

Österreichische Agentur für
Gesundheit und
Ernährungssicherheit GmbH

Landwirtschaftliche
Untersuchungen
und Forschung Wien
Institut für Agrarökologie




Federal Environment Agency – Austria



Das Lebensministerium

QUALITÄT VON ABFÄLLEN AUS BIOGASANLAGEN

Gerhard ZETHNER
Erwin PFUNDTNER
Johann HUMER

MONOGRAPHIEN
Band 160
M-160

Wien, 2002

Projektleitung

Dr. Michael Mayer (LA NÖ)

Autoren

DI Gerhard Zethner (Umweltbundesamt), DI Erwin Pfundtner (AGES),
DI Johann Humer (LW NÖ)

Satz/Layout

Manuela Kaitna

Titelphoto

DI Erwin Pfundtner

Besonderer Dank ergeht an die Abteilung VI/4 des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft für die finanzielle Unterstützung, und die Anlagenbetreiber für die umfassende Hilfestellung und an alle an den chemischen und hygienischen Analysen beteiligten Personen.

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH (Federal Environment Agency Ltd)
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Druck: Riegelnik, A-1080 Wien

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2002
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-657-9

INHALT

	Seite
VORWORT DES PROJEKTLEITERS	7
ZUSAMMENFASSUNG	9
SUMMARY	11
1 EINLEITUNG	13
1.1 Allgemeines	13
1.2 Zielsetzungen des Projektes	13
1.3 Kooperationspartner	14
2 METHODIK	15
2.1 Beschreibung der untersuchten Biogasanlagen	15
2.1.1 Anlieferstruktur und Anlagenkonzeption der Biogasanlage A	15
2.1.2 Anlieferstruktur und Anlagenkonzeption der Biogasanlage B	15
2.1.3 Anlieferstruktur und Anlagenkonzeption der Biogasanlage C	16
2.2 Probenahme	16
2.3 Analysen	18
3 ERGEBNISSE	19
3.1 Nährstoffe (PFUNDTNER Erwin)	19
3.1.1 Allgemeines	19
3.1.2 Gehalte an Nährstoffen, Trockenmasse und organischer Substanz	19
3.1.3 Nährstoffimporte in den Betriebskreislauf durch die Kosubstrate	23
3.2 Schwermetalle (PFUNDTNER Erwin)	24
3.2.1 Allgemeines	24
3.2.2 Schwermetallgehalte	25
3.2.3 Schwermetallfrachten durch die Gärrückstände und Wirtschaftsdünger	27
3.3 Organische Schadstoffe (ZETHNER Gerhard)	29
3.3.1 AOX (adsorbierbare organische Halogenverbindungen)	30
3.3.2 PCB (Polychlorierte Biphenyle)	31
3.3.3 Hexachlorbenzol (HCB), Lindan (γ -HCH)	32
3.3.4 Benzo(a)pyren	33
3.3.5 Dioxine & Furane	35
3.3.6 Tenside	36
3.3.7 Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)	38
3.3.8 Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)	39

3.4	Hygieneuntersuchung der Gärrückstände und der Ausgangssubstrate (HUMER Johann)	41
3.4.1	Gesamtkeimzahl.....	45
3.4.2	Bakterien.....	45
3.4.2.1	Enterobakterien	45
3.4.2.2	Enterokokken	45
3.4.2.3	Clostridien.....	45
3.4.2.4	Escherichia coli.....	45
3.4.3	Pathogene Bakterien	45
3.4.3.1	Listerien.....	45
3.4.3.2	Salmonellen.....	45
3.4.4	Sprosspilze	46
3.4.5	Parasiten.....	46
	Begriffsbestimmungen (Definitionen)	47
4	LITERATUR	49

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Probenahme aus dem Endlager mit einem Probenehmer. <i>Figure 1: Sampling in the long term storage site with a sampler.</i>	16
Abb. 2:	Gülle- und Kosubstratproben. <i>Figure 2: Slurry and co-ferments samples.</i>	17
Abb. 3:	Prinzipielle Verteilung der Probenahmen auf die Wochen 1 bis 10. <i>Figure 3: Scheme of distribution of the samples in week 1 to 10.</i>	17
Abb. 4:	AOX-Eintrag und Austrag in der Anlage A – wochenweise und je Stoffgruppe (Menge x Konzentration). <i>Figure 4: AOX input and output in plant A – weekly and per substrate (amount x concentration).</i>	31
Abb. 5:	Benzo(a)pyren-Eintrag und Austrag in der Anlage A – wochenweise und je Stoffgruppe (Menge x Konzentration). <i>Figure 5: Benzo(a)pyren input and output in plant A – weekly and per substrate (amount x concentration).</i>	34
Abb. 6a-c:	Verteilung der Untersuchungsergebnisse in den Anlagen A, B und C sowie in den unterschiedlichen Substraten. <i>Figure 6: Distribution of survey results in plant A, B and C and per substrate.</i>	42-44

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Trockenmasse- und Nährstoffgehalte, pH-Wert und C/N Verhältnis der unvergorenen Wirtschaftsdünger und der Gärrückstände der Biogasanlagen A, B und C.	
<i>Table 1:</i>	<i>Dry matter and nutrient content, pH-value and C/N-relationship of unfermented manure and the fermentation residues in plant A, B and C.</i>	20
Tab. 2:	Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger bzw. Gärrückstände in den Anlagen A, B und C, umgerechnet in kg/30 m ³ FM.	
<i>Table 2:</i>	<i>Nutrient content of manure and fermentation residues in plant A, B and C, calculated as kg/30 m³ Fresh matter.</i>	22
Tab. 3:	Nährstoffgehalte der Kosubstrate in den Anlagen A, B und C in Prozent.	
<i>Table 3:</i>	<i>Nutrient content of fermentation residues in plant A, B and C in percents.</i>	22
Tab. 4:	Stickstoffimport durch Wirtschaftsdünger und Kosubstrate in den Nährstoffkreislauf der landwirtschaftlichen Betriebe A, B, C, in DGVE/ha.	
<i>Table 4:</i>	<i>Nitrogen import by manure and co-ferments in the nutrient flux of the agricultural operations A, B and C, in livestock units/ha.</i>	23
Tab. 5:	Schwermetallgehalte der unvergorenen Wirtschaftsdünger und Gärrückstände in den Anlagen A, B und C.	
<i>Table 5:</i>	<i>Heavy metal content of unfermented manure and fermentation residues in plant A, B and C.</i>	25
Tab. 6:	Schwermetallgehalte der Kosubstrate in den Anlagen A, B und C.	
<i>Table 6:</i>	<i>Heavy metal content of co-ferments in plant A, B and C.</i>	26
Tab. 7:	Grenzwerte für Schwermetallkonzentrationen für Biogasgülle/Gärrückstand in mg/kg TM (gemäß DMVO für Düngemittel mit mehr als 20 % OS i. d. TM)	
<i>Table 7:</i>	<i>Limit values of heavy metal concentration for fermentation residues in mg/kg DM (referring to the ordinance for fertilisers with more than 20% organic matter/DM).</i>	27
Tab. 8:	Grenzwerte der Schwermetallfrachten in g/ha in einem Zeitraum von 2 Jahren nach der Düngemittelverordnung 1994.	
<i>Table 8:</i>	<i>Limit values of heavy metal loads in g/ha accounted in a period of 2 years referring to the ordinance for fertiliser 1994.</i>	28
Tab. 9:	Vergleich der Frisch- und Trockenmassefrachten in t/ha und der Schwermetallfrachten durch die Wirtschaftsdünger, die Gärrückstände und von Kompost bei einer Düngergabe von 150 kg/ha Gesamtstickstoff sowie Vergleichsdaten von Handelsdünger, Klärschlamm und Deposition, in g/ha.	
<i>Table 9:</i>	<i>Comparison of fresh and dry matter load in t/ha and the heavy metal load caused by manure, fermentation residues and compost with a nitrogen load of 150 kg/ha as well as data of mineral fertiliser, sewage sludge and deposition, in g/ha.</i>	28
Tab. 10:	Übersicht über die Frischmasse- und Trockenmassemengen bei einer Stickstoffgabe von 150 kg N je Hektar, in Abhängigkeit vom Stoffsubstrat und der jeweiligen Anlage A, B und C, abgeleitet aus der Tab. 1 und der Tab. 3.	
<i>Table 10:</i>	<i>Overview of fresh and dry matter loads caused by a nitrogen load of 150 kg/ha, pending on the substrate in plant A, B and C, refer to Table 1 and Table 3.</i>	29
Tab. 11:	Übersicht über die AOX -Analysenergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in Vergleichssubstraten, in mg/kg TM l _{yo} .	
<i>Table 11:</i>	<i>Overview of the AOX content in plant A, B and C as well as in comparison substrate, in mg/kg DM.</i>	30
Tab. 12:	Übersicht über die PCB -Analysenergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C bzw. in Vergleichssubstraten in µg/kg TM l _{yo} .	
<i>Table 12:</i>	<i>Overview of PCB content in plant A, B and C and per substrate, in µg/kg DM.</i>	32
Tab. 13:	Übersicht über die HCB - und HCH -Analysenergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in Vergleichssubstraten, in µg/kg TM l _{yo} .	
<i>Table 13:</i>	<i>Overview of HCB and HCH content in plant A, B and C and per substrate, in µg/kg DM.</i>	33

Tab. 14: Übersicht über die Benzo(a)pyren -Analysenergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie im Vergleichssubstrat, in µg/kg TM Iyo. <i>Table 14: Overview of Benzo(a)pyrene content in plant A, B and C and per substrate, in µg/kg DM.</i>	34
Tab. 15: Übersicht über die Dioxin -Analysenergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in Vergleichssubstraten, in ng TEQ/kg TM Iyo. <i>Table 15: Overview of dioxin content in plant A, B and C and per substrate, in ng TEQ/kg DM.</i>	36
Tab. 16: Übersicht über die LAS -, NP - und NP(1,2)EO -Analysenergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in Vergleichssubstraten, in mg/kg TM Iyo. <i>Table 16: Overview of LAS, NP and NP(1,2)EO content in plant A, B and C and per substrate, in mg/kg DM.</i>	37
Tab. 17: Übersicht über die BTEX -Analysenergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie im Vergleichssubstrat, in µg/kg FM ⁶⁾ . <i>Table 17: Overview of BTEX content in plant A, B and C and per substrate, in µg/kg Fresh matter. ...</i>	38
Tab. 18: Übersicht über die CKW -Analysenergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie im Vergleichssubstrat, in µg/kg FM . <i>Table 18: Overview of CKW content in plant A, B and C and per substrate, in µg/kg FM.</i>	40
Tab. 19: Übersicht über die Analysen-Mittelwerte von 11 Gärrückständen, 9 Küchenabfällen und 7 Wirtschaftsdünger in den Anlagen A, B, und C, in KBE/g FM . <i>Table 19: Overview of the mean values by 11 fermentation residues, 9 leftover samples and 7 manure in plant A, B and C, in CBU / g FM.</i>	44

VORWORT DES PROJEKTLITERS

Aufgrund internationaler und innerstaatlicher Verpflichtungen der Republik Österreich sowie des Landes Niederösterreich (Kyoto-Protokoll sowie Umsetzung des Klimabündnisses) sind Möglichkeiten der Alternativenenergien zu entwickeln. Die Forcierung der Biogastechnologie ist eines dieser Entwicklungsprogramme zur alternativen Energiegewinnung. Ein besonderer Vorteil besteht in der dezentralen Verstromung von Biogas, die zu Hochlastzeiten ins elektrische Netz einspeisen kann.

Um optimale Bedingungen für den Einsatz der Biogastechnologie im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu schaffen, bedarf es konzertierter Anstrengungen aller Beteiligten und der Beantwortung noch offener Fragen im Hinblick auf eine mögliche Schadstoffbelastung der Gärrückstände. Dieser Aufgabe, eine Diskussion auf fachlicher Grundlage herbeizuführen, hat sich die NÖ Landesakademie gerne gestellt. Der bei der NÖ Landesakademie angesiedelte Arbeitskreis Biogas des Landes Niederösterreich war daher bestrebt, vorurteilsfreie Informationsgrundlagen zu schaffen und Lösungsansätze zu liefern. Im Zuge eines durch die NÖ Landesakademie initiierten Koordinierungsgespräches zwischen Vertretern der Fachabteilungen des Landes Niederösterreich und der NÖ Landeslandwirtschaftskammer wurde der Beschluss gefasst, den Stand der Biogastechnologie im landwirtschaftlichen Bereich aufzuarbeiten. Daher war es der Wunsch des Landes Niederösterreich und der Auftrag an die NÖ Landesakademie, durch wissenschaftliche Analyse folgende Themen zu prüfen:

- Die Situation hinsichtlich der Anlagenbewilligung und der Bestimmungen betreffend Anlagensicherheit. Als Ergebnis dieser Analyse wurde der Leitfaden für das Anlagenbewilligungsverfahren herausgegeben.
- Die wirtschaftliche Situation des Betriebs von Anlagen. Ergebnis der Analyse – Studie „Biogas, eine ökonomische und volkswirtschaftliche Analyse“.
- Zur Klärung der Belastung der Gärrückstände mit Schadstoffen oder Keimen dient die vorliegende Arbeit.

Schon nach den ersten Untersuchungen in den Jahren 1997/98 zeigte sich, dass die Schadstoffbelastung allgemein im Rahmen bleibt. Auf Grund der doch beachtlichen Schwankungen wurden in einem zweiten Projektansatz durch eine systematische Begleitung dreier Anlagen über eine Zeitperiode die Quellen von Kontamination isoliert. Die Ergebnisse werden hier vorgestellt.

Aufgrund dieser Erkenntnisse ist es möglich, eine Strategie zu entwickeln, wie die landwirtschaftlichen Böden optimal mit Dünger durch Gärrückstand versorgt werden, ohne dass eine Gefahr für Mensch, Tier oder Pflanze über diesen Weg zu befürchten ist. Die Biogastechnologie leistet im landwirtschaftlichen Bereich einen wertvollen Beitrag zur regionalen Energieversorgung und schließt Kreisläufe durch die Verwertung von organischen Abfällen. Die Kreislaufführung darf allerdings nicht zur Schadstoffanreicherung führen bzw. sind Richt- oder Grenzwerte einzuhalten.

Das wissenschaftliche Team des Projekts bestand aus DI Gerhard ZETHNER, Umweltbundesamt Wien, DI Johannes HUMER, NÖ Landeslandwirtschaftskammer, Abt. Pflanzenbau, Dipl. Ing. Erwin PFUNDTNER, AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährung GesmbH und Bundesamt für Ernährungssicherheit, Institut für Agrarökologie. Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft war maßgeblich durch Mag. Franz Mochty, Abt. VI/4, Frau DI Nina Spatny sowie Frau DI Nora Mitterböck beteiligt.

Dr. Michael Mayer
Niederösterreichische Landesakademie

ZUSAMMENFASSUNG

Am Beispiel von drei Biogasanlagen wurde untersucht, inwieweit sich die stoffliche Zusammensetzung der Wirtschaftsdünger und die Nährstoffgehalte durch die anaerobe Vergärung und die Beimengung von Kosubstraten veränderte. Eine weitere Fragestellung war der Eintrag, das Verhalten während der Vergärung und der Austrag von Schadstoffen mit dem Gärückstand anhand von ausgewählten Parametern. Anhand der Untersuchungsergebnisse wurde erörtert, ob durch die chemische Analyse von Gärückständen die Qualität der Eingangsmaterialien ausreichend nachvollzogen werden kann. Darüber hinaus wurden die Schadstofffrachten, die mit den Gärückständen auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht wurden mit Wirtschaftsdünger-, Kompost- und Klärschlammgaben verglichen.

Im Zuge der anaeroben Vergärung im Fermenter reduzierte sich der Trockenmassegehalt der Gärückstände im Vergleich zu den unbehandelten Wirtschaftsdüngern durch den Kohlenstoffabbau zu Methangas – je nach Verweildauer im Fermenter – um 44 % bis 65 %. Diese Trockenmassereduktion bewirkt bei der Anwendung ein beschleunigtes Abfließen der Gärückstände von den Pflanzen und eine raschere Infiltration in den Boden. Dadurch werden Pflanzenverätzungen und gasförmige Stickstoffverluste bei der Ausbringung vermindert.

Der Ammoniumanteil am Gesamtstickstoffgehalt der Gärückstände stieg – ebenfalls in Abhängigkeit von der Verweildauer des Gärsubstrates im Fermenter – um 0,2 bis 27,2 % an. Für die Düngepraxis lässt der Anstieg des Gehaltes an mineralisiertem Stickstoff eine bessere Pflanzenverfügbarkeit erwarten.

Durch die Erhöhung der pH-Werte um 0,3 bis 1,4 Einheiten infolge des Gärprozesses steigt allerdings die Gefahr der gasförmigen Stickstoffverluste bei der Lagerung und vor allem bei der Ausbringung an.

Durch die Zumischung von Kosubstraten veränderte sich die Nährstoffzusammensetzung der Wirtschaftsdünger in Abhängigkeit der Kosubstratmengen zum Teil deutlich. Die Gesamtstickstoffgehalte in der Frischmasse der Gärückstände waren um 15 % bis 27 % niedriger als in den Wirtschaftsdüngern. Durch die Kosubstrate verdünnten sich die P-Gehalte um 23 % bis 78 % und die K-Gehalte um 12 % bis 61 %. Für eine pflanzen- und umweltgerechte Düngungsplanung sollten die Gehalte der Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium der Gärsubstrate einmal im Jahr untersucht werden.

Schwermetalle werden nicht abgebaut, sondern reichern sich im Zuge der Vergärung in der Trockenmasse des Gärückstandes an. Es hat sich gezeigt, dass bei zwei Anlagen durch die Fettabscheiderrückstände die Bleigehalte in den Gärückständen im Vergleich zu den Wirtschaftsdüngern leicht erhöht wurden. Bei der dritten untersuchten Anlage konnten im Gärückstand erhöhte Zink-, Kupfer-, Blei- und Cadmiumgehalte gemessen werden. Diese erhöhten Gehalte dürften von den Hausabwässern und dem Hofflächenablauf des Betriebes stammen. Bei den Speiseresten konnten keine außergewöhnlichen Belastungen mit Schwermetallen festgestellt werden. Die Schwermetallgehalte der Gärückstände blieben deutlich unter den vom Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (BMLFUW 2001b) empfohlenen Grenzwerten nach der Düngemittelverordnung 1994.

Die auf Basis einer üblichen Aufwandmenge (150 kg Stickstoff/ha und Jahr) errechneten Spurennährstoff- und Schwermetallfrachten der Gärückstände lagen ebenfalls deutlich unter den Grenzwerten der Frachtenregelung in der Düngemittelverordnung 1994. Verglichen mit den Spurennährstoff- und Schwermetallfrachten der Wirtschaftsdünger waren die Bleifrachten der Gärückstände aus einer Anlage geringfügig höher. Die Zink-, Kupfer-, Blei- und Cadmiumfrachten der Gärückstände aus einer anderen Anlage waren gegenüber entsprechenden Frachten des Rinderstallmistes ebenfalls erhöht. Im übrigen waren die ermittelten Spurennährstoff- und Schwermetallfrachten der Gärückstände durch die Verwendung von Kosubstraten zum Teil erheblich geringer als Frachten mit den Wirtschaftsdüngern.

Bei den Schwermetallen kann durch die Analyse der Gärrückstände bei einer geringen Anzahl unterschiedlicher Kosubstrate auf die Qualität der Ausgangsmaterialien geschlossen werden.

Bei den organischen Schadstoffen hat sich gezeigt, dass sich die einzelnen Stoffgruppen beim Gärprozess unterschiedlich verhalten. Bei den flüchtigen Schadstoffen – etwa den BTEX – kann durch die Analyse der Gärrückstände nicht auf die Gehalte in den Gärsubstraten geschlossen werden, da erhebliche Teile gasförmig die Anlagen verlassen und eventuell ein Luftemissionsproblem darstellen könnten. Eine begleitende Kontrolle dieser Stoffe müsste daher in den Ausgangsmaterialien stattfinden.

Für schwerflüchtige Verbindungen kann die vorläufige Schlussfolgerung gemacht werden, dass die Kontrolle der Endprodukte ein ausreichendes Indiz dafür liefert, ob problematische Stoffströme in die Anlagen eingespeist wurden. Aus Vorsorgegründen sollten jedoch fallweise auch die Kosubstrate einer Untersuchung unterworfen werden.

Wie am Beispiel von AOX und Benzo(a)pyren in einer Anlage gezeigt wurde, ist der zeitlichen Verlauf und das Schadstoffinventar und die Qualität des gewonnenen Gärrückstands direkt von den Eingangsmaterialien abhängig. Weiters wurde die Schadstofffracht je Hektar und Jahr bei der Anwendung von Gülle und Wirtschaftsdünger den Frachten aus der Anwendung von Gärrückständen bzw. der durchschnittlichen Klärschlammmanwendung gegenüber gestellt. Dazu wurde auf die gesetzlichen Grenzwerte bezüglich Klärschlamm und die fallweise Anwendung (im Mittel 1,5 t TM/ha) durchschnittlicher Klärschlammqualitäten und -mengen Bezug genommen. Die festgestellten AOX-Gehalte der Gärrückstände tragen wenig zu einem Eintrag dieser Stoffklasse in den Boden bei. Eine durchschnittliche Klärschlammgabe bringt dagegen einen merklichen Mehreintrag an AOX-Verbindungen.

Bei den Einträgen von PAK durch die Gärrückstand kommt es im Vergleich zur Ausbringung von herkömmlicher Gülle zu einer beträchtlichen Zusatzbelastung. Verglichen mit durchschnittlichen Klärschlammgaben liegt diese zwar noch darunter – eine Annäherung an die Klärschlammssituation ist aber ablesbar.

Es wird anhand der bisher erzielten Ergebnisse davon ausgegangen, dass die individuelle Situation der Anlagen stark variieren kann. Die damit verbundenen Nährstoffverhältnisse, der Verlauf der Schadstoffdurchflüsse und die Betriebsführung sind stark von der Qualität des eingesetzten Substratmix abhängig. Allgemein kann abgeleitet werden, dass Biogasanlagen mit geringeren Anteilen an Kosubstraten unter generell schadstoffärmeren Verhältnissen produzieren. Mit der überwiegenden Vergärung von Kosubstraten steigt die Möglichkeit von unerwünschten Einträgen bzw. es werden auch die Nährstoffverhältnisse deutlich verschoben, sodass eine Nährstoffanalyse und ein Schadstoffmonitoring unbedingt erforderlich erscheint.

Die Hygieneuntersuchungsergebnisse der Gärrückstände zeigten durchwegs, mit unvergorenem Wirtschaftsdünger vergleichbare, hohe Keimbelastungen, jedoch ohne Hinweis auf pathogene Keime. Das legt die Anforderung nahe, dass die Gärrückstände aus hygienischen Gründen einer chargengetrennten Nachlagerung von ca. 3 Monaten unterworfen werden sollten. Dieser Zeitraum gilt für die herkömmliche Güllelagerung als hygienisierende Maßnahme.

Da sich die drei untersuchten Anlagen in ihrer Konzeption stark unterschiedlich darstellten, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um die bisherigen Erkenntnisse auf eine breitere Basis stellen zu können. Die in der Zwischenzeit erschienene Empfehlung des Fachbeirats für Bodenfruchtbarkeit zur Anwendung von Gärrückstand berücksichtigt bereits die dargestellten Erkenntnisse und sollten daher von den Anlagenbetreibern und Verwaltungsorganen berücksichtigt werden.

SUMMARY

The goal of the study in three plants was to survey how anaerobic fermentation changes the quality of manure and the nutrient content when co-substrate are used. A further question was the behaviour of harmful substances during fermentation and the emission of pollutants as shown by selected parameters. The results of the survey formed the basis of a discussion as to whether knowledge of the chemical quality of residue sludge is sufficient to allow conclusions regarding the quality of input materials. The pollutant loads applied to agricultural land by means of fermentation residue were compared to the ones of slurry, manure, compost and sewage sludge.

Compared to non-treated manure the fermentation process causes a reduction by 44 to 65 % of dry matter in fermentation residues by breaking down the carbon content substances to methane gas (depending on the duration of fermentation period). This reduction of dry matter effects a faster run off from plants during spraying and a quick percolation in soils. These effect minimise plant etch and loss of nitrogen caused during spraying of the fermentation residue sludge.

The ammonia share of the nitrogen content rose between 0.2 to 27.2 % – similarly depending on the duration of fermentation. For the fertilisation practise this increase of mineral nitrogen content would entail a better plant uptake.

The fermentation process increases the pH-Value by 0.3 to 1.4 and increases the danger of nitrogen loss during storage and above all in the course of the spraying activities.

Depending on the quantity of the co-substrate the use of co-substrates may strongly influence the nutrient content of the used manure. The nitrogen content of the fresh matter of fermentation residue was about 15 to 27 % lower than in non-treated manure. The co-substrates used dilute the phosphorous content by about 23 to 78 % and the potash content by about 12 to 61 %. Environmentally friendly fertilisation planning should take into account the nitrogen, phosphorus and potash content of the fermentation residue sludge. To this end the content of the main nutrients of the fermentation residue should be analysed once a year.

Heavy metals cannot be reduced by fermentation, but accumulate in the dry matter of the fermentation residues. The results of the heavy metal analyses show that in two plants the lead content in the fermentation residues was slightly higher due to grease separation. In the third plant the fermentation residue showed higher zinc, copper, lead and cadmium contents. These elevated contents could be caused by the use of household waste water. When using leftovers, no remarkable pollution with heavy metals could be measured. In general, the content of heavy metals in the fermentation residues remained below the recommendation of the “advisory board for soil fertility and soil protection”.

On the basis of an average amount of fertiliser used (150 kg nitrogen/ha/year) the calculated load of micronutrients and heavy metals of the fermentation residues are clearly below the limits of the Austrian ordinance for fertiliser of 1994. When comparing the micronutrient and heavy metal load of manure with the content of fermentation residues plant A showed a slightly higher lead load. Compared to the loads of cattle manure, the zinc, copper, lead and cadmium loads are higher in plant C. Overall the use of co-substrates in part considerably reduces micronutrients and heavy metal loads of fermentation residues.

With heavy metals the quality of the input materials can be deduced from the analyses of fermentation residues – provided only a few different co-substrates are used.

With regard to organic pollutants we have to bear in mind that the individual pollutant behaves differently during the fermentation process. The volatile compounds (such as BTEX) an analysis of the fermentation residues does not allow any conclusion as to the pollutant

content of the input materials, because vast amounts of the substances leave the plant in gaseous form and may cause problematic air emissions. Input material should be monitored for these substances.

For less volatile substances the preliminary conclusion can be made that the quality control of fermentation residues provides sufficient information as to whether input materials contain problematic substances or not. For precautionary reasons the input materials should be analysed from time to time, too. For example, in one plant the inventories of AOX and Benzo(a)-pyrene fluctuated similarly over time in the fermentation residue as well as in the input materials.

The organic pollutant load per hectare and year applied with slurry and manure were compared with the loads of fermentation residues and an average quantity of sewage sludge (1.5 t DM/ha).

The measured concentrations of AOX in fermentation residues contribute only slightly to the load of these substances. An average application of sewage sludge would cause a far higher input of AOX.

Fermentation residues produce remarkable inputs of PAH compared with common manure. Sewage sludge causes a still higher load of PAH, although a certain approach cannot be denied.

Summarising the results it was evident that the individual situations of the plants varied heavily. The quantity and the quality of the different input materials affect the nutrient ratios of the fermentation residues, the flux of pollutants and the contamination with pollutants such as heavy metals and organic pollutants. As a first recommendation in order to improve the quality of the fermentation residues it can be said that the operator of a biogas plant can minimise the pollutant load by using high quality input material. With a growing share of co-substrate the possibility of introducing undesirable substances and may bring about a shift in nutrient ratio, grows.

The results of hygiene analyses of fermentation residue (taken directly after the digester) showed typical high germ loading like manure but no evidence of pathogenic germs. This is why the authors suggest to store fermentation residue for at least three month after fermentation. The same requirement applied to the storage of common slurry.

Due to their different set-up the survey of the three plants revealed different concentrations for the different parameters. It would be necessary to make more trials to broaden the information basis. The already published recommendation of the “advisory board for soil fertility and soil protection” about the usage of fermentation residue reflects the findings of this report and presents a good guideline for operators and the administration.

1 EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion sowie der industriellen Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte und deren Nutzung durch den Verbraucher fallen große Mengen organischer Reststoffe an, die aufgrund ihres hohen Wassergehaltes für die Kompostierung nicht gut geeignet sind. Ein ökologisch sinnvoller Verwertungsweg für diese biogenen Abfälle besteht in der gemeinsamen Vergärung mit den Wirtschaftsdüngern bei gleichzeitiger Gewinnung von Biogas.

Die Kofermentation in landwirtschaftlichen Biogasanlagen trägt somit im Rahmen der Abfallverwertung in besonderer Weise zur verantwortbaren Rückführung der Abfälle in den landwirtschaftlichen Stoffkreislauf bei. Die Gärrückstände müssen jedoch strenge Qualitätskriterien hinsichtlich des Gehaltes an Schwermetallen, organischen Schadstoffen und Störstoffen (Steine, Metalle, Kunststoffe, Glas, ...) erfüllen. Der Landwirt muss sich weiters bewusst sein, dass sich im Vergleich zum unvergorenen Wirtschaftsdünger durch den Fermentationsprozess Substrateigenschaften und somit Anwendungseigenschaften ändern und durch die Kosubstrate (= Kofermente) zusätzliche Nährstoffe in den betrieblichen landwirtschaftlichen Stoffkreislauf kommen.

In einer landwirtschaftlichen Biogasanlage entsteht im Zuge der anaeroben Fermentation von Wirtschaftsdüngern, Energiepflanzen und anderen organische Abfälle (zB. Speisereste, Fettabscheider) Biogas. Das durch die Vergärung gebildete Biogas wird vor Ort in Gasmotoren zum Antrieb von Elektrogeneratoren verwendet. Damit ist die Umwandlung von organisch gebundener Energie in elektrische Energie möglich. Als Nebenprodukt fällt Wärmeenergie aus dem Verbrennungsprozess an. Die elektrische Energie wird in das bestehende Niederspannungsnetz eingespeist. Darüber hinaus entstehen bei der herkömmlichen, mehrmonatigen Güllelagerung beachtliche Methanemissionen, welche durch die Nutzung der Gülle in den Biogasanlagen verhindert werden. Damit wird ein Beitrag zur Verminderung der treibhauswirksamen Methanemissionen geleistet.

1.2 Zielsetzungen des Projektes

- Untersuchung der Veränderung der stofflichen Zusammensetzung von Gülle und Festmist durch den Fermentationsprozess und durch die Beimengung von Kosubstraten,
- Bewertung des Stickstoffimportes in den Betriebskreislauf durch die Kosubstrate,
- Vergleich der Schwermetallgehalte von unvergorener Gülle und des Gärrückstandes,
- Untersuchung auf organische Schadstoffgehalte in unvergorener Gülle und Festmist, Kosubstraten und im Gärrückstand und
- Untersuchung der hygienischen Verhältnisse, die sich durch die Vergärung einstellen.

Dem Verdacht einer Schadstoffsенke und der Schadstoffkonzentration durch die Verwendung von externen Abfällen wie Abfälle aus Fettabscheidern, Biotonneninhalten, Speiseresten und Flotatfett soll besonderes Augenmerk gewidmet werden. Von den Ergebnissen soll in weiterer Folge der richtige Umgang mit den eingesetzten Stoffen abgeleitet werden.

Das Projekt dient der Ausweitung der Erkenntnisse über die Einsatzfähigkeit von organischen Abfällen aus der Landwirtschaft sowie aus Haushalten und Gewerbebetrieben (z. B. Schlachtbetriebe, Großküchen) zur Gewinnung von Biogas. Der nach der Vergärung vorliegende Gärrückstand soll qualitativ hochwertig und zum Einsatz in der Landwirtschaft geeignet sein.

1.3 Kooperationspartner

Die Institutionen Niederösterreichische Landesakademie, die AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährung GesmbH und Bundesamt für Ernährungssicherheit Wien, Institut für Agrarökologie, die Landeslandwirtschaftskammer Niederösterreich und das Umweltbundesamt wirkten an der Durchführung des Projektes mit. Unter Führung der NÖ Landesakademie wurden bereits in den Jahren 1997 bzw. 1998 in drei Anlagen Untersuchungen von Gärrückständen durch die obigen Institutionen durchgeführt. Die Untersuchungsreihe wird durch das folgende Projekt ergänzt und vervollständigt. Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Abt. VI/4 deckte einen großen Teil der Kosten des Projekts durch die Übernahme der Kosten für die chemischen Analysen, die am Umweltbundesamt durchgeführt wurden, ab.

2 METHODIK

2.1 Beschreibung der untersuchten Biogasanlagen

2.1.1 Anlieferstruktur und Anlagenkonzeption der Biogasanlage A

Die untersuchte Biogasanlage ist Teil eines landwirtschaftlichen Betriebes mit Schweinemast. Die Art und der Umfang der übernommenen Abfälle hatten sich gegenüber der früheren Beprobung wesentlich verändert. Neben der eigenen Schweinegülle von 600 Mastplätzen – der Tierbesatz beträgt etwa 1,3 GVE/ha – werden nun täglich Speiseabfälle eines Wiener Seniorenheimes übernommen. Daneben werden in der Regel einmal in der Woche Fettabseiderrückstände aus der Gastronomie, Flotatfett aus einem Geflügelschlachthof sowie Fettsumpf (= pastöser Fettabseider) aus Großküchen und einer gewerblichen Speiseölproduktion übernommen. Der Anteil der Kosubstrate am gesamten Gärsubstrat ist mit durchschnittlich 70 % hoch.

Die Anlage besteht aus einem Fermenter (250 m³), einem Nachfermenter (500 m³), einem Sammelbehälter (650 m³), einem Gasbehälter, einem Gasmotor und einem Generator.

Die Kosubstrate werden in einer etwa 30 m³ großen Vorgrube mit einem Tauchrührwerk vermischt und von dort in den Fermenter gepumpt. Die Schweinegülle gelangt von den Stallungen über einen Hauptkanal direkt in den Fermenter.

Bei dem Fermenter handelt es sich um eine Speicher-Durchflussanlage aus Beton, welche isoliert und beheizt ist. Die Anlage arbeitet im mesophilen Bereich, d. h. bei einer Temperatur von 35-38°C. Vom Fermenter gelangt das vergorene Substrat in den beheizten Nachgärbehälter und von dort in das Endlager. Die Vergärung findet bei einer durchschnittlichen errechneten Verweilzeit von ca. 36 Tagen statt.

Die Nachgärbehälter sind nicht wärmeisoliert und dient daher nur als Speicher für den Gärückstand. Unter Einrechnung der Masseverluste durch die Gärung sind diese Behälter für die Aufnahme von Gärückstand für ca. 3 Monate ausgelegt. Um die zugeführten Substrate aus demselben Zeitfenster wie die entnommenen Gärückstände zu beproben, wurde der Sammelbehälter zu Beginn der Beprobung weitgehend entleert.

2.1.2 Anlieferstruktur und Anlagenkonzeption der Biogasanlage B

Die Biogasanlage B ist Teil eines viehlosen Betriebes. In dieser Biogasanlage wird allerdings die Schweinegülle eines benachbarten Schweinemastbetriebes mit 400 Mastplätzen mitvergoren. Die Schweinegülle – es fallen aus dem Schweinemastbetrieb etwa 800 m³/Jahr an – macht jedoch nur einen geringen Anteil am Gärsubstrat aus. Den Hauptanteil des Gärsubstrates bildeten die Speisereste mit 3.200 m³ und Fettabseiderrückstände mit 2.100 m³/Jahr. Die Speisereste und Fettabseiderrückstände stammen aus der Gastronomie und Bundesheerkasernen der näheren Umgebung und werden zwei- bis dreimal pro Woche in 100 Liter-Tonnen bzw. Tankwägen angeliefert.

Die Biogasanlage besteht aus zwei Rohrfermentern à 150 m³ und einem Endlager von 1.000 m³. Die aufgrund der Volumsverhältnisse der Rohrfermenter und der Substratmengen errechnete durchschnittliche Verweildauer in den Rohrfermentern beträgt 18 Tage. Die Gärückstände gelangen von dort in den Sammelbehälter. Die Speisereste werden vor dem Einbringen in den Fermenter in einer Vorgrube zerkleinert und mit den Fettabfällen vermischt. Die Gülle wird von der Güllegrube direkt in den Fermenter gepumpt.

2.1.3 Anlieferstruktur und Anlagenkonzeption der Biogasanlage C

In der Biogasanlage C wurden im Jahr etwa 225 m³ Rinderfestmist aus einem Laufstall und 144 m³ Speisereste aus Großküchen vergoren. Der Festmist wird in der Vorgrube mit vergorenem Substrat verflüssigt – und damit pumpfähig gemacht – und mit Speiseresten vermischt. Die Beschickung des 100 m³ Rohrfermenters erfolgt täglich. Die errechnete Verweildauer im Rohrfermenter beträgt etwa 70 Tage. Die Temperatur im Fermenter erreicht etwa 35 °C. Von dort gelangt das Substrat über den 350 m³ großen Nachgärbehälter in das Sammellager. Über das geschlossene Kanalsystem des Wohnhauses werden Teile der Grauwässer und des Hofflächenablaufes des Betriebes in das Sammellager eingeleitet.

2.2 Probenahme

Der Beprobungszeitraum wurde mit zehn Wochen festgelegt. Innerhalb der ersten 7 Wochen wurden wöchentlich Proben von der Schweinegülle, dem Festmist und den angelieferten Kosubstraten gezogen. Die Beprobung des Gärsubstrates erfolgte ebenfalls wöchentlich von der dritten bis zur zehnten Woche. Die zeitliche Abfolge der Probenahme wurde so gewählt, dass eine etwaige Schadstoff-Kontamination der Gärrückstände durch die Analyse der Input-Materialien (Schweinegülle, Festmist und Kosubstrate) nachvollzogen werden konnte.

Die Probenahme der Gärrückstände erfolgte bei den Biogasanlagen A und B am Überlauf zwischen Fermenter und Nachgärbehälter. Bei der Anlage C wurden die Proben aus dem Sammellager entnommen (Abb. 1). Für die Probennahme der Schweinegülle am Betrieb A wurde der Hauptkanal im Stall ein bis zwei Stunden vor der Probenahme gestaut und daraus wurde nach vorhergehender Durchmischung die Probe entnommen. Die Gülleprobe vom Betrieb B wurde aus der Güllegrube entnommen. Im Betrieb C wurde die bereits verflüssigte Festmistprobe aus der Vorgrube entnommen. Die Kosubstratprobenahme erfolgte, wo es möglich war, im Zuge der Anlieferung und ansonsten aus der Vorgrube. Eine Beprobung der Hausabwässer der Biogasanlage C (siehe 2.1.3) war aus technischen Gründen nicht möglich.



Abb. 1:
Probenahme aus dem Endlager mit
einem Probenehmer.



Abb. 2: Gülle- und Kosubstratproben.

Abb. 3 zeigt die Verteilung der Probenahme-Zeitpunkte. Jene Proben, welche umrahmt sind, wurden sofort einer chemischen Analyse unterzogen. Proben, die nicht umrahmt sind, wurden als Rückstellproben tief gefroren und wurden bei Bedarf in der 2. Phase reaktiviert. Die Pfeile, die in die Felder weisen, stellen die eingesetzten Wirtschaftsdünger und Kosubstrate dar, die aus den Feldern weisenden Pfeile die abgehenden Gärrückstände aus dem Reaktor.

Es wurden daher insgesamt je Anlage 7 Gülle- und 7 Gärrückstandproben gezogen, weiters wurden 8 Kosubstratproben aus den einlangenden Abfällen (Speisereste, Küchenabfälle, Speisefette, Fettabscheider und Rückstände aus dem Lebensmittelbereich) genommen.

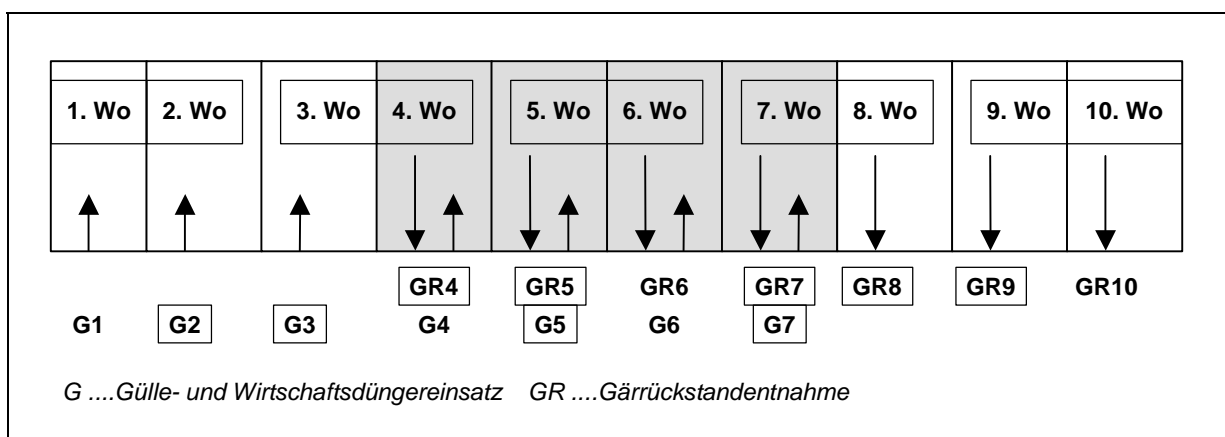


Abb. 3: Prinzipielle Verteilung der Probenahmen auf die Wochen 1 bis 10.

2.3 Analysen

Die chemischen Analysen der Schweinegülle-, Gärrückstand-, und Kofermentproben wurden folgendermaßen aufgeteilt:

- AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährung GesmbH und Bundesamt für Ernährungssicherheit Wien, Institut für Agrarökologie:
Schweinegülle und Gärrückstände (Biogasgülle):
 - Parameter TM, OM, C_{ges}, Asche, pH
 - Nährstoff- & Schwermetallanalysen
(N_{ges}, NH₄-N, P_{ges}, K_{ges}, Na, Cl, Cd, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr)
- Umweltbundesamt (UBA):
Schweinegülle, Gärrückstände (Biogasgülle) und Kofermente:
 - organische Schadstoffe
(AOX, BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol), CKW, Benzo(a)pyren, PCB, HCB),
in ausgewählten Proben Lindan, LAS, NP/NP2(1)EO, Dioxine & Furane
- Landeslandwirtschaftskammer Niederösterreich, St. Pölten
 - Hygieneuntersuchungen in der Bundesanstalt für veterinärmedizinische Untersuchungen, Mödling.

3 ERGEBNISSE

Bei der Auswertung der Ergebnisse zeigte sich innerhalb der untersuchten Anlagen eine beachtliche Streuung der Messwerte in der Messperiode. Darüber hinaus wurden die Unterschiede zwischen den Anlagen bezüglich der eingesetzten Substrate ebenfalls deutlich, welche von der Vergärung von Festmist- und Speiseabfällen über der Anlage mit Wirtschaftsdünger und vielfältigem Gärsubstratmix bis zur überwiegenden Vergärung von Kofermenten reichte. Es wurde daher die Zusammenführung aller Messergebnisse zu einem statistischen Mittelwert unterlassen, um den damit verbundenen Informationsverlust zu vermeiden. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Substratgruppen und die Messergebnisse im Kontext mit bisherigen Messergebnissen und Vergleichsdaten aus anderen Untersuchungen gestellt.

3.1 Nährstoffe (PFUNDTNER Erwin)

3.1.1 Allgemeines

Bei der landwirtschaftlichen Verwertung der Gärsubstrate sind die Nährstoffgehalte der Gärückstände eine wichtige Kenngröße. Die Vergärung von Wirtschaftsdünger führt in der Regel zu einem Abbau der Trockenmasse und einer höheren Verfügbarkeit des Stickstoffes. Das Mitvergären von Kosubstraten verändert in Abhängigkeit der Mengenverhältnisse die Nährstoffgehalte. Durch die Übernahme von Kosubstraten werden zusätzliche Nährstoffe in den Betriebskreislauf importiert. Es ist daher von Bedeutung, ob und in welcher Weise der Düngeplan – in Kenntnis der geänderten Nährstoffbilanz und Nährstoffgehalte je m^3 – adaptiert werden muss.

3.1.2 Gehalte an Nährstoffen, Trockenmasse und organischer Substanz

In der Tab. 1 sind die Trockenmassegehalte, die Gehalte der Haupt- und bestimmter Spurennährstoffe bezogen auf die Trockenmasse, sowie der pH-Wert und das C/N-Verhältnis der unvergorenen Wirtschaftsdünger und der Gärückstände der untersuchten Biogasanlagen A, B und C zusammengefasst. Die Ergebnisse der Nährstoffanalysen der Wirtschaftsdünger stimmen im Wesentlichen mit den Ergebnissen neuerer Wirtschaftsdüngeranalysen überein (AICHBERGER 1995, HUMER 1994).

Im Vergleich zur Schweinegülle hat sich der Trockenmassegehalt des Gärückstandes der Anlage A durch den Gärprozess von 7,7 % auf 2,7 % verringert. Das entspricht einer Abbaurate von etwa 65 %. Bei den Anlagen B und C verminderten sich die Trockenmassegehalte der Wirtschaftsdünger durch die Vergärung um 56 % bzw. 44 % ebenfalls deutlich. Die geringere Abbaurate bei der Anlage B kann durch die geringere Verweildauer des Gärsubstrate im Fermenter erklärt werden (Tab. 1). Die Trockenmassereduktion kommt dadurch zustande, dass im Zuge des anaeroben Abbaus ein Teil der Kohlenstoffverbindungen der organischen Trockenmasse in Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) abgebaut wird.

Durch die deutliche Reduktion der Trockenmasse sind die untersuchten Gärückstände fließfähiger als die unvergorenen Wirtschaftsdünger. Bei Ausbringung in den Pflanzenbestand läuft das vergorene Substrat besser von den Pflanzen ab, und dadurch vermindert sich die Gefahr von Pflanzenverätzungen. In einem Feldversuch mit Silomais konnte KUNZ (1995) nach Kopfdüngung mit unvergorener Gülle und einem Gärückstand feststellen, dass bei der Variante Gärückstand die verätzte Blattfläche im Maisbestand geringer war als bei der Vari-

ante unvergorene Gülle. Weiters infiltriert der Gärrückstand aufgrund des geringeren Trockenmassegehalts leichter in den Boden, wodurch die Ammoniakverluste vermindert werden können (AMBERGER et al., 1987, KATZ u. FRICK, 1994).

Tab. 1: Trockenmasse- und Nährstoffgehalte, pH-Wert und C/N Verhältnis der unvergorenen Wirtschaftsdünger und der Gärrückstände der Biogasanlagen A, B und C.

n = 7	Wirtschaftsdünger			Gärrückstände		
	SG-A	SG-B	STM-C ¹⁾	A	B	C
Trockenmasse (% i.FM)	7,7	5,8	9,6	2,7	3,3	4,2
Stickstoff gesamt (N _{ges} % i.TM)	7,7	8,6	3,4	18,4	13,3	5,8
Stickstoff gesamt (N _{ges} % i.FM)	0,6	0,5	0,3	0,5	0,4	0,24
Ammonium Stickstoff (NH ₄ -N % i.TM)	4,7	7,8	0,6	13,2	8,2	2,6
Anteil des NH ₄ -N am N _{ges} (%)	61,2	61,4	17,6	71,9	61,6	44,8
Phosphat gesamt (% i.TM)	5,8	5,0	1,3	3,7	3,0	2,4
Kalium gesamt (% i.TM)	3,6	10,8	3,5	7,6	4,5	7,0
Natrium (% i.TM)	0,8	1,8	0,5	6,7	7,6	1,2
Chlorid (% i.TM)	0,5	1,8	0,3	3,0	4,8	0,8
C/N-Verhältnis	3,5	3,2	11,2	1,8	3,6	5,1
pH-Wert	7,9	7,9	6,7 ²⁾	8,2	7,3	8,1

FM ... Frischmasse

SG ... Schweinegülle

TM ... Trockenmasse

STM ... Rindermist aus dem Laufstall

¹⁾ ...mit Gärs substrat aus dem Fermenter verdünnt wegen der Pumpfähigkeit, n = 1

²⁾ ... mit Speiseresten

Die etwas niedrigeren Stickstoffkonzentrationen in der Frischmasse der Gärrückstände im Vergleich zu den Wirtschaftsdüngern lassen sich durch eine Verdünnung mit den Kosubstraten, die geringe N-Gehalte aufwiesen als die Wirtschaftsdünger, erklären. Durch den Trockenmasseabbau kommt es zu deutlichen Anstiegen der Stickstoffgesamtgehalte bezogen auf die Trockenmasse bei allen drei Anlagen (Tab. 1). Dies hat zur Folge, dass im Zuge einer Düngemaßnahme bei gleichbleibenden Stickstofffrachten mit vergorenen Substraten bedeutend weniger Trockenmasse ausgebracht wird als mit unvergorenen Wirtschaftsdünger (Tab. 9).

Beim anaeroben Abbau von organischer Substanz wird ein Teil des organisch gebundenen Stickstoffs in die Ammoniumform überführt. Aus diesem Grund erhöht sich der Anteil des Ammoniumstickstoffs am Gesamtstickstoff in der Anlage A von 61,2 % in der Schweinegülle auf 71,9 % (+10,7 %) im Gärrückstand. Der Ammoniumanteil im Gärrückstand der Anlage C ist gegenüber dem Ammoniumanteil des Rindermistes um 27,2 % sehr deutlich gestiegen. In der Biogasanlage B konnte kein wesentlicher Anstieg des Ammoniumgehaltes (+0,2 %) festgestellt werden (Tab. 1). Diese geringfügige Steigerung des Ammoniumanteils am Gesamtstickstoffgehalt ist mit der relativ kurzen Verweilzeit des Gärs substrates im Fermenter der Anlage A erklärbar. Durch den Anstieg des Ammoniumstickstoffgehaltes ist zu erwarten, dass die Pflanzenverfügbarkeit des Stickstoffes verbessert wird. Andererseits steigt dadurch die Gefahr der gasförmigen N-Verluste bei der Ausbringung und Lagerung. Bei einem Vergleich der Düngewirkung von Gärrückständen aus der Kofermentation mit unvergorenen Wirtschaftsdüngern zeigte sich im Feldversuch mit Körnermais eine tendenziell höhere Ertragswirksamkeit der Gärrückstände bei gleichem Gesamtstickstoffniveau (PFUNDTNER, 2000).

Die relativ hohen Phosphatgehalte der Schweinegülle der Betriebe A und B werden durch die Beimengung größerer Mengen an phosphatarmen Fettabfällen und Speiseresten (Tab. 3) verdünnt. Der P_2O_5 -Gehalt des Gärrückstandes der Anlage A ist um 36 % und jener der Anlage B um 40 % niedriger als der P_2O_5 Gehalt der Schweinegülle (Tab. 1). Der Anstieg des P_2O_5 Gehaltes in der Trockenmasse des Gärrückstands der Anlage C – im Vergleich zum Rinderfestmist – ist durch die Trockenmassereduktion im Zuge der Vergärung erklärbar.

Die Natrium- und Chloridgehalte der Gärrückstände steigen durch den Natriumchloridgehalt (Kochsalz) der Speisereste, die gemeinsam mit den Wirtschaftsdüngern vergoren werden, deutlich an. Der Anstieg des Natriumgehaltes in den Gärrückständen macht bei der Anlage A über 800 %, bei der Anlage B 420 % und bei der Anlage C, in der deutlich weniger Speisereste als in den Anlagen A und B mitvergoren werden, immerhin noch 240 % aus.

Die Chloridgehalte in den Gärrückständen stiegen im Vergleich zu jenen in den Wirtschaftsdüngern bei der Anlage A um etwa 600 % und bei den Anlagen B und C um ca. 250 % (Tab. 1).

Durch den Abbau der Kohlenstoffverbindung engte sich das Kohlenstoff/Stickstoffverhältnis von den Gärrückständen der Anlagen A und C von 3,5 auf 1,8 bzw. 11,2 auf 5,1 ein. Dieser Effekt konnte in der Anlage B nicht festgestellt werden.

Durch die Fermentation stieg der pH-Wert des Gärrückstandes A und C an. Bei der Anlage B konnte dieser Effekt aufgrund der wesentlich niedrigeren Verweildauer des Gärsubstrates im Fermenter nicht festgestellt werden. Die pH-Wert Verschiebung in den alkalischen Bereich bewirkt eine Erhöhung des Ammoniakanteils zu Lasten des Ammoniumanteils im Gärrückstand (siehe auch GRONAUER A., 1993). Durch den höheren Anteil an Ammoniak steigt die Gefahr der gasförmigen N-Verluste bei der Ausbringung und Lagerung.

Durch die Gefahr der höheren Ammoniakverluste bei der Ausbringung der Gärrückstände müssen die für die Gülleausbringung allgemein gültigen Empfehlungen (BMLFUW 2001b) besonders sorgfältig beachtet werden, denn Stickstoffverluste bedeuten nicht nur eine Umweltbelastung, sondern auch einen wirtschaftlichen Verlust für den Landwirt.

Für die Gewährleistung einer pflanzen- und umweltgerechten Düngung ist es erforderlich, dass der Landwirt und Biogasanlagenbetreiber die Nährstoffzusammensetzung seines veränderten Wirtschaftsdüngers kennt und bei der Ausbringung entsprechend reagiert. Der Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz empfiehlt in der Broschüre „Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückstände im Acker- und Grünland“ (BMLFUW 2001b) die Gärsubstrate einmal im Jahr auf die Hauptnährstoffe zu untersuchen.

In der Tab. 2 sind die Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger und Gärrückstände bei einer praxisüblichen Ausbringungsmenge von 30 m^3 je ha dargestellt. Durch den Zusatz von Kosubstraten sind die Stickstoffgesamt-, Phosphor- und Kaliumgehalte der Wirtschaftsdünger zum Teil erheblich reduziert worden. Andererseits stiegen durch die Mitvergärung von Speiseresten die Natrium- und Chloridgehalte an. Die gemessenen Natrium- und Chloridgehalte stellen pflanzenbaulich kein Problem dar. ORLOVIUS (1999) berichtet, dass im Rahmen eines Feldversuches der Zuckerertrag bei Zuckerrübe mit steigender Natriumdüngung zunahm.

Tab. 3 zeigt die Trockenmasse- und Nährstoffgehalte der Fettabfälle der Betriebe A und B, sowie der Speisereste der Betriebe A, B und C bezogen auf die Frisch- und Trockenmasse. Die gemessenen Nährstoff- und Trockenmassegehalte decken sich weitgehend mit den Untersuchungsergebnissen verschiedener Kosubstrate von KUHN (1995).

Tab. 2: Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger bzw. Gärrückstände in den Anlagen A, B und C, umgerechnet in kg/30 m³ FM.

n = 7 kg/30m ³ FM	Wirtschaftsdünger			Gärrückstände		
	SG-A	SG-B	STM-C ¹⁾	A	B	C
Stickstoff gesamt (N _{ges})	180	150	98	150	132	73
Ammonium Stickstoff (NH ₄ -N)	110	92	17	108	81	33
Anteil des NH ₄ -N am N _{ges} (%)	61	61	17	72	62	45
Phosphat gesamt	134	87	37	30	30	30
Kalium gesamt	83	188	101	62	46	88
Natrium	18	31	14	54	75	15
Chlorid	11	31	8	24	47	10

SG-A bzw. SG-B ... Schweinegülle der Anlagen A und B

STM-C Rindermist aus dem Laufstall der Anlage C

¹⁾ ... mit Gärsubstrat aus dem Fermenter verdünnt wegen der Pumpfähigkeit

Tab. 3: Nährstoffgehalte der Kosubstrate in den Anlagen A, B und C in Prozent.

n = 4	Anlage A			Anlage B		Anlage C
	Speise- reste	Fett- abfälle	Flotat- fett ¹⁾	Fett- abfälle	Speise- reste	Speise- reste
% FM						
Trockenmasse	17,72	32,34	9,00	11,62	16,27	12,36
N gesamt	0,62	0,42	0,53	0,28	0,54	0,37
P ₂ O ₅ gesamt	n.a.	0,13	n.a.	0,15	0,25	0,34
K ₂ O gesamt	n.a.	0,07	n.a.	0,10	0,19	0,16
Natrium	n.a.	0,14	n.a.	0,04	0,23	0,12
Chlorid	n.a.	0,13	n.a.	0,10	0,30	1,08
% TM						
N gesamt	3,49	1,44	4,52	2,72	3,34	3,21
P ₂ O ₅ gesamt	n.a.	0,50	n.a.	1,02	1,51	1,26
K ₂ O gesamt	n.a.	0,27	n.a.	0,79	1,17	1,84
Natrium	n.a.	0,66	n.a.	0,59	1,43	0,48
Chlorid	n.a.	0,50	n.a.	0,81	1,82	2,29

FM ... Frischmasse

TM ... Trockenmasse

n.a. ... nicht analysiert

¹⁾ ... n = 1

3.1.3 Nährstoffimporte in den Betriebskreislauf durch die Kosubstrate

Durch die Kosubstrate werden Nährstoffe in den landwirtschaftlichen Betriebskreislauf eingetragen. Um den Gärrückstand langfristig auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen des Betriebes ausbringen zu können, muss dieser Nährstoffeintrag zusätzlich zum Nährstoffanfall aus der Tierhaltung berücksichtigt werden.

Die bewilligungsfreie Obergrenze für die Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln beträgt laut Wasserrechtsgesetz 1959 idF. BGBl 1999/155 (§ 32) für Ackerland 175 kg Reinstickstoff/ha und Jahr bzw. 210 kg Reinstickstoff/ha und Jahr auf Dauergrünland und stickstoffzehrenden Fruchtfolgen. Diese Obergrenze entspricht einem Tierbestand von 3,5 DGVE (= Dunggroßvieheinheiten)/ha. Eine Dunggroßvieheinheit entspricht einem Stickstoffanfall von 60 kg und Jahr. Darüber hinaus sieht das Aktionsprogramm (nationale Umsetzung der „EU Nitratrichtlinie 91/676/EEC“) ab dem 18.12.2002 eine Höchstmenge von 170 kg/ha/Jahr aus Dung vor.

Durch die zum Teil stickstoffreichen, organischen Abfälle wie zum Beispiel Flotatfett aus dem Schlachthof oder Speisereste (Tab. 3), die gemeinsam mit den Wirtschaftsdüngern vergärt werden, gelangen neben anderen Nährstoffen beträchtliche Mengen an Stickstoff in den Betriebskreislauf, die in der Düngungsplanung berücksichtigt werden müssen.

In der Tab. 4 ist der Stickstoffanfall durch die Wirtschaftsdünger und der Stickstoffimport durch die Kosubstrate in Dunggroßvieheinheiten/ha und Jahr dargestellt. Durch die in den Betriebskreislauf importierten Kosubstrate wird die Stickstoffbilanz des Betriebes A um das Äquivalent von 2,3 DGVE/ha und Jahr (=138 kg Stickstoff) „belastet“. Zusammen mit dem Stickstoffanfall aus der Tierhaltung wird beim Betrieb A der nach dem Wasserrecht bewilligungsfreie Tierbestand pro Hektar und Jahr von 3,5 DGVE/ha und Jahr geringfügig überschritten. Als Folge dieser Überbilanzierung gibt der Betriebsleiter ein Viertel der anfallenden Gärrückstände an benachbarte viehlose Betriebe ab.

Der Stickstoffimport durch die Speisereste und die Fettabfälle entspricht beim Betrieb B einem Äquivalent von 2,0 DGVE/ha (=120 kg Stickstoff) und Jahr. Mit dem Stickstoff aus der Tierhaltung fallen im Betrieb B insgesamt 2,4 DGVE/ha und Jahr an. Beim Betrieb C entspricht die über die Speisereste importierte Stickstoffmenge einem Äquivalent von 0,5 DGVE/ha und Jahr.

Tab. 4: Stickstoffimport durch Wirtschaftsdünger und Kosubstrate in den Nährstoffkreislauf der landwirtschaftlichen Betriebe A, B, C, in DGVE/ha.

	Wirtschaftsdünger	Speisereste	Fettabfälle	Summe
Betrieb A	1,3	1,1	1,2	3,6
Betrieb B	0,4	1,5	0,5	2,4
Betrieb C	1,2	0,5	–	1,7

DGVE ... Dunggroßvieheinheit (1 DGVE entspricht einem Stickstoffanfall von 60 kg/ha und Jahr)

3.2 Schwermetalle (PFUNDTNER Erwin)

3.2.1 Allgemeines

Während Schwermetalle wie Kupfer und Zink als Spurenelemente zur Ernährung von Pflanze, Tier und Mensch gehören, sind andere ausschließlich als Schadstoffe zu bezeichnen. Schwermetalle werden im Boden akkumuliert und reduzieren dabei die Filter- und Pufferfähigkeit von Böden. Üblicherweise sind die meisten Schwermetalle im Boden bei neutralem pH-Wert wenig pflanzenverfügbar und verlagerbar. In Abhängigkeit von der Menge und der Art der Metalle sowie der Bodeneigenschaften verbleibt jedoch ein von Gesamtmenge und der Bindungsart abhängiger Anteil in der Bodenlösung. Daher nehmen mit steigender Belastung der Böden meist die Konzentrationen der gelösten Metallbindungsformen zu. Erhöhte Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung können zu Anreicherungen in den Pflanzen und durch Sickerwasseraustrag zu einer Belastung des Grundwassers führen.

Die Landwirtschaft als Lebensmittelproduzent ist direkt davon betroffen und muss Vorkehrungen treffen, um auch in Zukunft den hohen Qualitätsstandard bei Lebensmitteln halten zu können.

Neben den erwünschten Nährstoffen können die Wirtschaftsdünger und organische Abfälle auch Schwermetalle enthalten. Schwermetalle unterliegen keinem biologischen Abbau, weshalb sie sich durch die Fermentation in der Biogasgülle und im Gärrückstand (bezogen auf die Trockenmasse) konzentrieren. Durch die landwirtschaftliche Verwertung der Gärsubstrate gelangen die Schwermetalle wieder in das System Boden/Pflanze und somit in den Nahrungskreislauf.

Im Rahmen dieses gemeinsamen Projektes wurden insbesondere solche Schwermetalle zur Untersuchung ausgewählt, die im Hinblick auf die Anwendungsempfehlung des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz „Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland“ (BMLFUW, 2001b), Kompostverordnung (2001a) und der NÖ Klärschlammverordnung immer wieder genannt werden. Es wurden die Schwermetalle Zink (Zn), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr) und Nickel (Ni) der Wirtschaftsdünger, Gärrückstände und Kosubstrate untersucht.

Zink ist ein für Pflanzen, Tiere und Menschen essentielles Spurenelement. Im pflanzlichen Stoffwechsel ist Zink an der Chlorophyllbildung, als Enzymaktivator, am Eiweißabbau und bei der Wuchsstoffbildung beteiligt. Zink gehört neben Cadmium und Nickel zu den relativ mobilen Schwermetallen im Boden. Ab einem pH-Wert < 6 im Boden steigt die Verfügbarkeit stark an. Bei Zinkgehalten von 300 mg/kg Boden und pH-Werten < 6 sind Pflanzenschäden zu erwarten. Zink gelangt ebenso wie Kupfer durch Korrosion von Wasser- und Abwasserleitungen über die Abwässer in die Umwelt. Weiters wird Zink durch den Kfz-Verkehr und den Einsatz fossiler Brennstoffe an die Umwelt abgegeben (UBA, 1997).

Kupfer ist wie Zink für die Pflanze ein notwendiges Spurenelement und wirkt im Rahmen des Stoffwechsels als Komplexbildner und Enzymbestandteil, allerdings muss auch die Pflanzentoxizität bei niederen pH-Werten im Boden beachtet werden. Kupfer kann wie bereits erwähnt über korrodierte Wasser- und Abwasserleitungen, sowie durch Pflanzenschutzmittel in die Umwelt gelangen. Kupfer ist im Boden nicht so mobil wie Zink.

Blei ist sowohl für Pflanzen als auch für Tier und Mensch toxisch. Aufgrund der geringen Löslichkeit und Verfügbarkeit von Blei im Boden ist mit einer Anreicherung in den Pflanzen kaum zu rechnen. Kommt es infolge sehr hoher Gehalte im Boden zu einer Bleiaufnahme durch die Pflanzen, führt dies zu ausgeprägten Wachstumsstörungen der Pflanzen. Hauptemissionsquellen sind erzverhüttende und die bleiverarbeitende Industrie, sowie die Verbrennung von Kohle und der Reifen- und Asphaltabrieb.

Cadmium ist ein für Pflanzen, Tiere und Menschen nicht essentielles Element. Für Mensch und Tier wirkt Cadmium bereits in geringen Dosen toxisch. Cadmium ist bei pH-Werten < 6 im Boden relativ leicht mobil und kann sich in den Pflanzen anreichern. In der Pflanze führt Cadmium zur Festlegung wichtiger Spurenelemente wie Eisen, Mangan, Kupfer und Zink und bewirkt Chlorose und Welkeerscheinungen.

Für Pflanzen stellt **Chrom** ein entbehrliches Element dar. Für Mensch und Tier ist Chrom hingegen ein essentielles Spurenelement. Aus human- und phytotoxischer Sicht ist der Chromeintrag allerdings zu begrenzen. Chrom kommt bei der industriellen Produktion häufig zum Einsatz, wie etwa bei der metallurgischen Industrie, sowie in der Baustoff-, Farben-, Lack-, Glas-, Keramik- und Lederindustrie. Neben diesen möglichen Emissionsquellen gelangt Chrom durch Müllverbrennung und Abwasser in die Umwelt.

Nickel stellt für Pflanzen kein essentielles Spurenelement dar und auch für den Menschen konnte bislang der Bedarf an Nickel nicht nachgewiesen werden. Als Emittenten für Nickel gelten die Galvanik- und Elektroindustrie. Weiters gelangt Nickel über Abwässer, Kfz-Verkehr und Müllverbrennung in die Umwelt.

3.2.2 Schwermetallgehalte

In der Tab. 5 sind die mittleren Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger (Schweinegülle der Anlagen A und B und Stallmist der Anlage C) sowie die mittleren Schwermetallgehalte der Gärrückstände der drei Betriebe bezogen auf Trockenmasse und Frischmasse dargestellt.

Tab. 5: Schwermetallgehalte der unvergorenen Wirtschaftsdünger und Gärrückstände in den Anlagen A, B und C.

n=7	Wirtschaftsdünger			Gärrückstände		
	SG-A	SG-B	STM-C	A	B	C
mg/kg FM						
Kupfer (Cu)	21,95	7,52	2,32	7,43	1,70	1,84
Zink (Zn)	100,10	28,28	10,90	32,49	10,57	12,25
Blei (Pb)	0,39	0,30	0,24	0,49	0,26	0,31
Cadmium (Cd)	0,03	0,02	0,009	0,01	0,01	0,014
Chrom (Cr)	1,10	0,57	1,28	0,56	0,42	0,39
Nickel (Ni)	1,12	0,57	0,58	0,45	0,44	0,24
Trockenmasse (%)	7,7	5,8	9,6	2,7	3,3	4,2
mg/kg TM						
Kupfer (Cu)	267,0	175,3	24,1	264,0	49,5	44,0
Zink (Zn)	1.194,0	636,8	113,4	1.177,0	349,3	292,9
Blei (Pb)	5,0	6,9	2,5	18,0	8,2	7,3
Cadmium (Cd)	0,4	0,4	0,09	0,4	0,3	0,3
Chrom (Cr)	14	12,4	13,3	20	12,8	9,2
Nickel (Ni)	14	13,7	6,1	17	13,3	5,8

SG ... Schweinegülle

FM ... Frischmasse

TM ... Trockenmasse

STM ... Rindermist aus dem Laufstall, mit Gärsubstrat aus dem Fermenter verdünnt

Tab. 6 zeigt die durchschnittlichen Schwermetallkonzentrationen der Kosubstrate bezogen auf die Frisch- und Trockenmasse.

Die Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger der untersuchten Betriebe decken sich mit den Ergebnissen aktueller Schwermetallanalysen von Wirtschaftsdüngern (AICHBERGER, 1995, HUMER, 1994).

Die Schwermetallanalysen ergaben bei den Gärrückständen der Betriebe A, B und C für Blei höhere Werte, bezogen auf die Trockenmasse, als bei den unvergorenen Wirtschaftsdüngern (Tab. 5). Die Bleieinträge erfolgten bei den Anlagen A und B über die Fettabfälle, die deutlich höhere Bleigehalte aufwiesen als die Wirtschaftsdünger (Tab. 6). Der gegenüber dem Stallmist erhöhte Bleigehalt im Gärrückstand der Anlage C dürften über die Hausabwässer bzw. den Abfluss von den Hofflächen erfolgt sein, da die Analysen der untersuchten Speisereste keine auffälligen Belastungen mit Blei ergaben.

Bei Kupfer und Zink sind die Gehalte der Gärsubstrate bei den Betrieben A und B stark von jenen der Wirtschaftsdünger, die zum Teil sehr hohe Werte aufweisen, abhängig. Der extrem hohe Zinkwert der Schweinegülle A (1.197 mg/kg TM) stammt mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Zinkzusatz im Ferkelfutter, das von den Tieren zum Grossteil wieder ausgeschieden wird. Die Gehaltswerte für Chrom und Nickel bei den Gärrückständen liegen im Bereich der Wirtschaftsdünger (Tab. 5). Die höheren Zink- (+260 %), Kupfer- (+180 %) und Cadmiumgehalte (+333 %) in der Trockenmasse des vergorenen Substrates der Biogasanlage C im Vergleich zum Stallmist stammen mit hoher Wahrscheinlichkeit aus den Grauwässern und Hofabläufen, da über die Speisereste nur geringe Mengen an Kupfer, Zink und Cadmium (Tab. 6) in das Gärsubstrat gelangten. Verschiedene Autoren (ZESSNER, 1999; Amt der NÖ Landesregierung, 1995 und FIEDLER et al. 1993) berichten über Zink-, Kupfer-, Blei- und Cadmiumverunreinigungen in Grauwässern und Hofflächenablauf.

Tab. 6: Schwermetallgehalte der Kosubstrate in den Anlagen A, B und C.

n = 4	Anlage A Fettabfälle	Anlage B		Anlage C Speisereste
		Fettabfälle	Speisereste	
Trockenmasse (%)	32,34	12,47	16,3	12,36
mg/kg FM				
Kupfer (Cu)	7,16	2,12	1,30	1,27
Zink (Zn)	36,07	16,22	4,98	7,82
Blei (Pb)	3,73	0,26	0,35	0,20
Cadmium (Cd)	0,05	0,01	0,01	0,01
Chrom (Cr)	4,91	0,59	0,41	0,38
Nickel (Ni)	4,82	0,41	0,11	0,20
mg/kg TM				
Kupfer (Cu)	21,93	31,42	7,97	12,42
Zink (Zn)	107,33	301,17	30,60	71,95
Blei (Pb)	13,97	3,40	2,12	1,80
Cadmium (Cd)	0,28	0,09	0,03	0,08
Chrom (Cr)	16,87	7,30	2,50	3,93
Nickel (Ni)	18,27	6,48	0,69	1,96

FM ... Frischmasse

TM ... Trockenmasse

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei allen drei Anlagen die durchschnittlichen Bleiwerte in der Trockenmasse der Gärrückstände etwas höher lagen als bei den Wirtschaftsdüngern. Diese Erhöhung dürfte bei den Anlagen A und B auf den Bleieintrag durch die Fettabscheider zurückzuführen sein. Bei den Gärrückstandsproben der Anlage C waren neben den Bleigehalten noch die Gehalte der Schwermetalle Kupfer, Zink und Cadmium höher als jene des Stallmistes. Die Schwermetalleinträge dürften bei der Anlage C über die eingeleiteten Haus- und Hofabwässer erfolgt sein.

Die Fettabfälle wiesen generell höhere Schwermetallgehalte auf als die Speisereste. Für die landwirtschaftliche Verwertung von Gärrückständen empfiehlt der Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz in seinen Richtlinien für den sachgerechten Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland (BMLFUW, 2001b), die Schwermetallgrenzwerte der Düngemittelverordnung (Tab. 7) einzuhalten. Die durchschnittlichen Schwermetallgehalte der untersuchten Gärrückstände (Tab. 5) blieben bei den untersuchten Elementen Blei, Cadmium, Chrom und Nickel deutlich unter den empfohlenen Grenzwerten.

Tab. 7: Grenzwerte für Schwermetallkonzentrationen für Biogasgülle/Gärrückstand in mg/kg TM (gemäß DMVO für Düngemittel mit mehr als 20 % OS i. d. TM)

	mg/kg TM
Blei	150
Cadmium	1
Chrom	100
Kupfer ¹⁾	–
Nickel	60
Quecksilber	1
Zink ¹⁾	–

¹⁾ ... Spuren-Nährstoffgehalt, soll bei der Bemessung der Ausbringungsmenge berücksichtigt werden

3.2.3 Schwermetallfrachten durch die Gärrückstände und Wirtschaftsdünger

Der Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (BMLFUW, 2001b) empfiehlt bei einer landwirtschaftlichen Verwertung von Gärrückständen die Einhaltung der Grenzwerte für die Schwermetallfrachten (Tab. 8) der Düngemittelverordnung 1994 (BMLF, 1994). Diese „Frachtenregelung“ soll die Eintragungsmengen von Schwermetallen – angegeben in g/ha in einem Zeitraum von zwei Jahren – in die landwirtschaftlich genutzten Böden beschränken, um eine irreversible Anreicherung von Schwermetallen zu verhindern.

In der Tab. 9 sind die Schwermetallfrachten (g/ha) und die Trockenmassenfrachten (in t/ha) der Wirtschaftsdünger und Gärrückstände der Anlagen A, B und C bzw. eines Kompostes bei einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 150 kg Gesamt-N/ha dargestellt.

Durch den Abbau der organischen Trockenmasse im Zuge der Vergärung (siehe 3.1.2) ist die ausgebrachte Menge an Trockenmasse bei gleicher Gesamtstickstoffmenge bei den Gärrückständen der Anlagen A, B und C in Vergleich zu den unvergorenen Wirtschaftsdüngern niedriger (Tab. 9). Besonders bei den Gärrückständen der Anlagen A und C ist dieser Unterschied sehr deutlich ausgeprägt. Mit einer Kompostdüngung wird bei gleicher Stickstofffracht die 2–4-fache Menge an Trockenmasse von den Wirtschaftsdüngern und die 4–12-fache Menge an Trockenmasse von den Gärrückständen ausgebracht.

Tab. 8: Grenzwerte der Schwermetallfrachten in g/ha in einem Zeitraum von 2 Jahren nach der Düngemittelverordnung 1994.

Element	bis 21.12.2004		ab 21.12.2004	
	Ackerland	Grünland, Gemüse und Obstbau	Ackerland	Grünland, Gemüse und Obstbau
	g/ha in einem Zeitraum von zwei Jahren			
Blei	1.250	625	625	315
Cadmium	20	10	10	5
Chrom	1.250	625	625	315
Kupfer	1.250	625	625	315
Nickel	750	375	375	190
Quecksilber	20	10	10	5
Zink	5.000	2.500	2.500	1.125

Tab. 9: Vergleich der Frisch- und Trockenmassefrachten in t/ha und der Schwermetallfrachten durch die Wirtschaftsdünger, die Gärrückstände und von Kompost bei einer Düngergabe von 150 kg/ha Gesamtstickstoff sowie Vergleichsdaten von Handelsdünger, Klärschlamm und Deposition, in g/ha.

	FM t/ha	TM t/ha	Kupfer g/ha	Zink g/ha	Blei g/ha	Cadmium g/ha	Chrom g/ha	Nickel g/ha
Schweinegülle-A	25,0	1,92	513,9	2.298,4	9,6	0,7	26,9	26,9
Gärrückstand-A	30,0	0,81	213,8	953,4	14,6	0,3	16,2	13,8
Schweinegülle-B	30,0	1,74	305,0	1.108,0	12,0	0,7	21,6	23,8
Gärrückstand-B	37,5	1,24	61,2	432,2	10,1	0,4	15,8	16,4
Stallmist-C	50,0	4,80	115,7	554,3	12,0	0,4	63,8	29,3
Gärrückstand-C	62,5	2,62	115,5	768,8	19,2	0,7	24,1	15,2
Kompost ¹⁾	13,4	9,37	581,2	2.146,9	431,2	4,7	300,0	225,0
Handelsdünger ²⁾	–		6,8	45,0	1,9	2,0	–	5,5
Klärschlamm ³⁾		2,50	475,0	2.325,0	143,0	3,0	108,0	60,0
Deposition aus der Luft in g/ha u. Jahr ⁴⁾		–	126	346,0	32,7	2,1	14,9	46,2

FM ... Frischmasse

TM ... Trockenmasse

¹⁾ ... Durchschnittswerte von 198 Analysen aus NÖ (BALA, 2000)

²⁾ ... 210 kg Reinnährstoffe/ha (Σ 103 kg N + 22 kg P + 85 kg K) nach AICHBERGER 1997

³⁾ ... Zulässige Klärschlammgabe von 2,5 t TM/ha und Jahr (NÖ Klärschlammverordnung 1994), Schwermetallgehalte nach AICHBERGER (1999)

⁴⁾ ... nach BÖHM (2001)

Mit den Schweinegülle der Betriebe A und B werden dem Boden deutlich mehr Kupfer, Zink, Cadmium, Chrom und Nickel zugeführt als mit den Gärrückständen. Das liegt einerseits an den wesentlich höheren Trockenmassefrachten, die mit der Gülle bei gleicher Stickstoffmenge ausgebracht werden, und andererseits an den höheren Gehaltswerten bei Kupfer und Zink (Tab. 5). Durch den erhöhten Bleigehalt des Gärrückstandes A ist die Bleifracht um 5 g/ha und Jahr höher als jene mit der unvergorenen Schweinegülle.

Mit dem Gärrückstand C werden deutlich höhere Zink-, Blei- und Cadmiumfrachten ausgebracht als mit dem unbehandelten Stallmist des Betriebes.

Bei einer durchschnittlichen Aufwandmenge (150 kg Stickstoff/ha) sind die Kupfer- und Zinkeinträge durch die Gärrückstände bei allen drei Betrieben niedriger als die Einträge durch Kompost. Die durchschnittlichen Frachten an Blei, Cadmium, Chrom und Nickel sind durch Wirtschaftsdünger und den Gärrückständen in Relation zu Kompost deutlich geringer (Tab. 9).

Abweichend von der 150 kg N-Aufwandmenge wurde die angeführte Klärschlammgabe mit durchschnittlichen Schwermetallgehalten (AICHBERGER, 1997) und entsprechend der NÖ Klärschlammverordnung (2,5 t TM/ha/Jahr) ermittelt. Die Schwermetallfrachten sind merklich höher als durch die Gärrückstände.

Beachtenswert ist, dass die jährlichen Einträge von Blei, Cadmium und Nickel je ha aus der Luft höher sind als die Schwermetallfrachten durch die untersuchten Wirtschaftsdünger und Gärrückstände.

Bei der angeführten Aufwandmenge der Gärrückstände aus den Anlagen A, B und C werden die Grenzwerte der Schwermetallfrachtenregelung nach der Düngemittelverordnung 1994 (Tab. 8) nicht erreicht.

3.3 Organische Schadstoffe (ZETHNER Gerhard)

Organische Schadstoffe können in beinahe allen Medien gemessen werden, sind allerdings höhere Konzentrationen in einzelnen Stoffströmen feststellbar, ist eine ökologische Bewertung durchzuführen. Führt diese Belastung in weiterer Folge zu einer erhöhten Fracht in die landwirtschaftlichen Böden, so ist dieser Eintrag in Vergleich zu Einträgen anderer Quellen, zu bestehenden Grenz- bzw. Richtwerten und im Hinblick auf einen vorsorgenden Bodenschutz zu bewerten. In der Folge werden die vorgefundenen Konzentrationen in den Gärrückständen im Vergleich zu früheren Messergebnissen aus dem Jahr 1998 bewertet und ebenso mit Durchschnittswerten aus einer Klärschlammuntersuchung des UBA (1997) verglichen.

Für die Berechnung der durchschnittlichen Schadstofffracht wurde – abhängig vom Nährstoffgehalt des Gärrückstands – eine jährliche Stickstoffgabe von 150 kg N pro ha aus der Gärrückstand angenommen. Die Tab. 10 zeigt die Massenverhältnisse, die sich durch die unterschiedlichen Stickstoffgehalte ergeben, in Abhängigkeit vom Substratmix in den einzelnen Anlagen und den unterschiedlichen Kosubstraten.

Tab. 10: Übersicht über die Frischmasse- und Trockenmassenmengen bei einer Stickstoffgabe von 150 kg N je Hektar, in Abhängigkeit vom Stoffsubstrat und der jeweiligen Anlage A, B und C, abgeleitet aus der Tab. 1 und der Tab. 3.

Einheit	Wirtschaftsdünger		Fettabfälle		Speisereste		Gärrückstände	
	t TM ¹⁾	t FM ²⁾	t TM	t FM	t TM	t FM	t TM	t FM
Anlage A	1,92	25	10,4	68	4,3	24,2	0,82	30
Anlage B	1,74	30	5,5	53,6	4,5	27,8	1,13	37,5
Anlage C	4,41	50	-	-	4,7	40,6	2,59	62,5

¹⁾ TM ... Trockenmasse

²⁾ FM ... Frischmasse

Bei den Untersuchungen aus dem Jahr 1998 wird eine ebensolche Menge unterstellt. Die damit errechnete, durchschnittlich ausgebrachte Schadstoffmenge wurde in den folgenden Tabellen als „Fracht“ angeführt. Um den potentiellen Eintrag aus den Kosubstraten zu charak-

terisieren, wird eine ebensolche Düngegabe – etwa nur mit Fettabfällen – simuliert. Davon kann abgelesen werden, welche Schadstoffmenge im Verhältnis zum Stickstoffgehalt des Substrates zu beobachten war.

3.3.1 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 Clorid.

In Tab. 11 werden die vorgefundenen Verhältnisse im Vergleich zu früheren Messergebnissen dargestellt und ebenso mit Durchschnittswerten aus einer Klärschlammuntersuchung des UBA in Beziehung gesetzt. Bei der AOX-Frachtberechnung ergeben sich im Vergleich zu früheren Messwerten verbesserte Verhältnisse, ebenso im Vergleich zu der durchschnittlichen Klärschlammfracht. In Abb. 4 wird der Verlauf der Schadstoffgehalte in der Anlage A dargestellt.

Die Verläufe der Schadstoffmengen in den Eingangsmaterialien der ersten 3 Wochen und danach führen zu den Schadstoffmengen in der Gärrückstand, die in den Wochen 4–10 anfällt. Für die Ermittlung der Kurven wurden die gestreuten Messpunkte in den jeweiligen Materialströmen gleitend gemittelt und mit früheren Ergebnissen auf Plausibilität geprüft. Die Messergebnisse der Gärrückstände wurden mit Hilfe der gleitenden Mittel der Konzentrationen berechnet und einerseits die Werte des gesamten Betrachtungszeitraums (Gärrückstand 10) sowie andererseits die Werte in einem verkürzten Zeitfenster von 3 Wochen (Gärrückstand 3) ermittelt. Der Unterschied zwischen den Methoden stellte sich als gering heraus, sodass von einer gleichmäßigen Belastung der Gärrückstände ausgegangen werden kann.

Tab. 11: Übersicht über die **AOX-Analysergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in Vergleichssubstraten, in mg/kg TM Iyo.**

	UBA (2000)				UBA (1998) GR ⁴⁾	Klärschlamm UBA (1997)	Grenzwert nach NÖ KSVO
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾			
n =	4/3/1	1/1/–	1/2/3	5/4/4	1	16	
Meß- bzw. Mittelwert A	39	292	127	112			
Meß- bzw. Mittelwert B	102,9	220,8	41,3	91,6	160	172	500
Meß- bzw. Mittelwert C	41	–	37,5	38,5			
Min.–Max. A	30–50	–	–	73–153			
Min.–Max. B	30–170	–	41–42	45–141	–	65–460	
Min.–Max. C	–	–	27–49	32–42			
Ø AOX-Fracht in g/ha/a Anlage A	75	3.037	546	92			
Ø AOX-Fracht in g/ha/a Anlage B	179	1.214	186	104	230	258	
Ø AOX-Fracht in g/ha/a Anlage C	181	–	176	100			

¹⁾ WD ... Wirtschaftsdünger

³⁾ FF/M ... Flotatfett bzw. Abfallmischungen
TM Iyo ... Trockenmasse gefriergetrocknet

²⁾ FA ... Fettabscheider

⁴⁾ GR ... Gärrückstand

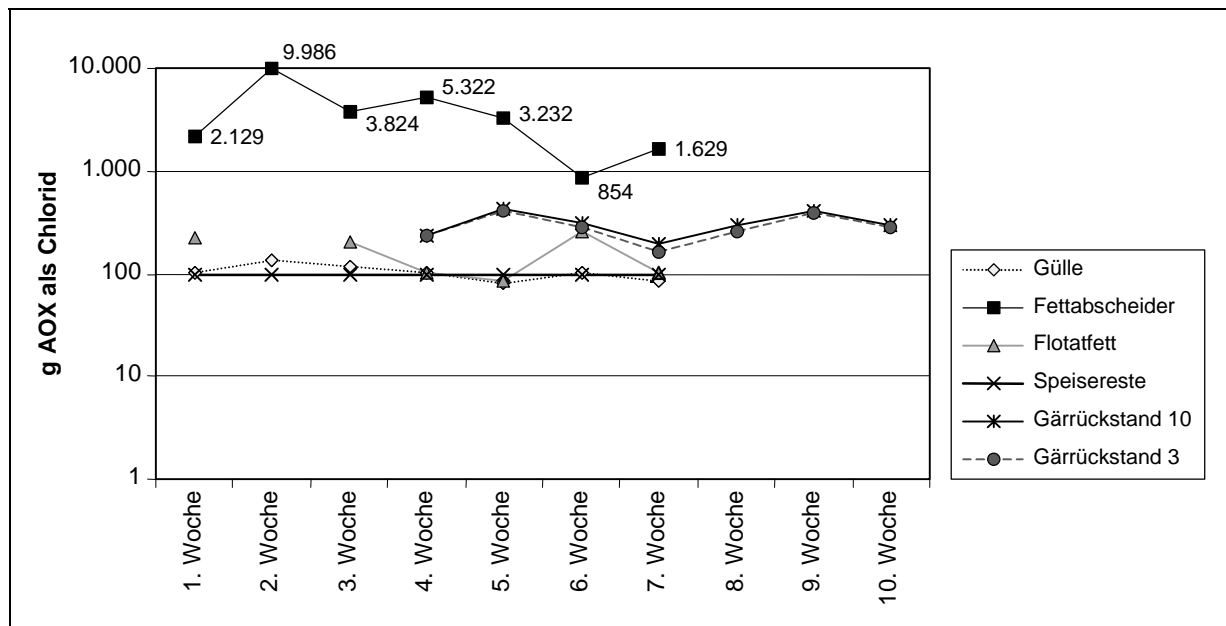


Abb. 4: AOX-Eintrag und Austrag in der Anlage A – wochenweise und je Stoffgruppe (Menge x Konzentration).

Beim Parameter AOX wird deutlich, dass das Kosubstrat Fettabscheider einen besonders hohen Beitrag zum AOX-Gehalt im Gärrückstand – mit einem Zeitverzug von 3 Wochen – liefert. Feststellbar ist, dass allerdings auch die anderen Eingangsmaterialien eine Belastung aufweisen.

3.3.2 PCB (Polychlorierte Biphenyle)

Diese Verbindungen werden zwar bei technischen Anwendungen nicht mehr eingesetzt, allerdings führt der sorglose Umgang in der Vergangenheit und die Stabilität von PCBs dazu, dass sie heute noch immer in Umweltmedien zu finden sind. Sie zählen zu den semivolatilen und lipophilen Kohlenwasserstoffen ($\log K_{OW} \gg 3$; $K_{AW} 10^{-5}$ bis 10^{-3}). In der Regel ist bei dieser Stoffgruppe nur eine geringe Verlagerung aus dem Boden in die Pflanzenteile zu beobachten, jedoch eine Akkumulation aus der Luft. Die direkte PCB-Aufnahme in die Nahrungskette über Bodenpartikeln ist zu beachten (TRAPP, 1998).

Auffällig ist (Tab. 12), dass die früher gemessenen PCB-Werte wesentlich höher waren, sodass ev. ein Abklingen der Belastung in dieser Anlage zu beobachten ist. Merklich ist auch der hohe Anteil an niederchlorierten PCB, welche – wegen der leichteren Verflüchtigung – auf eine aktive Quelle schließen ließen. Gemessen am Klärschlamm-Grenzwert bzw. an den Frachten ist die Belastung der Gärrückstände gering.

Tab. 12: Übersicht über die **PCB**-Analyseergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C bzw. in Vergleichssubstraten in $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM lyo.

	UBA (2000)				UBA (1998) GR ⁴⁾	Klärschlamm UBA (1997)	Grenzwert nach NÖ KSVO
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾			
n =	4/3/1	1/1/–	1/2/3	5/4/4	1	16	
Meß- bzw. Mittelwert A	n.n. ⁵⁾	9,5	15	33,1			
Meß- bzw. Mittelwert B	7	8	3,8	7,4	140,7	82	1.200
Meß- bzw. Mittelwert C	3	–	3,2	3,1			
Min.–Max. A	n.n.	9,5	15	19–59			
Min.–Max. B	4–14	–	4–4	3–13	–	30–190	
Min.–Max. C	–	–	3–4	3–4			
Ø PCB-Fracht in $\text{mg}/\text{ha}/\text{a}$ – Anlage A	–	100	65	27			
Ø PCB-Fracht in $\text{mg}/\text{ha}/\text{a}$ – Anlage B	12	44	17	8	230	258	
Ø PCB-Fracht in $\text{mg}/\text{ha}/\text{a}$ – Anlage C	13	–	15	8			

¹⁾ WD ... Wirtschaftsdünger

²⁾ FA ... Fettabscheider

³⁾ FF/M ... Flotatfett bzw. Abfallmischungen

⁴⁾ GR ... Gärrückstand

⁵⁾ n.n. ... nicht nachweisbar

3.3.3 Hexachlorbenzol (HCB), Lindan (γ -HCH)

HCB wird als Begleitstoff in der Farbenindustrie und der Pharmazie angewendet und tritt im industriellen Bereich als Zwischenprodukt auf. Als Abfallprodukt ist es bei allen Chlorierungsvorgängen zu finden. HCB kann in die Wurzeln von Karotten oder Salat aufgenommen werden. Bei Durchsicht der Messergebnisse (vgl. Tab. 13) erweist sich diese Verbindung als wenig auffällig, zumal die ermittelten Frachten als gering eingeschätzt werden können (TRAPP, 1998). Eine Auswertung der Bodenzustandsinventuren in Österreich ergab im Ackerland im Mittel 5 bis höchstens 30,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM und im Grünland bis max. 14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM HCB im Boden. Ein Eingreifwert von 1 mg/kg TM für sensible Nutzungen wird vorgeschlagen. Dieser Wert wird durch die Verwendung der Gärrückstände nicht erreicht.

Lindan (γ -HCH) ist zwar als Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft außer zur Saatgutbehandlung verboten, wird aber bei Anwendungen in der Nichtlandwirtschaft noch als Schutzmittel eingesetzt. Lindan zählt zu den volatilen und lipophilen Kohlenwasserstoffen ($\log K_{\text{OW}}$ 3; K_{AW} 10^{-4}). In der Regel kommt es nur zu einer geringen Verlagerung aus dem Boden in die Pflanzenteile, allerdings erfolgt eine Akkumulation der Pflanzen aus der Luft (TRAPP, 1998). Eine Auswertung der Bodenzustandsinventuren in Österreich ergab im Ackerland im Mittel immerhin 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM und im Grünland bis max. 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM γ -HCH im Boden.

Nach der Fermentierung kann γ -HCH nicht mehr im Gärrückstand nachgewiesen werden.

Tab. 13: Übersicht über die **HCB-** und **HCH-**Analysergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in Vergleichssubstraten, in $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM lyo.

	UBA (2000)				UBA (1998) GR ⁴⁾	Klärschlamm UBA (1997)
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾		
n =	4/3/1	1/1/–	1/2/3	5/4/4	1	16
HCB						
Meß- bzw. Mittelwert A	n.n. ⁵⁾	14	4	5,1	7,2	6
Meß- bzw. Mittelwert B	n.n.	2	n.n.	21		
Meß- bzw. Mittelwert C	n.n.	–	n.n.	n.n.		
Min.–Max. A	n.n.	–	–	1,5–10	–	4–13
Min.–Max. B	n.n.	2	n.n.	n.n.–42		
Min.–Max. C	n.n.	–	n.n.	n.n.		
HCH						
Meß- bzw. Mittelwert A	n.n.	27	3	n.n.	1	n.n.
Meß- bzw. Mittelwert B	1,3	n.n.	n.n.	n.n.		
Meß- bzw. Mittelwert C	n.n.	–	–	–		
Min.–Max. A	n.n.	–	–	n.n.	–	–
Min.–Max. B	n.n.–2,5	–	–	n.n.		
Min.–Max. C	–	–	–	n.n.		
Ø HCB-Fracht in mg/ha/a Anlage A	–	145	17	4	7	9
Ø HCB-Fracht in mg/ha/a Anlage B	2,7	11	–	24		
Ø HCB-Fracht in mg/ha/a Anlage C	–	–	–	–		

¹⁾ WD ... Wirtschaftsdünger

²⁾ FA ... Fettabscheider

³⁾ FF/M ... Flotatfett bzw. Abfallmischungen

⁴⁾ GR ... Gärrückstand

⁵⁾ n.n. ... nicht nachweisbar

3.3.4 Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren, ein Vertreter der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), wurde stellvertretend für etwa 16 PAK-Vertreter untersucht. Die schädigende Wirkung von Benzo(a)pyren beruht hauptsächlich auf der karzinogenen Wirkung der Verbindung. 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, sie kann jedoch von den Pflanzen aus der Luft akkumuliert werden. Die direkte PAK-Aufnahme in die Nahrungskette über Bodenpartikel ist zu beachten (TRAPP, 1998).

Tab. 14: Übersicht über die **Benzo(a)pyren**-Analyseergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie im Vergleichssubstrat, in $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM lyo.

	UBA (2000)				UBA (1998) GR ⁴⁾	Klärschlamm UBA (1997)
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾		
n =	4/3/1	1/1/–	1/2/3	5/4/4	1	16
Meß- bzw. Mittelwert A	5	565	5	303	79,6	302
Meß- bzw. Mittelwert B	49	220	10,5	19,5		
Meß- bzw. Mittelwert C	16	–	13,7	24,5		
Min.–Max. A	3–8	–	–	113–421	93-668	
Min.–Max. B	2–125	–	8-13	7–29		
Min.–Max. C	–	–	10-21	3–35		
Ø Benzo(a)pyren-Fracht in $\text{mg}/\text{ha}/\text{a}$ – Anlage A	10	5.876	22	248	72	453
Ø Benzo(a)pyren-Fracht in $\text{mg}/\text{ha}/\text{a}$ – Anlage B	85	1.210	47	22,0		
Ø Benzo(a)pyren-Fracht in $\text{mg}/\text{ha}/\text{a}$ – Anlage C	71	–	64	64		

¹⁾ WD ... Wirtschaftsdünger

²⁾ FA ... Fettabscheider

³⁾ FF/M ... Flotatfett bzw. Abfallmischungen

⁴⁾ GR ... Gärrückstand

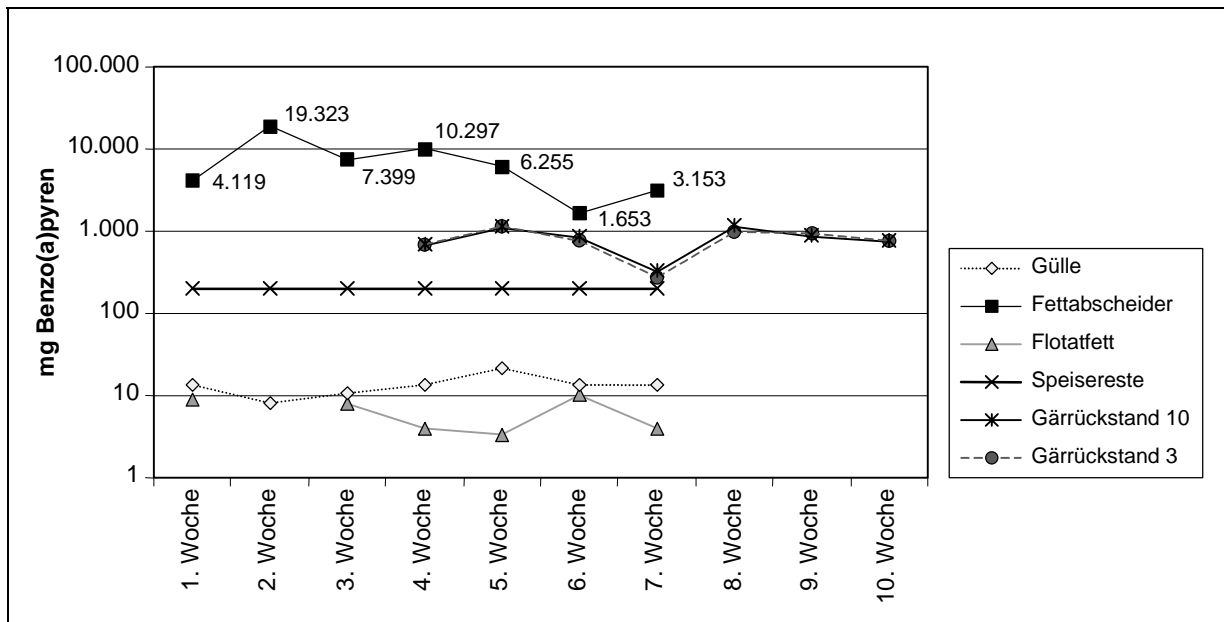


Abb. 5: Benzo(a)pyren-Eintrag und Austrag in der Anlage A – wochenweise und je Stoffgruppe (Menge x Konzentration).

Ein Abbau von PAK erfolgt je nach Wasserlöslichkeit 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 Böden 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 & Eikmann 1991) bzw. ein Vorsorgewert von 0,3 mg/kg TM (BMUNR 1999). Der Anteil von Benzo(a)pyren an der gesamten PAK-Verteilung beträgt in der Regel etwa 10 %, d. h. der PAK-Gesamteintrag ist – gemessen an der Benzo(a)pyren-Fracht – eine Zehnerpotenz höher anzusetzen. Die Erhöhung des PAK-Eintrags durch die Mitvergärung von Kosubstraten wird nur in der Anlage A – in vertretbarer jedoch nicht vernachlässigbarer Höhe – erkennbar.

Abb. 5 zeigt die PAK-Belastung und die Verteilung auf die Eingangsmaterialien-Gruppen. Damit wird ein – vom AOX-Muster – abweichendes Verhältnis sichtbar: Ein hoher Beitrag erfolgt offensichtlich aus den Fettabscheidern sowie überraschenderweise aus den Speiseresten, die anderen Teilströme sind nur von geringer Bedeutung.

Anhand des Benzo(a)pyrens, dessen Abbau im Fermenter auf Grund seiner physiko-chemischen Eigenschaften unwahrscheinlich ist, kann ein Eintrag-/Austragquotient ermittelt werden. Der Vergleich mit dem für AOX-Verbindungen gebildeten Quotienten zeigt, dass auch diese Verbindungen während des Gärungsprozesses kaum abgebaut werden.

Gemessen an der Fracht einer durchschnittlichen Klärschlammgabe sind die PAK-Einträge allerdings vertretbar. In Zukunft sollten dennoch die Eingangsstoffe auf ihre spezifischen Beiträge zur Belastung der Gärrückstände untersucht werden.

3.3.5 Dioxine & Furane

Diese Verbindungen sind ubiquitär in allen Kompartimenten zu finden und stellen in hohen Konzentrationen ein ökotoxikologisches Risiko dar. Da die Zahl der Verbindungen sehr groß ist, und ihre Eigenschaften unterschiedlich sind, wurde ein Bewertungssystem eingeführt, das eine toxikologische Einstufung ermöglicht. Dieses orientiert sich an der gefährlichsten Dioxinverbindung, dem 2,3,7,8-TCDD („Seveso-Gift“) und wird in Toxizitätsäquivalenten (TEQ) durchgeführt. Dioxine und Furane zählen zu den semivolatilen und lipophilen chlorierten Kohlenwasserstoffen ($\log K_{OW} >> 3$; $K_{AW} 10^{-5}$ bis 10^{-3}). Eine Verlagerung aus dem Boden in die Pflanzenteile ist gering, eine Akkumulation aus der Luft kann auftreten. Die direkte Aufnahme von Bodenpartikel ist zu beachten (TRAPP, 1998).

Tab. 15 zeigt die geringen Konzentrationen, sodass von unauffälligen Gehalten an Dioxinen und Furanen, die den allgemeinen Hintergrundgehalten entsprechen, ausgegangen werden kann.

Tab. 15: Übersicht über die **Dioxin**-Analyseergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in Vergleichssubstraten, in **ng TEQ/kg TM Iyo**.

	UBA (2000)				UBA (1998) GR ⁴⁾	Klärschlamm UBA (1997)
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾		
n =	-/1/-	1/1/-	1/1/1	2/2/2	1	16
Meß- bzw. Mittelwert A	–	2,1	0,75	2,8	2,6	14,5
Meß- bzw. Mittelwert B	0,4	0,9	0,3	0,3		
Meß- bzw. Mittelwert C	–	–	0,2	0,2		
Min.–Max. A	–	–	–	0,9–2,8	–	8,1–38,1
Min.–Max. B	–	–	–	0,2–0,3		
Min.–Max. C	–	–	–	0,2–0,3		
Ø Dioxin-Fracht in µg TEQ/ha/a – Anlage A	–	21,8	3,2	2,3	3,0	21,8
Ø Dioxin-Fracht in µg TEQ/ha/a – Anlage B	0,7	5	1,4	0,3		
Ø Dioxin-Fracht in µg TEQ/ha/a – Anlage C	–	–	0,5	0,6		

¹⁾ WD ... Wirtschaftsdünger

²⁾ FA ... Fettabscheider

³⁾ FF/M ... Flotatfett bzw. Abfallmischungen

⁴⁾ GR ... Gärrückstand

⁵⁾ – ... nicht nachweisbar

3.3.6 Tenside

Tenside sind häufig in Haushalten, Gewerbe und Industrie eingesetzte Hauptwirkstoffe von Reinigungs- und Waschmitteln. Überall wo die Oberflächenspannung des Wassers herabgesetzt oder die Schaumbildung positiv beeinflusst werden soll, werden Tenside eingesetzt. Als Vertreter der Tenside wurden die linearen Alkylbenzosulfonate (LAS), Nonylphenoethoxylate (NP1(2)EO) und Nonylphenole (NP) untersucht. LAS sind anionische Tenside und NPEO und NP sind nichtionische Tenside. In der Regel sind Tenside in wenigen Tagen im Boden abbaubar, unter anaeroben Bedingungen – wie sie in Biogasfermentern herrschen – verhalten sich Tenside unterschiedlich in ihrem Abbauverhalten:

- Die LAS werden in der Biogasanlage nicht abgebaut. Wird ein Gärrückstand mit hohen LAS-Konzentrationen auf den Boden gebracht, kann für wenige Tage örtlich die Regenwurmtoxizität erreicht werden. Ein Abbau im Boden erfolgt nach HUBER (1989) in einer Halbwertszeit von 3–35 Tagen. Eine Hemmung der Methanbildung im Fermenter ist ab einer Konzentration von 10 mg/l möglich (WAGENER et al. 1987).
- NPEO kann zu NP abgebaut werden. Üblicherweise ist NP in geringerem Ausmaß selbst in anaeroben Biogasreaktoren abbaubar. NP kann sich dadurch im Gärs substrat bis zum Sechsfachen aufkonzentrieren. Aus den in dieser Untersuchung gemessenen Konzentrationen (Tab. 16) ist diese Entwicklung jedoch nicht ablesbar. Die NPEO-Konzentration ist im Vergleich zum NP-Gehalt hoch.

In üblichen Waschmitteln hat die Waschmittelindustrie freiwillig auf die Verwendung von NPEO verzichtet. Für industrielle Reiniger, Dampfstrahler und sonstige harte Reinigungseinsätze ist die Verwendung offensichtlich nach wie vor gegeben.

Die Einbringung von hohen Mengen an NPEO und NP in die Gewässer ist dringend zu vermeiden, da einerseits eine endokrine Wirkung dieser Stoffe bekannt ist und sie andererseits eine hohe toxische Wirkung auf aquatische Organismen haben.

Tab. 16: Übersicht über die **LAS**-, **NP**- und **NP(1,2)EO**-Analyseergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie in Vergleichssubstraten, in **mg/kg TM lyo**.

	UBA (2000)				Klärschlamm UBA (1997)
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾	
n =	-/2/-	1/1/-	1/1/2	5/4/4	16
LAS					
Meß- bzw. Mittelwert A	–	178,2	n.a.	427,4	8.107
Meß- bzw. Mittelwert B	56	20	12	59,6	
Meß- bzw. Mittelwert C	–	–	30,5	27,8	
Min.–Max. A	–	–	–	223–640	2.199–17.955
Min.–Max. B	n.n.–121	–	–	24–131	
Min.–Max. C	–	–	23–38	23–30	
n=	-/1/-	1/1/-	1/1/1	2/2/2	16
Nonylphenol (NP)					
Meß- bzw. Mittelwert A	–	0,9	1	0,3	27
Meß- bzw. Mittelwert B	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
Meß- bzw. Mittelwert C	–	–	n.n.	n.n.	
Min.–Max. A	–	–	–	0,1–0,3	13–57
Min.–Max. B	–	–	–	n.n.	
Min.–Max. C	–	–	–	n.n.	
NP (1) EO					
Meß- bzw. Mittelwert A	–	3,9	1,6	11,6	22
Meß- bzw. Mittelwert B	1	7	1,5	9,6	
Meß- bzw. Mittelwert C	–	–	0,8	0,6	
Min.–Max. A	–	–	–	8,1–15	2,5–72
Min.–Max. B	–	–	–	2,6–16,6	
Min.–Max. C	–	–	–	0,5–0,6	
NP (2) EO					
Meß- bzw. Mittelwert A	–	0,1	2,9	36,9	24
Meß- bzw. Mittelwert B	0,7	0,5	25,1	1,5	
Meß- bzw. Mittelwert C	–	–	1,8	4	
Min.–Max. A	–	–	–	18–56	n.n.–69
Min.–Max. B	–	–	–	1,2–1,8	
Min.–Max. C	–	–	–	0,8–7,2	
Ø LAS-Fracht in g/ha/a Anlage A	–	1.853	–	351	12.161
Ø LAS-Fracht in g/ha/a Anlage B	97	110	54	67	
Ø LAS-Fracht in g/ha/a Anlage C	–	–	143	72	

¹⁾ WD ... Wirtschaftsdünger²⁾ FA ... Fettabscheider³⁾ FF/M ... Flotatfett bzw. Abfallmischungen⁴⁾ GR ... Gärrückstand⁵⁾ – ... nicht analysiert

3.3.7 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 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). Ein photochemischer Halbwertszeit-Abbau für Benzol und Toluol ist mit 11 bzw. 2,6 Tagen zu beobachten. BTEX-unbelastete Böden enthalten weniger als 1 mg/kg TM, eine Überschreitung dieser Gehalte durch die Verwendung der Biogastrückstände wird auf Grund des raschen Abbaus der BTEX-Verbindungen nicht zu erwarten sein (RIPPEN 1997).

Tab. 17: Übersicht über die **BTEX**-Analysergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie im Vergleichssubstrat, in $\mu\text{g/kg FM}$ ⁶⁾.

	UBA (2000)				Klärschlamm UBA (1998)
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾	
n =	7/5/1	5/2/–	3/6/8	7/6/8	1
Benzol					
Meß- bzw. Mittelwert A	15,2	8,9	5,3	2,9	2,5
Meß- bzw. Mittelwert B	12,3	74,5	2,5	2,5	
Meß- bzw. Mittelwert C	6,9	–	5,7	2,5	
Min.–Max. A	<5–39	<5–12	<5–11	n.n.–<5	
Min.–Max. B	2,5–47	21–128	n.n.–<5	n.n.–<5	
Min.–Max. C	–		n.n.–10,6	<5	
Toluol					
Meß- bzw. Mittelwert A	12,4	1.776,4	170	20,4	31,3
Meß- bzw. Mittelwert B	277	1.774	10	<5	
Meß- bzw. Mittelwert C	10,4	–	17,7	10,2	
Min.–Max. A	<5–20	725–2.830	98–296	9,2–41	
Min.–Max. B	<5–1.084	252–3.296	<5–29,6	<5	
Min.–Max. C	–	–	<5–48,5	<5–39,4	
Ethylbenzol					
Meß- bzw. Mittelwert A	3,1	93,4	22,5	8,2	–
Meß- bzw. Mittelwert B	231	2.182,5	<5	<5	
Meß- bzw. Mittelwert C	<5	–	<5	<5	
Min.–Max. A	<5–60,5	45–213	5,6–33	<5–23	
Min.–Max. B	<5–1.111	205–4.160	<5	<5	
Min.–Max. C			<5	<5	
p, m -Xylol					
Meß- bzw. Mittelwert A	2,5	319	36,3	32,8	43,4
Meß- bzw. Mittelwert B	141,5	1.666,5	4,9	<5	
Meß- bzw. Mittelwert C	7,2	–	8,6	<5	

	UBA (2000)				Klärschlamm UBA (1998)
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾	
n =	7/5/1	5/2/–	3/6/8	7/6/8	1
Min.–Max. A	<5	157–746	<5–104	<5–100	
Min.–Max. B	<5–688	169–3.164	<5–16,9	<5	
Min.–Max. C			<5–15,2	<5	
o -Xylol					
Meß- bzw. Mittelwert A	2,5	103,8	17	12,5	35,6
Meß- bzw. Mittelwert B	25,6	175	4,8	<5	
Meß- bzw. Mittelwert C	<5		<5	<5	
Min.–Max. A	<5	37–178	<5–46	<5–59	
Min.–Max. B	<5–118	22–328	<5–14	<5	
Min.–Max. C			<5	<5	
Σ BTEX					
Meß- bzw. Mittelwert A	35,7	2.607,5	1.177,4	66,3	
Meß- bzw. Mittelwert B	687,4	5.872,5	21,7	12,1	
Meß- bzw. Mittelwert C	29,5	–	36,3	21	
Min.–Max. A	12,5–66,5	2.087–3.127	128–2.368	19–201	
Min.–Max. B	125–1.048	669–11.076	10–63	10–12,5	
Min.–Max. C	29,5	–	10–63	12,5–49	
Ø BTEX -Fracht in g/ha/a Anlage A	0,9	177,3	28,5	2,0	75
Ø BTEX -Fracht in g/ha/a Anlage B	20,6	314,8	0,6	0,5	
Ø BTEX -Fracht in g/ha/a Anlage C	1,5	–	1,5	1,3	

¹⁾ WD ... Wirtschaftsdünger

²⁾ FA ... Fettabscheider

³⁾ FF/M ... Flotatfett bzw. Abfallmischungen

⁴⁾ GR ... Gärrückstand

⁵⁾ n.n. ... nicht nachweisbar

⁶⁾ FM ... Frischmasse

3.3.8 Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)

Die untersuchte Stoffgruppe umfasst Substanzen, die im wesentlichen als Lösungsmittel Verwendung finden. Die untersuchten Stoffe haben einen niedrigen Dampfdruck, sodass sie bei den Temperaturen im Reaktor 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 gut von den Pflanzen aufgenommen, allerdings 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 Gärs substrat treten in der Anlage mit Grauwasserzumischung auf und rühren möglicherweise von einer Chlorungsanlage für Trinkwasser her. Für die leichtflüchtigen Halogen-

kohlenwasserstoffe wird ein Vorsorgewert für Boden mit <1 mg/kg TM angegeben, die Summe der Einträge aus den Biogastrückständen überschreiten diesen nicht. Der Eintrag durch die Gärrückstände wird durch die hohe Flüchtigkeit der CKW-Verbindungen voraussichtlich stark reduziert.

Tab. 18: Übersicht über die **CKW-Analyseergebnisse und Gehalte in den Anlagen A, B und C sowie im Vergleichssubstrat, in µg/kg FM.**

	UBA (2000)				Klärschlamm UBA (1998)
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾	
n =	5/5/1	5/2/-	3/5/8	7/6/6	1
Chloroform					
Meß- bzw. Mittelwert A	n.n.	2,8	8,1	n.n.	0,1
Meß- bzw. Mittelwert B	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	
Meß- bzw. Mittelwert C	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	
Min.–Max. A	n.n.	n.n.–0,1	1,2–7,6	n.n.–0,6	
Dichlormethan					
Meß- bzw. Mittelwert A	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	19
Meß- bzw. Mittelwert B	n.n.	6	85	5,5	
Meß- bzw. Mittelwert C	n.n.	–	149	6	
Min.–Max. B		n.n.–12	n.n.–170	n.n.–11	
Min.–Max. C	–	–	n.n.–412	n.n.–12	
Trichlorethen					
Meß- bzw. Mittelwert A	n.n.	19,8	29	0,2	1
Meß- bzw. Mittelwert B	64	>100	0,8	0,3	
Meß- bzw. Mittelwert C	n.n.	–	0,6	n.n.	
Min.–Max. A	n.n.–0,1	0,2–>100	n.n.–29	0,1–15	
Min.–Max. B	n.n.–>100	n.n.–>100	n.n.–1,4	0,1–0,5	
Min.–Max. C			n.n.–1,1	n.n.	
Perchlorethen					
Meß- bzw. Mittelwert A	n.n.	57,1	1,9	0,7	5
Meß- bzw. Mittelwert B	62	>100	17,2	9	
Meß- bzw. Mittelwert C	n.n.	–	0,25	0,1	
Min.–Max. A	n.n.–0,2	0,2–>100	n.n.–1,9	0,2–1,1	
Min.–Max. B	28–>100	>100	0,1–>100	1,6–23	
Min.–Max. C			0,1–0,4	0,1	
1,1,1 Trichlorethan					
Meß- bzw. Mittelwert A	n.n.	0,7	0,7	n.n.	0,1
Min.–Max. A	–	0,1–0,8	n.n.–0,7	–	
Σ CKW					
Meß- bzw. Mittelwert A	0,2	55,5	60,2	1,1	25,2
Meß- bzw. Mittelwert B	127,5	156	70,9	11,5	
Meß- bzw. Mittelwert C	–	–	140,9	6	

	UBA (2000)				Klärschlamm UBA (1998)
	WD ¹⁾	FA ²⁾	FF/M ³⁾	GR ⁴⁾	
n =	5/5/1	5/2/–	3/5/8	7/6/6	1
Min.–Max. A	n.n.–0,2	8,6–102	1,8–201	0,7–1,4	
Min.–Max. B	n.n.–200	>100–212	0,4–170	1,6–23,5	
Min.–Max. C	–	–	15–412	0,1–12	
Ø Σ CKW-Fracht in g/ha/a Anlage A	0,01	3,8	1,5	0,03	0,8
Ø Σ CKW-Fracht in g/ha/a Anlage B	3,8	8,5	2,0	0,4	
Ø Σ CKW-Fracht in g/ha/a Anlage C		–	5,7	0,4	

¹⁾ WD ... Wirtschaftsdünger

²⁾ FA ... Fettabscheider

³⁾ FF/M ... Flotatfett bzw. Abfallmischungen

⁴⁾ GR ... Gärrückstand

⁵⁾ n.n. ... nicht nachweisbar

3.4 Hygieneuntersuchung der Gärrückstände und der Ausgangssubstrate (HUMER Johann)

Die Hygiene-Untersuchungen wurden in 11 Proben von Gärrückständen, 9 Ausgangssubstraten (Küchenabfälle, Fettabfälle) und 7 Wirtschaftsdüngerproben (Rinderstallmist, Rindergülle und Schweinegülle) durchgeführt. Die Beprobung erfolgte in den Anlagen A, B und C sowie in einem weiteren landwirtschaftlichen Betrieb in Niederösterreich. Der Probenahmezeitraum war von 1998 bis 2000. Die Analysen wurden an der Bundesanstalt für veterinärmedizinische Untersuchungen in Mödling durchgeführt.

Untersucht wurden die Proben auf Gesamtkeimzahl, Enterobacteria, E.Coli, Enterokokken, Clostridien, Sprosspilze, Listerien (in 10 g Probe), Salmonellen (in 25 g Probe), Streptokokken, Coccidienoozysten und Trichostrongyliden (Nematoden). Das Ziel der Untersuchung war, die Keimbelastung und den Hygienestatus von Gärrückständen und ihrer Ausgangssubstrate zu erheben und mit bestehenden Grenz- oder Richtwerten zu vergleichen.

Ergebnisse

Das Bild, das sich durch die Untersuchungen ergibt, zeigt eine durchschnittliche Keimbelastung der Proben wie sie im Wirtschaftsdünger üblich anzutreffen ist. Eine Reduzierung der Keime im Gärrückstand ist im Vergleich zum Substrat Küchenabfälle unterschiedlich ausgeprägt und erfolgt im Mittel von 10 bis $1 \cdot 10^{+3}$ KBE in 1 g Frischmasse je nach Untersuchungsparametern. Etwa die Gesamtkeimzahl, *E. coli*, Clostridien und Sprosspilze werden in den Gärrückständen insbesondere entstanden aus Küchenabfällen nur wenig reduziert.

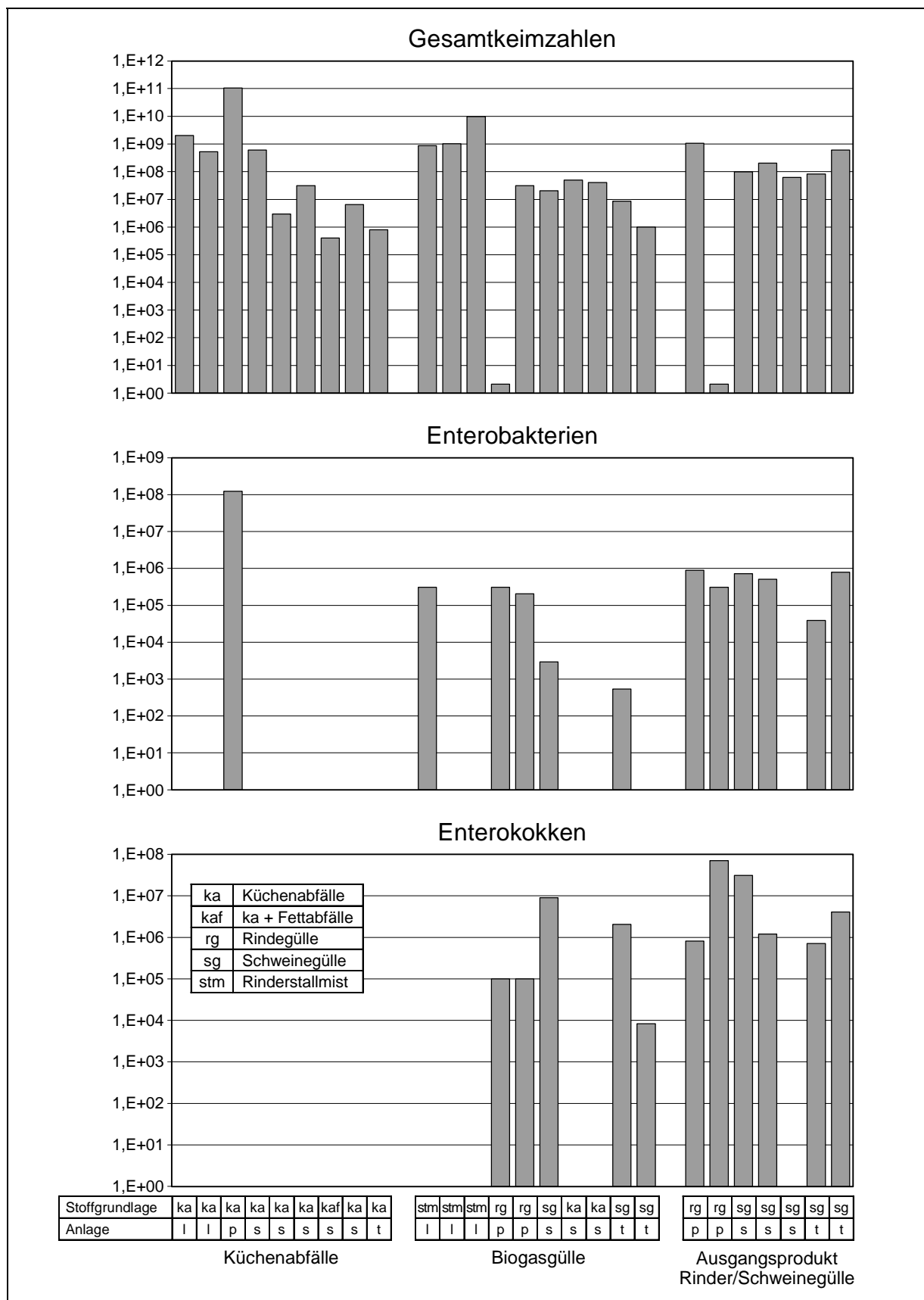


Abb. 6a: Verteilung der Untersuchungsergebnisse in den Anlagen A, B und C sowie in den unterschiedlichen Substraten.

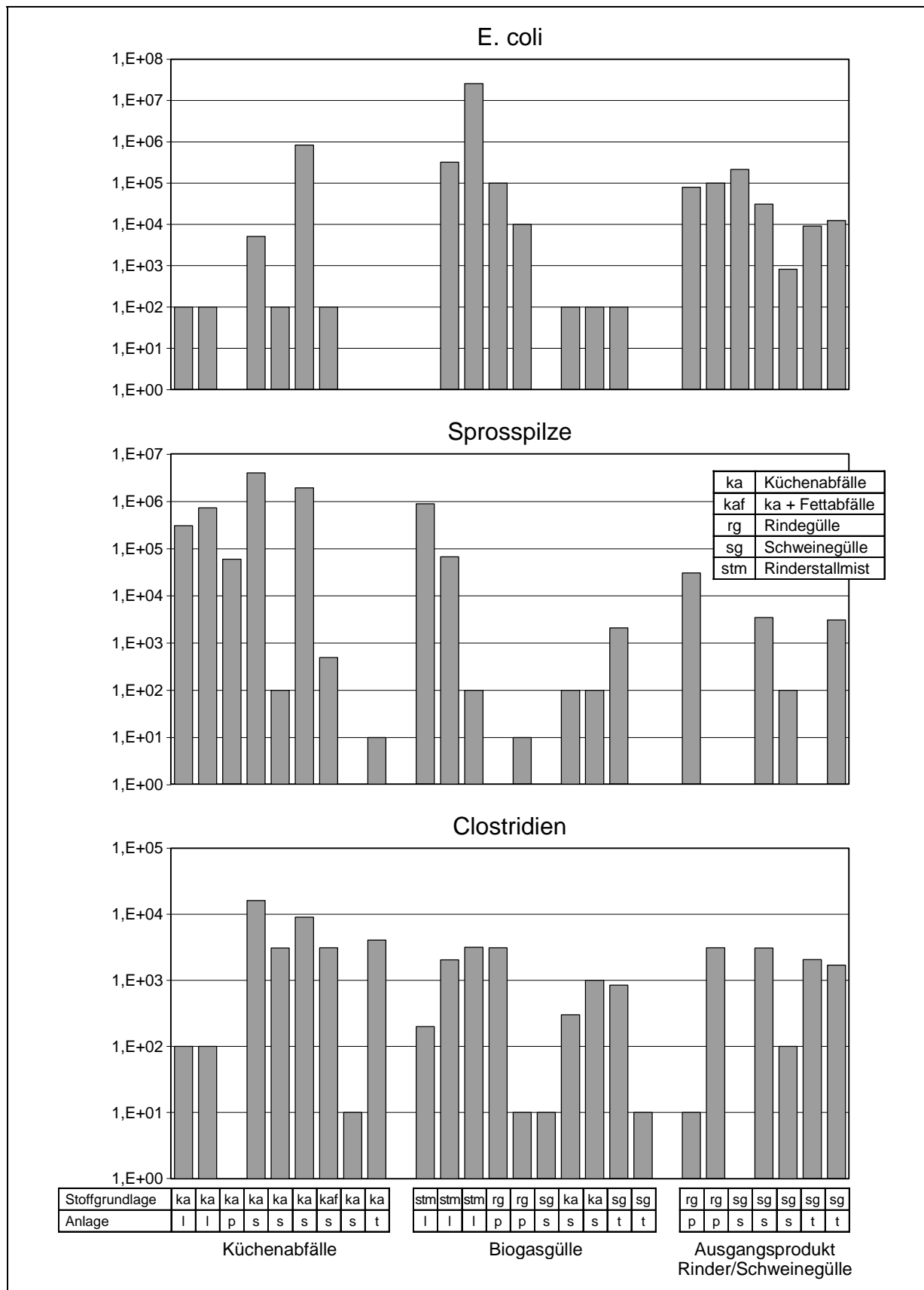


Abb. 6b: Verteilung der Untersuchungsergebnisse in den Anlagen A, B und C sowie in den unterschiedlichen Substraten.

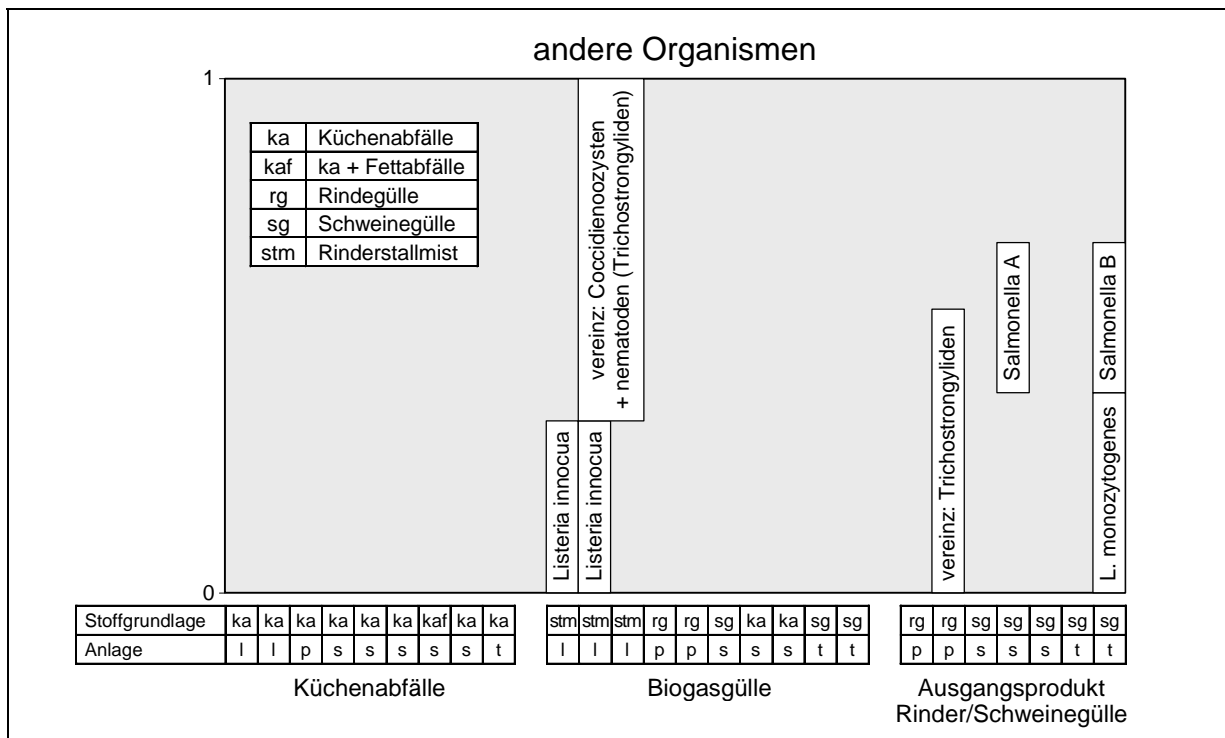


Abb. 6c: Verteilung der Untersuchungsergebnisse in den Anlagen A, B und C sowie in den unterschiedlichen Substraten.

Tab. 19: Übersicht über die Analysen-Mittelwerte von 11 Gärrückständen, 9 Küchenabfällen und 7 Wirtschaftsdünger in den Anlagen A, B, und C, in KBE/g FM.

	Wirtschafts- dünger	Fettabfälle	Gärrückstand	Gärrückstand ¹⁾
n =	7	9	11	1
Gesamtkeimzahl Meß- bzw. Mittelwert	$3,9 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^7$
Enterobakterien Meß- bzw. Mittelwert	$5,4 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$
Escherichia Coli Meß- bzw. Mittelwert	$6,2 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^4$
Enterokokken Meß- bzw. Mittelwert	$1,8 \cdot 10^7$	–	$2,2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5$
Clostridien Meß- bzw. Mittelwert	$1,4 \cdot 10^3$	$3,9 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
Sprosspilze Meß- bzw. Mittelwert	$9,1 \cdot 10^3$	$8,8 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	vereinzelt

¹⁾ Gärrückstand aus der Rindergülle-Vergärung 1998

Dabei ist zu beachten, dass die Proben durchwegs direkt im Anschluss an die Vergärungsbehälter gezogen wurden. Daher ist von der Annahme auszugehen, dass die anschließende Lagerung des Gärrückstandes zu einer Reduktion der Keimbelastung führt, wie sie in den herkömmlichen Güllelagerung zu beobachten ist. Festzuhalten ist dennoch, dass eine Vergärung in der Regel geringen Einfluss auf die Keimbelastung bzw. keine Verminderung der Keimdichte unmittelbar nach dem Vergärungsabschnitt zur Folge hat.

3.4.1 Gesamtkeimzahl

Die Gesamtkeimzahl liegt bei Küchenabfällen mit $1 \cdot 10^{+10}$ KBE/g FM am höchsten aller untersuchten Substrate. Gärrückstände aus Stallmistsubstrat folgen mit $1 \cdot 10^{+9}$ KBE/g FM.

3.4.2 Bakterien

3.4.2.1 Enterobakterien

Enterobacter sind sekundär pathogene Keime die im Abwasserschlamm auftreten können (KÖCK, 1988). Die Enterobakterien waren in Küchenabfällen ein Mal vorhanden und werden im Gärrückstand um 10^{+3} KBE/g FM reduziert. Enterobakterien treten im reinen Gärrückstand aus Küchenabfällen nicht auf. Gärrückstände wiesen daneben Gehalte von bis zu $1 \cdot 10^{+5}$ KBE/g FM an Enterobakterien auf.

3.4.2.2 Enterokokken

Enterokokken treten bei Küchenabfällen oder reinem Gärrückstand aus Küchenabfällen nicht auf. Im Gärrückstand und im Ausgangssubstrat Wirtschaftsdünger sind Enterokokken im Bereich von 10^{+4} bis 10^{+8} KBE/g FM enthalten.

3.4.2.3 Clostridien

Clostridien perfringens sind primär pathogen wirkende Bakterien. Ihr Vorkommen ist nicht nur auf das Abwasser beschränkt (KÖCK, 1988). Clostridien treten im Bereich von 10 bis 10^{+3} KBE/g FM auf und sind in Gärrückstand und allen Substraten enthalten. Eine Zuordnung für niedrige oder höhere Werte ist anhand der Ergebnisse nicht möglich.

3.4.2.4 Escherichia coli

Escherichia coli sind primär pathogen wirkende Bakterien. Ihr Vorkommen ist nicht nur auf das Abwasser beschränkt (KÖCK, 1988). E. coli treten im Bereich von unter 10^{+2} bis 10^{+7} KBE/g FM auf und sind in Gärrückstand und allen Substraten enthalten. In Küchenabfällen und teils in Gärrückstand treten sie nicht auf.

3.4.3 Pathogene Bakterien

3.4.3.1 Listerien

Listeria monocytogenes sind primär pathogen wirkende Bakterien. Ihr Vorkommen ist nicht nur auf das Abwasser beschränkt (KÖCK, 1988). Listerien..wurden in einem Nachweistest in 10 g FM Substrat erfasst. Sie traten in Gärrückstand aus Stallmist auf und waren in einer Schweinegülle enthalten.

3.4.3.2 Salmonellen

Salmonella spp. sind primär pathogen wirkende Bakterien. Ihr Vorkommen ist nicht nur auf das Abwasser beschränkt (KÖCK, 1988). Salmonellen wurden einem Nachweistest in 25 g Frischmasse-Substrat unterzogen. Sie traten nur in Schweinegülle auf und waren in 2 von 5 Schweinegülle enthalten.

3.4.4 Sprosspilze

Sprosspilze (Hefen) sind tendenziell stärker in Küchenabfällen und teils etwas vermehrt in Gärrückstand aus Stallmist enthalten.

3.4.5 Parasiten

Trichostrongyliden (Nematoden) wurden einmal in Rindergülle und einmal in Gärrückstand aus Rinderstallmist gefunden.

Coccidienoozysten wurden in 2 Gärrückständen aus Küchenabfällen und Rindergülle bzw. Rindermist gefunden.

Bewertung:

Der Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz hat in seiner Publikation „Der sachgerechte Einsatz von Gärrückstand und Gärrückständen im Acker- und Grünland“, (BMLFUW, 2001b) Festlegungen zur hygienischen Unbedenklichkeit bei Gärrückständen getroffen. Diese zielen besonders darauf, den Eintrag von Keimen mit pathogenen Wirkungen sowie seuchenhygienisch bedenklichen Belastungen hintan zu halten. Als hygienisch unbedenklich ist ein Gärrückstand dann anzusehen, wenn in 50 g Frischmasse keine Salmonellen, nicht mehr als $5 \cdot 10^{+3}$ KBE/g FM Enterobacteriaceae und keine gefährlichen Wurmeier enthalten sind.

Die untersuchten Gärrückstände wiesen Gehalte von bis zu 10^{+5} KBE/g FM Enterobakterien auf. In 4 der 11 Gärrückstandproben waren Gehalte von 10^{+3} bis 10^{+5} KBE/g FM Enterobakterien feststellbar. Gelegentlich konnten Parasiten festgestellt und Salmonellen in Schweinegülle konstatiert werden, nicht jedoch in den Gärrückständen.

Die Hygiene-Untersuchungen zeigen durchwegs hohe Schwankungsbreiten in den Keimgehalten. Es konnte keine Reduzierung der Keimzahlen unmittelbar nach den Fermentern festgestellt werden. Zur Absicherung der Ergebnisse wäre die Analyse der Gärrückstände nach einer entsprechenden Lagerung notwendig, welche sich – gleich der Lagerung von Wirtschaftsdünger – an die Vergärung anzuschließen hat. Eine mindestens dreimonatige Lagerung, die allerdings chargengetrennt erfolgen sollte, hat sich bei der Güllelagerung als günstig heraus gestellt.

Begriffsbestimmungen (Definitionen)

- Abfälle** Bewegliche Sachen, deren sich der Eigentümer oder Inhaber entledigen will oder entledigt hat oder deren Erfassung und Behandlung als Abfall im öffentlichen Interesse geboten ist (B-AWG/1990 §2 (1)).
- Gefährliche Abfälle:* Abfälle deren ordnungsgemäße Behandlung besondere Umsicht und besondere Vorkehrungen in Hinblick auf die öffentlichen Interessen erfordert und deren ordnungsgemäße Behandlung jedenfalls weitergehender Vorkehrungen oder einer größeren Umsicht bedarf, als dies für die Behandlung von Hausmüll erforderlich ist (B-AWG/1997 §2 (5)).
- Ungefährliche Abfälle:* Jene Abfälle, die nicht im Verzeichnis gefährlicher Abfälle enthalten sind, im Sinn der Festsetzungsverordnung des BMfUJF, 1997; sie sind jedenfalls im „Abfallkatalog“ (ÖNORM S 2100) aufgezählt und umfassen folgende Schlüsselnummern: 111, 114, 117, 121, 125, 127, 129, 141, 144, 147, 171, 181, 184, 199, 91104, 91202, 91601, 917.
- Befugte Fachpersonen oder Fachanstalten:** sind externe Personen oder Einrichtungen, die für die Durchführung biologischer, chemischer und physikalischer Untersuchungen in Betracht kommen:
- akkreditierte Laboratorien,
 - Anstalten des Bundes oder eines Bundeslandes oder von Körperschaften öffentlichen Rechts,
 - staatlich autorisierte Anstalten und
 - Ziviltechniker einschlägigen Fachgebietes, technische Büros für Chemie und chemische Laboratorien
- Biogas (Faulgas)** Gas, das bei der anaeroben Vergärung von Biomasse gebildet wird. Es besteht aus 50 bis 75 % Methan, 25–50 % Kohlenstoffdioxid und geringen Mengen an Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Wasserstoff und Wasserdampf.
Der Energiegehalt im Biogas beträgt 18-29 MJ/m³ (abhängig vom Methangehalt) bzw. 1 m³ Biogas enthält pro 10 % Methananteil ca. 1kWh Energie (z. B. 1m³ Biogas mit 60 % Methan enthält ca. 6 kWh thermische Energie und entspricht 0,6 l Heizöläquivalente).
- Biogasgülle** Vergorenes flüssiges Substrat aus dem Biogasprozess, welches landwirtschaftlich verwertet werden kann, und dessen Ausgangsmaterialien ausschließlich der Stoffgruppe 1 angehören, das sind Reststoffe aus landwirtschaftlichen Betrieben und nachwachsende Rohstoffe (Anwendungsrichtlinie „Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland“ des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, BMLFUW 2001b).
- Düngemittel** Düngemittel sind Stoffe, die Pflanzennährstoffe enthalten und dazu bestimmt sind, unmittelbar oder mittelbar Pflanzen zugeführt zu werden, um deren Wachstum zu fördern, deren Qualität zu verbessern oder deren Ertrag zu erhöhen (Düngemittelgesetz 1994).
- Endokrine Wirkung** .. Eigenschaft von chemischen Verbindungen, im Mensch- und Tierkörper – zumeist in geringen Konzentrationen – hormonähnliche Wirkungen zu entfalten.
- Fettabscheider** Fetthaltiger Inhalt von Fettabscheidern in der Lebensmittelverarbeitung.
- Flotatfett** Fetthältige Reststoffe und Rückstände aus Schlächtereien.
- Gärrückstand** Vergorenes flüssiges Substrat aus dem Biogasprozess, welches landwirtschaftlich verwertet werden kann und Ausgangsmaterialien der Stoffgruppe 1, 2 und 3, das sind Abfälle aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie, gemischte kommunale Garten- und Parkabfälle, Küchen- und Kantinenabfälle sowie Bioabfall aus Haushalten. Die Aufzählung ist der Anwendungsrichtlinie „Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland“ des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (BMLFUW 2001b) entnommen.

- Grauwasser** Abwasser, das in den Haushaltungen anfällt, wie der Körperpflege und Wäsche-
reinigung inklusive ev. Dachabwässer. Fäkalabwasser ist davon ausgeschlossen.
- Gülle** Gemisch aus Kot und Harn von Nutztieren, auch vermengt mit Wasser sowie de-
ren natürlichen Umwandlungsprodukte, und geringen Mengen an Einstreu und
Futterresten. Zusätzlich können noch Stallreinigungs-, Spül- und Niederschlags-
wasser, Sicker- und Gärsäfte aus Silos und Festmistlagern sowie Hausabwäs-
ser enthalten sein.
- Jauche** Harn meist vermengt mit Wasser sowie deren natürliche Umwandlungsprodukte.
Zusätzlich können noch geringe Mengen an Kot- und Einstreubestandteilen so-
wie Stallreinigungs-, Spül- und Niederschlagswasser, Sicker- und Gärsäfte aus
Silos und Festmistlagern sowie Hausabwässer enthalten sein.
- Klärschlamm** Rückstand aus der Reinigung von Abwässern, gleichgültig welcher Herkunft und
Beschaffenheit, ausgenommen Rechengut und Sandfanginhalte.
- Kofermentation** Gemeinsame Vergärung von Wirtschaftsdüngern mit vergärbaren organischen
Reststoffen aus Landwirtschaft, Industrie, Gewerbe und Haushalten. Durch Ko-
fermentation kann der Biogasertrag im Vergleich zur ausschließlichen Vergärung
von Wirtschaftsdüngern deutlich erhöht werden (ÖKL-Merkblatt Nr. 65, 1. Aufla-
ge; ÖKL 1999).
- Kompost** Umsetzungs-(Verrottungs-)produkt aus verschiedenen organischen Abfällen unter
eventueller Zugabe biogenen Struktur- und Zuschlagsmaterials (Strauch- und
Grünschnitt, Erde, Stroh, etc.) sowie Wirtschaftsdüngern.
- Kosubstrat** Stoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs, die in Biogasanlagen Wirtschafts-
düngern zugesetzt werden, um die Gasausbeute zu erhöhen und die darin ent-
haltenen Nährstoffe zu verwerten.
- Nachwachsende Rohstoffe:** Pflanzliche Produkte, die chemisch-technisch oder energetisch genutzt
werden.
- Stallmist** Gemenge aus Kot und Einstreu sowie allenfalls Harnausscheidungen aus der
Nutztierhaltung.
- Wirtschaftsdünger** ... tierische Ausscheidungen, Jauche, Gülle und Stallmist sowie Stroh und ähnliche
Reststoffe aus der pflanzlichen Produktion.

4 LITERATUR

- AICHBERGER K., 1995: Die Ergebnisse einer Untersuchung von Wirtschaftsdüngern in Oberösterreich. Herausgeber: Amt der OÖ. Landesregierung. Linz, 1995.
- AMBERGER, A., HUBER J. und RANK M., 1987: Gülleausbringung: Vorsicht Ammoniakverluste. In DLG Mitteilungen 20/1987, München 1987.
- BALA, H., 2000: Qualitätssicherungs- und Marketingstrategien für Biokomposte. EU-Projekt Nr. 95AT06018, Endbericht.
- BMLFUW 2001a: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: 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.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 1994: Düngemittelverordnung (1007.Verordnung), Wien 1994.
- BMUNR, 1999: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV); BGBl. 36/99, Bonn 1999.
- BÖHM, K. und ROTH, K., 2001: Messbericht 2000: Eintrag diffuser Schwermetalldepositionen aus der Luft auf landwirtschaftlich genutzte Flächen Ostösterreichs. Interner Bericht des Bundesamtes und Forschungszentrums für Landwirtschaft, Wien 2001.
- FIEDLER H. J. und RÖSLER, H. J., 1993: Spurenelemente in der Umwelt. Gustav Fischer Verlag Stuttgart 1993.
- GRONAUER, A., 1993: Einflussfaktoren auf die Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmist als Grundlage verfahrenstechnischer Verbesserungen, Dissertation der TU München Weihenstephan, Institut für Landtechnik, München1993..
- HUBER, L., 1989: Folgerungen für eine ökologische Beurteilung von LAS. Tenside Surface 26.
- HUMER, J., 1994: Wirtschaftsdüngeruntersuchungen der N.Ö. Landeslandwirtschaftskammer. Interne Zusammenstellung der LLWK NÖ. Wien 1994.
- KATZ, P. und FRICK, R., 1994: Ammoniakemissionen nach der Hofdüngeranwendung. FAC-Oktober-tagung – Ammoniak in Landwirtschaft und Umwelt, FAC, Liebefeld, Schweiz.
- KLOCKE, A., EICKMANN, T., 1991: Nutzungs- und schutzbezogene Orientierungsdaten für (Schad-)Stoffe in Böden, VDLUFA – Sonderdruck 1/1991.
- KÖCK, M., 1988: Klärschlamm, Epidemiologische Bedeutung für die Übertragung von Zoonosen, Informationszentrum für Umweltschutz des Landeshygienikers für Steiermark.
- KUHN E., 1995: Kofermentation, Arbeitspapier 219, Hrsg.:Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt.
- KUNZ, H.-G., 1995: Düngung mit Biogasgülle im Futterbaubetrieb. Tagungsband zur 2. Niedersächsischen Biogastagung in Bremervörde.
- NÖ KSVO 2001: Niederösterreichische Klärschlammverordnung LGBl. 6160/2-3 3.
- ÖKL 1999: ÖKL-Merkblatt Nr. 65, 1. Auflage.
- ORLOVIUS, K., 1999: Einfluss unterschiedlicher K- und Na- Versorgung auf Mineralstoffgehalt, Ertrag und Qualität von Zuckerrüben. VDLUFA Kongressband 1999, Halle.
- PFUNDTNER, E., 2000: Weniger Geruch – mehr Ertrag. In Mais 3/2000. Bonn 2000.
- 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: Fränzle O., Müller F., Schröder W., ECOMED 1998, Landsberg am Lech.

- UBA 1997: Zur Situation der Verwertung und Entsorgung des kommunalen Klärschlammes in Österreich, Wien, M-095.
- UBA 1998: Analysenbericht über die organischen Schadstoffe in Gärrückständen und Biogasgülle.
- UBA 1999: PAH in der Umwelt, Messungen 1989–1998, Wien, R-153.
- UBA 2000: Analysenbericht über die organischen Schadstoffe in Gärrückständen und Biogasgülle.
- UBA 2000a: Die Qualität von Kompost aus der getrennten Sammlung, Wien, M-133.
- WAGENER, S., SCHINK, B., 1987: Anaerobic Degradation of Nonionic and Anionic Surfactants in Enrichment Cultures and Fixed-Bed Reactors. *Water Research* 21.
- ZESSNER, M., 1999 Bedeutung und Steuerung von Nährstoff- und Schwermetallflüssen des Abwassers, Dissertation am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien, Wiener Mitteilungen, Band 157.
- ZETHNER, G., GÖTZ, B., 1997: Kompostqualität in Österreich, VDLUFA-Schriftenreihe 45, Kongressband, Leipzig 1997.