

Jedele und Partner

Dr.- Ing. Jedele und Partner GmbH
Verfahrenstechnik Wasser Abwasser Schlamm
Industriestraße 2

70565 Stuttgart - Vaihingen

Telefon 0711 / 9 90 39-0
Telefax 0711 / 9 90 39-10
E-Mail info@jugmbh.de

Bericht

Untersuchungen zum Verbleib von PFT-Verbindungen in abgelagerten Bodenmaterial und im Sickerwasser der Deponie Burghof im Landkreis Ludwigsburg

Auftrag - Nr. 1107452
Bearbeiter Herr Dipl.-Ing. Frank-Steffen Schmid
Datum 22.10.2013

Auftraggeber Abfallverwertungsgesellschaft
des Landkreises Ludwigsburg mbH (AVL)
Hindenburgstr. 30
71638 Ludwigsburg

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	4
2	5
3	8
4	10
5	15
6	20
7	26
8	33
9	36
10	37

Anhang

Abkürzungen

AKF	Aktivkohlefilter
AOX	adsorbierbare organisch gebundene Halogene
AVL	Abfallverwertungsgesellschaft des Landkreises Ludwigsburg mbH
Berghof	Firma Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH & Co. KG
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf (Maß für die organische Verschmutzung des Abwassers)
EW	Einwohnerwerte
JuP	Dr.-Ing. Jedele und Partner GmbH
LF	Leitfähigkeit bei 25 °C
N _{anorg}	Summe der anorganischen Stickstoffverbindungen (N _{anorg} = NH ₄ -N + NO ₃ -N + NO ₂ -N)
N _{ges}	gesamter organischer und anorganischer Stickstoff
NF	Nanofiltration
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
NO ₂ -N	Nitritstickstoff
P _{ges}	gesamter Phosphor
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure, kurzkettiger Ersatzstoff für PFOS, 4 C Atome
PFHpS	Perfluorheptansäure, 7 C Atome
PFHxA	Perfluorhexansäure, 6 C Atome
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure, 6 C Atome
PFOA	Perfluoroktansäure, 8 C Atome
PFOS	Perfluoroktansulfonsäure, PBT Stoff (persistent, bioakkumulativ, toxisch), 8 C Atome
PFT	perfluorierte Tenside
Rohsiwa	Rohsickerwasser
SRA	Sickerwasserreinigungsanlage
TS	Trockensubstanz
UF	Ultrafiltration

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Abfallverwertungsgesellschaft des Landkreises Ludwigsburg (AVL) hat nach Rücksprache mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg in Stuttgart die Ablagerung von rd. 11.000 t Bodenmaterial auf der Deponie Burghof übernommen, das bei einem Brand in Rheinland-Pfalz und der vorgenommenen Löschaktion mit perfluorierten Tensiden (PFT) verunreinigt wurde. Im Ausgangsmaterial wurden je nach Probe 150 bis 4.110 µg PFT/kg TS analysiert. Es wurde vereinbart, auf der Deponie Burghof zwei Lysimeter mit einer Abmessung von jeweils 7,5 m x 10 m x 2 m Höhe zu errichten, an denen das Verhalten der PFT-Verbindungen zunächst einmal über ein Jahr verfolgt werden kann.

Aus Sicht der AVL ist die Deponie Burghof zur Ablagerung solcher Stoffe im besonderen Maß geeignet, da die vor Ort vorhandenen Sickerwasserreinigungsanlage mit Membranstufen (Ultrafiltration, Nanofiltration) und einer Aktivkohlereinigung ausgestattet ist. Die Nanofiltration und die Aktivkohlestufe stellen sicher, dass keine PFT-Verbindungen über das Sickerwasser in die Umwelt gelangen.

Die beiden Lysimeter wurden von der AVL im Sommer 2009 errichtet. Im Juni 2009 erfolgte eine erste Nullaufnahme. Ab diesem Zeitpunkt wurden quartalsweise Proben gezogen und auf PFT-Verbindungen und andere chemische Inhaltsstoffe analysiert. Da die so gewonnenen PFT Messergebnisse sehr interessant waren, wurde die Beprobung nach Abstimmung mit der Behörde in den Jahren 2010 und 2011 mit halbjährlichen Untersuchungen fortgesetzt. In den Jahren 2012 und 2013 wurde die Messreihe jeweils durch eine weitere Analyse ergänzt.

Im folgenden Bericht der Dr.-Ing. Jedele und Partner GmbH sind die Ergebnisse der chemischen Analysen der Firma Berghof, Tübingen zu diesem Projekt über die bisherige Laufzeit der Lysimeter von rd. vier Jahren zusammengestellt. Anhand von Bilanzen erfolgt eine ingenieurtechnische Bewertung der zu untersuchenden Ablagerung des PFT-haltigem Materials.

Die über ein Jahr hinausgehenden Untersuchungen wurden mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg ermöglicht.

2 Beschreibung der Deponie Burghof

Die Deponie Burghof wird von der AVL betrieben und liegt auf der Gemarkung der Stadt Vaihingen/Enz, Stadtteil Horrheim. Der Planfeststellungsbeschluss erging am 8.7.1975, die Inbetriebnahme erfolgte 1978. Zunächst war die Deponie Burghof als klassische Siedlungsabfalldeponie konzipiert. Heute erfüllt sie die Kriterien der Deponieklasse II.

Die Deponiefläche ist in 13 Abschnitte aufgeteilt, die bislang noch nicht alle erschlossen wurden. Neben Steine, Erden, Sande und Aschen werden in Monobereichen auch Asbest, PAK-kontaminierte Baurestmassen, KMF-Abfall und MBA-Reststoffe abgelagert.



Abbildung 1: Schrägaufnahme der Deponie Burghof vom Juni 2013

Einer verfüllbaren Fläche von ca. 43 ha mit einem Volumen von rund 10,4 Mio. m³ steht eine in Anspruch genommene Fläche von etwa 28 ha und ein verfülltes Volumen von 5,7 Mio. m³ gegenüber. Momentan werden auf den Abschnitten IX, XII und XIII mineralische Abfälle abgelagert. Im Bereich der Abschnitte VIII, IX und XII entspricht die Basisabdichtung den Anforderungen der DepV, Deponieklasse II. Im Bereich der Parzellen I - VII besteht eine 60 bis 75 cm dicke, mineralische Abdichtung und entspricht der Deponieklasse I.

In Teilbereichen der Abschnitte III bis VIII wurde eine temporäre Abdeckung mit Kunststofffolien auf einer Fläche von ca. 13 ha aufgebracht. Hierdurch wird der Sickerwasseranfall minimiert.

Das gesamte Sickerwasser der Deponie wird erfasst. Das Abwasser der Abschnitte I – IX wird in einer Sickerwasserreinigungsanlage (SRA) vorbehandelt und zur Kläranlage Bietigheim zur Nachbehandlung abgeleitet. Das Abwasser der Abschnitte X bis XII ist geringer belastet und kann bislang ohne Vorbehandlung in die kommunale Kläranlage eingeleitet werden. Das Oberflächenwasser der Deponie wird über ein System von Entwässerungsgräben, sechs Regenrückhaltebecken und einem als Schlammfang ausgebildetem Rückhaltebecken in verschiedene Vorflutgräben abgeleitet. Stärker verschmutztes Oberflächenwasser (z.B. von Straßen) wird in die öffentliche Kanalisation übergeben.

Wasserbilanz 2012 (ohne Anteile Grassammelfläche und häusliche Abwässer)

➤ Niederschlagsmenge 2012	606 mm
➤ Abwassermenge	82.739 m ³
➤ davon gereinigte Sickerwassermenge	44.703 m ³
➤ davon Abfuhrmenge unbehandeltes Sickerwasser	18.640 m ³
➤ davon nicht behandelte Sickerwassermenge	13.811 m ³
➤ davon Einleitungsmenge vom RKB 1	3.700 m ³

Seit 1983 wird eine Deponieentgasung auf der Deponie Burghof betrieben. Bereits 1985 wurde eine erste Deponiegasverwertungsanlage installiert. Die Gaserfassung besteht aus derzeit 70 angeschlossenen Gasbrunnen. Das Gas wird über fünf Gasunterstationen flächendeckend gesammelt und durch ein BHKW Modul mit einem Otto-Gasmotor mit einer max. Leistung von 1.250 kW_{el} und maximaler Gasabnahme von ca. 750 Nm³/h zu Strom und Wärme verarbeitet.

Zudem sind auf der Deponie zwei Fackelanlagen mit einem Gasdurchsatz von 50 bis max. 1.000 m³/h installiert. Aus der anfallenden Abwärme wurden während der gesamten Heizperiode 2012 ca. 582 MWh für die Beheizung der Betriebsgebäude energetisch genutzt.

Da seit 2005 kein unbehandelter organischer Abfall mehr deponiert werden darf, ist jedes Jahr mit einem ca. 10 % -igen Rückgang der Gasmenge zu rechnen.

Gasbilanz 2012

➤ Abgesaugte Deponiegasmenge	4.843.873 m ³
➤ Verwertete Deponiegasmenge	3.591.463 m ³
➤ Abgefackelte Deponiegasmenge	1.252.410 m ³
➤ Erzeugter Strom	5.954.720 kWh

3 Verfahrenstechnik der SRA Deponie Burghof

In Abbildung 2 ist die Verfahrenstechnik der SRA Deponie Burghof dargestellt.



Abbildung 2: Verfahrenstechnik der SRA Deponie Burghof (Firma Haase)

Das aus der Deponie Burghof austretende Sickerwasser wird in Rohrleitungen gefasst und über ein Pumpwerk in die Sickerwasserspeicher eingebracht. Über eine Pumpe wird der Bioreaktor beschickt. Im Bioreaktor werden die organischen Inhaltsstoffe biologisch abgebaut. Das Gemisch aus Biomasse und biologisch gereinigten Sickerwasser wird kontinuierlich über eine Ultrafiltration gepumpt. Durch die feinen Membranen der Ultrafiltration gelangt nur die wässrige Phase. Die Biomasse kann nicht durch die Membranen treten und wird wieder in den Bioreaktor zurückgeführt. Bei Bedarf wird zuwachsende Biomasse als Überschuss-Schlamm aus dem Bioreaktor entnommen.

Die durch die Membran der Ultrafiltration gelangende wässrige Phase wird als UF Permeat bezeichnet. In dieser Phase sind noch inerte organische Stoffe (Rest CSB) und gefährliche Stoffe wie z.B. die AOX-Verbindungen enthalten. Deshalb wird das UF Permeat einer noch feineren Filtration, der sogenannten Nanofiltration unterzogen. Durch die Membranen der Nanofiltration gelangen nur noch Wasser und kleine Ionen. Mengenmäßig sind dies 90 % des Sickerwassers. Das Permeat der Nanofiltration ist also sehr sauber und entspricht allen gesetzlichen Vorgaben der Sickerwasserreinigung.

Der Stoffstrom, der in der Nanofiltration nicht durch die Membran gelangt, wird als Konzentrat der Nanofiltration bezeichnet. Mengenmäßig sind dies nur noch 10 % des Sickerwassers. Darin sind die biologisch nicht abbaubaren CSB- und AOX-Verbindungen enthalten.

Das Konzentrat wird der Aktivkohlestufe zugeführt, die aus drei in Reihe betriebenen austauschbaren Aktivkohlefilter (AKF) mit je 20 m³ besteht. An die Aktivkohle adsorbieren nun diese CSB- und AOX-Verbindungen. Der Ablauf aus den AKF ist ebenfalls sehr sauber und kann demzufolge abgeleitet werden. Die drei AKF werden täglich über CSB-Messungen kontrolliert.

Ist die Aktivkohle beladen, so kann der Ablauf aus den AKF auch in den Bioreaktor zurückgeführt werden (Umschaltung per Hand). Dann wird einer der drei mobilen AKF durch einen neuen AKF ersetzt. Hierzu liefert ein LKW einen neuen Wechselfilter an und nimmt den am meisten beladenen Filter mit. Der neu angelieferte AKF wird immer an letzter Stelle in der Reihe betrieben. Wird der neue AKF angeliefert, wird jeder andere AKF Adsorber eine Stufe nach vorne geschaltet. Abgeholt wird immer der AKF, der davor in der Reihe als 1. Filter betrieben wird.

4 Probenahme und Analytik

Die Probenahme von Sickerwasser und Boden auf der Deponie Burghof wurde von der Firma Burghof unter der Leitung von Herrn Jürgen Haaff durchgeführt. Zu allen Probenahmen wurden von der Fa. Burghof Probenahmeprotokolle, Prüfberichte und umfangreiche Bilddokumentationen erstellt.

Sickerwasserproben

Sämtliche Sickerwasserproben wurden als qualifizierte Stichproben gezogen. D.h. für jede Probe wurde 5-mal geschöpft mit einem zeitlichen Abstand von zwei Minuten. Zusammenführung der Einzelproben in einem Edelstahlimer. Abfüllen der homogenisierten Probe in eine braune Glasflasche.

Das Sickerwasser aus den Lysimeter wurde in kleinen Eimern mit rd. 10 Liter Inhalt aufgefangen. Die Standzeit in den 10 l Eimern wurde auf ein bis zwei Tage begrenzt. Der Inhalt des Eimers wurde homogenisiert und daraus die Probe gezogen.

Bodenproben

Das Bodenmaterial ist sandig und hinsichtlich seiner Bodenzusammensetzung homogen (Bodenart: Sand, schwach feinkiesig, ganz schwach schluffig). Mutterboden, Brandrückstände und sonstige Störstoffe waren nicht zu beobachten. Die Grundlegende Charakterisierung des Abfalls nach § 5.1 AbfAbIV wurde von der AVL Abt. Technik wie folgt angegeben (10.6.2009):

- Voraussichtliche Tonnage rd. 8.000 + 4.500 Tonnen
- Einmaliger Anfall des Abfalls
- Abfall wurde nicht vorbehandelt
- TOC < 0,01 bis 2,3 % TS
- DOC 2 bis 10 mg/l
- PFT 150 bis 4.110 µg/kg TS
- PFT (Eluat) 6,25 bis 419 µg/l

Die Bodenproben wurden mittels Schlitzsonde aus dem Lysimeter entnommen. Hierzu wurde eine Rasterbeprobung mit 12 Einzelproben in der Tiefe von 0 bis 2 m durchgeführt. Dies ist die gesamte Tiefe des Lysimeters. Aus den so gewonnenen zwölf Einzelproben wurde in einem Edelstahlleimer eine Mischprobe angefertigt. Die Probe wurde mittels fraktionierten Teilen verjüngt. Für die Trockensubstanz (TS) und PFT (15) Bestimmung wurde die Mischprobe auf < 2 mm gesiebt.

Analytik

Mit Ausnahme der PFT Analysen wurden alle Untersuchungen von der Firma Berghof unter der Leitung von Herrn Haaff durchgeführt (z.B. pH, Temperatur, O₂-Gehalte, TS, LF, etc.).

Die PFT Analysen wurden vom Institut Dr. Nowak in Ottersberg durchgeführt. Das Labor war bereits 2009 für PFT Analysen akkreditiert und stand auf der Auswahlliste geeigneter Untersuchungsstellen des Landes Niedersachsen. Das Labor hatte auch an Ringversuchen zu PFT Analysen in Nordrhein-Westfalen teilgenommen. Sämtliche Akkreditierungsunterlagen liegen Herrn Haaff vor. Die PFT Analysen wurden aus Einfachbestimmungen ermittelt.

Zur Absicherung der PFT Analysenqualität wurden die Proben vom 23.07.2009 (zweite Beprobung) beim Labor Eurofins in Münster in Auftrag gegeben. Auch dieses Labor stand auf der Auswahlliste geeigneter Untersuchungsstellen des Landes Niedersachsen. Die so gewonnenen Ergebnisse passten sehr gut mit den Ergebnissen der ersten Beprobung vom 16.06.2009 zusammen. Die Projektbeteiligten schlossen daraus, dass die PFT Analysen als gesichert angesehen werden können. Alle weiteren PFT Analysen wurden vom Institut Dr. Nowak durchgeführt.

Die DIN Norm 38407-42 (PFT in Wasser) ist erst im März 2011 in Kraft getreten. Ab diesem Zeitpunkt wurden die PFT Analysen des Sickerwassers gemäß dieser DIN Norm durchgeführt.

Zur Bestimmung der Trockensubstanz (TS) wurde ein Anteil der < 2mm gesiebten Bodenprobe bei 105 °C komplett getrocknet. Der dabei verbleibende Trockenrückstand wird von den Laboren als Trockensubstanz (TS) bezeichnet. Auf diese Trockensubstanz der Bodenproben werden die PFT Analysen bezogen (im Boden µg PFT/kg TS).

Bilddokumentation



Abbildung 3: Errichtung der beiden Lysimeter 2009



Abbildung 4: Veränderungen an den beiden Lysimetern



Abbildung 5: Probenahme an den beiden Lysimetern 12. Juni 2013

5 Analysen in der SRA Deponie Burghof

PFT-Verbindungen sind in jedem Sickerwasser von früheren Rohmüldeponien enthalten. In der SRA Deponie Burghof wurden am 16.6.2009 an sieben verschiedenen Stellen Proben gezogen und auf PFT-Verbindungen analysiert. Die PFT-Verbindungen stehen zunächst in keinem direkten Zusammenhang zu dem neu abgelagerten Material. Die Analysen sollen zeigen, wie die PFT-Verbindungen in der Sickerwasserreinigungsanlage verteilt sind und an welchen Stellen sie entnommen bzw. gebunden werden. Am 08.07.2010 wurden an drei Stellen (Rohsiwa, Ablauf Aktivkohle und Permeat NF) zusätzliche Proben untersucht. 2011 wurden zur Kontrolle und Absicherung der Messungen zwei weitere Probenahmen und Analysen durchgeführt.

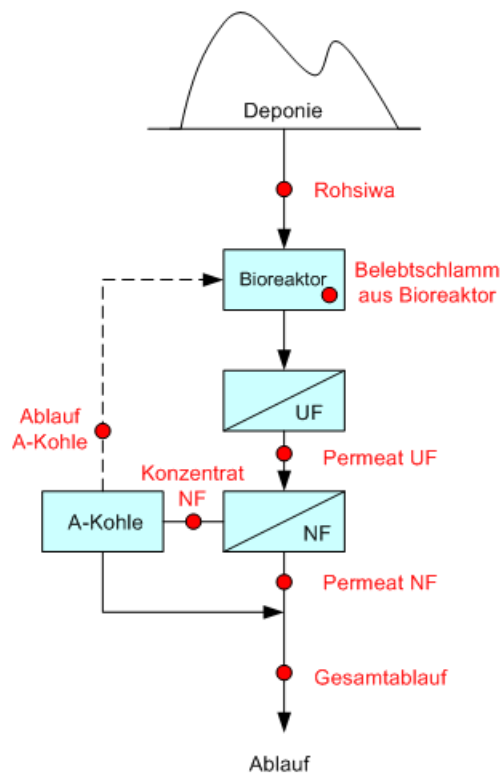


Abbildung 6: Verfahrensschema und Probenahme in der SRA Deponie Burghof

Tabelle 1: PFT-Analysen im Sickerwasser an verschiedenen Probenahmestellen

Probe	Einheit	16.6.2009	8.7.2010	5.7.2011	7.11.2011	11.2.2013
LF in $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\mu\text{S}/\text{cm}$	15.270	26.500	16.660	17.730	11.000
Rohsiwa	$\mu\text{g PFT}/\text{l}$	7,1	24,0	28,7	16,1	16,0
Permeat UF	$\mu\text{g PFT}/\text{l}$	12,0				
Permeat NF	$\mu\text{g PFT}/\text{l}$	0,01	0,01			
Gesamtablauf	$\mu\text{g PFT}/\text{l}$	0,05				
Konzentrat NF	$\mu\text{g PFT}/\text{l}$	78,6		102	103	
Ablauf Aktivkohle	$\mu\text{g PFT}/\text{l}$	0,89	6,65	0,04	2,26	

Im Rohsickerwasser sind in den Proben vom 16.6.2009 mit rd. 7 $\mu\text{g}/\text{l}$ lediglich geringe PFT Konzentrationen enthalten. Dies zeigt ein Vergleich mit dem Sickerwasser im Lysimeter 1, in dem 432 $\mu\text{g}/\text{l}$ PFT analysiert wurden. Die Konzentrationen im Rohsiwa werden im Ablauf der Ultrafiltration (= Permeat UF) quasi bestätigt. Hier werden (evtl. durch kleine Anreicherung bzw. Schwankungen) rd. 12 $\mu\text{g}/\text{l}$ gefunden. Dies zeigt, dass die Ultrafiltration (UF = 1. Membranstufe) mit seiner Porenweite von etwa 0,01 bis 0,1 μm die PFT-Verbindungen nicht zurückhalten kann.

Betrachtet man den Ablauf der zweiten Membranstufe, der sehr viel feineren Nanofiltration, so werden an dieser Stelle keine PFT mehr gefunden (0,01 bzw. 0,05 im Gesamtablauf). D.h. die Nanofiltration mit einem Porendurchmesser von 0,001 bis 0,01 μm hält die PFT komplett zurück.

Bestätigt wird dies durch die Analyse im Konzentrat der NF. Hier findet man entsprechend der Aufkonzentrierung rd. 79 µg/l PFT und damit wie zu erwarten den eindeutig höchsten Konzentrationswert innerhalb der SRA Deponie Burghof.

Das Konzentrat der NF fließt nun über die Aktivkohlestufe. Im Auslauf der Aktivkohle findet man mit 0,89 µg/l PFT quasi kein PFT mehr. Hieraus wird klar, dass die Aktivkohle die PFT-Verbindungen weitgehend adsorbiert. Die Aktivkohlestufe ist damit letztendlich die Schadstoffsenke für die im Rohsickerwasser enthaltenen PFT-Verbindungen.

Der Ablauf der Aktivkohle wird im Regelbetrieb in den Gesamtablauf abgeleitet. Der Gesamtablauf setzt sich mengenmäßig aus rd. 90 % Permeat NF und rd. 10 % Ablauf A-Kohle zusammen. Sind die CSB-Konzentrationen hoch, wird der Ablauf der A-Kohle in den Bioreaktor zurückgeführt. Bei der Probenahme am 16.06.2009 war dies der Fall.

Der Belebtschlamm der SRA wurde ebenfalls auf PFT untersucht. Hier wurden interessanterweise nur PFOS nachgewiesen. Alle anderen PFT werden ausgewaschen. Der Schlamm liegt mit 21 µg/kg TS jedoch deutlich unter den im Land Baden-Württemberg für eine landwirtschaftliche Verwertung verfolgten 100 µg/kg TS. Die Adsorption an Belebtschlamm spielt bei der Gesamtentnahme lediglich eine untergeordnete Rolle.

Interessant sind die Ergebnisse in den Proben vom 08.07.2010. Im Rohsickerwasser werden rd. 24 µg/l PFT analysiert. Dies ist das 3,4-fache des Wertes vom 16.06.2009. Dabei ist zu beachten, dass vor dem 8.7.2010 eine längere Trockenwetterperiode lag. Erkennbar ist dies an der höheren Leitfähigkeit im Rohsiwa, die mit 26.500 µS/cm das etwa 1,7-fache des Wertes vom 16.06.2009 beträgt (15.270 µS/cm). Damit hat sich der PFT Wert im Rohsiwa um einen höheren Faktor erhöht als die Leitfähigkeit. Eine denkbare Erklärung wäre, dass sich die Ablagerungen des PFT-haltigen Bodenmaterials im Rohsiwa auswirken (siehe nachfolgende Abschätzung). Allerdings können sich die PFT Werte auch durch andere Ablagerungen verändert haben.

Wichtig ist dabei die zusätzliche Kenntnis, dass im Permeat der Nanofiltration nach wie vor keine PFT-Verbindungen nachgewiesen werden. Die PFT-Verbindungen werden durch diese Stufe sicher vor einer Freisetzung in die Umwelt bewahrt.

Kontrollmessungen in der SRA im Jahr 2011

In 2011 wurden innerhalb der SRA zwei weitere Kontrollmessungen durchgeführt. Die Probenahmen fanden parallel zu den Lysimetern am 5.7. und 7.11.2011 statt.

Im Rohsickerwasser wurden 28,7 und 16,1 µg PFT/l gemessen. Damit liegen die Werte ähnlich wie 2009 und 2010. Interessant ist, dass die PFOS Konzentrationen im Rohsickerwasser mit etwa 1 µg/l relativ nieder liegen. Daran erkennt man, dass sich die PFOS nur relativ langsam aus dem Boden bzw. Müllkörper lösen. Dieser Sachverhalt wird letztendlich auch durch die gesamte Langzeitbeobachtung der Lysimeter über vier Jahre bestätigt.

Auch der weitere Mechanismus der PFT Entnahme in der SRA Burghof unterscheidet sich nicht zu den Vorjahren. Die PFT werden aus dem Bioreaktor ausgetragen und verbleiben im Konzentrat der Nanofiltration. Hier werden 102 und 103 µg/l PFT gemessen. Das Konzentrat der Nanofiltration wird dann den drei Aktivkohlefilter zugeführt.

Die Ablaufwerte der AKF liegen 2011 bei 0,04 µg/l und 2,26 µg/l PFT. Damit entnimmt die Aktivkohlestufe die PFT Verbindungen zu 99,9 % bzw. 97,8 %. Dies zeigt, dass mit der Aktivkohle die PFT-Verbindungen effektiv und weitgehend entnommen werden können. Allerdings sinkt die Entnahmeleistung der Aktivkohlestufe mit zunehmender Standzeit (vergleiche Ergebnisse im Kapitel 6).

Abschätzung der PFT Emission durch das PFT-haltige Material:

Auf der Deponie Burghof wurden im Sommer 2009 insgesamt rd. 11.000 t eines PFT-haltigen Bodenmaterials aus einem Brandschaden abgelagert. Aufgrund dieser Ablagerung müsste sich aus theoretischer Sicht der PFT Gehalt im Rohsickerwasser erhöhen. Im Folgenden soll anhand der vorliegenden Analysen die Konzentrationserhöhung abgeschätzt werden.

Für die Abschätzung muss auf ein Zwischenergebnis aus der PFT-Bilanzierung an den beiden Lysimeter vorgegriffen werden. Demnach wird ein Anteil von etwa 5 bis 10 % der gesamten abgelagerten PFT-Masse über das Sickerwasser innerhalb des ersten Jahres ausgetragen. Nach 2 ½ Jahren finden wir eine Abnahme von 20 bis 30 % (25 % / 2,5 a = rd. 10 %/a).

Demnach müsste sich der PFT-Gehalt im Rohsickerwasser der Deponie Burghof aufgrund der Ablagerung des PFT-haltigen Materials der Deponie Burghof wie folgt erhöhen:

Eingelagerte Tonnage nach Lieferscheinen:	11.117, 46 t
durchschnittlicher PFT Gehalt:	rd. 1.500 µg/kg TM
Annahme Trockenmasse:	ca. 93 %
abgelagerte PFT Masse:	rd. 15.500 g PFT

Erhöhung im Siwa bei Anteil 5 %/a	775.000 mg PFT / 45.000 m ³ Rohsiwa
	17,2 mg PFT/m ³ = 17,2 µg PFT/l

Erhöhung im Siwa bei Anteil 10 %/a	1.550.000 mg PFT / 45.000 m ³ Rohsiwa
	34,4 mg PFT/m ³ = 34,4 µg PFT/l

Die überschlägige Abschätzung zeigt, dass sich die PFT Konzentration im Rohsickerwasser aufgrund der Ablagerung von PFT-haltigem Material je nach Ansatz um etwa 17 bis 34 µg/l erhöhen müsste. Vergleicht man die Messwerte im Rohsiwa vom 16.6.2009 mit den Werten vom 08.07.2010, so ist eine Erhöhung um rd. 17 µg/l PFT festzustellen. Die Abschätzung zeigt, dass sich die real gemessene Erhöhung aus dem abgelagerten PFT-haltigen Material erklären kann.

6 Analysen an der Aktivkohlestufe der SRA Deponie Burghof

Die Verfahrenstechnik der SRA Deponie Burghof besteht aus einem Bioreaktor, einer Ultrafiltration für den Biomasserückhalt und einer Nanofiltration. Das Konzentrat der NF wird über eine Aktivkohlestufe bestehend aus drei hintereinander geschalteter Aktivkohlefilter (AKF 1 vorne, AKF 2 Mitte, AKF 3 hinten) geleitet. Die Aktivkohlestufe ist die Schadstoffsenke für schwer abbaubare organische Stoffe. Diese Stoffe werden in der Regel über Summenparameter wie CSB und AOX erfasst.

Aus den Analysen in der SRA wurde deutlich, dass im Rohsickerwasser der Deponie Burghof lediglich Spuren von PFT-Verbindungen enthalten sind (siehe Tabelle 1, 7 bis 29 µg/l). Während die UF die PFT-Verbindungen nicht entnehmen kann, werden sie in der NF nahezu komplett zurück gehalten (PFT < 0,01 µg/l). Damit reichern sich die PFT-Verbindungen im Konzentrat der NF an (rd. 80 bis 100 µg/l). Dieses Konzentrat wird der Aktivkohlestufe zugeführt. In der Aktivkohlestufe werden die PFT dann an die Aktivkohle angelagert und damit adsorptiv aus dem Sickerwasser entnommen. Im Ablauf der Aktivkohlestufe fanden sich zunächst zwischen 0 und 6,7 µg/l PFT (siehe Tabelle 1). Damit würde der PFT-Wirkungsgrad der Aktivkohlestufe zwischen 90 und 100 % liegen.

In einem Gespräch mit der Aufsichtsbehörde am 1. März 2011 auf dem Betriebsgelände der Deponie Burghof wurde diskutiert, ob die Mechanismen der PFT Entnahme in der Aktivkohlestufe in den einzelnen Aktivkohlefilter (AKF) noch detaillierter ermittelt werden kann. Es wurde vereinbart, zusätzliche PFT Untersuchungen an den einzelnen AKF durchzuführen.

PFT-Messungen an den einzelnen Aktivkohlefiltern (AKF)

Es wurden an vier Tagen verschiedene Proben aus den einzelnen AKF gezogen und auf PFT-Verbindungen analysiert. Die zugehörigen CSB Werte der einzelnen AKF wurden von der Firma Haase zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der PFT Messungen sind in den Anhängen 5 und 6 zusammengestellt.

Dienstag, 01.03.2011

Rohsickerwasser	22,1 µg/l PFT
Konzentrat NF = Zulauf AKF 1	97,3 µg/l PFT
Ablauf AKF 3 (beladen)	39,4 µg/l PFT (höher als bis dato gemessen)

Zulauf AKF 1	9.064 mg/l CSB
Ablauf AKF 3	4.605 mg/l CSB

Am 02.03.2011 wurde ein neuer AKF mit der Filternummer #221 angeliefert. Damit war am 01.03.2011 eine Situation gegeben, dass der AKF 3 im Prinzip voll beladen war. Die Ablaufwerte sind in dieser Situation am schlechtesten. Dies ist sehr gut auch an den Vergleichswerten mit den CSB Konzentrationen zu erkennen.

Beim PFT errechnet sich die Entnahme zu lediglich rd. 60 %. Beim CSB werden am 01.03.2011 in der gesamten Aktivkohlestufe nur rd. 50 % der Schadstoffe entnommen. Damit liegen die Entnahmeraten beim CSB und bei den PFT in einer ähnlichen Größenordnung.

Mittwoch, 02.03.2011

Ein neuer Aktivkohlefilter wird immer an die dritte und damit hinterste Position innerhalb der Aktivkohlestufe geschaltet. Da am 02.03. ein neuer AKF (#221) angeliefert wurde, konnte nun der Ablauf eines völlig neuen nicht beladenen AKF untersucht werden. Damit liegen hier optimale Randbedingungen für eine Entnahme der CSB- und PFT-Verbindungen vor.

Zulauf AKF 1 (Wert vom 1.3.2011)	97,3 µg/l PFT
Ablauf AKF 3 (#221)	5,7 µg/l PFT

Zulauf AKF 1	9.177 mg/l CSB
Ablauf AKF 3 (#221)	460 mg/l CSB

Die PFT-Entnahme der gesamten Aktivkohlestufe errechnet sich nun zu rd. 94 %. Beim CSB ergibt sich die Entnahme zu rd. 95 %. Damit korrelieren auch bei dieser Beprobung die CSB und die PFT Entnahme sehr gut. Mit dem neuen AKF #221 steigert sich die Entnahme also auf > 95 %. Dies ist der Effekt des neuen AKF 3 mit der Filternummer #221.

Wird ein neuer Aktivkohlefilter an die 3. und damit hinterste Position der Aktivkohlestufe geschaltet, so vermindert sich die PFT Konzentration im Auslauf im Idealfall auf 0 µg/l (Wirkungsgrad 100 %). Ab diesem Zeitpunkt belädt sich der Filter mit den PFT-Verbindungen. Der Filter wandert bei der nächsten Anlieferung eines Filters an die 2. Position und bei einer weiteren Anlieferung an die 1. Position innerhalb der Aktivkohlestufe.

Den letzten Tag seiner Standzeit an der Position 1 repräsentiert die Probe vom 01.03.2011. In der Gesamtstufe wird hier noch ein Wirkungsgrad bei der PFT Entnahme von 60 % erreicht. Damit ist der Wirkungsgrad der gesamten Aktivkohlestufe über eine gesamte Filterlaufzeit betrachtet von anfänglich 100 % auf 60 % gefallen.

Mit weiteren Proben sollte nun noch detailliert untersucht werden, wie sich ein Filter beim Lauf durch die Aktivkohlestufe (von Position 3 zu Position 2 und weiter zu Position 1) verhält. Diese Detailuntersuchung gelang leider nur zum Teil, da Probenflaschen beim Transport zum Labor zerbrachen.

So konnte der Verlauf des neuen AKF (#221) leider nicht exakt weiter verfolgt werden. Am 7.4. wurde zudem versehentlich der Ablauf des AKF 2 (#223) beprobt. Der AKF (#221) befand sich zu diesem Zeitpunkt jedoch bereits an der ersten Stelle.

Donnerstag, 07.04.2011

Zulauf AKF (vom 1.3.2011)	97,3 µg/l PFT
Ablauf AKF 2 (#223)	10,7 µg/l PFT

Zulauf AKF	8.410 mg/l CSB
Ablauf AKF 1	6.466 mg/l CSB
Ablauf AKF 2 (#223)	4.684 mg/l CSB
Ablauf AKF 3	2.995 mg/l CSB

Bei den PFT kann eine Entnahmeleistung bis zum Ablauf des AKF 2 (#223) von rd. 90 % abgeschätzt werden. Beim CSB tritt bis zum Ablauf dieses AKF 2 eine Entnahmeleistung von lediglich rd. 44 % auf. Hier korrelieren PFT und CSB Entnahme also nicht so gut. Die PFT-Verbindungen scheinen leichter bzw. schneller zu adsorbieren als der CSB. Am 07.04. wurde nach der Probenahme ein neuer AKF angeliefert. Der AKF (#221) wurde abtransportiert während der AKF (#223) an die 1. Stelle geschaltet wurde.

Aufgrund der vertauschten Probenahme am 07.04. (#223 anstelle #221 beprobt) wurde am 11.04.2011 noch eine Probenrunde nachgeschoben. Dabei wurde an allen drei Filtern der Ablauf beprobt.

Montag, 11.04.2011

Zulauf AKF (vom 1.3.2011)	97,3 µg/l PFT
Ablauf AKF 1 (#223)	12,9 µg/l PFT
Ablauf AKF 2 (#238)	4,4 µg/l PFT
Ablauf AKF 3 (#235)	0,0 µg/l PFT

Zulauf AKF	8.564 mg/l CSB
Ablauf AKF 1	5.882 mg/l CSB
Ablauf AKF 2	2.623 mg/l CSB
Ablauf AKF 3	1.105 mg/l CSB

Am 11.04.2011 entnimmt die gesamte Aktivkohlestufe die im Zulauf enthaltenen PFT-Verbindungen komplett (Wirkungsgrad 100 %). Die CSB Verbindungen werden zum gleichen Zeitpunkt zu rd. 87 % entnommen.

Die einzelnen AKF weisen zu diesem Zeitpunkt unterschiedliche PFT und CSB Entnahmen auf. Die PFT-Verbindungen werden im ersten AKF (#223) bereits zu rd. 87 % entnommen. Dort beträgt die CSB Entnahme zum gleichen Zeitpunkt nur rd. 31 %. Der zweite AKF (#238) entnimmt 66 % der verbliebenen PFT-Verbindungen und nur 55 % des noch vorhandenen CSB. Der dritte AKF (#235) entnimmt die PFT-Verbindungen dann komplett (100 %). Die CSB Entnahme beträgt dagegen nur 58 %.

Auch aus diesen zeitgleichen Messungen kann geschlossen werden, dass die PFT-Verbindungen etwas leichter an die Aktivkohle adsorbieren, als der CSB. Ob dies in einer Aktivkohlestufe generell so ist, kann anhand der wenigen Daten nicht abschließend beurteilt werden.

Die Firma Haase rechnet die CSB Beladung eines Filters exakt aus. Der hier verfolgte AKF (#221) entnahm über seine gesamte Standzeit von 36 Tagen (02.03.2011 bis 07.04.2011) auf Basis von Tagesbilanzen errechnet 2.617 kg CSB. Im AKF (#221) waren 6.880 kg Aktivkohle enthalten. Damit ergibt sich eine Beladungskapazität von 0,38 kg CSB/kg Aktivkohle. Die Beladungskapazität kann mit 38 % angegeben werden.

Die PFT-Beladung der Aktivkohle kann anhand der wenigen Messwerte nur überschlägig abgeschätzt werden. Bei der Abschätzung haben wir unterstellt, dass im Zulauf eine konstante PFT-Konzentration von 100 µg/l auftritt. Wir gehen nun von einem AKF aus, dessen Entnahme sich in 36 Tagen von 100 % auf 60 % vermindert. Im Mittel würde der Filter rd. 80 % der PFT-Verbindungen entnehmen. Der Durchsatz betrug in 36 Tagen insgesamt 1.000 m³.

Aus 1.000 m³ x 100 µg/l PFT errechnet sich eine PFT-Gesamtfracht von 100 g PFT. Davon werden 80 % im AKF adsorbiert, das wären 80 g PFT. Die Beladung ergibt sich zu 80 g PFT geteilt durch 6.880 kg AK = rd. 12 mg PFT/kg AK. Dies ist jedoch lediglich eine grobe Abschätzung.

Zusammenfassung der PFT-Entnahme in der Aktivkohlestufe

Die Aktivkohlestufe der SRA Deponie Burghof wurde an vier Tagen beprobt. Aus den Stichproben wurden die PFT-Gehalte analysiert. Es zeigte sich, dass im Konzentrat der Nanofiltration rd. 100 µg/l PFT enthalten sind. Mit diesem Konzentrat wird die Aktivkohlestufe beschickt.

Ist die Aktivkohlestufe mit einem neuen Filter bestückt, entnimmt sie die PFT-Verbindungen komplett. Beladen sich die Filter über die Dauer bis zum nächsten Filterwechsel (in der SRA Deponie Burghof im Schnitt alle 12 Tage), so fällt die Entnahmeleistung von 100 % auf rd. 60 %. Die mittlere Entnahme wäre demnach rd. 80 %.

Vergleiche mit der CSB-Entnahme zeigen, dass die PFT-Verbindungen "schneller" an die Kohle adsorbieren. Im direkten Vergleich werden beim PFT mindestens gleich gute Entnahmeleistungen erzielt wie beim CSB. In einigen Fällen war die PFT-Entnahme im direkten Vergleich zum CSB signifikant höher.

Über die Standzeit eines Filters wurde eine CSB-Beladung von 0,38 kg CSB/kg AK ermittelt. Schätzt man eine PFT-Beladung ab, so ergeben sich rd. 12 mg PFT/kg AK.

7 Analysen an den beiden Lysimeter

In Abbildung 7 sind die beiden Lysimeter auf der Deponie Burghof schematisch dargestellt.

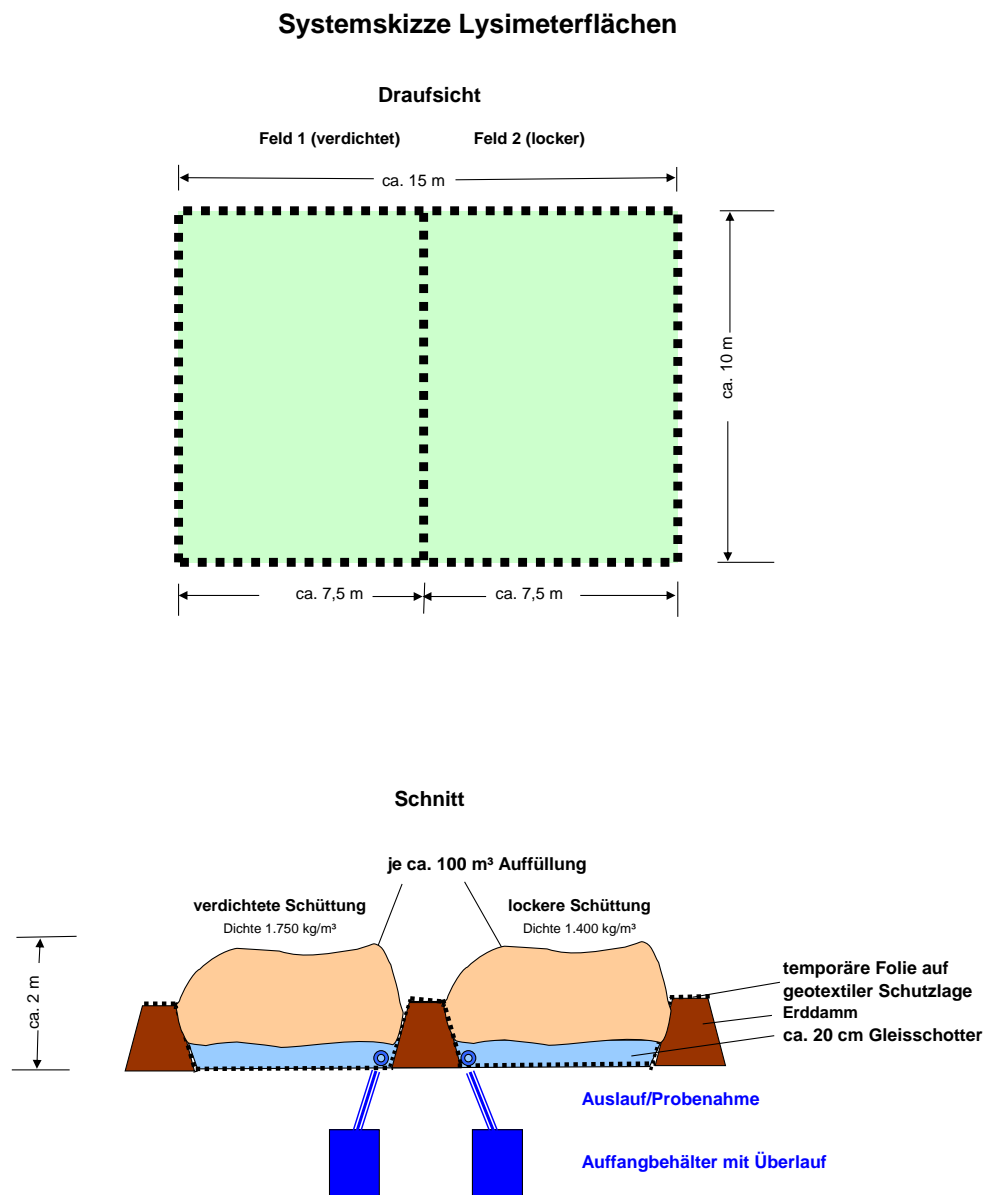


Abbildung 7: Schematische Darstellung der beiden Lysimeter

Am 16.06.2009 wurde an den beiden Lysimetern jeweils eine **Bodenprobe** als sogenannte Nullprobe gezogen. Etwa einen Monat später wurde am 23.07.2009 die erste Kontrollmessung im Boden durchgeführt. Zur Absicherung der Analysenqualität wurden die Untersuchungen der Nullprobe und der erste Kontrollprobe von zwei verschiedenen Analyseinstituten durchgeführt. Am 03.12.2009 wurde eine zweite Kontrollmessung im Boden der Lysimeter durchgeführt. In 2010 und 2011 wurden jeweils zwei weitere Messungen an den Lysimetern durchgeführt. In den Jahren 2012 und 2013 wurde die Messreihe jeweils durch eine weitere Messung ergänzt.

Die beiden Lysimeter unterscheiden sich lediglich in der Art des Einbaus. Am Lysimeter 1 wurde der Boden eingebaut und verdichtet, am Lysimeter 2 locker geschüttet.

Tabelle 2: PFT-Analysen der Bodenproben (alle Angaben PFT in µg/kg TS)

Datum	PFT	PFOS	PFHxS	PFOA	PFHxA	PFBS	PFHpS	Sonstige
Lysimeter 1								
16.6.2009	393	250	94	14	18	17	-	-
23.7.2009	403	236	92	15	20	18	8	14
3.12.2009	390	230	100	20	20	20	-	-
19.3.2010	323	210	97	16	-	-	-	-
22.6.2010	311	200	53	31	-	-	-	27
5.7.2011	355	250	91	14	-	-	-	-
7.11.2011	319	231	77	11	-	-	-	-
29.5.2012	198	160	38	-	-	-	-	-
12.6.2013	214	170	44	-	-	-	-	-
Lysimeter 2								
16.6.2009	436	280	94	18	18	15	11	-
23.7.2009	423	254	105	15	17	15	7	10
3.12.2009	410	240	110	20	20	20	-	-
19.3.2010	269	200	59	10	-	-	-	-
22.6.2010	291	200	54	24	-	-	-	13
5.7.2011	327	250	64	13	-	-	-	-
7.11.2011	299	248	41	10	-	-	-	-
29.5.2012	194	170	24	-	-	-	-	-
12.6.2013	279	230	49	-	-	-	-	-

Kursiv = Ergebnisse aus einer Nachuntersuchung 2012 (siehe Anmerkungen Seite 30)

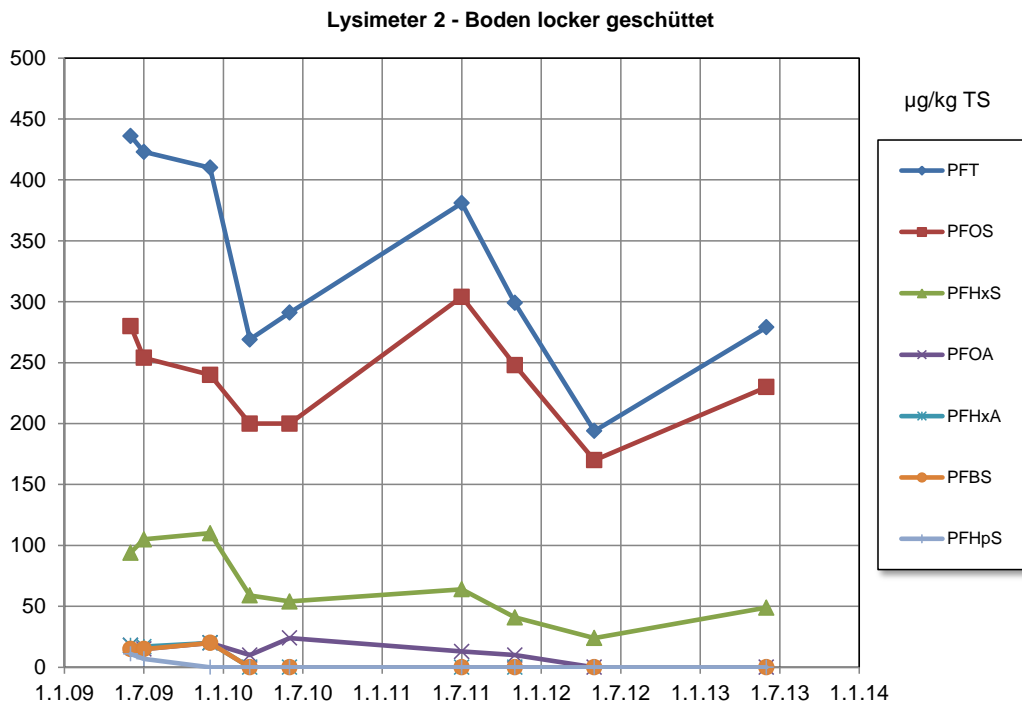
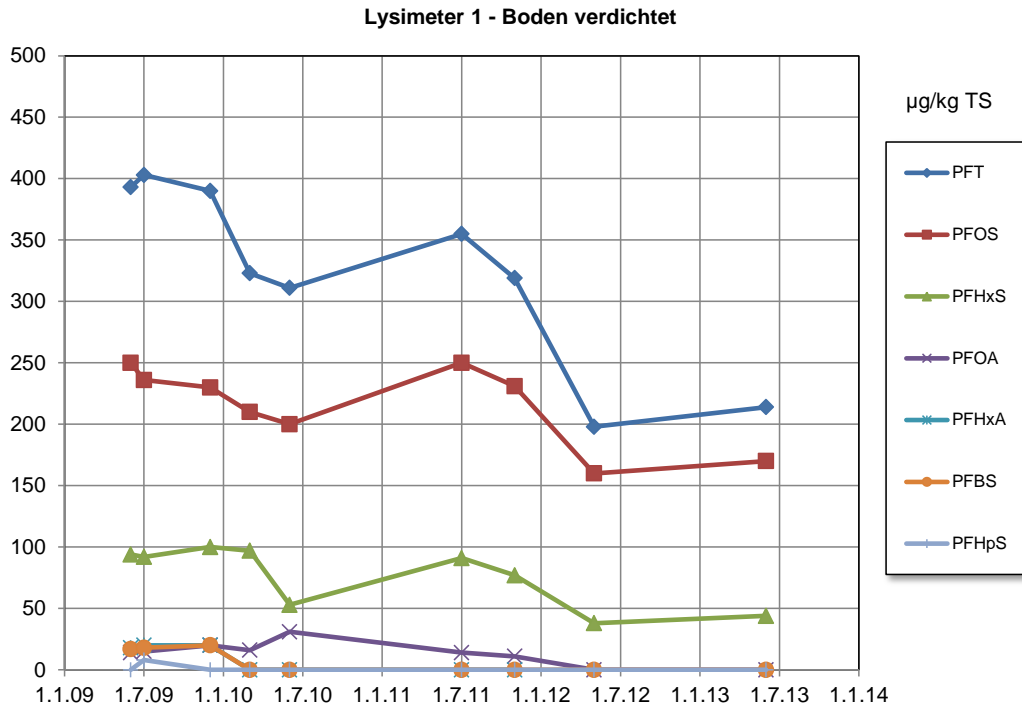


Abbildung 8: PFT-Analysen der Bodenproben an den Lysimetern 1 und 2

Mit rd. 400 µg PFT/kg TS liegt der PFT-Gehalt im Vergleich zu den Analysen im Vorfeld (einzelne Haufwerke 150 bis 4.110 µg PFT/kg TS) relativ nieder. Die niedrigen Gehalte haben sich bei der zweiten Analyse durch ein zweites unabhängiges Labor und durch die weiteren Untersuchungsergebnisse bestätigt.

Die Ganglinien der PFT Gehalte zeigen entgegen der Erwartung kein kontinuierliches absinken. Die Ursache hierfür sehen wir in der Inhomogenität der Schadstoffverteilung der in den Lysimetern eingebauten Abfälle und in der analytischen Schwankungsbreite der PFT Bestimmung. Trotzdem ist über die Jahre eine signifikante Verminderung der PFT-Konzentration im Boden festzustellen. Aus den Detailanalysen geht hervor, dass sich die PFT-Verbindungen langsam von oben nach unten in Richtung des Sickerwasseraustritts der Lysimeter zubewegen. Die kurzkettingen und gut wasserlöslichen PFT-Verbindungen scheinen am schnellsten aus dem Lysimeter ausgetragen zu werden. Sie waren beim Einbau jedoch auch nur in geringen Konzentrationen vorhanden.

Im Jahr 2011 lagen noch drei PFT-Verbindungen über der Nachweisgrenze (PFOS, PFHxS und PFOA). In den Analysen 2012 und 2013 liegen nur noch zwei PFT-Verbindungen über der Nachweisgrenze (PFOS und PFHxS).

Die Abnahme der PFT-Verbindungen an beiden Lysimetern ist trotz der unterschiedlichen Einbaubedingung (verdichtet bzw. locker geschüttet) ähnlich. Die Gesamtkonzentration an PFT ist am Lysimeter 1 (verdichtet) von Mitte 2009 bis Mitte 2013 um rd. 46 % gefallen. Am Lysimeter 2 (locker geschüttet) ergibt sich eine Abnahme von rd. 36 %. Bewertet man zudem die bei den PFT Analysen aufgetretenen Schwankungen, so kann ganz grob für beide Lysimeter von einer Halbierung der PFT-Verbindungen in vier Jahren ausgegangen werden.

Bei den Einzelkomponenten fällt auf, dass sich die PFOS nur um rd. 32 % im Lysimeter 1 und um rd. 18 % im Lysimeter 2 vermindert haben. Die PFHxS verminderten sich um rd. 53 % am Lysimeter 1 und um rd. 48 % am Lysimeter 2. Alle anderen PFT-Verbindungen (wie z.B. PFOA, PFHxA, PFBS, PFHpS) konnten in den Proben von 2012 und 2013 im Boden der Lysimeter nicht mehr nachgewiesen werden. Sie wurden demzufolge bereits zu 100 % aus den beiden Lysimetern ausgewaschen. Allerdings lagen die Ausgangskonzentrationen dieser PFT-Verbindungen auch geringer als bei PFOS und PFHxS.

Nachuntersuchungen

Die PFT Analysen der Bodenproben 2011 zeigten wieder erwarten in beiden Lysimetern deutlich höhere PFOS Konzentrationen als 2010. Ein Ansteigen der PFT Werte im Boden ist unplausibel. Aufgrund dieser Auffälligkeit wurde Ende 2011 beschlossen, die Rückstellproben aus dem Jahr 2010 nochmals auf die PFT Verbindungen zu untersuchen. Diese erst im Jahr 2012 durchgeführte Untersuchung wurde als „Nachuntersuchung“ bezeichnet.

Bei den Nachuntersuchungen ergaben sich dann vor allem etwas höhere PFOS Gehalte als bei der Erstanalyse. Durch die höheren PFOS Gehalte erhöhen sich auch die PFT in der Summe. Die Ursachen für diese analytischen Schwankungen speziell bei den PFOS sind bis heute unbekannt. Zum Vergleich haben wir in der folgenden Tabelle einmal die Ergebnisse der PFOS Analysen aus der Erstbestimmung 2010 und der Nachuntersuchung 2012 gegenübergestellt.

Tabelle 3: Bodenproben 2010 - Ergebnisse der Erstanalyse und der Nachuntersuchung

PFOS in µg/kg TS	Lysimeter 1		Lysimeter 2	
	Erstanalyse	Nachuntersuchung	Erstanalyse	Nachuntersuchung
19.3.2010	190	210	170	200
22.6.2010	130	200	160	200

Die einzelnen PFOS Analysen differieren um rd. 10 bis 50 %. Im Schnitt liegen die PFOS Konzentrationen in der Nachuntersuchung um rd. 25 % höher. Da die höheren PFOS Konzentrationen aufgrund der Analysenergebnisse von 2011 und 2012 plausibler sind, werden hier im Bericht bei den PFOS die Werte der Nachuntersuchung übernommen. In der Summe ergeben sich so etwas höhere PFT Gesamtkonzentrationen. Bei den anderen PFT Verbindungen wurden ebenfalls kleinere Schwankungen festgestellt. Da jedoch nur die PFOS für die Gesamtsumme maßgebend sind, wurden lediglich die PFOS Werte korrigiert.

Sickerwasseranfall an den Lysimetern

An den beiden Lysimetern wird vom Aufbau an der Sickerwasseranfall gemessen. In den vier Beobachtungsjahren sind insgesamt 2.337 mm Niederschlag gefallen. Die daraus resultierenden rd. 584 mm Niederschlag pro Jahr zeigen, dass der Niederschlag rd. 14 % unter dem langjährigen Mittel an der Deponie Burghof von 680 mm/a liegt. Die Witterungsverhältnisse sind also etwas trockener als im langjährigen Mittel.

Der Sickerwasseranfall an den beiden Lysimetern ist sehr unterschiedlich. Am Lysimeter 1 (verdichtet) sind bislang 95.450 Liter Sickerwasser ausgetreten. Dies sind rd. 54 % des auf den Lysimeter 1 gefallenen Niederschlags. Am Lysimeter 2 (lockere Schüttung) sind bislang dagegen nur 20.060 Liter Sickerwasser ausgetreten. Dies sind nur rd. 11 % des gefallenen Niederschlags.

Aufgrund des großen Unterschieds wurden an beiden Lysimetern zusätzliche Untersuchungen durchgeführt, ob beide Lysimeter dicht sind und damit der gesamte durchdringende Niederschlag am definierten Austritt der beiden Lysimeter zu Tage tritt. Hierbei wurde am 23.04.2012 mit einem Entwässerungsversuch festgestellt, dass der Lysimeter 2 nach unten hin nicht dicht ist. Eine Wasserbilanz kann damit also leider nur am Lysimeter 1 erstellt werden.

Das Sickerwasser der beiden Lysimeter wurde ebenfalls auf PFT-Verbindungen analysiert. Die PFT werden in Sickerwasser immer in µg PFT/l angegeben. Ebenso die Einzelkomponenten.

In Tabelle 4 sind die gesamten Untersuchungsergebnisse aus dem Sickerwasser der beiden Lysimeter zusammengestellt.

Tabelle 4: PFT-Analysen aus dem Sickerwasser der Lysimeter 1 und 2
(allen Angaben in µg PFT/l)

Datum	PFT	PFOS	PFHxS	PFOA	PFHxA	PFBS	PFHpS	Sonstige
Lysimeter 1								
23.7.2009	432	33	155	23	77	66	5	73
3.12.2009	431	16	157	20	84	72	-	82
19.3.2010	654	27	307	40	100	87	-	93
31.8.2010	304	29	110	23	50	32	-	60
1.8.2011	522	62	164	36	91	53	-	116
8.12.2011	249	68	97	12	21	13	6	32
13.6.2013	405	66	150	29	38	22	11	89
Mittelwert	428	43	163	26	66	49	3	78
Lysimeter 2								
23.7.2009	kein Siwa							
3.12.2009	kein Siwa							
19.3.2010	839	43	360	40	130	130	-	136
31.8.2010	366	31	130	25	61	44	-	75
1.8.2011	Regenwasser							
8.12.2011	kein Siwa							
23.1.2012	268	23	93	19	44	25	7	57
13.6.2013	kein Siwa							
Mittelwert	491	32	194	28	78	66	2	91

Am Lysimeter 2 trat im Jahr 2009 kein Sickerwasser aus. Die erste Beprobung konnte so erst am 19.03.2010 erfolgen. Am 1.8.2011 war die Sickerwasserprobe durch Regenwasser verfälscht. Am 08.12.2011 trat kein Sickerwasser am Lysimeter 2 aus, so dass diese Probe am 23.01.2012 nachgeholt wurde. 2012 wurde auf Sickerwasseranalysen verzichtet. Im Juni 2013 trat lediglich Sickerwasser am Lysimeter 1 aus.

Betrachtet man die Mittelwerte der PFT-Verbindungen in den beiden Sickerwässern der Lysimeter, so kann festgehalten werden, dass es hier keine signifikanten Unterschiede gibt. Der PFT-Gehalt liegt im Mittel bei rd. 460 µg PFT/l. Die Einzelkomponenten PFHpS, PFOA und PFOS lösen sich relativ schlecht im Sickerwasser (geringe Konzentrationen). Am besten löst sich das kurzkettige PFHxS im Sickerwasser (höchste Konzentration aller PFT).

8 Bilanz am Lysimeter 1 (verdichtet)

Abschätzung der Gesamtmasse an PFT in den beiden Lysimetern zum Zeitpunkt des Einbaus:

Abmessungen Lysimeter	= ca. 7,50 m x ca. 10 m x Höhe ca. 1,80 m	ca. 135 m ³
Masse Einbaumaterial Lys. 1	= ca. 135 m ³ x 1.750 kg/m ³ (verdichtet)	rd. 236 t
Masse Einbaumaterial Lys. 2	= ca. 135 m ³ x 1.400 kg/m ³ (locker)	rd. 189 t
Masse PFT Lysimeter 1	= rd. 400 µg/kg TS x 236 t TS	rd. 95 g PFT
Masse PFT Lysimeter 2	= rd. 400 µg/kg TS x 189 t TS	rd. 76 g PFT

Sickerwasser am Lysimeter 1 (verdichtet)

Bei 2.337 mm Niederschlag sind bislang 75 m² x 2,337 m = rd. 175 m³ bzw. rd. 175.000 Liter Niederschlag auf den Lysimeter 1 gefallen. Unten ausgetreten sind rd. 95.000 Liter Sickerwasser bzw. rd. 54 % des Niederschlags. Wir rechnen im Folgenden mit den mittleren Konzentrationen im Sickerwasser (vgl. Tabelle 4) und geben die Verminderung des PFT Gehalts und der wesentlichen Einzelkomponenten über den Sickerwasseraustritt an.

Hinten in der Zeile wird die Verminderung nach der PFT Analyse der Bodenproben angegeben (kursive Schrift).

PFT	95.000 Liter x 428 µg/l = rd. 41 g / 95 g	rd. 43 %	rd. 46 % (Boden)
PFOS	95.000 Liter x 43 µg/l = rd. 4,1 g / 59 g	rd. 7 %	rd. 32 % (Boden)
PFHxS	95.000 Liter x 163 µg/l = rd. 15,5 g / 22,3 g	rd. 70 %	rd. 53 % (Boden)
PFOA	95.000 Liter x 26 µg/l = rd. 2,5 g / 3,3 g	rd. 75 %	rd. 100 % (Boden)

Der PFT-Gehalt im Boden des Lysimeters 1 hat sich innerhalb der vier Jahre um rd. 46 % vermindert. Schätzt man die PFT-Entnahme über den Sickerwasseraustrag ab, erhält man eine Minderung um rd. 43 %. Damit passen die beiden Entnahmeraten über den Boden und über den Sickerwasseraustritt sehr gut zusammen, nicht aber für jeden Einzelstoff betrachtet.

Geht man dagegen davon aus, dass der gesamte Niederschlag in den Lysimeter eindringt und nach Lösung der PFT eine mittlere PFT-Konzentration wie im Sickerwasser des Lysimeter 1 gemessen aufweist, so ergibt sich folgendes Bild:

PFT	175.000 Liter x 428	$\mu\text{g/l} = \text{rd. } 75 \text{ g} / 95 \text{ g}$	rd. 79 %	rd. 46 % (Boden)
PFOS	175.000 Liter x 43	$\mu\text{g/l} = \text{rd. } 7,5 \text{ g} / 59 \text{ g}$	rd. 13 %	rd. 32 % (Boden)
PFHxS	175.000 Liter x 163	$\mu\text{g/l} = 28,5 \text{ g} / 22,3 \text{ g}$	rd. 100 %	rd. 53 % (Boden)
PFOA	175.000 Liter x 26	$\mu\text{g/l} = 4,6 \text{ g} / 3,3 \text{ g}$	rd. 100 %	rd. 100 % (Boden)

In dieser Abschätzung korreliert die PFT Minderung über den Sickerwasseraustrag und im Boden schlechter als im ersten Modell. Dafür passen die Bilanzen der Einzelsubstanzen zum Teil etwas besser zusammen.

Unter Berücksichtigung der Inhomogenität der Lysimeter, der Analysengenauigkeit, der Mittelung über die Zeit sowie der Bestimmung der angefallenen Sickerwassermenge gehen wir aus heutiger Sicht davon aus, dass sich die Minderung der PFT-Verbindungen alleine durch den Austrag übers Sickerwasser erklären lässt, auch wenn wir hier keine komplette rechnerische Übereinstimmung zwischen Sickerwasseraustrag und Bodenabnahme ermitteln können.

In der nachfolgenden Abbildung sind die wesentlichen Ergebnisse der Lysimeter noch einmal als Ganglinie dargestellt (Niederschlag, Siwa-Anfall, PFT Gehalte im Siwa und Boden).

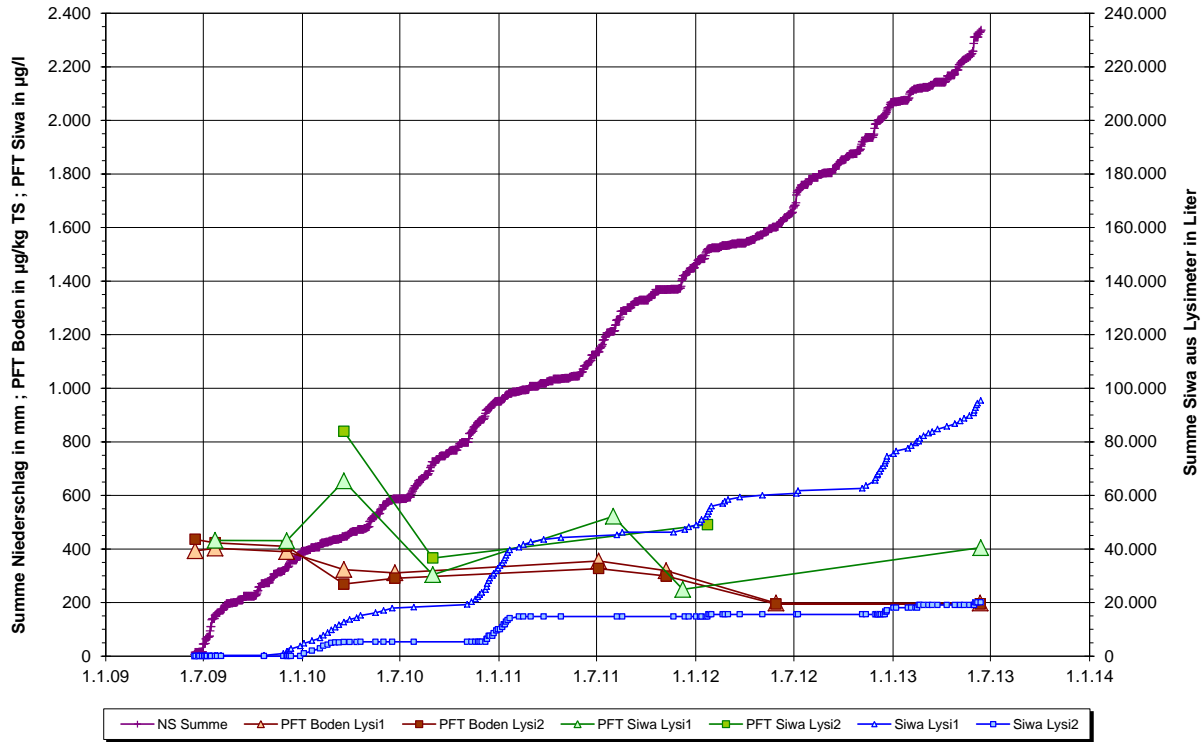


Abbildung 9: Summen der Niederschlags- und Sickerwassermengen sowie der Konzentrationen im Boden und Sickerwasser der Lysimeter

In Abbildung 9 ist die Aufsummierung des gefallenen Niederschlags (NS) dargestellt. Vom 15.06.2009 bis zum 14.06.2013 fielen 2.337 mm Niederschlag. Der Sickerwasseranfall am Lysimeter 1 korreliert ganz gut mit dem gefallenen Niederschlag. Insgesamt fallen am Lysimeter 1 rd. 95.000 Liter Sickerwasser in den vier Jahren an. Der Sickerwasseranfall des Lysimeter 2 stagniert hingegen. Darin begründete sich die Vermutung, dass der Lysimeter 2 nicht dicht ist und Sickerwasser in den Untergrund verloren geht.

Die PFT-Analysen der Bodenproben zeigen über die vier Jahre in etwa eine Halbierung der Konzentrationen (Beginn rd. 400 µg PFT/kg TS, nach vier Jahren rd. 200 µg PFT/kg TS). Die PFT-Konzentrationen im Sickerwasser sind dagegen bis dato relativ konstant und streuen um rd. 400 µg/l PFT.

9 Empfehlungen für Einbau und Monitoring

Als Ergebnis der Untersuchungen auf der Deponie Burghof kann festgehalten werden, dass die PFT Verbindungen langsam durch eindringenden Niederschlag mit dem sich bildenden Sickerwasser ausgetragen werden. Eine Halbierung der PFT Konzentrationen trat nach vier Jahren auf. Die Abnahme der PFT Konzentrationen war unabhängig von der Art des Einbaus (verdichtet oder locker geschüttet).

Der Einbau des PFT-haltigen Materials sollte in Monobereichen erfolgen. Die offenen Einbauflächen sollten klein gehalten werden. Aus Gründen des Arbeitsschutzes sollte der Einbau nur mit schutzbelüftetem Einbaugerät vorgenommen werden. Für den Einbau können die üblichen Erdbaumaschinen eingesetzt werden.

Zudem ist es aus unserer Sicht wichtig, dass bei Ablagerungen von PFT haltigem Material eine leistungsfähige Sickerwasserreinigungsanlage (SRA) nachgeschaltet ist, die die im Sickerwasser enthaltenen PFT Verbindungen zurückhalten kann.

Untersuchungen in der SRA Deponie Burghof haben gezeigt, dass die PFT Verbindungen in einer Nanofiltrationsstufe vollständig zurückgehalten werden. Eine Aktivkohlestufe kann die PFT Verbindungen adsorbieren. Wurde in der SRA Deponie Burghof ein Aktivkohlefilter in der vorhandenen dreistufigen Kolonne ausgetauscht, so wurden die PFT Verbindungen vollständig zurückgehalten. Im Verlauf der am CSB orientierten Standzeit der Aktivkohlestufe fiel die Entnahme jedoch bis auf 60 %, so dass mit der vorhandenen Aktivkohlestufe im Schnitt eine Entnahme von rd. 80 % erreicht wurde.

Für das Monitoring bei PFT Ablagerungen auf geeigneten Deponien mit hochwertigen Sickerwasserreinigungsanlagen schlagen wir vor, den Zu- und Auslauf der Anlage regelmäßig zu überwachen. Da es sich bei der Lösung von PFT Verbindungen ins Sickerwasser um langsame Prozesse handelt, genügt aus unserer Sicht eine Überwachung pro Jahr. Die Details zur Probenahme und Überwachung sind anlagenspezifisch vorzunehmen.

10 Zusammenfassende Bewertung

Die Abfallverwertungsgesellschaft des Landkreises Ludwigsburg betreibt auf der Deponie Burghof in Abstimmung mit dem Umweltministerium zwei Lysimeter, in die ein mit perfluorierten Tensiden (PFT) verunreinigtes Bodenmaterial eingebaut wurde.

Die Lysimeter werden mit Bodenproben und Sickerwasserproben analytisch überwacht. Die Probenahme erfolgte 2009 quartalsweise. 2010 und 2011 wurde halbjährlich beprobt. 2012 und 2013 wurde jeweils eine weitere Probenahme durchgeführt. Mittlerweile liegen Analysen über eine Standzeit von vier Jahren vor.

Die Ergebnisse der Beprobungen zeigen, dass sich die PFT-Verbindungen in den Lysimetern langsam vermindern. Die Minderung der PFT-Verbindungen beträgt an beiden Lysimetern nach vier Jahren rd. 50 %. Damit könnten die vier Jahre als Halbwertszeit definiert werden. Die beiden Einbauarten der Lysimeter (verdichtet bzw. locker geschüttet) führen zu keinem signifikanten Unterschied in der PFT Minderung.

Bei der Betrachtung der Einzelkomponenten fällt auf, dass kurzkettige PFT wie z.B. PFHxA, PFBS oder PFHpS, die eine höhere Wasserlöslichkeit aufweisen, schneller mit dem Sickerwasser ausgetragen werden als langkettige und damit schlechter wasserlösliche PFT. Die kurzkettigen PFT waren allerdings von Anfang an auch in geringeren Konzentrationen vorhanden. Als sehr stabil erweist sich PFOS (Perfluoroktansulfonsäure) im Boden, ein persistenter, bioakkumulativer und toxischer Stoff (PBT Stoff). PFOS wurde in vier Jahren lediglich zu rd. einem Drittel über das Sickerwasser ausgetragen. Nach drei Jahren lagen im Boden nur noch PFOS und PFHxS über der Nachweisgrenze. Alle anderen PFT-Verbindungen waren nach drei Jahren bereits eluiert und lagen analytisch unter der Nachweisgrenze.

Nach derzeitigem Stand der Untersuchungen ist davon auszugehen, dass sich die PFT in den Lysimetern nur aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit vermindern. Sie werden also alleine aufgrund des die Lysimeter durchdringenden Niederschlagswassers eluiert und mit dem Sickerwasser ausgetragen.

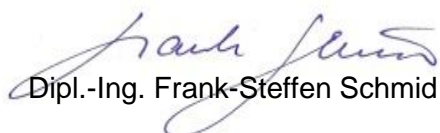
Abgelagerte PFT-haltige Abfälle sind eine langfristige PFT Quelle, die eine konsequente Sickerwassererfassung und -behandlung erfordern.

Interessant sind zudem die Ergebnisse innerhalb der Sickerwasserreinigungsanlage (SRA). Hier wurde deutlich, dass sich im Rohsickerwasser der Deponie Burghof nur geringe Konzentrationen von PFT befinden. Die PFT-Verbindungen können durch die Ultrafiltration nicht zurückgehalten werden. Erst die nachgeschaltete Nanofiltration hält die PFT-Verbindungen komplett zurück. Mit dem Konzentrat der Nanofiltration gelangen die PFT-Verbindungen in die Aktivkohlestufe, wo sie größtenteils adsorbiert werden. Derzeit ist nur im Auslauf der Nanofiltration sichergestellt, dass keine PFT-Verbindungen in die Umwelt gelangen.

Mit vier zusätzlichen PFT-Analysen wurden die Mechanismen in der Aktivkohlestufe der SRA Deponie Burghof weiter untersucht. Die Stufe beinhaltet drei hintereinandergeschaltete Aktivkohlefilter, die jeweils eine Ladung von 6.880 kg Aktivkohle beinhalten. Dabei zeigte sich, dass mit einem neu befüllten Aktivkohlefilter am Ende der Stufe die PFT-Verbindungen komplett, also zu 100 % entnommen werden. Beladen sich die Filter (hier im Schnitt alle 12 Tage bis zum nächsten Austausch), so fällt die Entnahmeeistung von 100 % auf rd. 60 % ab. Über die Standzeit gemittelt können also rd. 80 % der PFT-Verbindungen entnommen werden.

Damit verhalten sich die PFT im Prinzip wie die über den Summenparameter CSB erfassten organischen Verbindungen. Vergleiche mit der CSB Entnahme zeigen, dass die PFT-Verbindungen etwas schneller auf die Aktivkohle gehen und deshalb die PFT Entnahme immer etwas besser als die CSB Entnahme war.

Dr.-Ing. Jedele und Partner GmbH


Dipl.-Ing. Frank-Steffen Schmid

Anhang

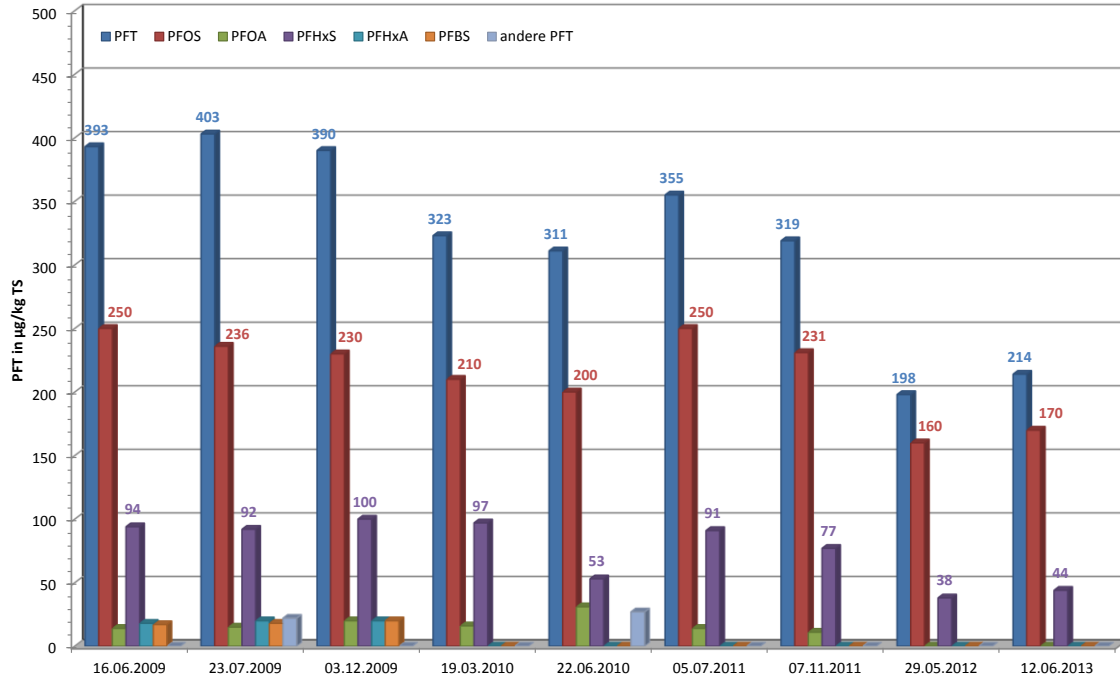
Deponie Burghof - PFT Analysen Boden Lysimeter 1 (verdichtet)

Nr.	Parameter	Einheit	16.6.09 Nullprobe	23.7.09	3.12.09	19.3.10	22.6.10	5.7.11 gew. Mittel	7.11.11 gew. Mittel	29.5.12	12.6.13
	TS	%	90,9	91,8	91,2	89,9	92,1	93,0	92,1	93,4	
1	PFBA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
2	PFPeA	µg/kg TS	< 10	4	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
3	PFHxA	µg/kg TS	18	20	20	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
4	PFHpA	µg/kg TS	< 10	6	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
5	PFOA	µg/kg TS	14	15	20	16	31	14	11	< 10	< 10
6	PFNoA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	11	< 10	< 10	< 10	< 10
7	PFDeA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	16	< 10	< 10	< 10	< 10
8	PFBS	µg/kg TS	17	18	20	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
9	PFHxS	µg/kg TS	94	92	100	97	53	91	77	38	44
10	PFOS	µg/kg TS	250	236	230	210	200	250	231	160	170
11	PFDaA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
12	PFOSA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
13	PFDeS	µg/kg TS	< 10	4	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
14	PFUnA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
15	PFHpS	µg/kg TS	< 10	8	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
PFT	Summe	µg/kg TS	393	403	390	323	311	355	319	198	214

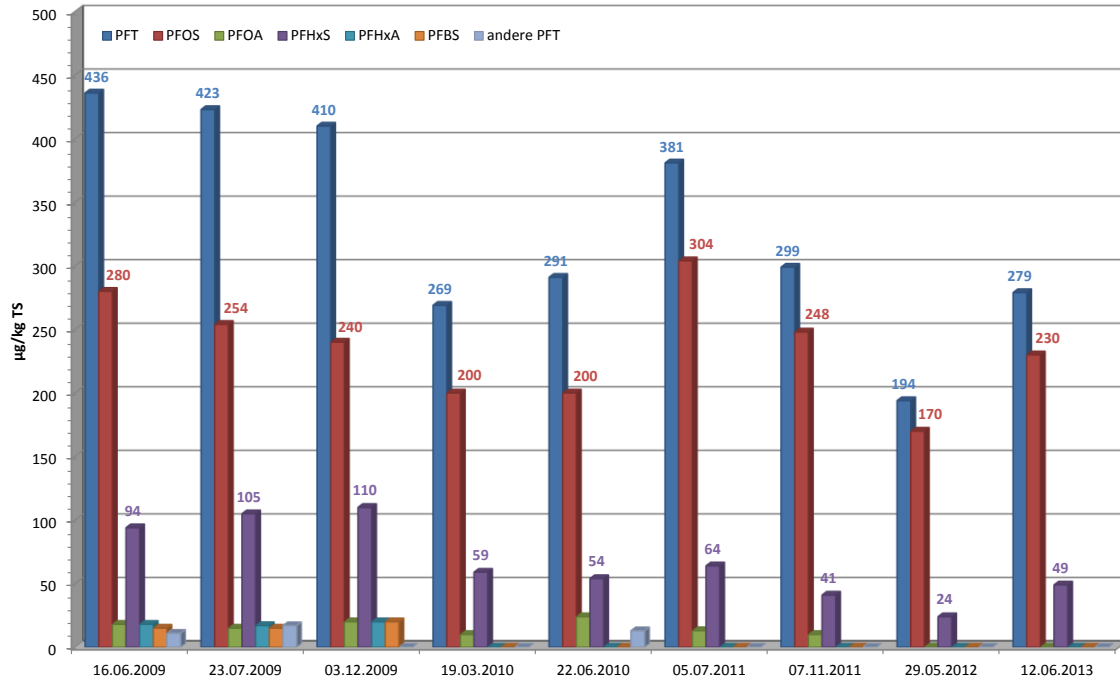
Deponie Burghof - PFT Analysen Boden Lysimeter 2 (nicht verdichtet)

Nr.	Parameter	Einheit	16.6.09 Nullprobe	23.7.09	3.12.09	19.3.10	22.6.10	5.7.11 gew. Mittel	7.11.11 gew. Mittel	29.5.12	12.6.13
	TS	%	90,8	89,7	89,5	89,1	91,9	94,4	92,6	94,0	
1	PFBA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
2	PFPeA	µg/kg TS	< 10	6	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
3	PFHxA	µg/kg TS	18	17	20	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
4	PFHpA	µg/kg TS	< 10	4	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
5	PFOA	µg/kg TS	18	15	20	10	24	13	10	< 10	< 10
6	PFNoA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	13	< 10	< 10	< 10	< 10
7	PFDeA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
8	PFBS	µg/kg TS	15	15	20	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
9	PFHxS	µg/kg TS	94	105	110	59	54	64	41	24	49
10	PFOS	µg/kg TS	280	254	240	200	200	304	248	170	230
11	PFDaA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
12	PFOSA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
13	PFDeS	µg/kg TS	< 10	< 4,3	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
14	PFUnA	µg/kg TS	< 10	< 2,7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
15	PFHpS	µg/kg TS	11	7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
PFT	Summe	µg/kg TS	436	423	410	269	291	381	299	194	279

Lysimeter 1 (verdichtet)



Lysimeter 2 (locker eingebaut)



Deponie Burghof - PFT Analysen Boden Lysimeter 1 (verdichtet) - Detailuntersuchung 2011

Nr.	Parameter	Einheit	5.7.11 vorne 0-50 cm	5.7.11 hinten 0-50 cm	5.7.11 Mischprobe 51-150 cm	5.7.11 vorne 151-200 cm	5.7.11 hinten 151-200 cm	5.7.11 gew. Mittel	7.11.11 vorne 0-50 cm	7.11.11 hinten 0-50 cm	7.11.11 Mischprobe 51-150 cm	7.11.11 vorne 151-200 cm	7.11.11 hinten 151-200 cm	7.11.11 gew. Mittel
	TS	%	94,5	93,4	92,8	92,5	92,1	93,0	93,4	92,9	91,8	92,1	90,9	92,1
1	PFBA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
2	PFPeA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	11	< 10	12	< 10
3	PFHxA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
4	PFHpA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
5	PFOA	µg/kg TS	< 10	14	16	21	18	14	< 10	< 10	10	20	17	11
6	PFNoA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
7	PFDeA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
8	PFBS	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
9	PFHxS	µg/kg TS	30	70	95	110	140	91	21	35	88	101	110	77
10	PFOS	µg/kg TS	310	290	280	240	270	250	240	220	240	210	220	231
11	PFDoA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
12	PFOSA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
13	PFDeS	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
14	PFUnA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
15	PFHpS	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	17	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
PFT	Summe	µg/kg TS	340	374	391	388	428	355	261	255	338	331	359	319

Deponie Burghof - PFT Analysen Boden Lysimeter 2 (nicht verdichtet) - Detailuntersuchung 2011

Nr.	Parameter	Einheit	5.7.11 vorne 0-50 cm	5.7.11 hinten 0-50 cm	5.7.11 Mischprobe 50-150 cm	5.7.11 vorne 150-200 cm	5.7.11 hinten 150-200 cm	5.7.11 gew. Mittel	7.11.11 vorne 0-50 cm	7.11.11 hinten 0-50 cm	7.11.11 Mischprobe 50-150 cm	7.11.11 vorne 150-200 cm	7.11.11 hinten 150-200 cm	7.11.11 gew. Mittel
	TS	%	94,0	100,0	93,9	92,4	93,1	94,4	93,1	91,3	93,1	93,3	90,8	92,6
1	PFBA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
2	PFPeA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
3	PFHxA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
4	PFHpA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
5	PFOA	µg/kg TS	< 10	< 10	11	16	28	13	< 10	< 10	10	17	11	10
6	PFNoA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
7	PFDeA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
8	PFBS	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
9	PFHxS	µg/kg TS	16	12	53	95	180	64	< 10	21	33	86	86	41
10	PFOS	µg/kg TS	250	370	270	280	450	304	240	210	260	230	260	248
11	PFDoA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
12	PFOSA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
13	PFDeS	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
14	PFUnA	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
15	PFHpS	µg/kg TS	< 10	< 10	< 10	< 10	12	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
PFT	Summe	µg/kg TS	266	382	334	391	670	381	240	231	303	333	357	299

Detailuntersuchung 2011

Jeder der beiden Lysimeter wurden zeitgleich in jeweils fünf Segmenten beprobt:

- vorne in einer Tiefe von 0 bis 50 cm (vorne in Bezug auf den Siwa-Auslauf)
- hinten in einer Tiefe von 0 bis 50 cm (0 cm ist die Oberfläche des Lysimeters)
- Mittelteil des Lysimeters von 51 bis 150 cm Tiefe (keine Unterscheidung vorne/hinten)
- vorne in einer Tiefe von 151 bis 200 cm (hier sitzt der Siwa-Auslauf)
- hinten in einer Tiefe von 151 bis 200 cm

Aus den Segmenten wurde ein gewichtetes Mittel für den gesamten Lysimeter errechnet. Als Leitparameter für die „Auswaschung“ kann am besten der Parameter PFHxS betrachtet werden.

Deponie Burghof - PFT Analysen Sickerwasser Lysimeter 1 (verdichtet)

Nr.	Parameter	Einheit	23.7.09	3.12.09	19.3.10	31.8.10	1.8.11	8.12.11	13.6.13	Mittelwert
	LF	µS/cm	1.418	1.607	1.326	-	1.470	900	1.254	1.329
1	PFBA	µg/l	28	27	27	16	25	7	12	20
2	PFPeA	µg/l	30	38	39	33	70	19	70	43
3	PFHxA	µg/l	77	84	100	50	91	21	38	66
4	PFHpA	µg/l	15	16	18	11	21	6	6	13
5	PFOA	µg/l	23	20	40	23	36	12	29	26
6	PFNoA	µg/l	0,13	0,11	7	0,17	0,39	0,18	0,22	1,2
7	PFDeA	µg/l	0,03	0,02	2,2	0,03	< 0,05	0,02	< 0,01	0,5
8	PFBS	µg/l	66	72	87	32	53	13	22	49
9	PFHxS	µg/l	155	157	307	110	164	97	150	163
10	PFOS	µg/l	33	16	27	29	62	68	66	43
11	PFDoA	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 1	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,01	-
12	PFOSA	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 1	< 0,01	< 0,05	< 0,01	0,17	-
13	PFDeS	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 1	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,01	-
14	PFUnA	µg/l	< 0,01	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01	-
15	PFHpS	µg/l	5	-	-	-	-	6	11	7
PFT	Summe	µg/l	432	431	654	304	522	249	405	428

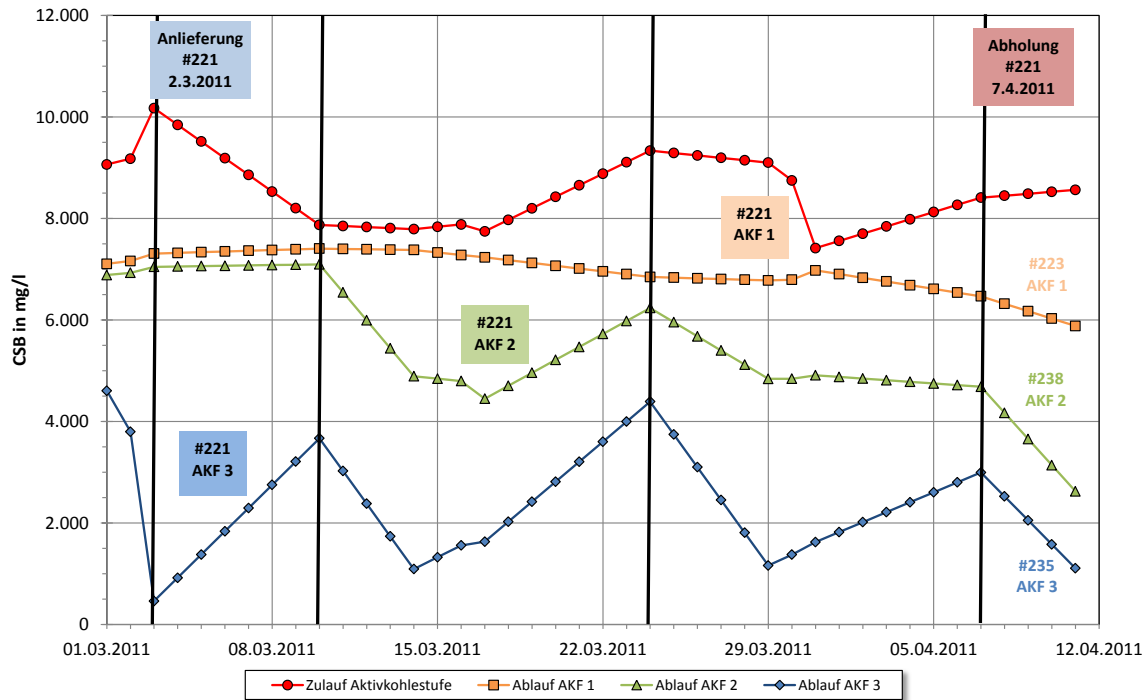
Deponie Burghof - PFT Analysen Sickerwasser Lysimeter 2 (nicht verdichtet)

Nr.	Parameter	Einheit	23.7.09	3.12.09	19.3.10	31.8.10	1.8.11	23.1.12	13.6.13	Mittelwert
	LF	µS/cm	-	-	1.362	n.d.	62	840	-	
1	PFBA	µg/l	-	-	53	21	0,31	15	-	30
2	PFPeA	µg/l	-	-	60	41	0,07	34	-	45
3	PFHxA	µg/l	-	-	130	61	< 0,05	44	-	78
4	PFHpA	µg/l	-	-	23	13	0,10	8	-	15
5	PFOA	µg/l	-	-	40	25	0,18	19	-	28
6	PFNoA	µg/l	-	-	< 1	0,19	< 0,05	0,12	-	
7	PFDeA	µg/l	-	-	< 1	< 0,01	< 0,05	< 0,05	-	
8	PFBS	µg/l	-	-	130	44	0,14	25	-	66
9	PFHxS	µg/l	-	-	360	130	0,44	93	-	194
10	PFOS	µg/l	-	-	43	31	0,66	23	-	32
11	PFDoA	µg/l	-	-	< 1	< 0,01	< 0,05	< 0,05	-	
12	PFOSA	µg/l	-	-	< 1	< 0,01	< 0,05	< 0,05	-	
13	PFDeS	µg/l	-	-	< 1	< 0,01	< 0,05	< 0,05	-	
14	PFUnA	µg/l	-	-	-	-	< 0,05	-	-	
15	PFHpS	µg/l	-	-	-	-	7	-	-	2
			kein Siwa	kein Siwa			überwiegend Regenwasser		kein Siwa	
PFT	Summe	µg/l			839	366	2	268		491

Deponie Burghof - PFT Analysen SRA

Nr.	Parameter	Einheit	Rohsickerwasser				Aktivkohlestufe						Permeat NF		
			Rohsiwa 16.6.09	Rohsiwa 8.7.10	Rohsiwa 5.7.11	Rohsiwa 7.11.11	Zulauf 16.6.09	Ablauf 16.6.09	Ablauf 8.7.10	Zulauf 5.7.11	Ablauf 5.7.11	Zulauf 7.11.11	Ablauf 7.11.11	16.6.09	8.7.10
	LF	µS/cm	15.270	26.500	16.660	17.730	46.800	40.300	46.300	41.900	35.800	59.400	53.700	478	915
1	PFBA	µg/l	0,10	3,4	2,4	< 0,05	7,8	0,76	5,0	8,2	0,03	13,0	2,0	< 0,01	< 0,01
2	PFPeA	µg/l	0,23	4,2	1,3	0,81	4,3	0,05	1,3	3,5	< 0,01	5,8	0,18	< 0,01	< 0,01
3	PFHxA	µg/l	0,92	1,4	2,8	3,0	12,0	0,05	0,32	9,30	< 0,01	7,7	0,08	< 0,01	< 0,01
4	PFHpA	µg/l	0,44	0,49	1,5	1,2	3,8	< 0,01	< 0,01	4,10	< 0,01	3,6	< 0,05	< 0,01	< 0,01
5	PFOA	µg/l	1,5	3,7	2,5	2,5	10,00	< 0,01	< 0,01	13,00	< 0,01	11,0	< 0,05	< 0,01	< 0,01
6	PFNoA	µg/l	0,07	0,09	0,09	0,13	0,30	< 0,01	< 0,01	0,58	< 0,01	0,4	< 0,05	< 0,01	< 0,01
7	PFDeA	µg/l	0,11	0,35	0,08	0,20	0,17	< 0,01	< 0,01	0,20	< 0,01	0,2	< 0,05	< 0,01	< 0,01
8	PFBS	µg/l	2,7	2,3	11	6,3	33	0,03	0,03	< 0,05	0,01	53,0	< 0,05	0,01	< 0,01
9	PFHxS	µg/l	0,14	6,7	1,4	0,96	3,9	< 0,01	< 0,01	3,60	< 0,01	3,3	< 0,05	< 0,01	< 0,01
10	PFOS	µg/l	0,87	1,4	1,1	1,0	3,3	< 0,01	< 0,01	5,50	< 0,01	4,8	< 0,05	< 0,01	< 0,01
11	PFDoA	µg/l	< 0,05	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01
12	PFOSA	µg/l	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01
13	PFDeS	µg/l	< 0,05	< 0,01	0,45	< 0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01
14	PFUnA	µg/l	< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01		< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01
15	PFHpS	µg/l	< 0,05		0,62	< 0,05	< 0,01	< 0,01		< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,01	
16	FTS	µg/l			3,5					11	< 0,01				
PFT	Summe	µg/l	7,1	24,0	28,7	16,1	78,6	0,89	6,7	102	0,04	103	2,3	0,01	< 0,01

Deponie Burghof - Aktivkohlestufe 2011



Deponie Burghof - PFT Untersuchungen an der Aktivkohlestufe 2011

Parameter	Rohsiwa	Zul. AKF	Abi. AKF 3	Entnahme	Abi. AKF 3	Entnahme	Abi. AKF 2	Entnahme	Abi. AKF 1	Entnahme	Abi. AKF 2	Entnahme	Abi. AKF 3	Entnahme
Probenahme	1.3.11	1.3.11	1.3.11	1.3.11	2.3.11	2.3.11	7.4.11	7.4.11	11.4.11	11.4.11	11.4.11	11.4.11	11.4.11	11.4.11
Filternummer					#221	#221	#223	#223	#223	#223	#238	#238	#235	#235
Zustand Filter		Konz. NF	beladen	%	neu	%	teilbeladen	%	beladen	%	fast neu	%	neu	%
LF $\mu\text{S/cm}$	15.610	55.200	50.400	20,0	46.000	98,2	42.700	98,2	44.700	94,5	43.900	99,2	42.200	<0,05
pH	7,62	7,08	7,40				7,55		7,54		7,85		8,49	
Temp. $^{\circ}\text{C}$	17,6	30,5	20,1											
O ₂ mg/l	6,2	3,3	3,8											
PFBS $\mu\text{g/l}$	7,3	20	16	20,0	0,37	98,2	<0,05		1,1	94,5	0,17	99,2	<0,05	
PFHxA $\mu\text{g/l}$	4,2	25	6,5	74,0	0,61	97,6	0,45	98,2	1,4	94,4	0,07	99,7	<0,05	
PFBA $\mu\text{g/l}$	3,7	23	11	52,2	2,4	89,6	8,8	61,7	8,2	64,3	4,0	82,6	<0,05	
PFPeA $\mu\text{g/l}$	2,7	16	4,6	71,3	1,8	88,8	1,4	91,3	2,0	87,5	0,11	99,3	<0,05	
PFOA $\mu\text{g/l}$	1,9	5,1	0,23	95,5	0,14	97,3	<0,05		0,07	98,6	<0,05		<0,05	
PFHpA $\mu\text{g/l}$	1,4	7,2	1,0	86,1	0,32	95,6	<0,05		0,13	98,2	<0,05		<0,05	
PFOS $\mu\text{g/l}$	0,8	0,96	<0,05	100	<0,05	100	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
PFNoA $\mu\text{g/l}$	0,1	0,06	<0,05		0,06		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
PFDeA $\mu\text{g/l}$	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
PFDoA $\mu\text{g/l}$	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
PFOSA $\mu\text{g/l}$	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
PFHxS $\mu\text{g/l}$	<0,05	<0,05	0,11		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
PFDeS $\mu\text{g/l}$	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05		<0,05	
PFT $\mu\text{g/l}$	22,1	97,3	39,4	59,5	5,7	94,1	10,65	89,1	12,9	86,7	4,35	95,5	0,00	100,0