnte. Eine Korrelation zwischen Feststoff- und Eluatwerten ist insofern ableitbar, dass höhere Eluatkonzentrationen mit höheren Feststoffkonzentrationen einher gehen. Eine eindeutige Korrelation ist jedoch nicht ableitbar.

Tabelle 4.2: Ergebnisse der Feststoffanalytik

Probenahmebereich	PFOS µg/kg	Nebenkompente µg/kg	PFOS im Eluat 1:10 µg/l
AS_BS_ZP_09; 1,2-1,8 m	150	Perfluordecansulfonsäure (PFDS): 14 µg/kg	5,2
AS_BS_ZP_18; 0,2-0,6 m	<10	Keine Nebenkompente	0,1
AS_RKS_ZP_18; 0,1-1,0 m	160	Perfluorundecansäure (PFUnDA): 12 µg/kg	3,6
AS_BS_ZP_20; 0,5-1,0 m	39	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS):	2,9

Probenahmebereich	PFOS	Nebenkomponente	PFOS im Eluat 1:10
	µg/kg	µg/kg	µg/l
		7 µg/kg	
AS_BS_ZP_28; 1,0-1,5 m	130	Keine Nebenkomponente	8,9
AS_RKS_ZP_22; 0,2-1,0 m	<5	Keine Nebenkomponente	0,16
AS_RKS_ZP_29; 1,0-2,0 m	10	Keine Nebenkomponente	0,22
AS_BS_ZP_35_3; 1,7-2,1 m	11	Keine Nebenkomponente	0,81
AS_BS_ZP_39_4; 2,0-2,6 m	20	Perfluoronansäure (7 mg/kg)	1,9

4.3.4 UNTERSUCHUNGEN AUF PFAS-PRECURSOR

An ausgewählten Einzelproben wurden neben der Einzelstoffanalytik auch eine Untersuchung auf PFAS-Precursor durchgeführt. Dazu wurde der Summenparameter AOF (Adsorbierbares organisch gebundenes Fluor) analysiert und eine sogenannte TOP-Analytik (Total Oxidizable Precursors) durchgeführt.

Viele organische Fluorverbindungen können als Einzelstoff nicht mit den Standardmethoden nachgewiesen werden. In diesem Fall ist ein Summenparameter wie AOF sinnvoll. Mit ihm lassen sich ansonsten nicht identifizierbare organische Fluorverbindungen oder auch Abbauprodukte (Metaboliten) wie kurzketzige PFAS und Polyfluoralkyl-Phosphate nachweisen.

Mit der TOP-Analytik (Total Oxidizable Precursor) können PFAS-Vorläufersubstanzen quantifiziert werden. Das Verfahren basiert auf der Einzelstoffanalytik. Ausgewählte Einzelstoffe werden vor und nach einem oxidativen Aufschluss gemessen. Der Aufschluss überführt einen Teil der nicht direkt messbaren PFAS in messbare PFAS. Das Verhältnis der messbaren Einzelsubstanzen vor und nach dem Aufschluss lässt Rückschlüsse auf die PFAS-Belastung zu.

In Tabelle 4.3 sind zunächst die Ergebnisse der AOF-Analysen dargestellt.

Tabelle 4.3: Ergebnisse der AOF-Analytik

Probenahmebereich	AOF	Summe PFAS im Eluat 1:10
	µg/l	µg/l
AS_BS_ZP_09; 3,0-4,1 m	47	1,0
AS_BS_ZP_14; 0,2-1,0 m	54	23
AS_RKS_ZP_18; 0,1-1,0 m	11	3,8
AS_BS_ZP_20; 0,5-1,0 m	4,9	7,5
AS_RKS_ZP_24; 0,2-1,0 m	1,2	0,6

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Summe der undefinierten organischen Fluorverbindungen zum Teil deutlich über der Summe der im Eluat 1:10 gemessenen Einzelstoffe liegen kann.

In der Tabelle 4.4 sind die spezifischeren Ergebnisse der TOP-Assay Analytik dargestellt.

Tabelle 4.4: Ergebnisse der TOP-Assay Analytik

Probenahmebereich	Summe TOP-Assay	Summe PFAS im Eluat	AOF
	µg/l	1:10 µg/l	µg/l
AS_BS_ZP_09; 1,2-1,8 m	9,32	5,4	-
AS_BS_ZP_14; 0,2-1,0 m	24,6	23	54
AS_RKS_ZP_18; 0,1-1,0 m	5,63	3,8	11
AS_RKS_ZP_24; 0,2-1,0 m	0,55	0,6	1,2
AS_BS_ZP_35_1A; 0,6-1,2 m	1,9	0,4	-
AS_BS_ZP_39_1; 0,1-0,3 m	2,1	2,94	-

Die Ergebnisse der TOP-Assay Analytik liegen im Vergleich zum unspezifischen Summenparameter AOF deutlich näher an den Werten des Eluats 1:10 vor dem Oxidationsschritt. Entsprechend ist nicht zu erwarten, dass für die im erfassten PFAS-Spektrum definierten Einzelparameter ein hohes Potential für Precursorsubstanzen vorliegt.

Im Juni 2021 wurde eine der regelmäßig überwachten Grundwassermessstellen im weiteren Abstrom einer TOP-Assay Analytik unterzogen („GWM Bewässerung“, vgl. Anhang 7.5). Die Ergebnisse weisen einen Summengehalt an PFAS von 0,47 µg/l vor der Oxidation und einen Summengehalt von 0,60 µg/l nach der Oxidation auf. Der Wert für AOF lag bei < 1 µg/l. Dies bestätigt, dass im Ausbreitungsbereich der PFAS-Einträge keine relevanten Precursorsubstanzen vorliegen.

4.3.5 ERGEBNISSE VON UNTERSUCHUNGEN AN SCHÖPFPROBEN

Im Juni 2021 wurden bei den Untersuchungen erstmals in den verrohrten Kleinbohrungen bei Erreichen der Endteufe Schöpfproben des erschlossenen Grundwassers entnommen. Insgesamt wurden bislang 14 Bohrungen untersucht.

In der nachstehenden Tabelle 4.5 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zusammengestellt.

Tabelle 4.5: Ergebnisse der Untersuchungen an Schöpfproben

Probenahmebereich	PFOS-Konzentration	Konzentration der Nebenkompente
	µg/l	µg/l
AS_RKS_ZP_27	10	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,22 µg/l
AS_RKS_ZP_28	1,2	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,078 µg/l
AS_RKS_ZP_29	0,7	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,075 µg/l
AS_RKS_ZP_30	0,44	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,075 µg/l
AS_RKS_ZP_23	0,91	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,14 µg/l
AS_RKS_ZP_22	3,0	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,13 µg/l
AS_RKS_ZP_24	2,0	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,93 µg/l
AS_RKS_ZP_25	0,21	Perfluorpentansäure (PFPeA): 0,091 g/l

Probenahmebereich	PFOS-Konzentration	Konzentration der Nebenkompente
	µg/l	µg/l
AS_RKS_ZP_26	0,17	Perfluorpentansäure (PFPeA): 0,073 µg/l
AS_RKS_ZP_31	0,18	Perfluornonansäure (PFNA): 0,08 µg/l
AS_RKS_ZP_32	0,61	Perfluornonansäure (PFNA): 0,21 µg/l
AS_RKS_ZP_33	2,2	Perfluornonansäure (PFNA): 0,55 µg/l
AS_RKS_ZP_34	1,6	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,2 µg/l
AS_SI_ZP_01_GW	0,97	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS): 0,82 µg/l

Die Schöpfproben bieten den Vorteil, die Grundwasserqualität im Bereich des Kontaktbereiches zwischen ungesättigter und gesättigter Bodenzone direkt erfassen zu können. Aufgrund der Störung des Bodengefüges durch den Bohrvorgang werden die Konzentrationen jedoch verändert und tendenziell erhöht im Vergleich zu einem ungestörten Zustand. Dennoch ist es möglich, orientierend wichtige zusätzliche Informationen zu gewinnen.

Aus den Daten ist ableitbar, dass der Eintrag ins Grundwasser bereits im Nahbereich der Eintragsquelle vom Einzelstoff PFOS dominiert wird. Die wesentliche Nebenkompente ist Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS). Lediglich an den Bohrungen AS_RKS_ZP_25 und AS_RKS_ZP_26 überwiegt leicht der Einzelstoff Perfluorpentansäure (PFPeA) sowie an den AS_RKS_ZP_31, _32 und _33 der Einzelstoff Perfluornonansäure. In Relation zum Einzelstoff PFOS sind die Nebenkompenten jedoch nicht von Bedeutung.

Hinsichtlich der räumlichen Verteilung der ermittelten PFAS-Konzentrationen liegen mit 3,0 µg/l und 2,0 µg/l im Bereich der Abstellfläche die höchsten Konzentrationen an den Bohrungen AS_RKS_ZP_22 und AS_RKS_ZP_24 vor. Im Osten des Vorfeldes liegen die höheren Konzentrationen an den Bohrungen AS_RKS_ZP_27 (10 µg/l) und AS_RKS_ZP_28 vor (1,2 µg/l).

Hier ist zu vermuten, dass es sich im Osten des Vorfeldes weniger um Einträge aus der vergleichsweise gering kontaminierten ungesättigten Bodenzone in diesen Bereichen handelt sondern vielmehr um Einflüsse aus dem unmittelbaren Grundwasserabstrom der Haupteintragsbereiche 1 und 2 am Fahrzeugabstellplatz.

Im Westen der Abstellfläche liegen an der AS_RKS_ZP_32 mit 0,61 µg/l und am Sickerschacht AS_SI_ZP_01 mit 0,97 µg/l PFOS erhöhte Konzentrationen vor. Inwiefern sich diese Ergebnisse aus Schöpfproben weiter bestätigen wird derzeit durch zusätzliche Grundwassermessstellen untersucht.

4.3.6 UNTERSUCHUNGEN WEITERER SCHADSTOFFPARAMETER

Im Zuge der Untersuchungen der Böden und des Grundwassers zur Ermittlung der Auswirkungen des PFAS-Stoffeintrags durch Löschsäume wurden auf Anregung durch die Behörden zusätzliche flughafentypische Parameter mit untersucht.

Dabei handelt es sich um:

- Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

- Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)
- Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die Tabelle 4.6 gibt einen Überblick über die Ergebnisse. Die Analysenprotokolle sind im Anhang 2 enthalten.

Tabelle 4.6: Ergebnisse der Untersuchungen weiterer Schadstoffparameter

Probenahmebereich	BTEX	MKW/KW-Index	PAK
	µg/kg	mg/kg	mg/kg
AS_RKS_ZP_18; 5,0-6,0 m	< 0,1	< 100	nicht bestimmt
AS_RKS_ZP_22; 5,0-6,4 m	< 0,02	< 10	nicht bestimmt
AS_BS_ZP_29; 0,1-0,6 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_29; 0,6-1,2 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_30; 0,25-1,2 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_30; 1,4-2,0 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_31; 0,1-0,5 m	nicht bestimmt	< 10	< BG
AS_BS_ZP_31; 0,5-1,9 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_31; 0,15-1,1 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_31; 1,1-2,0 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_32; 0,15-1,1 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_32; 1,1-2,0 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_33; 0,1-0,4 m	< BG	95 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_33; 0,4-1,0 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_34; 0,1-0,4 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_34; 0,1-0,4 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_35; 0,15-0,5 m	nicht bestimmt	< 10	< BG
AS_BS_ZP_35; 0,5-1,2 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_36; 0,1-0,3 m	nicht bestimmt	18 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_36; 0,3-0,6 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_37; 0,0-0,7 m	< BG	39 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_37; 0,7-1,6 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_38; 0,0-0,6 m	< BG	11 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_38; 0,6-1,4 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_39; 0,3-0,8 m	< BG	16 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_39; 0,8-2,0 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_40; 0,4-0,9 m	< BG	25 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_40; 0,9-2,4 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_41; 0,4-1,4 m	< BG	16 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_41; 1,4-1,6 m	< BG	16 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_42; 0,2-1,2 m	< BG	28 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_42; 1,2-2,2 m	< BG	340 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_43; 0,2-0,4 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_43; 0,4-1,4 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_44; 0,2-0,8 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_44; 0,8-1,0 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_45; 0,1-1,4 m	< BG	65 (C10-C40)	< BG

Probenahmebereich	BTEX	MKW/KW-Index	PAK
	µg/kg	mg/kg	mg/kg
AS_BS_ZP_45; 1,4-2,0 m	< BG	24 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_46; 0,1-0,4 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_46; 0,4-1,3 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_47; 0,2-0,7 m	< BG	18 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_47; 0,7-1,5 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_48; 0,2-1,2 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_48; 1,2-2,8 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_49; 0,1-0,5 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_49; 0,5-1,1 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_50; 0,4-0,8 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_50; 0,8-1,5 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_51; 0,1-0,5 m	< BG	18 (C10-C40)	1,2
AS_BS_ZP_51; 0,5-1,0 m	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_52; 0,2-0,4 m	< BG	340 (C10-C40)	0,6
		66 (C10-C22)	
AS_BS_ZP_52; 0,4-1,4 m	< BG	18 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_53_1B;	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_53_2B;	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_54_1B;	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_54_2B;	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_55_1B;	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_55_2B;	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_56_1B	< BG	1541 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_56_2B	< BG	<10	< BG
AS_BS_ZP_57_1B;	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_57_2B;	< BG	< 10	< BG
AS_BS_ZP_58_1B;	< BG	13 (C10-C40)	< BG
AS_BS_ZP_58_2B;	< BG	< 10	< BG
AS_KB_ZP_B3_1B	< BG	86 (C10-C40)	< BG
AS_KB_ZP_B3_2B	< BG	< 10	< BG
AS_KB_ZP_B3_GWB	-	21 (C10-C40)	< BG
AS_RKS_ZP_33_3B	0,04	< 10	< BG
AS_RKS_ZP_33_GWB	0,16	< 10	< BG
AS_RKS_ZP_34_3B	< BG	< 10	< BG
AS_RKS_ZP_34_GWB	0,06	< 10	< BG
AS_RKS_ZP_35_3B	< BG	44 (C10-C40)	0,08
AS_RKS_ZP_35_GWB	< BG	< 10	< BG
AS_RKS_ZP_31_3B	< BG	271 (C10-C40)	12,63
AS_RKS_ZP_31_GWB	0,12	< 10	< BG
AS_RKS_ZP_32_1B	0,07	< 10	< BG
AS_RKS_ZP_31_10B	< BG	< 10	< BG
AS_KB_ZP_B4_2B	< BG	< 10	< BG
AS_KB_ZP_B4_GWB	< BG	< 10	< BG

In der Übersicht sind die Proben mit nachweisbaren Konzentrationen der untersuchten Stoffe hervorgehoben. Als erhöht einzustufen sind die Proben AS_BS_ZP_42 und AS_BS_ZP_52 mit jeweils einem MKW-Gehalt von 340 mg/kg sowie die Probe AS_RKS_ZP_31_3B mit einem MKW-Gehalt von 271 mg/kg. Diese Konzentrationen sind als gering und nicht maßnahmenrelevant einzustufen. Die Proben AS_BS_ZP_56_1B mit einem MKW-Gehalt von 1.541 mg/kg weist eine deutlich höhere Verunreinigung auf. Allerdings konnte diese Probe in der Tiefe durch eine unbelastete Probe abgegrenzt werden.

Auffällig ist ein erhöhter PAK-Gehalt von 12,63 mg/kg in der Probe AS_RKS_ZP_31_3B, der ebenfalls zur Tiefe hin abgegrenzt werden konnte (AS_RKS_ZP_31_GWB).

Vereinzelt treten Spuren an BTEX auf, die jedoch einen Summenwert von 0,16 mg/kg nicht überschreiten.

Mit Ausnahme des Schurfes AS_BS_ZP_56 liegen damit bislang keine Hinweise auf relevante Einträge der untersuchten Stoffe vor.

5 PUMPVERSUCH AN DER MESSSTELLE KB B3

im Zeitraum 02.12.2021 bis 13.12.2021 wurde an der Grundwassermessstelle KB B3 im Haupteintragsbereich der Löschschaummittel südlich des Vorfeldes ein 10-tägiger Pumpversuch mit 3 Entnahmestufen durchgeführt. Das entnommene Grundwasser wurde zu Beginn und am Ende jeder Pumpstufe auf PFAS sowie gelöstes Eisen und Mangan sowie weitere Leitparameter untersucht.

Das geförderte Grundwasser wurde über eine Aktivkohlefilteranlage abgereinigt und im Grundwasserseitstrom versickert. Die Analyseergebnisse liegen als Anhang 3 bei.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Ergebnisse graphisch dargestellt.

In Abbildung 5.1 ist der Verlauf der Absenkung als Reaktion auf die Entnahmeraten von 1,5 l/s, 3,0 l/s und 5,5 l/s für den Pumpbrunnen KB B3 dargestellt. In der Grafik sind die Ergebnisse der analytischen Untersuchungen, die im Rahmen der jeweiligen Pumpstufen durchgeführt wurden, ergänzend dargestellt.

In der Abbildung 5.2 sind die an den Beobachtungsmessstellen mittels Datenlogger aufgezeichneten Absenkungen des Grundwasserspiegels im Überblick dargestellt.

Aus der Abbildung geht hervor, dass in jeder Pumpstufe ein quasistationärer Absenkezustand erreicht werden konnte. Die Analyseergebnisse zeigen, dass der Hauptparameter PFOS in der ersten Pumpstufe zu Beginn mit 0,3 µg/l und am Ende mit 0,19 µg/l ermittelt wurde. In der zweiten Pumpstufe lag die PFOS-Konzentration zu Beginn bei 0,19 µg/l und am Ende bei 0,29 µg/l. Während der dritten Pumpstufe wurde zu Beginn ein PFOS-Gehalt von 0,26 µg/l und am Ende der Stufe ein PFOS-Wert von 0,29 µg/l ermittelt. Damit wurde insgesamt ein in etwa gleichbleibende PFOS-Konzentration ermittelt.

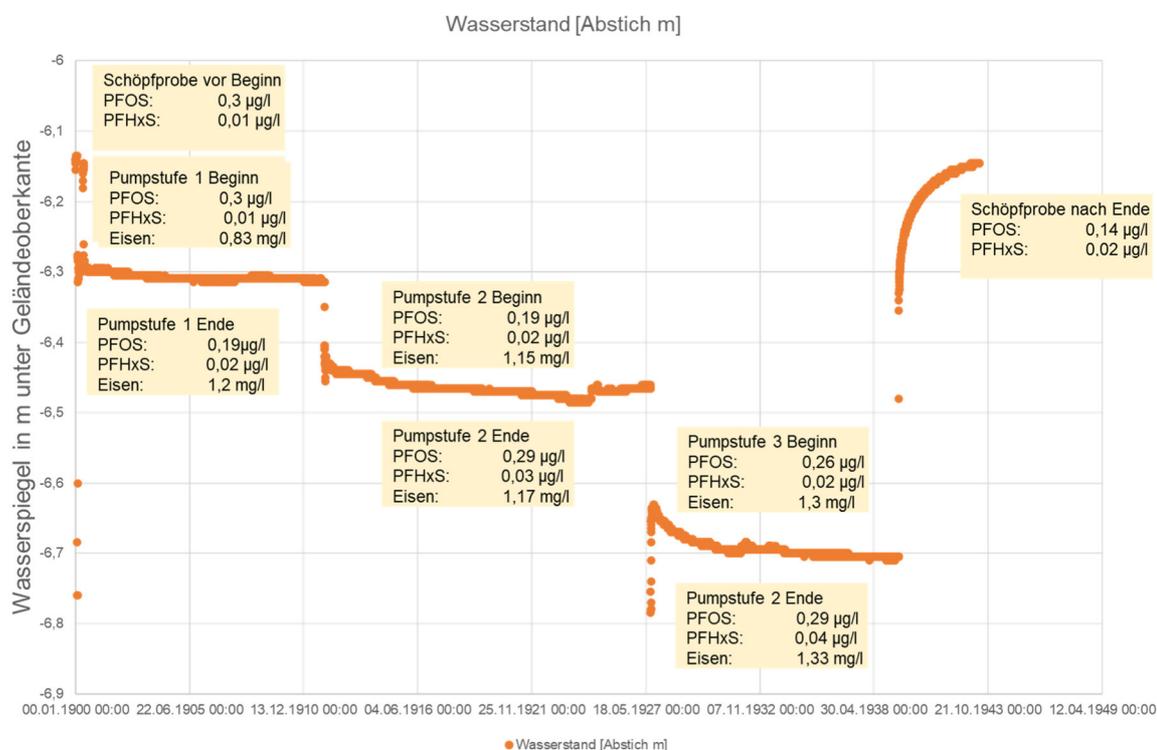


Abb. 5.1: Datenloggeraufzeichnung und Analysenergebnisse am Pumpbrunnen KB B3

Die wesentliche PFAS-Nebenkomponente PFHxS lag im Versuchsverlauf zwischen 0,01 µg/l und 0,04 µg/l.

Die Eisengehalte stiegen im Verlauf des Versuchs tendenziell leicht von 0,83 mg/l auf 1,33 mg/l am Ende des Versuchs an.

Damit zeigen sich bei der Entnahme vergleichsweise moderate PFAS-Konzentrationen. Die in etwa gleichbleibenden Konzentrationen weisen auf eine Lage des Pumpbrunnens in einer homogenen Belastungszone des Aquifers hin.

Die Datenloggeraufzeichnungen an den Messstellen im Umfeld des Brunnens reagieren in unterschiedlicher Weise auf die Entnahme. Während sich an den Nutzwasserbrunnen 4 und 5 eine deutliche stationäre Reaktion zeigte ist die Absenkung an der Messstelle GWM P1 undeutlich und in den einzelnen Phasen instationär. Der Nutzwasserbrunnen NWB 7 zeigt als Reaktion auf die Versickerung im Südosten des Untersuchungsbereiches eine zunehmende Aufhöhung des Wasserspiegels an.

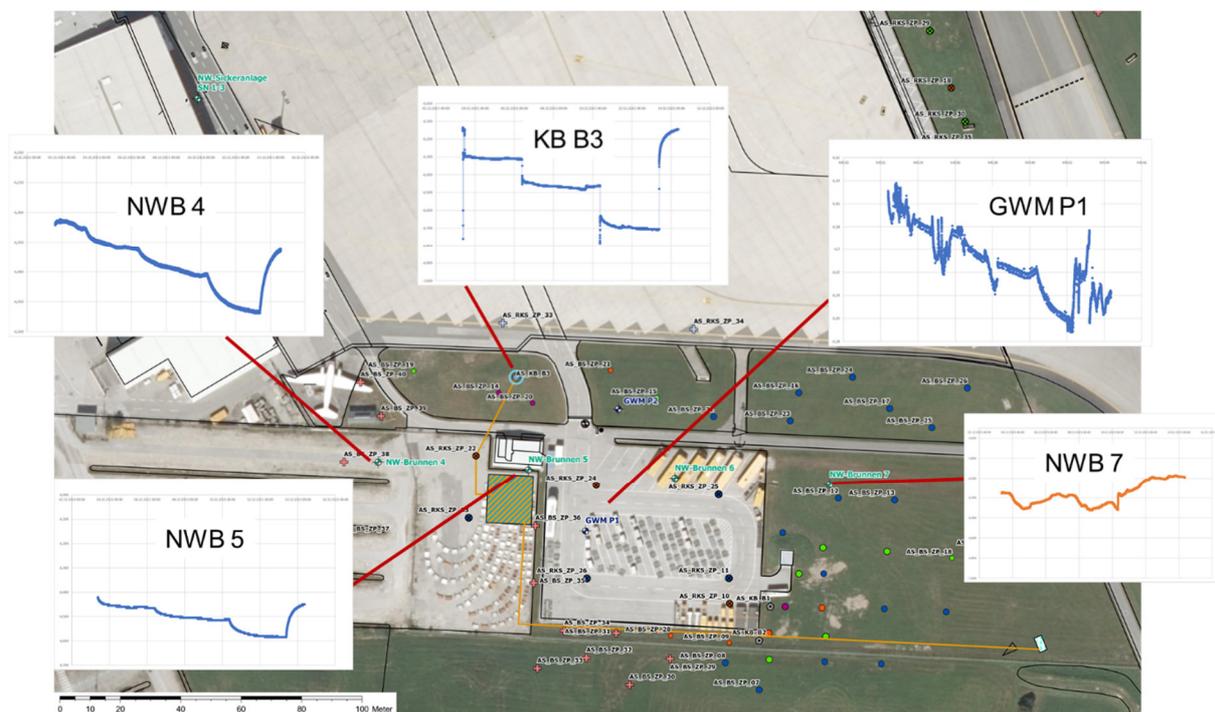


Abb. 5.2: Datenloggeraufzeichnung des Grundwasserspiegels an den Beobachtungsmessstellen

6 GRUNDWASSERMONITORING

Im Zeitraum vom Oktober 2018 bis zum März 2022 erfolgte an bis zu 40 Messtellen ein umfassendes Grundwassermonitoring an insgesamt 23 Terminen. Im Anhang 7 ist eine Gesamtübersicht der ermittelten Analysenergebnisse beigefügt.

In der Anlage 1.11 sind die aktuellen Ergebnisse aus der Beprobung vom März 2022 für den Parameter PFOS dargestellt. In der Anlage 1.12 ist eine entsprechende Darstellung für die Summe der 20 untersuchten PFAS-Substanzen dargestellt.

Aus den Darstellungen wird deutlich, dass die Ausbreitung der PFAS im Grundwasser durch die Grundwasseruntersuchungen abgegrenzt werden kann. Insbesondere das abstromige Ende der Grundwasserunreinigung kann mit Konzentrationen $< 0,1 \mu\text{g/l}$ für beide Betrachtungen, PFOS und PFAS gut erfasst werden. Ebenso ist das Zentrum und die Hauptausbreitungsrichtung der Verunreinigung gut erkennbar.

Zur Beschreibung der Grundwasseruntersuchungen wurde seitens der Hydrologischen Untersuchungsstelle Salzburg ein separater Bericht verfasst auf den für weitere Inhalte verwiesen wird.

7 UNTERSUCHUNGEN AN OBERFLÄCHENGEWÄSSERN

Im Januar 2022 und im Februar 2022 wurden an der Altglan, dem Lieferinger Mühlbach sowie dem Fischerwirtsbach vor der Einmündung in den Lieferinger Mühlbach Gewässerproben entnommen und auf 20 PFAS-Einzelstoffe gemäß der EU-Trinkwasserrichtlinie untersucht.

Die Analysenergebnisse liegen als Anhang 6 bei.

Während in der Altglan nahe der Autobahn keine PFAS festgestellt wurden, lagen im Lieferinger Mühlbach nahe der Autobahn Spuren an PFAS (0,02 µg/l) vor. Am Fischerwirtsbach vor der Einmündung in den Lieferinger Mühlbach wurden im Februar 2022 0,39 µg/l PFAS festgestellt.

Der Fischerwirtsbach und der Lieferinger Mühlbach werden von Quellen gespeist, die den von der PFAS-Verunreinigung betroffenen Aquifer an einer Terrassenstufe entwässern. Diese Gewässer befinden sich am nördlichen Ende der Ausbreitungszone der PFAS im Grundwasser.

8 GRUNDWASSERMODELLIERUNG

Ziel der Modellierung durch die Fa. Geoconsult war es, die Strömungssituation in Abhängigkeit der verschiedenen am Flughafen und im Flughafenumfeld vorhandenen Grundwasserentnahmen und Grundwassereinspeisungen für verschiedene Zeiträume zu betrachten.

Im Anhang 5 ist ein Memo zur Erstellung des Grundwasserströmungsmodells beigefügt.

Im Ergebnis der Berechnungen lässt sich zeigen, dass durch die Brauchwassernutzung im Jahr 2009 eine Verlagerung der PFAS-Belastung aus dem Haupteintragsbereich in den nordwestlichen Abstrom stattgefunden haben kann. Hierdurch kann die im Nordwesten vorhandene Ausdehnung des verunreinigten Grundwasserbereichs erklärt werden

Aktuell wird die Ausbreitung der PFAS-Grundwasserbelastung nicht durch die genehmigten Entnahmen am Flughafen und im weiteren Abstrom relevant beeinflusst.

Die seit 2018 durch das Grundwassermonitoring ermittelte Ausdehnung des PFAS-verunreinigten Grundwasserbereiches kann durch das Strömungsmodell unter Zugrundelegung der seit 2009 bekannten Entnahmen und Versickerungen gut beschrieben werden.

9 UNTERSUCHUNGEN AN NUTZPFLANZENPROBEN

Im November 2021 wurden in einem Privatgarten in Glanhofen und im Hausgarten der Christian Doppler Klinik Proben von Nutzpflanzen entnommen und an das Umweltbundesamt zur Analyse überstellt. In der nachfolgenden Tabelle 7.1 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 7.1: Ergebnisse der Untersuchungen an Nutzpflanzen

Probe	PFOA Perfluorocentan- säure	PFNA Perfluornonan- säure	PFHxS Perfluorhexan- sulfonsäure	PFOS Perfluorocentan- sulfonsäure
	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
Lebensmitteluntersuchung 1, Glanhofen, Privatgarten - Probenahme am 29.11.2021				
3 Äpfel	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
3 weiße Karotten	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
7 grüne Chilis	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
3 Zwiebeln	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
grüner Salat	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Sellerie Knolle	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Selleriegrün	n.n.	n.n.	n.n.	< 0,050
Petersilie Wurzel	< 0,030	n.n.	< 0,050	0,14
Petersilie Kraut	n.n.	n.n.	< 0,050	n.n.
8 Kartoffeln	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Lebensmitteluntersuchung 2, Christian Doppler Klinik, Privatgarten - Probenahme am 29.11.2021				
Lollo Rosso	0,071	n.n.	n.n.	n.n.
Schnittlauch	n.n.	n.n.	< 0,05	n.n.
Salbei	0,088	0,085	0,82	0,17
Karotten	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Rosmarin	n.n.	n.n.	< 0,05	< 0,05

Im Ergebnis der Untersuchungen wurden PFAS in Petersilienwurzeln (PFOA: 0,14 ng/g), in Salat (Lollo Rosso, PFOS: 0,071 ng/g) sowie in Salbeiprüben (Summe PFAS: 1,16 ng/g) festgestellt. Damit ist ein Übergang von PFAS aus dem Grundwasser in die Nahrungskette als mögliche Gefährdung grundsätzlich vorhanden.

Die vorläufige Bewertung der Ergebnisse weist aufgrund der geringen Gehalte in Verbindung mit der zu erwartenden geringen Aufnahmemengen der betroffenen Nahrungspflanzen derzeit nicht auf eine relevante Gesundheitsgefährdung hin. Die Untersuchungen werden in der kommenden Vegetationsperiode weitergeführt, um die vorhandenen Daten abzusichern.

10 EINSATZEITEN UND -MENGEN DER LÖSCHMITTEL

Durch das Büro GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH wurde eine eingehende Recherche zu den am Flughafen Salzburg in der Vergangenheit eingesetzten Löschmittel durchgeführt und eine Bilanzierung sowohl der insgesamt seit den 1960er Jahren eingesetzten Mengen als auch der im Boden und Grundwasser vorliegenden Mengen durchgeführt. Die entsprechende Dokumentation liegt als Memo im Anhang 8 bei.

Auf Basis dieser Auswertung wurde eine Ausbringung von rd. 58 kg an PFOS über einen Zeitraum von 54 Jahren ermittelt, dies entspricht grob einer Ausbringung von 1kg PFOS pro Jahr. Davon konnten dem altlastenrelevanten Zeitraum von Beginn des Löschschaumeinsatzes bis 1. Juli 1989 70,15 % der PFOS-Konzentrationen zugeordnet werden.

Im Vergleich dazu wurde eine Menge an PFOS für den Grundwasserbereich und den Boden (bereits abgeströmt und aktuell nachweisbar) von rd. 60 kg ermittelt. Im Vergleich mit der aus dem Löschmitteleinsatz ermittelten Menge von rd. 58 kg ergibt sich eine gute Übereinstimmung.

11 ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERE MAßNAHMEN

Ausgehend von den bislang vorliegenden Untersuchungsergebnissen kann zum Schadensbild der PFAS-Boden- und Grundwasserverunreinigung Folgendes abgeleitet werden:

- Die Schadenseintragsbereiche für PFAS-haltige Löschsäume sind nach mehreren Untersuchungsschritten weitgehend bekannt. Lediglich in Randbereichen ist noch eine finale Angrenzung erforderlich.
- Die vertikale Schadensausbreitung ist durch tiefendifferenzierte Untersuchungen ausreichend definiert.
- Die Haupt- und Nebenkomponten der PFAS-Verunreinigungen in den Böden sind räumlich gut differenzierbar. PFOS ist im Boden und auch im Grundwasser die Hauptkomponente.
- Das Schadensbild lässt sich mit den Ergebnissen der historischen Erhebungen gut in Übereinstimmung bringen.
- Die Anwendung der Eluatverfahren mit Boden – Wasser Verhältnissen von 1:10 und 1:2 liefert korrelierbare Ergebnisse.
- Feststoffuntersuchungen auf PFAS weisen keine klare Relation zu den Eluatergebnissen auf.
- Precursor-Untersuchungen an belasteten Bodenproben weisen ein vergleichsweise hohes Potential an undefinierten fluorierten organischen Verbindungen nach. Die Untersuchung des Precursor-Potentials für die relevanten Einzelstoffe zeigt jedoch, dass für diese Stoffe kein relevant erhöhtes Precursor-Potential vorliegt.
- Untersuchungen weiterer flughafentypischer Stoffe weisen in den untersuchten Bereichen nicht auf relevante Eintragsbereiche hin.
- Untersuchungen an Nutzpflanzen haben Hinweise auf PFAS in verschiedenen Pflanzen ergeben; die festgestellten Konzentrationen liegen in einem unbedenklichen Bereich jedoch sind weitere Untersuchungen erforderlich.
- Im Rahmen eines 10-tägigen Pumpversuchs konnten wesentliche hydraulische und hydrochemische Daten als Grundlage für die Planung einer hydraulischen Sicherung gewonnen werden.
- Durch eine historische Recherche zu den Einsatzzeiträumen und – mengen der eingesetzten Löschmittel konnten die wesentlichen Phasen des Schadstoffeintrags ermittelt und eine Mengengerüst der insgesamt vorhandenen Schadstoffe abgeleitet werden.

12 QUELLENVERZEICHNIS

- /1/ Hydrologische Untersuchungsstelle Salzburg GmbH (2019): Perfluorierte Verbindungen im Grundwasser im Bereich Flughafen Salzburg Messprogramm Grundwasser - Ergebnisse der bisherigen Erhebungen- Zwischenbericht.- Gutachten mit Datum vom 05.08.2019.
- /2/ Geoconsult ZT GmbH (2019): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung; Bericht mit Datum vom 09.10.2019.
- /3/ Geoconsult ZT GmbH (2020): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung; Bericht mit Datum vom 10.08.2020.
- /4/ Geoconsult ZT GmbH (2020): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung; Bericht mit Datum vom 16.10.2020.
- /5/ Geoconsult ZT GmbH (2021): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung; Bericht mit Datum vom 28.04.2021.
- /6/ Tauw GmbH (2021): Salzburg Airport – Entsorgung kontaminierter Böden, Erkundungsmaßnahmen April 2021, Zwischenbericht mit Datum vom 18.05.2021.
- /7/ Geoconsult ZT GmbH (2021): Salzburg Airport – Dokumentation der Bodenuntersuchung.- Bericht mit Datum vom 22.06.2021.
- /8/ Geoconsult ZT GmbH (2021): Salzburg Airport- Schichtenverzeichnisse der Bodenuntersuchungen vom September 2021.- Schichtenprofile mit Prüfdatum vom 21.09.2021.
- /9/ Tauw GmbH (2021): Salzburg Airport – Entsorgung kontaminierter Böden, Erkundungsmaßnahmen 2019 bis September 2021, 2. Zwischenbericht mit Datum vom 23.11.2021.
- /10/ Bayerisches Landesamt für Umwelt (2017): Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden.- Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.], Augsburg.