



Forum Abfalluntersuchung

Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)

Fachliche Hinweise zur Untersuchung von Abfällen mit PFAS-Verdacht

Stand: Juni 2026

Inhalt

1	Allgemeines.....	3
2	Probenahme.....	4
3	Analytik	4
3.1	Probenaufbereitung	4
3.2	Herstellung von Eluaten	5
3.2.1	Schüttteleluat	5
3.2.2	Perkolation	5
3.3	Feststoffanalytik	5
3.4	Summenparameter	7
3.4.1	TOP-Assay.....	7
3.4.2	AOF	8
3.4.3	EOF	8

1 Allgemeines

PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) sind langlebige Chemikalien, die die Umwelt belasten. Sie sind schwer abbaubar, können sich in Wasser und Böden anreichern und in die Nahrungskette gelangen. Viele PFAS sind problematisch, da sie neben der hohen Persistenz teilweise bioakkumulierende und toxische Eigenschaften (sogenannte PBT-Eigenschaften) besitzen. Daher sind in den vergangenen Jahren für immer mehr Einzelverbindungen aus der Stoffgruppe der PFAS verschiedene Regulierungen und Beschränkungsmaßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene in Kraft getreten. Dennoch finden PFAS noch in vielen Bereichen Verwendung, was die Probenahme und Untersuchung von Abfällen mit PFAS-Verdacht vor Herausforderungen stellt.

Für die einzelnen Umweltkompartimente existieren unterschiedliche Vorgaben hinsichtlich zu bewertender Einzelstoffe und Analytik. Insbesondere bei der Verwertung von Abfällen mit PFAS-Verunreinigungen werden oftmals die Vorgaben aus unterschiedlichen Rechtsbereichen tangiert, was eine einheitliche Bewertung erschwert und zu Mehrfachuntersuchungen führen kann.

In den nachfolgenden Kapiteln sollen Hilfestellungen zu einer reproduzierbaren Untersuchung von Abfällen hinsichtlich PFAS gegeben werden. Ziel des Papiers ist es, einheitliche Analyseverfahren vorzuschlagen, fachlich zu bewerten sowie klare Zielsetzungen und Grenzen der jeweiligen Verfahren aufzuzeigen.

Durch die vielfältige Verwendung von PFAS in Produkten ist von der Probenahme über Probenaufbewahrung bis hin zu Gerätschaften der Analytik darauf zu achten, dass Querkontaminationen vermieden werden. Außerdem adsorbieren manche PFAS an Materialien (z.B. Glas), was zu Minderbefunden und Verschleppungen der PFAS in andere Proben führen kann.

Besonders bei Spurenanalysen ist ein geringer, stabiler Blindwert entscheidend für die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen. Gerade bei sehr niedrigen Messwerten sind deshalb mögliche Querkontamination im Rahmen der gesamten Untersuchungskette in die Bewertung der Ergebnisse mit einzubeziehen.

Bei Probenahme, Transport und im Labor kann die Analytik und Reproduzierbarkeit u.a. durch folgende Faktoren beeinflusst werden:

- Trocknung
- pH-Wert
- Korngrößenverteilung
- Homogenität der Probe
- Lagerung der Proben
- Materialwahl (Laborausstattung)
- Probenmatrix

2 Probenahme

Bei der Probenahme ist es unerlässlich, dass der Probenehmer bereits im Rahmen der Planung der Probenahme Kenntnis darüber besitzt, dass PFAS analysiert werden sollen.

Um die Validität der Messergebnisse sicherzustellen, ist ein Probenahmeplan gemäß LAGA PN 98 zu erstellen, indem Maßnahmen zur Vermeidung von Querkontaminationen und Blindwerteinträgen über die gesamte Prozesskette, insbesondere bei Materialeinsatz und Gerätschaften, Verpackung sowie Transport und Lagerung der Proben beschrieben werden. Sofern eine Multiparameter-Analyse vorgesehen ist, hat die Entnahme und Teilung der PFAS-Teilproben zur Minimierung des Kontaminationsrisikos gesondert zu erfolgen.

Bei der PFAS-Analytik sind spezifische Anforderungen an die Probengefäße zu beachten: Es sollten dicht schließende Kunststoffeimer (PE, PP) oder PP-/HDPE-Beutel verwendet werden. Glas kann aufgrund von Adsorptionseffekten weniger geeignet sein. Wässrige Proben sind in HDPE- oder PP-Flaschen ohne PTFE-beschichtete Verschlusskappen/ Schraubkappen (sofern nicht explizit als PFAS-frei deklariert) zu überführen. Es wird empfohlen für die PFAS-Analytik für die Laborproben gesonderte Behälter zu verwenden.

3 Analytik

3.1 Probenaufbereitung

Bei der Probenaufbereitung ist zu beachten, dass eine Lufttrocknung der Probe (< 40 °C) zur Herstellung von Eluaten im Vergleich zur feldfrischen Probe zu potenziell erhöhten Messwerten führen kann. Es ist daher zu Beginn der Untersuchung zu entscheiden, ob für die Erstellung des Eluats eine feldfrische Probe verwendet wird oder eine Trocknung erforderlich ist. Zur Beurteilung des Sickerwassers im Rahmen der Verwertung von Bodenmaterial und anderen mineralischen Abfällen ist vorzugsweise die feldfrische Probe zu verwenden, da dadurch das Elutionsverhalten der PFAS am realistischsten simuliert wird.

Bei wiederkehrenden Untersuchungen kann hingegen eine vorherige Trocknung erfolgen, um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen.

Die Lagerung von Feststoffen sollte kühl (4–6 °C, bis zur Trocknung), dunkel, trocken und in dicht verschlossenen Behältern erfolgen.

Bei heterogenen Abfällen (z.B. bei Bauschutt) ist auf eine vollständige Homogenisierung während des gesamten Prozesses zu achten. Im Falle einer Trocknung sollte diese bei Temperaturen unter 40 °C oder mittels Gefriertrocknung erfolgen.

Die Aufbereitungsschritte sind, unter Angabe der verwendeten Materialien und Gerätschaften, im Probenvorbereitungsprotokoll zu dokumentieren.

3.2 Herstellung von Eluaten

Aktuell werden für die Herstellung von Eluaten von Abfällen die Normen DIN 19528 und 19529 empfohlen. Allerdings ist derzeit keines der beiden Verfahren für die Bestimmung von PFAS validiert. Deshalb werden bei der Untersuchung von Abfällen auf PFAS folgende abweichende Schritte von den oben genannten Normen empfohlen.

Wie unter 3.1 beschrieben, ist bei der Herstellung von Eluaten anhand des Untersuchungsziels zu unterscheiden, ob eine Trocknung erfolgen sollte oder nicht.

Bei erforderlicher Trocknung zum Erhalt vergleichbarer Ergebnisse wird - entgegen den Vorschriften der o. g. Normen - empfohlen, die Fraktion ≤ 10 mm zur Elution zu verwenden. Die Fraktion > 10 mm ist abzutrennen und deren Gewichtsanteil im Protokoll zu vermerken.

Im Rahmen der Abfalleinstufung/Verwertung hingegen sollte die Gesamtfraktion der feldfrischen Probe für die Elution verwendet werden.

Der anschließende Fest-Flüssigtrennschritt hat durch Zentrifugation und gemäß DIN 19528 bzw. 19529 bis zum Erreichen einer Trübung von < 20 FNU, jedoch **ohne** Filtration, zu erfolgen.

3.2.1 Schütteleluat

Das Schütteleluat (W/F: 2:1) gemäß DIN 19529 bietet einen praktikablen gefährdungsbezogenen Ansatz. Um gegebenenfalls Mehrbefunde kurzkettiger PFAS durch Präkursorenabbau während der Elution zu vermeiden, wird bei der Untersuchung von PFAS eine Reduktion der Schütteldauer analog zur Kontaktzeit bei der Perkolation auf **fünf Stunden** empfohlen.

3.2.2 Perkolation

Bei der Perkolation gemäß DIN 19528 ist auf eine Sandzumischung und eine Abströmschicht aus Quarzsand zu verzichten, um eine Adsorption und damit verbundene Minderbefunde von PFAS zu vermeiden. Ist eine Perkolation ohne Sandzumischung nicht möglich, wie z.B. bei bindigen Böden, ist das Schüttelverfahren anzuwenden.

3.3 Feststoffanalytik

Stand der Technik für die Bestimmung von PFAS-Gesamtgehalten ist die DIN 38414-14, in der die Messung von 10 PFAS beschrieben wird. Die wesentlichen in der Norm beschriebenen Schritte sind: Trocknen der Feststoffprobe bei max. 40 °C, Mahlen, Zugabe isopenmarkierter substanzspezifischer interner Standards, Extraktion mit Methanol, Aufreinigung des Extraktes mit einem schwach basischen Ionenaustauscher und eine Messung mittels LC-MS/MS. In der Norm wird eine erreichbare Bestimmungsgrenze von 10 µg/kg genannt, die allerdings mit moderner

Fachliche Hinweise zur Untersuchung von Abfällen mit PFAS-Verdacht

Instrumentation deutlich unterschritten werden kann. So lassen sich für viele PFAS-Bestimmungsgrenzen von 0,1 µg/kg erreichen (Ausnahme: GenX und Betaine: hier liegen die erreichbaren BG im Bereich 0,2 – 0,5 µg/kg). Neben den in der Norm genannten 10 PFAS kann das Verfahren um eine Reihe weiterer PFAS-Einzelsubstanzen erweitert werden. Zusätzliche Hinweise zum Untersuchungs- und Bewertungsspektrum werden in der LAGA-Veröffentlichung „PFAS: Vorschlag zur Erweiterung des Untersuchungs- und Bewertungsspektrums sowie Vorschlag geeigneter Analysemethoden“¹ aufgeführt.

Mit modernen Analysegeräten lassen sich PFAS auch nach Direktinjektion (also ohne vorherige Aufreinigung/Matrixabtrennung) bestimmen. Dies minimiert substanzspezifische Verluste durch irreversible Adsorption insbesondere von langkettigen PFAS, sowie Blindwerteinträge. In Einzelfällen kann jedoch ein Cleanup bei komplexen Matrices (z. B. hoher Organikgehalt) erforderlich sein. Matrixeffekte müssen durch substanzspezifische interne Standards korrigiert werden.

Parallel dazu ist eine Wiederfindungsrate durch native Zielsubstanzen pro Messserie und Matrix zu ermitteln.

Wichtig ist die Verwendung einer ausreichenden Menge an Lösemittel bei der Extraktion (mindestens 5 ml Lösemittel pro 1 g Probe) und eine ausreichende Benetzung der Probe.

Im Bereich der Abfalldeklaration werden als Analysenumfang die 43 PFAS-Einzelsubstanzen aus dem Soil Monitoring Law² empfohlen, sofern die Verdachtsparameter nicht herkunftsspezifisch benannt werden können. Ca. 80% der 43 PFAS sind mit der DIN 38414-14 mit einer Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/kg analysierbar. Für ausgewählte Analyten sind noch niedrigere Bestimmungsgrenzen möglich.

Bei einem unspezifischen Verdacht kann zur Einschränkung des PFAS-Parameterumfangs auch eine qualitative suspect- oder non-target-Analyse sinnvoll sein.

Häufig sind Korrelationen zwischen Feststoff- und Eluatgehalten nicht feststellbar. Im Eluat sind vor allem langkettige PFAS nur unzureichend erfassbar. Daher ist in der Regel eine Feststoffanalytik für die Erfassung des Schadstoffpotentials erforderlich.

¹ abrufbar unter https://www.laga-online.de/documents/grundlagenpapier-pfas-analytik_2_1760603421.pdf

² Richtlinie (EU) 2025/2360 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. November 2025 zur Bodenüberwachung und für Bodenresilienz (Bodenüberwachungsgesetz) (abrufbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202502360)

3.4 Summenparameter

Summenparameter können einen ersten Überblick über eine mögliche PFAS-Kontamination geben. Sie lassen jedoch keine Rückschlüsse auf die enthaltenen Einzelstoffe in einer Probe zu, weshalb eine belastbare toxikologische Bewertung auf Basis von Summenparametern nicht möglich ist. Derzeit kann kein Summenparameter zur Erfassung der PFAS-Gehalte uneingeschränkt empfohlen werden. Dies liegt zum einen an der fehlenden Normierung bzw. Validierung für verschiedene Abfallmatrices. Zum anderen werden ultrakurzkettige und kurzkettige PFAS durch Summenparameter oft nicht oder nur unzureichend erfasst (Minderbefunde). Darüber hinaus können matrixbedingte Einflüsse, wie beispielsweise hohe Organik- oder Salzgehalte, Aufarbeitung und Analytik stören und so ggfs. zu Minder- oder Überbestimmungen führen. Bislang gibt es außerdem kein einheitliches Vorgehen im Umgang mit Schwebstoffen in der Probe. Dies schränkt die Vergleichbarkeit der Ergebnisse weiter ein, da insbesondere langkettige PFAS potenziell an diese partikulären Feststoffe adsorbieren.

Bei der Wahl eines Summenparameters sind außerdem die unten aufgeführten, methodenspezifischen Vor- und Nachteile, sowie insbesondere die Bestimmungsgrenzen, zu beachten.

3.4.1 TOP-Assay

Beim TOP-Assay (Total Oxidisable Precursor) werden durch gezielte Oxidation, in der Regel unter Verwendung von Kaliumperoxodisulfat in basischem Milieu, vorhandene Präkursoren in stabile, analytisch messbare Perfluorcarbonsäuren (PFCA) umgewandelt.

Labore, die bereits eine PFAS-Einzelstoffanalytik durchführen, benötigen für den TOP-Assay kaum zusätzliches Equipment. Des Weiteren ist für Eluate ein genormtes Verfahren verfügbar (DIN 3608).

Die Aussagekraft des TOP-Assays ist durch die ausschließliche Erfassung vordefinierter Zielsubstanzen limitiert, die Identität der Präkursoren bleibt unbekannt. Des Weiteren werden Zwischenprodukte oder stabile Verbindungen wie z.B. polyfluorierte Ether bei der Beschränkung auf PFCAs als Zielanalyten nicht erfasst. Werden über PFCAs hinaus auch weitere Einzelsubstanzen bestimmt, kann der TOP-Assay im Vergleich zum adsorbierbaren organisch gebundenen Fluor (AOF) und zum extrahierbaren organisch gebundenen Fluor (EOF) allerdings weiterführende Strukturinformationen liefern und ggfs. Rückschlüsse auf in der Probe enthaltene PFAS-Stoffgruppen ermöglichen. Matrixeffekte können die vollständige Umsetzung der Präkursoren verhindern und die Reproduzierbarkeit des TOP-Assays beeinträchtigen. So zehren beispielsweise hohe Organikgehalte in der Probe das eingesetzte Oxidationsmittel auf, was gleichzeitig zu einer ungewollten pH-Wert-Verschiebung führen kann. Nachteilig ist ebenfalls, dass ausschließlich wasserlösliche Verbindungen erfasst werden, wodurch z.B. flüchtige Verbindungen, Polymere sowie SF₅-Feuerlöschschäume unberücksichtigt bleiben.

Beim TOP-Assay können Nachweis- und Bestimmungsgrenzen von bis zu 1 ng/L erreicht werden.

3.4.2 AOF

Beim AOF (Adsorbierbares organisch gebundenes Fluor) handelt es sich um einen schnell bestimmten Screeningparameter für wässrige Proben, der unabhängig von Einzelstandards angewendet werden kann und ein breites Spektrum an PFAS-Verbindungen abdeckt. Für die Bestimmung des AOF steht ein genormtes Verfahren (DIN 38409-59) zur Verfügung.

Der AOF liefert keine Informationen zur Identität der in der Probe enthaltenen PFAS. Er ist nicht PFAS-spezifisch, sondern erfasst auch andere fluororganische Verbindungen. Matrixeffekte und Kontaminanten können sowohl zu Minder- als auch Überbestimmungen des AOFs führen. So können hohe Organikgehalte in der Probe die PFAS-Adsorption behindern und zu Minderbestimmung führen. Überbestimmungen können z.B. bei Proben mit hohen anorganische Fluoridfrachten oder schwerlösliche Fluoridverbindungen (z.B. Kalziumfluorid) beobachtet werden, wenn der Standard-Waschschritt für eine vollständige Abreicherung nicht ausreicht. Hohe Chloridfrachten, können bei nicht ausreichender Abreicherung zudem zu Verschiebungen der Retentionszeiten sowie einer schlechteren Peakauflösung in der Ionenchromatographie führen. Bei Proben mit hohen Salzfrachten ist daher gemäß Normanhang das SPE-AOF-Verfahren anzuwenden.

Beim AOF können Nachweis- und Bestimmungsgrenzen von bis zu 2 µg/L erreicht werden.

3.4.3 EOF

Der EOF (Extrahierbares organisch gebundenes Fluor) ist ein Screeningparameter für Feststoffproben, der unabhängig von Einzelstandards angewendet werden kann.

Aktuell liegt für den EOF noch kein genormtes Verfahren vor. Der EOF ist nicht spezifisch für die Messung von PFAS, sondern erfasst auch andere fluororganische Verbindungen, die mit dem gewählten Extraktionsmittel extrahierbar sind. Anschließend erfolgt die Abtrennung des anorganischen Fluors und die Analyse des verbleibenden, organisch gebundenen Fluors, z. B. mittels Ionenchromatographie. Solange diese Schritte nicht vereinheitlicht sind, ist ein Vergleich von EOF-Daten nicht sinnvoll.

Beim EOF können Nachweis- und Bestimmungsgrenzen von bis zu 10 µg/kg erreicht werden.