



**Flüchtigkeit von
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)
bei der Klärschlamm-trocknung**



abfall



Flüchtigkeit von Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) bei der Klärschlamm-trocknung

Impressum

Flüchtigkeit von Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) bei der Klärschlamm-trocknung

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: (08 21) 90 71-0

Fax: (08 21) 90 71-55 56

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 35, Abfallbehandlungs- und -verwertungsanlagen, nicht thermisch, Ralf Beck

Redaktion:

LfU, Referat 35, Abfallbehandlungs- und -verwertungsanlagen, nicht thermisch, Ralf Beck

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

April 2010

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zusammenfassung	5
2	Arten von solaren Klärschlamm-trocknungsanlagen	6
2.1	Solare Klärschlamm-trocknungsanlagen	6
2.2	Solar unterstützte Klärschlamm-trocknungsanlagen	6
3	Steckbrief Perfluorierte Tenside (PFT)	6
4	Anlass und Durchführung des Trocknungsversuchs, Analytik	7
5	Darstellung und Diskussion der Versuchsergebnisse	11
5.1	Trocknungsverlauf	11
5.2	Messergebnisse	12
5.3	Diskussion der Messergebnisse	14
5.4	Fazit der Untersuchungen und Empfehlungen	15
	Quellenverzeichnis	16

1 Einleitung und Zusammenfassung

Die Bayerische Staatsregierung hat sich zum vorsorglichen Schutz der Verbraucher, des Bodens und des Grundwassers das Ziel gesetzt, Klärschlamm mittelfristig nicht mehr landwirtschaftlich, landschaftsbaulich oder gärtnerisch zu verwerten, da der Klärschlamm mit einer Vielzahl an Schadstoffen belastet ist. Neben den Schwermetallen ist hier die Vielzahl an organischen Verbindungen im Klärschlamm zu nennen, deren Auswirkungen auf die Umwelt nicht oder nur gering bekannt sind.

Auch aus diesen Gründen ist in Bayern seit Jahren eine steigende Tendenz zur thermischen Verwertung des Klärschlammes zu verzeichnen. Um Klärschlamm ökobilanziell vorteilhaft zu den oft weiter entfernt liegenden Verwertungsanlagen transportieren und dort thermisch sinnvoll verwerten zu können, ist es in aller Regel zweckmäßig, diesen möglichst nah am Anfallort zu trocknen.

Vorzugsweise wird die für die Trocknung der Schlämme notwendige Energie aus ansonsten ungenutzter Abwärme bzw. Solarenergie gewonnen.

Diese Tendenzen und Überlegungen haben in den letzten Jahren zur Entwicklung von Klärschlamm-trocknungsanlagen geführt, die Sonnenenergie zur Trocknung nach dem Prinzip eines Gewächshaus nutzen. Eine nahe liegende Weiterentwicklung, um über den Jahresgang gleichmäßige und hohe Trockenleistungen zu erzielen, war es, zusätzlich zur Sonnenenergie zur Verfügung stehende Abwärme zu nutzen. Dies ist beispielsweise möglich durch die Bodenbeheizung einer solaren Klärschlamm-trocknungsanlage mit Warmwasser, welches durch die Abwärme eines Blockheizkraftwerkes erhitzt wird (i.F. „solar unterstützte Klärschlamm-trocknungsanlagen“).

Es ist selbstverständlich, dass auch solche Klärschlamm-trocknungsanlagen im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen, z. B. Bandtrocknern, keine erhöhten Schadstoffkonzentrationen und -frachten emittieren dürfen.

Zurzeit werden die meisten solaren und solar unterstützten Klärschlamm-trocknungsanlagen ohne Abluftreinigung betrieben. Die Emissionen konventioneller Schadstoffe (Geruch, Ammoniak, Staub, Spurenstoffe wie PCDD/F) aus solchen Anlagen sind mittlerweile einigermaßen ausreichend bekannt. Noch nicht betrachtet wurden bislang mögliche Emissionen von Perfluorierten Tensiden (PFT), die in Bayern seit Anfang 2007 als möglicher Bestandteil von Klärschlämmen bekannt sind.

Um erste Hinweise über das Verhalten von PFT während der Trocknung in solaren Klärschlamm-trocknungsanlagen zu erhalten, wurde vom LfU ein orientierender Trocknungsversuch an einem mit Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) höher belasteten Klärschlamm durchgeführt.

PFOS ist in PFT-belasteten Schlämmen aus bayerischen Kläranlagen am häufigsten vertreten. Auch die Maximalkonzentrationen sind bei dieser Verbindung in der Regel am höchsten.

Auf Grund der Erkenntnisse zum Emissionsverhalten der PFOS während der Trocknung wird aus Vorsorgegründen vorgeschlagen, Genehmigungen von Klärschlamm-trocknungsanlagen ohne Abgasreinigung mit einem Annahmegrenzwert für PFT zu belegen. Hiervon ausgenommen werden können rein solare Anlagen, d.h. Anlagen ohne zusätzlichen Energieeintrag.

2 Arten von solaren Klärschlamm-trocknungsanlagen

2.1 Solare Klärschlamm-trocknungsanlagen

Solare Klärschlamm-trocknungsanlagen sind im Wesentlichen gewächshausähnliche Hallen mit transparenter Außenhülle. Durch die eingestrahelte Sonnenenergie wird der eingebrachte, in der Regel entwässerte Klärschlamm unter ständigem Auflockern und Wenden getrocknet. Die erreichbaren Trocknungstemperaturen hängen ausschließlich von den meteorologischen Bedingungen ab und betragen maximal circa 30 - 40 °C, oft auch weniger.

Für Umwälzung bzw. Austausch der Hallenluft werden Umluft- bzw. Abluftgebläse verwendet. Die erreichbaren Trockensubstanzgehalte liegen je nach Aufenthaltszeit der Schlämme bei 60 bis über 90 %. Die Entnahme des Trockengranulats erfolgt entweder mit kontinuierlichen Austragesystemen oder diskontinuierlich zum Beispiel mittels Radlader.

Eine Abluftreinigung war in bayerischen Anlagen bislang auf Grund deren günstigen Emissionsverhaltens nicht notwendig.

2.2 Solar unterstützte Klärschlamm-trocknungsanlagen

Aufbau und Funktionsweise von solar unterstützten Klärschlamm-trocknungsanlagen gleichen im Wesentlichen derjenigen von rein solaren Anlagen. Der Trocknungsvorgang wird bei diesen Anlagen jedoch durch zusätzlich eingebrachte Energie z. B. in Form einer warmwassergespeisten Fußbodenheizung, die in den Hallenboden integriert ist, oder durch eingeblasene Warmluft beschleunigt und witterungsunabhängig vergleichmäßig. Bei der eingebrachten Zusatzenergie handelt es sich bei den bislang in Bayern errichteten Anlagen stets um Abwärme von Blockheizkraftwerken. In der Regel betragen bei Fußbodenheizungen die Vorlauftemperaturen des Heizwassers 60 °C, in einem Fall ist auch die Beheizung mit 80 °C heißem Wasser geplant.

Die Anlagen werden bislang auf Grund der relativ geringen Schadstoffkonzentrationen in Verbindung mit hohen Luftdurchsätzen nur in wenigen Fällen mit Abluftreinigungsanlagen nachgerüstet bzw. geplant.

3 Steckbrief Perfluorierte Tenside (PFT)

Eine auch nur annähernde Darstellung des Themenkomplexes PFT geht weit über den Rahmen des vorliegenden Berichts hinaus. Eine gute Darstellung der Eigenschaften von PFT findet sich z. B. in [1].

Im Folgenden werden die wichtigsten Kenndaten für PFT kurz skizziert:

PFT sind organische Verbindungen, bei denen die Wasserstoffatome der Kohlenwasserstoffkette durch Fluoratome ersetzt worden sind. Die Bindungen zwischen Fluor und Kohlenstoff sind sehr stabil. Die Verbindungen sind deshalb sowohl chemisch als auch thermisch stabil und beständig gegen UV-Strahlung und Verwitterung.

Durch die Eigenschaft der PFT, Schmutz, Fett, Öl und Wasser abzuweisen, werden sie in vielen Anwendungen in der Industrie eingesetzt und finden sich auch in zahlreichen Industrie- und Konsumprodukten wieder, z. B. zur Oberflächenbeschichtung im Kleidungsschutz.

Die mengenmäßig bedeutsamsten Verbindungen aus der Gruppe der PFT sind Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS).

Die Welt-Jahresproduktion von PFOS wird für das Jahr 2000 auf circa 4.540 t geschätzt. Mittlerweile wurde die Produktion stark verringert. Für Deutschland wurde beispielsweise für 2003 mit einer Produktionsmenge von circa 20 - 40 t gerechnet [1].

PFT und ihre Vorläufersubstanzen werden seit mehr als 50 Jahren produziert. Ihr Auftauchen in der Umwelt wurde erstmals in den 70er Jahren festgestellt. PFT reichern sich in der Umwelt und in der Nahrungskette an. Sie werden unter anderem weltweit in Gewässern, in der Atmosphäre, aber auch in organischem Gewebe und Blut von Menschen und Tieren nachgewiesen. Die höchsten Konzentrationen von PFT lassen sich in marinen Säugetieren und Fische fressenden Tieren in industrialisierten Gebieten messen. Besondere Aufmerksamkeit gilt auch der Akkumulation im menschlichen Körper, da PFT im menschlichen Körper im Vergleich zu anderen Lebewesen eine sehr hohe Verweilzeit haben. Beim Menschen beträgt die Halbwertszeit von PFOS im Mittel 8,67 Jahre, bei Affen nur 200 Tage und bei Ratten lediglich 7,5 Tage [2]. Im menschlichen Körper wirken die PFT auf verschiedenste Art und Weise. PFT akkumulieren sich je nach chemischer Zusammensetzung unterschiedlich.

PFOA steht im Verdacht, Prostatakrebs zu verursachen und PFOS Blasenkrebs [2].

Beide Verbindungen sind im Blut von Menschen nachweisbar.

PFOA und PFOS sind nicht mutagen [3], wirken nicht auf genetisches Material und werden im Körper nicht metabolisiert [4]. Die Langzeitwirkungen auf den Menschen können nicht abgeschätzt werden, da die Halbwertszeit von PFT im Vergleich zu den Versuchstieren wie der Ratte um ein Vielfaches größer und somit die Wirkzeit viel länger ist.

Für PFOS wurde ein MAK¹-Wert von 0,005 mg/m³ (= 5 µg/m³) festgelegt. Ein Immissionswert existiert bislang nicht.

4 Anlass und Durchführung des Trocknungsversuchs, Analytik

Bislang liegen nach Kenntnis des LfU zur Emission von PFT aus solaren Klärschlamm-trocknungsanlagen ohne Abluftreinigung keine Erkenntnisse vor. Da die getrockneten Schlämme meistens thermisch verwertet werden, wurde bislang in Bayern auch kein Input-Grenzwert für PFT in den entwässerten Schlämmen festgelegt, da ein solcher Grenzwert nur für die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm notwendig ist.

¹ Maximale Arbeitsplatz-Konzentration

Somit ist es nicht ausgeschlossen, dass solche Anlagen auch Klärschlämme mit hohen PFT-Belastungen zur Trocknung annehmen. Um erste Erkenntnisse über Emissionen während des Trockenvorgangs zu erhalten, wurde der im Folgenden beschriebene Versuch durchgeführt. Da hierbei nur eine Probe untersucht wurde, können die Versuchsergebnisse lediglich als erste Orientierung interpretiert werden. Trotz dieser Einschränkung sind die Versuchsergebnisse aus fachlicher Sicht so eindeutig, dass auch auf dieser Basis Empfehlungen für den zukünftigen Betrieb von Klärschlamm-trocknungsanlagen gegeben werden können.

Für den Trocknungsversuch (s. Abbildungen 1 bis 4) wurde aus einer Kläranlage, von der bekannt war, dass deren Klärschlämme mit erhöhten Gehalten an PFOS belastet sind, eine repräsentative Probe an entwässertem Klärschlamm entnommen.

Die Trocknung der Klärschlammprobe wurde am Josef-Vogl-Technikum des LfU durchgeführt.

Um möglichst alle derzeit betriebenen Trocknungsanlagen-Konzeptionen zu berücksichtigen, wurde der entwässerte Klärschlamm mit folgenden Versuchsvariationen getrocknet.

1. Trocknung bei 30 °C (entspricht rein solarer Trocknung ohne Zusatzheizung)
2. und 3. Trocknung bei 60 °C mit und ohne Umluftbetrieb (entspricht solar unterstützter Trocknung)
4. Trocknung bei 80 °C (entspricht solar unterstützter Trocknung bei hoher Vorlauftemperatur)
5. Trocknung bei 105 °C: entspricht in etwa den Temperaturen in Kontakt- oder Konvektionstrocknern (z. B. Band- oder Scheibentrockner).

Die Trocknungsbedingungen in den Trocknungsöfen sollten möglichst den Bedingungen in den solaren Klärschlamm-trocknungsanlagen gleichen. Daher wurde der entwässerte Klärschlamm mit einer Schütthöhe von circa 10 cm in Glasschalen in die Trockenöfen eingebracht. Diese Schütthöhe entspricht in etwa derjenigen in den Trocknungsanlagen.

Im Gegensatz zum Betrieb in den solaren Trocknungsanlagen wurde aus Gründen der Praktikabilität der Schlamm in den Trockenöfen nicht kontinuierlich, sondern lediglich zweimal täglich gewendet und aufgelockert.

Der Versuch wurde nach Erreichen des gewünschten Trocknungsgrads der Proben bei circa 90 % TM (Trockenmasse) beendet.

Zur Bestimmung der Ausgangsgehalte an PFT-Kongeneren wurde ein Teil der Ursprungprobe bis 100 % TM gefriergetrocknet.

Die thermisch bzw. gefriergetrockneten Klärschlammproben wurden vom Referat „Zentrale Analytik, Stoffbewertung“ des LfU auf ihren Gehalt an PFT untersucht.

Die Untersuchung wurde analog DIN/ISO 25101 mittels Methanolextraktion, Verdünnung mit Wasser, Festphasenextraktion und anschließender LC-MS/MS-Analyse durchgeführt.

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen Versuchsaufbau und -durchführung.



Abb. 1: Aufbau des Trocknungsversuchs mit den vier Trockenöfen



Abb. 2: Entwässerter Klärschlamm in Glasschale im Trocknungssofen



Abb. 3: Gefriertrocknung der entwässerten Vergleichsprobe

5 Darstellung und Diskussion der Versuchsergebnisse

5.1 Trocknungsverlauf

Der Trocknungsverlauf wurde durch die Bestimmung des Masseverlusts während des zweimal täglichen Wendens der Klärschlammproben festgestellt.

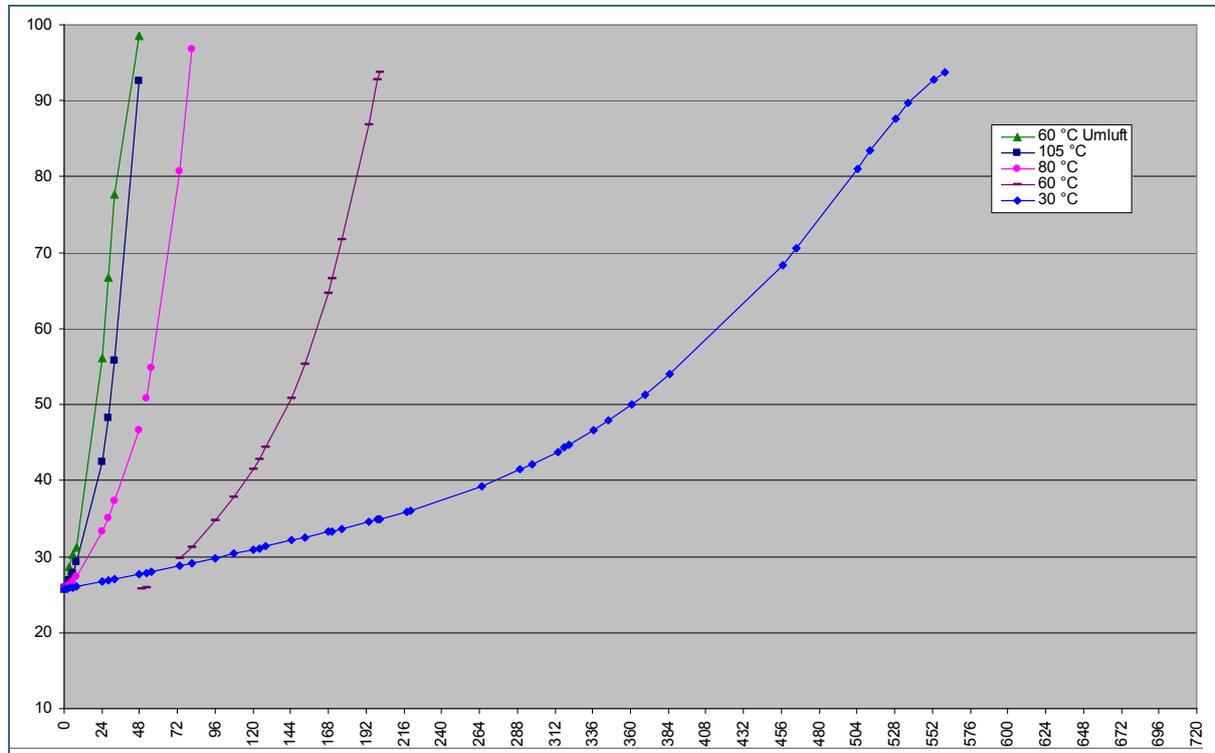


Abb. 4: Trocknungsverlauf der Klärschlämme bei verschiedenen Temperaturen

Bei einer Trockentemperatur von 105 °C und auch bei einer Temperatur von 60 °C bei Umluftbetrieb des Trockenschrankes war der angestrebte Trockensubstanzgehalt von circa 90 % bereits nach circa zwei Tagen erreicht. Die Trocknung bei 80 °C und 60 °C ohne Umluftbetrieb war nach circa 3,5 bzw. 8 Tagen beendet, während die Trocknung bei 30 °C etwas über 23 Tage benötigte.

Die Trocknungszeiten bei 30 °C und auch diejenige bei 60 °C ohne Umluftbetrieb entsprechen in etwa den realen Verweilzeiten des Klärschlammes in Klärschlamm-trocknungsanlagen.

5.2 Messergebnisse

Die analytische Untersuchung ergab folgende Messergebnisse:

Tab. 1: Analysenergebnisse

	Einheit: µg/(kg TM)	Klärschlamm, <u>Original</u> , gefriergetrocknet	Klärschlamm 1, Trockenprodukt 105 °C	Klärschlamm 2, Trockenprodukt 80 °C
Perflorbutansäure	PFBA	nn	Nn	nn
Perfluorpentansäure	PFPeA	<0,5	1,4	2,3
Perfluorbutanfulfonsäure	PFBS	4,7	2,7	3,6
Perfluorhexansäure	PFHxA	<0,5	1,5	1,7
Perfluorheptansäure	PFHpA	nn	Nn	nn
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	nn	nn	nn
Perfluoroctansäure	PFOA	0,5	0,5	0,6
Perfluorononansäure	PFNA	0,6	0,5	0,6
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	2.000	1.200	1.500
Perfluoroctansulfonsäureamid	PFOSA	nn	nn	nn
Perfluordecansäure	PFDA	2,9	1,8	1,0
Perfluorundecansäure	PFUdA	1,4	1,1	1,9
Perfluordodecansäure	PFDoA	2,9	1,3	1,4
Bestimmungsgrenze je Einzelsubstanz		0,5	0,5	0,5
		Klärschlamm 3, Trockenprodukt 60 °C	Klärschlamm 4, Trockenprodukt 30 °C	Klärschlamm 5, Umluftbetrieb 60 °C
Perflorbutansäure	PFBA	nn	nn	nn
Perfluorpentansäure	PFPeA	1,5	4,4	0,8
Perfluorbutanfulfonsäure	PFBS	4,2	4,5	4,0
Perfluorhexansäure	PFHxA	1,3	1,3	0,5
Perfluorheptansäure	PFHpA	<0,5	<0,5	nn
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	nn	nn	nn
Perfluoroctansäure	PFOA	0,7	1,7	<0,5
Perfluorononansäure	PFNA	0,5	0,6	<0,5
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	1.700	1.900	1.400
Perfluoroctansulfonsäureamid	PFOSA	nn	nn	nn
Perfluordecansäure	PFDA	2,1	3,1	2,1
Perfluorundecansäure	PFUdA	1,1	1,5	1,2
Perfluordodecansäure	PFDoA	1,7	1,8	1,6
Bestimmungsgrenze je Einzelsubstanz		0,5	0,5	0,5

nn.: nicht nachweisbar

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die prozentualen PFOS-Verluste und den Masseverlust von PFOS bei einer Eingangskonzentration von 2.000 µg/kg TM bei den unterschiedlichen Trockentemperaturen. Die Masseverluste sind hochgerechnet auf je 1.000 Tonnen Trockenmasse des Eingangsklärschlammes. 1.000 Tonnen TM im Input entsprechen bei 25 % TM einer Inputmenge an entwässertem Klärschlamm von 4.000 Tonnen. Dies entspricht der Durchsatzmenge einer mittelgroßen Anlage pro Jahr.

Außer PFOS waren keine PFT-Kongenerne in Konzentrationen enthalten, die Aussagen zu deren Flüchtigkeitsverhalten zuließen. Sie werden im Folgenden nicht weiter betrachtet.

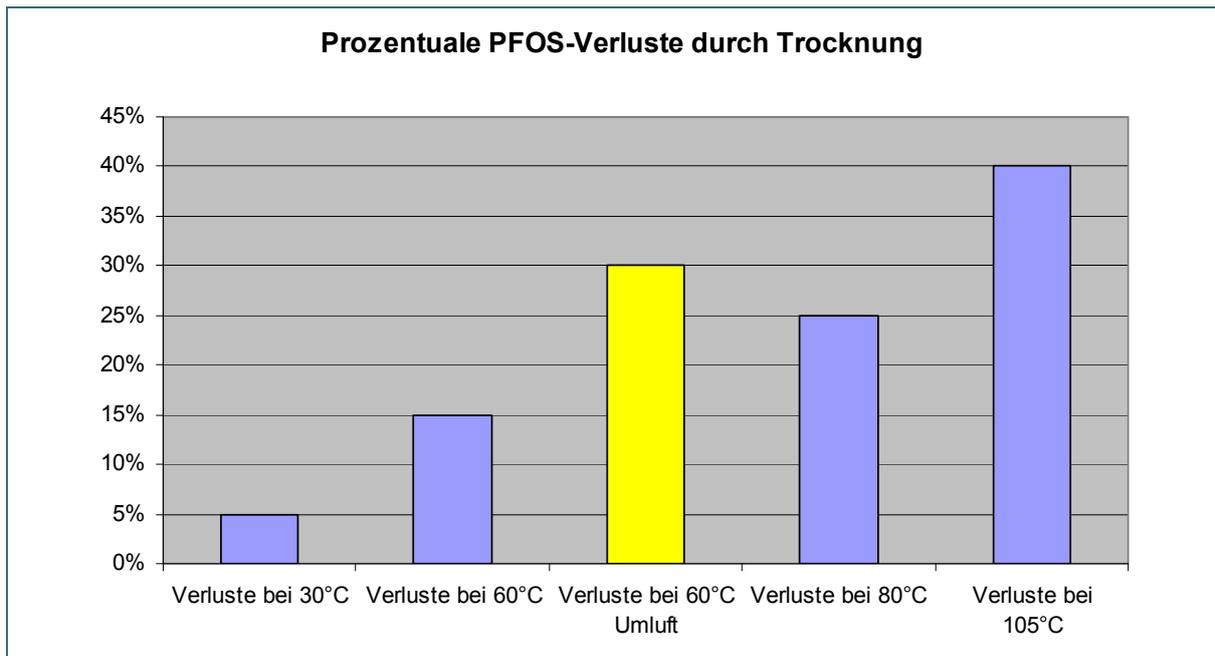


Abb. 5: Prozentuale PFOS-Verluste in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur

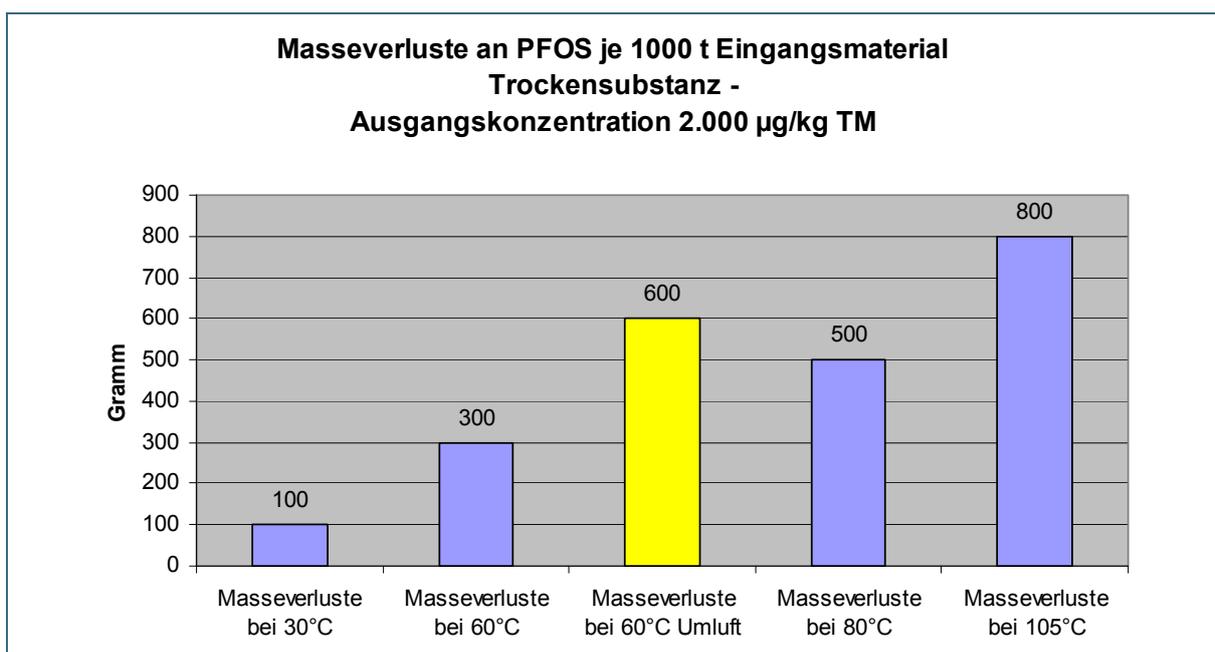


Abb. 6: Masseverluste PFOS in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur

5.3 Diskussion der Messergebnisse

Die Messergebnisse zeigen für die Flüchtigkeit der PFOS eine eindeutige Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur.

Auffällig ist auch die deutliche Erhöhung der PFOS-Verluste durch den Umluftbetrieb des Trockenschrankes. Durch die im realen Betrieb der Trocknungsanlagen verwendeten hohen Luftüberschüsse zur Abförderung der Verdunstungsfeuchte stellt der Umluftbetrieb wohl den realitätsnächsten Zustand während des Trocknungsvorgangs dar.

Für solar unterstützte Trocknungsanlagen muss somit bis zur Vorlage weiterer Erkenntnisse von einem Masseverlust an PFOS von 30 % während der Trocknung ausgegangen werden.

Dagegen sind die Verluste bei einer Trocknungstemperatur von nur 30 °C (entspricht solaren Anlagen) mit lediglich 5 % als gering zu bezeichnen.

Die detektierten Masseverluste sind auf Grund der geringen mechanischen Einwirkungen durch das lediglich zweimal tägliche Auflockern der Schlammproben im Wesentlichen auf Ausgasungsverluste zurückzuführen. An Staub anhaftende Emissionen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit zu vernachlässigen.

Beispielhaft seien die über den Luftpfad emittierten Konzentrationswerte an einer fiktiven Trocknungsanlage anhand praxisnaher Kenndaten berechnet:

Input entwässerter Schlamm (TM = 25 %):	6.000 t/a bzw. 1.500 (t TM/a)
Abluftvolumenstrom:	65.000 m ³ /h bzw. 569.400.000 m ³ /a
Betriebszeit:	24 h/d bzw. 8.760 h/a
Trockentemperatur:	60 °C
Eingangskonzentration PFOS:	2.000 µg/(kg TM)
Masseverlust PFOS in %:	30 %

Masseverlust = Konzentration PFOS * prozentualer Masseverlust * Input TM =
 2.000 µg/(kg TM) * 30 % * 1.500 (t TM/a) = 900 g/a

Emissionskonzentration = Masseverlust / Abluftvolumen/a =
 900 g / 569.400.000 m³ ≈ 1,6 µg/m³

Bei gleichen Grunddaten und einer Beschränkung der Input-Konzentrationen auf maximal 100 µg/(kg TM) ergibt sich eine Emissionskonzentration von
 45 g / 569.400.000 m³ ≈ 0,08 µg/m³.

Der Wert von 100 µg/(kg TM) ist vom Bayer. Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit als Grenzwert für die landwirtschaftliche Verwertung und Verwertungsmaßnahmen im Landschaftsbau sowie bei Rekultivierungsmaßnahmen vorgegeben.

Immissionsbetrachtungen können wegen der vielfältigen einzelfallspezifischen Randparameter (Anlagendaten, Orografie, Meteorologie, Abstand zu Immissionsorten) verallgemeinert nicht durchgeführt werden.

Bei Einhaltung des o.g. Vorsorgewertes als Inputgrenzwert ergibt sich für die aufgeführte Beispielrechnung jedoch auch für die unverdünnte Abluft aus den Trocknungsanlagen eine Unterschreitung des MAK-Wertes von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bereits an der Abluft-Auslassstelle um den Faktor von circa 60.

5.4 Fazit der Untersuchungen und Empfehlungen

Auf Grund des möglichen karzinogenen Potentials der PFT ist bei der Beurteilung von Luftemissionen bzw. -immissionen der Vorsorgegrundsatz der TA Luft (Kap. 5.2.7) zu beachten. Demnach sind jeweils unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit Emissionen soweit wie möglich zu begrenzen.

Beim derzeitigen Stand der Erkenntnis können keine Emissions- oder Immissionsgrenzwerte für über den Luftpfad emittierte PFT formuliert werden.

Aus diesem Grund wird empfohlen, den für die landwirtschaftliche Verwertung vom Bayer. Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit vorgegebenen Grenzwert von $100 \mu\text{g}/(\text{kg TM})$ (zzgl. 25 % Toleranz) aus Vorsorgegründen auch für solar unterstützte Trocknungsanlagen ohne Abluftreinigung für künftige Anlagengenehmigungen heranzuziehen. Bereits bestehende Genehmigungsbescheide sollten entsprechend geändert werden. Bei rein solaren Anlagen ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig (PFT-Konzentration, Standort, Durchsatzmengen).

Klärschlämme mit erhöhten PFT-Gehalten (in Bayern überschreitet Klärschlamm aus circa 7 % der Kläranlagen den genannten Vorsorgewert) sollten künftig soweit möglich entweder lediglich in entwässerter Form einer thermischen Behandlung zugeführt oder in Trocknungsanlagen mit geeigneter Abluftreinigung getrocknet werden. Über Wirkungsgrade der verschiedenen Abgasreinigungsverfahren für PFT liegen derzeit leider noch keine Kenntnisse vor. Nasse Verfahren und Aktivkohlereinigung dürften jedoch die höchsten Wirkungsgrade erzielen.

Quellenverzeichnis

- [1] FROMME, H.; SCHLUMMER, M.; UNGEWISS, J.; ROSCHER, E.: Umweltmedizinische Bedeutung perfluorierter Kohlenwasserstoffe (PFC). Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.). Erlangen, September 2006. URL: <http://www.bestellen.bayern.de/>
- [2] FRICKE, M.; LAHL, U.: Risikobewertung von Perfluortensiden als Beitrag zur aktuellen Diskussion zum REACH-Dossier der EU-Kommission. In: Webseite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Stand: Februar 2005. URL: <http://www.bmu.de/chemikalien/reach/doc/35088.php>
- [3] Umweltbundesamt: Perfluorierte Verbindungen: Falscher Alarm oder Berechtigte Sorge? In: Webseite des Umweltbundesamts. Stand: Februar 2007. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/perfluorierte-verbindungen.pdf>
- [4] LEPPER, H.: Toxikologische Bewertung zu PFOA und PFOS in Fischen aus der Alz. In: Webseite des Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Stand: 22.10.2008. URL: http://www.lgl.bayern.de/gesundheits/umweltmedizin/perfluorierte_tenside_toxikologie.htm

