

# Organische Schadstoffe in Biogasanlagen - Eintrag und Risikopotential

G. ZETHNER

## Abstract

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die Qualität der Gärrückstände aus abfallrelevanten Biogasanlagen auf einer breiten Datenbasis. Es wurden ausgewählte Schadstoffgruppen analysiert, die sich als relevant erwiesen haben. Die Schadstofffrachten wurden in Abhängigkeit von den Stickstoffgehalten der Gärrückstände und einer Düngergesamtgabe von 150 kg Stickstoff je Hektar errechnet. Es zeigte sich, dass die Analysen insbesondere Substanzen aufwiesen, die toxikologisch als sensibel einzustufen sind. Die Untersuchung 2003 konnte bei den Schadstoffgruppen AOX, CKW, BTEX und teilweise PAK auffällige Zunahmen im Vergleich zu den vorangegangenen Analysen feststellen. Generell ist mit diesen Zunahmen keine unmittelbare Gefährdung der Böden und der Nahrungskette verbunden, da es sich teilweise um leicht flüchtige Stoffe im Gärrückstand handelt. Der davon abzuleitende Handlungsbedarf liegt aber einerseits im unmittelbaren Arbeitsschutz - beim Umgang mit Gärrückständen - und andererseits sollten qualitätssichernde Maßnahmen ergriffen werden. Diese sind gemeinsam mit den Abfallerzeugern zu suchen und zu vereinbaren, um den Eintrag problematischer Stoffe zu minimieren.

## 1. Vorgangsweise

Vom Umweltbundesamt wurden in den Jahren 1998 und 2000 in Zusammenarbeit mit der NÖ Umweltakademie, der nunmehrigen LWVIE AGES, Wien und der NÖ Landwirtschaftskammer Gärrückstände untersucht. 2003 wurden nunmehr in 13 Biogasanlagen im Osten Österreichs Proben aus Gärrückständen gezogen und auf organische Schadstoffe untersucht. Diese Probenahme erfolgte im Zusammenhang mit der Untersuchung aller österreichischen Anlagen durch die LWVIE der AGES Wien bzw.

der BA für alpenländische Gründlandwirtschaft, Gumpenstein. Die Auswahl der untersuchten Anlagen wurde auf Grund der Information zu den vergorenen Materialien getroffen. Es handelt sich bei den 13 Anlagen um solche, in denen die Kofermentation von landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Abfällen stattfindet.

Organische Schadstoffe können in beinahe allen Medien gemessen werden, es sind allerdings höhere Konzentrationen in einzelnen Stoffströmen feststellbar. Es ist auch eine ökologische Bewertung der Gärrückstände durchzuführen. Führt diese Belastung in weiterer Folge zu einer erhöhten Fracht in die landwirtschaftlichen Böden, so ist dieser Eintrag in Vergleich zu Einträgen aus anderen Quellen, zu bestehenden Grenz- bzw. Richtwerten und im Hinblick auf einen vorsorgenden Bodenschutz zu bewerten. In der Folge werden die vorgefundenen Konzentrationen in den 13 Gärrückständen in Vergleich zu früheren Messergebnissen aus den Jahren 1998 bzw. 2000 (Anlagen A, B, C) gesetzt und mit den Durchschnittswerten aus einer Klärschlammuntersuchung des Umweltbundesamtes (1997) verglichen.

Für die Berechnung der durchschnittlichen Schadstofffracht wurde - abhängig vom Nährstoffgehalt des Gärrückstands

- eine jährliche Stickstoffgabe von 150 kg N pro ha angenommen. Die *Tabelle 1* zeigt die Massenverhältnisse, die sich durch die unterschiedlichen Stickstoffgehalte - in Abhängigkeit vom Substratmix in den einzelnen Anlagen und den unterschiedlichen Kosubstraten - ergeben. Die Mengen selber, mit denen die Anwender von Gärrückständen manipulieren, haben sich im Rückblick gesehen nicht geändert. Festzuhalten ist allerdings, dass die einzelnen Gärrückstände und damit die Anlagen unterschiedlichste Stickstoffgehalte je m<sup>3</sup> Gärrückstand aufweisen. Eine Analyse der Rückstände auf ihre Nährstoffgehalte scheint im Licht der EU-Nitratrichtlinie und der daraus resultierenden „Guten fachlichen Praxis“ daher dringend angebracht. Diese Gehalte werden auch dazu verwendet, die durchschnittlich ausgebrachte Schadstoffmenge in den folgenden Tabellen als „Fracht“ zu berechnen. Der Vergleich der Frachten im Zeitablauf der einzelnen Untersuchungen lässt auf Hinweise schließen, ob sich die Qualität der Gärrückstände über die Jahre - allerdings in unterschiedlichen Anlagen - verbessert bzw. verschlechtert hat.

## 2. Organische Schadstoffgruppen

In der ursprünglichen Konzeption wurden die häufig untersuchten Schadstoff-

**Tabelle 1: Übersicht über die Frischmasse- und Trockenmassemengen bei einer Stickstoffgabe von 150 kg N je Hektar, in Abhängigkeit vom Gärrückstand in den Anlage A, B und C (2000), und der neuen Untersuchungsreihe in 13 Anlagen (2003), in t/ha**

	Gärrückstände	
	t/ha TM <sup>1)</sup>	t/ha FM <sup>2)</sup>
Anlage A, B, C	1,51	43,33
Standardabweichung	0,70	27,4
Min - Max	0,82 - 2,59	30 - 62,5
Durchschnitt der 13 Anlagen	1,65	49,37
Standardabweichung	0,47	13,4
Mini - Max der 13 Anlagen	0,84 - 2,2	30,6 - 68,2

<sup>1)</sup> TM....Trockenmasse    <sup>2)</sup> FM.....Frischmasse

**Autor:** Dipl.-Ing. Gerhard ZETHNER, Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, A-1090 WIEN

gruppen ausgewählt, um einen Überblick über das Vorhandensein von Schadstoffen überhaupt zu erlangen. Es wurden daher die Gärrückstände auf adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX), polychlorierte Biphenyle (PCB), Lindan (g-HCH), Hexachlorbenzol (HCB), Dioxine & Furane, Tenside, chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), BTEX und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht (Umweltbundesamt 2002). Die Untersuchung 2003 wurde auf die Schadstoffgruppen AOX, Tenside, CKW, BTEX und PAK konzentriert, die sich in den ersten Untersuchungen (2000, 1998) als auffällig erwiesen hatten.

## 2.1 AOX (adsorbierbare organische Halogenverbindungen)

Dieser Parameter gibt einen Einblick in die Gehalte an halogenierten organischen Verbindungen. Halogenierte organische Verbindungen sind in der Regel anthropogenen Ursprungs, sodass auf die allgemeine Belastungssituation geschlossen werden kann. Für Klärschlamm besteht in einigen österreichischen Bundesländern ein Grenzwert von 500 mg / kg TM AOX berechnet als Chlorid. Es besteht gegenüber dem Parameter eine gewisse Skepsis, die darauf beruht, dass der Gehalt an halogenierten organischen Verbindungen umwelttoxikologisch wenig zu interpretieren ist. Der Parameter sollte daher als Indikator für eine unspezifische Belastung dienen und bei erhöhten Werten zu weiteren Untersuchungen Anlass geben.

In *Tabelle 2* werden die vorgefundenen Verhältnisse im Vergleich zu früheren Messergebnissen dargestellt und mit

Durchschnittswerten aus einer Klärschlammuntersuchung des Umweltbundesamtes 1997 in Beziehung gesetzt. Bei der AOX - Frachtberechnung ergeben sich im Vergleich zu früheren Messwerten deutlich erhöhte Werte, die neuen Gärrückstandsergebnisse gleichen eher den durchschnittlichen Klärschlammfrachten. Da es sich bei den beprobten Anlagen mit hohen Messwerten durchwegs um Anlagen handelt, die Kosubstrate aus der Lebensmittelindustrie und Getreideabfälle übernehmen, ist im Lichte dieser AOX - Übersicht eine vertiefte Analyse angebracht.

## 2.2 Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren, ein Vertreter der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), wurde teilweise stellvertretend für etwa 16 PAK - Vertreter untersucht. Benzo(a)pyren zeichnet sich dadurch aus, dass es eine der stark karzinogenen Verbindungen der PAK ist. PAK zählen zu den semivolatilen und lipophilen Kohlenwasserstoffen ( $\log K_{ow} >> 3$ ;  $K_{AW} 10^{-5}$  bis  $10^{-3}$ ). In der Regel kann diese Stoffgruppe nur in geringem Maß aus dem Boden in die Pflanzenteile verlagert werden, Pflanzen akkumulieren diese allerdings aus der Luft. Der direkte PAK-Eintrag in die Nahrungskette als Bodenpartikel ist zu beachten (TRAPP, 1998).

Ein Abbau von PAK erfolgt je nach Wasserlöslichkeit der organischen Verbindung und ist bei höhermolekularen Verbindungen nur langsam möglich. Eine gute Nährstoffversorgung der Böden erhöht die Abbauleistung.

Hauptquellen für PAK sind unvollständige Verbrennungsvorgänge und die Eintragspfade in Boden und Gewässer

in der Regel durch Staubimmissionen aus der Luft. Niederschlagswasser enthält 7,65 ng/l bis max. 28,6 ng/l Benzo(a)pyren, dagegen im Abwasser bis zu 101 µg/l, während im Kompost im Mittel 136 µg/kg TM und im Straßenkehricht bis zu 1.060 µg/kg TM Benzo(a)pyren enthalten sind (UBA 1999). Eine Kompostgabe von 10 t TM hat eine durchschnittliche Fracht von 1.360 mg/ha zur Folge (UBA 2000a).

Bei multifunktionaler Nutzung wird ein Orientierungswert für Benzo(a)pyren von 1 mg/kg TM im Boden empfohlen (KLOKE und EIKMANN 1991) bzw. ein Vorsorgewert von 0,3 mg/kg TM (BMUNR 1999). Die durchschnittliche Belastung der Böden beträgt 0,8 - 4, 3 µg/kg (MARQUARDT et al. 2004), sodass ein - ohne Vorbelastung vorausgesetzt - ausreichender Sicherheitsabstand zum Vorsorgewert angenommen werden kann.

Der Anteil von Benzo(a)pyren an der gesamten PAK-Verteilung im Boden beträgt etwa 10 %, d.h. der PAK-Gesamteintrag ist - gemessen an der Benzo(a)pyren-Fracht - eine Zehnerpotenz höher anzusetzen. Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse, bei denen alle 16 PAK-Kongeneren untersucht wurden, schwankt dieser Quotient allerdings in den Gärrückständen zwischen 2,7 und 18,1. Im Mittel lag der Quotient bei 7,1 mit einer Standardabweichung von 4,3. Damit kann von einem wesentlich anderen Verteilungsmuster in Gärrückständen ausgegangen werden, als im Boden. Die erhöhten Gehalte an Benzo(a)pyren bzw. andere kanzerogene PAK-Verbindungen sind daher zu beachten und der Arbeitsschutz ist darauf auszurichten.

**Tabelle 2: Übersicht über die AOX-Gehalte in den Anlagen A, B und C und in der neuen Untersuchung (2003), in mg/kg TM Iyo**

	UBA (2003) GR <sup>1)</sup>	UBA (2000) GR <sup>1)</sup>	UBA (1998) GR <sup>1)</sup>	UBA (1997) Klärschlamm	Klärschlamm- Grenzwert nach NÖ KSVO <sup>2)</sup>
n =	13	5/4/4	1	16	
Mess- bzw. Mittelwert Anlage A,B,C, 13 Anlagen	475,0	80,7	160	172	500
Min. - Max. A, B, C	90,5 - 2.055,4	32,0 - 153,0			
Standardabweichung.	622,8	37,9			
Ø AOX-Fracht in g/ha/a Anlage A,B,C, 13 Anlagen	880,2	92,0	230	258	750
AOX-Fracht in g/ha/a Min - Max	142,5 - 4.552,8	81,0 - 164,0			
AOX-Fracht in g/ha/a Standardabweichung	1.376,8	45,0			

<sup>1)</sup> GR...Gärrückstan TM Iyo....Trockenmasse gefriergetrocknet

<sup>2)</sup> NÖ KSVO:.....Niederösterreichische Klärschlammverordnung

Tabelle 3: Übersicht über die Benzo(a)pyren - bzw. PAK-Gehalte in den Anlagen A, B und C im Vergleich zu der neuen Untersuchung (2003), in µg/kg TM Iyo

	UBA (2003) GR <sup>1)</sup>	UBA (2000) GR <sup>1)</sup>	UBA (1998) GR <sup>1)</sup>	UBA (1997) Klärschlamm
n =	13	5/4/4	1	16
<b>Benzo(a)pyrene</b> Mess- bzw. Mittelwert, A,B,C und 13 Anlagen	294,4	115,7	79,6	302
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	90,6 - 531,3	19,5 - 303,0		
Standardabweichung.	139,1	162,3		
<b>PAK</b> Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	2.127,0	1.157 <sup>*)</sup>	796	3.020
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	339,2 - 8.679,1	195 - 3.030 <sup>*)</sup>		
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	2.130,3	1.623 <sup>*)</sup>		
Ø <b>B(a)P</b> -Fracht in mg/ha/a Anlage A,B,C und 13 Anlagen	481,8	119,5	72	453
<b>B(a)P</b> -Fracht in mg/ha/a Min - Max A,B,C und 13 Anlagen	76,0 - 832,6	22,5 - 272,0		
<b>B(a)P</b> -Fracht in mg/ha/a Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	240,6	133,5		

<sup>1)</sup> GR....Gärrückstand TM Iyo....Trockenmasse gefriergetrocknet

<sup>\*)</sup> errechnet aus den angenommenen Quotienten PAK/BaP = 10

Gemessen an der Fracht einer durchschnittlichen Klärschlammgabe liegen die Benzo(a)pyren - Einträge durch Gärrückstände in annähernd gleicher Höhe. Allerdings ist eine beachtliche Streubreite (Standardabweichung) gegeben, so dass es wert erscheint, die Eingangsmaterialien in den Anlagen auf ihren Beitrag zur Belastung zu prüfen.

### 2.3 Tenside

Tenside sind Hauptwirkstoffe der in Haushalt, Gewerbe und Industrie eingesetzten Reinigungs- und Waschmittel. Überall wo die Oberflächenspannung des Wassers herabgesetzt oder die

Schaumbildung positiv beeinflusst werden soll, werden Tenside eingesetzt. Als Vertreter der Tenside wurden die linearen Alkylbenzoesulfonate (LAS), Nonylphenoethoxylate (NP(1,2)EO) und Nonylphenole (NP) untersucht. LAS sind anionische Tenside und NPEO und NP sind nichtionische Tenside. In der Regel sind Tenside im Boden in wenigen Tagen abbaubar, allerdings unter anaeroben Bedingungen - etwa im Biogasfermentern - werden Tenside, wenn überhaupt, unterschiedlich abgebaut:

– Die LAS werden in der Biogasanlage nicht abgebaut. Gärrückstand mit hohen LAS-Konzentrationen auf den

Boden aufgebracht, kann für wenige Tage die Regenwurmtoxizität erreichen. Ein Abbau im Boden erfolgt nach HUBER (1989) in einer Halbwertszeit von 3 - 35 Tagen. Allerdings ist auch die Hemmung der Methanbildung im Fermenter ab einer Konzentration von 10 mg/l möglich (WAGNER et al. 1987).

– NPEO kann im Fermenter zu NP abgebaut werden. Üblicherweise ist NP in geringerem Ausmaß selbst bei anaeroben Biogasreaktoren-Bedingungen abbaubar. NP kann sich durchaus im Gärsubstrat bis zum Sechsfachen aufkonzentrieren.

Tabelle 4: Übersicht über die LAS-, NP- und NP(1,2) EO - Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in der neuen Untersuchungsserie (2003), in mg/kg TM Iyo

	UBA (2003) GR <sup>1)</sup>	UBA (2000) GR <sup>1)</sup>	UBA (1997) Klärschlamm
n =	13	5/4/4	16
<b>Lineare Alkylbenzoesulfonate LAS</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	404,9	171,6	8.107
Min - Max. A,B,C und 13 Anlagen	38,3 - 1.442,3	27,8 - 427,4	2.199 - 17.955
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	411,5	222,1	
n =	13	2/2/2	16
<b>Nonylphenol (NP)</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	2,7	7,3	27
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	0,5 - 8,1	0,6 - 11,6	13 - 57
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	2,2	5,9	
<b>Nonylphenol-1-ethoxylat NP (1) EO</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	11,6	7,3	22
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	0,0 - 47,4	0,6 - 11,6	2,5 - 72
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	17,9	5,9	
<b>Nonylphenol-2-ethoxylat NP (2) EO</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	2,7	14,1	24
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	0,0 - 10,6	1,5 - 36,9	n.n.-69
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	3,4	19,8	
Ø <b>LAS</b> -Fracht in g/ha/a Anlage A,B,C und 13 Anlagen	612,9	163,3	12.161
Min- Max LAS-Fracht in g/ha/a Anlage A,B,C und 13 Anlagen	50,2 - 1.471,1	67,0 - 351,0	
LAS-Fracht in g/ha/a Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	517,2	162,5	

<sup>1)</sup> GR....Gärrückstand

Die Waschmittelindustrie hat in üblichen Waschmitteln freiwillig auf die Verwendung von NP(1,2)EO verzichtet. Bei industriellen Reinigern, Dampfstrahlern und in harten Reinigungsfällen ist die Verwendung offensichtlich noch gegeben. Die Einbringung größerer Mengen an NP(1,2)EO und NP in die Gewässer ist dringend zu vermeiden, da einerseits die endokrine Wirkung dieser Stoffe und andererseits eine hohe toxische Wirkung auf aquatische Organismen gegeben ist.

Offensichtlich besteht zwischen Klärschlammgehalten und den untersuchten Gärrückständen ein Abstand von einer Zehnerpotenz.

Während die NP(1,2)EO- und NP-Frachten etwas abnahmen, stiegen die LAS-Frachten im Vergleich zu früheren Ergebnissen etwas an. Die Tensidfracht der Gärrückstände generell führt zu einer Belastung, die aber um eine Zehnerpotenz unterhalb der einer durchschnittlichen Klärschlammgabe liegt.

## 2.4 Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)

Diese Stoffgruppe BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol) umfasst stabile Verbindungen, welche hauptsächlich aus der Synthese der petrochemischen Chemie stammen. Große Mengen dieser Stoffe werden Treibstoffen, Farben und Klebern zugesetzt. Die Stoffgruppe zählt zu den flüchtigen Kohlenwasserstoffen mit  $\log K_{ow}$  2 - 3;  $K_{AW}$  0,1 bis 1. Die BTEX werden von Pflanzen leicht aufgenommen, ein leichtes Abdampfen erfolgt auch über die Pflanzenblätter. Der rasche Ab/Umbau erfolgt in der Pflanze und im Boden (TRAPP, 1998). Eine photochemische Halbwertszeit für Benzol und Toluol ist mit 11 bzw. 2,6 Tagen zu beobachten. Es handelt sich bei diesen „Schnüffelstoffen“ um Umweltkanzerogene, sodass auf eine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) zu achten ist. Beispielsweise besteht für Benzol und Toluol MAK-Werte von 3,2 bzw. 190 mg/m<sup>3</sup> Luft (MARQUARDT et al. 2004). BTEX-unbelastete Böden enthalten weniger als 1 mg/kg TM, eine Über-

schreitung dieser Gehalte durch die Verwendung der Biogasrückstände sollte auf Grund des hohen Dampfdrucks der BTEX-Verbindungen nicht zu erwarten sein (RIPPEN 1997).

Aus den Ergebnissen ist erkennbar, dass sich die Summe der BTEX deutlich im Mittel und insbesondere in den Maximalwerten erhöht hat. Die Gehalte an Toluol haben sich dabei besonders stark erhöht. Unterlegt man die maximale BTEX - Fracht der Gärrückstände würde in etwa 50 Jahren - ohne Vorbelastung und Ausgasung vorausgesetzt - die Grenze von 1 mg/kg Boden überschritten werden. Eine Ursachenprüfung sollte in den Anlagen vorgenommen werden.

## 2.5 Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)

Die untersuchte Stoffgruppe umfasst Substanzen, die im wesentlichen als Lösungsmittel Verwendung finden. Die einzelnen Substanzen haben allerdings unterschiedliche Eigenschaften und reichen von narkotisierend, kanzerogen bis ozon-suppressiv. Die Stoffe haben durchwegs

**Tabelle 5: Übersicht über die BTEX-Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in der neuen Untersuchungsreihe (2003), in µg/kg FM <sup>2)</sup>**

	UBA (2003) GR <sup>1)</sup>	UBA (2000) GR <sup>1)</sup>	UBA (1998) GR <sup>1)</sup>
n =	13	7/6/8	1
<b>Benzol</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	2,7	2,6	2,5
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	1,0 - 11,0	2,5 - 2,9	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	2,9	0,2	
<b>Toluol</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	134,3	11,0	31,3
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	2,7 - 1.030,0	2,5 - 20,4	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	290,9	9,0	
<b>Ethylbenzol</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	10,9	4,4	-
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	1 - 47	<5 - 23	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	15,1	3,3	
<b>p, m -Xylol</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	17,5	12,6	43,4
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	1 - 89	<5 - 100	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	28,0	17,5	
<b>o -Xylol</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	4,6	5,8	35,6
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	1 - 27	<5 - 59	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	7,3	5,8	
<b>Σ BTEX</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	170,1	33,1	
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	11,3 - 1.063,8	10,0 - 201,1	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	292,7	29,1	
Ø BTEX-Fracht in g/ha/a Anlage A,B,C und 13 Anlagen	8,9	1,3	75
BTEX-Fracht in g/ha/a Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	0,7 - 63,8	0,5 - 2,0	
BTEX-Fracht in g/ha/a Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	17,2	0,8	

<sup>1)</sup> GR....Gärrückstand

.....nicht nachweisbar

<sup>2)</sup> FM....Frischmasse

einen niedrigen Dampfdruck, sodass sie bei den Reaktortemperaturen von 35 bis 40°C in die Dampfphase übergehen und im Biogas enthalten sein sollten. Sie zählen damit zu den leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffen mit einem  $\log K_{OW}$  1,5 - 3 und einem  $K_{AW}$  0,01 bis 1. Sie werden daher aber auch gut von den Pflanzen aufgenommen, allerdings in diesen auch leicht verlagert.

Das Akkumulationspotential ist auf Grund der Flüchtigkeit gering. Trichlorethen kann beispielsweise leicht über die Blätter abgasen (TRAPP 1998). Darüber hinaus sind bei methanogenen Bedingungen toxische Metaboliten nicht ausgeschlossen. Auffällige hohe Dichlormethangehalte im Gärsubstrat treten in Anlagen mit Hausabwasserzumischung auf und könnten von der Trinkwasserchlorierung herkommen. Für die leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe wird ein Vorsorgewert für den Boden mit <1 mg/kg TM angegeben, die Summe der CKW-Einträge aus den Biogastrückständen würden bei der maximal festgestellten Fracht - ohne Vorbelastung und ohne

Ausgasung vorausgesetzt - diese Grenze in 50 Jahren erreichen. Der Eintrag in den Boden durch Gärückstände wird durch die hohe Flüchtigkeit der CKW-Verbindungen voraussichtlich stark reduziert. Offen ist der markante Anstieg von Dichlormethan, während andere CKW-Gehalte deutlich zurückgehen. Es besteht für Dichlormethan als kanzerogenverdächtigen Stoff eine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) von 350 mg/m<sup>3</sup> Luft (MARQUARDT et al. 2004). Durch Gehalte im Gärückstand und die leichte Flüchtigkeit ist daher u. U. auf MAK-relevante Konzentrationen in engen Räumen zu achten. Es sind daher entsprechende Vorsichtsmaßnahmen angebracht bzw. Ursachenforschung zu betreiben.

### 3. Fazit

Die vorliegenden Ergebnisse der organischen Schadstoffe bestätigen im Großen und Ganzen die bisherigen Messreihen in den abfallwirtschaftlich relevanten Biogasanlagen. Insbesondere sind die eingesetzten Ausgangsmaterialien ent-

scheidend für die Qualität der Gärückstände. Basierend auf der verwendeten Datenbasis sind einige grundsätzliche Überlegungen anzustellen. Werden Anlagen vermehrt von der Urproduktion unabhängig d.h. es werden keine typischen Abfälle aus der Tierhaltung und Pflanzenproduktion vergoren und eher Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, Biotonne, Gastronomie und Haushalt verwendet, so ist auch ein vermehrter Aufwand zur Qualitätssicherung der Gärückstände notwendig. Die aufgezeigten Veränderungen in der Qualität der Gärückstände ist nicht besorgniserregend. Allerdings sollte aufbauend auf die aufgezeigten Problemfelder in den einzelnen Anlagen ein Qualitätssicherungskonzept entwickelt werden. Es ist dabei gemeinsam mit den Abfallerzeugern nach Möglichkeiten zu suchen, wie der Eintrag problematischer Stoffe zu minimieren ist.

### 4. Literatur

BMLFUW, 2001a: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirt-

**Tabelle 6: Übersicht über die CKW - Gehalte in den Anlagen A, B und C und in der neuen Untersuchungsreihe (2003), in µg/kg FM**

	UBA (2003) GR <sup>1)</sup>	UBA (2000) GR <sup>1)</sup>	UBA (1998) GR <sup>1)</sup>
n =	13	7/6/6	1
<b>Chloroform</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	-	n.n.	0,1
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	-	n.n. - 0,6	
<b>Dichlormethan</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	246,7	4,2	19
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	11 - 960	n.n. - 12	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	275,0	2,8	
<b>Trichlorethen</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	0,5	0,2	1
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	>1,0	0,1 - 15,1	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	-	0,5	
<b>Perchlorethen</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	0,5	3,3	5
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	>1,0	0,1 - 9,0	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	-	5,0	
<b>1,1,1 Trichlorethan</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	0,5	n.n.	0,1
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	>1,0	-	
<b>Σ CKW</b>			
Mess- bzw. Mittelwert A,B,C und 13 Anlagen	248,0	6,2	25,2
Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	13,2 - 962,1	1,1 - 11,5	
Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	275,0	7,5	
∅ Σ CKW -Fracht in g/ha/a Anlage A,B,C und 13 Anlagen	13,6	0,4	0,8
Σ CKW - Fracht in g/ha/a Min. - Max. A,B,C und 13 Anlagen	0,4 - 57,7	0,03 - 0,4	
Σ CKW - Fracht in g/ha/a Standardabweichung A,B,C und 13 Anlagen	17,2	0,3	

<sup>1)</sup> GR....Gärückstand n.n.....nicht nachweisbar

- schaft: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung) v. 14.08.2001.
- BMLFUW, 2001b: Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland. Hrsg: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien 2001.
- BMUNR, 1999: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV); BGBl. 36/99, Bonn 1999.
- HUBER, L., 1989: Folgerungen für eine ökologische Beurteilung von LAS. Tenside Surface 26.
- KLOCKE, A., EICKMANN, T., 1991: Nutzungs- und schutzbezogene Orientierungsdaten für (Schad-) Stoffe in Böden, VDLUFA - Sonderdruck 1/1991.
- MARQUARDT, H. und S. SCHÄFER, 2004: Lehrbuch der Toxikologie, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- NÖ KSVO, 2001: Niederösterreichische Klärschlammverordnung LGBl. 6160/2-3 3.
- RIPPEN, G., 1997: Handbuch Umwelt-Chemikalien, Stoffdaten Prüfverfahren Vorschriften, Loseblattsammlung, ECOMED Frankfurt 1997 lfd.
- TRAPP, S., 1998: Terrestrische Ökosysteme: Pflanze, Boden, Luft, in Handbuch der Umweltwissenschaften, Grundlagen und Anwendung der Ökosystemforschung, Hrsg: Fränzele O., Müller F., Schröder W., ECOMED 1998, Landsberg am Lech.
- UMWELTBUNDESAMT, 1997: Zur Situation der Verwertung und Entsorgung des kommunalen Klärschlammes in Österreich, Wien, Monografie 95.
- UMWELTBUNDESAMT, 1998: Analysenbericht über die organischen Schadstoffe in Gärrückständen und Biogasgülle.
- UMWELTBUNDESAMT, 2000: Analysenbericht über die organischen Schadstoffe in Gärrückständen und Biogasgülle.
- UMWELTBUNDESAMT, 2000a: Die Qualität von Kompost aus der getrennten Sammlung, Wien, Monografie.
- UMWELTBUNDESAMT, 2002: Die Qualität von Abfällen aus Biogasanlagen, Monografie 160, Wien.
- WAGENER, S. and B. SCHINK, 1987: Anaerobic Degradation of Nonionic and Anionic Surfactants in Enrichment Cultures and Fixed-Bed Reactors. Water Research 21.
- ZETHNER, G. und B. GÖTZ, 1997: Kompostqualität in Österreich, VDLUFA-Schriftenreihe 45, Kongressband, Leipzig 1997.