

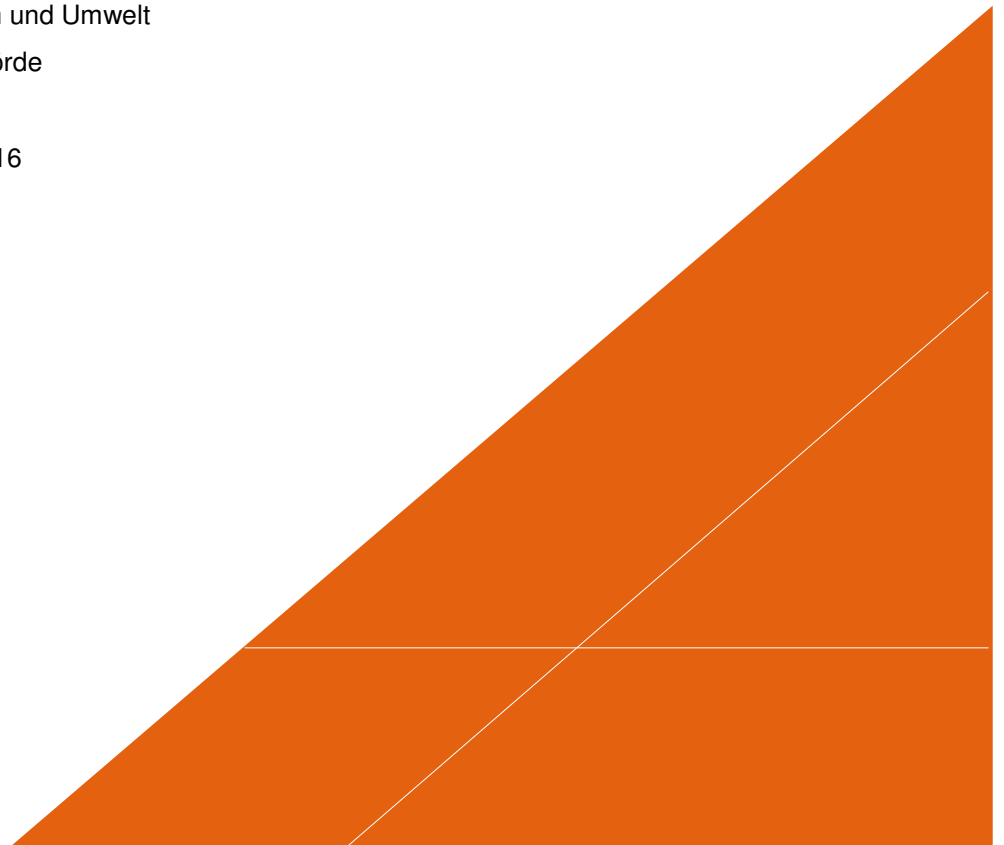
PFC Untersuchungen in Mannheim Nord

Orientierende Untersuchung von nachge- meldeten Ackerschlägen

Zwischenbericht zur zweiten Untersuchungskampagne (Nachuntersuchung)
Stand: März 2016

Auftraggeber:
Stadt Mannheim
Fachbereich Grünflächen und Umwelt
Untere Bodenschutzbehörde

Berichtsdatum: 21.03.2016



Kontakt

Arcadis Deutschland GmbH

BEARBEITER

Dr. Michael Reinhard

Christiane Müller

Griesbachstraße 10
76185 Karlsruhe
DEUTSCHLAND

Projekt-Nr. DE0115.000675.0120

Arcadis Deutschland GmbH

Griesbachstraße 10

76185 Karlsruhe

Germany

www.arcadis.com

Geschäftsführer:
Marcus Herrmann (CEO)
Jürgen Boenecke

Amtsgericht Darmstadt
HRB 4537

INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung	5
2	Verwendete Unterlagen	5
3	Geologie/Hydrogeologie und Pedologie	6
4	Zusammenfassung Ergebnisse der ersten Beprobungskampagne	6
5	Untersuchungsumfang der zweiten Beprobungskampagne	7
6	Bewertungsgrundlage	8
7	Ergebnisse	9
8	Bewertung und Weiteres Vorgehen	10

ANLAGEN

- Anlage 1 Übersichtslegeplan**
- Anlage 2 Lageplan Erkundungsbereich (mit 1. Beprobungskampagne)**
- Anlage 3 Lageplan Erkundungsbereich mit Bewertung**
- Anlage 4 Tabellarische Übersicht der beprobten Flächen (0-30 cm) mit Ergebnissen,
Bodentypen, Probenbezeichnung**
- Anlage 5 Analysenergebnisse, Protokolle Synlab**

1 Veranlassung

In Mannheim - Sandhofen fand im Jahr 2015 wegen des Verdachts einer PFC-Belastung an 14 Ackerflächen eine Orientierende Untersuchung statt. Die PFC sollen durch die Ausbringung von Komposten mit Papierschlammanteilen im Zeitraum von 2006 bis 2008 auf die Äcker eingetragen worden sein. Der relevante Ausbringungszeitraum wurde vom Regierungspräsidium Karlsruhe vorgegeben.

Die Untersuchungen wurden im ersten Schritt durch die Pedos GmbH an 5 Ackerflächen [D 1] und im Weiteren durch die Arcadis Deutschland GmbH an 9 Ackerflächen und 14 Referenzflächen [D 2] durchgeführt. Mit der Untersuchung der Referenzflächen sollte geprüft werden, ob auch andere Eintragswege für die PFC in Frage kommen. Bei allen Ackerflächen konnten PFC sowohl in der oberen Bodenschicht (0-30 cm) als auch in der unteren Bodenschicht nachgewiesen (30-60 cm) werden. Bei den Referenzflächen wurde innerhalb eines Ackerschlags PFC oberhalb des Geringfügigkeitsschwellenwerts (GFS-Wert) für PFOA nachgewiesen (vgl. Kapitel 4). Die Ergebnisse dieser ersten Beprobungskampagne sind jeweils in den Berichten vom 02.03.2015 [D 1] und vom 10.09.2015 [D 2] zusammengefasst.

Nach Abschluss der ersten Beprobungskampagne benannten die Landwirte weitere Ackerflächen, auf denen Kompost zwischen den Jahren 2006 und 2008 ausgebracht wurde. Insgesamt umfassen die nachgemeldeten Flächen 32 Ackerschläge mit einer Gesamtfläche von rund 57 ha.

In einer zweiten Kampagne erfolgten daher die weiteren Untersuchungen der 57 ha, nach einem mit dem Regierungspräsidium Karlsruhe abgestimmten Beprobungskonzept [D 3].

Die Stadt Mannheim beauftragte die Arcadis Deutschland GmbH auf Basis des Angebotes vom 27.08.2015 mit der Durchführung einer Orientierenden Untersuchung der nachgemeldeten 57 ha Ackerflächen nach § 9 Abs. 1 BBodSchG

Die Ergebnisse der Untersuchungen der nachgemeldeten Flächen werden in dem vorliegenden Zwischenbericht dargestellt und bewertet.

2 Verwendete Unterlagen

- [D 1] PFC-Untersuchungen an mit Papierschlammern beaufschlagten Ackerflächen im Stadtkreis Mannheim, Pedos GmbH 02.03.2015
- [D 2] PFC-Bodenuntersuchung in Mannheim – Nord Orientierende Untersuchung, Arcadis Deutschland GmbH, 10.09.2015
- [D 3] Besprechungsprotokoll zum Sitzungstermin am 13.10.15 beim Regierungspräsidium Karlsruhe; Arcadis Deutschland GmbH
- [D 4] Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten und Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz: Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum, Fortschreibung 1983-1998, Stuttgart, Wiesbaden, Mainz, 1999
- [D 5] Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2013): Bodenkundliche Grundflächen. – Bodenkarte von Baden-Württemberg 1:50.000, blattschnittsfreie Geodaten der Integrierten geowissenschaftlichen

Landesaufnahme (GeoLa). http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Produkte/geodaten/geola_daten [17.08.2015]

- [D 6] Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.
- [D 7] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 31 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.
- [D 8] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden Württemberg, Vorläufige GFS-Werte PFC für Grundwasser und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten, (Erlass: 17.06.2015)
- [D 9] Stellungnahme zur Einhaltung der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg PFC im Feststoff, Synlab Umweltinstitut GmbH, E-Mail vom 21.03.2016

3 Geologie/Hydrogeologie und Pedologie

Das Gebiet befindet sich im nördlichen Oberrheingraben, innerhalb der Rheinniederung und der Niederterrasse des Rheins. Lithologisch ergibt sich eine grobe Gliederung in ein oberes, mittleres und unteres Kieslager, in denen jeweils der obere, mittlere und untere Grundwasserleiter ausgebildet ist. Der obere Grundwasserleiter besteht aus sandigen Kiesen und Sanden, gebietsweise sind Schluffe, Tone und Torfe eingelagert. Die Mächtigkeit beträgt im Raum Mannheim zwischen 30 und 40 m. Der Flurabstand liegt im Untersuchungsgebiet zwischen < 1 und 4 m unter Geländeoberkante [D 4]. Die Fließgeschwindigkeit ist vor allem im Bereich des Bruchgrabens sehr gering.

Bei hohen Grundwasserstände sind die Böden deutlich durch Stauwasser beeinflusst. Als Bodentypen entwickelten sich aus den Auenlehmen und Sedimenten, Auengleye, Braune Auenböden sowie in den Senken Anmoorgleye (Blumenauer Bruch) [D 5]. Die Böden sind lehmig-schluffig, mit einem veränderlichen Tonanteil. Weiterhin zeichnen sich die Böden durch einen hohen humosen Anteil aus, wodurch die Analytik der PFC erschwert wird (vgl. Kapitel 5). Die Feinbodenarten der jeweiligen Ackerschläge sind der Anlage 4 zu entnehmen.

4 Zusammenfassung Ergebnisse der ersten Untersuchungskampagne

Bei allen untersuchten Verdachtsflächen der ersten Kampagne (14 Ackerschläge, rd. 54 ha) wurde eine sehr hohe Belastung mit PFC im Feststoff und im Eluat nachgewiesen. Die höchsten Gehalte lagen im Oberboden (0-30 cm) bei max. 256 µg/kg und in der Tiefe (30-60 cm) bei max. 228 µg/kg [D 2]. Die höchsten Gehalte fanden sich innerhalb der Ackerschläge im Blumenauer Bruch. Die Konzentration im Eluat lag bei den Teilflächen der Ackerschläge bei max. 64 µg/l [D 1]. Dominierend sind die Parameter PFOA und PFDeA.

Die Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser erfolgt anhand der Eluatwerte (2:1), da aufgrund des Mobilitätsverhaltens der PFC eine alleinige Aussage über den Feststoffgehalt nicht aussagekräftig ist. Auch wenn der Feststoffgehalt nicht für die Bewertung

herangezogen wird, ist er für die Aussage über das von den PFC im Boden ausgehendem Potential für den Eintrag in das Grundwasser relevant.

In Baden-Württemberg erfolgt die Bewertung nach den im Ministerialerlass [D 8] benannten Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS-Werte) unter Bildung der Quotientensumme (vgl. Kapitel 6). Die Ergebnisse sind im Lageplan der Anlage 3 dargestellt.

Die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) werden bei allen Ackerschlägen um das 2 bis 17-fache überschritten. Die Quotientensummen nach [D 4] liegen zwischen 4,2 und 25,9 und überschreiten damit deutlich den Bewertungsindex von 1. Ausschlaggebend sind hauptsächlich die hohen PFOA-Konzentrationen im Eluat.

Um andere Eintragspfade für PFC auszuschließen, wurden in der ersten Untersuchungskampagne (2015) 14 Referenzflächen untersucht, die nach folgenden Kriterien ausgesucht wurden:

- Flächen ohne Auftrag von Kompost
- Angrenzende Flächen zu den beprobten Ackerschlägen
- Eine Fläche mit Klärschlamm-auftrag
- Eine Fläche mit Kompostbeaufschlagung vor 2006 und nach 2008
- Möglicher Eintrag von Löschschaum über Verwehungen aus den angrenzenden Übungsplätzen der US-Feuerwehr
- Flächen, die durch den Flugbetrieb der Coleman Kaserne beeinflusst sein könnten.

Bei den untersuchten Referenzflächen wurden, mit Ausnahme der Fläche mit Kompostbeaufschlagung vor 2006 und nach 2008, keine relevanten PFC Konzentrationen im Eluat und Feststoff nachgewiesen.

Auf der Referenzfläche mit nachgewiesener PFC-Belastung lag die PFC-Konzentration im Eluat bei 4 µg/l (Σ PFC 13 Einzelparameter nach [D 8]). Die Quotientensumme übersteigt den Bewertungsindex von 1 um das 13-fache.

Zur Eingrenzung des Zeitraums sollen daher in weiteren Untersuchungen zusätzliche Ackerflächen untersucht werden, auf denen Kompost vor 2006 bzw. nach 2008 ausgebracht wurde. Die Untersuchungskampagne ist für April 2016 vorgesehen und nicht Gegenstand dieses Berichts.

5 Untersuchungsumfang der zweiten Untersuchungskampagne

Im Rahmen der zweiten Untersuchungskampagne wurden insgesamt 32 Ackerflächen mit rund 57 ha Fläche untersucht. Die Probenahme erfolgte gemäß den Vorgaben der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden – Pflanze [D 7]. Danach und in Abstimmung mit dem Regierungspräsidium Karlsruhe, wurden Teilflächen von je rd. 1 Hektar Größe durch jeweils 15 – 25 Einzeleinstiche in den Tiefen 0 – 30 cm und 30 – 60 cm beprobt.

Zur wirtschaftlichen Verwendung der finanziellen Mittel wurde ein stufenweises Beprobungskonzept mit dem Regierungspräsidium Karlsruhe abgestimmt [D 3]. Hiernach wurden vorerst PFC im Tiefenhorizont 0-30 cm im Feststoff und Eluat analysiert und nur bei positiven Ergebnissen (Feststoff) wurde der Gehalt der tieferen Bodenschicht (30-60 cm) analysiert. Das Eluat wurde für alle Proben bestimmt, da auch bei negativen Ergebnis im Feststoff nicht ausgeschlossen werden kann, dass PFC im Boden vorliegen.

Eine tabellarische Übersicht der beprobten Ackerflächen ist dem Bericht in Anlage 4 beigelegt. Die Lage der Ackerschläge ist zusammen mit den Ackerschlägen und Referenzflächen der ersten Untersuchungskampagne dem Lageplan der Anlage 2 zu entnehmen.

Die Bodenprobenahme fand im Zeitraum von September bis November 2015 statt. Sie wurde, wie bei der ersten Untersuchungskampagne, vom Probenehmer der Landwirtschaftsverwaltung durchgeführt und durch die Arcadis Deutschland GmbH fachgutachterlich begleitet.

Die Analytik erfolgte durch das Labor Synlab Umweltinstitut GmbH. Durch Synlab erfolgte ebenfalls die Analytik der PFC-Fälle in Rastatt und Baden-Baden. Als analytische Bestimmungsgrenze war im Feststoff 1 µg/kg, im Eluat 0,01 µg/L gefordert [D 3]. Die Bestimmungsgrenze im Feststoff konnte aufgrund von Matrixeffekten bei der Analytik nicht realisiert werden [D 9]. Der Analysenumfang umfasste die vom Regierungspräsidium Karlsruhe vorgegebenen 18 PFC-Einzelparameter (vgl. Tabelle 1)

Tabelle 1 Analytierte Einzelparameter PFC

Carbonsäure	Sulfonsäure / verzweigte PFC
Perfluorbutansäure (PFBA)	Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)
Perfluorpentansäure (PFPeA)	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)
Perfluorhexansäure (PFHxA)	Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)
Perfluorheptansäure (PFHpA)	Perfluoroctansulfonamid
Perfluoroctansäure (PFOA)	Perfluordecansulfonsäure
Perfluorononansäure (PFNoA)	1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure (6:2 FTS) (H4PFOS)
Perfluordekansäure (PFDeA)	2H,2H-Perfluordecanoat (H2PFDA)
Perfluordodekansäure	2H,2H,3H,3H-Perfluorundecanoat (H4PFUnA)
Perfluorundecansäure	7H-Dodecafluorheptanoat (HPFHpA)

6 Bewertungsgrundlage

Die Bewertung der Ergebnisse für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser erfolgt nach den im Erlass vom 17.06.2015 vorläufig eingeführten GFS-Werten (vgl. Tabelle 2) [D 8].

Tabelle 2 Vorläufige GFS-Werte [D 8]

Nr.	PFC (PFAS)	Vorläufiger GFS-Wert in µg/l	Begründung
	PFOS Perfluoroktansulfonsäure	0,23	Übernahme des aktuell vorliegenden GFS-Wert-Vorschlags der LAWA (2013); berücksichtigt auch ökotoxikologische Kriterien; nicht in die Quotientensumme einzurechnen
1	PFOS Perfluoroktansulfonsäure	0,3	Übernahme des LW der TW-Kommission am UBA (Lud et al., 2010; Wilhelm et al., 2010; UBA, 2011)
2	PFOA Perfluoroktansäure	0,3	
3	H4PFOS 6:2 Fluortelomersulfonsäure	0,3	PFOS-Ersatzstoff; Übernahme des GOW aus UBA-Liste (UBA, 2015)
4	PFNoA Perfluorononansäure	0,3	Anlehnung an LW für PFOS und PFOA
5	PFDeA Perfluordekansäure	0,3	
6	PFHpS Perfluorheptansulfonsäure	0,3	Übernahme des GOW des UBA (Lud et al., 2010; Wilhelm et al., 2010; UBA, 2011; UBA, 2015)

7	PFHpA Perfluorheptansäure	0,3	Übernahme des GOW des UBA (Lud et al., 2010; Wilhelm et al., 2010; UBA, 2011; UBA, 2015)
8	PFHxS Perfluorhexansulfonsäure	0,3	
9	PFHxA Perfluorhexansäure	1,0	
10	PFPeS Perfluorpentansulfonsäure	1,0	
11	PFPeA Perfluorpentansäure	3,0	
12	PFBS Perfluorbutansulfonsäure	3,0	
13	PFBA Perfluorbutansäure	7,0	Übernahme des LW der TW-Kommission am UBA (Lud et al., 2010; Wilhelm et al., 2010; UBA, 2011)
	weitere per- und polyfluorierte Substanzen	jeweils 1,0	aus dem GOW-Konzept der TW-Kommission am UBA abgeleiteter Screeningwert; nicht in die Quotientensumme einzurechnen

Zur Bewertung des gemeinsamen Auftretens mehrerer PFC (PFAS)-Substanzen ist die Quotientensumme anhand der Additionsregel analog den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 403) heranzuziehen (BAuA, 2010; EU, 2012; LAWA, 2010). Die Additionsregel bedeutet, dass Quotienten aus gemessener Konzentration und zugehörigem, stoffspezifischen Geringfügigkeitschwellenwert (s. Tabelle 2 vorläufige GFS-Werte PFC (PFAS) Nr. 1 bis 13) addiert werden. Bei Unterschreitung der Bestimmungsgrenze geht der jeweilige Parameter mit der halben Bestimmungsgrenze (0,005 µg/l) in die Summenbildung ein. Wenn als Summe aller Quotienten der Bewertungsindex "kleiner oder gleich 1" erhalten wird, liegt für das betreffende Grundwasser oder Sickerwasser – entsprechend dem für das Trinkwasser geregelten gesundheitlichen Schutz aller Bevölkerungsgruppen für die lebenslange Exposition – keine Gefährdung vor (LAWA, 2010; MLR, 2015) vor.

7 Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Bodenprobenahme der nachgemeldeten Flächen der zweiten Untersuchungskampagne für die Tiefe von 0-30 cm. Die Ergebnisse der Tiefe 30-60 cm sind noch ausstehend und werden im Abschlussbericht zu der orientierenden Untersuchung ergänzt. Für eine vereinfachte Darstellung der Ergebnisse, wird auf eine Einzeldarstellung der Ackerschläge verzichtet.

Die Analysenprotokolle der einzelnen Ackerschläge sind in der Anlage 5 nach Einzelparametern dargestellt. Eine tabellarische Übersicht der Ergebnisse mit Probenbezeichnung sowie der Bodenart ist in Anlage 4 dargestellt. Im Lageplan der Anlage 3 sind die Ergebnisse für alle Ackerschläge und Referenzflächen der ersten und zweiten Untersuchungskampagne aufgezeigt.

Zusammengefasst liegen für die nachgemeldeten Flächen im Feststoff die folgenden Ergebnisse vor:

- bei rd. 33 ha, der insgesamt 57 ha nachgemeldeten Ackerflächen wurden PFC im Feststoff oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (5 µg/kg) nachgewiesen.
- Der Gehalt liegt zwischen 5 µg/kg (WB- 37) und 190 µg/kg (Ackerschlag E-50).
- Bei einzelnen Teilflächen liegt der PFC-Gehalt unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (vgl. Anlage 4).
- Wie auch in der ersten Untersuchungskampagne zeigt sich ein ähnliches Verteilungsmuster der PFC-Einzelparameter. Als Hauptschadstoffparameter liegen PFOA und

PFDA vor. Daneben wurden die kürzer kettigen PFC wie PFPeA, PFHpA und PFHxA quantifiziert.

- Verzweigte PFT sowie Sulfonsäuren, mit Ausnahme von PFOS, wurden nicht nachgewiesen.
- Bei den Ackerflächen im Blumenauer Bruch, die in der 1. Untersuchungskampagne die höchsten Belastungen aufwiesen, wurde nur bei einem Ackerschlag (BB-07) PFC im Mittel von 72 µg/kg nachgewiesen.

Die Analytik des Eluats (2:1) zeigt folgende Ergebnisse:

- Im Eluat (2:1) wurden bei nahezu allen Ackerflächen PFC nachgewiesen, wenngleich die Konzentration bei einzelnen Schlägen (z.B. im Blumenauer Bruch) nur knapp oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l liegt.
- Bei dem Ackerschlag BB-08, im Blumenauer Bruch, wurde nur auf einer der beiden Teilflächen PFC nachgewiesen. Die Quotientensumme lag jedoch unterhalb dem Bewertungsindex gemäß [D 8].
- Bei Ackerschlag KW-17 lagen auf zwei der 4 Teilflächen die PFC Konzentration (0,015 µg/l bzw. 0,013 µg/l PFOS) nur geringfügig oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Die Hauptschadstoffparameter PFOA und PFDA konnten auf diesen beiden Teilflächen nicht nachgewiesen werden.
- Einzig bei Ackerschlag HH-29 „Hubhecke“ (0,88 ha) lag die PFC-Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l
- Die PFC Einzelparameter zeigen auch hier, im Vergleich zu der 1. Kampagne, ein ähnliches Verteilungsmuster.
- Dominierend ist PFOA, daneben sind, da leichter eluierbar, die kurzkettigen Carbonsäuren (c3 – c6) vertreten
- Verzweigte PFC und Sulfonsäuren, mit Ausnahme von PFOS, wurden auch im Eluat nicht nachgewiesen.

8 Bewertung und Weiteres Vorgehen

Die Bewertung der Ergebnisse der zweiten Untersuchungskampagne erfolgt, wie in Kapitel 6 dargestellt, mit dem im Erlass vom 17.06.2015 eingeführten vorläufigen GFS-Werten unter Bildung der Quotientensumme und Beurteilung nach Überschreitung des Bewertungsindex von 1 [D 8].

Der Bewertungsindex von 1 gemäß [D 8] wird bei 25 Ackerschlägen überschritten (vgl. Anlage 3 – Flächen der 2. Untersuchungskampagne). Die Quotientensumme der Ackerschläge liegt zwischen 1,3 und maximal 61.

Bei sieben der Ackerflächen ist der Bewertungsindex gemäß [D 8] kleiner 1. Die Quotientensumme liegt zwischen 0,16 und 0,98.

Die höchsten Werte innerhalb der zweiten Untersuchungskampagne wurden beim Ackerschlag E 50 nachgewiesen (vgl. Anlage 4). Ausschlaggebend sind sehr hohe PFOA-Konzentrationen (13,3 µg/l) innerhalb der Teilfläche 6. Die angrenzende Ackerfläche zu Teilfläche 6 war nicht mehr Teil der Untersuchungskampagne, da nach Angabe der Landwirte auf dieser Fläche kein Kompost ausgebracht wurde. Hinsichtlich der sehr hohen Werte ist durch die Landwirte zu prüfen, ob ggf. auch auf der angrenzenden Ackerfläche Kompost im relevanten Zeitraum ausgebracht wurde. Im Hinblick auf das Vorerntemonitoring wird für diesen Fall empfohlen die Fläche nachträglich zu beproben.

Für eine Beurteilung inwieweit eine Verlagerung in die Tiefe stattgefunden hat, sind die Ergebnisse der Eluatanalytik abzuwarten. Es ist aber wahrscheinlich, dass für die Flächen mit positiven Ergebnis, PFC auch im Tiefenhorizont 30-60 cm nachgewiesen werden.

Insgesamt wurde im Rahmen der orientierenden Untersuchung der ersten und zweiten Untersuchungskampagnen eine Belastung mit Überschreitung der Quotientensumme auf einer Fläche von rund 96 ha (1. Kampagne ca. 54 ha; 2. Kampagne ca. 42 ha) festgestellt (vgl. Lageplan Anlage 3).

Für eine abschließende Beurteilung der orientierenden Untersuchung und dem weiteren Vorgehen, sind die Ergebnisse der folgenden Untersuchungen abzuwarten:

- Untersuchung von Verdachtsflächen auf dem Gelände des Erdenwerks
- Untersuchung weiterer Referenzflächen zur Eingrenzung des relevanten Zeitraums der Kompostausbringung
- Untersuchung von Flächen mit Klärschlammausbringung vom städtischen Klärwerk
- Untersuchung der Tiefenverteilung im Boden und Durchführung einer Sickerwasserprognose
- Untersuchung von Verdachtsflächen (Eintrag über Löschschäume) auf dem Gelände der Coleman Kaserne zur Eingrenzung weiterer möglicher Eintragspfade.


Dr. rer. nat. Michael Reinhard




Dipl.-Geoökol. Christiane Müller