



Vergärung biogener Abfälle aus Wien -

Vergärbarkeit und Verwertbarkeit von Speiseresten und Marktabfällen

M. Grasmug und R. Braun
November 2002



VORWORT

Die Idee einer „Wiener Biogasanlage“ gibt es bereits sehr lange. Doch erst durch die Strategische Umweltprüfung, bei der eine Vergärungsanlage als eine der wesentlichen Säulen des Wiener Abfallwirtschaftsplans gefordert wurde, wird deren Realisierung absehbar. Für eine Vergärung kommen verschiedenste biogene Abfälle, die in einer Stadt anfallen, in Frage. Zur besseren Einschätzung der Qualitäten und auch der Vergärbarkeit einiger ausgewählter Abfallfraktionen, die auch mengenmäßig wichtig sind, wurden die in dieser Studie dokumentierten Versuche in Auftrag gegeben. Die Magistratsabteilungen 22, 48 und die Umweltschutzbehörde haben dieses Kooperationsprojekt gemeinsam beauftragt und auch durch verschiedene Leistungen wie Analysen der Schwermetallkonzentrationen, Organisation der Sammlung der Marktabfälle etc. dazu beigetragen. Die Untersuchung der Speisereste und Marktabfälle aus Wien wurde unter der Leitung von Prof. Braun vom IFA Tulln durchgeführt.

DANK

Besonderer Dank gebührt Herrn Ing. Hubert Schmid (Inhaber der Anlage BIOS 1), der durch seine Bereitschaft zur Kooperation und durch das Einverständnis zur Probenahme und Nutzung seiner Anlage dieses Projekt erst ermöglicht hat.

Kurzfassung	3
1 Allgemeines	6
2 Probenahme	8
2.1 Probenahme der Speisereste	9
2.2 Probenahme der Marktabfälle	10
2.3 Zuordnung und Bezeichnung der Proben	13
3 Beschreibung der Untersuchungsmethoden (IFA-TULLN, MA 48, MA 22)..	14
3.1 Allgemeine Bemerkungen zu Batch-Tests und kontinuierlichen Laborversuchen	14
3.1.1 Batch-Gärtests	14
3.1.2 Kontinuierlicher Laborversuch	15
3.2 In der MA 22 durchgeführte Analysen.....	16
3.2.1 Analysenmethode.....	16
3.3 In der MA 48 durchgeführte Analysen.....	16
3.3.1 Analysenmethoden.....	16
4 Ergebnisse	17
4.1 Ergebnisse der Speisereste-Vergärung	17
4.1.1 Charakterisierung des Substrats	17
4.1.2 Batch-Gärtest der Speisereste	18
4.1.3 Kontinuierliche Laborversuche.....	18
4.1.4 Analysen des Faulschlamm (Speisereste)	20
4.2 Ergebnisse der Marktabfälle-Vergärung	21
4.2.1 Charakterisierung des Substrats	21
4.2.2 Kontinuierliche Laborversuche.....	22
4.2.3 Analysen des Faulschlamm (Marktabfälle).....	24
4.3 Begleitende Untersuchung der Biogasanlage BIOS 1.....	24
5 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse.....	25
5.1 Biologische Verfahrensparameter	26
5.2 Vergleiche mit anderen Ergebnissen	27
5.3 Schwermetallproblematik.....	28
6 Literatur	30

Abkürzungen

$B_{R-(OTS,CSB)}$	Raumbelastung [$\text{g l}^{-1} \text{d}^{-1}$]
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
AAS	Atomabsorptionsspektroskopie
BHKW	Blockheizkraftwerk
CH_4	Methan
CO_2	Kohlendioxid
conc.	Konzentriert
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf [$\text{gO}_2 \text{kg}^{-1}$]
d	Tag
et al.	et alii (und andere)
g	Gramm
GC	Gaschromatograph
GV	Glühverlust
H_2S	Schwefelwasserstoff
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
IFA	Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie
kg	Kilogramm
n.nb	nicht nachweisbar
NH_3	Ammoniak
NH_4^+-N	Ammoniumstickstoff
OTS	Organische Trockensubstanz
t	Tonne
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen = Gesamtstickstoff nach Kjeldahl
TS	Trockensubstanz
$Y_{G-(CSB,OTS)}$	Biogasausbeute [l g^{-1}]

Kurzfassung

Durch geeignete gesetzliche Rahmenbedingungen, die die Anwendung der Biogastechnologie (Anaerobtechnologie) in hohem Maße fördern, stieg die Anzahl von anaeroben Behandlungsanlagen in Europa in den letzten drei Jahren stark an. Prinzipiell ist eine große Zahl organischer Nebenprodukte und Abfälle aus Landwirtschaft, Kommunen und Industrie für die Verarbeitung in Biogasanlagen geeignet. Die Zusammensetzung der für den Biogasprozess verwendeten Stoffe ist für einen optimalen anaeroben Abbau von wesentlicher Bedeutung.

Dieses Kooperationsprojekt zwischen der MA 22, MA 48 und der Wiener Umweltanwaltschaft (WUA), das vom IFA-Tulln durchgeführt wurde, hatte zum Ziel, möglichst kostengünstig und rasch zu untersuchen, ob und wie sehr sich in Wien gesammelte biogene Abfälle - wie Speisereste und Marktabfälle - zur Vergärung und Biogasgewinnung eignen und die aus dem Biogasprozess resultierenden Reststoffe verwertbar sind. Vor allem der hohe Wassergehalt derartiger biogener Stoffströme führt während des Kompostierungsprozesses zu großen Schwierigkeiten und dadurch zu erhöhten Behandlungskosten. Daher eignen sich die zu untersuchenden biogenen Abfälle eher für die anaerobe Behandlung.

Zum Nachweis der anaeroben Verwertbarkeit (Biogaspotential) der biogenen Abfälle wurden vom IFA-Tulln Laborversuche durchgeführt. Zur Beurteilung der Verwertbarkeit des Gärrestes wurden durch die MA 22 bzw. MA 48 die Schwermetallgehalte durch entsprechende chemische Analysen überprüft. Um ein repräsentatives Probenmaterial für die Laborversuche zu erhalten und die durchschnittliche Zusammensetzung der organischen Abfälle aus der Stadt Wien besser bewerten zu können, wurde die Probennahme an einer Biogasanlage (BIOS1), die bereits Speisereste aus dem Raum Wien behandelt, durchgeführt.

Die kontinuierlichen Versuche haben gezeigt, dass die untersuchten Bioabfälle sehr gut geeignete Substrate für die anaerobe Vergärung darstellen. Eine Biogasausbeute bei einer Vergärungstemperatur von 35°C mit durchschnittlich 0,440 m³ kg_{CSB}⁻¹ aus Speiseresten und 0,530 m³ kg_{CSB}⁻¹ aus Marktabfällen, sowie ein Methangehalt von über 70 % sind ein deutlicher Beleg für den hohen anaerob abbaubaren organischen Anteil dieser Ausgangsmaterialien. Die auf Frischmasse bezogene Biogasausbeute liegt für beide Substrate bei etwa 170 m³ t⁻¹. In Tab. 1 sind die wichtigsten Parameter, die während der kontinuierlichen Gärversuche ermittelt wurden, angeführt.

Tab. 1: Zusammenfassung der wichtigsten Verfahrensparameter der kontinuierlichen Laborversuche

	Speisereste	Marktabfälle	Einheit
Biogasausbeute (35°C)			
bezogen auf CSB	0,44	0,53	m ³ kg _{CSB} ⁻¹
bezogen auf OTS	1,1	1,328	m ³ kg _{OTS} ⁻¹
bezogen auf Frischmasse (ca. 80% H ₂ O)	170	170	m ³ t ⁻¹
Biogaszusammensetzung			
Methan	72	70	[% v/v]
Kohlendioxid	28	30	[% v/v]
Schwefelwasserstoff	0,32	–	[% v/v]

Der hohe Methangehalt im Biogas, der für eine energetische Verwertung wesentlich ist, lässt auf einen hohen Fett- und Proteinanteil im Substrat schließen.

Die Biogastechnologie leistet als erneuerbare Energiequelle einen Beitrag zur Reduzierung des Einsatzes fossiler Energie und schließt Kreisläufe durch die Verwertung von organischen Abfällen. Die Kreislaufführung darf allerdings nicht zur Schadstoffanreicherung führen – es sind daher die entsprechenden Richt- oder Grenzwerte einzuhalten.

Der Faulschlamm wurde auf seinen Wert- bzw. Schadstoffgehalt untersucht. Um den Faulschlamm bezüglich Tauglichkeit im Landschaftsbau oder in der Landwirtschaft zu beurteilen, wurde die Qualität mit der bestehenden österreichischen Gesetzeslage verglichen. Es zeigte sich, dass der Gärrückstand durch eine optimale Behandlung und Verwertung in die Landwirtschaft oder in den Landschaftsbau zurückgeführt werden kann, um dadurch den Stoffkreislauf zu schließen.

Bei der Realisierung einer Großanlage sollten die unterschiedlichen verfahrenstechnischen Varianten in der Anaerobtechnologie, die am Markt bereits erhältlich sind, genauer untersucht werden. Vor allem der Substrataufbereitung sollte große Beachtung geschenkt werden, da in der Praxis die Speisereste oder Marktabfälle mit einem höheren Trockensubstanz- und höheren Störstoffgehalt anfallen, als es bei den durchgeführten Laborversuchen der Fall war.

Der Biogasprozess stellt für die Behandlung von energiereichen, stark wasserhaltigen und pastösen Abfallströmen aus Kommunen eine effiziente Behandlungsmethode dar. Kosten für den technischen Aufwand einer Vergärungsanlage können unter gleichzeitiger Produktion von Energie (Verwertung von Biogas) minimiert werden. Biogene Abfälle, die für eine Kompostierung schlecht

geeignet sind bzw. deren illegale Entsorgung (z.B. über das Kanalsystem) Kosten für die Kommune bedeuten, können durch Umwandlung in Biogas als erneuerbare Energieträger genutzt werden.

Um ein klares Gesamtkonzept für die anaerobe Behandlung von biogenen Stoffströmen einer Kommune entwickeln zu können, sollte auch eine vernünftige Verwertungsstrategie für den Gärrückstand überlegt werden.

1 Allgemeines

Die Biogastechnologie (Anaerobtechnologie) wurde bereits Anfang des 20. Jahrhunderts gezielt für die Behandlung von Abwässern und Schlämmen eingesetzt. Als positiver Begleiteffekt wird dabei mehr als 90% des abgebauten organischen Materials in verwertbares Biogas umgesetzt.

Durch bestimmte gesetzliche Rahmenbedingungen, die die Förderung dieser Technologie bedingen, stieg die Anzahl von anaeroben Behandlungsanlagen in Europa in den letzten drei Jahren stark an. Prinzipiell ist eine große Zahl organischer Nebenprodukte und Abfälle aus Landwirtschaft, Kommunen und Industrie für die Verarbeitung in Biogasanlagen geeignet. Durch Veränderungen bei Abfallsammelsystemen und beim Konsumverhalten werden Kommunen mit jährlich steigenden biogenen Stoffströmen konfrontiert. Vor allem der hohe Wassergehalt derartiger biogener Stoffe führt während des Kompostierungsprozesses zu großen Schwierigkeiten und dadurch zu erhöhten Behandlungskosten. Daher stellt der Anaerobprozess eine interessante biotechnologische Verwertungsmöglichkeit für Speisereste, Marktabfälle und Bioabfälle mit einem hohen Wassergehalt dar (s. Abb. 1).

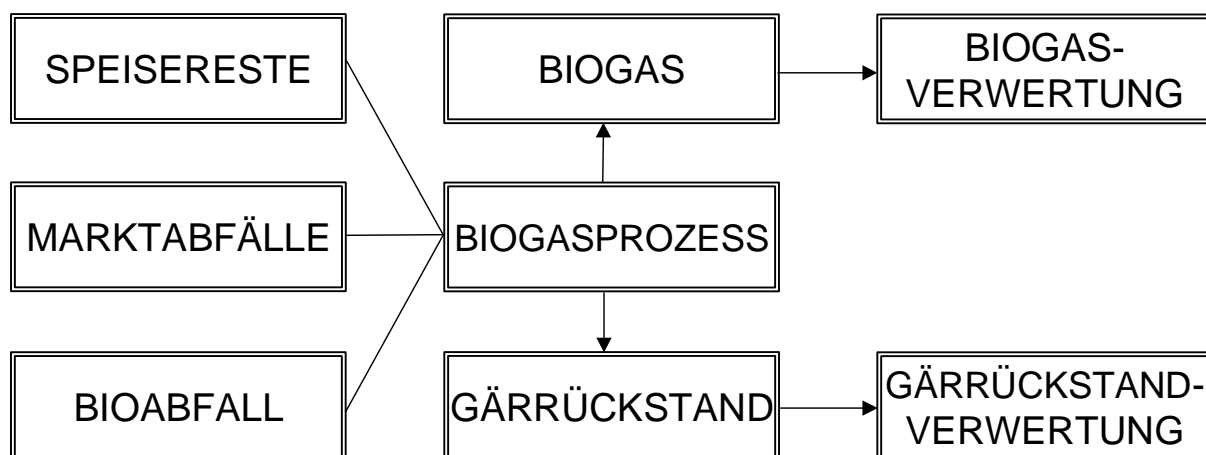


Abb. 1: Schema für die Behandlung kommunaler biogener Abfallströme

Laut einer Studie des Umweltbundesamtes (Angerer et al.; 2002) beträgt das verfügbare Potential für die Stoffströme bei Speiseresten, Obst- und Gemüseabfällen und biogenen Abfällen aus der Lebensmittelindustrie in Wien jährlich ca. 30.000 Tonnen. Die anaerobe Behandlung dieser organischen Abfälle wäre ein Beispiel für die technische Intensivierung natürlicher Stoffkreisläufe unter gleichzeitiger

Energiegewinnung. Trotz Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik für die Behandlung organischer Abfälle in den letzten Jahren wird sehr oft auf die mikrobiologischen Prozessparameter vergessen. Es gestaltet sich sehr schwierig, Daten über Vergärungsanlagen, welche Speisereste oder Marktabfälle als einziges Substrat verwerten, zu beziehen. Weiters wird die Zusammensetzung der zu verwertenden Substrate von verschiedenen Parametern (Sammelsystem, Konsumverhalten, geographische Lage) bestimmt und ist dadurch mit bereits untersuchten Ausgangsstoffen für die anaerobe Vergärung sehr schwer vergleichbar. Da am Anaerobprozess verschiedene Mikroorganismen beteiligt sind, ist es von großer Wichtigkeit, die optimalen Betriebsparameter für das zu verwertende Substrat zu evaluieren.

Dieses Kooperationsprojekt zwischen der MA 22, MA 48 und der Wiener Umweltschutzbehörde (WUA), das vom IFA-Tulln durchgeführt wurde, hatte die Zielsetzungen möglichst kostengünstig und rasch zu untersuchen, ob und wie sehr sich in Wien gesammelte biogene Abfälle - wie Speisereste und Marktabfälle - zur Vergärung und Biogasgewinnung eignen und ob oder wie die aus dem Biogasprozess resultierenden Reststoffe verwertbar sind.

Zum Nachweis der anaeroben Verwertbarkeit (Biogaspotential) der biogenen Abfälle wurden vom IFA-Tulln Laborversuche durchgeführt.

Zur Beurteilung der Verwertbarkeit des Gärrestes wurden durch die MA 22 bzw. MA 48 die Schwermetallgehalte durch entsprechende chemische Analysen überprüft.

Um ein repräsentatives Probenmaterial für die Laborversuche zu erhalten und die durchschnittliche Zusammensetzung der organischen Abfälle aus der Stadt Wien besser bewerten zu können, wurde die Probenahme an der Biogasanlage BIOS1 (Betreiber: Ing. Hubert Schmied), die bereits Speisereste aus dem Raum Wien behandelt, durchgeführt.

Einerseits sollte die Aufbereitung (Störstoffentfernung, Zerkleinerung) der biogenen Stoffströme, die für die anaerobe Abbaubarkeit notwendig ist, simuliert werden und andererseits konnten die Ablaufwerte der Großbiogasanlage mit denen der Laboruntersuchungen verglichen werden.

2 Probenahme

Insgesamt wurden 2 Probenahmen an der Biogasanlage BIOS 1 (Betreiber: Ing. Hubert Schmied) organisiert. Die Probenahme der Speisereste wurde am 4.10.2001, und die der Marktabfälle am 18.4.2002 durchgeführt.

Die Bioabfallvergärungsanlage BIOS 1 ist eine anaerobe Behandlungsanlage, die nach dem Prinzip der Nassvergärung betrieben wird. Der Trockensubstanzgehalt in den Fermentoren beträgt zwischen 4 und 10 %. Die Anlage bestand zum Zeitpunkt der Probenahme der Speisereste aus der Annahmestation, 1 Mischgrube ($V_1 = 30\text{m}^3$), 1 Vorlagebehälter ($V_2 = 160\text{m}^3$) in den die Fettabscheiderinhalte zugegeben werden.

Von dort wird das Substrat über 2 parallel betriebene Biogas-Rohrreaktoren (Volumen jeweils 150m^3) und einem nachgeschalteten Nachfermenter ($V = 1.500\text{m}^3$) geführt. Die Fermentoren werden unter mesophilen Temperaturbedingungen ($35 - 40^\circ\text{C}$) betrieben. Es handelt sich hiermit um eine zweistufige Biogasanlage, die diskontinuierlich betrieben wird. Das bedeutet, dass das Substrat nicht kontinuierlich dem Fermentersystem zugeführt wird. Ein Schema der Anlage ist in Abb. 2 ersichtlich. Es ist zu bemerken, dass die Aufbereitungseinheit zwischen den zwei durchgeführten Probenahmen umgebaut wurde (s. 2.2).

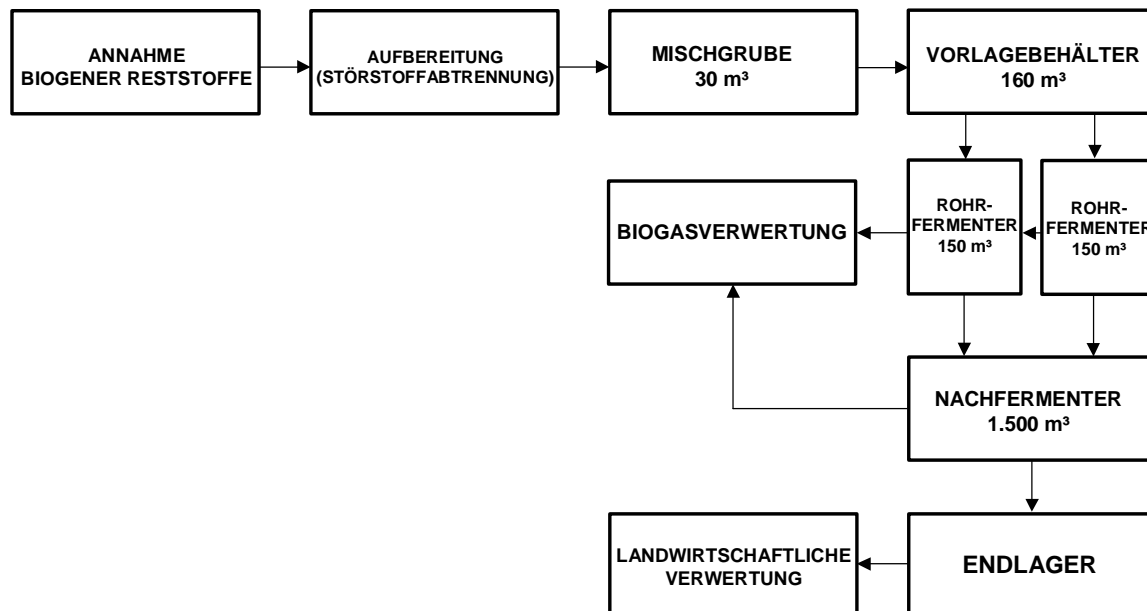


Abb. 2: Schematischer Prozessablauf der Bioabfallvergärungsanlage BIOS 1, Ing. Hubert Schmied, Untergrafendorf, NÖ.

Nach dem Nachfermenter wird der Faulschlamm in das Endlager übergeföhrt und je nach Bedarf für den Ackerbau als Dünger verwendet. Das erzeugte Biogas wird in 2 BHKW (ca. 300 kW elektrische Leistung) verstromt und das anfallende Warmwasser für die Beheizung des Betriebes und der Fermentoren verwendet. In Abb. 4 sind die wichtigsten abwassertechnischen Parameter (TS, OTS, CSB) der jeweiligen Behälterinhalte angeführt. Direkt nach der Annahme der angelieferten Speisereste lag der CSB-Wert bei durchschnittlich 390 g l^{-1} . Dieser Wert sank in der Mischgrube durch die Zugabe von Wasser im Zuge der Aufbereitung. Der Anstieg des CSB-Wertes (280 g l^{-1}) im Vorlagebehälter ist durch Zugabe von Fettabscheiderinhalten erklärbar.

2.1 Probenahme der Speisereste

Die Probenahme erfolgte nach entsprechender Organisation durch die MA 22 und MA 48 am 4.10.2001 durch Mitarbeiter des IFA-Tulln an der Anlage BIOS 1 in Untergrafendorf. Die Verteilung der angelieferten Mengen ist aus Tab. 2 (S.13) ersichtlich. Bei jeder LKW-Anlieferung wurde am Anfang, während und am Ende der Speiserestaufbereitung eine Probe gezogen. Dieser Probenahmeablauf wurde ebenfalls an der Mischgrube durchgeföhrt.



Abb. 3: Zur Vergärungsanlage BIOS 1 angelieferte Speisereste mit Störstoffen

Es war zu beobachten, dass die Speisereste, welche im Rahmen des von BIOS 1 organisierten Sammelsystems gesammelt wurden, einen erheblich geringeren

Störstoffanteil (Plastikteile, Metallstücke, Glas, etc.) aufwiesen (s. Abb. 3) als die von privaten Sammlern angelieferten Bioabfälle.

Am Ende der Probenahme wurden die gezogenen Proben zu einer Sammelprobe zusammengeführt und am IFA-Tulln noch am selben Tag homogenisiert. Die homogenisierten Sammelproben aus der Aufbereitung bzw. aus der Mischgrube wurden zusammengeführt, und die vereinigte Probe diente als Ausgangsmaterial für die Schwermetallanalysen und die Laborversuche am IFA-Tulln (siehe Abb. 4). Weiters ist zu bemerken, dass das Ausgangsmaterial für die Laborversuche im Verhältnis von 1:4,5 verdünnt worden ist, woraus ein CSB-Wert von ca. 65 g kg^{-1} resultierte.

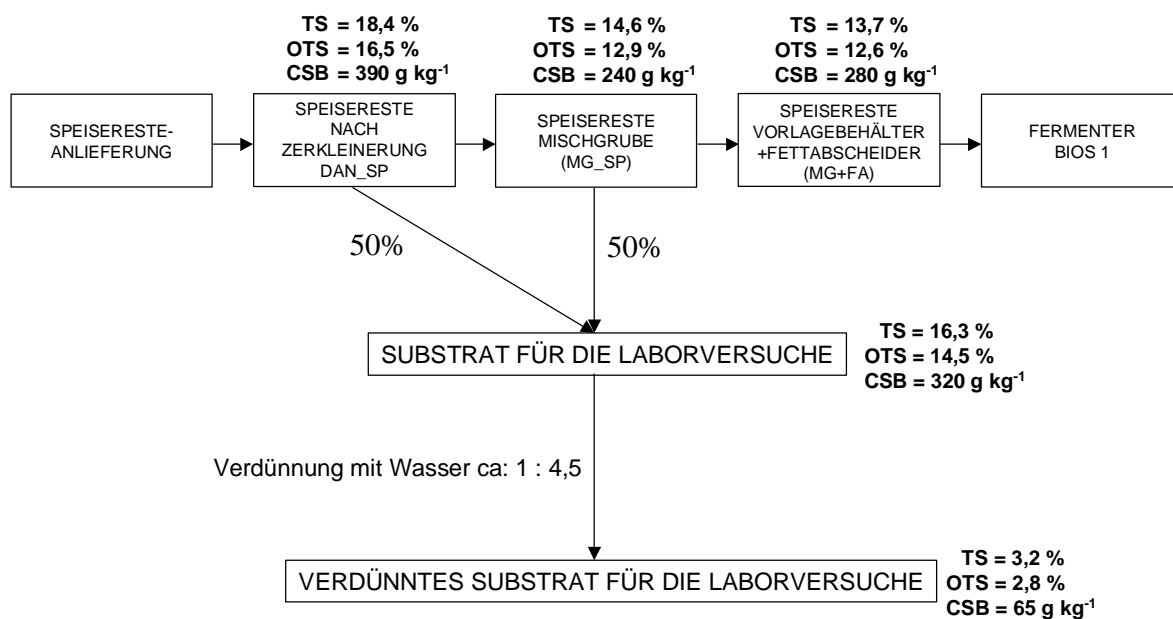


Abb. 4: Herkunft und Aufbereitung des Ausgangsmaterials (Speisereste) für die Schwermetallanalyse und Laborversuche

2.2 Probenahme der Marktabfälle

Zur Biogasanlage BIOS 1 wurden 10 Container (V = 240 Liter) mit Marktabfällen angeliefert und aufbereitet. Diese Abfallströme stammen vom Großgrünmarkt Inzersdorf, auf dem Sammelmulden (V = 12 m³) vorhanden sind, in denen die nicht auf den Detailmärkten verkaufte Ware entsorgt wird. Die Sammlung wurde von der

MA 59 beaufsichtigt: Für den Versuch wurden 3 Tage lang 10 Container kontinuierlich befüllt.

Die Probenahme fand unter anderen Voraussetzungen als bei den Speiseresten statt. Im März 2002 wurden Umbauarbeiten an der Aufbereitungseinheit der Biogasanlage BIOS 1 durchgeführt. Somit wurde die Probenahme an einer erst seit 4 Tagen in Betrieb befindlichen Anlage vorgenommen. Dadurch ist der erhöhte Schwermetallgehalt, der in den aufbereiteten Marktabfällen gefunden worden ist (s. Tab. 10) erklärbar. In Abb. 5 und Abb. 6 sind Bilder der Aufbereitungseinheit bzw. der angelieferten Marktabfälle dargestellt.



Abb. 5: Aufbereitungseinheit für Marktabfälle zur anaeroben Behandlung in der Anlage BIOS 1



Abb. 6: Zur Biogasanlage BIOS 1 angelieferte Marktabfälle (das unterste Bild zeigt die Marktabfälle nach der Aufbereitung)

In Abb. 7 ist die Herkunft des Materials für die Laborversuche und der Schwermetallanalytik mit den wichtigsten Abwasserparametern dargestellt.

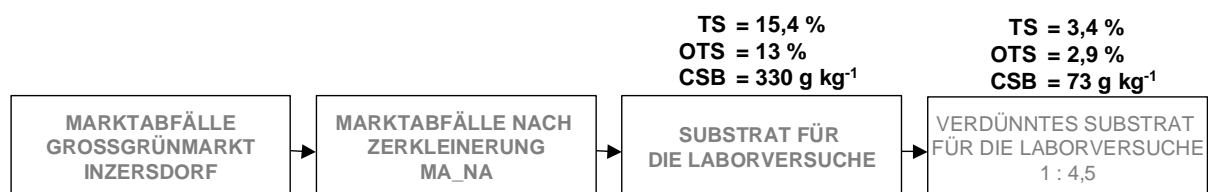


Abb. 7: Herkunft und Aufbereitung der Marktabfälle für die Schwermetallanalyse und Laborversuche

2.3 Zuordnung und Bezeichnung der Proben

Neben den erwähnten Bioabfall-Probenahmen wurden an der Vergärungsanlage BIOS 1 auch Faulschlamm-Proben aus der Biogasanlage BIOS1 (Nachfermenter) gezogen, deren Schwermetallgehalt untersucht wurde. Weiters wurden Proben aus den am IFA durchgeführten Gärversuchen gezogen, um sie ebenfalls auf ihren Schwermetallgehalt zu untersuchen. Die Bezeichnungen der Proben sind in Tab. 3 angeführt.

Tab. 2: Herkunft der Speisereste bei der Probenahme am 4.10.2001 (gemäß MA 22)

Gesamt		
	Summe in Liter	Anteil in %
Gastronomie, Kaffeehäuser	6.525	32
Hotels, Großverpflegungseinrichtung	4.962	24
Krankenhäuser	420	2
Supermärkte	8.433	41
Fettabscheider	360	2
Total	20.700	100

Tab. 3: Bezeichnung und Zuordnung der Proben

Abkürzung	Bezeichnung
DAN_SP	Speisereste Zerkleinerung
MG_SP	Speisereste Mischgrube
MG+FA	Speisereste Vorlagenbehälter + Fettabscheider
MA_NA	Marktabfälle nach Zerkleinerung
MG	Marktabfälle Vorlagenbehälter
SR_AL fest	fester Gärrückstand aus Versuchsgärung (Speisereste) nach der Zentrifugation (9500 rpm,30min)
SR_AL fl.	flüssiger Gärrückstand aus der Versuchsgärung (Speisereste) nach der Zentrifugation (9500 rpm,30min)
MA_AL fest	fester Gärrückstand aus der Versuchsgärung (Marktabfälle) nach der Zentrifugation (9500 rpm,30min)
MA_AL fl.	flüssiger Gärrückstand aus der Versuchsgärung (Marktabfälle) nach der Zentrifugation (9500 rpm,30min)
NF_AL BIOS 1	Nachfermenter Ablauf der Biogasanlage BIOS 1

3 Beschreibung der Untersuchungsmethoden (IFA-TULLN, MA 48, MA 22)

3.1 Allgemeine Bemerkungen zu Batch-Tests und kontinuierlichen Laborversuchen

Da im Batch-Gärtest weder Substratzulauf noch -ablauf erfolgen, ergeben sich folgende Beschränkungen:

- Im Batch-Test wird der Versuchsansatz solange beobachtet, bis längere Zeit kein Biogas mehr entsteht und daher anzunehmen ist, dass die gesamte abbaubare organische Substanz des Substrates in Biogas umgewandelt wurde. Man kann dadurch aus dem Verlauf der kumulativen Gasproduktion Schlüsse über die anaerobe Faulfähigkeit des Substrates ziehen, kaum aber über die tatsächliche tägliche Gasausbeute bei einer bestimmten Verweilzeit bzw. Raumbelastung im Rahmen eines kontinuierlichen Betriebes einer Vergärungsanlage.
- Es ist im einfachen Batch-Test nicht möglich, störende Faktoren, die sich
 - aus der Anreicherung inhibierender / toxischer Substanzen, die mit dem Substrat eingebracht werden,
 - durch Akkumulation von inhibierenden / toxischen Metaboliten (NH_3 , H_2S) oder
 - durch Veränderung der Raumbelastungergeben, zu erfassen.
- Der Batch-Gärtest wird unter optimalen Bedingungen (Temperatur, Durchmischung, Nährstoffversorgung usw.) durchgeführt. Es nicht möglich, das Zusammenwirken zwischen einem speziellen Anaerobverfahren (z. B. Anaerobfilter, Kontaktprozess usw.) und einem bestimmten Substrat zu untersuchen. Limitierungen, die unter realen Prozessbedingungen auftreten, wie zum Beispiel Schwimmdecken- oder Sinkschichtenbildung, Mangel an essentiellen Nährstoffen usw., können im Batch-Gärtest nicht erfasst werden.

Die Wirkungen solcher Effekte sind nur mit (semi-)kontinuierlich geführten Labor- oder Pilotversuchen zu klären, was auch Aufgabe dieser Untersuchung war.

3.1.1 Batch-Gärtests

Die Batch-Gärtests wurden als Parallelversuch ausgeführt.

Diese Tests, welche nach DIN 38414 modifiziert sind, wurden mit den Speiseresten durchgeführt um etwaige Probleme, die während der kontinuierlichen Laborversuchen auftreten können abklären zu können. Aufgrund des positiven Betriebs der Laborreaktoren wurde bei der Untersuchung der Marktabfälle darauf verzichtet. Die Tests werden in einer verschlossenen ($V = 2 \text{ l}$), mittels Magnetrührer gerührten, lichtundurchlässigen Steilbrustflasche bei $35 \text{ }^\circ\text{C}$ durchgeführt (Abb. 8). Das Reaktionsgefäß ist über einen gasdichten Schlauch mit einer Gasmessflasche (angesäuertes Wasser) und einer Mensur verbunden.

Zur Beimpfung wird das Reaktionsgefäß zu Beginn des Versuches mit 1100 ml Faulschlamm eines bereits am Institut vorhandenen, adaptierten Impfschlammes befüllt (ausgefaulter Schlamm des Nachfermenters der Anlage BIOS 1 und einer landwirtschaftlichen Biogasanlage in der Steiermark) und mit Wasser auf 1,9 l aufgefüllt. Die Einwaage des Substrats (unverdünntes Substrat für die Laborversuche, $CSB = 320 \text{ g kg}^{-1}$) betrug ca. 4 g.

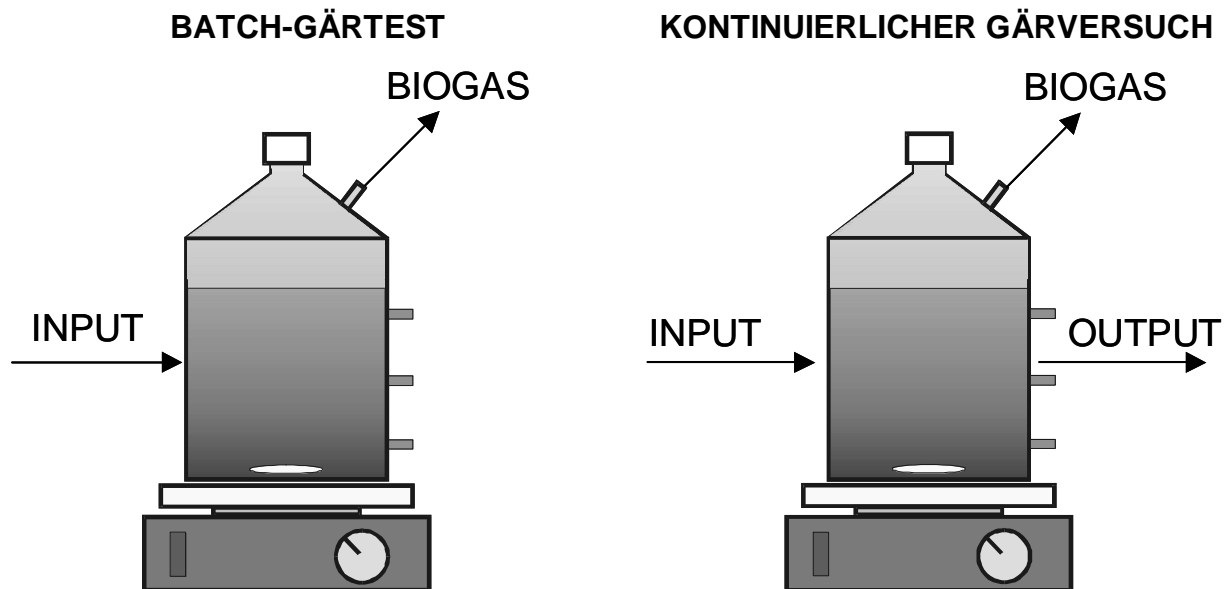


Abb. 8: Gegenüberstellung des Prinzips von Batch- Gärtest (links) und kontinuierlichem Gärversuch (rechts).

3.1.2 Kontinuierlicher Laborversuch

Der kontinuierliche Laborversuch wurde wie der Batchtest als Parallelversuch bei einer Temperatur von 35°C durchgeführt. Es wurden zwei voneinander unabhängige Fermentoren mit der jeweils gleichen Menge des Substrates (gleiche Raumbelastung) betrieben. Dem Reaktor wurde von Montag bis Samstag täglich Substrat zugeführt (Menge in Abhängigkeit von der jeweiligen Raumbelastung). Die gleiche Volumsmenge wurde dem Reaktor jeweils wieder entnommen. Diese kontinuierliche Betriebsweise entspricht dem allfälligen späteren Betrieb einer technischen Vergärungsanlage.

Während mindestens einer Verweilzeit (32 Tage) wurde jeweils die Substratkonzentration im Zulauf konstant gehalten (Raumbelastung $2 \text{ g}_{\text{CSB}} \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Daraus konnte die kontinuierliche Gasausbeute ($\text{m}^3 \text{ kg}_{\text{CSB}}^{-1}$) über die tägliche CSB-Fracht berechnet werden. Im Gegensatz zu den Batch-Tests (Speisereste) wurde das Ausgangssubstrat für die kontinuierlichen Laborversuche verdünnt (s. Abb. 4, S. 10 und Abb. 7, S. 12).

3.2 In der MA 22 durchgeführte Analysen

3.2.1 Analysenmethode

3.2.1.1 Feste und „schlammige“ Proben

Da bei der Trocknung bei 105°C die Gefahr besteht, dass leicht flüchtige Schwermetallverbindungen (Hg, Cd) entweichen, wurden die Proben für die Analyse bei ca. 60°C getrocknet. Der nachfolgende Säureaufschluss (Mikrowelle) und die Analytik der Schwermetalle (Mengenangabe in mg kg^{-1}) mittels ICP-MS, sowie die Bestimmung des Glühverlustes (Angabe in %) wurden direkt aus der getrockneten Probe bestimmt. Die Resultate können somit als „bezogen auf Trockensubstanz (TS)“ angesehen werden.

Für die Bestimmung des Feststoffgehaltes (Angabe in %) wurde ein weiterer Teil der Originalprobe bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

3.2.1.2 Flüssige Probe

Bei der flüssigen Probe aus der Versuchsgärung wurde ein definiertes Volumen der überbrachten, unfiltrierten Probe einem Säureaufschluss (Mikrowelle) unterzogen und daraus ebenfalls mittels ICP-MS die Schwermetalle (Angabe in mg l^{-1}) analysiert. Für die Bestimmung des Feststoffgehaltes (Angabe in %) wurde ein weiterer Teil der Originalprobe bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

3.3 In der MA 48 durchgeführte Analysen

3.3.1 Analysenmethoden

Abweichend zur Vorgangsweise der MA 22 wurden die Proben einem offenen Königswasseraufschluss unterzogen. Die anschließenden Schwermetallanalysen erfolgten mit einer AAS. Die Ergebnisse der Festproben wurden auf Trockensubstanz bezogen (mg kg^{-1}) die Ergebnisse der Flüssigproben wurden in mg l^{-1} angegeben.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Speisereste-Vergärung

4.1.1 Charakterisierung des Substrats

In Tab. 4 ist die Substratanalyse der Speisereste dargestellt, die vom IFA-Tulln durchgeführt wurde. Es sind die wichtigsten abwassertechnischen Parameter der Speiserestemischung (unverdünnt und verdünnt 1:4,5), die für den Laborversuch verwendet wurden.

Tab. 4: Substratcharakterisierung der Speisereste (unverdünnt und verdünnt 1:4,5)

Parameter	Wert (unverdünnt)	Wert (verdünnt 1:4,5)	Einheit
TS	16,3	3,2	[% w/w]
OTS	14,5	2,8	[% w/w]
CSB	320.000	65.000	[mg kg ⁻¹]
TKN	7.140	1.590	[mg kg ⁻¹]
Ammonium-N	870	190	[mg kg ⁻¹]

In Tab. 5 sind die von MA 22 und MA 48 durchgeführten Analysen der am 4.10.2001 gezogenen Proben gegenübergestellt. Bestimmt wurden Trockensubstanz (TS), Glühverlust (GV) sowie die Schwermetalle Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn.

Tab. 5: Trockensubstanz (TS)-, Glühverlust (GV)- und Schwermetallanalysen (in mg kg⁻¹ TS) der Speisereste durch die MA 22 bzw. MA 48

Magistrats- abteilung	Datum	Probe	TS [%]	GV [%]	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
22	04.10.01	DAN_SP	21,5	83,9	< 0,40	12,9	5,3	< 0,40	1,7	0,59	38,4
48	04.10.01	DAN_SP		89,2	< 1		< 10	< 0,01		< 10	45,5
22	04.10.01	MG_SP	14,1	83,6	< 0,40	37,1	7,1	< 0,40	10,0	1,86	34,3
48	04.10.01	MG_SP		89,1	< 1		< 10	< 0,01		< 10	42,9
22	04.10.01	MG+FA	20,8	81,9	< 0,40	2,1	6,2	< 0,40	0,78	0,95	29,9
48	04.10.01	MG+FA		93	< 1		< 10	< 0,01		< 10	36,3

DAN_SP = (Speisereste nach Zerkleinerung)

MG_SP = (Speisereste Mischgrube)

MG+FA = (Speisereste Vorlagebehälter + Fettabscheider)

4.1.2 Batch-Gärtest der Speisereste

In Abb. 9 ist der zeitliche Verlauf der Biogausausbeute des Batch-Tests ersichtlich. Nach 20 Tagen wurde eine Gasausbeute von $0,397 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ CSB}$ erreicht (entspricht $0,994 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ OTS}$).

Der Unterschied zwischen den zwei Biogausausbeute-Angaben ergibt sich aus den unterschiedlichen Bezugsgrößen CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) bzw. OTS (Organische Trockensubstanz). Die höhere Gasausbeute bezogen auf die organische Trockensubstanz ergibt sich aus der Bestimmungsmethode. Bei der Trockensubstanzbestimmung bzw. bei der Bestimmung des Glühverlustes werden leicht flüchtige Komponenten, wie z.B. flüchtige Fettsäuren nicht erfasst. Diese Komponenten haben aber einen wesentlichen Anteil am Biogasbildungspotential. Das bedeutet beispielsweise, je höher der Fettanteil in einem Ausgangssubstrat, desto höher ist die Differenz zwischen der Biogausausbeute bezogen auf CSB und der Ausbeute bezogen auf OTS. Um genaue, reproduzierbare Kalkulationen durchführen zu können, ist zu empfehlen, mit dem in der Abwassertechnik verwendeten Parameter CSB zu kalkulieren.

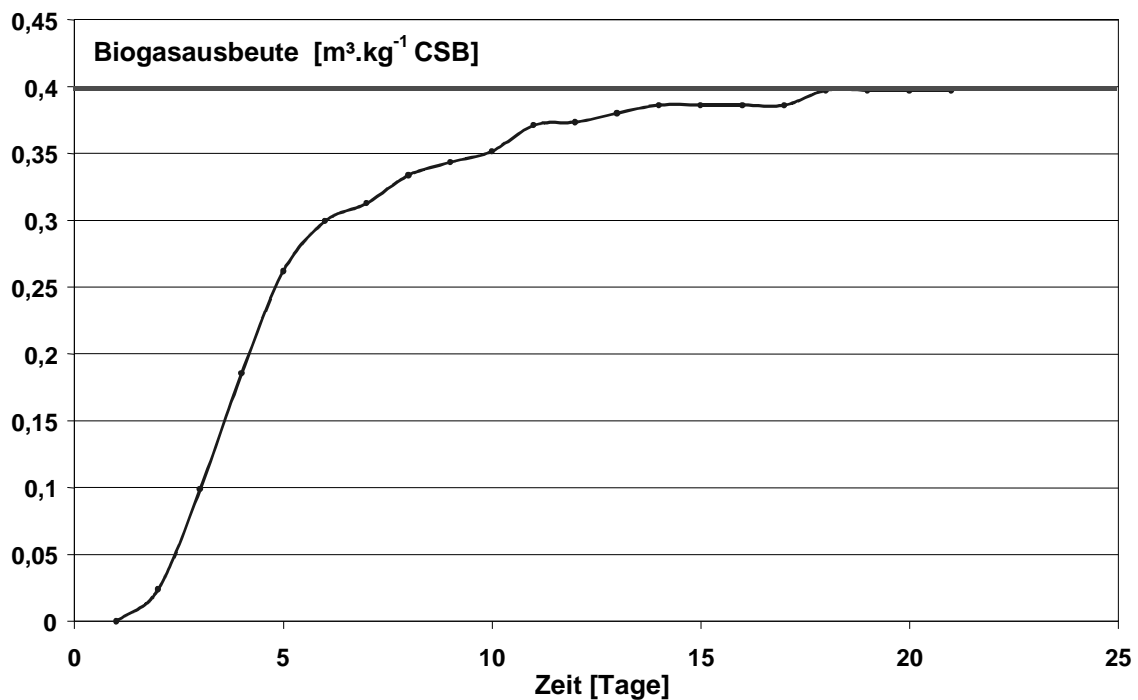


Abb. 9: Zeitlicher Verlauf der Biogausausbeute (35°C) des Speisereste-Batchtests

4.1.3 Kontinuierliche Laborversuche

Für die kontinuierlichen Laborversuche wurde eine Raumbelastung von $2 \text{ g}_{\text{CSB}} \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ angestrebt. Dieser Wert ergibt sich aus Erfahrungswerten, die aus Versuchen mit ähnlich zusammengesetzten Substraten gewonnen wurden. Um eine reproduzier-

bare Manipulation bei den Versuchen zu erreichen (z. B. Befüllung, Mischung etc.) und das Inputmaterial für die Mikroorganismen besser bioverfügbar zu machen, wurde das Bioabfall-Substrat-Gemisch 1 : 4,5 mit Wasser verdünnt (s. Abb. 4, S. 10). In Abb. 10 ist die durchschnittliche, wöchentliche Biogasausbeute bei einer Fermentationstemperatur von 35°C über den Zeitraum von 5 Wochen dargestellt. Der über die gebildete Gasmenge (Gasausbeute) berechnete CSB-Abbau betrug zwischen 80 und 85 %.

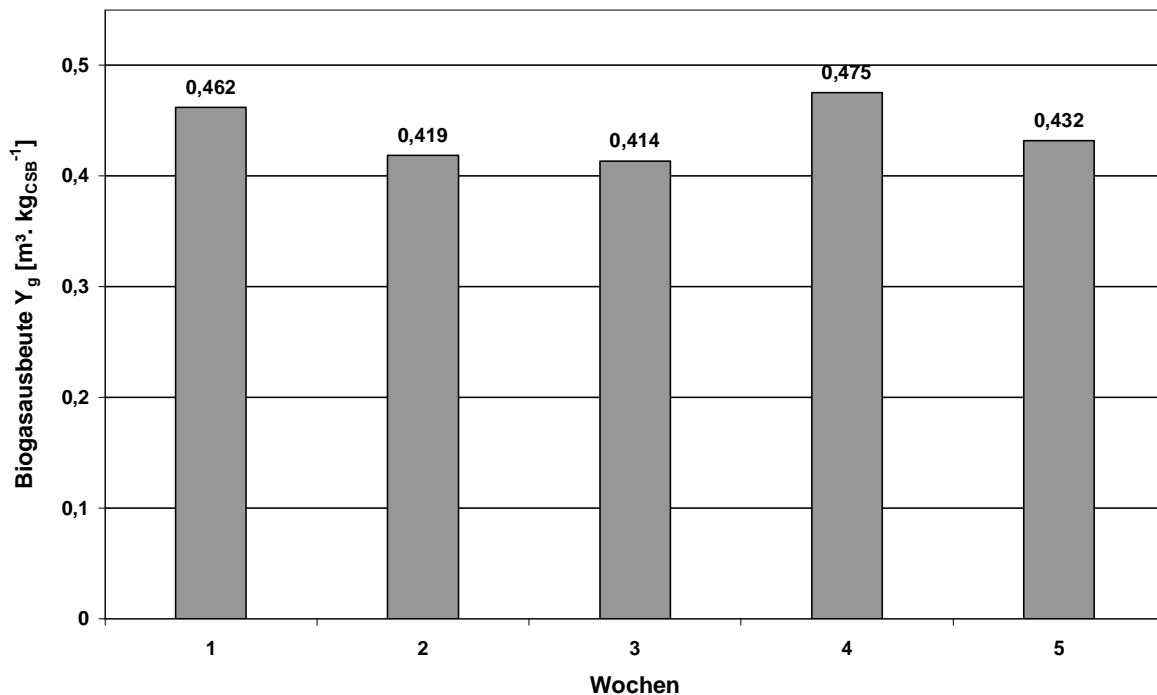


Abb. 10: Die wöchentlich, durchschnittlich ermittelten Biogasausbeuten (35°C) der Speisereste im Zuge der kontinuierlichen Laborversuche (Mittelwerte aus Parallelversuchen)

In Tab. 6 sind die analytischen Untersuchungen des Faulschlammes bei einer Raumbelastung von $2 g_{CSB} l^{-1} d^{-1}$ angeführt. Die Werte sind wöchentliche Durchschnittswerte der kontinuierlichen Laborversuche, die als Parallelversuche betrieben wurden.

Die Biogaszusammensetzung ist von der Substratzusammensetzung abhängig. Bei Ausgangsmaterialien, welche einen hohen Protein- und Fettanteil besitzen, ist der Methananteil im Biogas höher als in überwiegend kohlehydrathältigen Substraten. In Tab. 7 ist der Verlauf der in den kontinuierlichen Gärversuchen registrierten Biogaszusammensetzung angeführt. Ein Methananteil zwischen 69 und 72 % ist ein eindeutiger Hinweis auf einen hohen Protein- und Fettanteil der Speisereste.

Tab. 6: Analysen des Faulschlammes aus der semikontinuierlichen Vergärung von Speiseresten (wöchentlich ermittelte Durchschnittswerte aus einem Parallelversuch)

	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5
pH	7,58	7,50	7,62	7,96	7,48
TS [% w/w]	1,2	1,3	1,3	1,3	1,1
oTS [% w/w]	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
CSB [mg kg ⁻¹]	17.400	18.500	14.700	17.800	15.000
Essigsäure [mg l ⁻¹]	100	160	210	340	390
Propionsäure [mg l ⁻¹]	650	1.180	1.880	990	540
TKN [mg kg ⁻¹]	1.270		1.620		1.590
Ammonium-N [mg kg ⁻¹]	1.150	1.200	1.109	1.200	1.220

Tab. 7: Die durchschnittliche wöchentliche Biogaszusammensetzung der Laborversuche (Speisereste)

Woche	1	2	3	4	5
Methan [%]	71	73	69	71	72
Kohlendioxid [%]	29	27	31	29	28
Schwefelwasserstoff [%]	0,33	0,25	0,28	0,30	0,32

4.1.4 Analysen des Faulschlammes (Speisereste)

Tab. 8: Schwermetallgehalte (in mg kg⁻¹ TS) des Faulschlammes der Laborversuche (Speisereste)

Magistrats- abteilung	Datum	Probe	TS [%]	GV [%]	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
48	17.01.2002	SR_AL fest		65,7	< 1		127,3	0,1		10,7	645,5
22	17.01.2002	SR_AL fest	11,7	70,8	0,63	113	139	2,4	56,7	11,7	691
48	17.01.2002	SR_AL flüssig*			< 0,1		< 1	< 0,001		< 1	0,07
22	17.01.2002	SR_AL flüssig*	0,5	n.nb	< 0,40	0,65	0,51	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40

* Angabe in [mg l⁻¹]

SR_AL fest = fester Gärrückstand aus Versuchsgärung nach Zentrifugation

SR_AL flüssig = flüssiger Gärrückstand aus Versuchsgärung nach Zentrifugation

In Tab. 8 sind die Analyseergebnisse – durchgeführt von der MA 22 und der MA 48 – bezüglich Schwermetallgehalt angeführt. Dabei handelt es sich um die Analyseergebnisse der Schwermetalluntersuchungen des Faulschlammes aus den kontinuierlichen Laborversuchen am IFA-Tulln. Dazu wurde die aus zwei Wochen Versuchsbetrieb angefallene Faulschlammmenge zu einer Sammelprobe zusammengeführt und zentrifugiert (9500 rpm, 30min). Durch Zentrifugation erhielt man eine flüssige Phase (SR_AL flüssig) mit einem Trockensubstanzgehalt von ca. 0,5 % und einen festen Rückstand (SR_AL fest) mit einem TS-Gehalt von ca.11 %.

4.2 Ergebnisse der Marktabfälle-Vergärung

4.2.1 Charakterisierung des Substrats

In Tab. 9 ist die Substratanalyse der Marktabfälle, die vom IFA-Tulln durchgeführt wurde, dargestellt (s. Abb. 7, S. 12). Analysen bezüglich der Schwermetallkonzentration im Substrat sind in Tab. 10 angeführt. Hierbei fallen die hohen Werte von Chrom und Nickel im Substrat auf. Diese könnten durch Metallreste von Schweißarbeiten, welche 4 Tage vor der Probenahme an der in Edelstahl ausgeführten Aufbereitungseinheit (Biogasanlage BIOS1) durchgeführt wurden, verursacht worden sein. Weiters war festzustellen, dass bei den angelieferten Marktabfällen keine Störstoffabtrennung vorgenommen werden musste.

Tab. 9: Substratcharakterisierung der Marktabfälle (unverdünnt und verdünnt 1:4,5)

Parameter	Wert (unverdünnt)	Wert (verdünnt 1:4,5)	Einheit
TS	15,3	3,4	[% w/w]
OTS	13,0	2,9	[% w/w]
CSB	332.000	73.000	[mg kg ⁻¹]
TKN	6.505	1.590	[mg kg ⁻¹]
Ammonium-N	812	200	[mg kg ⁻¹]

Tab. 10: Schwermetallanalyse von Marktabfall-Proben (in mg kg⁻¹ TS), durchgeführt von der MA 22

Probe	TS[%]	GV (550°C)	Cd	Cr	Cu*	Hg	Ni*	Pb	Zn
MA_NA	17,6	70,7	< 0,40	183	25,2	< 0,40	82,3	14,8	66,7
MG+FA	23,2	70,0	< 0,40	5,6	17,7	< 0,40	3,4	1,8	34,9

* = möglicher erhöhter Schwermetalleintrag durch neues Aufbereitungssystem der Biogasanlage BIOS 1

MA_NA = Marktabfälle nach Zerkleinerung

MG+FA = Marktabfälle Vorlagenbehälter

4.2.2 Kontinuierliche Laborversuche

Zur Befüllung der semikontinuierlichen Laborversuche wurde das in Tab. 9 charakterisierte Ausgangsmaterial (verdünnt 1:4,5) verwendet (s. 4.1.3). Wie bei den Speiseresten wurde versucht eine Raumbelastung von 2 g_{CSB} l⁻¹ d⁻¹ zu erreichen. Die CSB-bezogene Raumbelastung B_{R-CSB} wurde schrittweise, wie in Tab. 11 dargestellt, von 0,73 auf 2 g_{CSB} l⁻¹ d⁻¹ erhöht. Die damit korrespondierende Erhöhung der Raumbelastung bezogen auf die OTS (B_{R-OTS}) kann ebenfalls der Tabelle entnommen werden.

Tab. 11: Steigerung der Raumbelastung im Zuge der Laborversuche

Periode	Dauer [d]	B _{R-CSB} [g _{CSB} l ⁻¹ d ⁻¹]	B _{R-OTS} [g _{OTS} l ⁻¹ d ⁻¹]
Tag 0–13 Einfahrbetrieb	14	0,7	0,3
Tag 14–51 / Woche 1–5	38	1,5	0,6
Tag 52–75 / Woche 6–9	24	2,0	0,8

Die in Tab. 11 zuletzt angeführte Raumbelastung wurde einerseits aufgrund von Erfahrungswerten und andererseits basierend auf der Raumbelastungswahl der Speisereste-Vergärung eingestellt. Der verfahrenstechnische Unterschied zur Speiserestevergärung ergab sich aus der Befüllung der Reaktoren. Da es beim „Hochfahren“ der Versuche zu einer nicht effektiven Abbaurate des Substrates kam, wurde versucht, die Biomasse im System anzureichern, um dadurch die Abbaurate zu steigern. Es wurde während des Versuchszeitraumes vor der Entnahme des Faulschlammes der Reaktor über 6 Stunden nicht durchgerührt. Durch diese Verfahrensweise wurde nur der Überstand des Reaktorinhaltes abgezogen und absetzbare Feststoffe (ein Teil davon in Form von Biomasse) reicherten sich im Reaktor an. Dies führte zu einer Verbesserung der Umsatzgeschwindigkeit des zugeführten Substrats.

In Abb. 11 ist die durchschnittliche, wöchentliche Biogasausbeute über den Zeitraum von 9 Wochen dargestellt. Der über die gebildete Gasmenge (Gasausbeute) berechnete CSB-Abbau betrug zwischen 81 und 96 %. Das Verhältnis Methan : Kohlendioxid von 70 : 30 veränderte sich während des semikontinuierlichen Laborversuches kaum, Schwefelwasserstoffbildung konnte – im Gegensatz zur anaeroben Behandlung von Speiseresten – im gesamten Versuchsverlauf nicht nachgewiesen werden. Die Ursachen für das Ausbleiben der Schwefelwasserstoffentwicklung können einerseits auf ein weitgehendes Fehlen schwefelreicher Verbindungen im Substrat (Marktabfälle), andererseits auf Ausfällung des Schwefelwasserstoffes in Form von Schwermetallsulfiden im Fermenter zurückgeführt werden.

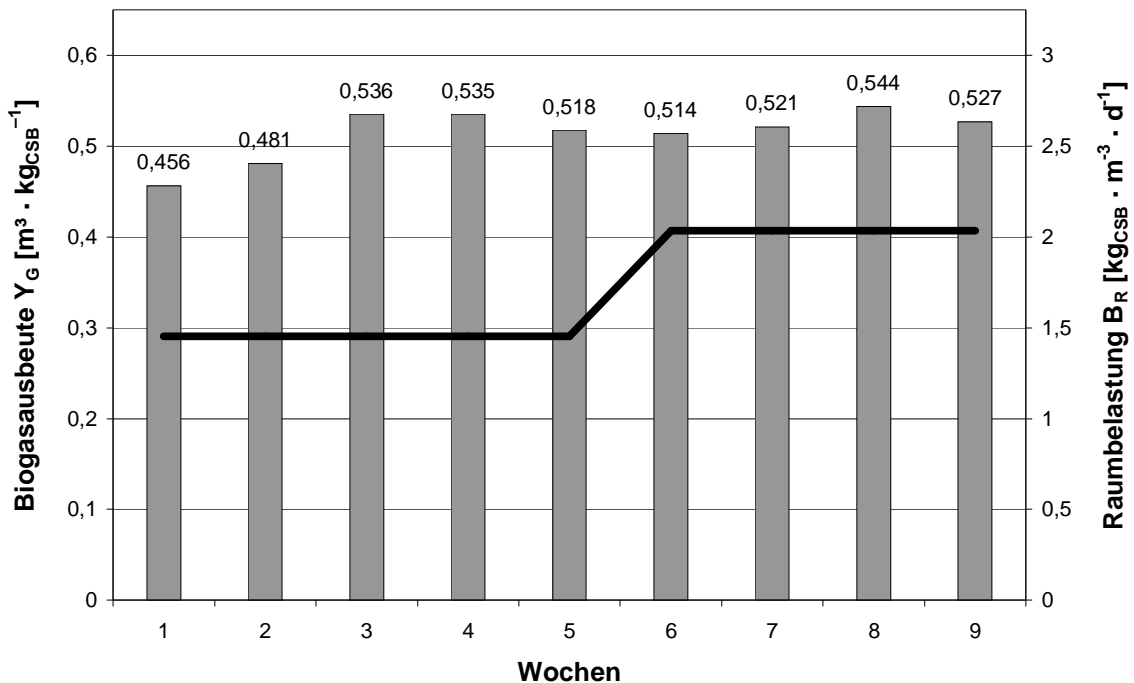


Abb. 11: Wochendurchschnitt der Biogasausbeute (35°C) aus der semikontinuierlichen Vergärung von Marktabfällen bei gleichzeitiger Darstellung der Raumbelastung

In Tab. 12 sind die analytischen Parameter des Faulschlammes bei einer Raumbelastung von 1,5 (Woche 1–4) bzw. 2,0 $g_{CSB} l^{-1} d^{-1}$ (Woche 8) angeführt. Die Werte sind wöchentliche Durchschnittswerte der kontinuierlichen Laborversuche, die als Parallelversuch betrieben wurden.

Tab. 12: Analysen des Faulschlammes aus der semikontinuierlichen Vergärung von Marktabfällen (wöchentlich ermittelte Durchschnittswerte aus einem Parallelversuch)

	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 8
pH	7,29	7,38	7,40	7,50	7,45
TS [% w/w]	1,0	1,1	1,2	1,3	1,2
oTS [% w/w]	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
CSB [mg kg ⁻¹]	10.500	11.800	13.800	11.400	11.700
Essigsäure [mg l ⁻¹]	0	22	31	0	40
Propionsäure [mg l ⁻¹]	0	0	0	0	0
TKN [mg kg ⁻¹]	270	694	826	990	1.200
Ammonium-N [mg kg ⁻¹]	153	373	464	515	630

4.2.3 Analysen des Faulschlammes (Marktabfälle)

Wie bei den Speiseresten wurde der Faulschlamm aus den Laborversuchen von mehr als einer Woche gesammelt und zentrifugiert (9500 rpm, 30min). Das Zentrifugat und der Überstand wurden auf ihren Schwermetallgehalt untersucht (s.Tab. 13). Diese Analysen wurden vom IFA-Tulln durchgeführt. TS-Gehalt von Zentrifugat und Überstand sind ebenfalls dieser Tabelle zu entnehmen.

Tab. 13: Schwermetallanalyse des Faulschlammes (in mg kg⁻¹ TS) der Laborversuche (Marktabfälle)

Datum	Probe	TS [%]	GV [%]	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
17.01.2002	MA_AL fest	11,3	59,8	n.nb	71,91	197	136	57	834
17.01.2002	MA_AL flüssig*	0,6		n.nb	n.nb	0,06	0,47	n.nb	n.nb

* Angabe in [mg l⁻¹]

SR_AL fest = fester Gärrückstand aus der Versuchsgärung nach der Zentrifugation

SR_AL flüssig = flüssiger Gärrückstand aus der Versuchsgärung nach der Zentrifugation

4.3 Begleitende Untersuchung der Biogasanlage BIOS 1

Um Daten von einer Großanlage zu erhalten, bei der bereits ein großer Anteil des Inputs als Speisereste zugeführt wurde, wurden vom Ablauf der Biogasanlage BIOS 1 mehrere Proben gezogen und der Schwermetallgehalt von den beiden Magistratsabteilungen MA 48 und MA 22 analysiert (s.Tab. 14).

Tab. 14: Analyseergebnisse der Schwermetalle in mg kg^{-1} TS des Faulschlammes von der Biogasanlage BIOS 1

Magistrats- abteilung	Datum	Probe	TS [%]	GV [%]	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
48	04.01.2001	NF_AL BIOS 1		71,6	<1		38,7	< 0,01		< 10	224,1
22	04.01.2001	NF_AL BIOS 1	3,3	78,3	< 0,40	11,8	38,6	< 0,40	7,0	13,8	221
48	23.10.2001	NF_AL BIOS 1		71,5	< 1		38,3	< 0,01		< 10	239,5
22	23.10.2001	NF_AL BIOS 1	4,4	80,6	< 0,40	9,8	31,0	< 0,40	6,8	7,0	163
48	03.12.2001	NF_AL BIOS 1		68,1	< 1		63,3	< 0,01		< 10	163,9
22	03.12.2001	NF_AL BIOS 1	5,7	77,0	< 0,40	18,0	76,9	< 0,40	8,9	6,3	152
22	18.04.2002	NF_AL BIOS 1	2,9	74,0	< 0,40	17,4	43,4	< 0,40	9,7	5,0	188

NF_AL BIOS 1 = Nachfermenter

5 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Zum Nachweis der anaeroben Verwertbarkeit (Vergärung) von biogenen Abfällen (Speisereste, Marktabfälle) waren vom IFA-Tulln Gärversuche im Labormaßstab durchzuführen.

Zur Abschätzung der Verwertbarkeit des Gärrestes wurden durch die MA 22 bzw. MA 48 entsprechende chemische Analysen (Schwermetallgehalt u.a.) durchgeführt.

Um ein repräsentatives Probenmaterial für die Laborversuche zu erhalten und die durchschnittliche Zusammensetzung der organische Abfälle, die aus der Stadt Wien kommen, besser bewerten zu können, wurde die Probenahme und das begleitende Anlagenmonitoring an der Biogasanlage BIOS 1 in Untergrafendorf (Betreiber: Ing. Hubert Schmied) durchgeführt.

Die zu untersuchenden Bioabfälle wurden von privaten Entsorgern im Raum Wien bzw. Niederösterreich und der MA 48, nachvollziehbar dokumentiert, gesammelt und im Zuge der routinemäßigen Aufbereitung der Vergärungsanlage BIOS1 aufbereitet. Am IFA-Tulln wurde die Sammelprobe noch weiteren Aufbereitungsschritten (Verdünnung, Zerkleinerung) für die Laborversuche und für die entsprechenden Analyseverfahren (IFA-Tulln, MA22, MA48) unterzogen. Die kontinuierlichen Versuche haben gezeigt, dass die untersuchten Bioabfälle sehr gut geeignete Substrate für die anaerobe Verwertung darstellen. Vor allem der hohe CSB-Abbaugrad ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass diese Materialien anaerob gut zu

Biogas umsetzbar sind. Eine Biogasausbeute von durchschnittlich $0,440 \text{ m}^3 \text{ kg}_{\text{CSB}}^{-1}$ aus Speiseresten und $0,530 \text{ m}^3 \text{ kg}_{\text{CSB}}^{-1}$ aus Marktabfällen sowie ein Methangehalt von über 70 % im produzierten Biogas sind ein weiterer Beleg hierfür. Die auf Frischmasse bezogene Biogasausbeute liegt für beide Substrate bei etwa $170 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. In Tab. 15 sind die Ergebnisse der kontinuierlichen Laborversuche nochmals zusammengefasst.

Tab. 15: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den kontinuierlichen anaeroben Laborversuchen am IFA-Tulln mit Speiseresten und Marktabfällen

	Speisereste	Marktabfälle	Einheit
Biogasausbeute (35°C)			
bezogen auf CSB	0,44	0,53	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}_{\text{CSB}}^{-1}$
bezogen auf OTS	1,1	1,328	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}_{\text{OTS}}^{-1}$
bezogen auf Frischmasse (ca. 80%)	170	170	$\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$
Biogaszusammensetzung			
Methan	72	70	[% v/v]
Kohlendioxid	28	30	[% v/v]
Schwefelwasserstoff	0,32	–	[% v/v]

Der hohe Methangehalt im Biogas lässt auf einen hohen Fett- und Proteinanteil in den untersuchten Substraten schließen. Die Zusammensetzung des Substrats hat wesentlichen Einfluss auf die Biogaszusammensetzung.

In Abb. 12 ist der allgemeine Einfluss der einzelnen Substratkomponenten wie Kohlenhydrate, Fette und Proteine auf den Methan- und Kohlendioxidgehalt dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass bei kohlenhydratreichen Substraten ein niedriger Methangehalt zu erwarten ist. So ist es auch von großer Bedeutung, dass bei einem Großanlagenbetrieb auf eine konstante Zusammensetzung des zugeführten Substrates geachtet wird und eine Voruntersuchung der möglichen eingesetzten Substrate bei einer möglichen großtechnischen Realisierung unerlässlich ist.

5.1 Biologische Verfahrensparameter

Mit einem pH-Wert von durchschnittlich 7,7 und einem Ammoniumstickstoffgehalt zwischen 1.100 mg kg^{-1} und 1.300 mg kg^{-1} konnte in den Gärversuchen bei beiden untersuchten Substraten keine Hemmung festgestellt werden. Bei den in den Versuchen resultierenden pH-Werten zwischen 7,5 und 7,95 kann daher mit einem stabilen Vergärungsprozess gerechnet werden. Etwaige Prozessstörungen sind erfahrungsgemäß erst bei pH-Werten deutlich unter 7 bzw. über pH 8 zu erwarten. Weiters sollte beachtet werden, dass für die Laborversuche das Ausgangsmaterial

verdünnt wurde und somit die Belastung des Reaktor mit einem "sauren" Material geringer war. Wie weit Materialien mit sehr niederem pH-Wert die Fermentation beeinflussen können, wäre noch eine interessante Fragestellung für weitere Untersuchungen.

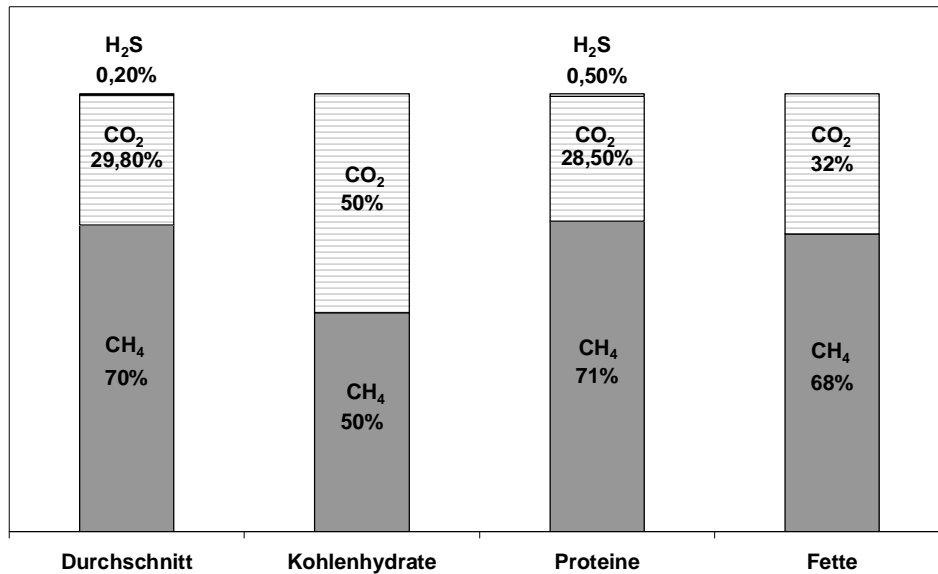


Abb. 12: Einfluss der Substratkomponenten auf die Biogaszusammensetzung (nach DAUBER, 1993)

5.2 Vergleiche mit anderen Ergebnissen

Die ermittelten Daten aus den kontinuierlichen Laborversuchen sind mit Werten aus der Literatur schwierig zu vergleichen. Zum einen waren keine vergleichbaren Daten von kontinuierlichen Pilot- oder Laborversuchen verfügbar, die ausschließlich mit Speiseresten oder Marktäbfällen betrieben worden sind, zum anderen wird in der Literatur die Gasausbeute meist auf die organische Trockensubstanz bezogen. Da bei der organischen Trockensubstanzbestimmung der Anteil an leichtflüchtigen organischen Komponenten nicht erfasst wird, die einen wesentlichen Anteil an der Biogasbildung haben, sollte der Prozess mit dem Abwasserparameter CSB bewertet werden.

In Tab. 16 ist der berechnete Methangehalt der kontinuierlichen Laborversuche mit den Angaben für Speisereste im Merkblatt des ÖKL (1999) sowie mit Ergebnissen eines Versuches zur mesophilen Vergärung von Obst- und Gemüseäbfällen in einem Rohrfermenter (Bouallagui et al., 2002) verglichen. Bei den Vergleichen mit anderen durchgeführten Anaerobversuchen für biogene Abfälle sollte beachtet werden, dass möglicherweise eine andere Substratzusammensetzung vorlag und unterschiedliche Verfahrenstechniken verwendet wurden.

Tab. 16: Vergleich der ermittelten Methan- bzw. Gasausbeuten der Laborversuche mit Daten aus der Literatur

Methanausbeute der kontinuierlichen Versuche am IFA-Tulln	0,780 m ³ Methan kg _{OTS} ⁻¹ (Speisereste) 0,930 m ³ Methan kg _{OTS} ⁻¹ (Marktabfälle)
ÖKL Nr. 65, (1999)	0,500–0,700 m ³ Methan kg _{OTS} ⁻¹
Bouallagui et al. (2002)	0,257–0,452 m ³ Methan kg _{OTS} ⁻¹

Es konnte über den kontinuierlichen Versuchszeitraum von 5 Wochen (Speisereste) bzw. 9 Wochen (Marktabfälle), ebenso wie aus dem über 21 Tage verfolgten Batch-Gärtest von Speiseresten, keine Hemmung des Gärungsverlaufs festgestellt werden. Mit einer Raumbelastung von **2 kg_{CSB} m⁻³ d⁻¹** kann bei der gewählten Substratzusammensetzung aus mikrobiologischer Sicht ein **störungsfreier Betrieb** garantiert werden. Voraussichtlich könnte durch langsame Erhöhung der Raumbelastung und der dadurch allmählichen **Adaption** der Mikroorganismen eine **höhere Raumbelastung** und damit eine höhere Biogasproduktivität (m³ m⁻³ d⁻¹) erreicht werden. Dies ist für die Dimensionierung einer Großanlage wichtig und sollte daher in weitergehenden Untersuchungen genauer abgeklärt werden. Vor allem sollte in zukünftigen **Planungsarbeiten** der **hohe Trockensubstanzgehalt des Ausgangssubstrates** (TS = 18 %) in der Verfahrensauswahl berücksichtigt werden. Hohe Substratverdünnungen, wie sie in den Laborversuchen gemacht wurden, sind im Großbetrieb nicht erstrebenswert und unwirtschaftlich.

Vor allem bei einer möglichen Realisierung einer Großanlage sollten die unterschiedlichen verfahrenstechnischen Varianten in der Anaerobtechnologie in Betracht gezogen werden.

5.3 Schwermetallproblematik

Durch den hohen CSB-Abbaugrad (80 – 96 %) einer Vergärungsanlage ergibt sich eine rein rechnerische Anreicherung der Schwermetalle bezogen auf die geringe, nicht abgebaute Rest-Trockensubstanzmenge im Faulschlamm. Dieser Umstand ist vor allem an den hohen Kupfer- und Zinkkonzentrationen ersichtlich. Im Falle der Kompostierung und dem dabei resultierenden geringeren CSB-Abbaugrad (bzw. OTS-Abbau) erscheint ein rechnerisch, bezogen auf die höhere, unabgebaut gebliebene Trockensubstanz, niedrigerer Schwermetallgehalt. De facto ist jedoch die verbliebene Schwermetallfracht bezogen auf die Frischmasse in beiden Fällen gleich.

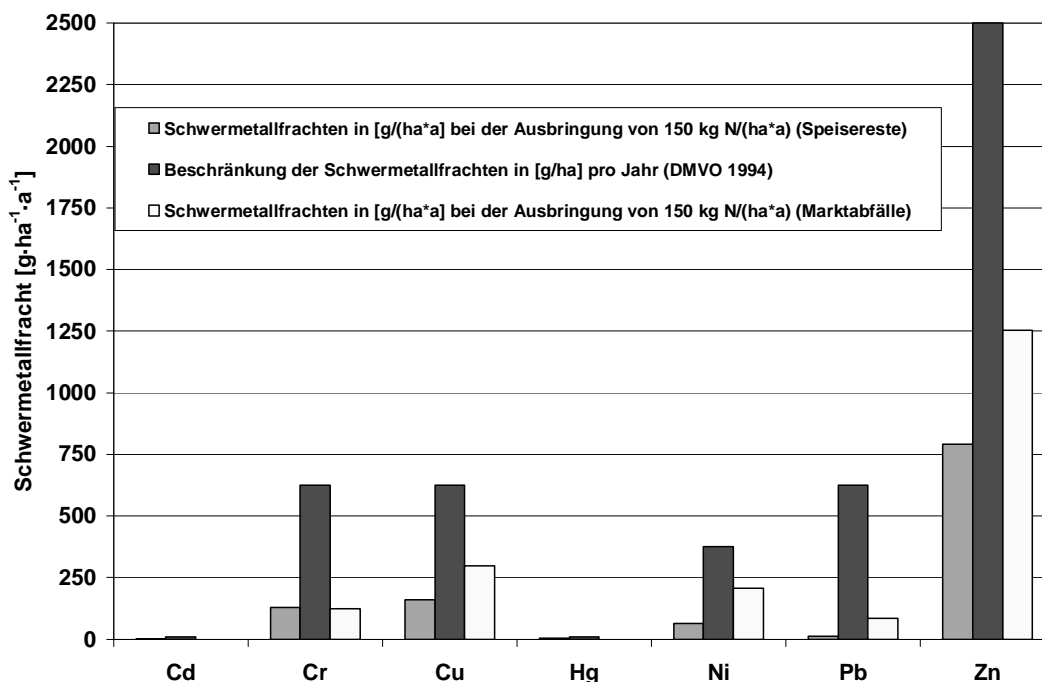


Abb. 13: Schwermetallfrachten der Speisereste und Marktabfälle bezogen auf $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$

In Abb. 13 werden jene Schwermetallfrachten in $\text{g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ dargestellt, die durch Ausbringung von Faulschlamm aus der Vergärung von Speiseresten bzw. Marktabfällen entsprechend einer erlaubten jährlichen Stickstofffracht von $150 \text{ kg}_N \text{ ha}^{-1}$ auf landwirtschaftliche Flächen anfallen würden. Grundlage dafür ist die Nitrat-Richtlinie (EC, 1991), welche die jährliche Ausbringungsmenge von Stickstoff durch Gülle auf $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ beschränkt. In Österreich wird diese Richtlinie durch den „Aktionsplan“ (BMLFUW, 1999) in nationales Recht umgesetzt. Die Grenzwerte für die maximal zulässigen Schwermetallfrachten wurden der Düngemittelverordnung (BMLFUW, 1994) entnommen. Aus der Grafik geht hervor, dass die höchst zulässigen Schwermetallfrachten pro Hektar und Jahr bei der Ausbringung von Faulschlamm aus der anaeroben Behandlung von Speiseresten und Marktabfällen entsprechend einem Äquivalent von $150 \text{ kg Stickstoff ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ **deutlich unterschritten** werden. Diese Berechnung stellt dar, dass der Gärrückstand durch eine optimale Behandlung und Verwertung in die **Landwirtschaft** oder in den **Landschaftsbau** zurückgeführt werden kann, um dadurch den Stoffkreislauf zu schließen.

6 Literatur

Angerer, T.; Grech, H.; Hanauer, J. und Rolland, R. (2002): Erfassung biogener Abfallmengen aus dem Gewerbe und der Lebensmittelindustrie in Wien. *Beiträge zum Umweltschutz*. Heft 69.

BMLFUW (1994): Düngemittelverordnung, BGBl.Nr. 1007/1994. Verordnung, Wien.

BMLFUW (1999): Aktionsplan zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen gem. §55b WRG 1959 BGBl. 215/1959, zuletzt geändert durch BGBl. 155/1999, Wien.

BMLFUW, 2001b: Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland. Hrsg: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien

Bouallagui H., Ben Cheikh R., Marrouani L. und Hamdi M. (2002): Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. *Bioresource Technology*, Article in press.

DAUBER, S. (1993). Einflußfaktoren auf die anaeroben biologischen Abbauvorgänge. In: Böhnke, B., Bischofsberger, W. und Seyfried, C. F. (Hrsg.), *Anaerobtechnik – Handbuch der anaeroben Behandlung von Abwasser und Schlamm*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York.

EC – Europäische Kommission (1991): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (EU-Nitratrichtlinie 91/676 EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 375/1–8, Brüssel.

EC – Europäische Kommission (1991): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (EU-Nitratrichtlinie 91/676 EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 375/1–8, Brüssel.

ÖKL-Merkblatt Nr.65 (1999): Organische Reststoffe für die Cofermentation in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, Schwindgasse 5, 1041 Wien