

Abschlussbericht zum Vorhaben

„Untersuchungen zum Übergang aus PFT-belasteten Böden in Pflanzen“

Fraunhofer-Institut für
Molekularbiologie und Angewandte
Oekologie (IME)
57392 Schmallenberg

Institutsleitung

Prof. Dr. Rainer Fischer

Stellvertretung und Bereichsleitung

Angewandte Oekologie

Dr. Werner Kördel

Projektleitung

Dipl.-Ing. agr. Karlheinz Weinfurtner

Auftraggeber

Ministerium für Umwelt und
Naturschutz, Landwirtschaft und
Verbraucherschutz des Landes
Nordrhein-Westfalen
Schwannstrasse 3
40476 Düsseldorf

Schmallenberg, Februar 2008

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Hintergrund	3
2. Untersuchungskonzept- und Durchführung	3
2.1 Untersuchungskonzept	3
2.2 Versuchsdurchführung	4
2.3 Analytik	7
3. Ergebnisse	8
3.1 PFT im Boden	8
3.2 PFT im Pflanzenmaterial	10
Anhang	15

1. Hintergrund

Auf Ackerflächen im Bereich des Hochsauerlandkreises und des Kreises Soest wurden PFT-haltige Abfallgemische ausgebracht, die teilweise zu erheblichen PFT-Belastungen führten. Entsprechend der hohen Mobilität von PFOS und insbesondere PFOA in Böden wurden erhöhte PFT-Werte nicht nur in den beaufschlagten Böden, sondern auch in den angrenzenden Gewässern einschließlich der Flüsse Möhne und Ruhr gemessen. Im Rahmen des vom MUNLV veranlassten Boden- und Gewässermonitorings wurde u.a. eine hoch belastete Fläche in Brilon-Scharfenberg ermittelt. Dort läuft zurzeit auf der Grundlage von gutachterlichen Bewertungen zum Wirkungspfad Boden-Gewässer eine Sanierungsmaßnahme. Andere Flächen mit erhöhten PFT-Werten im Boden unterliegen einem weiteren Monitoring.

Was bei den Betrachtungen bislang fehlte, war eine grundsätzliche Abklärung des Transfers Boden – Pflanze. Für persistente Substanzen mit Tensideigenschaften und hoher Verfügbarkeit in Böden liegen keine validen Vergleichsstudien vor, so dass Analogieschlüsse nicht möglich sind. Durch die hohe Verfügbarkeit der Stoffe in Böden kann jedoch eine Pflanzenaufnahme nicht ausgeschlossen werden. Die Klärung der Frage einer möglichen Pflanzenaufnahme ist auch deshalb von Bedeutung, da davon die weitere landwirtschaftliche Nutzung von PFT-belasteten Flächen abhängt.

2. Untersuchungskonzept- und Durchführung

2.1 Untersuchungskonzept

Für den Anbauversuch wurden Großgefäße mit einer Fläche von 1 m² und einer Tiefe von 70 cm verwendet (Abb. 1), da diese für den Anbau von Mais und Kartoffel groß genug sind und sich gleichzeitig ein naturnahes Boden-Wurzelverhältnis einstellen kann. Die Großbehälter sind Teil einer Freilandanlage (Abb. 4) mit insgesamt 54 Behältern, deren Sickerwasser in einem Tank erfasst wird. Dadurch wird – möglicherweise – kontaminiertes Sickerwasser aufgefangen und eine Belastung von Grund- und Oberflächenwasser vermieden.

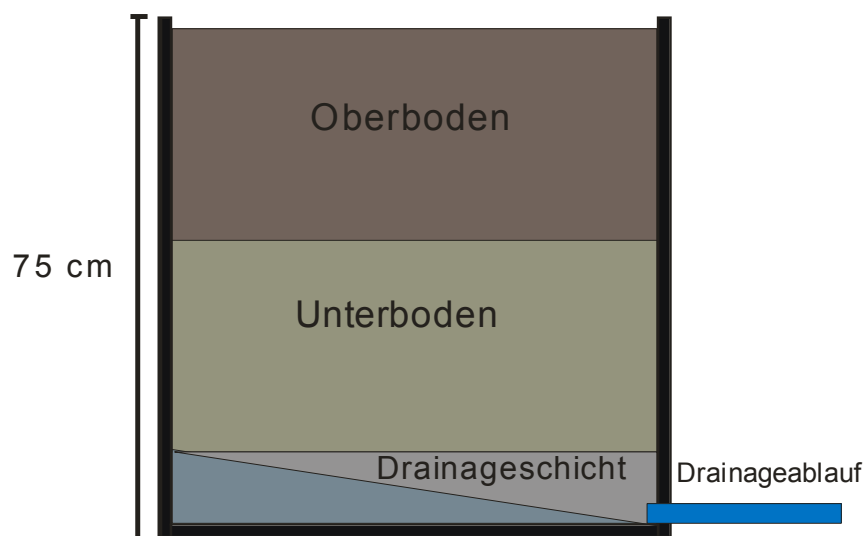


Abbildung 1: schematischer Aufbau der Großgefäße (Kastenlysimeter)

Der Versuch wurde in drei Varianten angelegt:

- einer unbelasteten Kontrollvariante,
- einer hoch belasteten Variante,
- einer mäßig belasteten Variante.

Bei der hoch belasteten Variante handelt es sich um Bodenmaterial aus der Hochbelastungsfläche in Brilon-Scharfenberg, als unbelastete Kontrollvariante wurde Bodenmaterial von einem Nachbarschlag in Brilon-Scharfenberg entnommen, der nicht mit dem kontaminierten Abfallgemisch beaufschlagt worden war. Die mäßig belastete Variante wurde durch eine Mischung aus unbelastetem und hoch belastetem Boden im Verhältnis von 10:1 erzeugt.

Da auf keinem validen Kenntnisstand zur Pflanzenaufnahme von PFT aufgebaut werden konnte, wurden folgende landwirtschaftliche Nutzpflanzen angebaut:

- Kartoffeln
- Mais (Silomaisnutzung)
- Getreide (Sommerweizen)
- Gras (deutsches Weidelgras)

Auf den Anbau einer Ölpflanze (Raps) wurde aus Kostengründen verzichtet, obwohl Raps auch im Hochsauerlandkreis eine wichtige Kulturpflanze ist.

2.2 Versuchsdurchführung

Vom hoch belasteten und unbelasteten Boden wurden am 4. Mai 2007 jeweils mehrere Tonnen Oberboden (Ap-Horizont) sowie Unterboden (bis ca. 60 cm Tiefe) entnommen und in das Fraunhoferinstitut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie in Schmallenberg transportiert. Die Entnahmestellen wurden unter Mitarbeit des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW festgelegt (Abb. 2). Im Institut wurde das Ober- und Unterbodenmaterial nach Siebung über ein 2 cm Sieb jeweils mit einer Mächtigkeit von ca. 35 cm in die Großbehälter eingefüllt. Die mäßig belastete Variante wurde durch intensives Vermischen im Verhältnis von 10:1 in einer Mischmaschine erzeugt und ebenfalls horizontweise eingefüllt. Nach Befüllung der Großbehälter wurden die Versuchspflanzen eingesät bzw. gelegt (Abb. 3). Um Randeffekte zu vermeiden, wurden die jeweiligen Versuchspflanzen auch außerhalb der Großgefäße gesät, so dass sich durchgehende Pflanzreihen ergaben.

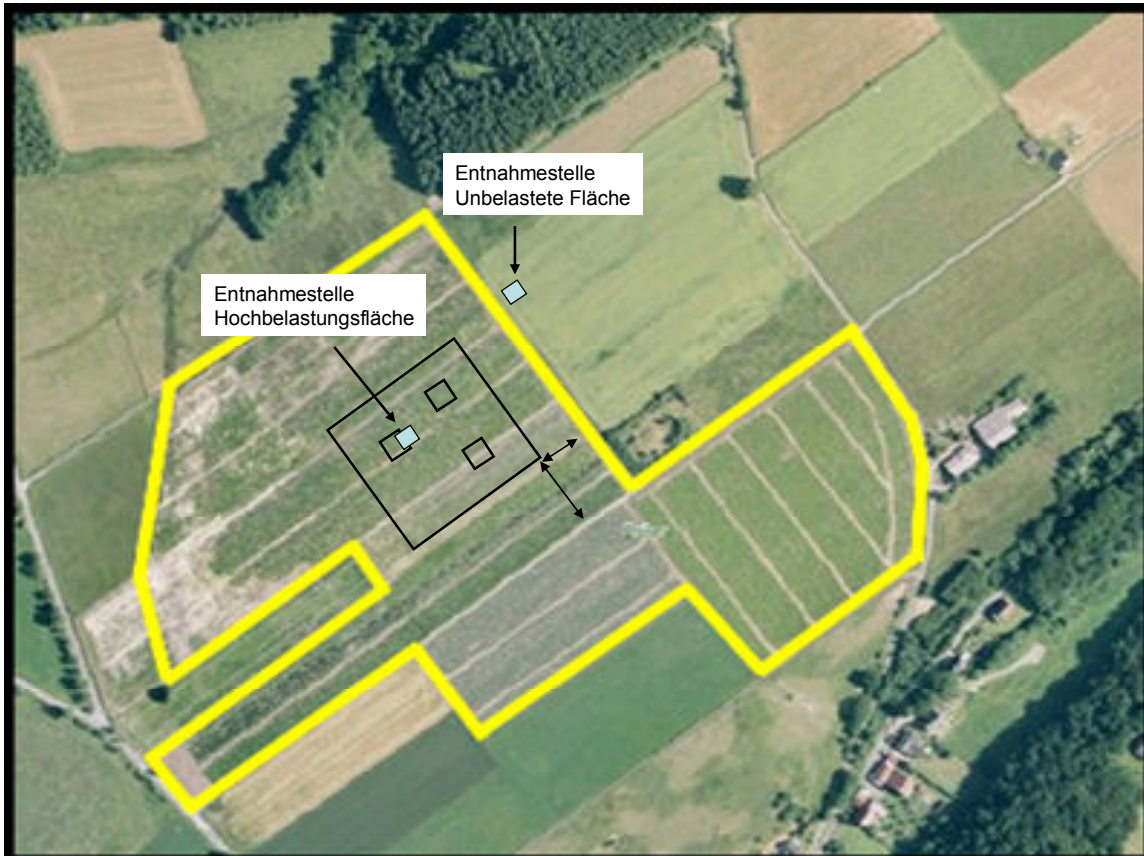


Abb. 2: Lage der Entnahmestellen für un- und hochbelasteten Boden

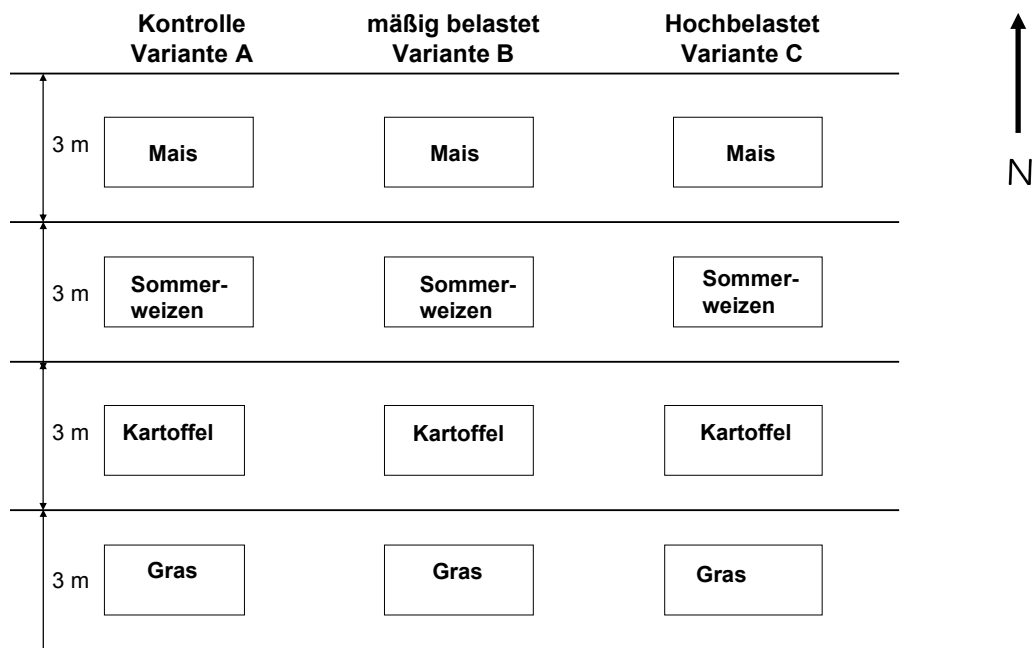


Abb. 3: Versuchsplan zum Pflanzentransfer von PFT



Abb. 4: Freilandanlage

Da die Entnahme des Bodenmaterials erst nach Vorlage von zusätzlichen Analyseergebnissen aus der Hochbelastungsfläche erfolgen konnte, konnte der Boden erst Anfang Mai entnommen werden. Damit verzögerte sich auch die Saat bis Mitte Mai, was eine Verspätung, im Vergleich zur landwirtschaftlichen Praxis, von bis zu 6 Wochen bedeutete. Aufgrund des sehr späten Saattermins wurden Aussaatmengen an der Obergrenze der empfohlenen Mengen gewählt, um einen ausreichenden Feldaufgang zu erhalten. Wegen unterschiedlicher Nährstoffverhältnisse zwischen hoch belasteter und unbelasteter Fläche mussten bei Mais für die Varianten A und B erhöhte Nährstoffmengen ausgebracht werden, da v.a. in der Variante A der Mais deutliche Merkmale von P-Mangel zeigte. Dies ließ sich neben geringeren P-Bodengehalten auch auf die ungünstige Witterung im Zeitraum der Frühentwicklung der Pflanzen zurückführen. Bei den Kartoffeln trat bereits zu einem frühen Entwicklungsstadium (noch vor der Blüte) der erste Befall mit *Phytophthora infestans* (Krautfäule) auf, so dass während des weiteren Wachstums regelmäßige intensive Pflanzenschutzmaßnahmen nötig waren.

Der Ablauf der Versuchsdurchführung ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Ablauf Pflanzenversuch zum Transfer von PFT

Bearbeitungsmaßnahme	Datum
Bodenentnahme in Brilon Scharfenberg	4.05.07
Mischen, Einbringen des Bodens in Kastenlysimeter	10.-15.05.07
Probenahme Boden aus Kastenlysimeter	16.05.07
Saat, Düngung	18.05.07
Gras, Saatmenge, 4 g/m ² , Düngung: 80/22/100 kg/ha N/P/K	
Kartoffel, Saatmenge 4 Knollen/m ² , Düngung: 90/22/196 kg/ha N/P/K	
Sommerweizen, Saatmenge ca. 400 Körner/m ² , Düngung: 42/22/80 kg/ha N/P/K	
Mais, Saatmenge 16 Körner/m ² , Düngung: 112/63/180 kg/ha N/P/K	
1. Schnitt Gras	14.06.07
2. N-Düngung Mais, 112 (Var. C) bzw. 140 (Var. A und B) kg N/ha	28.06.07
2. P-Düngung-Mais, 16 kg/ha (Var. A und B)	29.06.07
2. N-Düngung Sommerweizen, 98 kg/ha N	29.06.07
Pflanzenschutz Kartoffel (Shirlan, 0,4 l/ha)	02.07.07
2. N/K-Düngung Kartoffel, 28/40 kg/ha N/K	05.07.07
Pflanzenschutz Kartoffel (Curzate, 2,5 kg/ha)	09.07.07
Pflanzenschutz Kartoffel (Shirlan, 0,4 l/ha)	13.07.07
Pflanzenschutz Kartoffel (Shirlan, 0,4 l/ha)	17.07.07
Pflanzenschutz Kartoffel (Shirlan, 0,4 l/ha)	25.07.07
2. Schnitt Gras	26.07.07
Pflanzenschutz Kartoffel (Curzate, 2,5 kg/ha)	01.08.07
Pflanzenschutz Kartoffel (Curzate, 2,5 kg/ha)	11.08.07
Ernte Sommerweizen	24.09.07
Ernte Kartoffel	25.09.07
3. Schnitt Gras	25.09.07
Ernte Silomais	06.11.07
Probenahme Boden aus Kastenlysimeter	06.11.07

2.3 Analytik

Probenaufbereitung:

Das Bodenmaterial wurde unmittelbar nach der Probenahme feldfeucht auf 2 mm gesiebt, eine Trockensubstanzbestimmung durchgeführt und anschließend bis zur Extraktion bei -18 °C in PE-Flaschen eingefroren.

Die Kartoffeln wurden nach der Ernte kühl und dunkel gelagert. Unmittelbar vor der Extraktion wurden sie geschält, kleingeschnitten und püriert. Das pürierte Material wurde anschließend extrahiert.

Mais und Gras wurde nach der Ernte getrocknet, kleingeschnitten und anschließend fein vermahlen. Anschließend erfolgte eine Bestimmung des Restwassergehaltes (Tab. 2). Das Material wurde bis zur Extraktion eingefroren.

Der Weizen wurde nach der Ernte gedroschen und die Spreu vom Korn getrennt. Nach einer TS-Bestimmung wurde das Material gemahlen und bis zur Extraktion eingefroren.

Tab. 2: Trockensubstanzgehalt der Analysenproben (in %)

	Kontrolle	Mäßig belastet	Hoch belastet
Mais	31,8	29,4	30,5
Weizen	89,0	89,0	89,1
Kartoffel	19,3	19,1	18,7
Weidelgras	18,7	17,9	18,5

Extraktion und Analytik:

Zwischen 0,5 und 1 g Probenmaterial wurden mit einer 0,25 M $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ Pufferlösung, 0,5 M Tetrabutylammoniumhydrogensulfat (TBA) und Methyl-T-Butyl-Ether (MTB) versetzt und ca. 30 min geschüttelt. Anschließend wird zentrifugiert, der Überstand abpipettiert und im N_2 -Verdampfer bis zur Trockene eingengt. Der Rückstand wird Methanol/Wasser 50:50 gelöst, filtriert und an der LC/MS/MS gemessen.

Qualitätssicherung:

Es werden 9 Bodenproben - ca. 1g je Probe -, mit nachfolgenden Mengen der PFT Analyte gespikt: 0.12, 0,24, 0,6, 1.2, 2.4, 6, 8.4 und 12 ng. Probe Nr. 9 bleibt ungespikt. Zu allen gespikten Proben pipettiert man 100 μL der IS-Lösung (100 ng/ml). Die Proben werden wie oben beschrieben aufgearbeitet und die Extrakte gemessen. Mit Hilfe der Auswertesoftware SOS 2000 werden mit den Grundkalibrierungen die Wiederfindungsfunktionen der einzelnen Analyte erstellt, und über die Steigung der Funktion die Wiederfindung berechnet. Aus früheren Validierungen bei der Bestimmung von PFT im Boden ergaben sich Wiederfindungsraten im Bereich 80-120%. Die Bestimmungsgrenze liegt bei 0,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Probenmaterial

Zur Berechnung von Transferfaktoren wurde der Mittelwert aller Oberböden einer Variante und Berücksichtigung beider Probenahmetermine (Mai und Oktober 2007) verwendet. Auf die Einbeziehung der Unterböden wurde verzichtet, da die Hauptwurzelmasse und damit auch die Aufnahme von Stoffen im Oberboden stattfindet.

Die Transferfaktoren wurden als Quotient zwischen Konzentration in der Pflanze (bezogen auf TS) und Konzentration im Boden ermittelt.

Zur Qualitätssicherung wurden Vergleichsanalysen von Pflanzenmaterial vom chemischen Landes- und staatlichem Veterinäruntersuchungsamt Münster sowie dem staatlichen Veterinäruntersuchungsamt Arnsberg durchgeführt, durch welche die ermittelten PFT-Gehalte bestätigt wurden.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 PFT im Boden

Der PFT-Gehalt im Boden wurde zum Saatzeitpunkt und zum Erntetermin bestimmt. Neben den beiden Hauptvertretern Perfluoroktansäure (PFOA) und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) wurden zum Saatzeitpunkt auch die Konzentrationen weiterer Verbindungen aus der Gruppe der PFT untersucht. Die Werte waren jedoch

gering und tragen meist nur wenig zur gesamten PFT-Belastung bei. Aus diesem Grund wurde bei den Bestimmungen zum Erntezeitpunkt nur PFOA und PFOS untersucht.

Tab. 3: Gehalte an PFOA und PFOS in den Versuchsböden zum Saat- und Erntezeitpunkt (Konzentrationen in µg/kg Trockensubstanz Boden)

			PFOA		PFOS	
			Mai 07	Okt. 07	Mai 07	Okt. 07
Mais	Oberboden	unbelastet	31	23	28	25
Sommerweizen	Oberboden	unbelastet	23	17	27	26
Kartoffel	Oberboden	unbelastet	2	20	25	26
Weidelgras	Oberboden	unbelastet	20	23	24	11
Mais	Oberboden	mäßig belastet	72	40	648	290
Sommerweizen	Oberboden	mäßig belastet	67	120	668	378
Kartoffel	Oberboden	mäßig belastet	98	104	447	302
Weidelgras	Oberboden	mäßig belastet	72	45	629	344
Mais	Oberboden	hoch belastet	209	192	3925	2305
Sommerweizen	Oberboden	hoch belastet	213	314	3325	2687
Kartoffel	Oberboden	hoch belastet	271	372	3995	3133
Weidelgras	Oberboden	hoch belastet	381	381	3540	3888
Mais	Unterboden	unbelastet	25	16	8	9
Sommerweizen	Unterboden	unbelastet	24	15	7	12
Kartoffel	Unterboden	unbelastet	30	36	5	14
Weidelgras	Unterboden	unbelastet	28	21	7	19
Mais	Unterboden	mäßig belastet	51	31	318	121
Sommerweizen	Unterboden	mäßig belastet	36	79	181	143
Kartoffel	Unterboden	mäßig belastet	44	77	284	177
Weidelgras	Unterboden	mäßig belastet	34	39	184	101
Mais	Unterboden	hoch belastet	165	181	1224	1002
Sommerweizen	Unterboden	hoch belastet	178	122	1655	876
Kartoffel	Unterboden	hoch belastet	148	245	1031	955
Weidelgras	Unterboden	hoch belastet	122	176	1210	1118

Auch in den unbelasteten Kontrollvarianten konnten geringe, aber messbare Konzentrationen an PFOA und PFOS bestimmt werden (Tab.). Dies kann ein Ausdruck einer ubiquitären Hintergrundbelastung sein. Allerdings zeigen Untersuchungen des bayerischen Landesamtes für Umwelt¹ auf unbelasteten Böden deutlich geringere Werte, meist unterhalb der Nachweisgrenze von 3 µg/kg Boden. Daher sind die hier gemessenen PFOA und PFOS Konzentrationen vermutlich auf Kontaminationen aus der Hochbelastungsfläche zurückzuführen. Wie in Abb. 2 dargestellt, liegt die Entnahmestelle für das Kontrollmaterial in unmittelbarer Nähe zur Hochbelastungsfläche in

¹ Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2007:
http://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/fachinformationen/analytik_org_stoffe_perfluorierte_teside/doc/pft_in_landwirtschaftlich_genutzten_oberboeden.pdf

Hauptwindrichtung, so dass durch Luftverfrachtung in partikulärer Form eine geringe Kontamination dieser Fläche nicht auszuschließen ist.

Ausgehend von der unbelasteten Kontrollvariante liegen die Konzentrationen in der mäßig belasteten Variante im Oberboden für PFOA um den Faktor 3-4, für PFOS um den Faktor 20 höher. Im Unterboden sind die Konzentrationen für PFOA um das 2-fache bzw. für PFOS um das 20-fache erhöht (Tab. 3). In der hoch belasteten Variante liegt PFOA im Oberboden um den Faktor 10 und im Unterboden um den Faktor 5 höher als in der Kontrollvariante, für PFOS ist ein Anstieg um das 150 bzw. 100-fache im Ober- bzw. Unterboden zu beobachten.

Tab. 4: Mittelwerte der Gehalte an PFOA und PFOS in den Versuchsböden zum Saat- und Erntezeitpunkt (in µg/kg TS Boden)

	PFOA		PFOS	
	Mai 07	Okt. 07	Mai 07	Okt. 07
Oberboden, unbelastet	25	21	26	22
Oberboden, mäßig belastet	77	77	598	328
Oberboden, hoch belastet	269	315	3697	3003
Unterboden, unbelastet	28	22	7	14
Unterboden, mäßig belastet	41	58	242	135
Unterboden, hoch belastet	153	181	1280	988

Während die Konzentrationen für PFOA keine Unterschiede zwischen den beiden Probenahmeterminen zur Saat und zur Ernte zeigen, ist bei den beiden belasteten Varianten für PFOS eine Abnahme festzustellen (Tab. 4). Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass Schwankungen in den Analysedaten erst bei längeren Zeitreihen bewertet werden können, da z. B. bei der Einarbeitung von belastetem Bodenmaterial von keiner völligen Gleichverteilung der Belastung ausgegangen werden kann und somit eine wiederholte Bodenprobenahme in der Regel nicht zu identischen Analysenwerten führt.

Aus den Analysenwerten kann auf keinen signifikanten Austrag von insbesondere PFOS geschlossen werden, da im Sickerwassertank der Freilandanlage kein PFOS nachgewiesen werden konnte und ein schnelles Leaching auch im Widerspruch zu den Untersuchungsergebnissen vom hochbelasteten Standort in Brilon-Scharfenberg stehen würde.

3.2 PFT im Pflanzenmaterial

Die PFT-Gehalte in den Pflanzen zeigen eine deutliche Abhängigkeit von den Bodengehalten, allerdings gibt es zum Teil beträchtliche Unterschiede im Aufnahmeverhalten zwischen den einzelnen Pflanzenarten und zwischen PFOA und PFOS (Tab. 5).

Tab. 5: Gehalte an PFOA und PFOS im Pflanzenmaterial (in $\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockensubstanz (TS) bei Mais, Gras und Weizenkorn, in Frischsubstanz (FS) und TS bei Kartoffeln; Angaben sind Mittelwerte aus zweifach Bestimmungen, Einzelwerte im Anhang)

Variante	Bezug	PFOA	PFOS
Weizenkorn, unbelastet	TS	0,5	0,1
Weizenkorn, mäßig belastet	TS	1,1	0,3
Weizenkorn, hoch belastet	TS	42,9	4,3
Silomais, unbelastet	TS	0,5	0,5
Silomais, mäßig belastet	TS	1,6	14,4
Silomais, hoch belastet	TS	6,4	93,9
Gras, 2. Schnitt, unbelastet	TS	9,5	1,0
Gras, 2. Schnitt, mäßig belastet	TS	37,0	26,4
Gras, 2. Schnitt, hoch belastet	TS	254,4	435,2
Kartoffel, geschält, unbelastet	FS/TS	0,6/3,0	0,2/1,0
Kartoffel, geschält, mäßig belastet	FS/TS	0,7/3,5	0,1/0,5
Kartoffel, geschält, hoch belastet	FS/TS	3,0/15,0	1,2/6,0

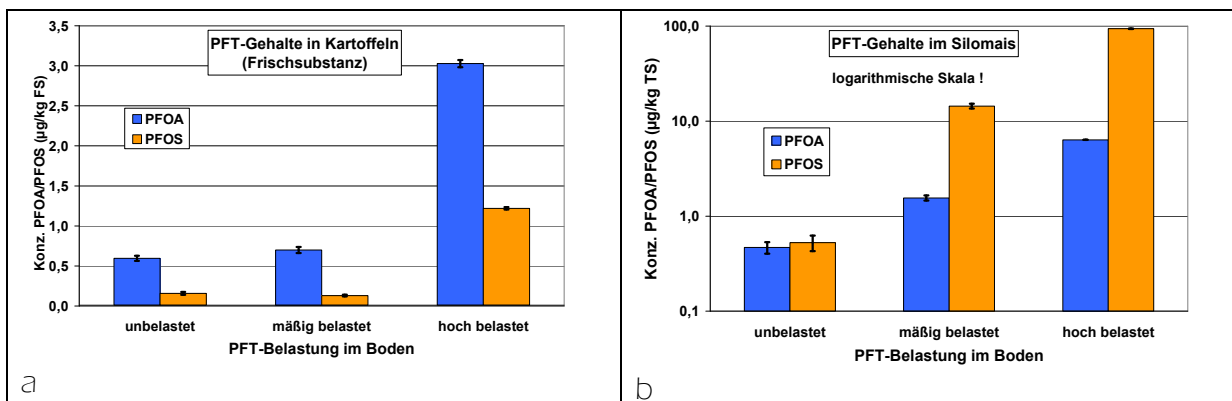


Abb. 5 a/b: PFOA-/PFOS-Konzentrationen in Kartoffeln (a) und Silomais (b)

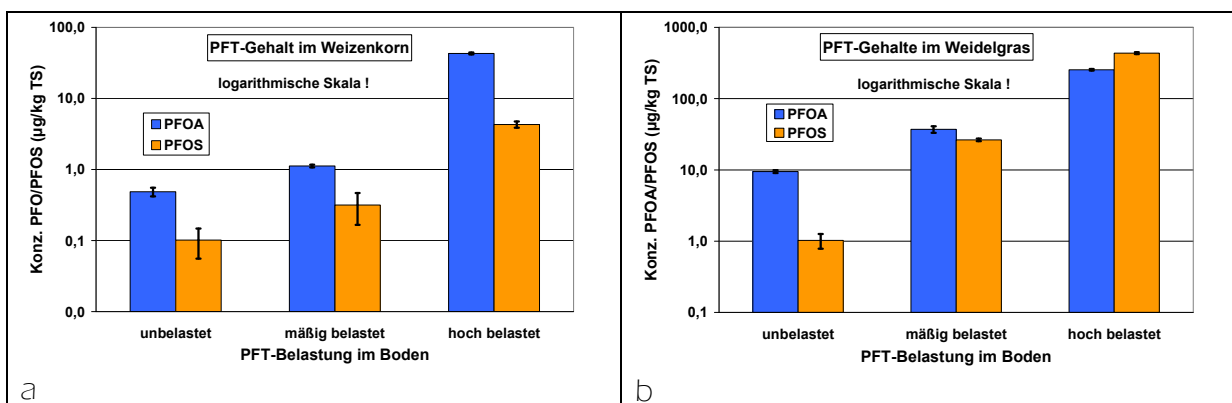


Abb. 6 a/b: PFOA-/PFOS-Konzentrationen im Weizenkorn (a) und Weidelgras (b)

Kartoffeln zeigen bei beiden Substanzen die geringste Zunahme der Konzentrationen in Abhängigkeit steigender Bodenkonzentrationen (Abb. 5a). Während bei der mäßig belasteten Variante für PFOS und PFOA keine bzw. nur eine geringe Zunahme der Konzentration in geschälten Knollen zu beobachten ist, steigt die Konzentration in der hoch belasteten Variante für beide Substanzen etwa auf das sechsfache.

Bei Silomais tritt eine stärkere Differenzierung zwischen PFOA und PFOS auf (Abb. 5b). Während die Konzentration an PFOA nur relativ gering ansteigt, auf das ca. 3- bzw. 12-fache in der mäßig bzw. hoch belasteten Variante, erhöhen sich die Konzentrationen für PFOS ca. um den Faktor 30 (mäßig belastet) bis 180 (hoch belastet).

Im Weizenkorn wird hingegen PFOA stärker eingelagert (Abb. 6a). Dort steigt die Konzentration im Vergleich zur Kontrollvariante um den Faktor 2 (mäßig belastet) bis 90 (hoch belastet), während sich die Konzentration von PFOS nur um das 3- bis 40-fache erhöhen.

Die stärksten Anreicherungen sind bei Gras zu beobachten, wobei PFOS in den belasteten Varianten stärker angereichert wird als PFOA. Die Konzentrationen an PFOA und PFOS erhöhen sich in der hoch belasteten Variante um das 25 bzw. 430-fache, in der mäßig belasteten Variante noch um das 3,5 bzw. 25-fache.

Betrachtet man die Transferfaktoren, so sind auch hier Unterschiede zwischen den Pflanzen und den beiden Substanzen festzustellen (Tab. 6). Bei PFOS nehmen die Transferfaktoren mit zunehmender Kontamination tendenziell ab (Weizenkorn, Kartoffel) bzw. bleiben annähernd gleich (Silomais). Eine Erhöhung des Transferfaktors ist nur bei Gras festzustellen, das generell die höchsten Transferfaktoren für PFOS aufweist.

Tab. 6: berechnete Transferfaktoren vom Boden zur Pflanze, bezogen auf TS-Gehalte der Pflanzen und gemittelter Oberbodenkonzentration

Variante	PFOA	PFOS
Weizenkorn, unbelastet	0,021	0,004
Weizenkorn, mäßig belastet	0,014	0,001
Weizenkorn, hochbelastet	0,147	0,001
Silomais, unbelastet	0,021	0,022
Silomais, mäßig belastet	0,020	0,031
Silomais, hochbelastet	0,022	0,028
Gras, 2. Schnitt, unbelastet	0,417	0,043
Gras, 2. Schnitt, mäßig belastet	0,480	0,057
Gras, 2. Schnitt, hochbelastet	0,872	0,130
Kartoffel, geschält, unbelastet	0,13	0,035
Kartoffel, geschält, mäßig belastet	0,045	0,001
Kartoffel, geschält, hoch belastet	0,050	0,002

Ein Anstieg des Transferfaktors für PFOA tritt beim Weizenkorn in der hoch belasteten Fläche auf, sowie im Besonderen bei Gras, das bei der höchsten Bodenkonzentration einen Transferfaktor nahe 1 aufweist. Da Weizen botanisch eng mit den Gräsern verwandt ist, kann vermutet werden, dass auch in der Weizen-Biomasse früher Entwicklungsstadien die PFOA-Gehalte und Transferfaktoren höher sind, die Einlagerung in das Korn und damit

dem eigentlichen Produkt jedoch verringert ist. Bei Silomais und Kartoffeln ist eine Konstanz der niedrigen Transferfaktoren bei steigenden Bodengehalten zu beobachten.

Bei den ermittelten Konzentrationen in der Pflanze und den berechneten Transferfaktoren kann davon ausgegangen werden, dass eine Aufnahme über die Wurzeln erfolgt ist. Die manchmal diskutierte Aufnahme von PFT über den Luftpfad kann hier ausgeschlossen werden, da aufgrund der nur kleinen belasteten Flächen (je 1 m²) und der vorherrschenden Westwindlagen keine Luftverfrachtung von höher zu niedriger kontaminierten Flächen stattfinden konnte (vgl. Abb. 3).

Eine Kontamination durch anhaftende Schmutzpartikel kann ebenfalls weitestgehend ausgeschlossen werden. Die Kartoffeln wurden gewaschen und nur das geschälte Material weiterverarbeitet. Bei Weizen wurden die Ähren geerntet, so dass kein Kontakt mit Boden auftreten konnte. Bei der Ernte von Silomais und Weidelgras wurde auf eine schmutzfreie Beprobung geachtet (Schnitt ca. 5 cm über Bodenoberfläche). Bei Weidelgras, dem Erntegut mit der höchsten Verschmutzungsgefahr, würde insbesondere für PFOA eine Verschmutzung den Analysenwert im Übrigen nicht signifikant verfälschen, da der Transferfaktor zwischen 0,5 und 0,9 liegt.

Anhang

Einzelergebnisse der Bestimmung von PFOA und PFOS in Pflanzen (Konzentrationen in µg Kg TS bei Silomais, Weizen und Gras, in Frischsubstanz bei Kartoffeln)

Variante	Konzentrationen		Transferfaktor	
	PFOA	PFOS	PFOA	PFOS
Weizenkorn, unbelastet	0,55	0,15	0,0243	0,0062
Weizenkorn, unbelastet	0,42	0,06	0,0183	0,0023
Weizenkorn, mäßig belastet	1,07	0,17	0,0138	0,0004
Weizenkorn, mäßig belastet	1,17	0,46	0,0152	0,0010
Weizenkorn, hochbelastet	41,61	3,86	0,1427	0,0012
Weizenkorn, hochbelastet	44,23	4,74	0,1517	0,0014
Silomais, unbelastet	0,53	0,43	0,0234	0,0180
Silomais, unbelastet	0,40	0,62	0,0177	0,0262
Silomais, mäßig belastet	1,65	13,56	0,0214	0,0293
Silomais, mäßig belastet	1,46	15,25	0,0189	0,0329
Silomais, hochbelastet	6,36	94,47	0,0218	0,0282
Silomais, hochbelastet	6,36	93,30	0,0218	0,0279
Gras, unbelastet	9,94	0,79	0,4356	0,0330
Gras, unbelastet	9,08	1,26	0,3980	0,0529
Gras, mäßig belastet	41,05	27,51	0,5317	0,0594
Gras, mäßig belastet	33,03	25,30	0,4278	0,0546
Gras, hochbelastet	248,18	422,23	0,8509	0,1260
Gras, hochbelastet	260,74	448,26	0,8940	0,1338
Kartoffel, geschält, unbelastet	0,63	0,14	0,0276	0,0059
Kartoffel, geschält, unbelastet	0,56	0,18	0,0247	0,0074
Kartoffel, geschält, mäßig belastet	0,66	0,12	0,0086	0,0003
Kartoffel, geschält, mäßig belastet	0,74	0,14	0,0096	0,0003
Kartoffel, geschält, hoch belastet	3,07	1,24	0,0105	0,0004
Kartoffel, geschält, hoch belastet	2,98	1,21	0,0102	0,0004

