



BODENSCHUTZ

ALEX-INFORMATIONSBLATT 29

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) in der Umwelt

ALEX-Informationsblatt 29/2017
Mainz, Mai 2017

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesamt für Umwelt
Kaiser-Friedrich-Straße 7
55116 Mainz

© 2017

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

INHALTSVERZEICHNIS

PFC-Problematik, Strategie in Rheinland-Pfalz	5
Landesweite Grundmessprogramme	6
Ermittlung und Beurteilung aller möglichen Belastungsquellen	7
Konkrete Vorgehensweise von der Erkundung bis zur Sanierung	8
Landesweite Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen	8
Mögliche Maßnahmen	8
Anlage 1 Vorgehensweise bei der Altlastenbearbeitung in Rheinland-Pfalz	10
Anlage 2 Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen	11
1 Einleitung	11
2 Mögliche PFC-relevante Branchen	12
2.1 PFC-haltige Schaumlöschmittel	13
2.2 Galvanik	13
2.3 Textilindustrie	14
2.4 Halbleiterindustrie	14
2.5 Fotoindustrie	14
2.6 Papier- und Verpackungsindustrie	14
2.7 Lack- und Farbenherstellung	15
2.8 Hydraulikflüssigkeiten	15
2.9 Deponien	15
2.10 Reinigungsmittel und Kosmetikartikel	16
2.11 Chemische Industrie	17
3 Stoffspektrum	17
4 Grundlegende rechtliche Anforderungen	18
5 Beurteilungskriterien und Anwendungshinweise	20
5.1 Gewässerschutz	20
5.1.1 Trinkwasser	20
5.1.2 Grundwasser	20
5.1.3 Oberflächengewässer	23
5.1.3.1 Einleitungen / Emissionsanforderungen	23
5.1.3.2 Einleitungen / Immissionsanforderungen	24
5.2 Bodenschutz	26

5.2.1	Schädliche Bodenveränderungen und Altlasten	26
5.2.1.1	Wirkungspfad: Boden - Grundwasser	26
5.2.1.2	Wirkungspfad: Boden - Pflanze	27
5.2.1.3	Wirkungspfad: Boden - Mensch	27
5.2.2	Verwertung (außerhalb von Deponien)	27
5.3	Abfallentsorgungsanlagen	27
5.3.1	Entsorgung auf Deponien	28
5.3.2	Weitere Entsorgungsoptionen	28
6	Analytik	29
6.1	Chemische Analytik	29
6.2	Herstellung von Eluaten zur Bodenuntersuchung	29

PFC-PROBLEMATIK, STRATEGIE IN RHEINLAND-PFALZ

Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) sind Stoffe, die seit etwa 50 Jahren hergestellt werden und heute ein weit verbreitetes Umweltproblem darstellen. Sie bauen sich nicht ab, reichern sich in der Umwelt an, sind giftig und stehen in Verdacht krebserregend zu sein. Auch wenn ihre Verwendung inzwischen stark eingeschränkt ist: Wasser und Böden haben ein langes Gedächtnis.

Ursachen für PFC-Verunreinigungen sind u.a. Einleitungen PFC-haltiger Abwässer in Kläranlagen und Gewässer, PFC-Kontaminationen von Düngemitteln oder PFC-haltige AFFF- (Aqueous-Film-Forming-Foams) Feuerlöschschäume.

Die Europäische Kommission hat die Verwendung von PFC ab 2008 stark eingeschränkt. In Rheinland-Pfalz werden seit 2007 gezielt und seit 2011 regelmäßig Grundwasser und Oberflächengewässern auf PFC untersucht. Belastungen, die deutlich über den nationalen Richtwerten liegen, wurden vor allem im Umfeld von Flugplätzen und dort vor allem von Feuerlöschübungsplätzen gefunden.

Am 1. Oktober 2014 hat Umweltministerin Ulrike Höfken eine behörden- und ministerienübergreifende Arbeitsgruppe PFC ins Leben gerufen. Die Gruppe ist beauftragt, eine landesweite Überwachung mit Grundmessprogrammen für Oberflächengewässer und Grundwasser durchzuführen, Belastungsquellen zu ermitteln und erforderliche Schutz- oder Sanierungsmaßnahmen zu erarbeiten.

Als Ergebnisse der Arbeitsgruppe ist im Einzelnen folgende strategische Vorgehensweise vorgesehen, bzw. bereits in der Anwendung:

LANDESWEITE GRUNDMESSPROGRAMME

Ziel der Grundmessprogramme ist es die **Grundlasten** (ubiquitäre Belastungen) zu ermitteln, Belastungsschwerpunkte oder -bereiche zu erkennen sowie etwaige Unfall- oder aus sonstigen Gründen bedingte Belastungsspitzen zu erfassen.

Für die **Überwachung der Fließgewässer** steht ein Messnetz für regelmäßige PFC-Untersuchungen zur Verfügung.

Vorläufige Ergebnisse:

Aufgrund der ubiquitären Verbreitung können in allen rheinland-pfälzischen Gewässern PFC im Bereich zwischen 10 und 50 ng/l nachgewiesen werden.

Zusätzlich werden zur Überwachung der Fließgewässer **orientierende Fischuntersuchungen** an allen Überblicksmessstellen der Fließgewässer (Rhein, Mosel, Lahn, Nahe, Saar, Sauer) durchgeführt.

Ein **Grundwassermonitoring** findet ca. alle 3-4 Jahre statt. Es wurde in 2015/2016 eine spezielle Ausrichtung des Programms auf mögliche PFC-Verunreinigungen vorgesehen.

Bisherige Ergebnisse der beiden letzten Monitorings:

In den bisher durchgeführten ca. 250 Grundwasserbestimmungen auf PFC konnten an 8 Messstellen PFC im Nanogrammbereich nachgewiesen werden.

Trinkwasseruntersuchungen werden von den Wasserversorgern, welche Brunnen in unmittelbarer Nähe von Belastungsquellen betreiben, durchgeführt.

Landesweite Bodenuntersuchungen sind nicht erforderlich. Sie werden ggf. an möglichen Belastungsschwerpunkten durchgeführt.

Landesweite Luftuntersuchungen werden ebenfalls nicht für erforderlich gehalten.

Klärschlämme, die als Düngemittel auf landwirtschaftlich genutzten Flächen eingesetzt werden sollen, müssen die Grenzwerte der Düngemittelverordnung einhalten. Es liegt im Verantwortungsbereich des Kläranlagenbetreibers dies sowohl durch regelmäßige als auch anlassbezogene Untersuchungen sicherzustellen.

Pflanzen-/Lebensmitteluntersuchungen werden erst dann erforderlich sein, wenn es z.B. wie in Baden-Württemberg zu großflächigen mit PFC verunreinigten Düngemiteleinsätzen käme.

ERMITTLUNG UND BEURTEILUNG ALLER MÖGLICHEN BELASTUNGSQUELLEN

a) Industrie

Sämtliche Industriebereiche in Rheinland-Pfalz, die als potenzielle Belastungsquellen für PFC in Frage kommen, werden eruiert und **anschließend** überprüft.

Wesentliche Industriebereiche (Galvanik, Papier) wurden bereits 2009 untersucht und hier auch PFC-Emissionen festgestellt. Alle betroffenen Betriebe haben die PFC-Anwendung umgestellt.

b) Feuerlöschübungsplätze

Bei sämtlichen Flugplätzen in RP, bei denen Feuerlöschübungsplätze betrieben wurden, werden derzeit Untersuchungen durchgeführt.

Bei den bisher untersuchten Flugplätzen (Ramstein, Spangdahlem, Bitburg, Sembach, Hahn und Büchel) mit Feuerlöschübungsplätzen konnten in den umliegenden Gewässern PFC-Belastungen von ca. 10 ng/l bis zu 5 µg/l festgestellt werden.

Weitere Flugplätze mit Feuerlöschübungsplätzen und auch sonstige Feuerlöschübungsplätze, die bei der Großindustrie wie Raffinerien oder Tanklager vorhanden sein können, werden eruiert.

c) Großbrände

Alle Großbrände der letzten Jahre, bei denen es zum Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln kam, werden untersucht.

d) Klärschlämme/Düngemittel

Es wird geprüft ob Erkenntnisse über den Einsatz PFC-belasteter Düngemittel/Klärschlämme/Komposte vorliegen.

e) Altlasten/Altstandorte

Es wird geprüft, wo hier ggf. mit PFC umgegangen wurde.

f) Deponien/Altablagerungen

Es wird geprüft, wo hier ggf. mit PFC umgegangen wurde.

KONKRETE VORGEHENSWEISE VON DER ERKUNDUNG BIS ZUR SANIERUNG

Bei Schadstoffbelastungen, die zu Boden- und/oder Grundwasserbelastungen führen können, ist die Vorgehensweise zur Erkundung, Gefahrabschätzung, Bewertung, Sanierung und Überwachung bundeseinheitlich nach dem Bundesbodenschutzgesetz festgelegt. Sie wird demgemäß auch in Rheinland-Pfalz angewendet (siehe Anlage 1).

LANDESWEITE LEITLINIEN ZUR VORLÄUFIGEN BEWERTUNG VON PFC-VERUNREINIGUNGEN

Das MUEEF hat landesweite Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen als Grundlage für den Vollzug erarbeitet (s. Anlage 2).

Im Hinblick auf die Schutzgüter Boden und Wasser (Trinkwasser, Grundwasser, Oberflächenwasser) werden den Vollzugsbehörden unter Beachtung aller aktuellen Grenz-, Leit-, Orientierungswerte und Umweltqualitätsnormen Vollzugshilfen für den Umgang mit PFC-Belastungsquellen an die Hand gegeben.

MÖGLICHE MAßNAHMEN

Im Falle von kritischen Schadensfällen gilt zunächst als Oberste Priorität, durch vorsorgliche Maßnahmen eine Gefährdung für Menschen auszuschließen. Mögliche Maßnahmen in diesen Fällen sind zum Beispiel Verzehreinschränkungen für Fische, Verzicht auf die Bewässerung von Gärten aus stark belasteten Oberflächengewässern sowie das Verbot der Aufbringung belasteter Klärschlämme auf landwirtschaftliche Flächen.

Im weiteren Schritt werden die Schadensfälle näher untersucht, die Gefahren abgeschätzt und bewertet. Auf dieser Grundlage stehen derzeit zur Gefahrenabwehr folgende Sicherungs- und Sanierungsverfahren zur Verfügung:

- Abdeckung von mit PFC kontaminierten Flächen mit einer wasserundurchlässigen Schicht (Versiegelung)
- Bodenaustausch
- Hydraulische Maßnahmen (z.B. Pump & Treat) mit Grundwasseraufbereitung

Zur Aufbereitung von Grundwasser mit PFC-Belastung im Rahmen von Grundwassersanierungen bestehen grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

- Sorption an Aktivkohle
- Ionenaustauscher
- Membranverfahren (Umkehrosmose)
- Oxidationsverfahren
- Elektrochemische Verfahren

Die Sorption an Aktivkohle und Ionenaustauscher werden großtechnisch für geeignet angesehen, wobei Einschränkungen hinsichtlich der Eignung für kurzketttige PFC in Abhängigkeit von der sonstigen Belastung des Wassers (z.B. durch Brandprodukte) bestehen. Die anderen genannten Verfahren sind nach vorliegenden Erfahrungen entweder unwirtschaftlich oder großtechnisch nicht erfolgversprechend.

Summarische Bewertung eines PFC-Gemisches im Hinblick auf die menschliche Gesundheit

Zurzeit gibt es noch kein umfassendes Konzept zur gesundheitlichen Bewertung von Mehrstoffbelastungen. Hinsichtlich des Schutzgutes menschliche Gesundheit gibt die TRGS 402 für Arbeitsplatzexpositionen eine praktische Anleitung. Dabei werden bei mehreren gleichzeitig auftretenden Stoffen aus Messwerten und Bewertungsmaßstäben einzelner Stoffe Stoffindizes gemäß

$I = C / BM$ (mit: C= gemessene Konzentration; BM = Bewertungsmaßstab)

gebildet und diese hier mit den humantoxikologisch abgeleiteten GFS_{hum} als BM zu einem

Bewertungsindex BI aufsummiert:

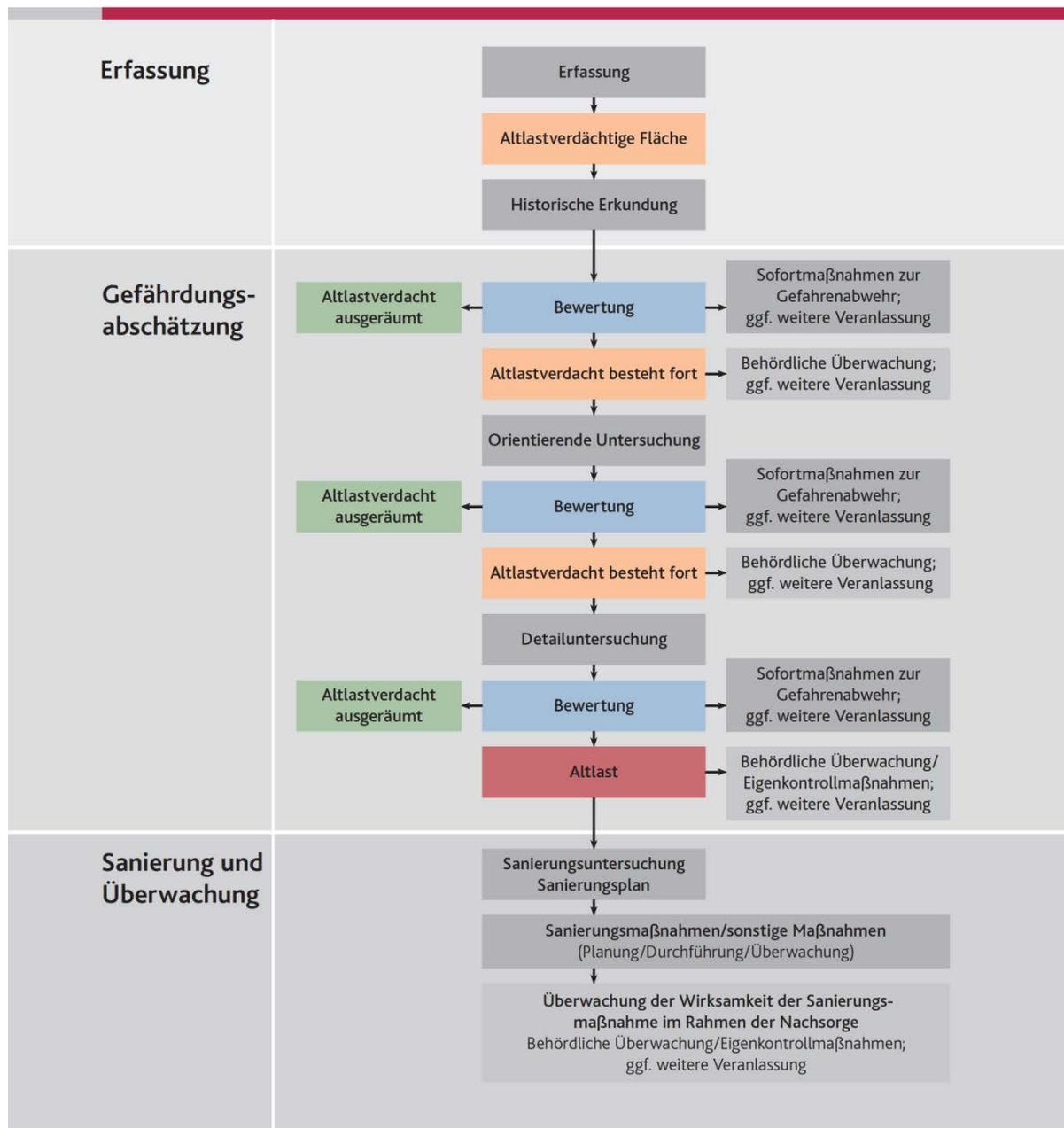
$$BI_{GFS_{hum}} = \sum I_i = C_1 / GFS_{hum1} + C_2 / GFS_{hum2} + C_3 / GFS_{hum3} + \dots$$

Ist der Bewertungsindex $BI > 1$ gilt der Bewertungsmaßstab für die Summe als überschritten. Dieses pragmatische Vorgehen gilt für das Schutzgut menschliche Gesundheit und für GFS-Werte nur sofern diese allein humantoxikologisch begründet sind.

ANLAGE 1

VORGEHENSWEISE

bei der Altlastenbearbeitung in Rheinland-Pfalz



ANLAGE 2

LEITLINIEN ZUR VORLÄUFIGEN BEWERTUNG VON PFC- VERUNREINIGUNGEN

1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden in Rheinland-Pfalz wie auch in anderen Bundesländern Schadensfälle und Verunreinigungen mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC)¹ in Boden und Gewässern bekannt. Bundesweit gibt es außer in der Düngemittelverordnung mit 100 µg/kg Trockenmasse für die Summe aus Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) und Perfluoroktansäure (PFOA) noch keine gesetzlichen Grenzwerte für diese Stoffklasse². Mit den vorliegenden Leitlinien werden für den Vollzug in Rheinland-Pfalz ein vorläufiger Bewertungsrahmen sowie beurteilungsrelevante Hintergrundinformationen zur Verfügung gestellt. Dies soll eine Bewertung von Einzelfällen ermöglichen, die mit einem Eintrag von PFC in Gewässer oder in den Boden verbunden sind oder sein können (z. B. Abwassereleitungen, Ablagerungen, Einsatz von Feuerlöschmitteln). Zudem enthalten die Leitlinien einheitliche Vollzugsmaßstäbe für die Bewertung von Untersuchungsergebnissen und für Entscheidungen über ggf. erforderliche weitergehende Maßnahmen bei bestehenden Untergrundverunreinigungen.

PFC sind organische Substanzen, die unter Umweltbedingungen außerordentlich stabil (persistent) sind und mittlerweile in Spuren ubiquitär in den verschiedensten Umweltmedien gefunden werden. In die Diskussion ist in den letzten Jahren besonders eine bestimmte Gruppe der PFC, nämlich die perfluorierten Tenside (PFT) geraten, da eine Reihe von Umweltkontaminationen durch diese Stoffgruppe verursacht wurde. Die dabei festgestellten Belastungen betreffen unterschiedliche Umweltkompartimente. Neben den Verunreinigungen durch Einleitung PFC-haltiger Abwässer in Kläranlagen und Gewässer sind dies vor allem Kontaminationen in Wasser und Boden durch PFC-haltige AFFF- (Aqueous-Film-Forming-Foams) Feuerlöschschäume. Diese Löschschäume wurden und werden bislang vor allem bei Werkfeuerwehren (z.B. Flughäfen, Raffinerien, chemische Industrie) ein-

¹ Die Fachwelt verwendet mittlerweile anstelle von PFC häufiger auch die Bezeichnung PFAS für „Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen“.

² Der Entwurf der OGewV enthält Umweltqualitätsnormen für PFOS, deren Einhaltung ab 2027 erforderlich ist, siehe auch Kap. 5.1.3.

gesetzt, aber auch bei kommunalen Feuerwehren. Bis in das Jahr 2000 wurde zur Herstellung der Löschsäume vornehmlich PFOS verwendet. PFOS-haltige Löschsäume mit einem Gehalt von mehr als 0,001 % dürfen jedoch aufgrund eines EU-weiten Verbots seit dem 27.06.2011 nicht mehr verwendet werden. Allerdings finden sich aufgrund der langjährigen Verwendung derartiger Schaummittel bei Übungen gerade im Bereich von Flughäfen, Raffinerien und Standorten chemischer Industrie öfter PFOS-bedingte Kontaminationen. Inzwischen werden den AFFF - Schaumlöschmitteln statt PFOS häufig sog. telomerbasierte PFC (z. B. Derivate von 6:2 Fluortelomersulfonat) sowie polyfluorierte Chemikalien zugesetzt, deren Umweltverhalten derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden kann. Aufgrund der fehlenden Analysenstandards finden polyfluorierte Chemikalien noch wenig Berücksichtigung in der Umweltanalytik. Im aquatischen Milieu werden sie zu perfluorierten Chemikalien abgebaut.

Im Folgenden werden für die Bewertung von Verunreinigungen von Boden und Wasser durch PFC (z.B. durch Schadensfälle, Unfälle, Brandfälle, gewerblichen und industriellen PFC-Einsatz, Altlasten, Altstandorte) zur Gewährleistung eines einheitlichen Vollzugs in Rheinland-Pfalz vorläufige Richtwerte vorgeschlagen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass dies aufgrund derzeit noch fehlender gesetzlicher Grundlagen nur vorläufige Empfehlungen auf der Basis der jeweiligen aktuellen fachlichen Erkenntnisse sein können. Im Rahmen einer Einzelfallbeurteilung kann es zu begründeten Abweichungen von diesen Empfehlungen kommen. Bei Vorliegen gesetzlicher Regelungen sind diese zu beachten.

2 Mögliche PFC-relevante Branchen

Außer dem Einsatz in Schaumlöschmitteln liegen weitere Verwendungsgebiete der PFC hauptsächlich im Bereich der Oberflächenveredelung, der Papierbeschichtung und der Spezialchemie. Gemäß der Pilotstudie „Berücksichtigung von perfluorierten Chemikalien in der Altlastenerfassung – Pilotstudie im Landkreis Sigmaringen (erstellt von Berghof Analytik und Umweltengineering GmbH im Auftrag des Landratsamtes Sigmaringen, vom 14.11.2014)“ wurden PFC zur Brandbekämpfung mit AFFF-Schaumlöschmitteln und in folgenden Industriebranchen eingesetzt:

2.1 PFC-haltige Schaumlöschmittel

PFC-haltige Schaumlöschmittel wurden erst ab Anfang der 1970er Jahre verbreitet eingesetzt. Man könnte somit das Jahr 1975 als untere Abschneidegrenze für entsprechende Recherchen empfehlen. Eine obere Abschneidegrenze ist noch offen und kann derzeit noch nicht festgelegt werden.

Branchen PFC-haltiger Schaumlöschmittel: Brandbekämpfung von Großbränden mit Schaumlöschmitteleinsatz, ggfs. Klein- und Mittelbrände mit Schaumlöschmitteleinsatz, Übungsstandorte bei mehrmaliger Verwendung, Standorte der Stützpunkfeuerwehren, Herstellungsbetriebe sowie Betriebe, in denen Feuerlöschschäume bevorratet werden.

Einsatzbereiche für die Verwendung von AFFF-Schaumlöschmittel, die u.a. folgende gewerbliche Nutzungen betreffen: Petrochemie, große Tanklager, Raffinerien, chemische Fabriken mit entsprechenden Lagern, kunststoffverarbeitende Betriebe, Gewerbebetriebe mit entsprechenden Lagersystemen aus Kunststoffen, Reifenherstellung und -großhandel, Flughäfen, Bundeswehrübungsgelände mit Flugverkehr, Betriebe der Mülltrennung (gelber Sack) oder Schrottverwertung (Shreddereinrichtungen), Bahn- und LKW-Umschlagstationen.

Folgende Stoffe/Stoffgruppen können relevant sein: PFOS, PFOA, PFHxA, PFBS, PFHxS, allg. PFCA, PFSA, Fluortelomere, wie 6:2 FTS (H₄PFOS) und FT-Betaine.

2.2 Galvanik

Im Rahmen der Oberflächenbehandlung wurden PFC bei der Hartverchromung, Glanzverchromung und Kunststoffgalvanisierung mit Chrom eingesetzt.

Einsatzzeitraum: Ab ca. 1960 bis heute (Ausnahmegenehmigung für PFOS)

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS, H₄PFOS, PFBS, PFHxS

Branchen: Oberflächenveredelung/Oberflächentechnik mit folgenden Verfahren:

1. Priorität Hartverchromung, Glanzverchromung, Kunststoffgalvanisierung
2. Priorität Zinkverchromung, Verkupferung, Vernickelung, Vergoldung, Galvanisierung Edelmetalle, Anodisierverfahren

2.3 Textilindustrie

Altlastrelevant sind Textilbetriebe mit Nassausrüstung zum Auftrag von Imprägnier- und Fleckenschutz und für membranherstellende Betriebe.

Einsatzzeitraum: Ab ca. 1960 bis heute (Ausnahmegenehmigung für PFOS)

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: Fluorcarbonharze, Fluorpolymere, PFOS, PFOA, FTOH, Telomeracrylate

Branchen: Textilherstellung, Herstellung techn. Textilien, Herstellung Teppiche, Membranherstellung (z.B. Gore Tex)

2.4 Halbleiterindustrie

Aufgrund des Prozesses ist eine besondere Umweltgefährdung für Boden und Grundwasser nicht zu erwarten.

Einsatzzeitraum: Ab ca. 1995 bis heute

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS

Branchen: Halbleiterherstellung

2.5 Fotoindustrie

Ähnlich wie für die Halbleiterindustrie ist nicht mit einer relevanten Umweltgefährdung zu rechnen.

Einsatzzeitraum: Ab ca. 1995 bis heute, Schwerpunkt bis 2000

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS

Branchen: Printmedienherstellung, Entwicklungslabors, Betriebe zur Aufarbeitung von Entwicklerlösungen

2.6 Papier- und Verpackungsindustrie

Eine mögliche Umweltgefährdung beschränkt sich auf die Zellstoffverarbeitenden Betriebe (Papier- und Pappeherstellung).

Einsatzzeitraum: Ab ca. 1960 bis heute

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: Fluorierte Polymere, Phosphatester von N-EtFOSE, Fluorocarbonharze, Perfluorpoly-ether(PEPE), PAP's, polyfluorierte Phosphorsäuren (FTOH, PFOS, PFOA als sekundäre, relevante Verunreinigungen)

Branchen: Papier- und Pappeherstellung

2.7 Lack- und Farbenherstellung

Aussagen zur Altlastenrelevanz sind schwierig. Altlastenrelevanz besteht dann, wenn bei der Produktion von Farben/Lacken PFC-Additive zugesetzt wurden.

Einsatzzeitraum: Ab ca. 1960 bis heute

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS und PFOS-verwandte Substanzen, PFBS, fluorierte Polyether, Fluorpolymere – PVDF (Polyvinylidenfluorid – Polymer aus C₂H₂F₂).

Branchen: Lack-, Farbenherstellung – Farben/Lacke mit wasser-, schmutz-, ölabweisenden Eigenschaften, Druckfarbenherstellung (Lackierereien und Industriebetriebe mit Lackieranlagen)

2.8 Hydraulikflüssigkeiten

Es ist keine Umweltgefährdung der Medien Boden und Grundwasser beim Umgang mit Hydraulikflüssigkeiten in der Luftfahrt und Luftfahrtindustrie zu erwarten. Die Einsatzmengen an PFOS sind gering.

Einsatzzeitraum: Untere Abschneidegrenze: bisher nicht klar definierbar, obere Abschneidegrenze: bis heute

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS, Perfluor-Ethyl-Cyclohexyl-Sulfonat (FC-98)

Branchen: Flugzeugbau, Flugzeugwartung (Flughäfen)

2.9 Deponien

Altdeponien, die noch unter kommunaler Regie bis ca. Mitte der 70-iger Jahre betrieben wurden, sind weniger problematisch, vorausgesetzt, die Verwendung PFC-haltiger Substanzen hat erst in den 1960-iger Jahren eingesetzt.

Einsatzzeitraum: Ab ca. 60-iger Jahre, verstärkt ab 70-iger Jahre (gilt für alle Deponiearten) bis ca. 1985 (Einstellung der Nutzung Übergangsdeponien); bis ca. 1990 (Inertstoffdeponien); bis heute (Bauschuttdeponien, Deponien DK 0)

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: PFOS und PFOS-verwandte Substanzen, Fluortelomere, Fluorcarbonharze, fluorierte Polymere, Fluorpolymere, etc.

Branchen: Deponien

Die nachfolgenden Einsatzbereiche „Herstellung von Reinigungsmitteln und Kosmetikartikeln“ und „Chemische Industrie“ sind in der o.g. Pilotstudie nicht beschrieben, da sie im betreffenden Landkreis keine Bedeutung haben. Trotzdem sollen sie als mögliche Quellen für PFC-Belastungen erwähnt werden.

2.10 Reinigungsmittel und Kosmetikartikel

Da in der Reinigungsmittel- und Kosmetikindustrie zum Teil in relevantem Umfang mit wassergefährdenden Stoffen (beispielsweise Lösungsmittel und andere wasserlösliche Organika, für Reinigungsmittel teilweise auch mit Säuren und Laugen) umgegangen wird/wurde, sind diese Standorte altlastrelevant und daher stillgelegte Standorte teilweise in den Bodenschutz- und Altlastenkatastern erfasst.

Daten zum Einsatz von PFC bei der Herstellung von Reinigungsmittel und Kosmetikartikel liegen nicht vor. Sicherheitshalber sollte daher für den Zeitraum des Haupteinsatzes der PFC folgendes zugrunde gelegt werden:

Einsatzzeitraum: Ab ca. 1970 bis heute

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: Perfluoralkylethylphosphat, Perfluorpolyether (PFPE), N-ethyl-N-[(heptadecafluorooctyl)-sulfonyl]glycinat, Perfluorodecalin, Perfluormethylcyclopentan, Perfluorperhydrophenanthren, Perfluor-1,3-dimethylcyclohexan, Perfluoromethyldecalin und Perfluoroperhydrobenzyltetralin

Bei den letzten sechs Verbindungen handelt es sich streng genommen um keine PFC im engeren Sinne.

Branchen: Reinigungsmittel- und Kosmetikindustrie

2.11 Chemische Industrie

Der Bereich der chemischen Industrie umfasst eine sehr große Breite verschiedener Einsatzbereiche und eine weite Verbreitung in der Produktkette. Für die im Folgenden aufgeführten Bereiche liegen kaum Daten vor. Es gibt keinerlei Informationen zu Einsatzmengen und Einsatzzeiträumen, nicht einmal dazu, ob der jeweilige Einsatzbereich für Deutschland überhaupt relevant ist. Aufgrund der spärlichen Informationen ist davon auszugehen, dass die verwendeten PFC-Mengen eher gering waren.

Einsatzzeitraum: Ab ca. 1970 bis heute

PFC-Stoffe/Stoffgruppen: Die eingesetzten Chemikalien können die gesamte PFC-Produktpalette umfassen.

Branchen:

- Produktion der PFC und der Polymere bzw. Herstellung von Formulierungen,
- Verwendung von PFC (als Prozesschemikalien bzw. als Hilfsmittel bei Synthesen) in der Herstellung von Produkten, die letztlich keine PFC mehr enthalten,
- Verwendung von PFC zur Herstellung PFC-haltiger Produkte.

3 Stoffspektrum

Die Stoffgruppe der PFC umfasst eine Vielzahl verschiedener Einzelsubstanzen. Die vorliegenden Leitlinien enthalten Hinweise für die folgenden nach den aktuellen DIN-Normen (s. Kapitel 6) im Routinefall³ zu analysierenden PFC:

PFBA	Perfluorbutansäure
PFPeA	Perfluorpentansäure
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFHpA	Perfluorheptansäure
PFOA	Perfluoroktansäure
PFNA	Perfluornonansäure

³ Sowohl für die Analytik in Wasserproben nach DIN 38407-42 als auch in Schlamm, Kompost und Boden nach DIN 38414-14 ist die Anwendbarkeit des jeweiligen Verfahrens auf weitere Substanzen nicht ausgeschlossen, muss dann jedoch im Einzelfall geprüft werden.

PFDA	Perfluordekansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFPeS	Perfluorpentansulfonsäure
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFHpS	Perfluorheptansulfonsäure
PFOS	Perfluoroktansulfonsäure
H ₄ PFOS	6:2 Fluortelomersulfonsäure
PFOSA	Perfluoroktansulfonamid

Zusätzlich zu den vorgenannten PFC-Einzelverbindungen sind noch folgende Verbindungen, die bei eingesetzten PFC-freien Feuerlöschschaummittel gefunden wurden, zu analysieren:

Polyfluorierte Tenside, sog. Polyfluoralkylbetaine (PFAB) der Capstone™ Produkte der Fa. DuPont™:

C₆F₁₃-(CH₂)₂-SO₂-NH-(CH₂)₃-N⁺(CH₃)₂O⁻ Capstone A

C₆F₁₃-(CH₂)₂-SO₂-NH-(CH₂)₃-N⁺(CH₃)₂-CH₂COO⁻ Capstone B

Diese Verbindungen sind insbesondere dann mit zu analysieren, wenn die Verbindung H₄PFOS gefunden wird.

Hinsichtlich der analytischen Bestimmung der beiden aufgeführten Polyfluorierten Tenside sind zur Kalibrierung mittlerweile Standards erhältlich.

4 Grundlegende rechtliche Anforderungen

PFOS ist chemikalienrechtlich ein persistenter organischer Schadstoff (POP). Herstellung, Verwendung und das Inverkehrbringen von PFOS sind europaweit durch die Verordnung 850/2004/EG („POP“-Verordnung), geändert durch die EU-Verordnung 757/2010, zuletzt geändert durch EU-VO 2016/460 vom 30.03.2016, verboten. Demnach gelten in der Europäischen Union folgende Beschränkungen für PFOS:

- Stoffe oder Gemische mit einem PFOS-Gehalt von > 0,001 %,
- neue Halbfertigerzeugnisse oder Teile davon mit einem PFOS-Gehalt von 0,1 % und mehr,
- neue Textilien oder andere neue beschichtete Werkstoffe mit einem Gehalt von 1 µg/m²

oder mehr dürfen nicht hergestellt, nicht in Verkehr gebracht und nicht verwendet werden.

Ausnahmen gelten für folgende Verwendungen, solange keine Alternativen bestehen und sofern die Menge der PFOS-Emissionen in die Umwelt auf ein Mindestmaß reduziert wird:

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

Mit diesen Vorschriften hat die EU internationale Vereinbarungen der Stockholmer Konvention umgesetzt. PFOS ist im Anhang B der Stockholmer Konvention enthalten, welche die Vertragspartner verpflichtet, PFOS in ihrem jeweiligen Hoheitsgebiet zu beschränken. Die Stockholmer Konvention ist eine internationale Übereinkunft (derzeit 151 Staaten) über völkerrechtlich bindende Verbots- und Beschränkungsmaßnahmen für sogenannte „POP“ (persistente organische Schadstoffe). Bereits im Jahr 2003 wurde PFOS als prioritärer Stoff in die OSPAR-Konvention (Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt im Nordost-Atlantik aus 15 europäischen Staaten) aufgenommen.

Mit Wirkung vom 20.06.2013 wurde PFOA als SVHC-Stoff („Substances of very high concern“) in die Kandidatenliste nach Artikel 59 der REACH-Verordnung aufgenommen, da PFOA wegen seiner persistenten, bioakkumulierenden und reproduktionstoxischen Eigenschaften als PBT-Stoff (persistent, bioakkumulierbar und toxisch) eingestuft wurde. In der Folge könnte PFOA in Anhang XIV der REACH-Verordnung, die Liste der zulassungspflichtigen Stoffe, aufgenommen oder weiteren Beschränkungen unterworfen werden. Dies gilt auch für den Stoff Ammoniumperfluoroktanoat (APFO), der die gleichen Eigenschaften aufweist. Bereits seit dem 19. Dezember 2012 befinden sich vier weitere perfluorierte Carbonsäuren (mit Kettenlängen von C11-14) in der Kandidatenliste der ECHA, da diese vier Stoffe sehr persistent sind und sich in Organismen stark anreichern können (vPvB-Eigenschaften). Für die C9 und C10-Carbonsäuren ist die Einstufung als Substance of Very High Concern (SVHC) in Vorbereitung.

Durch die Verordnung (EU) Nr. 1342/2014 vom 17. Dezember 2014 wird die Verordnung (EG) Nr. 850/2004 über persistente organische Schadstoffe hinsichtlich der Anhänge IV

und V geändert. Sie ist am 18.06.2015 in Kraft getreten. In den Anhang IV der Liste der Stoffe, die den Abfallbewirtschaftungsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen wird Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und ihre Derivate mit der Konzentrationsgrenze gemäß Artikel 7 Absatz 4 Buchstabe a von 50 mg/kg neu aufgenommen.

5 Beurteilungskriterien und Anwendungshinweise

5.1 Gewässerschutz

5.1.1 Trinkwasser

Zur Beurteilung von PFC im Trinkwasser empfiehlt das Umweltbundesamt die Anwendung der auf ihrer Homepage veröffentlichten allgemeinen Vorsorgewerte (VW), gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) und gesundheitlich lebenslang duldbaren Leitwerte (LW) der Trinkwasserkommission des Umweltbundesamtes, die auf Basis existierender toxikologischer Erkenntnisse (LW) bzw. vorsorgeorientierter Bewertungsmodelle (VW, GOW) abgeleitet wurden⁴.

Das Umweltbundesamt empfiehlt darüber hinaus, aus trinkwasserhygienischer Sicht die Konzentrationen von PFC so niedrig wie möglich zu halten. In diesem Zusammenhang wird auf § 6 Abs. 3 TrinkwV verwiesen, wonach Konzentrationen von chemischen Stoffen, die das Trinkwasser verunreinigen oder seine Beschaffenheit nachteilig beeinflussen können, so niedrig gehalten werden sollen, wie dies nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung von Einzelfällen möglich ist.

Bei Trinkwasser handelt es sich um ein Lebensmittel. Die Zuständigkeit für die Überwachung des Trinkwassers fällt in Rheinland-Pfalz in den Aufgabenbereich der Gesundheitsämter.

5.1.2 Grundwasser

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat auf die Bitte der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO) 2013 eine Arbeitsgruppe zur Erarbeitung von Geringfügigkeits-

⁴ Für weitere Hintergrundinformationen verweisen wir auf die Publikation: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/bewertung_der_konzentrationen_von_pfc_im_trinkwasser_-_wertebeurteilungen.pdf

schwellenwerten (GFS-Werte) von PFC-Substanzen zur Beurteilung einer nachteiligen Veränderung der Wasserbeschaffenheit des Grundwassers (Grundwasserverunreinigung) entsprechend den materiellen Anforderungen des Wasserrechts eingerichtet. Da aufgrund der noch vorhandenen Datenlücken, insbesondere von Toxizitätsdaten (bis auf PFOS) in absehbarer Zeit nicht mit verbindlichen Ergebnissen von der LAWA zu rechnen ist, werden vorläufige GFS-Werte zur Anwendung für den Vollzug bekannt gegeben.

GFS-Werte für weitere PFC werden aktuell in einer „Kleingruppe“ aus Vertretern von LAWA und LABO erarbeitet. Dabei sollen, soweit erforderlich und möglich, auch polyfluorierte Substanzen wie die fluorierten Telomeralkohole und -sulfonate mit berücksichtigt werden.

In Anlehnung an das Trinkwasserbewertungskonzept mit den Werten GOW oder LW der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt sowie den bisherigen Ableitungskriterien der LAWA für GFS im Grundwasser werden die in der Tabelle 1 zusammengestellten vorläufigen Geringfügigkeitsschwellenwerte für die einzelnen PFC (PFAS) abgeleitet. Bei Überschreitung dieser Werte im Grundwasser liegt in der Regel eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit gemäß WHG vor.

In Rheinland-Pfalz werden die Werte in Tabelle 1 hiermit zur Beurteilung von Kontaminationen des Grund- und Sickerwassers vorläufig eingeführt.

Tabelle 1: Vorläufige GFS- und GOW-Werte für PFC

Stoff	GFS-Wert [µg/l]	GOW-Wert [µg/l]	Begründung
Perfluorbutansäure PFBA	10,0		Humantoxikologische Ableitung durch die LAWA-LABO-Kleingruppe
Perfluorpentansäure PFPeA		3,0	Übernahme des GOW, darf nicht in die PFC-Quotientensumme eingerechnet werden.
Perfluorhexansäure PFHxA	6,0		Humantoxikologische Ableitung durch die LAWA-LABO-Kleingruppe
Perfluorheptansäure PFHpA		0,3	Übernahme des GOW, darf nicht in die PFC-Quotientensumme eingerechnet werden.
Perfluoroktansäure PFOA	0,1		Humantoxikologische Ableitung durch die LAWA-LABO-Kleingruppe
Perfluorononansäure PFNA	0,06		Humantoxikologische Ableitung durch die LAWA-LABO-Kleingruppe
Perfluordekansäure PFDA		0,1	Übernahme des GOW, darf nicht in die PFC-Quotientensumme eingerechnet werden.
Perfluorbutansulfonsäure PFBS	6,0		Humantoxikologische Ableitung durch die LAWA-LABO-Kleingruppe
Perfluorhexansulfonsäure PFHxS	0,1		Humantoxikologische Ableitung durch die LAWA-LABO-Kleingruppe
Perfluorheptansulfonsäure PFHpS		0,3	Übernahme des GOW, darf nicht in die PFC-Quotientensumme eingerechnet werden.
Perfluoroktansulfonsäure PFOS	0,1		Humantoxikologische Ableitung durch die LAWA-LABO-Kleingruppe
1H,1H,2H,2H-Polyfluoroktansulfonsäure 6:2 FTSA, H₄PFOS		0,1	Übernahme des GOW, darf nicht in die PFC-Quotientensumme eingerechnet werden.
Perfluoroktansulfonamid PFOSA		0,1	Übernahme des GOW, darf nicht in die PFC-Quotientensumme eingerechnet werden.
Weitere PFC-Substanzen		1,0	Aus GOW-Konzept des UBA abgeleiteter Screeningwert; darf nicht in die PFC-Quotientensumme eingerechnet werden.

5.1.3 Oberflächengewässer

Die EU hat am 12.08.2013 die Richtlinie 2013/39/EU zur Überarbeitung der Liste der prioritären Stoffe der WRRL verabschiedet. Im Zuge dieser Überarbeitung wurde für PFOS eine Umweltqualitätsnorm (UQN) von 0,65 ng/l als Jahresdurchschnittswert (JD-UQN) und 36 µg/l als zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN) für Oberflächengewässer auf der Basis „Menschlicher Fischverzehr“ als empfindlichstes Schutzgut an Oberflächengewässern festgelegt. Diese Werte müssen im Rahmen der Überarbeitung der Oberflächengewässerverordnung bis 2015 in das nationale Recht umgesetzt werden. Zur Erreichung des guten chemischen Zustands sollen die vorgenannten UQN durch geeignete Maßnahmen bis 22.12.2027 eingehalten werden. Da die JD-UQN von 0,65 ng/l mit den bislang verfügbaren Analysenverfahren nicht mit der erforderlichen Sicherheit nachweisbar ist, soll dieser Wert künftig über ein Biota-Monitoring überprüft werden. Die über die Bioakkumulation korrespondierende JD-UQN für Fische bzw. allgemein für Biota beträgt 9,1 µg/kg FG (Frischgewicht).

5.1.3.1 Einleitungen / Emissionsanforderungen

Für die Einleitung PFC-haltiger Abwässer in Gewässer enthält die AbwV, abgesehen von allgemeinen einzuhaltenden Mindestanforderungen und Summenparametern, derzeit noch keine stoffspezifischen Überwachungs- bzw. Grenzwerte nach dem Stand der Technik. Der zuständige Bund-Länder-Arbeitskreis „Abwasser“ hat den Auftrag alle relevanten AbwV zu prüfen, ob und inwieweit konkrete stoffspezifische Anforderungen nach dem Stand der Technik festgelegt werden können.

Sofern gewerbliche oder industrielle Betriebe bekannt sind, deren Abwasser möglicherweise PFC enthalten können und die ihr Abwasser in kommunale Kläranlagen einleiten, sind die Klärschlämme dieser Kläranlagen auf PFC-Gehalte zu untersuchen, wenn die Absicht einer landwirtschaftlichen oder landschaftsbaulichen Verwertung der Klärschlämme besteht. Sollte der in der Düngemittelverordnung vorgegebene Grenzwert von 100 µg/kg Trockenmasse für die Summe von PFOA + PFOS überschritten sein, so ist der Klärschlamm thermisch zu entsorgen. Die Klärschlammuntersuchung ist auch zu empfehlen, wenn der Klärschlamm nicht landwirtschaftlich oder landschaftsbaulich verwertet wird.

5.1.3.2 Einleitungen / Immissionsanforderungen

Während § 57 Abs. 1 Nr. 1 WHG vorgibt, dass bei Abwassereinleitungen die eingeleitete Schadstofffracht nach dem Stand der Technik minimiert wird (innerbetriebliche Maßnahmen und Emissionsstandards), fordert § 57 Abs. 1 Nr. 2 WHG zusätzlich die Berücksichtigung der Anforderungen an die Gewässereigenschaften, also eine Risikobewertung für die Gewässerimmission. Deshalb ist der PFC-Eintrag soweit zu begrenzen, dass die prognostizierten PFC-Konzentrationen im Gewässer nach Durchmischung mit dem Abwasser keine Beeinträchtigung von relevanten Schutzgütern und Nutzungen an Oberflächengewässern wie aquatische Lebensgemeinschaften, Fischerei oder Trinkwasserversorgung besorgen lassen. Da die hier relevanten PFC mikrobiell nicht abbaubar und ferner wenig an Klärschlamm adsorbierbar sind, kann ihre Elimination in der Kläranlage in erster Näherung vernachlässigt werden.

Bei der Bewertung von Schadensfällen, Untergrundverunreinigungen oder anderen Vorgängen mit längerfristigen Wirkungen wie z.B. bei Abwassereinleitungen oder der Einleitung von gereinigtem Grundwasser, die zu einer Belastung von Oberflächengewässern führen können, sollen entweder abgeleitete **PNEC_{aquatisch}**-Werte oder die in Tabelle 1 aufgeführten vorläufigen GFS- und GOW-Werte (ausgenommen PFOS) zugrunde gelegt werden. Hierbei ist der jeweils niedrigere Wert maßgebend. Dies gilt insbesondere im Falle einer relevanten Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser oder bei einer Trinkwassernutzung (z.B. bei der Verwendung von Uferfiltrat). Darüber hinaus ist auch die Vorbelastung der jeweils betroffenen Oberflächengewässer zu berücksichtigen.

Bei der Bewertung von Abwassereinleitungen, ist es im Hinblick auf das Minimierungsgebot und unter Berücksichtigung des Standes der Technik grundsätzlich erforderlich, die Einhaltung der JD-UQN für PFOS von 0,65 ng/l bereits jetzt als Kriterium zugrunde zu legen. Liegt in dem aufnehmenden Oberflächengewässer bereits vor der Einleitung eine Überschreitung der JD-UQN vor, ist eine Einleitung grundsätzlich nur dann zulässig, wenn die zusätzlich eingetragene Konzentration bzw. Fracht unter Berücksichtigung der Messunsicherheit vernachlässigbar gering bzw. im Endeffekt gar nicht nachweisbar ist.

Für die meisten der in Kapitel 3 aufgeführten PFC liegen bislang keine oder nur unzureichende Wirkungsdaten für die Ableitung einer PNEC nach dem „Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards (TGD EQS)“ der EU vor.

Für Perfluordekansäure (PFDA), Perfluorononansäure (PFNA), Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) und Perfluoroktansäure (PFOA) gilt: PNEC-Werte sind bei diesen als SVHC eingestuft. Stoffen grundsätzlich nicht ableitbar.

Die LAWA-/LABO-Kleingruppe hat bisher für die folgenden PFC (PNECaquatisch-Werte) abgeleitet: H4PFOS – 870 µg/l, PFHxS – 250 µg/l, PFHxA – 1000 µg/l, PFPeA – 320 µg/l, PFBS – 3700 µg/l und PFBA – 1260 µg/l.

Da diese Werte weit oberhalb der GFS- und GOW-Werte liegen, haben sie als Bewertungsgrundlage eine nachrangige Relevanz.

Um den „worst case“ zu berücksichtigen, ist für die Berechnung der prognostizierten PFC-Konzentration im Gewässer in der Regel der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) des betroffenen Vorfluters anzusetzen.

Für die rechnerische Ermittlung der durch eine punktuelle Einleitung verursachten Immissionskonzentration im Gewässer C_{im} gilt folgende mathematische Gleichung:

$$C_{im} = (MNQ \times C_{HG} + A_{Abw} \times C_{Abw}) / (MNQ + A_{Abw})$$

mit: MNQ = Mittlerer Niedrigwasserabfluss (Volumen/Zeit)

A_{Abw} = Abwasserfluss (Volumen/Zeit)

C_{Abw} = Stoffkonzentration im Abwasser und

C_{HG} = Hintergrundkonzentration

Bei einer Indirekteinleitung von PFC-haltigem Abwasser über eine kommunale Kläranlage muss der PFC-Eintrag in das Gewässer soweit begrenzt werden, dass auch hier nach Durchmischung mit dem Abwasser die prognostizierten PFC-Gewässerkonzentrationen die GFS-/GOW-/PNEC- bzw. JD-UQN-Werte unterschreiten. Da die hier relevanten PFC mikrobiell nicht abbaubar und wenig an Klärschlamm adsorbierbar sind, kann ihre Elimination in der Kläranlage in erster Näherung vernachlässigt werden.

5.2 Bodenschutz

5.2.1 Schädliche Bodenveränderungen und Altlasten

Die nachfolgend dargestellten Wirkungspfade können im Rahmen der Anwendung von PFC relevant sein.

5.2.1.1 Wirkungspfad: Boden - Grundwasser

Bei der Gefährdungsabschätzung für den Pfad Boden-Grundwasser sind Eluatwerte (vgl. Abschn. 6.2) heranzuziehen, da die alleinige Bestimmung von Feststoffgehalten aufgrund des Mobilitätsverhaltens der PFC nicht aussagekräftig ist. Da die meisten PFC gut wasserlöslich sind, ist nicht mit einer relevanten Anreicherung an der Bodenmatrix zu rechnen. Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass unauffällige Feststoffproben (unterhalb der unteren Anwendungsgrenze des Analysenverfahrens von 10 µg /kg Summe PFOA + PFOS) häufig noch auffällige Eluatkonzentrationen aufweisen. Elutionsversuche zeigen, dass PFOA schneller als PFOS freigesetzt wird. Es ist davon auszugehen, dass kurz nach einem Schadenseintritt zuerst die an der Bodenmatrix schlechter sorbierenden Verbindungen im Grundwasser zu finden sind, während die stärker sorbierenden Verbindungen länger in der Bodenmatrix verbleiben und somit eine zeitverzögerte Verlagerung in das Grundwasser stattfindet. Entsprechend ändert sich im Laufe der Zeit die PFC-Zusammensetzung im Boden wie auch im Grundwasser. Die Bewertung der 2:1 Eluat-Konzentrationen erfolgt anhand der Aufsummierung der Quotienten der Eluatkonzentrationen/GFS-Werten der 7 humantoxikologisch abgeleiteten Einzelverbindungen (siehe Tabelle 1) und muss den Bewertungsindex 1 unterschreiten (siehe Kapitel summarische Bewertung eines PFC-Gemisches im Hinblick auf die menschliche Gesundheit).

Ist der Bewertungsindex von 1 unterschritten, andererseits jedoch der GOW für eine oder mehrere Verbindungen überschritten, ist über die weitere Vorgehensweise im Einzelfall durch die zuständige Behörde zu entscheiden.

Je nach Einzelfall und unter Berücksichtigung der vorhandenen Rahmenbedingungen können auch Frachtbetrachtungen in Erwägung gezogen werden.

5.2.1.2 Wirkungspfad: Boden - Pflanze

Untersuchungen hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Pflanze haben ergeben, dass in Abhängigkeit der Boden- und Pflanzenart ein PFC-Transfer vom Boden in die Pflanze stattfinden kann. Aufgrund der derzeit noch geringen Datengrundlage bzgl. des Transfers Boden-Nutzpflanze ist eine Prüfwertableitung nicht möglich. Daher sind die Pflanzen selbst zu untersuchen und, sofern erforderlich, eine Expositionsabschätzung durchzuführen.

5.2.1.3 Wirkungspfad: Boden - Mensch

Die Bewertung belasteter Böden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden – Mensch erfolgt im Einzelfall. Es ist zu beachten, dass für die erforderliche Gesamtbeurteilung unter den gegebenen Umgebungs- und Randbedingungen der sensibelste Wirkungspfad zu Grunde zu legen ist.

5.2.2 Verwertung (außerhalb von Deponien)

Aufgrund der hohen Mobilität, Persistenz, Akkumulierbarkeit und Toxizität ist eine Verwertung von PFC-belastetem Bodenmaterial in Gebieten, die nicht mit PFC vorbelastet sind, auszuschließen. Die Zulässigkeit einer Umlagerung von PFC-belastetem Bodenmaterial innerhalb von PFC-belasteten Gebieten und der Einbau in technischen Bauwerken ist im Einzelfall durch die zuständige Behörde zu prüfen. Sofern eine Verwertung ermöglicht werden soll, ist die Bewertung der Eluatkonzentrationen analog der unter Kapitel 5.2.1.1 beschriebenen Vorgehensweise durchzuführen.

Die Verwertung von Kompost sollte analog der Vorgehensweise für Klärschlamm (siehe Kapitel 5.1.3.1) erfolgen.

5.3 Abfallentsorgungsanlagen

Die Verordnung (EG) Nr. 850/2004 über persistente organische Schadstoffe (POP-Verordnung) wurde am 17.12.2014 durch die Verordnung (EU) Nr. 1342/2014 ergänzt. Demnach müssen Abfälle, die PFOS und ihre Derivate in einer Konzentration von mehr als 50 mg/kg enthalten, ohne unnötige Verzögerung und in Übereinstimmung mit Anhang V Teil I so beseitigt oder verwertet werden, dass die darin enthaltenen persistenten organischen Schadstoffe zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden, damit die verbleiben-

den Abfälle und Freisetzungen nicht die Eigenschaften persistenter organischer Schadstoffe aufweisen.

Dies bedeutet, dass Abfälle mit höheren Gehalten als 50 mg/kg, die dann als gefährliche Abfälle gelten, nicht obertägig abgelagert werden dürfen, sondern vorzugsweise thermisch zu behandeln sind. Als Alternative käme eine untertägige Entsorgung in Frage (Salzgestein). Diese Regelung gilt seit dem 18.06.2015.

5.3.1 Entsorgung auf Deponien

Für die Entsorgung auf Deponien gelten die Vorgaben der Deponieverordnung (DepV). PFC-haltige Abfälle sind in Rheinland-Pfalz grundsätzlich nicht auf DK 0- und DK I-, sondern nur auf DK II-Deponien zu entsorgen. Die wenigen DK I Deponien in Rheinland-Pfalz verfügen nicht über die notwendige Sickerwasserreinigung. Für die Summe aller nach Kapitel 3 untersuchten PFC ist zur Orientierung für eine mögliche Ablagerung auf DK II-Deponien folgender Wert heranzuziehen:

$$\text{DK II} \leq 50 \mu\text{g/l}$$

Da bei einer Ablagerung auf Deponien das Sickerwasser für eine mögliche Verfrachtung von PFC in die Umwelt von entscheidender Bedeutung ist, kann der vorgenannte Wert nur orientierenden Charakter haben. Darüber hinaus muss in jedem Einzelfall die Sickerwasserreinigung hinsichtlich der notwendigen Schadstoffrückhaltung betrachtet werden. Das in die Vorflut einzuleitende Wasser muss die Anforderungen aus den wasserrechtlichen Vorgaben erfüllen. Hier ist speziell zu prüfen, ob die Behandlung des gefassten Sickerwassers die Kriterien nach Kapitel 5.1.3 dieser Leitlinien erfüllt.

Auslöseschwellen sind ggf. dann festzulegen, wenn erhebliche Mengen an PFC-haltigen Abfällen abgelagert werden. Aufgrund der Löslichkeit in Wasser und der Relevanz der Stoffe ist hierbei die Nachweisgrenze des Analysenverfahrens als Auslöseschwelle festzulegen. Für Material mit hoher Schadstoffbelastung ist zu klären, ob durch eine Vorbehandlung (thermisch) eine Verringerung des Schadstoffgehaltes herbeigeführt werden kann.

5.3.2 Weitere Entsorgungsoptionen

Sofern eine oberirdische Ablagerung nicht möglich ist, können die Abfälle ggf. im Untertageversatz oder in einer Untertagedeponie (Salzgestein) entsorgt werden. Grundsätzlich ist jedoch bei hohen organischen Belastungen eine thermische Behandlung zu empfehlen

(z.B. Entsorgung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage oder ggfs. in einer Klärschlammverbrennungsanlage).

6 Analytik

6.1 Chemische Analytik

Die Analytik für die „Standard-PFC“ (perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren) erfolgt in Trinkwasser, Grundwasser, Oberflächenwasser und gereinigtem Abwasser nach DIN 38407-42 (F42): „Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion“ (März 2011).

Im Gewässersediment, Klärschlamm, Kompost und Boden erfolgt die Bestimmung nach DIN 38414-14 (S14): „Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (August 2011)“

Der Mindestumfang der Untersuchungsparameter auf PFC (PFAS) umfasst die in der Tabelle 1 aufgeführten Substanzen. Bei spezifischem Verdacht ist diese Liste um weitere erforderliche PFAS-Parameter zu ergänzen.

Die analytische Bestimmungsgrenze der PFC (PFAS)-Substanzen sollte $\leq 0,01 \mu\text{g/l}$ betragen. Bei Unterschreitung der Bestimmungsgrenze geht der jeweilige Parameter mit der halben Bestimmungsgrenze, bei Unterschreitung der Nachweisgrenze mit Null in die Summenbildung ein.

6.2 Herstellung von Eluaten zur Bodenuntersuchung

Für die Eluatuntersuchung von Bodenproben für die Beurteilung des Sickerwassers ist ein Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2:1 gemäß Schüttelverfahren nach DIN 19529 oder Säulenkurztest nach DIN 19528 anzuwenden.

Für die Eluatherstellung von Materialien für die Deponierung ist ein Wasser:Feststoffverhältnis von 10:1 nach der DIN EN 12457-4 anzuwenden.