

Milser Straße 37  
33729 Bielefeld  
Tel.: (0521) 977 10-0  
Fax.: (0521) 977 10-20  
info@ifua.de

Projekttitle:

**Pilotuntersuchungen zu Vorkommen und  
Auswirkungen von perfluorierten Tensiden  
(PFT) in Abfällen, die der BioAbfV unterliegen  
– Abschlussbericht –**

Auftraggeber:

Bezirksregierung Arnberg

Bearbeitung:

Dr. Dietmar Barkowski (Dipl.-Chem.)  
Petra Günther (Dipl.-Biol.)  
Florian Raecke (Dipl.-Geogr.)  
Detlef Wind (Dipl.-Geol.)

Projekt-Nr.:

P 206077

Datum:

September 2007

Gesellschafter:

- Dr. Dietmar Barkowski (Dipl.-Chem.)  
von der Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld öffentlich bestellter und vereidigter  
Sachverständiger für Gefährdungsabschätzung für die Wirkungspfade Boden-Gewässer und Boden-  
Mensch sowie Sanierung (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 2, 4 und 5)
- Michael Bleier (Dipl.-Ing.)
- Petra Günther (Dipl.-Biol.)  
von der Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld öffentlich bestellte und vereidigte Sach-  
verständige für Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Pflanze/Vorsorge zur Begrenzung  
von Stoffeinträgen in den Boden und beim Auf- und Einbringen von Materialien sowie für Gefährdungsab-  
schätzung für den Wirkungspfad Boden-Mensch (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiete 3 und 4)
- Wirtschaftsmediatorin (IHK)
- Monika Machtolf (Dipl. Oec. troph.)

## Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung	1
2.	Stoffbeschreibung	2
3.	Bodenuntersuchungen: Methodisches Vorgehen	6
4.	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen	11
5.	Auswertung der Daten	14
5.1.	Grundlagen	14
5.1.1.	Oberflächengewässer	14
5.1.1.1	Ruhr	14
5.1.1.2	Möhne	14
5.1.2.	Grundwasser	15
5.2.	Aufbringungsmengen	16
5.3.	Lage der Untersuchungsflächen	17
5.4.	Monitoring Oberflächengewässer	18
5.5.	Auswertung der Bodendaten	19
5.5.1.	Fläche BH 01 (Brilon-Scharfenberg)	21
5.5.2.	Fläche BH 02	23
5.5.3.	Fläche BH 03	24
5.5.4.	Fläche BH 04	25
5.5.5.	Fläche BS 01	27
5.5.6.	Fläche BS 02	28
5.5.7.	Fläche BS 03	29
5.5.8.	Fläche BS 22	30
5.5.9.	Zusammenfassung Boden	31
5.6.	Auswertung der Daten aus dem Monitoring Oberflächenwasser	34
5.6.1.	Datengrundlage	34
5.6.2.	Frachtenvergleich bis Beginn der Sanierung in Brilon-Scharfenberg	36
5.6.3.	Niederschlagsbedingte Mobilisierung	41
5.7.	Betrachtungen zum Bodensickerwasser	48
6.	Fazit und Empfehlungen für das weitere Vorgehen	54
7.	Literatur	58

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Unterteilung der Stoffgruppe der PFT	2
Abbildung 2: Strukturformeln PFOS / PFOA	3
Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der PFT-Gehalte in Böden der Pilotuntersuchungen (oberste Probennahmetiefe)	20
Abbildung 4: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und PFOA- Frachten (Möhne, 11.09.2006-22.01.2007)	45
Abbildung 5: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und PFOA- Frachten (obere Ruhr, 11.09.2006-22.01.2007)	46

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Ausgewählte Flächen für die Bodenuntersuchungen	7
Tabelle 2: Übersicht über den Beprobungsumfang (IFUA-Projekt-GmbH)	9
Tabelle 3: Übersicht über die Untersuchungsergebnisse (Boden- und Materialproben)	11
Tabelle 4: Ausgewählte Kenndaten des Pegels Völlinghausen	15
Tabelle 5: Aufbringungsmengen Terraform und Größe der beaufschlagten Fläche	16
Tabelle 6: Zuordnung der Untersuchungsflächen zu Oberflächengewässern	17
Tabelle 7: Beprobte Oberflächengewässer	18
Tabelle 8: Zusammenfassung Ergebnisse Boden	32
Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und Abflüssen (11.09.2006-22.01.2007)	43
Tabelle 10: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und PFOA- Frachten (11.09.2006-22.01.2007)	44
Tabelle 11: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und PFOA- Konzentrationen (11.09.2006-22.01.2007)	47
Tabelle 12: Sorptions- und Desorptionskoeffizienten verschiedener Böden für PFOS	50
Tabelle 13: PFT-Gehalte in Säuleneluat, Drän- und flachem Grundwasser der Sanierungsfläche in Brilon-Scharfenberg sowie in Oberflächenwasser der Steinbecke	52

## **Verzeichnis der Anlagen**

- Anlage 1: Lageplan Probennahmefläche BH 01
- Anlage 2: Lageplan Probennahmefläche BH 02
- Anlage 3: Lageplan Probennahmefläche BH 03
- Anlage 4: Lageplan Probennahmefläche BH 04
- Anlage 5: Lageplan Probennahmefläche BH 05
- Anlage 6: Lageplan Probennahmefläche BH 06
- Anlage 7: Lageplan Probennahmefläche BH 07
- Anlage 8: Lageplan Probennahmefläche BH 08
- Anlage 9: Lageplan Probennahmefläche BH 09
- Anlage 10: Lageplan Probennahmefläche BS 01
- Anlage 11: Lageplan Probennahmefläche BS 02
- Anlage 12: Lageplan Probennahmefläche BS 03
- Anlage 13: Lageplan Probennahmefläche BS 22
- Anlage 14: Probennahmeprotokolle Bodenproben
- Anlage 15: Darstellung der Konzentrationsverteilung im Boden (BH 01, BS 02, BS 03)
- Anlage 16: Systembild zum Oberflächengewässermonitoring: Möhne unterhalb Talsperre  
und untere/mittlere Ruhr  
(Frachtsummen 11.09.2006-22.01.2007)
- Anlage 17: Systembild zum Oberflächengewässermonitoring: Möhne oberhalb Talsperre  
und obere Ruhr  
(Frachtsummen 11.09.2006-22.01.2007)
- Anlage 18: Laborbedingte Abweichungen der PFT-Messwerte in Oberflächenwasser

## **Anhang**

- Anhang 1: Beprobungskonzept Boden (IFUA-Projekt-GmbH)
- Anhang 2: Beprobung der Aufbringungsflächen im Bereich Silberbach (Kreis Soest)

## 1. Veranlassung

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie an der Universität Bonn wurden an der Mündung der Ruhr in den Rhein unerwartet hohe Nachweise an Substanzen erbracht, die der Stoffgruppe der perfluorierten Tenside (PFT) zuzurechnen sind, vgl. im Detail SKUTLAREK et al. 2006.

Daraufhin wurden auch die Nebenflüsse der Ruhr auf PFT untersucht und festgestellt, dass die Ursache wahrscheinlich in einer oder mehrerer Punktquellen im Oberlauf der Möhne liegt. In den Verdacht gelangten land- bzw. forstwirtschaftlich genutzte Flächen, die mit Sekundärrohstoffdünger aus einem Bodenmischwerk, welches seine Produkte nach Bioabfallverordnung (BioAbfV) vertreibt, beaufschlagt worden waren.

Vor diesem Hintergrund beauftragte die Bezirksregierung Arnsberg mit Schreiben vom 18.07.2006 die IFUA-Projekt-GmbH, Bielefeld, mit Pilotuntersuchungen mit dem Ziel, eine Einschätzung zur Höhe der nach Aufbringung derartiger Produkte zu erwartenden Bodengehalte zu ermitteln. Es wurden zunächst sieben Standorte beprobt, die Ergebnisse ausgewertet, Verlagerungsprozesse und Zusammenhänge mit den bis dahin vorliegenden Oberflächenwasserdaten diskutiert. Diese im ersten Schritt erzielten Ergebnisse der Bearbeitung wurden am 07.11.2006 als Zwischenbericht vorgelegt.

Mit Schreiben vom 06.12.2006 wurde der bestehende Auftrag erweitert. Die Erweiterung sah die Untersuchung von fünf weiteren Flächen im Hochsauerlandkreis vor, die Auswertung der dort sowie durch Beprobungen im Kreis Soest zusätzlich gewonnenen 35 Analyseergebnisse, die Berücksichtigung der Elutionsversuche durch das damalige LUA sowie die Auswertung weiterer Ergebnisse des Oberflächengewässermonitorings an Ruhr und Möhne. Der hiermit vorliegende Abschlussbericht ergänzt den Zwischenbericht um diese Aspekte und formuliert auf der Grundlage der in diesem Gutachten ausgewerteten Daten Empfehlungen zum weiteren Vorgehen.

Die Sanierung der Hochbelastungsfläche in Brilon-Scharfenberg ist ebenso wenig Gegenstand dieses Gutachtens wie mögliche Belastungen des Grundwassers sowie Untersuchungen im Einzugsgebiet der Lippe.

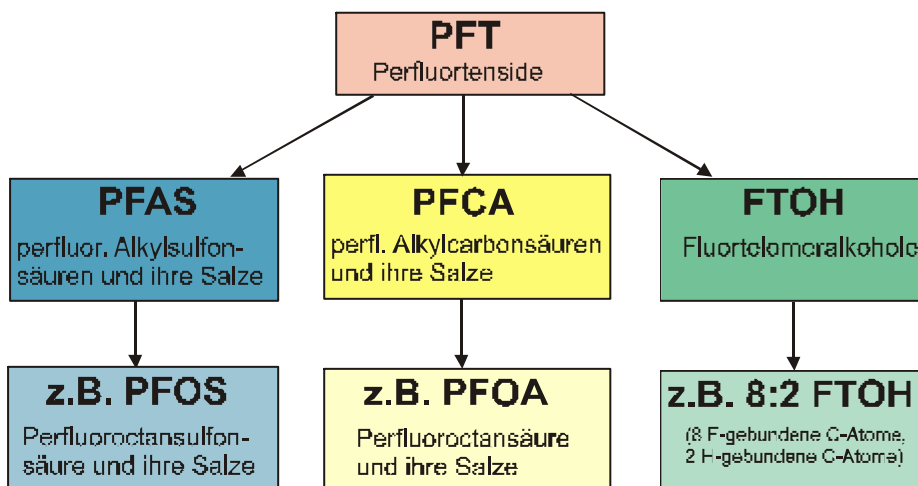
## 2. Stoffbeschreibung

Im Folgenden sollen zunächst einige grundsätzliche Informationen zur Stoffgruppe der perfluorierten Tenside zusammen gefasst werden<sup>1</sup>, nicht zuletzt, um das Verhalten dieser Stoffe in der Umwelt besser einschätzen zu können. Für vertiefende Informationen wird an dieser Stelle auf die Vielzahl spezifischer Veröffentlichungen (siehe auch Literaturverzeichnis) hingewiesen.

PFT-Verbindungen bestehen aus einer hydrophoben Kohlenstoffkette, an der die Wasserstoffatome vollständig durch Fluoratome ersetzt sind, und einer hydrophilen Kopfgruppe (z.B. Sulfonsäure oder Carbonsäure bzw. deren Salze). Dies führt zu einer starken Reduzierung der Oberflächenspannung von Wasser. Dabei tritt die hydrophile Kopfgruppe in Wechselwirkung mit wässrigen Phasen, die hydrophobe Kette wirkt wasserabweisend. Analog können die Moleküle im entsprechenden Milieu über ihre hydrophobe Kette mit öl- bzw. fetthaltigen Phasen in Wechselwirkung treten, während die hydrophile Kopfgruppe fett- und ölabweisend wirkt.

Die Stoffklasse PFT kann in mehrere Stoffgruppen unterteilt werden, wozu oftmals auch polyfluorierte Verbindungen gezählt werden:

Abbildung 1: Unterteilung der Stoffgruppe der PFT



<sup>1</sup> Im Folgenden wird im Wesentlichen zurückgegriffen auf ein "Stoffdossier", das im Hause der IFUA-Projekt-GmbH im Auftrag des MUNLV NRW entstanden ist.

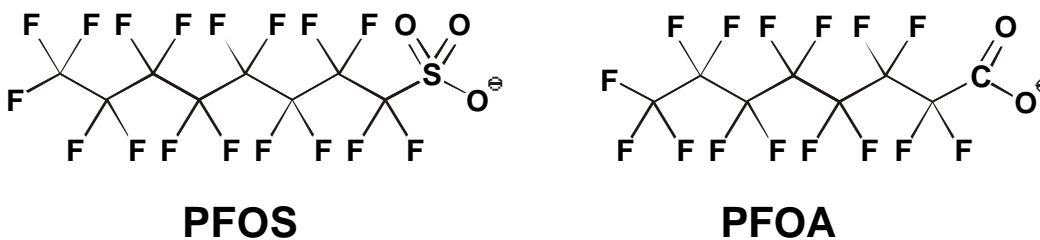
Die Gruppe der PFAS zeichnet sich durch eine Sulfonatgruppe am perfluorierten Kohlenstoffgerüst aus und umfasst 356 verschiedene Verbindungen, von denen neben der Perfluorooctansulfonsäure 95 den Perfluorooctansulfonaten (**PFOS**) zuzurechnen sind, deren Kohlenstoffkette acht fluoridierte C-Atome aufweist (OECD 2006a).

PFOS können dabei unterschiedlich funktionalisiert vorkommen ( $C_8F_{17}SO_2Y$ , mit  $Y=OH$  (freie Säure: PFOSA),  $Y=O-M^+$  (Metallsalz: PFOSM),  $Y=O-NR_4^+$  (Ammoniumsalz),  $Y=X$ : Sulfonylhalogenid: PFOSX) bzw.  $Y=NR_2$  (Sulfonamid: FOSA)).

Die PFCA weisen eine Carbonsäure-Gruppe am perfluorierten Kohlenstoffgerüst auf. Eine Verbindung dieser Stoffgruppe ist die Perfluorooctansäure (= Pentadecafluorooctansäure) (**PFOA**: ( $C_7F_{15}COOH$ )), die ebenfalls in verschiedenen Derivaten vorkommen kann ( $C_7F_{15}COY$ , mit  $Y=O-M^+$  (Metallsalz,  $Y=O-NR_4^+$  (Ammoniumsalz),  $Y=X$  (Carbonylhalogenid: PFOAX) bzw.  $Y=OR$  (Alkylester).

Die beiden zugehörigen Strukturformeln zeigt Abbildung 2.

Abbildung 2: Strukturformeln PFOS / PFOA



Mit dem Akronym FTOH werden polyfluorierte Telomeralkohole bezeichnet, die in der Regel linear sind und eine gerade Anzahl perfluorierter sowie zwei nicht fluoridierte, wasserstoffgebundene C-Atome neben einer Hydroxylgruppe aufweisen. Die Bezeichnung der FTOH erfolgt in Abhängigkeit von der Anzahl der fluoridierten und der wasserstoffgebundenen C-Atome (z.B. **8:2 FTOH**). Da diese Stoffgruppe in dieser Projektbearbeitung keine Berücksichtigung findet, beschränken sich die weiteren Ausführungen auf die im Zuge der Pilotuntersuchungen berücksichtigten Parameter PFOA und PFOS.

Hauptanwendungsgebiete für **PFOS** sind die Bereiche Oberflächenmodifizierung, Papierveredelung und Spezialchemie. Sie kommen beispielsweise vor in Textilien, Ledermöbeln, Papier und Verpackungen, Farben und Reinigungsmitteln, Feuerlöschmitteln, Pestiziden sowie der Luftfahrt (hydraulische Flüssigkeiten). Darüber hinaus werden sie in der chemischen Synthese, der Metallierung, der Foto- und Halbleiterindustrie sowie in der Medizintechnik verwendet.

**PFOA** werden als Hilfsmittel in der Herstellung von Fluorpolymeren (PTFE (Teflon), PVDF) eingesetzt und können als Verunreinigung in den Produkten verbleiben. PTFE findet in zahlreichen Industrie- und Konsumprodukten Anwendung, während PVDF in der Elektronik- und Bauindustrie eingesetzt wird. Darüber hinaus kann PFOA auch aus Abbau- bzw. Pyrolyseprodukten (z.B. bei Überhitzen von Teflon) entstehen.

Zudem können die Substanzen direkt oder auch indirekt über die Nutzung der Produkte in die Umwelt freigesetzt werden, z.B. durch PFOA-haltige Feuerlöschschäume (ENDRES 2005, OECD 2006b).

PFT kommen in der Natur ausschließlich anthropogen bedingt vor und sind nach ersten Nachweisen in der Umwelt in den 1970-er Jahren mittlerweile ubiquitär verbreitet. Das Verhalten in der Umwelt wird wesentlich durch die folgenden Eigenschaften geprägt (z.B. EPA 2002, OECD 2002, BROOKE et al. 2004, FRIECKE & LAHL 2005, OECD 2006b):

- Die Polarität der C-F-Bindungen bewirkt durch Elektronenzug eine Reaktivitätssteigerung der funktionellen Gruppen bzw. eine Steigerung der Stärke der freien Säure durch vollständige Dissoziation.
- Die in der organischen Chemie stärkste Bindung (C-F) bedingt eine hohe chemische und thermische Stabilität des Moleküls und begründet letztlich auch die Persistenz dieser Verbindungen.
- PFT bioakkumulieren im Gegensatz zu den meisten anderen organischen Substanzen nicht im fettreichen Gewebe, sondern in Leber, Niere und Galle und binden an Proteine im Blut. Ein  $\log K_{ow}$  ist aufgrund der oberflächenaktiven Eigenschaften nicht messbar.



Im Boden zeigt PFOA eine nur schwache Adsorption an der organischen Substanz, woraufhin auf eine hohe Mobilität geschlossen wird. Eine Auswaschung in das Grundwasser ist somit möglich (OECD 2006b).

Gemessene Daten weisen PFOS als eine Substanz mit moderater Sorption in Böden und geringer Sorption in Sedimenten aus (ENVIRONMENT AGENCY 2004). Es wird angenommen, dass PFOS vor allem durch Chemisorption anstatt durch hydrophobische bzw. hydrophile Interaktionen an Böden, Sedimenten und Schlämmen sorbiert.

PFOA und PFOS dissoziieren im Wasser vollständig und sind somit als gut wasserlöslich anzusehen (EPA 2002). Angaben zur Wasserlöslichkeit für PFOA werden in der Literatur mit 3,4 g/l (EPA 2002) bzw. 9,5 g/l bei 25 °C (OECD 2006b) angegeben. Grundsätzlich muss jedoch festgehalten werden, dass die Löslichkeitsprozesse bezüglich PFOA komplex sind, da z.B. auch die Bildung von Micellen beobachtet wird, woraus auf eine Dispersion und weniger auf eine echte Löslichkeit der Substanzen zu schließen ist (EPA 2002). Für PFOS können der Literatur Werte von 370 mg/l (OECD 2002) bis max. 680 mg/l bei 25°C (ENVIRONMENT AGENCY 2004) entnommen werden. Für die Abschätzung des Verhaltens in der Umwelt wird ein Wert von 519 mg/l empfohlen (ENVIRONMENT AGENCY 2004). Als Fazit ist festzuhalten, dass PFOA deutlich besser wasserlöslich sind als PFOS.

PFOA und PFOS weisen einen niedrigen Dampfdruck auf und sind somit als nicht flüchtig zu bezeichnen. Sie unterliegen keiner photolytischen, hydrolytischen und reduktiven Transformation und werden daher weder aerob noch anaerob abgebaut.

### 3. Bodenuntersuchungen: Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen zur Gewinnung der Bodenproben wurde im Vorfeld der Probennahme mit den Kreisen Soest und Hochsauerlandkreis, der Bezirksregierung Arnsberg sowie dem LUA abgestimmt ("Beprobungskonzept Boden", IFUA-Projekt-GmbH, 25.07.2006).

Die im Rahmen der Pilotuntersuchungen zunächst berücksichtigten sieben Flächen wurden in Ortsbegehungen und Besprechungen zwischen Bezirksregierung Arnsberg, den beiden Kreisen, dem Landesumweltamt NRW sowie der IFUA-Projekt-GmbH am 05.07. und 14.07.2006 ausgewählt (BH 01-04; BS 01-03).

Kriterien für die Auswahl waren:

- Höhe der Belastung der zunächst vorgenommenen Untersuchungen von jeweils eingesammeltem Material (Screening), wobei sowohl hoch als auch weniger hoch belastete Flächen berücksichtigt wurden.
- Zeitraum der Beaufschlagung, wobei sowohl frisch (in 2006) als auch weiter zurückliegend beaufschlagte Flächen in das Untersuchungsprogramm aufgenommen wurden (hierbei wurde auf Übereinstimmung von Lieferscheindaten mit bereits festgestellten belasteten Flächen geachtet).
- Soweit möglich wurde auch die geologisch/hydrogeologische Situation am Standort in Form unterschiedlicher Untergrundverhältnisse berücksichtigt. Die maximale Beprobungstiefe lag bei 1 m unter Gelände.
- Die zu untersuchenden Flächen sollten möglichst in Bezug zu bereits erkannten Belastungen von Oberflächengewässern stehen.
- Darüber hinaus waren die in den Materialproben jeweils festgestellten PFT-Profile in der Auswahl der Flächen zu beachten.

Im weiteren Verlauf wurden der IFUA-Projekt-GmbH durch den Hochsauerlandkreis zusätzlich fünf Flächen zur Untersuchung benannt (BH 05 - BH 09); durch den Kreis Soest wurden im Rahmen dieses Pilotprojektes in eigener Regie 32 zusätzliche Flächen (BS 04 - BS 34), ein Wegeseitengraben und ein Grünabfall-

/Kompostlager beprobt. Aufgrund der PFT-Konzentrationen im Oberflächenwasser des Möhne-Zuflusses Silberbach liegen die zusätzlichen Untersuchungsflächen des Kreises Soest in dessen Einzugsgebiet und sollen alle Flächen umfassen, die nachweislich seit 2000 mit Bioabfallgemischen beaufschlagt wurden. Ebenfalls aufgrund der Ergebnisse des Oberflächenwassermonitorings liegen die fünf zusätzlichen Flächen im Hochsauerlandkreis im Einzugsgebiet des Ruhr-Zuflusses Elpe.

Tabelle 1 zeigt die 46 im Rahmen dieses Projektes insgesamt durch die IFUA-Projekt-GmbH und den Kreis Soest untersuchten Standorte im Überblick.<sup>2</sup>

**Tabelle 1: Ausgewählte Flächen für die Bodenuntersuchungen**

Flächenkennung	Flächengröße (ha)	Aktuelle Nutzung
<b>Ursprünglich untersuchte Standorte (August 2006)</b>		
BH 01	10,57	Ackerland (Mais)
BH 02	12,30	Weihnachtsbaumkultur
BH 03	4,0	Weihnachtsbaumkultur
BH 04	5,0	Weihnachtsbaumkultur
BS 01	5,6	Ackerland (Weizen)
BS 02	5,7	Grünland (Rinderweide)
BS 03	2,75	Grünland (Rinderweide)
<b>Zusätzlich untersuchte Standorte (September/Oktober 2006)</b>		
BH 05	2,76	Weihnachtsbaumkultur
BH 06	1,5	Ackerland (Raps)
BH 07	3,5	Ackerland (Raps)
BH 08	3,89	Ackerland (Raps)
BH 09	2,04	Ackerland (Raps)
BS 04	1,09	Grünland (Weide)
BS 05	1,02	Grünland (Weide)
BS 06	0,99	Grünland (Weide)
BS 07	0,53	Grünland (Weide)
BS 08	0,94	Grünland (Weide)
BS 09	0,24	Grünland (Weide)
BS 10	1,1	Grünland (Weide)
BS 11	0,22	Grünland (Weide)

<sup>2</sup> Es wurden weitere Bodenuntersuchungen (z. B. auch im Einzugsgebiet des Wasserwerks Eikeloh) durchgeführt, deren Auswertung jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Gutachtens ist.

**Fortsetzung Tabelle 1: Ausgewählte Flächen für die Bodenuntersuchungen**

<b>Flächenkennung</b>	<b>Flächengröße (ha)</b>	<b>Aktuelle Nutzung</b>
BS 12	0,18	Grünland (Weide)
BS 13	0,42	Grünland (Weide)
BS 14	0,61	Ackerland (Mais)
BS 15	1,1	Ackerland (Mais)
BS 16	0,63	Grünland (Weide)
BS 17	0,38	Grünland
BS 18	1,01	Ackerland (Mais)
BS 19	0,8	Ackerland
BS 20	1,01	Ackerland (Mais)
BS 21	0,23	Ackerland (Mais)
BS 22	1,0	Ackerland (Mais)
BS 23	1,18	Erdbeerfeld (teilweise umgepflügt)
BS 24	0,62	Erdbeerfeld (teilweise umgepflügt)
BS 25	0,36	Erdbeerfeld (teilweise umgepflügt)
BS 26	0,59	Erdbeerfeld (teilweise umgepflügt)
BS 27	0,67	Acker (Weizen oder Gerste, abgeerntet)
BS 28 Nord	1,14	Ackerland (Mais)
BS 28 Süd	1,14	Ackerland (Mais)
BS 29	0,87	Grünland
BS 30	0,56	Grünland
BS 31	0,43	Grünland
BS 32	0,49	Grünland
BS 33	0,41	Grünland
BS 34	0,34	Grünland
BS 04 Gr	-	Wegeseitengraben westlich BS 04
BS Halde Silberbach	-	Lager von Grünabfällen und Kompost nördlich des Flurstückes BS 22

B= Boden, H: Hochsauerlandkreis, S: Kreis Soest

Der erste Probennahmedurchgang der IFUA-Projekt-GmbH erfolgte am 01. und 03.08.2006<sup>3</sup> gemäß Beprobungskonzept (vgl. Anhang 1). Die Probennahme erfolgte horizontbezogen; sofern augenscheinlich Rückstände des aufgebrachtten Materials vor Ort noch erkennbar waren, wurde dies jeweils als Materialpro-

<sup>3</sup> Aufgrund von im Zuge des Versands der Proben erfolgten Zerstörungen der Gefäße mussten drei Standorte am 08.08.2006 erneut beprobt werden, siehe Probennahmeprotokolle in Anlage 14.

be (M) von der Bodenprobe (B) separiert. Die zweite Beprobung durch die IFUA-Projekt-GmbH wurde am 08.10.2006 durchgeführt. Zur Ermittlung von Belastungsschwerpunkten wurde nur noch eine Probennahmetiefe (0,0-0,6 m) berücksichtigt; Materialproben wurden nicht mehr entnommen. Die Probennahme durch den Kreis Soest erfolgte am 20. und 21.09.2006.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der durch die IFUA-Projekt-GmbH vorgenommenen Beprobung.

**Tabelle 2: Übersicht über den Beprobungsumfang (IFUA-Projekt-GmbH)**

Fläche	Bodenschicht	Bezeichnung	Bemerkung
BH 01	0,0-0,3 m	BH 01 0-0,3m	Bohrkernverlust ab >0,6 m
	0,3-0,6 m	BH 01 0,3-0,6m	
	0,1-0,3 m	MH 01 0,1-0,3 m	
BH 02	0,0-0,3 m	BH 02 0-0,3m	Festgestein ab >0,6 m
	0,3-0,6 m	BH 02 0,3-0,6m	
BH 03	0,0-0,3 m	BH 03 0-0,3m	Festgestein ab >0,8 m
	0,3-0,6 m	BH 03 0,3-0,6m	
	0,6-0,9 m	BH 03 0,6-0,9m	
	0,0-0,3 m	MH 03 0-0,3 m	
BH 04	0,0-0,3 m	BH 04 0-0,3m	Festgestein ab >0,8 m
	0,3-0,6 m	BH 04 0,3-0,6 m	
	0,0-0,3 m	MH 04 0,0-0,3 m	
BH 05	0,0-0,6 m	BH 05 0,0-0,6m	
BH 06	0,0-0,6 m	BH 06 0,0-0,6 m	
BH 07	0,0-0,6 m	BH 07 0,0-0,6 m	
BH 08	0,0-0,6 m	BH 08 0,0-0,6 m	z. T. Bohrkernverlust, Bohrungen an anderen Ansatzstellen wiederholt
BH 09	0,0-0,6 m	BH 09 0,0-0,6 m	z. T. Bohrkernverlust, Bohrungen an anderen Ansatzstellen wiederholt
BS 01	0,0-0,3 m	BS 01 0-0,3 m	
	0,3-0,6 m	BS 01 0,3-0,6 m	
	0,6-1,0 m	BS 01 0,6-1,0 m	
	0,1-0,3 m	MS 01 0,1-0,3 m	
BS 02	0,0-0,1 m	BS 02 0-0,1 m	Festgestein schwankend ab >0,5 bis 0,7 m angetroffen
	0,1-0,3 m	BS 02 0,1-0,3 m	
	0,3-0,6 m	BS 02 0,3-0,6 m	
BS 03	0,0-0,1 m	BS 03 0-0,1 m	Festgestein ab >0,9 m
	0,1-0,3 m	BS 03 0,1-0,3 m	
	0,3-0,6 m	BS 03 0,3-0,6 m	
	0,6-1,0 m	BS 03 0,6-1,0 m	

Pilotuntersuchungen zu Vorkommen und Auswirkungen von perfluorierten  
Tensiden (PFT) in Abfällen, die der BioAbfV unterliegen  
- Abschlussbericht -

Projekt-Nr.: P 206077

Sämtliche Boden- und Materialproben wurden gemäß Beprobungskonzept in  
Braunglasflaschen abgefüllt und zur Analytik dem Labor des LUA/LANUV NRW  
überlassen.

## 4. Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Untersuchung der Boden- und Materialproben zusammengefasst.

**Tabelle 3: Übersicht über die Untersuchungsergebnisse (Boden- und Materialproben)**

Bezeichnung	PFOA	PFOS	Summe PFOS+PFOA	Verhältnis PFOS:PFOA
BH 01 0-0,3 m *	810	5.500	6.310	6,7
BH 01 0,3-0,6 m *	910	1.000	1.910	1,1
MH 01 0,1-0,3 m	650	8.600	9.250	13,2
BH 02 0-0,3 m	13	37	50	2,8
BH 02 0,3-0,6 m	< 10	< 10	-	-
BH 03 0-0,3 m	< 10	13	13	-
BH 03 0,3-0,6 m	< 10	< 10	-	-
BH 03 0,6-0,9 m	< 10	< 10	-	-
MH 03 0-0,3 m	< 10	18	18	> 1,8
BH 04 0-0,3 m	< 10	< 10	-	-
BH 04 0,3-0,6 m	< 10	< 10	-	-
MH 04 0-0,3 m	< 10	19	19	> 1,9
BH 05 0,0-0,6 m	12	39	51	3,3
BH 06 0,0-0,6 m	23	75	98	3,3
BH 07 0,0-0,6 m	< 10	< 10	-	-
BH 08 0,0-0,6 m	< 10	15	15	> 1,5
BH 09 0,0-0,6 m	< 10	27	27	> 2,7
BS 01 0-0,3 m	< 10	< 10	-	-
BS 01 0,3-0,6 m	< 10	< 10	-	-
BS 01 0,6-1,0 m	< 10	< 10	-	-
MS 01 0,1-0,3 m	53	670	723	12,6
BS 02 0-0,1 m	19	170	189	8,9
BS 02 0,1-0,3 m	20	32	52	1,6
BS 02 0,3-0,6 m	17	22	39	1,3
BS 03 0-0,1 m	90	110	200	1,2
BS 03 0,1-0,3 m	31	38	69	1,2
BS 03 0,3-0,6 m	13	13	26	1,0
BS 03 0,6-1,0 m	< 10	< 10	-	-
BS 04 0-0,1 m	< 10	< 10	-	-
BS 05 0-0,1 m	< 10	14	14	> 1,4
BS 06 0-0,1 m	< 10	31	31	> 3,1
BS 07 0-0,1 m	22	210	232	9,5

**Fortsetzung Tabelle 3: Übersicht über die Untersuchungsergebnisse (Boden- und Materialproben)**

Bezeichnung	PFOA	PFOS	Summe PFOS+PFOA	Verhältnis PFOS:PFOA
BS 08 0-0,1 m	19	180	199	9,5
BS 09 0-0,1 m	22	130	152	5,9
BS 10 0-0,1 m	44	200	244	4,5
BS 11 0-0,1 m	< 10	< 10	-	-
BS 12 0-0,1 m	< 10	25	25	> 2,5
BS 13 0-0,1 m	33	130	163	3,9
BS 14 0-0,6 m	22	68	90	3,1
BS 15 0-0,1 m	26	87	113	3,3
BS 16 0-0,1 m	< 10	< 10	-	-
BS 17 0-0,1 m	< 10	< 10	-	-
BS 18 0-0,6 m	20	170	190	8,5
BS 19 0-0,6 m	< 10	11	11	> 1,1
BS 20 0-0,6 m	20	62	82	3,1
BS 21 0-0,6 m	20	57	77	2,9
BS 22 0-0,6 m	400	570	970	1,4
BS 23 0-0,6 m	< 10	< 10	-	-
BS 24 0-0,6 m	< 10	< 10	-	-
BS 25 0-0,6 m	< 10	< 10	-	-
BS 26 0-0,6 m	< 10	< 10	-	-
BS 27 0-0,6 m	16	35	51	2,2
BS 28-Nord 0-0,6 m	17	110	127	6,5
BS 28-Süd 0-0,6 m	20	73	93	3,7
BS 29 0-0,1 m	22	170	192	7,7
BS 30 0-0,1 m	16	170	186	10,6
BS 31 0-0,1 m	31	290	321	9,4
BS 32 0-0,1 m	96	350	446	3,6
BS 33 0-0,1 m	20	88	108	4,4
BS 34 0-0,1 m	27	180	207	6,7
BS 04 Gr	28	210	238	7,5
BS Halde Silberbach	13	19	32	1,5

alle Angaben in µg /kg Trockenmasse

\* Im Zwischenbericht vom 07.11.2006 sind die Ergebnisse den untersuchten Schichten nicht korrekt zugeordnet.



Auf der Grundlage dieser Ergebnisse lassen sich zunächst die folgenden Schlussfolgerungen treffen:

1. Auf der überwiegenden Zahl der hier untersuchten Flächen wurden PFT nachgewiesen. Bezüglich BH 04 und BS 01 trifft dies lediglich für das dort aufgesammelte Material zu. Die Bodenproben von diesen beiden Standorten sind demgegenüber unauffällig. Während dieses Ergebnis sich für BH 04 aufgrund der nur geringen Materialkontamination erklärt, ist die Diskrepanz zwischen recht hoher Materialbelastung und fehlender Bodenkontamination bei BS 01 auffällig. Möglicherweise ist hier ausschließlich das zuletzt aufgebraachte Material PFT-haltig gewesen.
2. Die höchsten Gehalte der Pilotuntersuchungen wurden sowohl hinsichtlich der Boden- als auch der Materialproben auf dem inzwischen in Sanierung befindlichen Standort BH 01 (Maisacker Brilon-Scharfenberg) festgestellt.
3. Für die Standorte mit tiefendifferenzierter Probennahme ist erkennbar, dass die PFT-Gehalte mit der Tiefe abnehmen. PFOA bleibt an den Standorten BH 01 und BS 02 in der Tiefenverteilung allerdings weitgehend konstant (vgl. Anlage 15). Der PFOS-Anteil nimmt durchgängig mit der Tiefe ab. Als Ursache hierfür kommt die unterschiedliche Wasserlöslichkeit der beiden Stoffe in Betracht (vgl. Kapitel 2), wonach PFOA in den Oberböden vermutlich bereits in einem größeren Ausmaß ausgewaschen wurde.
4. Die hier untersuchten vier Materialproben lassen darauf schließen, dass das aufgebraachte Produkt sehr unterschiedlich stark mit PFT behaftet war (< 18-9.250 µg/kg). In jedem Fall überwiegt die Konzentration an PFOS gegenüber der von PFOA, wobei die stärkere Auswaschung von PFOA zu beachten ist.

## **5. Auswertung der Daten**

Im Folgenden werden die im Rahmen der Pilotuntersuchungen ermittelten Bodendaten vor dem Hintergrund der Fragestellung, inwieweit hiermit die Belastungen der Oberflächengewässer erklärt werden können, ausgewertet.

### **5.1. Grundlagen**

#### **5.1.1. Oberflächengewässer**

##### **5.1.1.1 Ruhr**

Die Ruhr entspringt nördlich von Winterberg im Hochsauerlandkreis und mündet nach einer Lauflänge von insgesamt 219 km bei Duisburg in den Rhein. Das Gesamteinzugsgebiet der Ruhr beträgt 4.485 km<sup>2</sup>. Einer der wichtigsten Nebenflüsse der Ruhr ist die Möhne. Der Oberlauf der Ruhr (von der Quelle bis zur Mündung der Möhne) hat eine Lauflänge von 79 km und ein Einzugsgebiet von 1.060 km<sup>2</sup>.

##### **5.1.1.2 Möhne**

Die Möhne entspringt südlich Brilon und mündet nach einer Länge von ca. 65 km bei Neheim-Hüsten in die Ruhr. Die Größe des Einzugsgebiets der Möhne beträgt 467,5 km<sup>2</sup>. Die Möhne durchfließt die Möhne-Talsperre, die mit ihrem Fassungsvermögen von 134,5 Mio. m<sup>3</sup> eine wichtige Stellung bei der Regulierung der Wasserführung der Ruhr und somit für die Trinkwasserversorgung des Ruhrgebietes einnimmt. Das Einzugsgebiet der Möhne-Talsperre beträgt 436,4 km<sup>2</sup>, die langjährige jährliche Zuflusssumme (1961-2005) beträgt nach Angaben des Ruhrverbandes 192,4 Mio. m<sup>3</sup>. Neben der Möhne wird die Möhne-Talsperre durch die Heve gespeist.

Am Einlauf der Möhne-Talsperre befindet sich bei der Ortschaft Völlinghausen der gleichnamige Pegel Völlinghausen. Die Mündung der Möhne in die Ruhr liegt 24,4 km unterhalb des Pegels Völlinghausen. In der folgenden Tabelle sind ausgewählte Kenndaten des Pegels Völlinghausen zusammengefasst:

**Tabelle 4: Ausgewählte Kenndaten des Pegels Völlinghausen**

Größe des Einzugsgebiets	293 km <sup>2</sup>
Niedrigwasserabfluss (NQ) (im Kalenderjahr 2005)	0,834 m <sup>3</sup> /s (18.10.05)
Mittlerer Abfluss (MQ) (im Kalenderjahr 2005)	4,51 m <sup>3</sup> /s
Hochwasserabfluss (HQ) (im Kalenderjahr 2005)	38,4 m <sup>3</sup> /s (30.03.05)
Niedrigwasserabflussspende (Nq) (im Kalenderjahr 2005)	2,84 l/(s km <sup>2</sup> )
Mittlere Abflussspende (Mq) (im Kalenderjahr 2005)	15,4 l/(s km <sup>2</sup> )
Hochwasserabflussspende (Hq) (im Kalenderjahr 2005)	131 l/(s km <sup>2</sup> )

### 5.1.2. Grundwasser

Das Einzugsgebiet der Möhne befindet sich zum größten Teil südlich des Flusslaufes. Hier stehen hauptsächlich die Ton- und Tonmergelsteine des Devon und Karbon an. Lediglich im Quellbereich und nördlich der Möhne wird der Untergrund durch Kalkstein gebildet. Somit sind die Grundwasser führenden Schichten als Kluftgrundwasserleiter zu bezeichnen. Die Ton- und Tonmergelsteine weisen in der Regel eine nur geringe bis mäßige Trennfugendurchlässigkeit auf. Die Klüfte sind je nach tektonischer Beanspruchung von unterschiedlicher Dichte und Größe. Das wasserwegsame Kluftvolumen beträgt in der Regel nur wenige Vol-% (ca. 2-4 %). In größeren Klüften (in der Regel Schieferungsflächen) kann es lokal zu einer schnellen und bedeutenden Wasserbewegung im Untergrund kommen.

Der Kalkstein unterliegt anders als die Ton- und Tonmergelsteine einer raschen Verwitterung, die vornehmlich zu einer Aufweitung der Klüfte führt. Hierdurch wird die Wasserwegsamkeit deutlich erhöht. Je nach Verwitterungszustand weisen Grundwasserleiter aus Kalkstein geringe bis gute Durchlässigkeiten auf. Verkarsteter Kalkstein weist eine sehr hohe Trennfugendurchlässigkeit auf.

## 5.2. Aufbringungsmengen

Nach Kenntnis der Kreisverwaltungen Hochsauerlandkreis und Soest wurden ab dem Jahre 2000 folgende Mengen des Sekundärrohstoffdüngers in den Einzugsgebieten der Möhne und des Oberlaufs der Ruhr aufgebracht.

**Tabelle 5: Aufbringungsmengen Terraform und Größe der beaufschlagten Fläche**

Gewässer	Größe der beaufschlagten Fläche [ha]	Aufbringungsmenge [t TS]	Aufbringungsmenge [t TS/ha]
<b>Einzugsgebiet Möhne</b>			
Steinbecke	4,98	311,21	135,51
Bermecke/Kloßsiepen	14,59	511,85	213,24
Küttelbecke	140	3.500	25,0
Silberbach	25,64	588	22,9
Möhne (sonstige im Kreis Soest)	306,36	8.510	18,03
Möhne (sonstige im HSK)	9,57	451,98	177
<b>Summe Möhne</b>	<b>501,14</b>	<b>13.873,04</b>	<b>---</b>
<b>Mittelwert Möhne</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>98,61</b>
<b>Einzugsgebiet Ruhr</b>			
Nierbach	128,12	703	5,5
Valme	16,63	168	10,1
Elpe	20,33	274	13,5
Wenne	17,25	140	8,1
Linnepe	9,76	71	7,3
Ruhr (sonstige im Kreis Soest)	15	110	7,3
Ruhr (sonstige im HSK)	59,82	977	16,3
<b>Summe Ruhr</b>	<b>266,91</b>	<b>2.443</b>	<b>---</b>
<b>Mittelwert Ruhr</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>9,7</b>

Die Aufstellung in der Tabelle zeigt, dass sich die Gesamtgröße der beaufschlagten Flächen im Einzugsgebiet der Möhne auf etwa 501 ha beläuft. Insgesamt wurden im Einzugsgebiet der Möhne ca. 13.900 t TS aufgebracht. Die durchschnittliche Aufbringungsmenge lag bei 98,61 t TS/ha.

Im Einzugsgebiet der oberen Ruhr wurde mit insgesamt ca. 2.400 t TS deutlich weniger aufgebracht. Hier beträgt die Aufbringungsrate 9,7 t TS /ha.

### 5.3. Lage der Untersuchungsflächen

Die beprobten Flächen befinden sich in verschiedenen Flusseinzugsgebieten. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Lage der untersuchten Flächen im Hinblick auf die Oberflächengewässer:

**Tabelle 6: Zuordnung der Untersuchungsflächen zu Oberflächengewässern**

Fläche	Haupteinzugsgebiet	Lauflänge
BH 01	Möhne	ca. 30 km bis Möhnesee
BH 02	Ruhr	ca. 3 km bis zur Ruhr
BH 03; BH 05 - BH 09	Ruhr	600 m bis 9 km bis zur Ruhr
BH 04	Ruhr	Fläche liegt nahe der Ruhr (ca. 300 m) bzw. Obergraben (ca. 100 m).
BS 01	Möhne	ca. 16,5 km bis Möhnesee
BS 02; BS 04 - BS 34	Möhne	ca. 19 km bis Möhnesee
BS 03	Lippe	ca. 19,5 km bis Mündung in die Lippe

Die Tabelle zeigt, dass sich die Flächen BS 01, BS 02, BS 04 - BS 34 und BH 01 im Einzugsgebiet der Möhne (oberhalb des Möhnesees) befinden. Die Flächen BH 02 bis BH 09 liegen im Oberlauf der Ruhr (oberhalb des Zusammenflusses von Ruhr und Möhne). Die Fläche BS 03 befindet sich im Einzugsgebiet der Lippe. Die untersuchten Flächen im Einzugsgebiet der Möhne liegen zwischen ca. 16,5 und ca. 30 km vom Zulauf der Möhne in die Möhne-Talsperre entfernt. Die Flächen, die sich im Einzugsgebiet der oberen Ruhr befinden, liegen deutlich näher am Hauptvorfluter. Die Flächen BH 02 und BH 03 liegen etwa 3 km von der Ruhr entfernt, während sich die Fläche BH 04 in einem Abstand von ca. 100 m zum Obergraben und ca. 300 m zur Ruhr befindet. Die Entfernung von BH 05 zur Ruhr beträgt 600 m. Die Entfernung von BH 06 und BH 07 zur Ruhr liegt bei etwa 6 km. BH 08 liegt etwa 9 km und BH 09 etwa 3 km von der Ruhr entfernt.

## 5.4. Monitoring Oberflächengewässer

Im Zeitraum vom 31. Mai bis 25. September 2006 wurden an Oberflächengewässern im Einzugsgebiet der Ruhr und der Möhne insgesamt 17 Probennahmestellen eingerichtet und seitdem Wasserproben entnommen. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die beprobten Gewässer:

Tabelle 7: Beprobte Oberflächengewässer

Bezeichnung	Probennahmestelle	Zuordnung zu den beprobten Flächen	Beginn der Beprobung
<b>Einzugsgebiet Möhne</b>			
WH 1	Möhne, vor Mündung Bermecke		26.07.2006
WH 2	Steinbecke, vor Mündung in die Möhne	BH 01	29.06.2006
WH 3	Möhne, WW Möhnebogen		04.07.2006
WH 9	Bermecke, vor Mündung in die Möhne		25.09.2006
WS 1	Möhne, Kreisgrenze HSK / SO		26.07.2006
WS 2	Silberbach, vor Mündung in die Möhne	BS 02; BS 04 - BS 34	26.07.2006
WS 3	Küttelbecke, vor Mündung in die Möhne		26.07.2006
WS 4	Möhne, Völlinghausen		04.07.2006
<b>Einzugsgebiet Ruhr Oberlauf</b>			
WH 4	Ruhr, oberhalb Mündung Elpe		26.07.2006
WH 5	Elpe, vor Mündung in die Ruhr	BH 03; BH 05 - BH 09	28.06.2006
WH 6	Nierbach, vor Mündung in die Ruhr	BH 02	28.06.2006
WH 7	Ruhr, WW Mengesohl		26.07.2006
WH 8	Ruhr, vor Mündung Möhne		31.05.2006
<b>Einzugsgebiet Ruhr Mittellauf</b>			
WS 12	Ruhr bei Echthausen		31.05.2006
WU 20	Ruhr in Schwerte, Hengsen		13.07.2006
<b>Einzugsgebiet Ruhr Unterlauf</b>			
WE 20	Ruhr in Witten		14.08.2006
WM 20	Ruhr in Mülheim		14.08.2006

Die Tabelle zeigt, dass sich im Einzugsgebiet der Möhne acht Probennahmestellen befinden, wovon zwei in der Nähe von im Rahmen der Pilotuntersuchungen beprobten Flächen liegen.

Im Einzugsgebiet der oberen Ruhr gibt es insgesamt fünf Probennahmestellen, wovon sich zwei in der Nähe von hier untersuchten Flächen befinden. Vier weitere Messstellen befinden sich am Mittel- und Unterlauf. Gegenstand der Auswertungen in diesem Gutachten sind im Hinblick auf die obere Ruhr die Daten der Messstellen oberhalb der Möhnetalsperre. Der Einfluss der Talsperre auf den zeitlichen Verlauf der PFT-Frachten und -Konzentrationen im Ablauf bzw. speziell an der Messstelle WH 3 (Wasserwerk Möhnebogen) war nicht Gegenstand der Betrachtungen.

Die Probennahmen erfolgen überwiegend durch StUA Lippstadt/BR Arnsberg, ferner auch durch den Ruhrverband sowie, an Messstellen der mittleren und unteren Ruhr, die Westfälische Wasser- und Umweltanalytik (WWU) und die Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft (RWW).

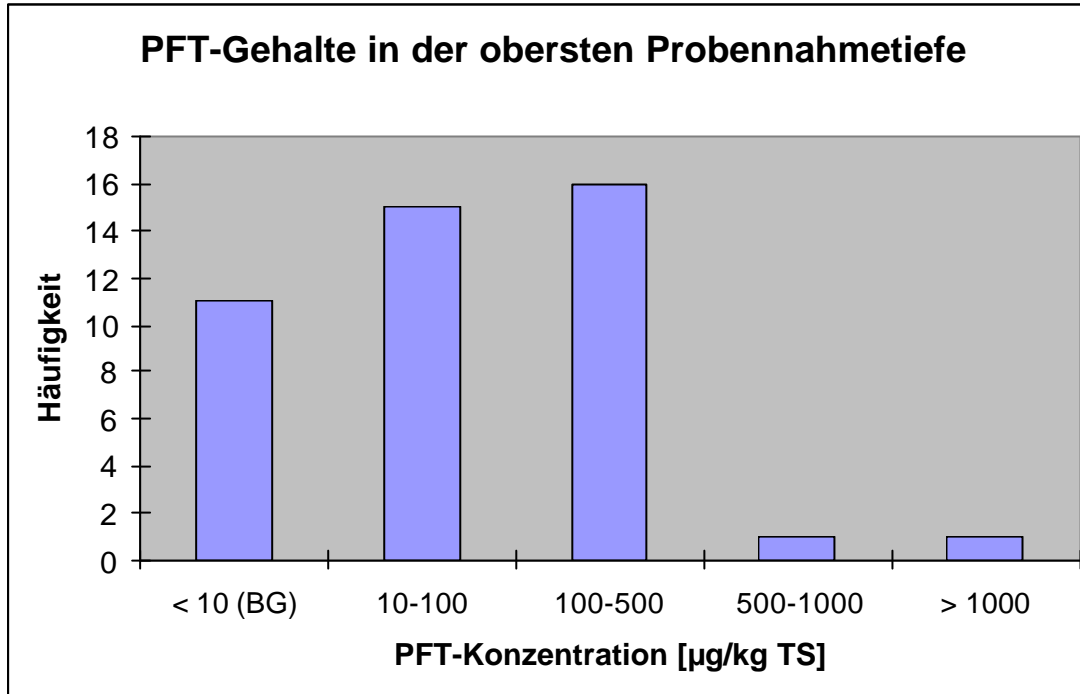
An allen Messstellen wurde bis Februar 2007 ein mindestens 14-täglicher Probennahmeturnus verfolgt. An der Möhne wird z. B. am Pegel Völlinghausen (WS 4) sowie an der Grenze Hochsauerlandkreis/Kreis Soest (WS 1) deutlich öfter beprobt. Seit Februar 2007 wird an der oberen Ruhr nur noch ein 28-täglicher Turnus verfolgt. Letzter berücksichtigter Stichtag dieses Gutachtens ist der 12.03.2007. An einzelnen Gewässern wie etwa der Elpe oder dem Nierbach wurden Sonderuntersuchungen durchgeführt, deren detaillierte Auswertung allerdings nicht Gegenstand dieses Gutachtens ist.

Weitere Ausführungen zur Datenlage mit besonderer Relevanz zur Vorgehensweise bei der Auswertung finden sich in Kapitel 5.6.1.

## **5.5. Auswertung der Bodendaten**

Im Hinblick auf die Ergebnisdarstellung wird an dieser Stelle auf Kapitel 4 verwiesen. Im Folgenden werden die Daten hinsichtlich der Verteilung von PFT im Boden vor dem Hintergrund einer möglichen Mobilisierung und eines Austrags in Oberflächenwasser ausgewertet. Abbildung 3 zeigt zunächst die Häufigkeitsverteilung der ermittelten PFT-Konzentrationen. Die Ergebnisse aus der Untersuchung des Wegeseitengrabens (BS 04 Gr) und der Halde Silberbach werden darin nicht berücksichtigt.

Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der PFT-Gehalte in Böden der Pilotuntersuchungen (oberste Probennahmetiefe)



Es wird deutlich, dass die Gehalte überwiegend unterhalb von 100  $\mu\text{g}/\text{kg TS}$  liegen. Konzentrationen oberhalb von 500  $\mu\text{g}/\text{kg TS}$  treten an lediglich zwei Standorten auf. Auf Grundlage des gegenwärtigen Kenntnisstandes kann davon ausgegangen werden, dass ein einzelner Standort gewässerseitige Relevanz dann erlangen kann, wenn ein großes PFT-Depot mit entsprechenden hydrologischen Bedingungen kombiniert ist. Die Größe des Depots wird u. a. von der Konzentration im Boden bestimmt, so dass nur hoch belastete Standorte relevant werden können.

Neben den sieben ursprünglich untersuchten Standorten wird daher in den folgenden Detailbeschreibungen als einziger Standort der zusätzlich in den Einzugsgebieten von Elpe und Silberbach untersuchten Flächen der Maisacker BS 22 (Summe PFOA+PFOS: 970  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) berücksichtigt. Alle anderen zusätzlichen Flächen sind deutlich geringer belastet, so dass umfangreiche Auswertungen und textliche Ausführungen nicht sinnvoll erscheinen. Die im Folgenden aus den Untersuchungsergebnissen auf die jeweilige Fläche hochgerechneten PFT-Gesamt mengen (Depots) sind als größenordnungsmäßige Angaben zu verstehen, da aufgrund kleinräumig teilweise stark schwankender PFT-Konzentrationen im Boden die Hochrechnungen mit entsprechenden Unsicherheiten versehen sind.



### 5.5.1. Fläche BH 01 (Brilon-Scharfenberg)

Am Standort war eine Beprobung des Tiefenabschnittes 0,6-1,0 m wegen Bohrkernverlustes nicht möglich.

Flächengröße:	10,57 ha (105.700 m <sup>2</sup> )
aufgebrachte Menge	647,67 t <sup>4</sup> (→ 265,5 t TS) innerhalb von 3 Jahren (2004 und 2006) → 25,12 t/ha TS → 2,51 kg/m <sup>2</sup> TS
Konzentration PFT-Screening (Summe PFOA+PFOS)	676 µg PFT/kg TS
Beprobungstiefen und Bodenmenge	0,0-0,3 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup> * 0,3-0,6 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup>  Das beprobte Bodenvolumen beträgt 0,6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> bzw. 900 kg/m <sup>2</sup>
Im Boden gemessene PFT-Konzentrationen und Mengen	0,0-0,3 m: 6.310 µg/kg TS → 2.839.500 µg PFT/m <sup>2</sup> 0,3-0,6 m: 1.910 µg/kg TS → 859.500 µg PFT/m <sup>2</sup>  MH 01 (0,1-0,3 m): 9.250 µg/kg TS
Ergebnis	Die im Boden (0,0-0,6 m) festgestellten PFT-Konzentrationen liegen deutlich über denen, die beim PFT-Screening ermittelt wurden.  Nach den Untersuchungsergebnissen beträgt die PFT-Menge im beprobten Bodenabschnitt 3.699.000 µg PFT/m <sup>2</sup> (0,0-0,6 m). Bei einer Flächengröße von 105.700 m <sup>2</sup> ist derzeit von einer Gesamtmenge von 3,9 * 10 <sup>11</sup> µg PFT → etwa 390 kg auf der gesamten Fläche auszugehen.  Unter der Annahme, dass die gesamte Menge aufgebrachter PFT noch auf der Fläche vorhanden ist, müsste die PFT-Konzentration im Ausgangsprodukt Terrafarm (265,5 t TS) ca. 1.472.693 µg/kg TS (→ 1,47 g/kg TS) betragen haben.
Flächenexposition	Kuppe im Hangbereich, Gefälle ca. 2%.
Flächennutzung	Acker (Mais)
Boden	sandig-lehmiger Schluff, Festgestein > 1 m
Geologie	Unterkarbon (cd): Tonstein, sandig, schluffig
Grundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit sehr geringer bis geringer Durchlässigkeit. Wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung. Die Trinkwassergewinnung ist nicht relevant.
Vorfluter	Kloßsiepen im Süden der Fläche. Steinbecke im Norden der Fläche. Beide Gewässer münden nach ca. 2,5 km in die Möhne.

\* = Annahme 1,5 t/m<sup>3</sup> (bezogen auf Trockensubstanz)

<sup>4</sup> Die angegebenen Daten zur Aufbringungsmenge beziehen sich für den Hochsauerlandkreis auf die Feuchtsubstanz. Anhand der einzugsgebietsbezogenen Daten liegt der Trockensubstanzanteil des Sekundärrohstoffdüngers zwischen 32-48 %. Der Mittelwert beträgt 41%. Für die hier durchgeführten Abschätzungen wird die Feuchtsubstanz unter Heranziehung des Mittelwertes auf die Trockensubstanz (TS) umgerechnet.

Die Fläche BH 01 (Brilon-Scharfenberg) befindet sich nördlich von Scharfenberg im Bereich einer Geländekuppe. Die Hangneigung der Fläche beträgt max. ca. 2 %. Die Fläche entwässert sowohl in den nördlich gelegenen Vorfluter Steinbecke als auch den südlich der Fläche liegenden Vorfluter Kloßsiepen, wobei der flächenmäßig größere Anteil der Steinbecke zukommt. Beide Gewässer münden nach ca. 2,5 km in die Möhne.

Der Untergrund besteht aus einem sandig-schluffigen Lehm mit einem deutlichen Skelettanteil, der im Tiefenabschnitt von 0,3-0,6 m etwa 20 % beträgt. Die Konsistenz des Bodens ist locker. Das unverwitterte Festgestein, das aus einem sandig-schluffigen Tonstein des Unterkarbons besteht, wurde bei den 1 m tiefen Sondierungen nicht erreicht. Bis in eine Tiefe von 1 m gibt es keine Hinweise auf Staunässe.

Der Tonstein bildet den Grundwasserleiter. Dieser ist als Trennfugen Grundwasserleiter mit sehr geringer bis geringer Durchlässigkeit einzustufen und aus wasserwirtschaftlicher Sicht von untergeordneter Bedeutung. Eine relevante Trinkwassergewinnung findet nicht statt. Bezüglich der Kluftdichte und der davon abhängigen Wasserwegsamkeit am Standort liegen keine Informationen vor.

Aufgrund des Untergrundaufbaus ist davon auszugehen, dass die auf die Fläche treffenden und nicht verdunstenden Niederschläge größtenteils in den locker gelagerten Boden versickern. Dies wird durch den hohen Skelettanteil begünstigt. Ein oberflächlicher Abfluss von Niederschlagswasser ist nur bei Starkregenereignissen von Bedeutung. Im Boden kann es, auch wenn die Sondierungen hierfür keine Hinweise liefern, zur Ausbildung von wasserstauenden Horizonten kommen. Über diesen Horizonten kann das Sickerwasser horizontal den beiden nahe gelegenen Vorflutern als so genannter Zwischenabfluss zusickern.

Im Norden wird die Fläche durch eine langgestreckte Zone mit zum Teil deutlich sichtbaren Wasseraustritten an der Geländeoberfläche begrenzt. In dieser Vernässungszone münden die Sammler der Felddrainage, die sich im nordwestlichen Teil der Fläche befindet. Die Vernässungszone ist als ein Teil des Quellbereiches der Steinbecke anzusehen. Die Ausdehnung des nördlichen

Teils der Fläche, der sich im Einzugsgebiet der Steinbecke befindet, umfasst eine Fläche von ca. 7,5 ha. Die Boden- und Untergrundverhältnisse des südlichen Teils der Fläche werden derzeit noch erkundet; im Auftrag des Hochsauerlandkreises führt die IFUA-Projekt-GmbH vertiefende Untersuchungen auf der Fläche durch.

Nach Information des Hochsauerlandkreises war die jetzt durch Maisanbau genutzte Fläche bis 2004 mit Weihnachtsbäumen bestanden.

Seit Januar/Februar 2007 wird die Fläche einer hydraulischen Sanierung unterzogen.

### 5.5.2. Fläche BH 02

Flächengröße:	12,3 ha (123.000 m <sup>2</sup> )
aufgebrachte Menge:	372,3 t (152,6 t TS) innerhalb von 1 Jahr (2006) → 12,3 t/ha TS → 1,23 kg/m <sup>2</sup> TS
Konzentration PFT-Screening (Summe PFOS+PFOA)	1.142 µg PFT/kg TS Terraform (Mittelwert aus zwei Proben)
Beprobungstiefen und Bodenmenge	0,0-0,3 m → 450 kg Boden/m <sup>2</sup> * 0,3-0,6 m → 450 kg Boden/m <sup>2</sup>  Das beprobte Bodenvolumen beträgt 0,6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> bzw. 900 kg/m <sup>2</sup> TS
Im Boden gemessene PFT-Konzentrationen und Mengen	0,0-0,3 m: 50 µg/kg TS → 22.500 µg PFT/m <sup>2</sup> 0,3-0,6 m: <10 µg/kg TS
Ergebnis	Die im Boden (0,0-0,6 m) festgestellten PFT-Konzentrationen sind niedriger als die beim PFT-Screening ermittelte Gehalte. Die PFT-Konzentration im Boden nimmt am Standort zur Tiefe hin deutlich ab. Im Unterboden (0,3-0,6 m) liegt die PFT-Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze. Nach den Untersuchungsergebnissen beträgt die PFT-Menge im Bodenabschnitt 0,0-0,6 m 22.500 µg PFT/m <sup>2</sup> . Bei einer Flächengröße von 123.000 m <sup>2</sup> ist derzeit von einer Gesamtmenge von 2,8 * 10 <sup>9</sup> µg PFT → etwa 3 kg auf der gesamten Fläche auszugehen. Unter der Annahme, dass die gesamte Menge aufgebrachter PFT noch auf der Fläche vorhanden ist, müsste die PFT-Konzentration im Ausgangsprodukt (152,6 t TS) ca. 18.349 µg/kg TS betragen haben. Im Tiefenabschnitt von 0,3 bis 0,6 m liegt die PFT-Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze.
Flächenexposition	Hanglage, nordexponiert, Gefälle ca. 15%.
Flächennutzung	Acker (Fichtenschonung, Weihnachtsbaumkultur)
Boden	schluffiger Lehm, Festgestein ab 0,6 m
Geologie	Mitteldevon: Selscheider Schichten (eS), Tonstein, sandig, schluffig

Grundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit sehr geringer bis geringer Durchlässigkeit. Wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung. Die Trinkwassergewinnung ist nicht relevant.
Vorfluter	Nierbach, mündet ca. 3 km unterstromig der Fläche in die Ruhr

\* = Annahme 1,5 t/m<sup>3</sup> (bezogen auf Trockensubstanz)

Bei dieser Fläche ist davon auszugehen, dass wegen der geringen Mächtigkeit der Bodenschicht (ca. 0,6 m) ein relativ rascher Sickerwassertransport bis auf den Festgesteinshorizont erfolgt. Der Tonstein besitzt eine nur sehr geringe hydraulische Leitfähigkeit in Klüften und Schieferungsflächen. Aufgrund der Hangneigung von etwa 15% kann hier ein hoher Abflussanteil des Niederschlagswassers auf der Geländeoberfläche bei Starkregenereignissen oder als Interflow an der Trennschicht Boden-Festgestein angenommen werden. Der Schadstoffeintrag in das Grundwasser ist vermutlich von untergeordneter Bedeutung. In Abhängigkeit der Kluftdichte und Kluftweite bzw. der Schieferungsflächen können lokal bevorzugte Fließbahnen im Festgestein ausgebildet sein, wodurch Sickerwasser in das Festgestein eindringen kann.

### 5.5.3. Fläche BH 03

Flächengröße:	4 ha (40.000 m <sup>2</sup> )
aufgebrachte Menge:	208 t (→ 85,3 t TS) innerhalb von 1 Jahr (2005) → 21,3 t/ha TS → 2,1 kg/m <sup>2</sup> TS
Konzentration PFT-Screening (Summe PFOS+PFOA)	64 µg PFT/kg TS
Beprobungstiefen und Bodenmenge	0,0-0,3 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup> * 0,3-0,6 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup> 0,6-0,9 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup>  Das beprobte Bodenvolumen beträgt 1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> bzw. 1.350 kg/m <sup>2</sup>
Im Boden gemessene PFT-Konzentrationen und Mengen	0,0-0,3 m: 13 µg/kg → 5.850 µg PFT/m <sup>2</sup> 0,3-0,6 m: <10 µg/kg 0,6-0,9 m: <10 µg/kg
Ergebnis	Die im Boden (0,0-0,3 m) festgestellten PFT-Konzentrationen sind etwas niedriger als die beim PFT-Screening ermittelt Gehalte.  Die PFT-Konzentration im Boden nimmt am Standort zur Tiefe hin ab. Im Unterboden (0,3-0,9 m) liegt die PFT-Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze. Insgesamt liegt ein niedriges Konzentrationsniveau vor.  Nach den Untersuchungsergebnissen beträgt die PFT-Menge im Bodenabschnitt 0,0-0,3 m 5.850 µg PFT/m <sup>2</sup> . Bei einer Flächengröße von 40.000 m <sup>2</sup> ist derzeit von einer Gesamtmenge von 2,3 * 10 <sup>8</sup> µg PFT → etwa 0,2 kg auf der gesamten Fläche auszugehen.

	Unter der Annahme, dass die gesamte Menge aufgebracht PFT noch auf der Fläche vorhanden ist, müsste die PFT-Konzentration im Ausgangsprodukt (85,3 t TS) ca. 2.696 µg/kg TS betragen haben.
Flächenexposition	Hanglage, nordexponiert, Gefälle ca. 15%.
Flächennutzung	Acker (Fichtenschonung, Weihnachtsbaumkultur)
Boden	schluffiger Lehm mit hohem Skelettanteil (bis 20 % im Tiefenabschnitt 0,6 – 0,9 m), Festgestein ab 0,8 m
Geologie	Mitteldevon: Ockerschiefer (vO), Tonstein, z.T. kalkig, geschiefert
Grundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit sehr geringer bis geringer Durchlässigkeit. Wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung. Die Trinkwassergewinnung ist nicht relevant.
Vorfluter	Elpe, mündet ca. 3,5 km unterstromig der Fläche in die Ruhr

\* = Annahme 1,5 t/m<sup>3</sup> (bezogen auf Trockensubstanz)

Der Bodenhorizont am Standort ist mit ca. 0,8 m relativ flachgründig und weist einen hohen Anteil an gröberen Komponenten des Ausgangsgesteins auf. Daher ist davon auszugehen, dass Niederschlagswasser relativ gut in den Boden versickern kann. Dennoch kann es bei Starkregenereignissen zu einem verstärkten Oberflächenabfluss kommen. Über dem Festgestein, das hier aus geschiefertem Tonstein besteht, kann es zum horizontalen Abfluss von Bodensickerwasser kommen, wenn die Aufnahmekapazität der Klüfte und Schieferungsflächen erschöpft ist.

#### 5.5.4. Fläche BH 04

Flächengröße:	5 ha (50.000 m <sup>2</sup> )
aufgebrachte Menge:	1.376 t (→ 564 t TS) innerhalb von 2 Jahren (2004 - 2005) → 113 t/ha TS → 11,3 kg/m <sup>2</sup> TS
Konzentration PFT-Screening (Summe PFOS+PFOA)	10 µg PFT/kg TS
Beprobungstiefen und Bodenmenge	0,0-0,3 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup> * 0,3-0,6 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup>  Das beprobte Bodenvolumen beträgt 0,6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> bzw. 900 kg/m <sup>2</sup>
Im Boden gemessene PFT-Konzentrationen und Mengen	0,0-0,3 m: <10 µg/kg 0,3-0,6 m: <10 µg/kg  MH 04 (0,0-0,3 m): 19 µg/kg
Ergebnis	Eine Auswertung der Ergebnisse im Hinblick auf die noch im Boden vorhandene PFT Menge ist nicht möglich (<Bestimmungsgrenze).  Die untersuchte Probe MH 04 weist nur eine geringe PFT-Konzentration auf und liegt damit auf dem Niveau des PFT-Screening.

Flächenexposition	Hanglage, südexponiert, Gefälle ca. 20%.
Flächennutzung	Acker (Fichtenschonung, Weihnachtsbaumkultur)
Boden	sandig-lehmiger Schluff bis schluffiger Lehm mit hohem Skelettanteil (bis 20 % im Tiefenabschnitt 0,3 – 0,6 m), Festgestein zwischen 0,5 und 0,7 m
Geologie	Mitteldevon: Selscheider Schichten (eS), Tonstein, sandig, schluffig
Grundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit sehr geringer bis geringer Durchlässigkeit. Wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung. Die Trinkwassergewinnung ist nicht relevant.
Vorfluter	Westlich an der Fläche angrenzend verläuft ein kleines, namenloses Nebengewässer, das ca. 150 m nördlich der Fläche entspringt und bereits nach einer Lauflänge von ca. 400 m in den Obergraben mündet. der Obergraben ist ein künstlicher Nebenarm der Ruhr.

\* = Annahme 1,5 t/m<sup>3</sup> (bezogen auf Trockensubstanz)

Aufgrund des flachgründigen Bodens und der Hangneigung von bis zu 20% kann es bei stärkeren oder lang anhaltenden Niederschlägen von der Fläche zu verstärktem Oberflächenabfluss kommen. Ein Teil des Niederschlagswassers kann in die aufgelockerte Bodenzone versickern. Der Boden weist wasserstauende Merkmale im Tiefenabschnitt von etwa 0,6 m unter GOK auf. Dies deutet darauf hin, dass neben dem Oberflächenabfluss auch eine oberflächennahe Sickerwasserbewegung in Richtung Ruhr bzw. Obergraben zu erwarten ist. Hierdurch ist es möglich, dass mineralische Bodenbestandteile mit adsorbiertem PFT vergleichsweise rasch mit dem an der Oberfläche oder oberflächennah abfließendem Niederschlagswasser ausgewaschen und so in die Ruhr bzw. Obergraben eingetragen werden. Allerdings ist die im Rahmen der bisherigen Untersuchungen festgestellte PFT-Konzentration im Boden vergleichsweise gering.

### 5.5.5. Fläche BS 01

Flächengröße:	5,6 ha (56.000 m <sup>2</sup> )
aufgebrachte Menge:	112,63 t innerhalb von 3 Jahren (2004 – 2006) → 20 t/ha TS → 2 kg/m <sup>2</sup> TS
Konzentration PFT-Screening (Summe PFOS+PFOA)	600 µg PFT/kg TS
Beprobungstiefen und Bodenmenge	0,0-0,3 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup> * 0,3-0,6 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup> 0,6-1,0 m → 600 kg TS Boden/m <sup>2</sup>  Das beprobte Bodenvolumen beträgt 1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> bzw. 1.500 kg/m <sup>2</sup> TS
Im Boden gemessene PFT-Konzentrationen	0,0-0,3 m: < 10 µg/kg TS 0,3-0,6 m: < 10 µg/kg TS 0,6-1,0 m: < 10 µg/kg TS  MS 01 (0,0-0,1 m): 723 µg/kg TS
Ergebnis	Eine Auswertung der Ergebnisse im Hinblick auf die noch im Boden vorhandene PFT Menge ist nicht möglich (<Bestimmungsgrenze).  Die Probe MS 01 zeigt eine deutliche Belastung durch PFT.
Flächenexposition	Fläche ist nordexponiert mit einer flachen Neigung von ca. 2%.
Flächennutzung	Acker (Getreide)
Boden	schwach toniger Schluff, ab 0,6 m mittel toniger Schluff
Geologie	Quartär: Löß (> 1m) über Unterkreide: Alb und Cenoman (ce), Mergelstein und Kalkmergelstein, Kalkstein.
Grundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit mäßiger bis mittlerer Durchlässigkeit. Wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung. Die Trinkwassergewinnung ist nicht relevant.
Vorfluter	Große Dumecke: Quellbereich liegt östlich Drewer. Mündet nach ca. 3,5 km bei Beleck in die Möhne

\* = Annahme 1,5 t/m<sup>3</sup> (bezogen auf Trockensubstanz)

Aufgrund der geringen Neigung der Geländeoberfläche (2%) ist ein maßgeblicher oberflächlicher Abfluss des Niederschlagswassers nicht als relevant einzustufen. Der Lößboden weist eine hohe Feldkapazität auf, daher ist davon auszugehen, dass der größte Anteil des nicht verdunsteten Niederschlagswassers als Sickerwasser in den Boden eindringt. Somit ist am Standort eher von einer Mobilisierung der PFT aus dem Boden über den Bodensickerwasser- bzw. den Grundwasserpfad als über eine Abschwemmung an der Bodenoberfläche auszugehen.

### 5.5.6. Fläche BS 02

Flächengröße:	5,6 ha (56.000 m <sup>2</sup> )
aufgebrachte Menge:	120 t innerhalb von 3 Jahren (2004 – 2006) → 21,4 t/ha TS → 2,1 kg/m <sup>2</sup> TS
Konzentration PFT-Screening (Summe PFOS+PFOA)	205 µg PFT/kg TS
Beprobungstiefen und Bodenmenge	0,0-0,1 m → 150 kg TS Boden/m <sup>2</sup> * 0,1-0,3 m → 300 kg TS Boden/m <sup>2</sup> 0,3-0,6 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup>  Das beprobte Bodenvolumen beträgt 0,6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> bzw. 900 kg TS/m <sup>2</sup>
Im Boden gemessene PFT-Konzentrationen und Mengen	0,0-0,1 m: 189 µg/kg TS → 28.350 µg PFT/m <sup>2</sup> 0,1-0,3 m: 52 µg/kg TS → 15.600 µg PFT/m <sup>2</sup> 0,3-0,6 m: 39 µg/kg TS → 17.550 µg PFT/m <sup>2</sup>
Ergebnis	Die im oberflächennahen Boden festgestellten PFT-Konzentrationen liegen in der Größenordnung, wie sie auch beim PFT-Screening ermittelt wurden. Die PFT-Konzentration im Boden nimmt zur Tiefe hin deutlich ab.  Nach den Untersuchungsergebnissen beträgt die durchschnittliche PFT-Menge im Boden 61.500 µg PFT/m <sup>2</sup> (0,0-0,6 m). Bei einer Flächengröße von 56.000 m <sup>2</sup> ist derzeit von einer Gesamtmenge von 3,4 * 10 <sup>9</sup> µg PFT → etwa 3 kg auf der gesamten Fläche auszugehen.  Unter der Annahme, dass die gesamte Menge aufgebrachter PFT noch auf der Fläche vorhanden ist, müsste die PFT-Konzentration im Ausgangsprodukt (120 t TS) ca. 28.300 µg/kg TS betragen haben.
Flächenexposition	Hanglage mit einer Neigung von ca. 10%.
Flächennutzung	Grünland (Weide)
Boden	sandig-lehmiger Schluff (0,0 – 0,1 m), mittel toniger Schluff, Festgestein bei 0,5 bis 0,7 m
Geologie	Oberkarbon: Arnsberger Schichten (cnA), Ton- und Schluffstein, sandig, geschiefert.
Grundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit sehr geringer bis geringer Durchlässigkeit. Wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung. Die Trinkwassergewinnung ist nicht relevant.
Vorfluter	Silberbach: entspringt südwestlich der beprobten Fläche und mündet nach ca. 1,1 km in die Möhne. Im Verlauf des Silberbaches befinden sich nach der Topografischen Karte mehrere Fischteiche.  Östlich der Fläche entspringt ein weiteres, namenloses Nebengewässer, das nach ca. 1 km in den Silberbach mündet.  Die Fläche entwässert zu ca. 50 % in die beiden Oberflächengewässer.

\* = Annahme 1,5 t/m<sup>3</sup> (bezogen auf Trockensubstanz)



Die Fläche besitzt eine Muldenform, deren Flanken mit ca. 10% ein deutliches Gefälle aufweisen. Da es sich um eine dauerhaft bewachsene Fläche (Weide) handelt, ist nicht von einer nennenswerten Abschwemmung von Boden auszugehen. Das Festgestein, Ton- und Schluffstein der Arnsberger Schichten, steht unter einem geringmächtigen Bodenhorizont (0,5-0,7 m), der aus einem sandig-lehmigen Schluff besteht, an. Über dem Festgestein kann es zur Ansammlung von Stauwasser und einem damit verbundenen horizontalen Abfluss von Bodensickerwasser kommen. Die durchgeführten Sondierungen zur Probennahme zeigten auch in der Bodenzone wasserstauende Merkmale. Aufgrund des Bodenaufbaus kann es am Standort zu einem relevanten horizontalen Sickerwassertransport (Interflow) kommen.

### 5.5.7. Fläche BS 03

Flächengröße:	2,75 ha (27.500 m <sup>2</sup> )
aufgebrachte Menge:	54,1 t TS innerhalb von 3 Jahren (2004 – 2006) → 19,6 t/ha TS → 1,96 kg/m <sup>2</sup> TS
Konzentration PFT-Screening (Summe PFOS+PFOA)	222 µg PFT/kg TS
Beprobungstiefen und Bodenmenge	0,0-0,1 m → 150 kg TS Boden/m <sup>2</sup> * 0,1-0,3 m → 300 kg TS Boden/m <sup>2</sup> 0,3-0,6 m → 450 kg TS Boden/m <sup>2</sup> 0,6-1,0 m → 600 kg TS Boden/m <sup>2</sup>  Das beprobte Bodenvolumen beträgt 1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> bzw. 1.500 kg/m <sup>2</sup> TS
Im Boden gemessene PFT-Konzentrationen und Mengen	0,0-0,1 m: 200 µg/kg TS → 30.000 µg PFT/m <sup>2</sup> 0,1-0,3 m: 69 µg/kg TS → 20.700 µg PFT/m <sup>2</sup> 0,3-0,6 m: 26 µg/kg TS → 15.600 µg PFT/m <sup>2</sup> 0,6-1,0 m: <10 µg/kg TS
Ergebnis	Die im oberflächennahen Bodenhorizont (0,0-0,1 m) festgestellten PFT-Konzentrationen liegen in der Größenordnung, wie sie auch beim PFT-Screening ermittelt wurden.  Die PFT-Konzentration im Boden nimmt zur Tiefe hin deutlich ab. Im Tiefenabschnitt 0,6-1,0 m liegt die PFT-Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze.  Nach den Untersuchungsergebnissen beträgt die durchschnittliche PFT-Menge im Boden 66.300 µg PFT/m <sup>2</sup> (0,0-0,6 m). Bei einer Flächengröße von 27.500 m <sup>2</sup> ist derzeit von einer Gesamtmenge von 1,8 * 10 <sup>9</sup> µg PFT → etwa 2 kg auf der gesamten Fläche auszugehen.  Unter der Annahme, dass die gesamte Menge aufgebrachter PFT noch auf der Fläche vorhanden ist, müsste die PFT-Konzentration im Ausgangsprodukt (54,1 t TS) ca. 33.300 µg/kg TS betragen haben.
Flächenexposition	Kuppe im Hangbereich, Gefälle ca. 2%.
Flächennutzung	Grünland (Weide)

Boden	schwach toniger Schluff, ab 0,3 m stark toniger Schluff, Festgestein bei ca. 0,9 m
Geologie	Quartär: Löß (ca. 0,9 m) über Oberkreide: Lamarki- und Labiatusschichten (kt 1+2), Kalkstein und Kalkmergelstein.
Grundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit mäßiger bis mittlerer Durchlässigkeit. Wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung. Die Trinkwassergewinnung ist nicht relevant.
Vorfluter	Westerschledde, entspringt in zwei Quellbereichen westlich und östlich der Fläche, mündet nördlich Störmede in den Störmeder Bach

\* = Annahme 1,5 t/m<sup>3</sup> (bezogen auf Trockensubstanz)

Aufgrund der geringen Neigung der Geländeoberfläche (2%) ist ein maßgeblicher oberflächlicher Abfluss des Niederschlagswassers nicht als relevant einzustufen. Der Lößboden weist eine hohe Feldkapazität auf, daher ist davon auszugehen, dass der größte Anteil des nicht verdunsteten Niederschlagswassers als Sickerwasser in den Boden eindringt. Somit ist am Standort eher von einer Mobilisierung der PFT aus dem Boden über den Bodensickerwasser- bzw. den Grundwasserpfad als über eine Abschwemmung an der Bodenoberfläche auszugehen. Die Mächtigkeit des Lößbodens beträgt am Standort nur etwa 0,9 m, darunter folgen Kalk- und Kalkmergelsteine, die eine mäßige bis mittlere Durchlässigkeit aufweisen. Die Kalk- und Kalkmergelsteine sind geklüftet. Das in das Festgestein versickernde Bodenwasser bewegt sich in den Klüften. Oberflächennah ist das Festgestein häufig verwittert, wodurch die Klüfte durch die Verwitterungsprodukte verstopft sind. In diesen Fällen bildet die Oberkante des Festgesteins einen Stauhorizont, über dem sich Bodensickerwasser dem Gefälle folgend als Interflow horizontal bewegen kann.

### 5.5.8. Fläche BS 22

Flächengröße:	1 ha (10.047 m <sup>2</sup> )
aufgebrachte Menge:	16,27 t TS innerhalb von 3 Jahren (2001-2002; 2006) → 16,2 t/ha TS → 1,6 kg/m <sup>2</sup> TS
Konzentration PFT-Screening (Summe PFOS+PFOA)	<i>Fläche war nicht Bestandteil des Screenings.</i>
Beprobungstiefen und Bodenmenge	0,0-0,6 m → 900 kg TS Boden/m <sup>2</sup> * Das beprobte Bodenvolumen beträgt 0,6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> bzw. 900 kg/m <sup>2</sup> TS
Im Boden gemessene PFT-Konzentrationen und Mengen	0,0-0,6 m: 970 µg/kg TS → 873.000 µg PFT/m <sup>2</sup>

Ergebnis	<p>Mit PFT-Gehalten von annähernd 1.000 µg/kg TS stellt diese Fläche den am höchsten belasteten Standort der zusätzlich beprobten Standorte im Kreis Soest, Einzugsgebiet Silberbach, dar.</p> <p>Bei einer Flächengröße von 10.047 m<sup>2</sup> ist derzeit von einer Gesamtmenge von <math>8,77 \cdot 10^9</math> µg PFT → etwa 9 kg auf der gesamten Fläche auszugehen.</p> <p>Unter der Annahme, dass die gesamte Menge aufgebracht PFT noch auf der Fläche vorhanden ist, müsste die PFT-Konzentration im Ausgangsprodukt (16,27 t TS) ca. 539.093 µg/kg TS (→ 0,54 g/kg TS) betragen haben.</p>
Flächenexposition	Hanglage mit flacher Neigung
Flächennutzung	Acker (Mais)
Boden	<i>Probennahmeprotokoll liegt nicht vor.</i>
Geologie	Oberkarbon: Arnsberger Schichten (cnA), Ton- und Schluffstein, sandig, geschiefert.
Grundwasserleiter	Kluftgrundwasserleiter mit sehr geringer bis geringer Durchlässigkeit. Wasserwirtschaftlich von geringer Bedeutung. Die Trinkwassergewinnung ist nicht relevant.
Vorfluter	<p>Silberbach: verläuft westlich der beprobten Fläche und mündet nach ca. 500 m in die Möhne.</p> <p>Die Fläche entwässert in nordwestliche Richtung in den Silberbach.</p>

\* = Annahme 1,5 t/m<sup>3</sup> (bezogen auf Trockensubstanz)

Die Fläche ist flach in nordwestliche Richtung geneigt. Es handelt sich um eine Ackerfläche, auf der es in den Wintermonaten unter Umständen zu einer Abschwemmung von Boden kommen kann. Informationen über den Bodenaufbau liegen nicht vor. Da sich die Fläche aber in unmittelbarer Nähe zur Fläche BS 2 befindet, kann vermutet werden, dass hier vergleichbare Untergrundverhältnisse vorliegen.

### 5.5.9. Zusammenfassung Boden

In der Tabelle sind die zuvor dargelegten Ergebnisse zusammengefasst.

**Tabelle 8: Zusammenfassung Ergebnisse Boden**

Fläche	Größe [ha]	Beaufschlagte Menge		geschätzte PFT-Menge*	geschätzte Aus- gangskonzentra- tion Produkt
		[t TS]	[kg/m <sup>2</sup> TS]	[kg PFT]	[mg/kg TS]
BH 01	10,57	265,5	2,51	400	> 1.470
BH 02	12,3	152,6	1,23	3	> 18,3
BH 03	4	85,3	2,1	0,2	> 2,7
BH 04	5	564,1	11,3		n.a.
BH 05	2,76	107,14	3,9	1	> 11,9
BH 06	1,5	57,57	3,8	1	> 22,9
BH 07	3,5	233,36	6,7		n.a.
BH 08	3,89	87,22	2,2	0,5	> 6,1
BH 09	2,04	233,36	11,4	0,5	> 2,1
BS 01	5,6	112,6	2		n.a.
BS 02	5,6	120	2,1	3	> 28,3
BS 03	2,75	54,1	1,96	2	> 33,3
BS 04	1,09	29,57	2,71		n.a.
BS 05	1,02	6,64	0,65	0,02	> 3,2
BS 06	0,99	48,09	4,9	0,05	> 1,0
BS 07	0,53	26,1	4,9	0,02	> 7,1
BS 08	0,94	46,1	4,9	0,03	> 6,1
BS 09	0,24	11,91	4,9	0,06	> 4,7
BS 10	1,1	54,27	4,9	0,5	> 7,5
BS 11	0,22	23,49	10,7		n.a.
BS 12	0,18	1,06	0,59	0,01	> 6,5
BS 13	0,42	2,44	0,58	0,1	> 42,2
BS 14	0,61	14,23	2,33	0,5	> 34,7
BS 15	1,1	6,38	0,58	0,2	> 29,3
BS 16	0,63	24,94	4		n.a.
BS 17	0,38	9,35	2,46		n.a.
BS 18	1,01	37,2	3,7	2	> 46,6
BS 19	0,8	?	?	0,1	?
BS 20	1,01	2,67	0,26	1	> 278,3
BS 21	0,23	1,33	0,58	0,2	> 119,6
BS 22	1,0	16,27	1,63	10	> 539,1
BS 23	1,18	22,07	1,87		n.a.
BS 24	0,62	11,63	1,88		n.a.
BS 25	0,36	1,79	0,5		n.a.

Fortsetzung Tabelle 8: Zusammenfassung Ergebnisse Boden

Fläche	Größe [ha]	Beaufschlagte Menge		geschätzte PFT-Menge*	geschätzte Aus- gangskonzentra- tion Produkt
		[t TS]	[kg/m <sup>2</sup> TS]	[kg PFT]	[mg/kg TS]
BS 26	0,59	2,97	0,50		n.a.
BS 27	0,67	21,03	3,1	0,3	> 14,7
BS 28-Nord	1,14	41,82**	3,7	1,5	> 22,8
BS 28-Süd	1,14	41,82**	3,7	1	> 31,1
BS 29	0,87	36,43	4,2	0,5	> 6,9
BS 30	0,56	23,52	4,2	0,2	> 6,7
BS 31	0,43	18,01	4,2	0,2	> 11,6
BS 32	0,49	20,34	4,2	0,5	> 16,1
BS 33	0,41	11,06	2,7	0,1	> 6
BS 34	0,34	11,2	3,3	0,1	> 9,49
Summe	87,51	2895,36	---	430	---

n.a. = nicht auswertbar

\* Die aus den Untersuchungsergebnissen auf die jeweilige Fläche hochgerechneten PFT-Gesamt-mengen (Depots) sind als größenordnungsmäßige Angaben zu verstehen, da aufgrund kleinräumig teilweise stark schwankender PFT-Konzentrationen im Boden die Hochrechnungen mit entsprechen- den Unsicherheiten versehen sind.

\*\* Angegebene Beaufschlagungsmenge für den gesamten Acker: 83,64 t TS.

Die Größe der im Rahmen der Pilotuntersuchungen berücksichtigten Flächen liegt zwischen 0,18 ha und 12,3 ha. Die jeweils aufgebrauchten Mengen an Sekundärrohstoffdünger weisen eine große Spannweite auf. So wurden auf der ca. 5 ha großen Fläche BH 04 insgesamt 564 t aufgebracht. Dies entspricht einer Beaufschlagung von etwa 11,3 kg/m<sup>2</sup>. Auf BH 09 wurden 11,4 kg/m<sup>2</sup> Bioabfälle aufgetragen, auf BS 11 10,7 kg/m<sup>2</sup>. Die auf den übrigen Flächen verbreitete Beaufschlagungsmenge liegt bei 0,26 bis 6,7 kg/m<sup>2</sup>. Anhand der durchgeführten Bodenuntersuchungen kann abgeschätzt werden, dass sich auf den insgesamt 44 untersuchten Flächen ca. 430 kg PFT befinden, davon allein ca. 400 kg – und damit etwa 90 % – auf der inzwischen in Sanierung befindlichen Fläche BH 01.

Zurückgerechnet auf die insgesamt aufgebrauchte Menge (allein unter der Annahme, das sich alles eingetragene PFT noch auf den Flächen befindet) ergibt dies PFT-Ausgangskonzentrationen zwischen 1 mg/kg TS und ca. 1.470 mg/kg TS (1,47 g/kg).

Vor dem Hintergrund, dass in den Gewässern im Einzugsgebiet der Möhne und der oberen Ruhr z.T. sehr hohe PFT-Konzentrationen angetroffen werden, und insbesondere auch angesichts der hohen PFT-Konzentrationen im Langzeit-speicher Möhnensee im Sommer 2006, muss allerdings vermutet werden, dass zum Zeitpunkt dieser Untersuchungen ein zur Zeit nicht bezifferbarer Anteil PFT bereits aus den Flächen in die Gewässer ausgetragen worden ist.

Im Einzugsgebiet des Silberbach sollen die durchgeführten Untersuchungen (BS 04 - BS 34) alle beaufschlagten Flächen umfassen. Der Tabelle zufolge ist dort von einem Gesamtdepot von etwa 17 kg PFT auszugehen. Da auf Grünlandstandorten nur bis in eine Tiefe von 0,1 m beprobt wurde, jedoch auch unterhalb dieser Tiefe von bedeutsamen Konzentrationen auszugehen ist, dürfte das Gesamtdepot insgesamt etwas höher anzusetzen sein. Auf Grundlage der Ergebnisse aus den tiefendifferenzierten Beprobungen wird hier grob überschlägig von einem Gesamtdepot von etwa 25 kg PFT ausgegangen. Dieser Wert kann mit Betrachtungen zur PFT-Fracht im Silberbach in Beziehung gesetzt werden (vgl. Kapitel 5.6.2).

## **5.6. Auswertung der Daten aus dem Monitoring Oberflächenwasser**

### **5.6.1. Datengrundlage**

Das Gewässermonitoring dient seit seiner Einrichtung der Feststellung von Belastungsschwerpunkten und der Verfolgung der Konzentrations- und Frachtenentwicklung von PFT in den untersuchten Gewässern. Im Hinblick auf eine weitergehende Auswertung der Monitoringdaten waren folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Es wurden die Ergebnisse aller Proben nehmenden Stellen und Labore einbezogen. Neben den durch StUA Lippstadt/BR Arnsberg entnommenen Proben liegen für einige Messstellen und Stichtage beispielsweise auch Ergebnisse des Ruhrverbandes vor. Hier wurde jeweils der Mittelwert aus beiden Ergebnissen gebildet und in die Auswertungen einbezogen.

- An den Messstellen WH 1, WH 2, WS 2 und WS 3 wurde erstmalig am 11.09.2006 der Abfluss direkt gemessen. Bis zu diesem Zeitpunkt beruhten die entsprechenden Angaben auf Berechnungen, die zu teilweise unplausiblen Ergebnissen führten. Für diese Messstellen werden daher die Frachtdaten vor dem 11.09.2006 nicht mit in die Auswertungen einbezogen.
- Die Messstelle WH 3 (Möhne, Wasserwerk Möhnebogen) befindet sich unterhalb der Möhnetalsperre. Die dort ermittelten PFT-Frachten werden somit maßgeblich durch den Einfluss der Talsperre auf das Abflussregime geprägt. Dieser Sachverhalt ist nicht Gegenstand des vorliegenden Gutachtens, so dass die WH3-Daten nicht in die Auswertungen mit einbezogen werden. Alle Auswertungsergebnisse und Aussagen zur Möhne beziehen sich daher auf den Gewässerabschnitt oberhalb der Talsperre.
- An der Messstelle WS 1 (Möhne, Kreisgrenze HSK/SO) wurde erstmalig am 29.01.2007 der Abfluss direkt gemessen. Bis zu diesem Zeitpunkt war der Abfluss aus den Messungen an der Messstelle WH 1 errechnet worden. Diese Berechnung führte zu einer Unterschätzung des Abflusses. In der Zusammenschau der Frachten kam es dadurch zu Unplausibilitäten. Ab dem 23.10.2006 lagen die Frachten an WS 1 fast immer z. T. deutlich unterhalb der Frachten an WH 2 (Steinbecke) und/oder WS 4 (Möhne, Völlinghausen). Ein Vergleich der berechneten und der vor Ort ermittelten Abflussmengen der Stichtage 29.01.2007, 12.02., 26.02. und 12.03.2007 ergibt, dass der tatsächliche Abfluss um den Faktor 1,3 bis 1,4 über den berechneten Werten liegt. Eine entsprechende Anhebung der Werte vor dem 29.01. um einen solchen Faktor erscheint allerdings nicht angebracht, da die Abweichung zwischen den Frachten an WS 1 und WH2 meist deutlich größer ausfällt (Faktor 1,6-4,1). Den vorliegenden Daten zufolge fanden sich somit z. T. nur etwa 25 % der PFT-Fracht aus der Steinbecke in der Möhne wieder. Diese Ungeklärtheit konnte noch nicht ausgeräumt werden. Die Frachtdaten der Messstelle WS 1 werden somit nicht in die Auswertungen mit einbezogen.

- Die Messstellen WS 2 (Silberbach) und WH9 (Bermecke) wurden im Verlauf des Monitorings etwas verlegt. Die Bermecke entwässert durch den Zufluss Kloßsiepen zu einem Teil die Hochbelastungsfläche in Brilon-Scharfenberg. Die auf diesem Weg in die Möhne gelangende PFT-Fracht wird erst seit März 2007 korrekt erfasst.
- Die Abflussmengen an den Messstellen WH 4, WH 5, WH 6 und WH 7 (alle im Einzugsgebiet der oberen Ruhr, oberhalb der Henne-Einmündung) wurden und werden nicht gemessen, sondern berechnet. Die ermittelten PFT-Frachten unterliegen somit einer erhöhten Unsicherheit.
- Zwischen den einzelnen beteiligten Laboren kommt es zu nicht unerheblichen Abweichungen bei der Bestimmung der PFT-Konzentrationen (vgl. Anlage 18).

Die in diesem Kapitel dargestellten Aspekte veranlassen zu folgendem **Hinweis**:

Aufgrund der Unsicherheiten bei der Bestimmung der Abflussmengen und der PFT-Konzentrationen dürfen somit nicht Einzeldaten bewertet werden, sondern lediglich Wertereihen und ihre Tendenzen. Im Vergleich von Messwerten verschiedener Labore sind die erkannten Abweichungen zu berücksichtigen. Sinnvolle Auswertungsgrundlage können nur Untersuchungsreihen und daraus abgeleitete Frachthochrechnungen sein, die ebenfalls nicht überinterpretiert werden dürfen.

#### **5.6.2. Frachtenvergleich bis Beginn der Sanierung in Brilon-Scharfenberg**

Zum Abgleich der PFT-Frachten in Ruhr, Möhne und überwachten Zuflüssen und Identifizierung etwaiger bisher unbekannter Zutritte wurden die Frachten der einzelnen Messstellen auf den Zeitraum 11.09.2006-22.01.2007 hochgerechnet. Als Startdatum wurde der 11.09.2006 gewählt, da für die vorangehenden Messungen (26.07.-28.08.2006) an den Messstellen WH 1, WH 2, WS 2 und WS 3 der jeweilige Abfluss berechnet worden war, später jedoch als unrealistisch erkannt und ab dem 11.09.2006 gemessen wurde (vgl. Kapitel 5.6.1). Als Enddatum wurde der 22.01.2007 gewählt, um zunächst einen Überblick zur Frachten-



situation vor Beginn der Sanierung von Fläche BH 1 in Brilon-Scharfenberg zu gewinnen.

Je nach Messstelle liegen für den genannten Zeitraum (130 Tage) zwischen vier (WH 4) und 27 (WS 4) Frachtwerte vor (Mittelwert: 11 Werte). Als Basis der Frachtenhochrechnung stellt sich die Datenlage somit recht heterogen dar. Gemäß dem Monitoringleitfaden Oberflächengewässer (MUNLV 2007) ist bei einer solchen Datenlage die (durch fehlende Tagesfrachten unvollständige) Transportsumme an einer Messstelle durch die Anzahl der Messwerte (Tagesfrachten) zu dividieren und mit der Anzahl der Tage des gewählten Zeitraums zu multiplizieren:

$$\text{Hochgerechnete Fracht 11.09.06 – 22.01.07 (130 Tage)} = \frac{\sum \text{Tagesfrachten}}{\text{Anzahl Messwerte}} * 130 \text{ Tage}$$

Die Anlagen 16 und 17 zeigen das Ergebnis in Form von Systembildern im Überblick. Zwecks besseren Frachtenabgleichs werden darin auch die hochgerechneten Frachten einzelner Messstellen summiert. Für die Messstelle WS 1 ist zwar auch die hochgerechnete Fracht eingetragen. Aufgrund der mangelnden Plausibilität bzw. offenbar fehlerhaften Abflussberechnung wird der aufgeführte Wert jedoch nicht in die Auswertungen mit einbezogen.

Im Einzelnen lassen sich aus den Anlagen 16 und 17 folgende Aussagen ableiten, wobei die genannten Frachten als ungefähre Werte zu betrachten sind.

## **MÖHNE**

- Die höchste hochgerechnete Fracht aus einem überwachten Zufluss von Ruhr und Möhne gelangt mit fast 22 kg PFT aus der Steinbecke in das Gewässersystem.
- Im Vergleich der hochgerechneten Frachten hat der Eintrag aus der Steinbecke (WH 2) rechnerisch einen Anteil von 75 % an der Fracht am Pegel Völlinghausen (WS 4), die auf etwa 29 kg hochgerechnet wird. Bei Einbeziehung laborbedingter Einflüsse ist von einem geringeren Anteil der Steinbecke auszugehen, der schätzungsweise bei etwa 60 % liegen dürfte. Insgesamt ist hier allerdings zusätzlich die eingeschränkte

Verlässlichkeit der Abflussmessungen an der Steinbecke zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 5.6.1).

- Die Steinbecke stellte bis zum Beginn der Sanierung den Hauptvorfluter der Hochbelastungsfläche in Brilon-Scharfenberg dar (Nordteil der Fläche). Zusätzlich entwässert die Fläche über den Bach Kloßsiepen, der in die Bermecke mündet (Südteil der Fläche). Da die über diesen Zufluss in die Möhne gelangende PFT-Fracht erst seit März 2007 korrekt erfasst wird, zu diesem Zeitpunkt allerdings bereits die Sanierung des in die Steinbecke entwässernden Flächenteils lief, ist eine Abschätzung der Gesamtfracht aus dieser Fläche in die Möhne nur behelfsweise möglich. Für die Stichtage 26.03., 10.04. und 23.04.2007 liegen Frachtangaben für die Steinbecke, die Bermecke und den Zulauf zur Behandlungsanlage auf dem Nordteil der Fläche vor. Aus den Daten lässt sich abschätzen, dass an diesen drei Stichtagen im Mittel 80 % des durch die Frachtbestimmungen erfassten PFT-Austrags aus der Fläche in die Steinbecke und die Behandlungsanlage und 20 % in die Bermecke gelangten. Diese Aussage gilt allerdings nur, falls die Bermecke nicht noch aus anderen PFT-Quellen gespeist wird.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass die Hochbelastungsfläche in Brilon-Scharfenberg bis zum Beginn ihrer Sanierung vermutlich mehr als die oben genannten 60 % der PFT-Belastung der Möhne verursachte. Auf Grundlage der behelfsweise durchgeführten Abschätzung ist ein Anteil von etwa drei Viertel zu vermuten.

- Die Summe der für den betrachteten Zeitraum hochgerechneten Frachten der Möhnezuflüsse und der Möhne oberhalb der betrachteten Zuflüsse (WH 1, WH 2, WH 9, WS 2(n), WS 3 = "Summe oberhalb Talsperre") beträgt oberhalb Völlinghausen (WS 4) etwa 25 kg PFT und kann somit die Fracht am Pegel Völlinghausen (ca. 29 kg) nicht vollständig erklären. Dies gilt insbesondere auch deshalb, da aufgrund laborbedingter Einflüsse diese Differenz in Wirklichkeit noch größer sein dürfte.

- Diese Anteile sollten zwar aufgrund der erheblichen Unsicherheiten bei der Frachtenhochrechnung und hinsichtlich der Laboreinflüsse nicht zu genau genommen werden. Allerdings stellen sie Hinweise darauf dar, dass im Einzugsgebiet der Möhne neben den bereits bekannten Belastungsquellen (insbesondere dem in Sanierung befindlichen Maisacker in Brilon-Scharfenberg) weitere PFT-Quellen von allerdings untergeordneter Bedeutung vorhanden sind.

## **RUHR OBERLAUF**

- Die Summe der hochgerechneten Frachten der Ruhrzuflüsse und der Ruhr oberhalb der betrachteten Zuflüsse im betrachteten Zeitraum beträgt oberhalb des Hennezufusses (WH 4, WH 5, WH 6) etwa 12 kg und kann damit die hochgerechnete Fracht an der Messstelle WH 7 (Ruhr, WW Mengesohl) von etwa 13 kg nicht vollständig erklären. Dies deutet darauf hin, dass es neben den in diesem Gebiet bereits erkannten PFT-Quellen Elpe und Nierbach eine oder mehrere weitere, kleinere PFT-Quellen gibt. Sondermessungen am 04.12.2006 ergaben auch entsprechende Hinweise auf Einträge im Bereich Meschede, ober- und unterhalb des Sondermesspunktes WH 13 (Ruhr oberhalb Fa. Busch). Hier sind bereits weitere Untersuchungen im Gang.
- Die für die Ruhr kurz oberhalb der Möhne-Einmündung (WH 8) hochgerechnete PFT-Fracht beträgt 16 kg und liegt damit oberhalb der Fracht am WW Mengesohl (WH 7), die auf etwa 13 kg berechnet wurde. Demnach müssten im betrachteten Zeitraum einige kg PFT aus anderen Quellen unterhalb der Henne-Einmündung in die Ruhr gelangt sein. Auch hier ist aufgrund laborbedingter Einflüsse anzunehmen, dass diese Differenz in Wirklichkeit noch größer sein dürfte.

## **RUHR MITTEL- UND UNTERLAUF**

- Die Summe der hochgerechneten PFT-Frachten aus der oberen Ruhr und der Möhne (WH 3 und WH 8) für den betrachteten Zeitraum beträgt etwa 39 kg. Für die mittlere Ruhr in Echthausen (WS 12) wurden etwa 37 kg errechnet. Diese Werte stimmen relativ gut überein.

- Wird die hochgerechnete Fracht an WS 4 (Möhne, Pegel Völlinghausen) zur hochgerechneten Fracht an WH 8 (Ruhr oberhalb Einmündung Möhne) addiert, so verlassen im Betrachtungszeitraum etwa 45 kg das Flusssystem, an denen die Möhne einen Anteil von etwa zwei Drittel hat.
- Im weiteren Verlauf der Ruhr schwanken die hochgerechneten PFT-Frachten von etwa 31 kg in Schwerte (WU 20) über etwa 32 kg in Witten (WE 20) bis zu etwa 35 kg in Mülheim (WM 20). Hinsichtlich der Vorgehensweise zur Ermittlung des Abflusses liegen lediglich für WU 20 Angaben vor: Für diese Messstelle wurden im betrachteten Zeitraum alle Abflusswerte errechnet, nicht gemessen. Es ist zu vermuten, dass die Schwankungen der PFT-Frachten entlang des Flusses mit Fehlern bei der Abflussberechnung zusammenhängen. Hinweise auf bisher nicht erkannte erhebliche PFT-Einträge in diesem Gewässerabschnitt liegen nicht vor.

Die hier für den Zeitraum 11.09.2006-22.01.2007 vorgenommene Betrachtung der hochgerechneten Frachten auch für den Zeitraum 29.01.2007-12.03.2007 (= erster folgender Stichtag bis zum bislang letzten Stichtag mit vorliegenden Messwerten) vorzunehmen, ist nicht sinnvoll. Für die meisten Messstellen liegen in diesem Intervall lediglich vier Werte vor. Dies stellt keine verlässliche Grundlage einer Hochrechnung dar. Allerdings ist festzuhalten, dass die PFT-Konzentration in der Möhne am Pegel Völlinghausen – im Gegensatz zur Situation an den meisten Messterminen vor Beginn der Sanierung – am 29.01.2007 zwar noch oberhalb, in den drei Messungen ab 12.02.2007 jedoch unterhalb des Trinkwasserleitwertes von 300 ng/l lag. Zur Erfolgskontrolle der Sanierungsmaßnahme in Brilon-Scharfenberg wird derzeit ein eigenständiges Monitoring eingerichtet (Auftraggeber: Hochsauerlandkreis).

Im Einzugsgebiet des Silberbachs ist von einem PFT-Depot von größenordnungsmäßig etwa 25 kg auszugehen (vgl. Kapitel 5.5.9). Den hochgerechneten Frachten zufolge kam es im Betrachtungszeitraum zu einem Austrag von knapp 1 kg PFT, bei Bereinigung von Laboreinflüssen möglicherweise etwas weniger. Dieses Verhältnis zwischen Depot und Fracht erscheint – auch im Hinblick auf

daraus grob überschlägig ableitbare Austragszeiträume – von der Größenordnung her realistisch.

### **Fazit**

- An der **PFT-Gesamtbelastung** hat die Möhne – bei Vernachlässigung der Effekte, die durch die Möhnetalsperre entstehen – einen Anteil von etwa zwei Dritteln, die obere Ruhr einen Anteil von etwa einem Drittel.
- Die PFT-Einträge aus der Hochbelastungsfläche in **Brilon-Scharfenberg** in die Möhne vor Beginn der Sanierung machen größenordnungsmäßig vermutlich etwa drei Viertel aus. Über die sonstigen bekannten PFT-Zutritte hinaus sind vermutlich weitere Zuflüsse von allerdings untergeordneter Bedeutung vorhanden.
- In der **oberen Ruhr** sind für Teile der PFT-Fracht die Eintragswege bislang unbekannt und müssen unterhalb des WW Mengesohl in Meschede liegen.
- Für die **mittlere und untere Ruhr** sind für die im Flussverlauf schwankenden PFT-Frachten derzeit Probleme bei der Abflussbestimmung zu vermuten. Hinweise auf erhebliche PFT-Einträge liegen hier nicht vor.
- Auch nach Sanierung in Brilon-Scharfenberg wird ein erheblicher Anteil der **PFT-Gesamtbelastung** in Möhne und Ruhr bestehen bleiben, wobei die Sanierung allerdings zu einer deutlichen Begrenzung der aktuellen PFT-Problematik in den Gewässern führen dürfte.
- Insgesamt sollte der **Laborproblematik** weiter nachgegangen und versucht werden, eine Standardisierung der Analytik zu erreichen.

#### **5.6.3. Niederschlagsbedingte Mobilisierung**

Aus der Prüfung der Zusammenhänge zwischen PFT-Frachten bzw. -Konzentrationen an den einzelnen Messstellen und der Witterung können weitere Anhaltspunkte zur Beschreibung der Gesamtsituation gewonnen werden. Vor allem an der Steinbecke machte das Gewässermonitoring schnell deutlich, dass mit zunehmenden Niederschlägen nicht nur die PFT-Fracht, sondern auch die Kon-

zentration ansteigt. Mit erhöhtem Abfluss ging dort (bis Beginn der Sanierung) eine erhöhte Mobilisierung einher. In diesem Zusammenhang stellen sich insbesondere zwei Fragen:

- Bestehen auch an anderen Messstellen erkennbare Zusammenhänge zwischen Niederschlagshöhen und PFT-Frachten sowie -Konzentrationen im Oberflächenwasser?
- Welche zeitlichen Zusammenhänge zwischen Niederschlägen und Frachten bzw. Konzentrationsverlauf im Oberflächenwasser sind ggf. feststellbar, und wie unterscheiden sich die Einzugsgebiete der einzelnen Messstellen diesbezüglich?

Da PFOS an den meisten Messstellen nur selten nachweisbar war, beschränken sich die Auswertungen zunächst auf PFOA.

Bei PFOA-Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde für die konzentrationsbezogenen Auswertungen ein Wert in Höhe der halben Bestimmungsgrenze, für die frachtenbezogenen Auswertungen ein Wert von 0 g/d angesetzt.

Um die Auswertungen zwischen den einzelnen Messstellen vergleichbar zu halten, wurde für alle Messstellen der Zeitraum 11.09.2006-22.01.2007 herangezogen. Berücksichtigt wurden die 14-täglichen Messtermine, an denen für alle relevanten Messstellen eine Probennahme erfolgte. Als "relevante" Messstellen werden hierbei jene an Möhne oberhalb Talsperre und oberer Ruhr angesehen. Die Verhältnisse in der unteren und mittleren Ruhr erscheinen im Hinblick auf die genannten Fragestellungen nicht von Interesse. Für die meisten relevanten Messstellen liegen Ergebnisse aus zehn Messungen vor (Ausnahmen: WH 9, Bermecke: neun Messungen).

Für WH 4 (Ruhr Nullmessung) wurden an nur vier Messterminen innerhalb des Betrachtungszeitraums PFOA-Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen. Da sich mit vier realen Messwerten ansatzweise verlässliche statistische Auswertungen nicht durchführen lassen, wurde diese Messstelle nicht mit einbezogen. Für einzelne Messstellen liegen zwar mehr Messergebnisse vor. Diese wurden jedoch nicht mit einbezogen, um die berücksichtigten Witterungseinflüsse und die Datenbasis insgesamt für alle Messstellen zwecks besserer Vergleichbarkeit der Ergebnisse identisch zu halten.

Hinsichtlich der Niederschlagsdaten wurde auf die Messwerte der Station "Warstein (Steinbruch)" zurückgegriffen (LANUV 2007). Diese liegt im östlichen Zentrum der relevanten Messstellen. Ihre Entfernung zu Messstellen beträgt z. B.: zu WH 2 (Steinbecke): ca. 12 km; zu WS 2 bzw. WS 3 (Silberbach bzw. Küttelbecke): ca. 6 km; zu WH 5 (Elpe): ca. 10 km; zu WH 8 (Ruhr oberhalb Möhнемündung): ca. 27 km. Aufgrund dieser Entfernungen ist es zwar denkbar, dass bei lokal sehr stark eingegrenzten Niederschlagsereignissen im Raum Warstein kein Zusammenhang mit dem Abflussgeschehen der betrachteten Gewässer besteht. Bei solchen Ereignissen handelt es sich in der Regel jedoch um sommerliche Starkregen, die im gewählten Betrachtungszeitraum kaum von Bedeutung sein dürften.

Die Niederschlagsdaten wurden für unterschiedliche Zeiträume vor den jeweiligen Messterminen summiert: drei, fünf, sieben, zehn und zwanzig Tage. Nicht berücksichtigt wurde der Niederschlag am Stichtag selbst. Für den Stichtag 20.11.2006 beispielsweise wurden die Niederschlagssummen folgender Zeiträume einbezogen: 17.11.-19.11.; 15.11.-19.11.; 13.11.-19.11.; 10.11.-19.11.; 31.10.-19.11..

Tabelle 9 zeigt zunächst die Zusammenhänge zwischen Niederschlags- und Abflusshöhen. Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,4$  werden hier als "signifikant" eingestuft.

**Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und Abflüssen (11.09.2006-22.01.2007)**

EZG	PNS	Lage	Niederschlag summiert über ...				
			3 Tage	5 Tage	7 Tage	10 Tage	20 Tage
Möhne	W H 1	Möhne Nullmessung	-0,04	0,66	0,62	0,59	0,65
	W H 9	Bermecke	0,04	0,75	0,78	0,72	0,79
	W H 2	Steinbecke	0,58	0,81	0,79	0,68	0,48
	W S 1	Möhne uh Steinbecke	-0,05	0,68	0,62	0,61	0,65
	W S 2	Silberbach	0,26	0,77	0,74	0,61	0,52
	W S 3	Küttelbecke	0,19	0,81	0,75	0,64	0,54
	W S 4	Völlinghausen	0,29	0,80	0,81	0,74	0,62
obere Ruhr	W H 5	Elpe	0,48	0,80	0,81	0,73	0,48
	W H 6	Nierbach	0,48	0,80	0,81	0,73	0,48
	W H 7	Ruhr oh Henne	0,28	0,75	0,81	0,78	0,64
	W H 8	Ruhr oh Einl Möhne	0,37	0,81	0,85	0,77	0,53

Die Tabelle lässt Folgendes erkennen:

- Die Abflusshöhe an allen Gewässern/-abschnitten zeigt starke Zusammenhänge mit der Niederschlagshöhe.
- Steinbecke, Elpe und Nierbach zeigen bereits signifikante Zusammenhänge mit der Niederschlagssumme über drei Tage.
- Der Abfluss an allen Messtellen korreliert signifikant mit den Niederschlägen über fünf, sieben, zehn und zwanzig Tage.
- Die größten Zusammenhänge ergeben sich in Bezug auf die Niederschlagssummen über fünf und über sieben Tage.

Tabelle 10 führt die Zusammenhänge zwischen Niederschlagshöhen und PFOA-Frachten auf. Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,4$  sind rot markiert.

**Tabelle 10: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und PFOA-Frachten (11.09.2006-22.01.2007)**

EZG	PNS	Lage	Niederschlag summiert über ...				
			3 Tage	5 Tage	7 Tage	10 Tage	20 Tage
Möhne	W H 1	Möhne Nullmessung	0,17	0,61	0,68	0,46	0,38
	W H 9	Bermecke	0,09	0,68	0,77	0,67	0,77
	W H 2	Steinbecke	0,64	0,73	0,82	0,71	0,49
	W S 1	Möhne uh Steinbecke	0,20	0,72	0,78	0,76	0,67
	W S 2	Silberbach	-0,08	0,67	0,63	0,52	0,51
	W S 3	Küttelbecke	0,04	0,78	0,69	0,57	0,48
	W S 4	Völlinghausen	0,35	0,76	0,84	0,73	0,60
obere Ruhr	W H 5	Elpe	0,57	0,82	0,77	0,65	0,51
	W H 6	Nierbach	0,44	0,79	0,84	0,75	0,49
	W H 7	Ruhr oh Henne	0,26	0,66	0,78	0,74	0,64
	W H 8	Ruhr oh Einl Möhne	0,28	0,52	0,71	0,80	0,65

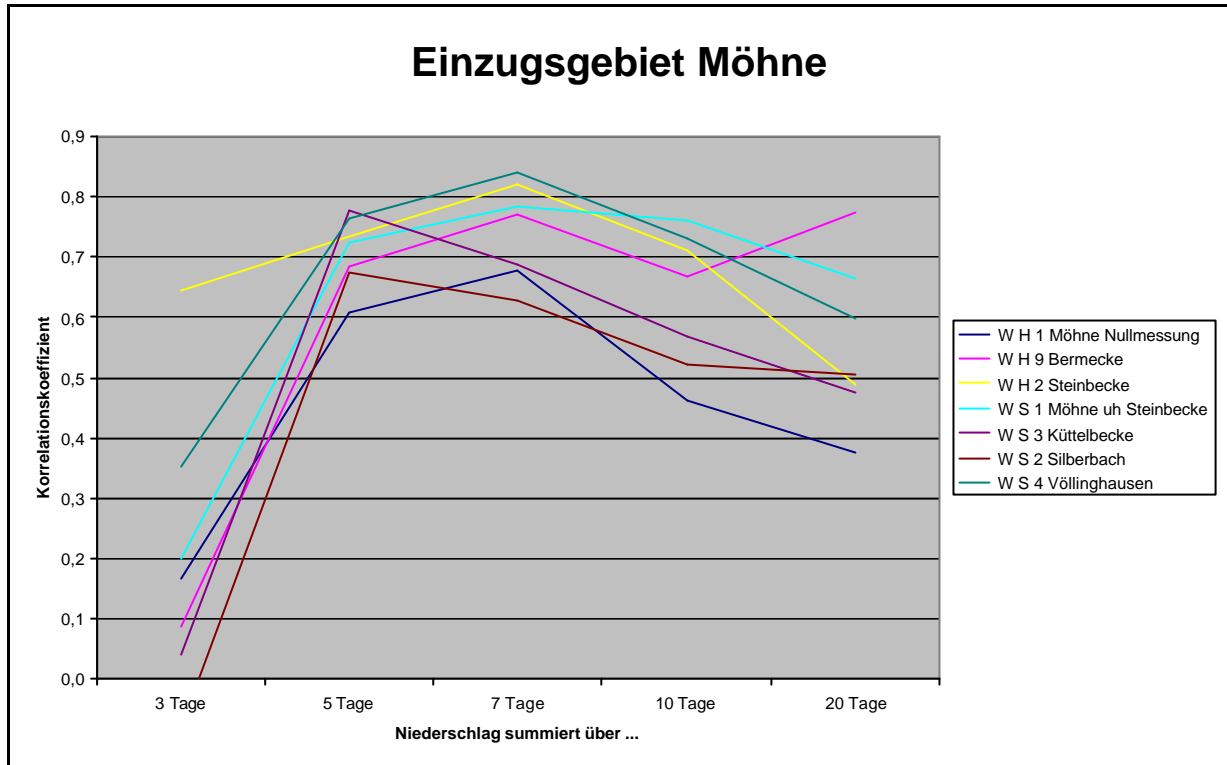
Aus der Tabelle geht hervor, dass

- die PFOA-Frachten an allen Messstellen mit zunehmenden Niederschlägen ansteigen;
- sich die größten Zusammenhänge der PFOA-Fracht überwiegend mit der 7-Tagessumme ergeben und hier überwiegend hochsignifikante Korrelationen bestehen;
- bei Steinbecke, Elpe und Nierbach schon hinsichtlich der 3-Tagessumme signifikante Zusammenhänge erkennbar sind;
- insgesamt eine große Ähnlichkeit der Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlägen und PFOA-Frachten mit denjenigen zwischen Niederschlägen und Abflüssen (Tabelle 9) besteht.

Für die Messstellen im Einzugsgebiet der Möhne oberhalb Talsperre veranschaulicht Abbildung 4 die Charakteristik der Zusammenhänge.



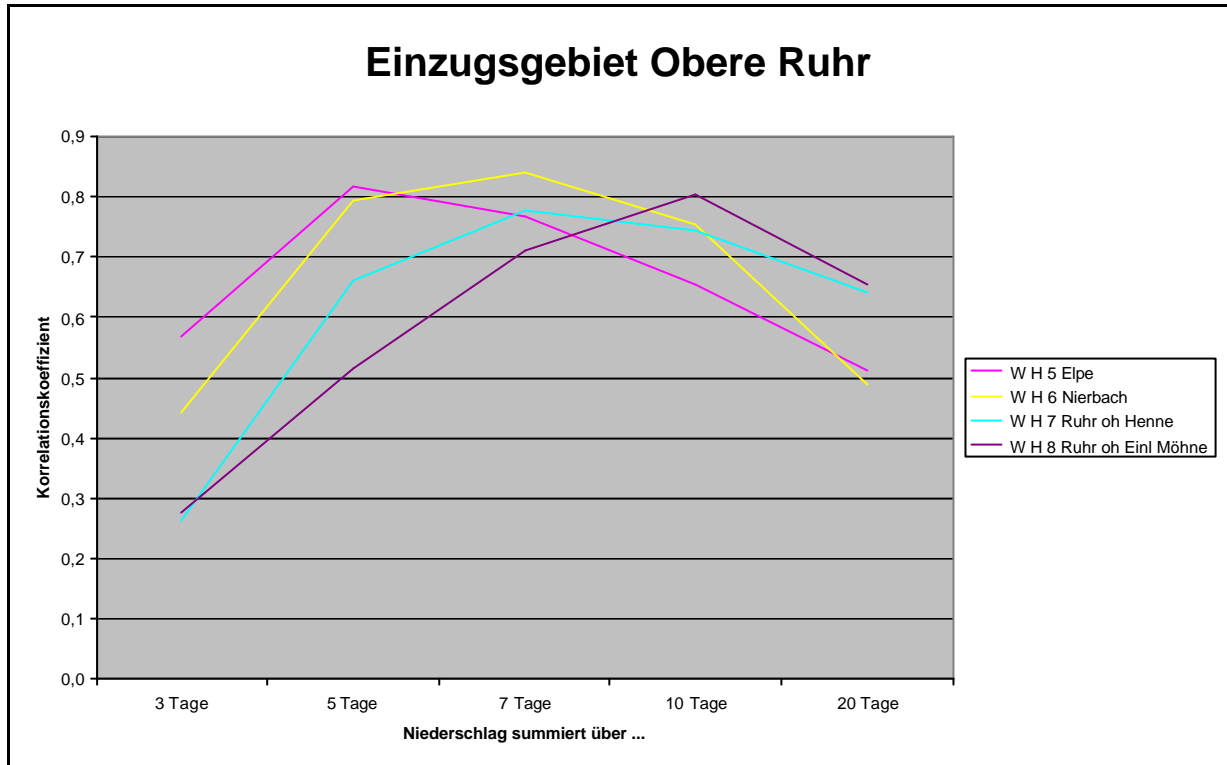
Abbildung 4: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und PFOA-Frachten (Möhne, 11.09.2006-22.01.2007)



An allen Messstellen mit Ausnahme von WH 2 (Steinbecke) ist bei steigenden Niederschlägen in den drei Tagen vor Probennahme noch kein signifikanter Anstieg der PFOA-Fracht zu erkennen. Dies bestätigt die besondere Situation an der Steinbecke mit ihrer sehr schnellen Reaktion auf Witterungseinflüsse.

Abbildung 5 veranschaulicht die Zusammenhänge für das Einzugsgebiet der oberen Ruhr.

Abbildung 5: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und PFOA-Frachten (obere Ruhr, 11.09.2006-22.01.2007)



Es wird noch einmal deutlich, dass Elpe und Nierbach die höchsten sowie am frühesten auftretenden Zusammenhänge zwischen PFOA-Fracht und Niederschlägen zeigen.

Die dargestellten Zusammenhänge bestätigen die Kenntnisse zur guten Löslichkeit von PFT. Das in den Böden vorhandene PFOA reagiert überall innerhalb weniger Tage auf Niederschläge und wird verstärkt ausgewaschen. Von besonderem Interesse ist allerdings die Frage, ob es, wie in der Steinbecke, auch in anderen Gewässern bzw. Gewässerabschnitten zu einer signifikanten und kurzfristigen Erhöhung der PFOA-Konzentrationen kommt. Dies würde auf eine oder mehrere PFT-Quellen in unmittelbarer Nähe zu der jeweiligen Messstelle hindeuten.

Tabelle 11 führt die Zusammenhänge zwischen Niederschlags- und PFOA-Konzentrationshöhen auf. Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,4$  sind wieder rot markiert.

**Tabelle 11: Korrelationskoeffizienten zwischen Niederschlagssummen und PFOA-Konzentrationen (11.09.2006-22.01.2007)**

EZG	PNS	Lage	Niederschlag summiert über ...				
			3 Tage	5 Tage	7 Tage	10 Tage	20 Tage
Möhne	W H 1	Möhne Nullmessung	0,33	0,08	0,25	-0,03	-0,09
	W H 9	Bermecke	-0,46	-0,47	-0,58	-0,54	-0,66
	W H 2	Steinbecke	0,26	0,23	0,43	0,44	0,43
	W S 1	Möhne uh Steinbecke	0,38	0,31	0,43	0,58	0,44
	W S 2	Silberbach	-0,31	0,32	0,29	0,18	0,37
	W S 3	Küttelbecke	0,22	0,79	0,71	0,52	0,41
	W S 4	Völlinghausen	0,43	0,50	0,68	0,62	0,59
obere Ruhr	W H 5	Elpe	0,06	0,08	0,05	0,07	0,56
	W H 6	Nierbach	-0,30	-0,22	-0,27	-0,18	0,01
	W H 7	Ruhr oh Henne	-0,14	-0,42	-0,19	-0,16	0,22
	W H 8	Ruhr oh Einl Möhne	0,14	0,09	0,35	0,54	0,55

Die Tabelle macht deutlich, dass im Einzugsgebiet der **Möhne**

- signifikante Zusammenhänge zwischen Niederschlagsgeschehen und PFOA-Konzentrationshöhe schon im Hinblick auf die Niederschlagssumme über drei Tage am Pegel Völlinghausen auftreten. Es wird also PFT in auffälligem Maße mobilisiert. Dies kann neben dem in Kapitel 5.6.2 durchgeführten Frachtenabgleich als weiteres Indiz dafür gewertet werden, dass in direkter Nähe PFT-Einträge stattfinden.<sup>5</sup>
- in der Küttelbecke mit geringem Verzug starke Zusammenhänge zwischen Niederschlägen und PFOA-Konzentrationen entstehen, die auf eine oder mehrere nahe zum Vorfluter gelegene PFT-Quelle(n) hindeuten.
- in der Bermecke mit steigenden Niederschlägen niedrigere PFOA-Konzentrationen auftreten und es somit zu einer Verdünnung kommt. Es wird also zwar PFT mobilisiert (steigende Frachten, vgl. Tabelle 10), aber in unterproportionalem Ausmaß.

<sup>5</sup> Weitere Untersuchungen des Ruhrverbandes und des Kreises Soest ergaben allerdings keine Hinweise auf relevante Einträge.

Für das Einzugsgebiet der **oberen Ruhr** geht aus der Tabelle hervor, dass

- in der Elpe neben den unmittelbar ansteigenden Frachten (vgl. Tabelle 10) mit erheblicher Verzögerung bei zunehmenden Niederschlägen auch steigende PFOA-Konzentrationen auftreten.
- im Nierbach eine überproportionale PFT-Mobilisierung nicht erkennbar ist.
- ein schwacher Hinweis auf eine Zunahme der PFOA-Konzentrationen bei steigenden Niederschlägen auch für die Ruhr an der Messstelle WH 4 (Nullmessung) vorliegt, der allerdings einen Scheinzusammenhang darstellen könnte.
- in der Ruhr oberhalb der Möhнемündung (WH8) bei Einbeziehung der 10- und 20-Tagessummen der Niederschläge offenbar Konzentrationszunahmen auftreten. Dies deutet auf PFT-Quellen in nicht unmittelbarer Umgebung hin.

Zusammenfassend ergeben diese Auswertungen Anhaltspunkte auf unmittelbar gewässerrelevante PFT-Quellen (neben der Steinbecke) für das Einzugsgebiet von Küttelbecke, Elpe und Nierbach. Die neben der Steinbecke auch für Küttelbecke und Elpe erkennbare Erhöhung nicht nur der Frachten, sondern – zeitlich verzögert – auch der Konzentrationen könnte darauf hindeuten, dass insbesondere in den Einzugsgebieten der dortigen Messstellen eine oder mehrere nahe am Vorfluter gelegene PFT-Quellen einen hohen Anteil am jeweiligen Zustrom haben.

Insgesamt wird die Einschätzung der besonderen Relevanz von Elpe und Nierbach untermauert. Beide Zuflüsse waren bereits Gegenstand von Sonderuntersuchungen, wobei die Quellensuche noch nicht abgeschlossen ist.

### **5.7. Betrachtungen zum Bodensickerwasser**

Die Verteilung organischer Stoffe zwischen der Bodenfestsubstanz und dem Bodenwasser wird meist anhand des so genannten koc-Wertes eingeschätzt. Dieser Wert beschreibt das Verhältnis der am organischen Kohlenstoff gebundenen Stoffmenge zur gelösten Stoffmenge in einem Gleichgewichtszustand.

Hintergrund ist die Erkenntnis, dass "normale" organische Stoffe im Boden im Wesentlichen an die organische Substanz adsorbieren. Aus dem  $K_{oc}$ -Wert als entscheidende Stoffeigenschaft und dem Humusanteil kann dann ein Festsubstanz-Wasser-Verteilungskoeffizient abgeleitet werden, aus dem wiederum bei bekannter Konzentration in der Festsubstanz die Konzentration im Bodenwasser abgeschätzt werden kann.

Diese sonst übliche Vorgehensweise ist für PFT-Substanzen nicht zulässig, da diese sich zum einen aufgrund der Perfluorierung nicht wie "normale" organische Schadstoffe verhalten. Während Kohlenwasserstoffketten lipophil (fettfreundlich) und hydrophob (wasserabweisend) sind, agieren die PFT sowohl lipophob als auch hydrophob. Zum anderen handelt es sich um polare Substanzen, die in der Umwelt als dissoziierte Salze auftreten (vgl. Kapitel 2). Sie adsorbieren nicht an die organische Substanz. Dass hydrophobe Wechselwirkungen nicht den primären Sorptionsmechanismus darstellen, wird durch die Annahme gestützt, dass z.B. PFOS durch "Chemisorption" an Sediment gebunden wird (HEKSTER et al. 2002). Bei dieser chemischen Adsorption werden im Gegensatz zur physikalischen Adsorption die Teilchen über eine chemische Bindung an das Adsorbens gebunden. Für anionische oberflächenaktive Substanzen wie PFOS ist daher eine Interaktion auch mit der anorganischen Bodensubstanz wahrscheinlich (OECD 2002). Möglicherweise kommt es zu elektrostatischen Wechselwirkungen (CEPA 2006). Auch der hohe Gehalt an Ionen in der Bodenlösung könnte das Adsorptionsverhalten beeinflussen.

Insofern muss auf experimentell erhobene Daten zur Festsubstanz-Wasser-Verteilung zurückgegriffen werden. Hierzu wurden zunächst Literaturrecherchen durchgeführt. Verlässliche, gut dokumentierte Ergebnisse liegen demnach allerdings lediglich aus einem Versuch vor, jedoch nur für PFOS. Darin wurden neben Flusssediment und Klärschlamm drei Böden untersucht. Die Bodenarten reichten von Ton über tonigen Lehm bis zu sandigem Lehm. Es wurden sowohl die Adsorptions- als auch die Desorptionskoeffizienten bestimmt und jeweils aus beiden der Mittelwert gebildet. Zusammenhänge der so ermittelten Werte mit der Bodenart waren nicht zu erkennen (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12: Sorptions- und Desorptionskoeffizienten verschiedener Böden für PFOS

Boden	K <sub>d</sub> (l/kg)	K <sub>des</sub> (l/kg)	Mittelwert
Tonboden	18,3	47,1	32,7
toniger Lehm Boden	9,72	15,8	12,8
sandiger Lehm Boden	35,3	34,9	35,1

K<sub>d</sub> = Sorptionskoeffizient Festsubstanz-Wasser

K<sub>des</sub> = Desorptionskoeffizient Festsubstanz-Wasser

Die Publikation konnte im Original<sup>6</sup> nicht beschafft werden. Die Ergebnisse werden hier aus einer Studie der britischen Umweltbehörde (ENVIRONMENT AGENCY 2004) zitiert. Darin wird aus den oben aufgeführten drei Koeffizienten der Mittelwert gebildet (26,9 l/kg) und als Grundlage verschiedener Schritte der Risikoabschätzung für PFOS-Salz herangezogen. Dieser Denkansatz und K<sub>d</sub>-Wert werden hier übernommen.<sup>7</sup>

Die Mobilität von PFOS im Boden dürfte somit etwa derjenigen von Naphthalin entsprechen, für das gemäß TGD auf "klassische Weise" anhand des K<sub>d</sub>-Wertes ein K<sub>d</sub>-Wert von 25 ermittelt wurde (ECB 2003).

Mit einer Wasserlöslichkeit von 30 mg/l (ECB 2003) gilt Naphthalin allerdings als wenig löslich, während PFOS mit 519 mg/l (ENVIRONMENT AGENCY 2004) deutlich besser löslich ist.

Aus einem anderen, weniger verlässlichen Versuch, dessen Dokumentation ebenfalls nicht im Original<sup>8</sup> beschafft werden konnte, wurde für PFOS eine "hohe Mobilität" in sandigem Lehm Boden abgeleitet (HEKSTER et al. 2002).

Für PFOA soll ebenfalls eine Studie<sup>9</sup> (die ebenfalls nicht beschafft werden konnte) zum Sorptionsverhalten vorliegen, aus der allerdings laut HEKSTER et al. 2002 sehr widersprüchliche Schlussfolgerungen gezogen wurden.

<sup>6</sup> 3M (2001): Soil Adsorption/Desorption Study of Potassium Perfluorooctanesulfonate (PFOS). 3M Technical Report, St. Paul, Minnesota, USA.

<sup>7</sup> In einer Studie der OECD (2002) sind die Ergebnisse des genannten Experiments ebenfalls zitiert. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass die angegebenen Adsorptionskoeffizienten mit den Werten in ENVIRONMENT AGENCY 2004 übereinstimmen, die Desorptionskoeffizienten hingegen drei Größenordnungen unterhalb der in ENVIRONMENT AGENCY 2004 genannten Werte liegen (z.B. toniger Lehm: OECD: K<sub>des</sub> = 0,0000158 l/g; ENVIRONMENT AGENCY: K<sub>des</sub> = 15,8 l/kg). In welcher Studie falsche Werte zitiert werden, lässt sich zunächst nicht eindeutig klären. Die in ENVIRONMENT AGENCY 2004 genannten Werte erscheinen allerdings deutlich plausibler.

<sup>8</sup> 3M (1978): Soil Thin Layer Chromatography FC-95, FC-143, FM-3422, 3M, St. Paul, Minnesota, USA.

<sup>9</sup> 3M (1978): Adsorption of FC-95 and FC-143 on soil, 3M, St. Paul, Minnesota, USA.

Die Löslichkeit von PFOA als freie Säure ist mit 3,4-9,5 g/l deutlich höher als jene von PFOS (vgl. Kapitel 2). Allerdings sind hierbei die besonderen Stoffeigenschaften zu berücksichtigen, die offenbar zu Micellenbildung und flüssigkristallinen Phasen führen können (3M 2003). PFOA als freie Säure scheint jedoch vollständig lösbar zu sein. Für PFOA wurden letztlich keine verwertbaren Informationen zum Sorptionsverhalten gefunden.

Aufgrund der insgesamt mangelhaften Datenlage wurden seitens des LUA/LANUV NRW Säulenversuche durchgeführt (LUA 2006). Gegenstand der Untersuchungen waren zwei Bodenproben (0-30 cm, 30-60 cm) des inzwischen in Sanierung befindlichen Maisackers in Brilon-Scharfenberg. Die Ergebnisse bestätigen, dass PFT durch Sorptions-/Desorptionsprozesse in das Sickerwasser gelangen. Sowohl für PFOA als auch für PFOS ist ein deutliches Abklingverhalten im Säuleneluat zu verzeichnen, wobei PFOS wesentlich langsamer abklingt als PFOA. Es zeigte sich, dass Ober- und Unterboden PFT unterschiedlich stark sorbieren. Welche Bodenbestandteile und Stoffeigenschaften für das Sorptionsverhalten verantwortlich sind, konnte allerdings nicht geklärt werden. Die ermittelten  $k_d$ -Werte liegen für PFOA bei 2 l/kg (0-30 cm) bzw. 0,6 l/kg (30-60 cm), im Mittel somit bei 1,3 l/kg. Für PFOS wurden  $k_d$ -Werte von 9,3 l/kg (0-30 cm) bzw. 3 l/kg (30-60 cm) ermittelt, so dass der Mittelwert bei 6,15 l/kg liegt. Die gemessenen Feststoffgehalte lagen bei 700 µg/kg PFOA bzw. 6.600 µg/kg PFOS in der Tiefe 0-30 cm und bei 400 µg/kg PFOA bzw. 1.500 µg/kg PFOS in der Tiefe 30-60 cm. Die Anfangskonzentrationen im Säuleneluat lagen bei etwa 200-400 µg/l für PFOA und bei 900-1.100 µg/l für PFOS.

Gegenüber den Literaturangaben wurde somit für PFOS ein deutlich geringerer  $k_d$ -Wert ermittelt. Demnach ist zumindest für die Bodencharakteristik in Brilon-Scharfenberg von einer deutlich höheren PFOS-Mobilität auszugehen. Für PFOA lässt sich dieser Vergleich nicht anstellen, da in der Literatur entsprechende Angaben zum  $k_d$ -Wert nicht gefunden wurden.

Angaben zu PFT-Konzentrationen in realen Bodensicker- und Dränwasser ergeben sich aus entsprechenden Untersuchungen zur Vorbereitung und während der Durchführung der Sanierung des Maisackers in Brilon-Scharfenberg. Tabelle 13 stellt die Spannweiten der PFOA- und PFOS-Gehalte in den Säuleneluaten den entsprechenden Messwerten gegenüber. Zusätzlich ist auch die Spannwei-

te der Konzentrationen im Vorfluter, der Steinbecke, für den Zeitraum bis Beginn der Sanierung mit aufgeführt. Die Anwendung des oben genannten Literaturwertes für PFOS von  $k_d = 26,9$  l/kg würde, angewendet auf die im Boden des Maisackers gemessenen PFOS-Gehalte, Konzentrationen im Sickerwasser von 56-245 µg/l erwarten lassen. Diese sind ebenfalls in der Tabelle mit aufgeführt.

**Tabelle 13: PFT-Gehalte in Säuleneluaten, Drän- und flachem Grundwasser der Sanierungsfläche in Brilon-Scharfenberg sowie in Oberflächenwasser der Steinbecke**

Bezug	PFOA	PFOS
Säuleneluat	220-420	900-1.100
Sammler Flächendränge 2+4 (23.10./07.11.2006)	2.980-24.200	2,7-160
Rammkernsondierungen 3+4 (07.11.2006)	357-400	4,6-88
Zulauf mobile Behandlungsanlage (29.01.-26.03.2007)	210-730	52-88
Steinbecke an WH 2 (29.06.2006-15.01.2007)	10,2-150	1,3-11
Errechnet aus Literaturangaben	-	56-245

Angaben in µg/l

Es zeigt sich, dass die in den Säuleneluaten ermittelten PFOA-Konzentrationen sehr gut mit den Messwerten für das flache Grundwasser (Rammkernsondierungen) und für den Zulauf zur mobilen Behandlungsanlage übereinstimmen. Im Sammler der Flächendränge, in dem sich die Konzentrationen in geringen Bodentiefen widerspiegeln, wurden hingegen um ein Vielfaches höhere Werte gemessen. Dies mag mit den Wasser-/Feststoff-Verhältnissen zusammenhängen. In der Steinbecke treten aufgrund der Verdünnung mit un- oder schwächer belastetem Wasser geringere Konzentrationen auf.

Für PFOS hingegen liegen die in den Säuleneluaten ermittelten Konzentrationen um ein Vielfaches über allen anderen Werten. Außergewöhnlich ist bereits der Sachverhalt, dass PFOS im Säuleneluat in höheren Konzentrationen als PFOA auftritt. In realen Wasserproben (Oberflächen-, Dränge-, Grundwasser) stellt sich dies stets umgekehrt dar. Ein denkbarer Grund hierfür sind Sorptionsprozesse, denen mobilisiertes PFOS im Bodensicker- und Dränwasser unterworfen ist. Dieser unter realen Bedingungen im Gelände möglicherweise auftretende Rückhalteprozess durch erneute Anlagerung kommt im Rahmen der Säulenversuche hingegen nicht zum Tragen, so dass sich die deutlich höheren Bodenkonzentrationen hier im Eluat widerspiegeln könnten.



Die Anwendung des kd-Literaturwertes für PFOS würde noch immer etwas über,  
jedoch näher an realen Wasserkonzentrationen liegen.

Insgesamt erscheinen die Ergebnisse zum Auslaugverhalten von PFOA realis-  
tisch. Für PFOS ist eine Übereinstimmung der Resultate aus den LUA/LANUV-  
Säulenversuchen, mit den – allerdings sehr eingeschränkten – Erkenntnissen  
aus der Literatur und den Daten aus Wasserproben in Brilon-Scharfenberg zu-  
nächst nicht erkennbar. Hier erscheint eine Erweiterung des gegenwärtigen  
Kenntnisstandes erforderlich.

## 6. Fazit und Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die im Rahmen der Pilotuntersuchungen ermittelten Ergebnisse sind vor dem Hintergrund der ursächlichen Bedeutung des auf zahlreichen Flächen im Kreis Soest und Hochsauerlandkreis aufgebrauchten Sekundärrohstoffdüngers im Hinblick auf die festgestellten PFT-Gehalte in Oberflächengewässern wie folgt zusammenzufassen:

1. Auf der überwiegenden Zahl der beprobten Flächen wurden Nachweise an PFT erbracht. Die Gehalte von PFOS sind dabei durchweg höher als die von PFOA.
2. Die höchsten Gehalte wurden sowohl in Boden- als auch in Materialproben auf dem Standort BH 01 festgestellt (Summe PFOS+PFOA: 6.310 µg/kg in der Tiefe von 0,3 m). Hochrechnungen zum PFT-Depot zufolge enthält diese Fläche etwa 90 % des Gesamtdepots aller in diesem Gutachten berücksichtigten Flächen. Die dort eingeleitete Sanierungsmaßnahme ist seit Januar 2007 wirksam (Inbetriebnahme der mobilen Behandlungsanlage).
3. Eine deutlich geringere, aber doch ebenfalls hohe Belastung wurde auf dem Standort BS 22 ermittelt (Summe PFOS+PFOA: 970 µg/kg, Tiefe 0,6 m). Aufgrund der geringen Flächengröße von 1 ha ist das dort vorhandene PFT-Depot allerdings von vergleichsweise geringer Bedeutung.
4. Auch nach den zusätzlich durchgeführten Untersuchungen auf Flächen in den Einzugsgebieten von Elpe und Silberbach bleibt damit der Standort BH 01 in diesem Ausmaß der Belastung der bislang einzig bekannte "Hot Spot"<sup>10</sup>.
5. Für Standorte mit tiefendifferenzierter Probennahme ist erkennbar, dass die PFT-Gehalte mit der Tiefe abnehmen. PFOA bleibt an den Standorten BH 01 und BS 02 in der Tiefenverteilung allerdings weitgehend konstant. Der PFOS-Anteil nimmt durchgängig mit der Tiefe ab. Als Ursache hierfür kommt die unterschiedliche Wasserlöslichkeit der beiden Stoffe in Betracht,

---

<sup>10</sup> Zwischenzeitlich wurden durch den Kreis Soest auf einer Ackerfläche nördlich von Rüthen die bislang höchsten PFT-Gehalte ermittelt. Die Fläche wird derzeit weiter untersucht.

aufgrund derer PFOA in den Oberböden vermutlich bereits in einem größeren Ausmaß ausgewaschen wurde.

6. Das ausgebrachte Material aus dem Bodenmischwerk in Borchen ist auch den Untersuchungsergebnissen zufolge nicht durchweg hoch mit PFT belastet gewesen, da die aus Materialuntersuchungen ermittelten Gehalte zwischen 10 und 9.250 µg/kg TM (Summe PFOS+ PFOA) schwanken. Es ist jedoch davon auszugehen, dass das Material bei der Ausbringung noch deutlich höhere Konzentrationen gehabt haben muss, da größere Mengen an PFT bereits verlagert worden sind. Rückrechnungen aus den im Boden angetroffenen Schadstoffkonzentrationen lassen auf Materialkonzentrationen von bis 1,47 g PFT/kg schließen, sofern die hier zugrunde gelegten Angaben korrekt sind.
7. Die Aufbringungsmengen betragen im Einzugsbereich der Möhne und der oberen Ruhr nach Angaben des Hochsauerlandkreises und des Kreises Soest ca. 13.900 t TS (Möhne) und ca. 2.400 t TS (Ruhr). Die insgesamt beaufschlagten Flächen haben mindestens eine Größe von 501 ha (Möhne) bzw. 267 ha (Ruhr).
8. An der gewässerseitigen PFT-Gesamtbelastung hat die Möhne – bei Vernachlässigung der Effekte, die durch die Möhnetalsperre entstehen – einen Anteil von etwa zwei Dritteln, die obere Ruhr einen Anteil von einem Drittel.
9. Den im Monitoring Oberflächengewässer ermittelten PFT-Frachten zufolge machen die PFT-Einträge aus der Hochbelastungsfläche in Brilon-Scharfenberg vor Beginn der Sanierung größenordnungsmäßig etwa drei Viertel der Belastung in der Möhne oberhalb der Talsperre aus.
10. Auch nach der Sanierung in Brilon-Scharfenberg wird ein erheblicher Anteil der PFT-Gesamtbelastung in Möhne und Ruhr bestehen bleiben. Neben diesem ehemaligen "Hot Spot" ist eine Vielzahl von Quellen bekannt, deren diffuser Eintrag in der Summe zu den verbleibenden Gewässerbelastungen führen dürfte. Die Sanierung führt jedoch zu einer deutlichen Begrenzung der PFT-Problematik für die Oberflächengewässer.

11. In der oberen Ruhr sind für einen Teil der PFT-Fracht die Eintragsquellen bislang unbekannt und müssen unterhalb des WW Mengesohl in Meschede liegen. Vermutlich handelt es sich um einen diffusen Eintrag aus einer Vielzahl von – einzeln betrachtet gering bedeutsamen – Einzelquellen, zu denen auch kommunale und industrielle Kläranlagen zählen.
12. Auswertungen zur niederschlagsbedingten PFT-Mobilisierung deuten darauf hin, dass in den Einzugsgebieten von Küttelbecke, Elpe und Nierbach PFT-Quellen von unmittelbarer gewässerseitiger Relevanz vorhanden sein könnten, wobei über die Küttelbecke vergleichsweise geringe Frachten transportiert werden.
13. Säulenversuche des LUA/LANUV NRW ergaben für PFOA nach Abgleich mit realen Drainage-, Grund- und Oberflächenwassergehalten realistisch erscheinende Erkenntnisse zum Auslaugungsverhalten. Für PFOS ist diesbezüglich weiterer Klärungsbedarf zu erkennen.
14. Es muss vermutet werden, dass aufgrund der zügigeren PFOA-Abreicherung in den belasteten Böden und der langsameren PFOS-Freisetzung die PFOS-Konzentrationen in den Gewässern in Zukunft ansteigen werden (vermutlich jedoch auf geringere Konzentrationen als beim PFOA).

Auf der Grundlage der obigen Schlussfolgerungen lassen sich nunmehr aus gutachterlicher Sicht die folgenden **Empfehlungen** zum weiteren Vorgehen ableiten:

1. Im Einzugsgebiet der Möhne sollte die weitere Entwicklung der Konzentrationen und Frachten intensiv verfolgt werden, um die Situation nach Beginn der Sanierung in Brilon-Scharfenberg verlässlich einschätzen zu können. Hinweise auf gewässernahe PFT-Bodenbelastungen für das nahe Einzugsgebiet des Pegels Völlinghausen wurden durch dort bereits durchgeführte weitere Untersuchungen nicht bestätigt.
2. Für das Einzugsgebiet der oberen Ruhr sind unterhalb des WW Mengesohl in Meschede weitere PFT-Quellen zu vermuten. Hier sollten Nachforschungen angestellt werden, was bereits in die Wege geleitet wurde.

3. Im weiteren Verlauf des Gewässermonitorings sollte versucht werden, eine Standardisierung der Laboranalytik zu erreichen.
4. Auch dem Auslaugungsverhalten von PFOS sollte weiter nachgegangen werden.

Das vorliegende Gutachten wurde unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Gutachterliche Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die dokumentierten Anknüpfungstatsachen, Prüfgegenstände und Untersuchungsergebnisse.

Bielefeld, den 25.09.2007

Dr. Dietmar Barkowski  
(Dipl.-Chem.)

Florian Raecke  
(Dipl.-Geogr.)

## 7. Literatur

3M (2003): Perfluorooctanoic Acid – Physicochemical Properties and Environmental Fate Data. – St. Paul, USA.

CEPA [Canadian Environmental Protection Act] (1999): Ecological Screening Assessment Report on Perfluorooctane Sulfonate, Its Salts and Its Precursors that Contain the  $C_8F_{17}SO_2$  or  $C_8F_{17}SO_3$ , or  $C_8F_{17}SO_2N$  Moiety. – Ottawa.

ECB [Europäisches Chemikalienbüro]: Risk Assessment Report Naphthalene. – Ispra.

ENVIRONMENT AGENCY (Hrsg.) (2004): Environmental risk evaluation report: Perfluorooctanesulphonate (PFOS). – Bristol/London.

EPA (U.S. Environmental PROTECTION Agency) (2002): Revised draft hazard assessment of perfluorooctanoic acid and its salts. Washington.

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003): Technical Guidance Document on Risk Assessment in support on Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances and Directive 98/8/EC of the European Parliament and the Council concerning the placing of biocidal products on the market. – Luxemburg.

FRICKE, M., LAHL, U. (2005): Risikobewertung von Perfluortensiden als Beitrag zur aktuellen Diskussion zum REACH-Dossier der EU-Kommission. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox., 17 (1), S. 36-49.

HEKSTER, F. M., de VOOGT, P., PIJNENBURG, A. M. C. M., LAANE, R. W. P. M. (2002): Perfluoralkylated substances – Aquatic environmental assessment. Report RIKZ/2002.043; University of Amsterdam/RIKZ, Amsterdam/Den Haag.

LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW) (2007): Niederschlagsdaten der Flusseinzugsgebiete. – Online im Internet unter: <http://luadb.lands.nrw.de/LUA/nieder/weln.htm>.

LUA (Landesumweltamt NRW) (2006): Untersuchungen zur Freisetzung von perfluorierten Tensiden (PFT) aus dem Boden einer belasteten Ackerfläche in Brilon-Scharfenberg. – Düsseldorf.

MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW) (2007): Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer – Integriertes Monitoringkonzept der landesspezifischen, nationalen und internationalen Messprogramme. – Düsseldorf.

OECD (2002): Hazard assessment of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and its salts. ENV/JM/RD(2002)17/FINAL – Paris.

OECD (2006a): Preliminary lists of PFOS, PFAS, PFOA and related compounds and chemicals that may degrade to PFCA. - OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on Risk Management, No. 21. Environment Directorate. – Paris.

OECD (2006b): Ammonium Perfluorooctanoate. Draft SIDS Initial Assessment Report For SIAM 22, Paris 18.-21.04.2006. 26.01.2006.

RIWA (Rhine Water Works) (2006): Perfluoroalkylcarboxylates and –sulfonates. Association of River Waterworks, Niederlande.

SKUTLAREK, D., EXNER, M., FÄRBER, H. (2006): Perfluorierte Tenside (PFT) in der aquatischen Umwelt und im Trinkwasser. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox., 18 (3), S. 151-154.