



Universität für Bodenkultur Wien

Verbreitungsgefahr von Samenunkräutern mit Fermentationsendprodukten landwirtschaftlicher Biogasanlagen

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Diplomingenieurs
an der Universität für Bodenkultur Wien

vorgelegt von

Markus Gansberger

betreut von

Dipl.-HLFL-Ing. Manfred Weinhappel

(AGES – Institut für Saatgut)

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Liebhard

(BOKU - Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung)

Wien, November 2010

Inhaltsverzeichnis

1. SUMMARY / ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1. SUMMARY	1
1.2. ZUSAMMENFASSUNG	2
2. EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	3
2.1. EINLEITUNG	3
2.2. PROBLEMSTELLUNG	4
2.3. ZIELSETZUNG	4
3. AUSGEWÄHLTE LITERATUR.....	6
3.1. GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DER BIOGASERZEUGUNG	6
3.2. BIOGASERZEUGUNG	8
3.2.1. <i>Biogas</i>	8
3.2.2. <i>Fermentationsprozess</i>	9
3.2.3. <i>Aufbau einer Biogasanlage</i>	15
3.2.4. <i>Systembeschreibungen / Verfahrenstechnik</i>	21
3.2.5. <i>Verfahrenstechnische Parameter</i>	23
3.2.6. <i>Substrate und Co-Substrate</i>	26
3.2.7. <i>Fermentationsrückstand</i>	31
3.3. UNKRÄUTER.....	39
3.3.1. <i>Was sind Unkräuter?</i>	39
3.3.2. <i>Beschreibung der ausgewählten Unkrautarten</i>	40
3.4. FRUCHTARTEN	52
4. MATERIAL UND METHODEN.....	53
4.1. STANDORTE.....	53
4.2. AUFBEREITUNG DER AUSGEWÄHLTEN UNKRAUT- UND KULTURARTENSAMEN	54
4.3. VERSUCHSSERIE IM FERMENTER EINER BIOGASANLAGE	55
4.3.1. <i>Einbringung der Proben in den Fermenter</i>	56
4.3.2. <i>Kurzbeschreibung der Biogasanlagen</i>	57

4.4.	LABORVERSUCHE MIT FERMENTATIONSSUBSTRAT	62
4.5.	KEIMFÄHIGKEITSPRÜFUNG.....	63
4.6.	LEBENSFÄHIGKEITSPRÜFUNG	65
5.	ERGEBNISSE.....	67
5.1.	KEIMFÄHIGKEIT VON AUSGEWÄHLTEN UNKRAUTARTEN	67
5.1.1.	<i>Keimfähigkeitsprüfung nach unterschiedlich langer Verweilzeit im Fermentationssubstrat im Labor</i>	<i>67</i>
5.1.2.	<i>Keimfähigkeitsprüfung nach unterschiedlich langer Verweilzeit im Fermenter einer Biogasanlage</i>	<i>72</i>
5.1.3.	<i>Statistische Verrechnung</i>	<i>75</i>
5.2.	KEIMFÄHIGKEIT VON AUSGEWÄHLTEN FRUCHTARTEN	82
5.3.	LEBENSFÄHIGKEIT VON AUSGEWÄHLTEN UNKRAUT- UND FRUCHTARTEN.....	83
6.	DISKUSSION	85
7.	CONCLUSION / SCHLUSSFOLGERUNG	90
7.1.	CONCLUSION.....	90
7.2.	SCHLUSSFOLGERUNG	90
8.	LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS.....	92
9.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	101
10.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	102
11.	TABELLENVERZEICHNIS	106

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich besonders beim Herrn **Dipl. -HLFL- Ing. Manfred Weinhappel** (AGES) für die Bereitstellung des Themas, die gute Zusammenarbeit, die tatkräftige Unterstützung sowie für die hervorragende Betreuung bedanken.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Frau **Dipl.-Ing. Charlotte Leonhardt** (AGES) für die Möglichkeit und das Vertrauen an einem zukunftsorientierten Forschungsprojekt mitzuarbeiten.

Mein besonderer Dank gilt Herrn **Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Liebhard** (BOKU), der mich während meiner Masterarbeit betreut, beraten und unterstützt hat.

Vielen Dank auch an Herrn **Dipl.-Ing. Andreas Ratzenböck** (AGES) für die Hilfestellung bei der Erarbeitung von Keimfähigkeitsprüfungsmethoden und sonstigen fachlichen Rat und an Herrn **Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl Moder** (BOKU) für die Hilfestellung im Rahmen der statistischen Auswertung.

Ich möchte mich auch bei den **Mitarbeitern des Instituts für Saatgut** der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit für die gute Zusammenarbeit sowie für ihre Hilfsbereitschaft bedanken.

Zudem möchte ich Herrn **Dipl.-Ing. Dr. Anton Brandstetter** von der Landwirtschaftskammer Niederösterreich danken. Dankbar bin ich ebenso Frau **Dipl.-Ing. Nina Speta** für ihre Mithilfe während der arbeitsintensiven Zeit, insbesondere beim Ansetzen der Keimfähigkeitsprüfungen.

Danken möchte ich den **Biogasanlagenbetreibern** (Johann Hahn, Reinhard Datler, Michael Planer), dass wir bei Ihren Anlagen die Versuche durchführen konnten und für Ihre hervorragende Mithilfe.

Ein großer Dank gilt meiner **Freundin**, die mir immer tatkräftig zur Seite gestanden ist und mich in meinen Vorhaben immer stärkte.

Meinen **Eltern** bin ich sehr verbunden. Sie haben mich stets unterstützt und zeigten immer großes Interesse an meiner Arbeit.

Last but not least, gilt mein Dank meinen **Freunden**, die mir das Studienleben zu einer wunderbaren Zeit gemacht haben und stets ein offenes Ohr für mich hatten.

1. Summary / Zusammenfassung

1.1. Summary

The output of fermentation end products are often considered to be problematic, when weed seeds have been inserted at biogas plants. Regarding the level of risk at the output of fermentation end products with weed seeds you will find opposing opinions.

For the evaluation of the sanitation degree of problem weed seeds (*Avena fatua*, *Rumex obtusifolius*, *Atriplex patula*, *Bromus sp.*, *Galium aparine*, *Amaranthus sp.*, *Elytrigia repens*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Polygonum lapathifolium*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*) and agricultural crop species (*Zea mays*, *Trifolium pratense*, *Triticum aestivum*) the germination was tested at varying dwell times and different temperatures in a biogas fermenter and under laboratory conditions.

The weed species *Avena fatua*, *Rumex obtusifolius*, *Atriplex patula*, *Bromus sp.*, *Galium aparine*, *Amaranthus sp.*, *Elytrigia repens*, *Echinochloa crus-galli*, *Polygonum lapathifolium*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media* and agricultural crop species *Zea mays*, *Trifolium pratense*, *Triticum aestivum* showed a total loss of germination after a short period in the fermentation substrate. The germination level of all species except for *Chenopodium album* was 0% after one week at about 35°C (mesophilic ambiance), nevertheless after three weeks of exposure *Chenopodium* seeds were no longer germinable. The deterioration of the germination potential was even faster at a temperature of about 50°C in the thermophilic environment. Laboratory tests using Tetrazolium confirmed the total loss of viability, only hard seeds of clover and alfalfa species need a differentiated view.

The sanitation process depends on different parameters, like pH-value, microorganism activity, anaerobic ambiance, mechanical influences, noxious gas concentration as well as the substrate temperature and the dwell time of the seeds in the fermenter.

The **dissemination risk of problem weed species by fermentation end products** can be classified as **extremely low**. Common practice shows that the time of exposure is normally longer and is mostly followed by retention in the final storage for several weeks almost excludes the whole risk of output from germinable seeds.

1.2. Zusammenfassung

Durch das Einbringen von Unkrautsamen in Biogasanlagen wird die Ausbringung von Fermentationsendprodukten häufig als problematisch bewertet. Bezüglich der Risikohöhe bei der Ausbringung von Unkrautsamen mit Fermentationsendprodukten gibt es gegensätzliche Meinungen.

Zur Beurteilung des Hygienisierungsgrades von Problemunkrautsamen wurde die Keimfähigkeit ausgewählter Unkrautarten (*Avena fatua*, *Rumex obtusifolius*, *Atriplex patula*, *Bromus* sp., *Galium aparine*, *Amaranthus* sp., *Elytrigia repens*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Polygonum lapathifolium*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*) und Fruchtarten (*Zea mays*, *Trifolium pratense*, *Triticum aestivum*) nach unterschiedlich langer Verweilzeit und bei verschiedenen Temperaturen im Biogasfermenter und bei Laborbedingungen untersucht.

Die Unkrautarten *Avena fatua*, *Rumex obtusifolius*, *Atriplex patula*, *Bromus* sp., *Galium aparine*, *Amaranthus* sp., *Elytrigia repens*, *Echinochloa crus-galli*, *Polygonum lapathifolium*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media* und die Fruchtarten *Zea mays*, *Trifolium pratense*, *Triticum aestivum* zeigten bereits nach kurzzeitigem Verweilen im Fermentationssubstrat einen vollständigen Verlust der Keimfähigkeit. Alle Arten mit Ausnahme von *Chenopodium album* wiesen nach einer Woche im mesophilen Milieu (ca. 35°C) eine Keimfähigkeit von Nullprozent auf. *Chenopodium album* erwies sich als die widerstandsfähigste Unkrautart. Bei dreiwöchiger Verweilzeit im Fermentationssubstrat kam es einem vollständigen Abbau der Keimfähigkeit. Noch schneller erfolgt die Verminderung der Keimfähigkeit im thermophilen Milieu (ca. 50°C). Durchgeführte Tetrazoliumtests bestätigten den völligen Verlust der Lebensfähigkeit, lediglich harte Samen von Klee- und Luzernearten sind anderes zu bewerten. Verschiedenen Parameter, wie pH-Wert, Mikroorganismenaktivität, anaerobe Verhältnisse, mechanische Einflüsse, Schadgaskonzentrationen sowie die Temperatur des Substrates und die Verweilzeit der Samen im Fermenter sind für den Hygienisierungsverlauf entscheidend.

Das **Ausbreitungsrisiko von Problemunkrautarten durch Fermentationsendprodukte** kann als **äußerst gering** eingestuft werden. In der Praxis kommt es meist zu einer noch deutlich längeren Verweilzeit (insbesondere bei mehrstufigen Anlagen) und zudem folgt meist eine mehrwöchige Lagerung im Endlager, die das Risiko auf Ausbreitung von keimfähigen Unkrautsamen beinahe ausschließt.

2. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

2.1. Einleitung

Die Erzeugung von Energie aus Nutzpflanzen u. a. mittels Biogasanlagen gewinnt regional immer mehr an Bedeutung. In Biogasanlagen werden vor allem Kulturen mit hoher Energieausbeute pro Flächeneinheit verwendet. Dies hat Auswirkungen auf die Fruchtfolge sowie auf die begleitenden Unkrautpopulationen. In der landwirtschaftlichen Produktion fallen fallweise Erntechargen an, die als Lebens- und Futtermittel nur mit hohem finanziellem Reinigungsaufwand oder nicht verwertbar sind. Solche Erntechargen könnten in Biogasanlagen zu Energie umgewandelt werden. Es muss jedoch sichergestellt sein, dass Verunreinigungen, wie Unkrautsamen, während der Fermentation abgetötet werden. Da es bisher nur wenige, punktuell durchgeführte wissenschaftliche Untersuchungen über Verhalten von Unkrautsamen im Biogasprozess gibt, müssen einige als potentiell risikoreich betrachtet werden.

Die Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) und die Landwirtschaftskammer Niederösterreich untersuchten in dem Zeitraum Februar 2008 bis Februar 2010 in einem gemeinsamen Forschungsprojekt „Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten, Unkräutern und austriebsfähigen Pflanzenteilen mit Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen“, ob es zu einer Hygienisierung (= Verlust der Keimfähigkeit/Lebensfähigkeit) von Unkrautsamen in Biogasanlagen kommt (LEONHARDT et. al., 2010; WEINHAPPEL, 2010). Das Projekt wurde durch das Österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft gefördert.

Dieses Forschungsprojekt war in drei Module unterteilt:

- Modul 1: Hygienisierung von pilzlichen Schaderregern
- Modul 2: Hygienisierung von Unkraut- und Kultursamen
- Modul 3: Bestimmung von keimfähigen Unkrautsamen in Fermentationsendprodukten aus Echanlagen

Diese Arbeit beschäftigte sich ausschließlich mit der Hygienisierung von Unkraut- und Kultursamen.

2.2. Problemstellung

Mit der Zunahme der Energieproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen wie Silomais oder Getreideganzpflanzensilage und Ernterückständen wie Zuckerrübenblätter werden immer mehr Pflanzenteile, die bis heute keine wirtschaftliche Bedeutung hatten, vom Acker abgeführt und in Biogasanlagen energetisch verwertet. Ohne Gegensteuerung ist eine Abnahme des Humusgehaltes unserer Böden zu erwarten. In diesem Sinne ist eine hundertprozentige Rückführung der Fermentationsendprodukte auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen dringend notwendig. Über Energiepflanzen gelangen ebenso keimfähige Samen in den Fermenter der Biogasanlage. Durch die Ausbringung der Fermentationsendprodukte werden diese Unkrautsamen flächendeckend und bei Großanlagen auch überbetrieblich auf die landwirtschaftlichen Betriebe verteilt. Sofern diese Unkrautsamen im Zuge des Biogasprozesses nicht abgetötet werden, erhöht sich der Unkrautdruck auf diesen Flächen und führt zu einem wirtschaftlichen Schaden für die Landwirte.

2.3. Zielsetzung

Ziel der Arbeit war die Beurteilung der Hygienisierung von ausgewählten Unkraut- und Kultursamen

- * die einerseits unvermeidbar mit den pflanzlichen Rohstoffen in das Gärsubstrat eingebracht werden und die
- * etwaige nachhaltige Probleme im Hinblick auf Bodenkontamination über die Fermentationsendprodukte darstellen (Problemunkräuter)

Die Ergebnisse sollen wesentlich zur Beurteilung der Anwendungssicherheit von Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen beitragen. Für die Landwirte, die derartige Rückstände ausbringen, können eventuell vorhandene nachhaltige Risiken beurteilt werden. Da die Fermentationsendprodukte häufig nicht nur im betriebseigenen Stoffkreislauf bleiben, sondern auch auf externen Betrieben Anwendung finden sowie externe Rohstoffe einbezogen werden, ist ein großer Interessentenkreis betroffen. Zeigen die Ergebnisse vollständigen Hygienisierungserfolg,

besteht für Landwirte zusätzlich eine sinnvolle Verwertungsmöglichkeit von nicht als Lebens- oder Futtermittel tauglicher Ware.

Für die Lebens- und Futtermittelsicherheit wäre dies zunehmend ein Wegfall eines Risikofaktors, da bedenkliche Produktchargen in Biogasanlagen nutzbringend verarbeitet werden könnten. Für Ausscheideprodukte im Getreidehandel wäre unter den Voraussetzungen einer vollständigen Hygienisierung ebenfalls eine Verwertungsmöglichkeit gegeben und Biogasanlagenbetreiber könnten derartige Ware verwerten.

3. Ausgewählte Literatur

3.1. Geschichtliche Entwicklung der Biogaserzeugung

Biogas ist schon sehr lange unter dem Begriff „Sumpfgas“ bekannt. Entdeckt wurde es von dem italienischen Forscher Alessandro VOLTA, der 1770 erste Versuche durchführte. Die Methanbildung ist weit verbreitet und kommt im Verdauungstrakt von Wiederkäuern, in Reisfeldern und Sümpfen natürlich vor.

Am Anfang des 20. Jahrhunderts begann der deutsche Klärtechniker IMHOFF mit dem Bau einer anaeroben Abwasserreinigungsanlage mit einem kontinuierlichen Gärverfahren. Vor und während dem Zweiten Weltkrieg wurde in diesem Bereich viel geforscht und es wurden bereits Co-Substrate zur Erhöhung der Gasausbeute eingesetzt. Nach 1945 wurde erkannt, dass in der Landwirtschaft ein großes Potenzial steckt und es entstanden vorerst landwirtschaftliche Biogasanlagen. Durch niedrige Erdölpreise in den 50er und 60er Jahren und der geringen Wirkungsgrade der Biogasanlagen kam es zu einem Stillstand in der Verbesserung der Technologie. Erst durch die erste weltweite Ölkrise 1973 wurde die Biogaserzeugung als Alternative wieder interessant (GRAF, 1998; SCHULZ und EDER, 2001).

Ab 1990 kam es erneut zu einem Aufschwung. Grund dafür waren bedeutend, bessere Anlagen mit höheren Wirkungsgraden und Verbesserungen der agrarpolitischen Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel dem Bundesgesetz, „ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFTS- UND ORGANISATIONSGESETZ (ELWOG) 1998 (BGBl. I NR. 143/1998)“ oder der „Richtlinie 2001/77/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES“. Sie verfolgten jeweils das Ziel den Anteil erneuerbarer Energien weiter zu erhöhen. Die Europäische Union hat das Ziel bis zum Jahr 2010 mindestens 22,1% vom gesamten Stromverbrauch aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. In Österreich waren 1993 etwa 20 Biogasanlagen in Betrieb (PÖTSCH, 2004). Mit der Preisfestsetzung für die Abnahme elektrischer Energie aus Ökostromanlagen, gemäß § 11 ÖKOSTROMGESETZ 2002 (BGBl. I Nr. 149/2002), wurde ein weiterer wichtiger Schritt gelegt. Das Gesetz verfolgt unter anderem das Ziel, den Anteil von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern bis 2010 auf 78,1% zu erhöhen.

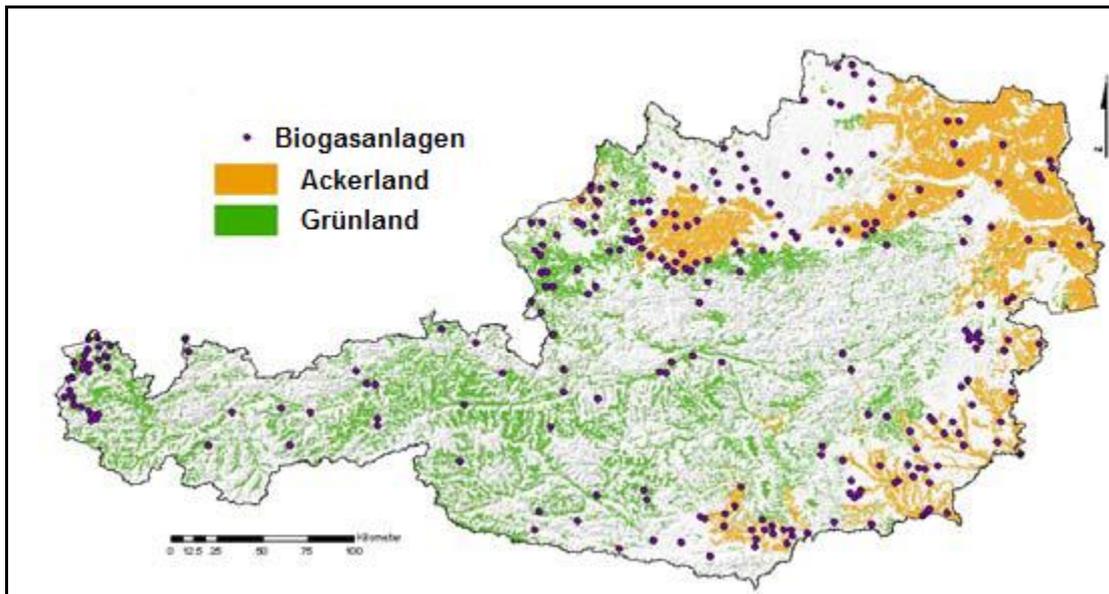


Abbildung 1: Geografische Verteilung der Biogasanlagen in Österreich - Stand 2007 (PÖTSCH, 2008)

Die *Abbildung 1* zeigt die geografische Verteilung der Biogasanlagen in Österreich im Jahr 2007. Erkennbar ist, dass die Anlagen vorrangig in Ackerbauregionen sowie Gunstlagen der Grünlandwirtschaft beziehungsweise des Feldfutterbaues angesiedelt sind. Die Erzeugung von Biogas wird auch zukünftig eine wichtige Rolle in der Energiewirtschaft spielen. In den klassischen Grünlandregionen besteht noch großes Potential (PÖTSCH, 2008).

Laut Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen waren 2008 etwa 294 Biogasanlagen mit einer installierten, elektrischen Gesamtleistung von 76,7 MW el in Betrieb (FGW, 2010).

Seit April 2009 gibt es die RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Eines der Ziele der EU ist, die Energie aus erneuerbaren Quellen auszubauen. Die EU beabsichtigt bis zum Jahr 2020 mindestens 20% des Gesamtenergiebedarfs aus erneuerbaren Quellen zudecken. Laut HÖFER und ZIRM (2009) verpflichtete sich Österreich bis 2020, den Anteil des Gesamtenergieverbrauches aus erneuerbaren Ressourcen (Wind, Sonne, Wasser oder Biomasse) auf 34 Prozent zu steigern. Im Jahr 2008 konnten 21 Prozent über erneuerbare Energie gedeckt werden.

3.2. Biogaserzeugung

Das Grundprinzip der Biogaserzeugung ist ein biologischer Abbauprozess organischer Substanz unter Sauerstoffabschluss (anaerob) mit Hilfe von Mikroorganismen, bei dem Biogas das erwünschte Produkt darstellt. Für die Biogasproduktion werden Methangärung, Faulung, Vergärung und anaerobe Fermentation als Synonyme verwendet (BMLFUW, 2007).

3.2.1. Biogas

Biogas ist ein Gasgemisch aus dem brennbaren Methan, Kohlendioxid und einigen anderen Stoffen, das bei dem Fermentationsprozess als gewünschtes Hauptprodukt entsteht.

Tabelle 1: Zusammensetzung von Biogas (EDELHANN, 2001)

Bestandteil	chem. Formel	Konzentration
Methan	CH ₄	50 - 75 Vol.-%
Kohlendioxid	CO ₂	25 - 50 Vol.-%
Wasser	H ₂ O	2 (20°C) - 7 (40°C) Vol.-%
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	2 Vol.-%
Stickstoff	N ₂	< 2 Vol.-%
Wasserstoff	H ₂	< 1 Vol.-%

Der Biogasertrag und die prozentuelle Zusammensetzung ist wesentlich vom Ausgangssubstrat, den Betriebsbedingungen sowie von der Reaktorbauweise abhängig (WEILAND, 2001). Bei der Verwertung von Fetten ist z. Bsp. der Biogasertrag pro kg organischer Trockensubstanz am Höchsten. Bei der Fermentation von Proteinen ist im Gegensatz zum Fett der Biogasertrag geringer, aber der Methangehalt höher.

Tabelle 2: Biogasertrag und Methangehalt von Kohlenhydrate, Fette und Proteine (WEILAND, 2001)

Stoffgruppe	Biogasertrag [l/kg oTS]	Methangehalt [Vol.-%]	Heizwert [kWh/m³]
Kohlenhydrate	700 - 800	50 - 55	5,0 - 5,5
Fette	1000 - 1250	68 - 73	6,8 - 7,3
Proteine	600 - 700	70 - 75	7,0 - 7,5

Biogas ist ein hochwertiger Energieträger. Es kann vielseitig mit einem hohen Wirkungsgrad verwertet werden, wie z. Bsp. zur Stromerzeugung, zum Kochen und zum Heizen. Der Heizwert liegt je nach Methangehalt zwischen 5,0 und 7,5 kWh/m³. Biogas (ab einem Methangehalt > 50 %) ist üblicherweise mit einer Dichte von 1,2 kg/m³ etwas leichter als Luft und kann dadurch aufsteigen und sich mit der Luft vermischen, sodass die Brand- und Explosionsgefahr vermindert wird. Die Zündtemperatur liegt bei 700°C mit einer maximalen Zündgeschwindigkeit in der Luft von 0,25 m/s. Biogas zeigt eigentlich ein sehr träges Brennverhalten, bedingt durch den CO₂-Ballast. Biogas allein brennt nicht. Es brennt nur als Gemisch aus Gas und Luft innerhalb der Zündgrenzen bei 6% bis 12% (SCHULZ, 1998). Das Methan [CH₄] hat nur einen Heizwert von 10 kWh/m³ und eine maximale Zündgeschwindigkeit von 0,47m/s. Die Dichte, die Zündtemperatur und die Zündgrenze sind niedriger im Vergleich zu Erdgas (JÜNGLING, 1999). 1 kW inst. elektr. Leistung erfordert 1000 – 2000 m³/a Methan (SCHULZ und EDER, 2006).

3.2.2. Fermentationsprozess

3.2.2.1. Ablauf des Fermentationsprozesses

Der Biogasprozess ist ein komplexer Fermentationsprozess, der im Fermenter (dem Gärbehälter einer Biogasanlage) abläuft und dieser lässt sich in vier Abbau-schritte unterteilen (WEILAND, 2001; BMLFUW, 2007; PESTA und MEYER-PITTRUFF, 2002; SCHULZ, 1998; JÜNGLING, 1999):

*** Hydrolyse (Hydrolytische Phase)**

Bei der Hydrolyse werden polymere organische Verbindungen, wie Zellulose, Polysaccharide, Proteine und Fette von einer sehr heterogenen Gruppe von Bakte-

rien (fakultativ anaerobe und obligat anaerobe Stämme) mit Hilfe von Exoenzymen (Hydrolasen,...) in entsprechende Monomere (Zucker, Aminosäuren, Glycerin, Fettsäuren) gespalten.

* **Säurebildung (Acidogene Phase)**

Die gebildeten Zwischenprodukte werden von den fermentativen Bakterien (= säurebildende Mikroorganismen) aufgenommen und zu methanogene Produkte, wie Methanol, Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid und nicht methanogene Produkte, wie Carbonsäuren (Valerian-, Carbon-, Isovalerian-, Isobutter-, Butter- und Propionsäure) und Alkohole (Ethanol) vergoren.

Die Verteilung der gebildeten Produkte ist u. a. vom Wasserstoffpartialdruck abhängig. Je höher der Wasserstoffpartialdruck, desto weniger reduzierte Verbindungen (methanogene Produkte), wie Essigsäure, werden gebildet.

* **Säureabbau (Acetogene Phase)**

In dieser Phase werden die nicht methanogener Produkte zu Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid von acetogenen Bakterien (= essigsäurebildende Mikroorganismen) umgesetzt.

Durch den produzierten Wasserstoff kommt es wiederum zu einem Anstieg des Wasserstoffpartialdruckes, der die acetogenen Bakterien hemmt. Aus diesem Grund müssen sie mit den wasserstoffverbrauchenden Methanbakterien in Symbiose leben. Sie sorgen für einen ausreichend niedrigen Gehalt an Wasserstoff im Fermenter.

* **Methanbildung (Methanogene Phase)**

Die methanogene Phase stellt die letzte Stufe des Fermentationsprozesses dar. Unter streng anaeroben Bedingungen erfolgt die Erzeugung von Methan durch acetotrophe Methanbakterien aus Essigsäure sowie durch hydrogenotrophe Methanbakterien aus Wasserstoff und Kohlendioxid. Als Endprodukt der Methangärung entsteht Biogas.

Methanbakterien gehören zu den sauerstoffempfindlichsten Mikroorganismen und sind nur auf wenige Substrate spezialisiert. Sauerstoff würde ihre Stoffwechsellätigkeiten stören und abtöten. Kohlendioxid kann von allen Spezien umgesetzt wer-

den. Wasserstoff von den „Meisten“, Essigsäure nur von „Wenigen“ und Methanol nur von einer „Spezie“.

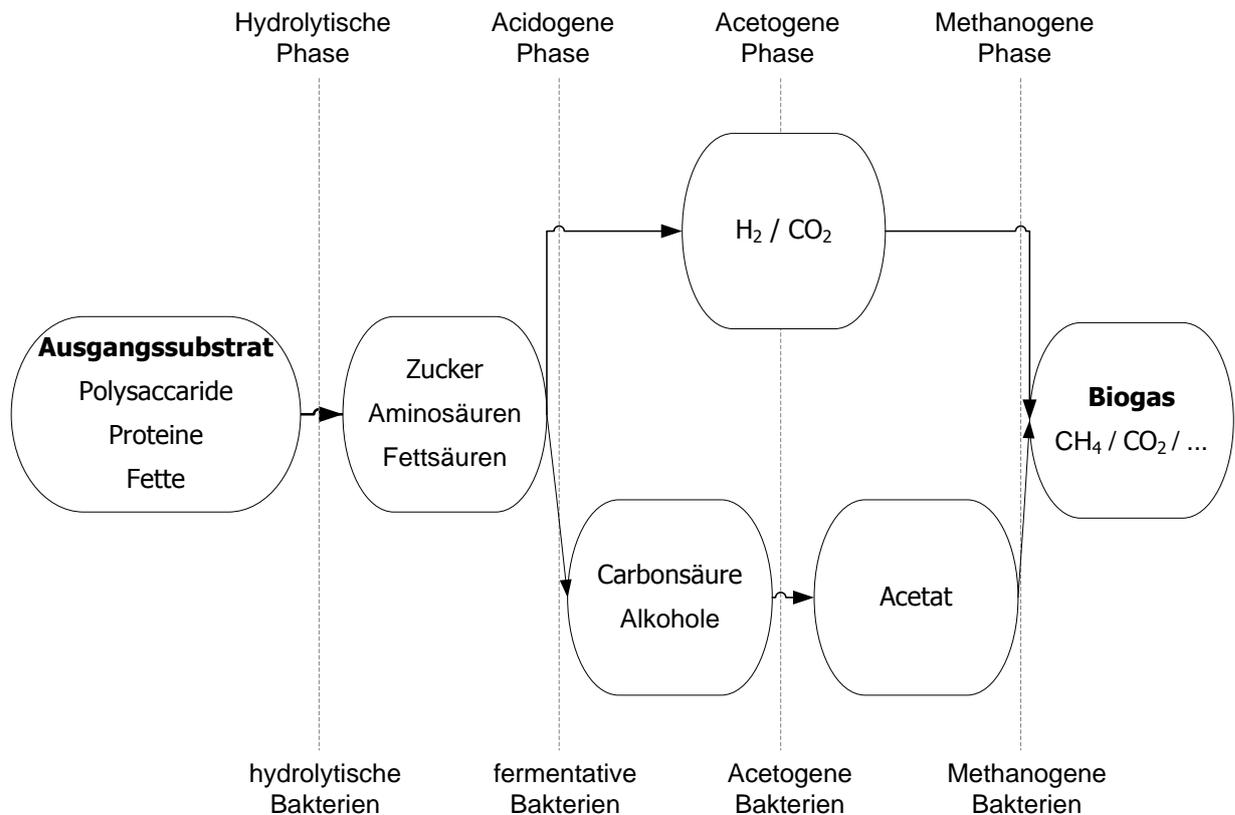


Abbildung 2: Schema des Fermentationsprozesses (WEIDLAND, 2001)

3.2.2.2. Physikalische und chemische Einflussparameter des Fermentationsprozesses

Der Fermentationsprozess steht ständig unter dem Einfluss vieler verschiedener Faktoren, die berücksichtigt und kontrolliert werden müssen, damit dieser gut funktionieren kann, beziehungsweise damit optimale Lebensbedingungen für die Bakterien vorherrschen.

- **Temperatur**

Die Geschwindigkeit des Fermentationsprozesses ist stark temperaturabhängig. Je höher die Temperatur, desto schneller erfolgt der anaerobe Abbau und umso höher ist die Gasproduktion. Bei der Biogaserzeugung werden Temperaturberei-

che genutzt, bei denen sich die Bakterienstämme wohlfühlen und sie sich gut vermehren können.

- * Psychrophiler Temperaturbereich (< 25°C)
- * Mesophiler Temperaturbereich (25 – 45°C)
- * Thermophiler Temperaturbereich (> 45°C)

Im psychrophilen Temperaturbereich werden wegen der langen Verweilzeiten und der geringen Gasproduktivität kaum mehr Anlagen betrieben. Zurzeit arbeiten die meisten Anlagen im mesophilen Temperaturbereich, jedoch die Tendenz zu höheren Temperaturen steigt (SCHULZ und EDER, 2006). Laut EDELMANN (2001) sind die Vorteile der mesophilen Vergärung ein geringerer Wasserdampf- und Kohlendioxidgehalt im Biogas, eine bessere Energiebilanz und eine größere Vielfalt an Organismen, die den Fermentationsprozess stabilisieren. Bei höheren Betriebstemperaturen sind nur geringe (Temperatur-, pH-Wert-, ...) Schwankungen zulässig und erfordern eine exaktere Betriebsführung und –steuerung. Die Vorzüge sind schnellere Wachstumsraten, kürzere Verweilzeiten, bessere Abtötung von pathogenen Keimen und Unkrautsamen und ein schnelles Erreichen der anaeroben Bedingungen, durch die schlechtere Sauerstofflöslichkeit im Substrat.

Bakterien sind in der Lage sich langsam an eine Temperatur zu gewöhnen. Betriebe können eine individuelle Betriebstemperatur entwickeln (SCHULZ und EDER, 2006).

- **Redoxpotential**

Das Redoxpotential ist ein Maß für die Bereitschaft Elektronen aufzunehmen. Für das Wachstum der Methanbakterien sind sehr niedrige Redoxpotentiale erforderlich. Bei Reinkulturen sind Potentiale von etwa -300 mV ideal. Um das Redoxpotential niedrig zu halten, ist es wichtig, dass möglichst wenig Sauerstoff, Sulfat, Nitrat, usw. (= Oxidationsmittel) in den Fermentationsprozess gelangt (SCHULZ und EDER, 2006; EDELMANN, 2001).

- **pH-Wert**

Beim Fermentationsprozess sind verschiedene Bakterien beteiligt, die unterschiedliche Milieuansprüche haben. Bei hydrolytischen und fermentativen Bakterien liegt das pH-Optimum zwischen 4,5 und 6,3 (im sauren Bereich). Die

acetogenen und methanbildenden Bakterien benötigen aber einen neutralen bis schwach alkalischen pH-Wert von 6,8 bis 8. Liegen die Bakterien außerhalb ihres Optimums, werden sie in ihrer Aktivität gehemmt. Bei einstufigen Verfahren (*Kapitel 3.2.4.2*) ist das Optimum der Methanbakterien entscheidend. Nach EDELMANN (2001) stellt sich der pH-Wert im optimalen Bereich (~7) automatisch ein, da die Bakteriengruppen ein selbstregulierendes System bilden.

Der pH-Wert kann über die Substratart und -menge beeinflusst werden. Schnell versauernde Substrate, wie zum Beispiel Getreideschrote, ... dürfen nur in kleinen Mengen eingebracht werden, da sie einen raschen pH-Wert-Abfall bewirken (SCHULZ und EDER, 2006). Nach EDELMANN (2001) könnte eine zu tiefe pH-Wert-Absenkung zu einem Aufschaukelungsprozess führen. Wenn die Methanbakterien nicht mehr arbeiten können, kommt es zu einer Anreicherung zusätzlicher Säuren, was zu einer weiteren Versauerung führt. Die Substratzufuhr müsste gedrosselt oder eingestellt werden, um den Methanbakterien eine Chance zu geben, die vorhandenen Säuren abzubauen. Falls dies oder die Zugabe von basisch wirkenden Stoffen nicht wirkt, müsste der Fermenter entleert und neu gestartet werden.

Substrate können ebenso eine puffernde Wirkung übernehmen. Steigt z. Bsp. die H^+ -Konzentration, können die Substrate die freien Ionen begrenzt binden und den pH-Wert abpuffern. Durch eine Messung der Pufferkapazität könnte schon vorher eine mögliche pH-Wert-Änderung erkannt werden. Die pH-Wert-Kontrolle bleibt dennoch eine einfach und schnell durchführbare Routinekontrolle. Für die puffernde Wirkung sind überwiegend Carbonat- oder Ammoniumpuffer verantwortlich. Bei Gülle sind die puffernden Substanzen reichlich vorhanden, aber bei den nachwachsenden Rohstoffen fehlen diese (SCHULZ und EDER, 2006). Eine Konzentration von 2,5 bis 5g/l Hydrogencarbonat ist notwendig, um den pH-Wert neutral zu halten. Eine Konzentration von $< 1,5$ g/l führt normalerweise zu einem Absinken des pH-Wertes (EDELMANN, 2001).

- **Nährstoffe**

Die Bakterien benötigen zum Wachen und zum Vermehren selbst Nährstoffe, Vitamine, lösliche N-Verbindungen, Mineralstoffe und Spurenelemente. Folgende Nährstoffverhältnisse sind wünschenswert, da es sonst zu hemmenden oder toxischen Wirkungen kommen kann.

* C : N : P = 75 bis 125 : 5 : 1

- * C : N = 10 bis 30 : 1
- * N : P = 5 : 1

Stickstoff wird zur Zellvermehrung und zur Verwertung des Kohlenstoffes benötigt. Sinkt z. Bsp. das C/N-Verhältnis unter 8:1 beziehungsweise liegt zuviel Stickstoff vor, kommt es zu einer erhöhten Ammoniakkonzentration, die für Methanbakterien toxisch ist (SCHULZ und EDER, 2006).

- **Hemmstoffgehalt**

Durch Hemmstoffe können die Stoffwechseltätigkeiten und das Wachstum der Bakterien gehemmt oder völlig zum Erliegen gebracht werden (SCHULZ und EDER, 2006), wobei die Bakterien bis zu einem gewissen Maß in der Lage sind, toxische Verbindungen auch abzubauen. Die Hemmung ist abhängig von der Konzentration eines Stoffes in Relation zu den anderen Stoffgruppen, der Zusammensetzung des Ausgangssubstrates, der Art der Zugabe (einmalig oder laufend), vom Fermentertyp, von der Anwesenheit von Antagonisten oder Synergisten sowie vom Anpassungsvermögen der Bakterien an den Hemmstoff. Es ist schwierig eine erlaubte Konzentration anzugeben, da viele Faktoren zusammenspielen (EDEL-MANN, 2001).

Hemmende Wirkungen können durch viele verschiedene Stoffe bei entsprechender Konzentration verursacht werden, wie beispielsweise:

- * Antibiotika und Desinfektionsmittel (können z. Bsp. ab 1 – 100 mg/l hemmend wirken – weitgehend produktabhängig)
- * Anhäufung organischer Säuren
- * Schwefelwasserstoff
- * Sauerstoff
- * Ammonium / Ammoniak
- * Schwermetalle (Nickel, Kupfer, Zink,...)
- * Sekundäre Inhaltsstoffe (z. Bsp. div. Schwefelverbindungen, ätherische Öle, Oxalsäure, Cyanide, ...)
- * ...

Auch eine schlechte Substratqualität, etwa stark verschimmeltes Material kann sich als ungünstig erweisen (SCHULZ und EDER, 2006; EDELMANN, 2001).

3.2.3. Aufbau einer Biogasanlage

Die Bauweisen der Biogasanlagen können sich durch unterschiedliche Anordnung der Bauteile und durch eine verschiedene Verfahrenstechnik unterscheiden. Das prinzipielle Grundschemata einer Biogasanlage ist jedoch sehr ähnlich (Abbildung 3).

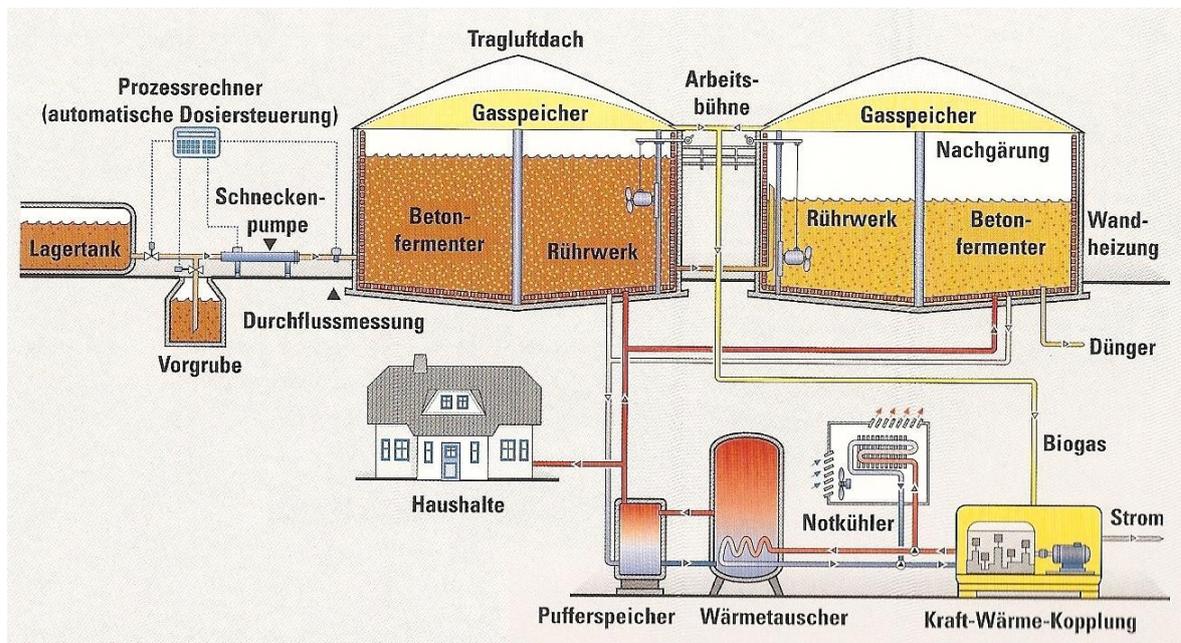


Abbildung 3: Aufbau einer typischen Biogasanlage (GERS-GRAPPERHAUS, 2002)

Die zur Biogaserzeugung verwendeten Rohstoffe werden gelagert, u. a. in Vorgruben vorbehandelt und in den Fermenter (Herzstück der Biogasanlage, in dem der eigentliche Biogasentstehungsprozess stattfindet) befördert. Das entstehende Biogas wird in einem Gasspeicher gesammelt, gereinigt und in einem Blockheizkraftwerk energetisch verwertet. Der Fermentationsrückstand gelangt in einen Nachgärbehälter und wird solange gespeichert, bis es ausgebracht wird.

Einzelne Bereiche werden von ausgewählten Autoren dargestellt:

(GERS-GRAPPERHAUS, 2002; GRAF, 1998; SCHULZ und EDER, 2001; JÜNGLING, 1999; ÖKL ARBEITSKREIS ENERGIE, 2004)

- **Substratlagerung**

Die in Biogasanlagen eingesetzten Substrat, wie Gülle, Festmist, nachwachsende Rohstoffe,... oder Co-Substrate müssen gelagert werden. Die Lagerung kann in

Lagertanks, Flachlagern, usw. erfolgen. Es müssen in Abhängigkeit vom Substrat gesetzliche und bauliche Vorschriften eingehalten werden. Die Lagerkapazität muss mit der zur Verwertung notwendigen Biomasse abgestimmt sein.

- **Substrataufbereitung**

Um eine günstige Ausgangssituation für den Biogasprozess zu schaffen, wird das Substrat vor dem Einbringen aufbereitet. Dies beginnt bereits bei der Ernte der eingesetzten, nachwachsenden Rohstoffe (Häcksellänge,...), im Stall (Tierart, Aufstallungssystem, Fütterung, ...) oder bei der Lagerung (Erhaltung der Produktqualität, Zugabe von Hilfsstoffen,...). Es gibt verschiedene Aufbereitungsmöglichkeiten, die auch ständig weiterentwickelt werden.

Feststoffe werden zerkleinert (Stroh < 10 cm) um u. a. den Mikroorganismen eine höhere Angriffsfläche zu bieten, den Abbau zu beschleunigen beziehungsweise die Verweilzeiten zu verkürzen oder um Verstopfungen entgegenzuwirken. Bei der Einbringung ist eine gleichmäßige Beschickung (in kurzen Zeitabständen) kleiner Substratmengen vorteilhaft, um u. a. eine Temperaturabsenkung im Einfüllbereich zu vermeiden. Für die Tätigkeit der Methanbakterien wird auf ein feuchtes Milieu und ein homogenes Ausgangssubstrat Wert gelegt. Beim Einsatz von Co-Substraten ist häufig eine vorherige Hygienisierung notwendig.

- **Vorgrube und Beschickung**

Eine Vorgrube ist bei kleineren Biogasanlagen Standard und dient zum Sammeln der angefallenen Gülle, zum Mischen und Homogenisieren von Gülle, Feststoffen und Co-Substraten, zur Aufbereitung (Zerkleinerung der Feststoffe,...), zum Absetzen von Störstoffen und einigen anderen Aufgaben. Mit einer Pumpe wird das Substrat in den Fermenter befördert. Bei nichtpumpfähigen Substraten werden Einspülschächte, Einbringschnecken und hydraulische Einbringvorrichtungen genutzt. Bei Verwendung eines Einspülschachtes wird der Feststoff in einen Schacht gefüllt und mittels einer vergorenen Gülle eingespült. Dieses System ist jedoch verstopfungsanfällig. Die Einbringung mittels Schnecken ist am weitesten verbreitet. Das Substrat wird kontinuierlich von einem vorgeschalteten Futtermischer mittels Schnecken in den Fermenter gefördert. Das Verfahren mit hydraulischen Presskolben ist ebenfalls unproblematisch, die den Feststoff durch geschlossene Leitungen in den Fermenter presst.

- **Fermenter**

Beim Fermenter, dem Gärbehälter, gibt es zwei verschiedene Bauarten. Und zwar den liegenden und den stehenden Fermenter.

Liegende Fermenter werden meist als zylindrische Stahltanks ausgeführt und



kommen eher bei Kleinanlagen zum Einsatz (Nutzvolumen bis 100 m³). Sie werden auch Pfropfstromfermenter bezeichnet, da das eingebrachte Substrat wie ein Pfropfen langsam zum Substratablauf hin bewegt und dabei abgebaut wird (HELM, 2007).

Abbildung 4: Liegender Fermenter (EGGERSGLÜB und KRASCHINSKI, 2001)

Stehende Fermenter sind meist im runden Querschnitt aus Beton ausgeführt, können sowohl oberirdisch als auch unterirdisch angeordnet werden und unterlie-



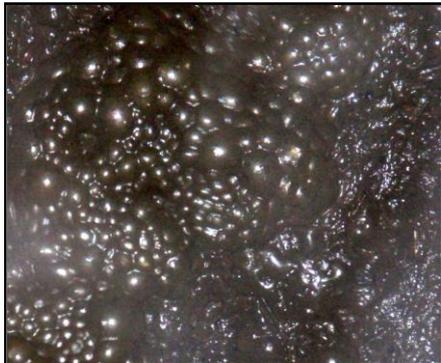
gen kaum einer Größenbeschränkung. Die großen Vorteile bei versenkten Anlagen zum Teil mit einer befahrbaren Decke sind die Platzeinsparung und die Abschirmung von Außentemperaturschwankungen.

Abbildung 5: Stehender Fermenter (EGGERSGLÜB und KRASCHINSKI, 2001)

Eine besondere Bauweise stehender Fermenter ist das „Ring in Ringsystem“. Dieser Fermenter besteht aus einem Außenring, einem kleineren Innenring und einer gasdichten Betondecke (Abbildung 49). In die innere Kammer wird Substrat eingebracht und vergoren. Das vergorene Substrat fließt durch einen Überlauf in die äußere Kammer und dient als Nachgärbehälter.

Fermenter sind mit Pumpen, Rührwerke, einer Heizung, einer Wärmedämmung und einigen anderen technischen Einrichtungen ausgestattet. Eine gute Wärmedämmung ist nötig, um die Eigenwärme, die beim Gärprozess entsteht, zu halten.

Ein K-Wert von kleiner als $0,4 \text{ W/m}^2$ ist erforderlich. Um den gewünschten Temperaturbereich (*Kapitel 3.2.2.2*) aufrecht zu erhalten und um Wärmeverluste nach außen auszugleichen, werden Biogasanlagen mit Hilfe einer Boden- oder



Wandheizung mit der Abwärme des Motors von der Stromerzeugung geheizt. Rührwerke sorgen zu einer Vermischung des frischen Substrats mit dem vergorenen Substrat, zerstören Sink- und Schwimmschichten und helfen die entstehenden Gasblasen, besonders bei dickflüssigen Substraten, an die Oberfläche zu befördern.

Abbildung 6: Entstehende Gasblasen im Fermenter

Mechanische Rührwerke (wie Paddelrührwerke, Tauchmotor-Propellerrührwerke, Langachsige Rührwerke), hydraulische Rührwerke oder pneumatische Rührwerke werden dazu verwendet, wobei die mechanischen Rührwerke am weitesten verbreitet sind.

- **Gasspeicher, -reinigung und -strecke**

Bei den meisten Anlagen wird das entstehende Biogas vorerst in Gaslagern gespeichert. Biogasspeicher unterscheiden sich wesentlich im Betriebsdruck und durch die Bauart. Niederdruckspeicher ($< 0,1 \text{ bar}$), wie z. Bsp. Niederdruck-Folienspeicher haben bisher die größte Anwendung gefunden. Der Gasspeicher muss mit einer Über- und Unterdrucksicherung ausgestattet sein, die eine Änderung des Innendrucks verhindert. Bei Überdruck kann Gas über eine Abblaseeinrichtung abgelassen werden oder bei einer Überschreitung von $20 \text{ m}^3 \text{ Gas/Std.}$, muss eine weitere Gasverbraucheinrichtung, wie eine Gasfackel oder ein weiteres BHKW, zugeschaltet werden.

Ein Mitteldruckspeicher arbeitet mit $5 - 20 \text{ bar}$ und ist als Stahldruckbehälter ausgeführt. In Stahlflaschen (=Hochdruckspeicher) kann es bis zu $200 - 300 \text{ bar}$ komprimiert werden.

Das Biogas wird vorher immer gereinigt, da es ursprünglich fast zu 100% mit Wasserdampf gesättigt ist und meist einen zu hohen Schwefelwasserstoffgehalt aufweist. Bei der Verbrennung von Schwefelwasserstoff würden schwefelhaltige Säuren entstehen und nahezu alle Werkstoffe angreifen. Daher ist eine Reduktion

auf $< 0,02$ Vol.-% nötig. Eine Reduktion kann durch eine Zwischenschaltung eines mit Eisenhydroxid gefüllten Filters, durch Zugabe von Schwefelbakterien oder durch Zugabe von Eisen-II-Sulfat erfolgen. Ein weiterer Schritt zur Gasbereinigung ist die Entwässerung des Biogases durch lange kalte Gasleitung, die den Wasserdampf im warmen, feuchten Biogas kondensieren lässt.

- **Kraft-Wärme-Kopplung**

Derzeit erfolgt eine gekoppelte Erzeugung von Wärme und Kraft (beziehungsweise Strom) aus Biogas in Blockheizkraftwerken (BHKW). Gereinigtes Biogas wird in einem Blockheizkraftwerk beziehungsweise in einem Verbrennungsmotor verbrannt, der einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Zur Verbrennung werden entweder Zündstrahl- oder Gasmotor-Blockheizkraftwerke eingesetzt. Welches Verbrennungsaggregat eingesetzt wird, hängt von der Ausrichtung der Biogasanlage, dem Anschaffungskosten des BHKW und einigen anderen Aspekten ab. Wird ausschließlich Strom produziert, ist der Zündstrahlmotor wirtschaftlicher. Gasmotoren sind bei den spezifischen Kosten teurer, weisen aber einen höheren Gesamtwirkungsgrad und längere Standzeiten auf. Nach JÜNGLING (1999) liegt der Wirkungsgrad dieser Motoren bei etwa 35%. An einer weiteren Optimierung wird ständig gearbeitet.



Abbildung 7: Zündstrahl- Blockheizkraftwerk (EGGERSGLÜB und KRASCHINSKI, 2001)

Zur Stromerzeugung werden meist Asynchrongeneratoren eingesetzt, die als Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motoren mit dem öffentlichen Netz gekoppelt sind.

Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird neben der Stromerzeugung die Motorabwärme zum Heizen genutzt. Mit dieser Abwärme werden z. Bsp. Wohnhäuser, Ställe, verschiedene Trocknungsanlagen und der Fermenter geheizt.

- **Nachfermenter oder Endlager**

Vergorenes Substrat tritt vom Fermenter in einen gasdichten Nachgärbehälter über. Je nach Anlagendimensionierung werden 10 – 30% des gesamten Gasertrages hier gebildet. Dieser Nachfermenter kann auch als Endlager genutzt werden. Bei größeren Anlagen ist vielfach zusätzlich noch ein Endlagerbehälter nachgeschaltet d.h. es wird mit zwei Fermentern gearbeitet. Dort kühlt das Substrat ab, die Gasproduktion wird eingestellt und der Fermentationsrückstand kann jeder Zeit ausgebracht werden.

3.2.4. Systembeschreibungen / Verfahrenstechnik

Zur Erzeugung von Biogas sind verschiedene Verfahren und Anlagenkombinationen möglich, die Auswirkungen auf Investitionskosten, Betriebskosten und den Gasertrag haben.

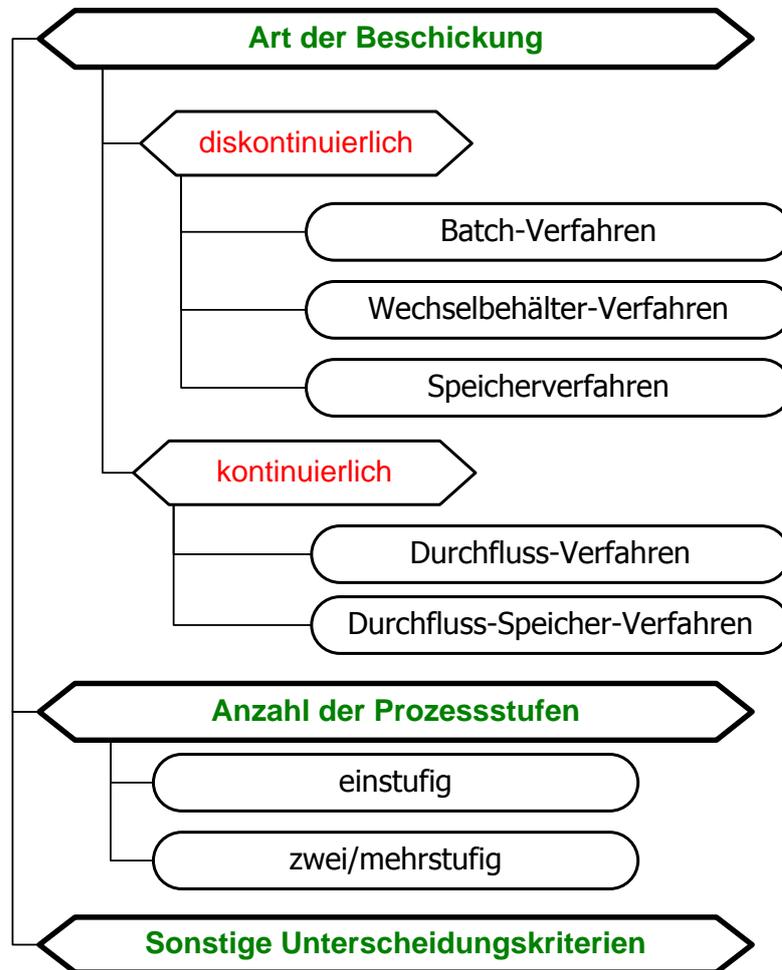


Abbildung 8: Schematische Übersicht über die Biogasverfahren (SCHULZ und EDER, 2001; WEILAND, 2001)

3.2.4.1. Unterscheidung nach Art der Beschickung

(JÜNGLING, 1999; SCHULZ und EDER, 2001)

Der Fermenter einer Biogasanlage kann diskontinuierlich und kontinuierlich beschickt werden. Zur diskontinuierlichen Beschickung zählt das Batch-, Wechselbehälter- und Speicherverfahren.

- Beim **Batch-Verfahren** wird der Gärbehälter auf einmal befüllt. Bis zum Ende der Verweilzeit wird kein Substrat hinzugefügt oder entnommen. Nach Ablauf der Verweilzeit wird der Behälter bis auf einen kleinen Rest entleert.
- Beim **Wechselbehälter-Verfahren** wird mit zwei Gärbehältern gearbeitet. Einer ist dabei immer mit Substrat gefüllt und produziert Biogas. Der andere Behälter wird währenddessen mit Substrat kontinuierlich befüllt. Ist dieser voll, wird gewechselt d.h. das vergorene Substrat des ersten Behälters wird entleert und der Ablauf beginnt von vorne.
- Beim **Speicherverfahren** sind Fermenter und Endlager zu einem Behälter vereint, der intervallmäßig oder laufend beschickt wird. Bei der Ausbringung des Fermentationsrückstandes bleibt nur ein kleiner Rest zur Erhaltung des Fermentationsprozesses zu Verfügung.

Beim Durchflussverfahren und beim Speicher – Durchflussverfahren wird der Fermenter kontinuierlich mit Substrat beschickt.

- Beim **Durchflussverfahren** wird der Fermenter kontinuierlich mit Substrat beschickt, wobei gleichzeitig am Überlauf des Fermenters vergorenes Substrat austritt und zum Endlager abfließt. Der Fermenter ist immer mit Substrat befüllt und wird nur bei Bedarfsbefall (z. Bsp. bei technischen Störungen,...) entleert.
- Das **Speicher – Durchflussverfahren** vereint die Vorteile des Durchfluss- und des Speicherverfahren. Diese Anlage besteht aus einem Fermenter und das Endlager ist als Nachgärbehälter ausgeführt. Der Fermenter wird im Durchflussverfahren betrieben; d. h. der Fermenter ist immer voll und wird kontinuierlich mit frischem Substrat beschickt. Das vergorene Substrat fließt beim Überlauf in den Nachgärbehälter und wird dort gespeichert. Das restlich anfallende Biogas wird aufgefangen und dem Verbrennungsmotor zugeführt. Beim Ausbringen des Fermentationsrückstandes wird nur der Nachgärbehälter entleert und die Gasproduktion bleibt fast unverändert.

Das Speicher – Durchflussverfahren findet die häufigste Anwendung, denn es repräsentiert den derzeit höchsten Entwicklungsstand in der Biogas-

Verfahrenstechnik. Die anderen Systeme sind etwas veraltet und werden nur noch in einzelnen Fällen genutzt.

3.2.4.2. Unterscheidung nach Anzahl der Prozessstufen

Die Vergärung des Substrates beziehungsweise die Erzeugung von Biogas erfolgt verfahrenstechnisch ein-, zwei- oder mehrstufig.

- Bei **einstufigen Verfahren** laufen die verschiedenen vier Phasen des Fermentationsprozesses (Hydrolyse, Säurebildung, Säureabbau und Methanbildung) in einem Behälter ab. Die individuellen Milieuanprüche, der verschiedenen am Abbau beteiligten Bakterien werden nicht berücksichtigt.
- Bei **zwei- beziehungsweise mehrstufigen Verfahren** laufen die verschiedenen Phasen des Fermentationsprozesses in verschiedenen Behältern ab. Das Milieu wird an die entsprechenden Phasen angepasst. Beim zweistufigen Verfahren finden die ersten drei Phasen räumlich getrennt von der vierten Phase statt (WEIDLAND, 2001).

3.2.4.3. Sonstige Unterscheidungskriterien:

In der Verfahrenstechnik wird weiters noch in der **Prozesstemperatur** und im **Trockensubstanzgehalt** unterschieden.

Je nach Ausrichtung kann der Biogasprozess im psychrophilen Temperaturbereich unter 25°C, im mesophilen Temperaturbereich bei ~ 25 – 45°C oder im thermophilen Temperaturbereich über 45°C ablaufen (*Kapitel 3.2.2.2*).

In Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt im Fermenter wird zwischen der Nass- und der Trockenvergärung unterschieden. Bei den Verfahren unter *Kapitel 3.2.4.1* handelt es sich ausschließlich um Nassvergärungsverfahren und läuft in liegenden oder stehenden Fermentern ab. Die Trockenvergärung ist für Feststoffe ausgerichtet und sehr selten. Es gibt einige Sonderformen, wie z. Bsp. Perkolationsfermenter.

3.2.5. Verfahrenstechnische Parameter

Das Ziel ist es, die Anlage so auszurichten, dass die verfahrenstechnischen Parameter hinsichtlich den ökonomischen Grenzen ausgelegt sind. Das bedeutet, dass ein wirtschaftlich vertretbarer Aufwand angesichts des erreichbaren Abbaus

erwünscht ist. Darüber hinaus wird nicht versucht, dass das Ausgangssubstrat komplett abgebaut oder dass die maximale Gasausbeute erreicht wird (EDELDMANN, 2001).

3.2.5.1. Faulraumbelastung

Die Faulraumbelastung beschreibt, wie viel Kilogramm an organischer Trockensubstanz täglich dem Fermenter zugeführt werden kann. Die Höhe der Faulraumbelastung ist von der Fermentertemperatur und von der Verweilzeit abhängig d. h. je niedriger die Temperatur und je länger die Verweilzeit, desto höher kann die Faulraumbelastung sein beziehungsweise desto mehr Substrat kann zugeführt werden. Empfohlen wird eine Faulraumbelastung von bis zu 4 kg oTS/m³ und Tag. Denn bei einer zu hohen Belastung könnten die Bakterien beziehungsweise der Fermentationsprozess überlastet werden und unvergorenes Substrat würde den Fermenter verlassen. Daher müssen die Faulraumbelastung und die Verweilzeit aufeinander abgestimmt sein. Die Faulraumbelastung errechnet sich folgendermaßen:

$$\frac{\text{täglich zugeführte Substratmenge} * \text{Anteil org. Substanz}}{\text{Fermentervolumen}} = \text{kg oTS/m}^3 \text{ d}$$

(SCHULZ und EDER, 2006)

3.2.5.2. Verweilzeit

Die hydraulische Verweilzeit ist die Zeit, die das Substrat theoretisch im Fermenter verbleibt und errechnet sich aus dem Fermentervolumen, dividiert durch die täglich zugeführte Substratmenge.

Einerseits richtet sich die Mindestverweilzeit nach der Verdoppelungs- beziehungsweise Generationszeit der Bakterien, die im mesophilen Temperaturbereich bis zu 10 Tagen betragen kann. Generell dürfen nicht mehr Bakterien ausgewaschen werden, als in diesem Zeitraum nachwachsen können, damit die Gasbildung nicht abgeschwächt wird (SCHULZ und EDER, 2006) (EDELDMANN, 2001).

Mit der Verweilzeit können der Abbaugrad (Kapitel 3.2.5.3), die Gasausbeute (maximal erreichbare Gasmenge eines Substrates) und die Gasleistung (Gasproduktion pro Zeiteinheit) beeinflusst werden (SCHULZ und EDER, 2006). Bei niedrigeren

Temperaturbereichen sind aufgrund des langsameren Bakterienwachstums längere Verweilzeiten als im thermophilen Temperaturbereich notwendig, um den gleichen Abbaugrad zu erreichen (EDELMAHN, 2001). Bei kurzen Verweilzeiten können hohe Gasleistungen erzielt werden, da vor allem die leicht verdaulichen Stoffe abgebaut werden. Die Gasausbeute und der Abbaugrad, bezogen auf die gesamte zugeführte Substanz, sind gering. Bei längeren Verweilzeiten nehmen dagegen die Gasleistungen ab, die Gasausbeute und der Abbaugrad zu (SCHULZ und EDER, 2006).

Nach EDELMAHN (2001) ist die optimale Verweilzeit, aus ökonomischen Gründen, nach dem Abbau von rund dreiviertel der verdaulichen organischen Substanz, erreicht. SCHULZ und EDER (2006) geben beim Einsatz von Energiepflanzen eine Verweilzeit von mindestens 42 Tagen an und bei Gülle in abhängig von der Prozessstemperatur folgendes:

- * 20 – 25°C → 60 – 80 Tage Verweilzeit
- * 30 – 35°C → 30 – 50 Tage Verweilzeit
- * 45 – 55°C → 15 – 25 Tage Verweilzeit

Laut RESCH et. al. (2004) liegt die Fermentationsdauer österreichischer Biogasanlagen zwischen 7 und 120 Tagen und im Mittelwert bei 48 Tagen. Bei höheren Temperaturen kommt es zu einer deutlichen Beschleunigung des Fermentationsprozesses respektive der Biogasproduktion, wodurch sich die Verweilzeit verkürzt.

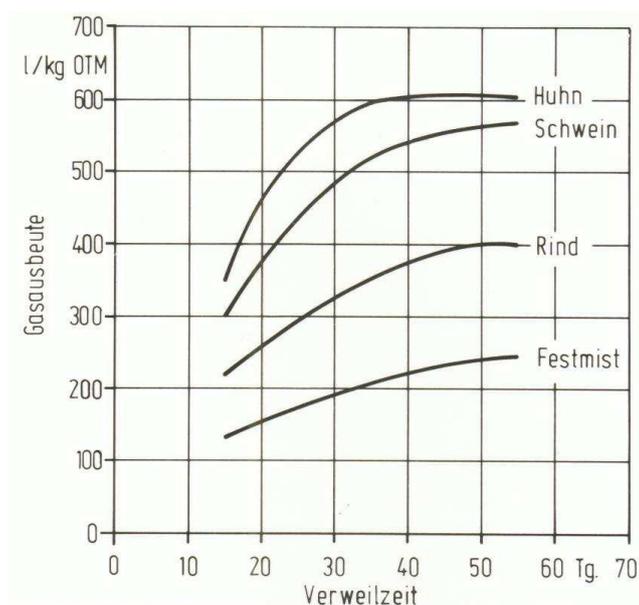


Abbildung 9: Verlauf der Biogasbildung von Hühner-, Schweine-, Rindergülle und Festmist im thermophilen Temperaturbereich (EGGERSGLÜB und KRASCHINSKI, 2001)

Die Gasausbeute und die Verweilzeit von Gülle und Festmist ist bei verschiedenen Tierarten durchaus unterschiedlich. Beispielsweise ist bei Hühnergülle die Biogas-erzeugung im thermophilen Temperaturbereich nach etwa 30 Tagen zu Ende, wobei bei Schweine- und Rindergülle rund 40 Tage und bei Festmist etwa 50 Tage gebraucht werden. Zudem ist in der *Abbildung 9* ersichtlich, dass in der Anfangsphase generell die Gasbildung ansteigt und mit Fortlauf der Zeit rückläufig ist (SCHULZ und EDER, 2006).

3.2.5.3. Abbaugrad

Unter Abbaugrad versteht man, wie viel Prozent der organischen Trockensubstanz innerhalb der gegebenen Verweilzeit abgebaut wird. Ähnlich wie bei der Gasbildung, steigt der Abbaugrad in der Anfangsphase an und flacht mit der Zeit ab. In der Praxis liegt der Abbaugrad zwischen 30 und 70%, wobei er im Durchschnitt (bei üblicher Verweilzeit) um 60% liegt. Beim Einsatz von ausschließlich nachwachsenden Rohstoffen kann ein Abbaugrad von bis zu 80% erreicht werden (SCHULZ und EDER, 2006).

3.2.6. Substrate und Co-Substrate

Substrate sind Ausgangsmaterialien, die zur Erzeugung von Biogas in den Fermenter eingebracht werden.

Die meisten Biogasanlagen verwerten nicht nur einen Rohstoff, sondern arbeiten mit mehreren Rohstoffen. → **Cofermentation** bezeichnet die gemeinsame Vergärung von Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche oder Festmist) zusammen mit unterschiedlichen Substraten wie nachwachsende Rohstoffe, organische Reststoffe aus der Landwirtschaft, den Haushalten, dem Gewerbe und der Industrie (BMLFUW, 2007).

Co-Substrate sind Ausgangsmaterialien, die in geringen Mengen mitvergoren werden (LIEBHARD, 2008). Anders formuliert, leicht abbaubare organische Substanzen, die dem Substrat im Fermenter zugegeben werden (JÜNGLING, 1999).

Anforderungen an das Fermentationssubstrat:

Für Biogasanlagen sind Substrate mit einem Trockensubstanzgehalt von 5 bis 15% günstig. Bei einem Trockensubstanzgehalt von unter 5% ist die Wirtschaft-

lichkeit zu gering und bei einem Trockensubstanzgehalt von über 15% ist das Substrat meist nicht mehr pumpfähig. Für einen stabilen Ablauf sind bis zu 4kg organische Trockensubstanz pro m³ Fermenter/Tag erforderlich (*Kapitel 3.2.5.1.*). Das CN –Verhältnis des Substrates soll möglichst zwischen 10 : 1 bis 30 : 1 liegen, der pH-Wert im Neutralbereich und der Rohfasergehalt soll möglichst gering sein. Da Rohfaser nur langsam abgebaut wird, würde eine lange Verweilzeit im Fermenter erforderlich sein. Dazu zählt z. Bsp. das Lignin, die Gerüstsubstanz des Holzes (KOMPOST-BIOGAS, 2010). Rohfett wird vollständig abgebaut. Je höher der Rohfettgehalt, desto höher ist der Gasertrag (LIEBHARD, 2008).

Nach SCHULZ und EDER (2006) sollen bei der Substratwahl folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- * Rechtliche Rahmenbedingungen (z. Bsp. beim Einsatz von Bioabfällen muss das Abfallrecht eingehalten werden)
- * Einfluss auf Technik und Betriebskosten
- * Lagerung und Konservierung
- * Flächenleistung (Erträge, Fruchtfolgemöglichkeiten,...) sowie die Kosten der Produktion und der Lagerung
- * Effizienz; z. Bsp. Substrate mit hohem Wassergehalten sind in der Biogas-erzeugung sehr uneffektiv. Substrate mit hoher Energiedichte sind zwar effektiv, aber verursachen schnell prozessbiologische Störungen und können demzufolge nicht in großen Mengen eingesetzt werden.
- * Prozessbiologie; z. Bsp. schnell abbaubare Substrate können zwar die Gasbildung beschleunigen, aber nicht allein vergärt werden, weil sie zu einer raschen Versäuerung führen würden.
- * Höhe der Stromvergütung
- * Verfügbarkeit der Substrate

Aufgrund der großen Bakterien-Vielfalt ist das Spektrum an möglichen Substraten nahezu unbegrenzt.

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen bildet der **Wirtschaftsdünger**, im speziellen die Gülle, das Basissubstrat. Gülle hat einen ausgewogenen Nährstoff- und Spurenelementgehalt, steigert durch den hohen Wassergehalt die Pump- und Fließfähigkeit des Fermentationssubstrates und wirkt pH-Wert Schwankungen entgegen (Kapitel 3.2.2.2) (TRETTER, 2010).

Der für den Biogasertag wichtige Gehalt an organischer Trockensubstanz ist bei Hühnerkot höher als bei Rinder- und Schweinegülle. Der pH-Wert von Schweinegülle ist etwas niedriger als der von Rindergülle, während Hühnerkot den höchsten pH-Wert hat. Beim Rohfasergehalt erreicht fütterungsbedingt die Rindergülle die höchsten Werte. Die Schweinegülle erreicht den höchsten Wert beim Rohfettgehalt. Der Vorteil des hohen Rohfettgehaltes wird durch den meist niedrigeren Trockensubstanzgehalt im Vergleich zu Rindergülle und Hühnerkot zunichte gemacht (SCHULZ und EDER, 2006). Der Biogasertag aus Rindergülle liegt leicht unter dem der Schweinegülle (Tabelle 3). Rinder- und Schweinegülle haben einen niedrigen Trockensubstanzanteil und lassen sich gut mit anderen Substraten kombinieren (N. N., 2010a). Die Verdauung bei den Hühnern ist unvollständig. Im Kot befinden sich noch viele abbaubare Substanzen. Deshalb bringt der Hühnerkot den höchsten Biogasertag. Eine Geflügel-Großvieheinheit (GVE) liefert Gas für etwa 0,50 kW elektrische Leistung. Eine Rinder - GVE oder eine Schweine - GVE liefert ein Gas für 0,15 – 0,20 kW (SCHULZ und EDER, 2006).

Tabelle 3: Gasausbeuten von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen (SCHULZ und EDER, 2006; DÖHLER, 2009)

Substrat	Biogasertag [l/kg oTS]	Methangehalt [Vol.-%]	Methanertrag [l/kg oTS]
Wirtschaftsdünger (SCHULZ und EDER, 2006)			
Rindergülle mit Futterreste	370	55	204
Schweinegülle	400	60	240
Rindermist	450	55	248
Hühnerkot	500	65	325
Energiepflanzen (DÖHLER, 2009)			
Landschaftspflegegras	300	50	150
Stroh, kurzgehäckselt	400	52	208
Sonnenblumensilage	520	57	296
Grassilage	600	53	318
Getreide-Ganzpflanzensilage	620	53	329
Maissilage	650	52	338
Futterrübensilage	700	52	364
Zuckerrübensilage	700	52	364

Viele **nachwachsende Rohstoffe beziehungsweise Energiepflanzen** eignen sich sehr gut für die energetische Verwertung in einer Biogasanlage. Es kommen vor allem jene Energiepflanzen (*Abbildung 10*) in Frage, die einen hohen Energieertrag pro Hektar bei niedrigen Produktionskosten erzielen. Die Energiepflanzen zeigen hinsichtlich der Gasausbeute eine geringe Streuung. Deutlich größere Unterschiede zeigt die Methanflächenleistung (Hektarertrag * spez. Methanausbeute). Den höchsten Methan- und Trockenmasseertrag erzielen Masse- und Gehaltsrüben (Futtermrüben) sowie ertragsreiche Silomaisorten (SCHULZ und EDER, 2006). Derzeit besteht beim Anbau zunehmend ein Konkurrenzverhältnis zur Lebensmittel- und Futterproduktion. Dieses Problem könnte zukünftig eventuell durch den Anbau von ertragsreichen Zwischenfrüchten gelöst werden. Bei Versuchen im Jahr 2009 konnte die Kolbenhirse unter den Zwischenfruchtsaaten eine Flächenleistung von 2330m^3 Methan/ha erzielen (STOCKINGER, 2010).

Silomais ist die am häufigsten angebaute Pflanzenart für Biogasnutzung. Dies ist einerseits auf standardisierte, ausgereifte Produktionstechniken zurückzuführen, wird andererseits auch vom hohen Gas- oder Energieertrag bestimmt (N. N., 2010b). Mais zeichnet sich als C4-Pflanze besonders mit hohen Trockenmasseerträgen aus. Laut RÖHRICHT et. al. (2009) werden je nach Standort 14 – 20 t TM/ha geerntet. Gegenwärtig werden spezielle Biogasmaissorten (meist spätreife Sorten) gezüchtet, die noch mehr Masse erzielen sollen. An günstigen Standorten kann eine Flächenleistung von über 8000m^3 Methan/ha erzielt werden. Der Methanertrag schwankt zwischen 300 und 380 l/kg oTS.

Die **Sonnenblume** ist ebenfalls für die Einbringung in Biogasanlagen sehr gut geeignet. Sonnenblumen lassen sich gut silieren und werden vielfach mit der Maissilage vermischt (SCHULZ und EDER, 2006). Der Methanertrag von Sonnenblumensilage beträgt rund 300 l/kg oTS (DÖHLER, 2009).

Die Herstellung von **Grassilage** ist gut mechanisierbar und als Co-Substrat sehr gut geeignet. Die Erträge sind je nach Standort und Nutzungsintensität sehr unterschiedlich und schwanken zwischen 4 – 12 t TM/ha. Bei intensiver Grünlandnutzung (fünf Schnitte) kann eine Methanausbeute von über 300 l/kg oTS erreicht werden. Auch die Grünlandzusammensetzung zeigt einen geringen Einfluss auf die Methanausbeute.

Sudangras ist wie der Mais eine C4-Pflanze, sehr wasser- und nährstoffeffizient, lässt sich gut silieren und zeichnet sich durch hohe Trockenmasseerträge (10 – 15 t TM/ha) aus (SCHULZ und EDER, 2006). Der Methanertrag liegt bei etwa 260 l/kg oTS (RÖHRICHT et. al., 2009).

Getreide-Ganzpflanzensilagen werden immer beliebter. Sie passen sehr gut in die Energiefruchtfolge und bringen auf lehmigen Böden und bei niedrigen Frühjahrstemperaturen gute und stabile Erträge. Der Roggen, als anspruchlose Winterfrucht, kommt am häufigsten vor, wobei sich alle Getreidearten eignen. Bei der Getreide-Ganzpflanzensilage ist zu beachten, dass sie über einen hohen Rohprotein- und damit hohen Stickstoffgehalt verfügen. Ein zu hoher Anteil in der Mischung hemmt den Fermentationsprozess (SCHULZ und EDER, 2006). Je nach Standort schwankt der Ertrag zwischen 8 – 12 t TM/ha (RÖHRICHT et. al., 2009).

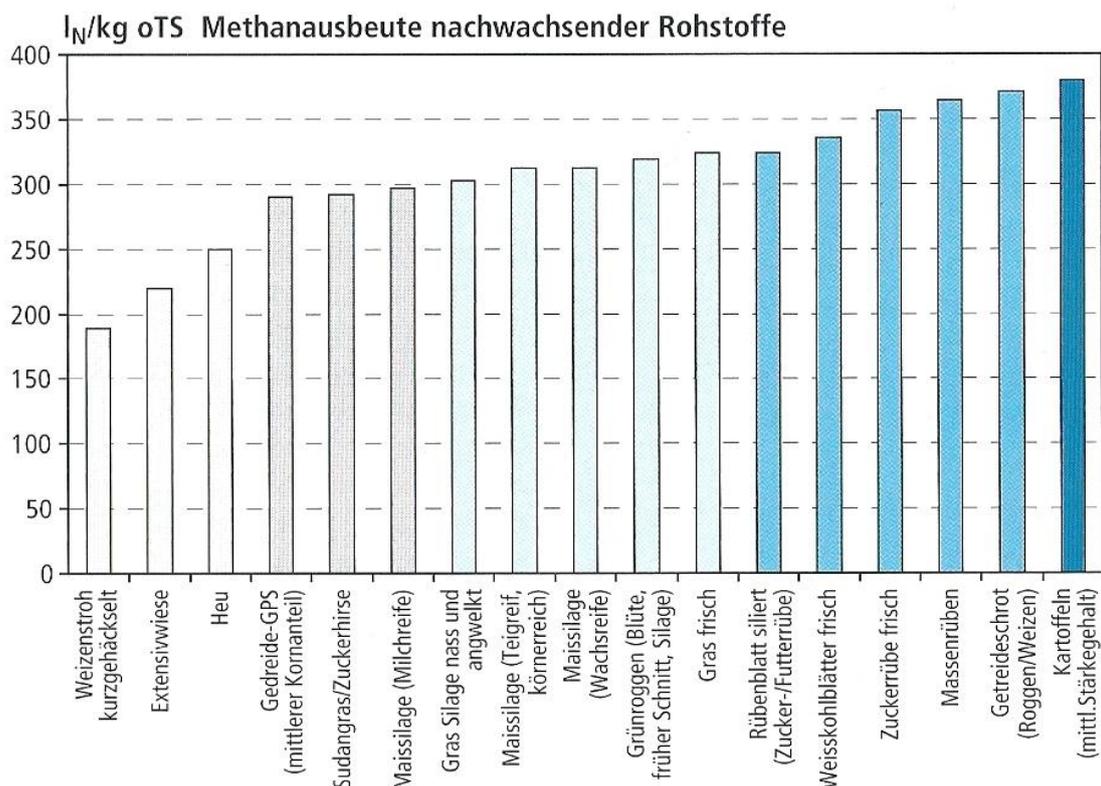


Abbildung 10: Methanausbeute von diversen Energiepflanzen (SCHULZ und EDER, 2006)

Die energiekonzentrierten Substrate, wie **Getreideschrot**, **Rüben** und **Kartoffeln** schneiden in der Gas- und Methanausbeute an Besten ab. Sie erreichen eine Methanausbeute von 350 bis 380 l/kg oTS (SCHULZ und EDER, 2006). Die Rübe hat auf Grund ihres hohen Massenwachstums und ihres hohen Zuckeranteiles beson-

ders gute Eigenschaften, um als nachwachsender Rohstoff angebaut zu werden (N. N., 2010a).

Zuckerhirse, Miscanthus und einige andere Arten eignen sich auch als Substrat zur Biogaserzeugung, sind jedoch nicht so verbreitet.

Neben Wirtschaftsdüngern und nachwachsenden Rohstoffen können überdies **Substrate aus der weiterverarbeitenden Industrie** (Schlempen, Kartoffelpülpe, Nass-Schnitzel, Melasse, Trester, ...), **organische Reststoffe aus Kommunen und Haushalten** (Biotonne aus der kommunalen Abfallentsorgung, Speisereste vor allem aus Großküchen, Marktabfälle und Schlachtrückstände) und **Grün- und Rasenschnitt** eingebracht werden (N. N., 2010a).

3.2.7. Fermentationsrückstand

Neben Biogas entsteht ein Zweitprodukt, der **Fermentationsrückstand**. Dieser lässt sich in Biogasgülle und Gärrückstände unterscheiden.

Werden bei der Biogaserzeugung ausschließlich Ausgangsmaterialien der land- u. forstwirtschaftlichen Urproduktion wie zum Beispiel nachwachsende Rohstoffe (Mais, Hirse, Gras, ...) und Ernterückstände verwendet, dann wird der anfallende Fermentationsrückstand „**Biogasgülle**“ bezeichnet (BMLFUW, 2007).

Biogasgülle ist gemäß den Bestimmungen der DÜNGEMITTELVERORDNUNG 100/2004 (iDF. 53/2007) als Ausgangsmaterial für die Herstellung von organischen Düngemitteln zulässig und darf unter den geltenden Bestimmungen der DÜNGEMITTELVERORDNUNG in Verkehr gebracht werden.

Kommen die Ausgangsmaterialien aus Rückständen der Be- und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte (z. Bsp. verdorbenes Saatgut, verdorbene Futtermittel und Futtermittelreste pflanzlicher Herkunft, Getreidebruch, ...) und/oder anderer biogene Reststoffe (wie z. Bsp. Speisereste aus Großküchen, Fettabscheiderrückstände, Wiederkäuerblut, Panseninhalte, ...) werden diese Endprodukte als „**Gärrückstand**“ bezeichnet.

Beim Einsatz von externen (vor allem bedenklichen) Co-Substraten bestehen sehr strenge Auflagen. Je nachdem welche Stoffgruppen eingesetzt werden, müssen diverse Gesetze (wie zum Beispiel das Abfallwirtschaftsgesetz, das Tiermaterialengesetz, ...) und Verordnungen, wie die EU Verordnung über tierische Nebenprodukte, ... eingehalten werden (BMLFUW, 2007).

3.2.7.1. Nährstoffe

Die Endprodukte enthalten wertvolle Nährstoffe und werden in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt, um Nährstoffe zurückzuführen (BMLFUW, 2007). Werden die Nährstoffe möglichst im gleichen Umfang auf dieselben Flächen zurückgeführt, kann sicher gestellt werden, dass es einerseits zu keinem „Aushungern“, andererseits zu keinem ökologisch bedenklichen „Überladen“ der Produktionsflächen kommt (BMLFUW, 2006). In den letzten Jahren sind die mineralischen Dünger beträchtlich teurer geworden. Infolgedessen haben organische Düngemittel enorm an wirtschaftlicher Bedeutung gewonnen.

Die Nährstoffmenge und Nährstoffzusammensetzung des Fermentationsrückstandes hängt vom Ausgangsmaterial ab. Das heißt, das Endprodukt enthält die Nährstoffe aller einzelnen, eingebrachten Substrate und wird durch den Fermentationsprozess nicht verändert. Aufgrund der Vermischung beziehungsweise der unterschiedlichen Nährstoffgehalte der Substrate kommt es lediglich zur Veränderung der Nährstoffkonzentration. Durch die Zugabe von verschiedenen Co-Substraten werden zusätzliche Nährstoffe in den betrieblichen Stoffkreislauf eingeschleust. Die zusätzlich eingebrachten Nährstoffe müssen in der Düngplanung berücksichtigt werden (BMLFUW, 2007).

PÖTSCH et. al., 2004 untersuchten im Rahmen eines Projektes Fermentationsrückstände von 86 Biogasanlagen in Österreich. In der folgenden Tabelle sind einige Ergebnisse zusammengefasst:

Tabelle 4: Ergebnisse der von PÖTSCH et. al, 2004 untersuchten Fermentationsrückstände

Ø Trockenmassegehalt	3,91
Ø pH-Wert	7,99
Ø N-Gehalt (g/kg FM)	3,22
Ø NH ₄ -N Gehalt (g/kg FM)	1,78
Ø P-Gehalt (g/kg FM)	0,53
Ø K-Gehalt (g/kg FM)	2,57
Ø Ca-Gehalt (g/kg FM)	1,19
Ø Mg-Gehalt (g/kg FM)	0,36
Ø Na-Gehalt (mg/kg FM)	585,2

3.2.7.2. Einfluss des Fermentationsprozesses auf den Fermentationsrückstand

Durch den Fermentationsprozess werden grundlegende Substrat- und Anwendungseigenschaften verändert.

Da ein Teil der Kohlenstoffverbindungen der organischen Trockenmasse in Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂) abgebaut wird, reduziert sich der **Trockenmassegehalt**, in Abhängigkeit von der Verweildauer im Fermenter, um 30 bis 60%. Das Fermentationsendprodukt wird infolgedessen dünnflüssiger und homogener. Bei der Ausbringung in den Pflanzenbestand läuft es besser von den Pflanzen ab, versickert leichter in den Boden und verringert demzufolge Ammoniak- und Geruchsemissionen. Durch den kürzeren Kontakt der Biogasgülle beziehungsweise des Gärrückstandes mit der Pflanze kann die Gefahr von Pflanzenverätzungen eingeschränkt werden. Verfahrenstechnisch bringt die Verflüssigung eine Erleichterung beim Homogenisieren, Pumpen und Ausbringen (BMLFUW, 2007).

Nach JÄKEL et. al., 2002 zeigte ein Futteraufnahmeversuch bei Weidehaltung, dass Rinder bereits nach kurzer Zeit wieder das mit Biogasgülle gedüngte Gras fressen. Ebenso haben die Rinder auf der mit vergorener Rindergülle gedüngten Parzelle, im Vergleich zur unvergorenen Rindergülle, mehr Futter aufgenommen. Grund dafür sind die obig genannten positiven Eigenschaften (schnelleres Abfließen, geringerer Geruch, etc.).

Durch den Abbau der Kohlenstoffverbindungen wird das **Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnisses (C/N)** enger. Dies bewirkt eine geringere Stickstofffestlegung im

Boden und folglich eine schnellere Düngewirksamkeit (BMLFUW, 2007). Die schwer abbaubaren Kohlenstoffverbindungen, die für die Humusanreicherung des Bodens wichtig sind, bleiben erhalten (EDELHANN, 2001).

Die Pflanzenverfügbarkeit des Stickstoffes wird verbessert, weil ein Teil des organisch gebundenen Stickstoffs in die Ammoniumform übergeführt wird (BMLFUW, 2007). Laut JÄKEL et. al., 2002 führt die schnellere Stickstoffaufnahme der Pflanzen beziehungsweise der **höhere Anteil des Ammoniumstickstoffes** am Gesamtstickstoff zu einer höheren Trockenmassebildung und zu deutlichen Mehrerträgen.

Des Weiteren wird gegenüber dem konventionellen Abbauprozess von Gülle viermal **weniger Lachgas (N₂O) freigesetzt**, dessen Treibhauswirksamkeit 310mal höher wie jene von Kohlendioxid ist (EDELHANN, 2001).

Durch den Fermentationsprozess steigt der **pH-Wert** und wie schon erwähnt der Ammoniumstickstoffgehalt. Dies bringt jedoch negative Effekte mit sich (BMLFUW, 2007).

Wie in *Abbildung 11* und *Abbildung 12* ersichtlich, wird durch den Anstieg des pH-Wertes und des Ammoniumstickstoffgehaltes das Risiko für Ammoniakemissionen wesentlich erhöht. Dies muss bei der oberflächlichen Ausbringung und Lagerung berücksichtigt werden (*Tabelle 5*).

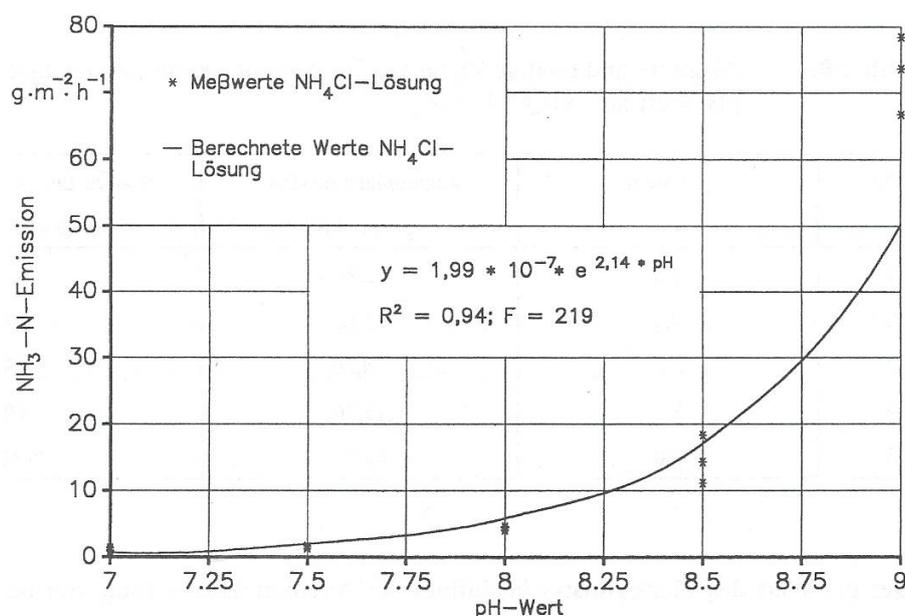


Abbildung 11: Einfluss des pH-Wertes auf die Ammoniakemission (GRONAUER, 1993)

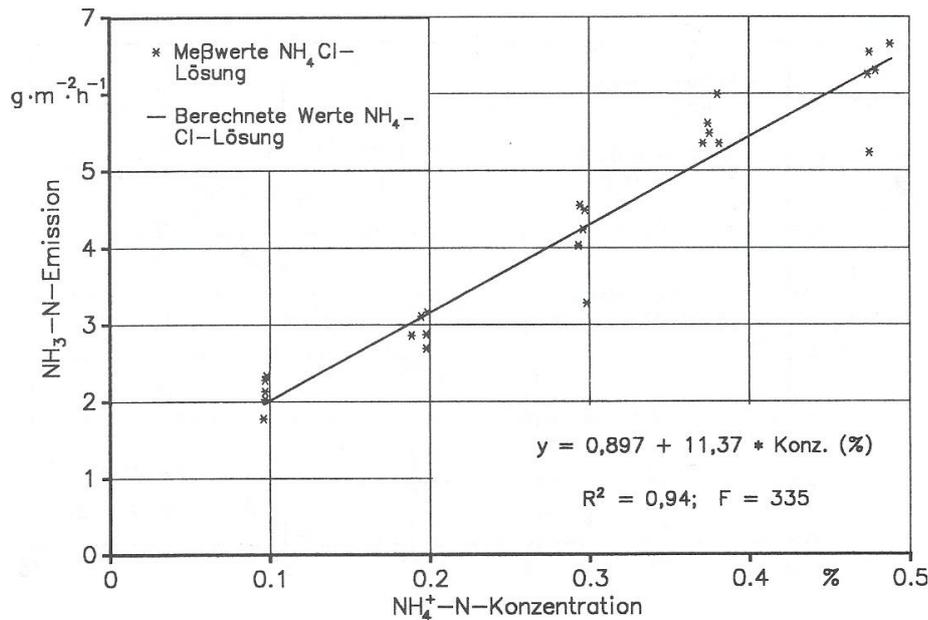


Abbildung 12: Einfluss des Ammoniumgehaltes auf die Ammoniakemission (GRONAUER, 1993)

Ein höheres Risiko einer Nitratauswaschung bei Biogasgülle im Vergleich zu den traditionellen Wirtschaftsdüngern besteht laut PÖTSCH et. al., 2004 nicht. JÄKEL et. al., 2002 konnten bei Versuchen feststellen, dass die Nitratauswaschung sogar vermindert wird. Bei Rohgülle wird auf leichten Böden bis zu 23% des verabreichten Stickstoffes ausgewaschen. Bei Biogasgülle hingegen nur 14%. Denn wie schon erläutert, sorgt der höhere Ammoniumanteil für eine schnellere Aufnahme.

3.2.7.3. Ausbringung des Fermentationsrückstandes

Wie schon im vorigen *Kapitel* 3.2.7.2 erwähnt, sind bei der Ausbringung von Biogasgülle und Gärrückstände, im Vergleich zu einer üblichen Gülle, höhere Ammoniakverluste möglich. Für den Landwirt würden wirtschaftliche Verluste entstehen. Bis zu 70% des Ammoniumstickstoffes könnten während oder nach der Ausbringung in Form von Ammoniak verloren gehen. Weiters hätte es negative Auswirkungen auf Umwelt und Klima. Dementsprechend sollten bei der Ausbringung Maßnahmen zur Reduzierung beachtet und eingehalten werden (BMLFUW, 2007).

Tabelle 5: Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakverlusten bei der Ausbringung von Biogasgülle (BMLFUW, 2007)

Nicht technische Maßnahmen	Technische Maßnahmen
Ausbringung bei kühler, feuchter Witterung und annähernder Windstille	bodennahe Ausbringung (Schleppschlauch, ...)
Ausbringung vorzugsweise am Abend	großtropfige Ausbringung
Ausbringung kleinerer Mengen	rasche Einarbeitung (im Ackerbau)
Ausbringung in den Pflanzenbestand	gleichmäßige Verteilung

Fermentationsrückstände enthalten, sowie andere Dünger auch, Stickstoff und folglich müssen bei der Düngung Gesetze, Verordnungen und Richtlinien eingehalten werden (BMLFUW, 2007).

Laut WASSERRECHTSGESETZ 1959 (BGBL. NR. 215/1959 - zuletzt novelliert 2006) § 32 ABSATZ 2 F dürfen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ohne Gründeckung 175 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr, auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Gründeckung einschließlich Dauergrünland oder mit stickstoffzehrenden Fruchtfolgen 210 kg Stickstoff je Hektar und Jahr ausgebracht werden. Der anrechenbare Stickstoff (= feldfallend laut Wasserrecht) wird durch die Multiplikation der Stickstoffanalysewerte der Fermentationsrückstände mit 0,87 ermittelt. Die rechnerische Differenz zwischen Analysenwert und anrechenbarem Stickstoff ergibt sich auf Grund von unvermeidbaren gasförmigen Stickstoffverlusten (BMLFUW, 2007). Das WASSERRECHTSGESETZ 1959 § 55L (zuletzt novelliert 2005) schreibt ebenso eine Höchstmenge von 170 kg Stickstoff je Hektar und Jahr aus Dung (=Wirtschaftsdünger) vor. Werden demnach tierische Ausscheidungen verwertet, gilt dieser Paragraph auch für Fermentationsendprodukte.

Im Zuge dieser Beschränkungen ergibt sich die erlaubte Applikationsmenge pro Hektar und Jahr. Die Höchstgrenze von 170 kg Stickstoff je Hektar und Jahr ist nach einer Düngemenge von rund 45m³ pro Hektar und Jahr vergorener Schweinegülle erreicht. Bedingt durch die deutlich niedrigeren Nährstoffkonzentrationen

in der Biogasgülle aus dem Rinderbereich, wird das Limit erst bei einer Ausbringungsmenge von knapp 65m³ pro Hektar und Jahr erreicht (PÖTSCH et. al., 2004).

Fermentationsrückstände sollten entsprechend der „Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland“ auf unterschiedliche Parameter (Nährstoffe, Schwermetalle, Hygiene,...) untersucht werden (BMLFUW, 2007).

Für Biogasgülle und Gärrückstände aus Wirtschaftsdünger und nachwachsender Rohstoffe, sind nur wenige Untersuchungen vorgeschrieben. Im Hinblick auf die sachgerechte Verwertung in der Landwirtschaft wird eine Nährstoffanalyse für Stickstoff, Phosphor und Kalium vor der Ausbringung einmal im Jahr empfohlen.

PÖTSCH et. al. untersuchten unter anderem die Schwermetallgehalt der Fermentationsendprodukte. Bezogen auf die gültigen Schwermetallgrenzwerte in Österreich überschritten rund 15% der untersuchten Proben den Cadmium-Grenzwert und 8% den Chrom-Grenzwert (PÖTSCH et. al., 2004).

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Schwermetallgrenzwerte mit Durchschnittsergebnissen aus 47 Biogasanlagen, der von PÖTSCH et. al, 2004 untersuchten Fermentationsrückstände aus dem Rinderbereich

Schwermetall	Einheit	Grenzwerte gemäß DMVO 2004	lt. Pötsch et. al., 2004
Blei	mg/kg TM	100	6,5
Cadmium	mg/kg TM	3	0,61
Chrom	mg/kg TM	100	36,1
Nickel	mg/kg TM	100	9,5
Quecksilber	mg/kg TM	1	-N-

3.2.7.4. Hygienisierung

Ein positiver Aspekt des Fermentationsprozesses ist die mögliche **Hygienisierung**. „Unter einer Hygienisierung wird das Erreichen der gesetzlich vorgeschriebenen seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit verstanden“ (AHLERT und KNOBLAUCH, 2003).

Je nachdem welche Substrate (speziell Bioabfälle,...) eingebracht werden und welche Gesetze gelten, müssen gewisse Hygienevorschriften eingehalten werden. Die Biogasgülle darf zum Beispiel gemäß der DÜNGEMITTELVERORDNUNG 2004, ANLAGE 1, nicht mehr als drei keimfähige Samen und austriebsfähige Pflanzenteile je Liter enthalten. Laut PIETSCH (2004) gibt es für die Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen keine gesetzliche Hygienisierungsvorschriften. Anlagenbetreiber sollten daher das Risiko für die Pflanzengesundheit abschätzen und bei einem identifizierten Risiko Vorsorgemaßnahmen ergreifen, um die Pflanzengesundheit zu schützen. Laut Düngemittelrecht dürfen bei der Abgabe von Gärresten an Dritte keine Schäden an Pflanzen verursacht werden.

Ausführlicheres zur Hygienisierung im *6. Kapitel (Diskussion)*.

3.3. Unkräuter

3.3.1. Was sind Unkräuter?

Für den Begriff „Unkräuter gibt es viele Definitionen, unter anderem:

- ✓ „Unkräuter sind Pflanzen, die mehr schaden als nützen“ (KOCH und HURLE, 1978).
- ✓ „Unkräuter sind Pflanzenarten oder Pflanzenbestände, die den Zielen des Bewirtschafters einer bestimmten Fläche im Wege sind“ (VAN DER ZWEEP, 1979).
- ✓ Unkräuter sind Pflanzen, die neben den Kulturpflanzen auf Äckern, in Gärten und auf vom Menschen geschaffenen oder stark beeinflussten Standorten in Dörfern und Städten von selbst wachsen (HOLZNER et. al., 1994).

Ein wesentliches Einteilungsprinzip ist jenes nach dem Standort: Ackerunkräuter oder Segetalpflanzen nennt man diejenigen Arten, die vor allem auf Ackerland und in Gärten und anderen Kulturen auftreten. Derzeit wird der Begriff Unkräuter teilweise durch neutralere Benennungen ersetzt. So verwendet man die Ausdrücke: Acker-Wildpflanzen, Beikräuter, Begleitpflanzen oder Ackerbegleitflora (HOLZNER et. al., 1994).

Unkräutern wird in der Landwirtschaft meist eine negative Bedeutung zugemessen. Die negativen Auswirkungen sind, dass sie mit den Kulturpflanzen um Wachstumsressourcen (wie Nährstoffe, Standraum, Wasser und Licht) konkurrieren, die Ernteproduktqualität abwerten, Schädlinge und Krankheiten fördern, Erntearbeiten erschweren, usw. . Andererseits tragen sie zu einer Verminderung der Nährstoffauswaschung und Bodenerosion bei und bieten eine Lebensgrundlage für Nützlinge.

Das Schadensausmaß ist wesentlich von der Unkrautart, dem Zeitpunkt des Auftretens und der Unkrautdichte abhängig. Vielfach ist eine konsequente Unkrautkontrolle und -bekämpfung notwendig, um größere Ertrags- und Qualitätsverluste zu vermeiden (PFLANZENGESUNDHEIT, 2010).

3.3.2. Beschreibung der ausgewählten Unkrautarten



Abbildung 13: Verwendete Unkräuter

Bei den verwendeten Unkräutern handelt es sich um wichtige Problemunkräuter Österreichs. Weiteres Augenmerk bei der Auswahl der Unkrautarten wurde auch auf ihre Bedeutung bei wichtigen Kulturarten als Ausgangssubstrate für die Biogaserzeugung z. B. Mais, Getreide etc. gelegt.

3.3.2.1. Spreizende Melde (*Atriplex patula*)



Atriplex patula ist eine einjährige Pflanze mit einer mittleren Konkurrenzkraft in Rüben-, Mais-, Leguminosen-, Kartoffeln-, Raps- und Sommergetreidebestände und kommt häufiger auf stickstoffreichen Böden vor. Die Pflanzen sind ein Zeigerwert für mäßige Wärme und mittelfeuchte, schwach saure bis basische Böden (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

Abbildung 14: *Atriplex patula* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 15: *Atriplex patula*

Sammelort: Herr Univ.Prof. Dr.phil Wolfgang Holzner / BOKU hat die Samen vom Seewinkel am Neusiedlersee (B) mitgebracht.

Sammeldatum: Anfang Oktober 2008

3.3.2.2. Flughafener (*Avena fatua*)

Wird auch Wind-Hafer, Wild-Hafer, Blindhafer,... bezeichnet. *Avena fatua* ist eine sehr konkurrenzstarke, rasch- und hochwüchsige, einjährige Pflanze mit hohem Nährstoffaneignungsvermögen und ein Zeigerwert für mäßige Wärme, mittelfeuchte Standorte und schwach saure bis schwach basische Böden. Kommt hauptsächlich in Getreide-, Rüben-, Mais-, Leguminosen- und Kartoffelbeständen vor, verbreitet sich seit 1990 zunehmend in Österreich und ist sehr schwierig zu bekämpfen. Bei erstem Auftreten von Einzelpflanzen ist händisches Entfernen sinnvoll. Mechanisch kann das Ungras in Getreidebeständen kaum bekämpft werden. Für eine chemische Bekämpfung sind spezielle Herbizide mit Flughafenerwirkung erforderlich (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

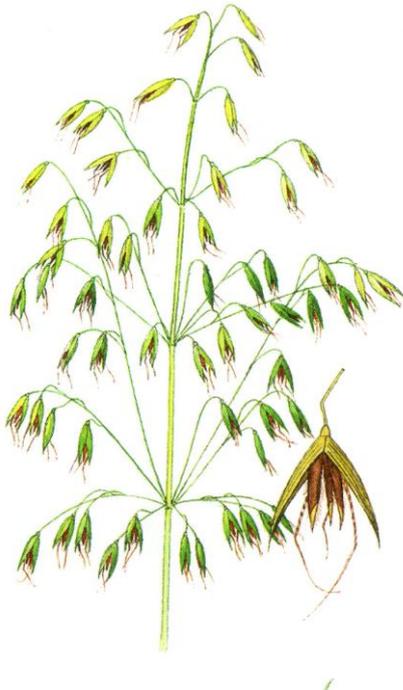


Abbildung 16: *Avena fatua* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 17: *Avena fatua*

Sammelort: Die Samen wurden von der Getreidereinigung der RWA Korneuburg (NÖ) zu Verfügung gestellt.

Sammeldatum: Ende August 2008

3.3.2.3. Stumpfblättriger Ampfer (*Rumex obtusifolius*)

Wird landläufig Laamstandl oder Grindlwurz genannt. *Rumex obtusifolius* gilt als Problemunkraut im Grünland, besonders nach dem Grünlandumbruch. Die ausdauernden, krautigen Pflanzen sind sehr konkurrenzstarke Platzräuber, Lichtkeimer, nützen lückige Bestände, verfügen über ein sehr hohes Samenpotential



(bis zu 7000 Samen/Pflanze) und über ein gut ausgebildetes Wurzelsystem (reicht bis in zwei Meter Tiefe). Die Samen sind sehr widerstandsfähig und langlebig (überleben bis zu 40 – 50 Jahre im Boden). Verbreitet werden die Samen auf vielerlei Weise (Gülle, Mist, Wind, Wasser, Tiere, Maschinen,...). *Rumex obtusifolius* ist ein Zeigerwert für mäßige Wärme, mittelfeuchte bis feuchte Standorte und auf übermäßig mit Stickstoff versorgte Böden (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

Abbildung 18: *Rumex obtusifolius* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 19: *Rumex obtusifolius*

Sammelort: St. Leonhard/F (NÖ) – im Grünland

Sammeldatum: Anfang Juli 2008

3.3.2.4. Tresse (*Bromus sp.*)

Der Großteil der verwendeten Samen stammte von *Bromus sterilis* (Taube Tresse). *Bromus sterilis* ist eine einjährige, krautige, mäßig stickstoffliebende, wärmeliebende Pflanze. Sie besitzt ein starkes Bestockungsvermögen mit mittelstarker bis starker Konkurrenzkraft und wird vornehmlich in Wintergetreide und Winterraps vorgefunden. Zum Teil wachsen sie vom Ackerrand in die Kulturen ein. Eine Ausbreitung wird durch Minimalbodenbearbeitung, enge Wintergetreidefruchtfolgen und frühe Aussattermine gefördert. *Bromus sterilis* führt neben hohen direkten Ertragsausfällen, durch Überwachsen und Niederdrücken der Getreidebestände

zu verstärktem Lager, Ernteerschwernissen und Qualitätseinbußen. Mechanisch ist das Ungras kaum bekämpfbar. Auch die chemische Bekämpfung ist schwierig, weil sie durch zahlreiche Herbizide nicht oder nur ungenügend erfasst wird. Eine sorgsame Herbizidwahl ist notwendig. Da eine Bekämpfung in der Kultur nicht immer erfolgversprechend ist, müssen Maßnahmen wie Pflugeinsatz, aufgelockerte Fruchtfolgen, Feldrandhygiene, mehrmalige, flache Bodenbearbeitung nach der Ernte sowie Glyphosat-Einsatz vor der Aussaat mit eingepflanzt werden (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006; GEHRING und THYSEN, 2010).



Abbildung 20: *Bromus arvensis* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: SCHLECHTENDAL, D. F. L. V., L. E. LANGETHAL U. E. SCHENK. FLORA VON DEUTSCHLAND. 5. A., 30 BDE. U. 1 REG.-BD. GERA 1880-1888



Abbildung 21: *Bromus sp.*

Sammelort: St. Leonhard/F (NÖ)
– Straßen- und Ackerrand
Sammeldatum: Juli 2008

3.3.2.5. **Kletten-Labkraut** (*Galium aparine*)

Galium aparine ist eine einjährige, stickstoffliebende Pflanze mit einer starken bis äußerst starken Konkurrenzkraft und kommt hauptsächlich in Raps, Rüben, Getreide, Leguminosen und Kartoffeln und manchmal auch in Mais vor. Die Pflanze ist in der Lage, mit ihren Borstenhaaren an Blättern und Stängeln anderer Gewächse hinauf zuklettern und erreicht dadurch in verschiedenen Feldkulturen rasch die Bestandesoberfläche. Aufgrund dieser Besonderheit gehören sie zur Gruppe der „Spreizklimmer“. *Galium aparine* besitzt ein sehr hohes Schadenspo-



tential hinsichtlich Ertragsleistung und Erntequalität. Die Bekämpfungsschwelle im Getreidebau liegt bei 0,1 Pflanzen/m². Im Getreide sind die Pflanzen mechanisch nur schwer bekämpfbar. Eine Möglichkeit ist zum Beispiel das sogenannte „Auskämen“ mit dem Hackstriegel. Die chemische Bekämpfung ist teilweise schwierig. In bestimmten Kulturen sind nur wenige Herbizide mit guter Klettenlabkrautwirkung verfügbar (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006; GEHRING und THYSSEN, 2010).

Abbildung 22: *Galium aparine* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 23: *Galium aparine*

Sammelort: Die Samen wurden von der Getreidereinigung der RWA Korneuburg (NÖ) zu Verfügung gestellt.

Sammeldatum: Ende August 2008

3.3.2.6. Amaranth (*Amaranthus* sp.)

Der Großteil der verwendeten Samen stammte von *Amaranthus retroflexus* (Rauer Amaranth, Rauhaariger- oder Zurückgebogener Fuchsschwanz). Jedoch waren auch Samen vom *Amaranthus powellii* (Schlanker Amaranth, Kahler- oder Grünähriger Fuchsschwanz) dabei.

Amaranthus retroflexus ist eine einjährige Pflanze mit äußerst starker Konkurrenz- kraft in Rüben, Mais, Leguminosen, Kartoffeln, Sommerraps und Sommergetreide. Die Pflanzen produzieren sehr viele Samen, die vermutlich auch langlebig sind. Im



Boden kommt es daher zu einer Samenan- reicherung. Früh applizierende Herbizide versprechen zum Teil keinen Bekämp- fungserfolg, da spät keimende Amaranthe erst nach der Bekämpfung auflaufen. Hinzu kommt, dass ebenso herbizidresistente Ty- pen auftreten. *Amaranthus powellii* ist dem *Amaranthus retroflexus* im Unkrauttyp und in der landwirtschaftlichen Bedeutung ähnlich und kommen oft direkt nebeneinander am Feld vor (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

Abbildung 24: *Amaranthus retroflexus* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 25: *Amaranthus* sp.

Sammelort: St. Leonhard/F (NÖ) – Zuckerrübenfeld

Sammeldatum: Ende September 2008

3.3.2.7. Acker-Quecke (*Elytrigia repens*)

Die Quecke hat öfters den Gattungsnamen gewechselt. In verschiedenen aktuellen Büchern wird anstatt *Elytrigia repens* auch der wissenschaftliche Name *Agropyron repens* oder *Elymus repens* verwendet.

Elytrigia repens ist ein ausdauerndes Ungras, weist eine starke bis äußerst starke Konkurrenzskraft auf, kommt in allen Kulturen vor, neigt in Massen aufzutreten und ist wegweisend auf stickstoffreiche Böden. Durch den Einsatz von schneidenden

beziehungsweise zerteilenden Bodenbearbeitungsgeräten kann sich die Quecke mit kleinen Rhizomstückchen rasch vermehren. Schon kleinste Rhizomstückchen bilden neue Pflanzen. Bei passenden Bodenverhältnissen ist eine mechanische Bekämpfung mit einem Federzahngrubber möglich. Eine chemische Bekämpfung kann in verschiedenen Kulturen mit erhöhten Aufwandsmengen von Spezialherbiziden durchgeführt werden, was jedoch hohe Kosten verursacht. Eine günstigere Variante ist eine Bekämpfung nach der Ernte mit Glyphosphat (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).



Abbildung 26: *Elytrigia repens* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 27: *Elytrigia repens*

Sammelort: St. Leonhard/F (NÖ) – Straßen- und Ackerrand

Sammeldatum: Juli 2008

3.3.2.8. Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*)

Chenopodium album ist eine einjährige, krautige C4-Pflanze, die eine Wuchshöhe von bis zu drei Meter erreicht und bis zu einem Meter tief wurzelt. Die Pflanzen verfügen über eine äußerst starke Konkurrenzkraft. Anzutreffen auf Unkrautfluren, als Erstbesiedler auf Schutthaufen oder in landwirtschaftlichen Kulturen, wie zum Beispiel in Zuckerrüben-, Mais-, Kartoffeln-, Sojabohne-, Rapsbeständen. Die Sa-



men sind extrem langlebig. Sie können über Jahrtausende im Boden nachgewiesen werden. Die Hauptkeimzeit ist im April, aber sie können bis in den Frühherbst hinein keimen. Das kann zu starken Ertragsminderungen führen und den Erntevorgang beeinträchtigen. Eine problemlose Bekämpfung mit vorhandenen Herbiziden ist möglich. (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

Abbildung 28: *Chenopodium album* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 29: *Chenopodium album*

Sammelort: St. Leonhard/F (NÖ) – Schutthaufen und Maisfeld

Sammeldatum: Anfang - Ende September 2008

3.3.2.9. Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*)

Echinochloa crus-galli zählt zu den einjährigen Hirsen, die bei uns als Ackerungräser vorkommen. Die Pflanzen sind klassische Stickstoffzeiger, raschwüchsig und äußerst konkurrenzstark. Sie benötigen eine Bodentemperatur von



mindestens 10°C zur Keimung. Deshalb keimen sie erst ab Mai und treten vor allem in Hackfrüchten (Rüben, Kartoffeln, Mais,...) auf. Besonders problematisch können sie in Maisfeldern werden, weil sie bis zu zwei Meter hoch werden können. Ursprünglich waren sie in Mais gut bekämpfbar, bis sich regional herbizidresistente Typen ausbreiteten. Derzeit sind sie durch neuere Herbizide erfolgreich bekämpfbar (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

Abbildung 30: *Echinochloa crus-galli* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 31: *Echinochloa crus-galli*

Sammelort: St. Leonhard/F (NÖ) – Schutthaufen und Zuckerrübenfeld

Sammeldatum: Anfang September bis Mitte Oktober 2008

3.3.2.10. Ampfer-Knöterich (*Polygonum lapathifolium*)



In verschiedenen Büchern wird anstatt *Polygonum lapathifolium* auch der wissenschaftliche Name *Persicaria lapathifolia* verwendet. Die einjährige Pflanze weist eine starke Konkurrenzkraft in Rüben-, Leguminosen-, Kartoffel-, Sommerraps- und Maisbeständen auf. Die Pflanzen sind Feuchte- / Nässe- und Stickstoffzeiger. Die Bekämpfung ist insofern problematisch, da Herbizide teilweise Wirkungslücken hatten, wodurch *Polygonum lapathifolium* in den letzten Jahren deutlich zugenommen hat (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

Abbildung 32: *Polygonum lapathifolium* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 33: *Polygonum lapathifolium*

Sammelort: St. Leonhard/F (NÖ) – Zuckerrübenfeld

Sammeldatum: Anfang Oktober 2008

3.3.2.11. *Beifußblättriges Traubenkraut (Ambrosia artemisiifolia)*

Ambrosia artemisiifolia, im Englischen unter dem Namen Ragweed bekannt, wurde aus Nordamerika eingeschleppt. Es ist ein einjähriges Ackerunkraut das beim Menschen heftige Allergien auslösen kann. Vor allem durch den Pollen, aber auch



bei Hautkontakt mit dem Blütenstand. Eine einzelne Pflanze kann zwischen 3000 und 60000 Samen ausbilden, die im Boden bis zu 40 Jahre keimfähig bleiben können. Diese Unkrautart hat relativ hohe Temperaturansprüche und ist in Ausbreitung begriffen. Die Pflanzen sind sehr konkurrenzstark und kommen vor allem in Mais, Kürbiskulturen, Sonnenblumen und Soja vor. (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

Abbildung 34: *Ambrosia artemisiifolia* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: ANGELA RÜNZLER



Abbildung 35: *Ambrosia artemisiifolia*

Sammelort: Umgebung von Bruckneudorf (NÖ) – Wegrand

Sammeldatum: September 2008

3.3.2.12. Gewöhnliches Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*)



Capsella bursa-pastoris ist eine einjährige, stickstoffliebende Pflanze mit geringer Konkurrenzskraft. Sie wird von den meisten Kulturpflanzen leicht unterdrückt und kommt eher in konkurrenzschwachen Kulturen, wie etwa Karotten und Feldsalate vor. Durchaus kann es aber auch in Winteraps, Getreide, Rüben, Leguminosen und Mais angetroffen werden. Bekämpfungsmaßnahmen sind kaum erforderlich (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006).

Abbildung 36: *Capsella bursa-pastoris* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 37: *Capsella bursa-pastoris*

Sammelort: Gerhaus (NÖ) – wurden von ATC-Gerhaus zur Verfügung gestellt

Sammeldatum: Juli 2006

3.3.2.13. Gewöhnliche Vogelmiere (*Stellaria media*)

Stellaria media ist eine einjährige, stickstoffliebende Pflanze mit mittlerer Konkurrenzkraft z. Bsp. in Raps, Rüben, Kartoffeln, Wintergetreide und Leguminosen. Die Pflanze ist oft niederliegend und bedeckt mehr oder weniger polsterartig größere



Flächen. Dies kann die Jugendentwicklung des Wintergetreides behindern und führt in Lagergetreide zu Erntestörungen und zu einer Erhöhung der Kornfeuchte. In konkurrenzschwachen Kulturen ist *Stellaria media* unter Umständen ein lästiger Konkurrent, da die Pflanzen wegen ihrer raschen Entwicklung viel Wasser und Nährstoffe aufnehmen. Die Bekämpfung ist problemlos (HOLZNER und GLAUNINGER, 2005; BEDLAN, 2006; GEHRING und THYSEN, 2010).

Abbildung 38: *Stellaria media* (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS



Abbildung 39: *Stellaria media*

Sammelort: Gerhaus (NÖ) – wurden von ATC-Gerhaus zur Verfügung gestellt

Sammeldatum: Juni 2007

3.4. Fruchtarten

Fruchtarten, wie *Triticum aestivum*, *Zea mays* und *Trifolium pratense* wurden ebenso geprüft, ob es zu einer Hygienisierung durch den Fermentationsprozess kommt. Würden mit dem Fermentationsendprodukt keimfähige Samen ausgebracht werden, könnte es in der darauffolgenden Kultur zu einem unerwünschten Durchwuchs durch eine andere Fruchtart kommen.

4. Material und Methoden

4.1. Standorte

Zur umfassenden Beurteilung der Verbreitungsgefahr von Samenunkräutern mit Fermentationsendprodukten aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen war es erforderlich, verschiedene Biogasanlagen in diversen praxisüblichen Bauarten einzubinden. Ebenso für die Aufbringung bedeutender Samenunkräuter waren klimatische und bodenbezogene unterschiedliche Sammelorte notwendig (Abbildung 40).



Abbildung 40: Standorte der in die Arbeit einbezogenen Biogasanlagen, Sammelorte von Unkrautsamen,... (AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG, 20.02.2009)

- ▲ Biogasanlage A (Standort Kautzen)
- Biogasanlage B (Standort Haidershofen)
- ◆ Biogasanlage C (Standort Sierndorf)
- Sammelort von *Rumex obtusifolius*, *Bromus* sp., *Amaranthus* sp., *Elytrigia repens*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Polygonum lapathifolium*
- ▲ Sammelort von *Avena fatua*, *Galium aparine*
- Sammelort von *Atriplex patula*
- ◆ Sammelort von *Ambrosia artemisiifolia*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*
- Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Wienerstraße 64, 3100 St. Pölten

• Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien

4.2. Aufbereitung der ausgewählten Unkraut- und Kulturartensamen

Von Juli 2008 bis Anfang Oktober 2008 wurden die Unkrautsamen gesammelt. Die Samen wurden entweder direkt von der Pflanze geerntet oder es wurde die gesamte Pflanze abgeschnitten, getrocknet und anschließend die Samen gewonnen.



Abbildung 41: Ernte von Unkrautsamen für nachstehende Versuche



Abbildung 42: Trocknung von abgeschnittenen Pflanzen (*Rumex obtusifolius*)

Da nur für wenige Unkrautarten definierte Keimfähigkeitsmethoden vorhanden waren, mussten Methoden (*Kapitel 4.5.*) erarbeitet werden, in dem sie von bestehenden Methoden abgeleitet wurden. Mit den speziellen Methoden wurden anschließend Keimfähigkeitsprüfungen von Unkraut- und Kultursamen durchgeführt, um die Keimfähigkeit vom Ausgangsmaterial beurteilen zu können beziehungsweise ob es als Ausgangsmaterial für nachstehende Versuche geeignet ist. Für reproduzierbare Ergebnisse war eine hohe Ausgangskeimfähigkeit erforderlich.

4.3. Versuchsserie im Fermenter einer Biogasanlage

Zur Beurteilung der Hygienisierung der ausgewählten Unkrautarten wurden die geernteten und aufbereiteten Unkrautsamen mittels Säckchen in drei Biogasanlagen eingebracht. Nach verschiedenen Verweilzeiten (3 Tage, 1 Woche, 3 Wochen, 2 Monate) wurden die Samen entnommen und einer neuerlichen Keimfähigkeitsprüfung unterzogen. *Abbildung 43* zeigt die unterschiedlichen Versuchsserien.

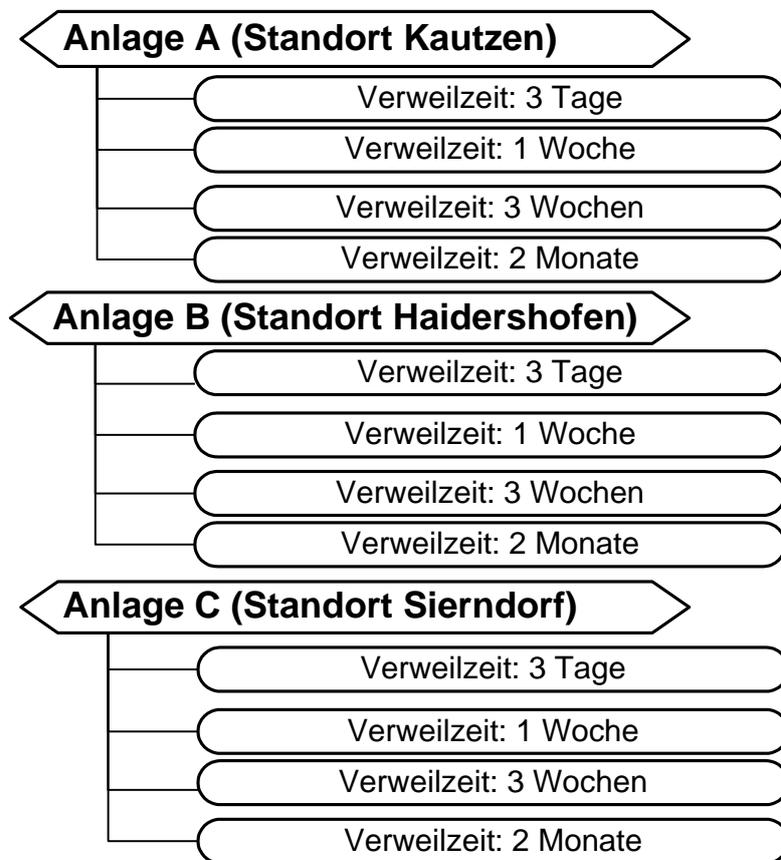
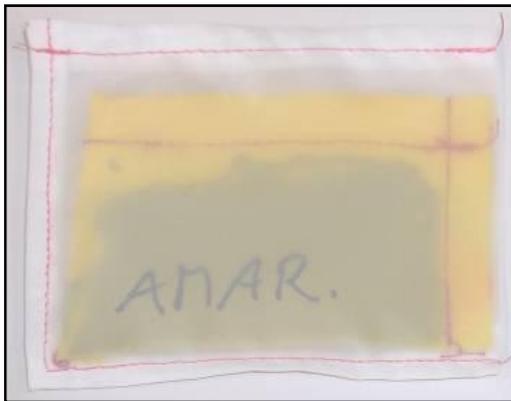


Abbildung 43: Versuchsserie in den Fermentern

4.3.1. Einbringung der Proben in den Fermenter



Eine definierte Menge an Unkrautsamen (ca. 500 Samen) wurde in ein Gewebe mit definierter Maschenweite (18 µm) eingenäht. Um die mechanische und chemische Stabilität zu erhöhen, wurden Proben mit einer Verweilzeit von mehr als einer Woche doppelt vernäht.

Abbildung 44: Probensäckchen



Abbildung 45: Einbringung der Proben in den Fermenter

Zum Versenken der Säckchen im Fermenter, wurde ein „Korb“ aus zwei Sieben angefertigt. D.h. zwei Siebe wurden mit Kabelbinder aneinander befestigt, sodass sich ein kugeliger Korb bildete und die Probensäckchen fassen konnte. Für jede Variante (Verweilzeit: 3 Tage, 1 Woche,...) war ein getrennter Korb erforderlich. Damit die Körbe nicht auf der Substratoberfläche blieben, wurden sie mit einem dünnem Nirostaseil (\varnothing 3 mm) an einen Behälter, der mit Sand gefüllt war, befestigt. Mit einem weiterem stärkerem Nirostaseil (\varnothing 5 mm), in entsprechender Länge, wurde der Behälter mit den Körben in der Nähe des Schauglases des Fermenters befestigt.

Die Probensäckchen wurden nach der vorgegebenen Verweilzeit herausgenommen, mit Wasser gespült, aufgeschnitten und zum Trocknen (bei Zimmertemperatur) auf Filterpapier ein bis zwei Tage ausgebreitet. Anschließend wurde die Keim-



fähigkeits- und sofern vorgesehen die Lebensfähigkeitsprüfung vorgenommen. Zu Beginn der Versuchsreihe wurden Samen vergleichsweise auch direkt (im nassen Zustand) angesetzt, wobei sich dabei keinerlei Unterschiede im Keimverhalten zeigten.

Abbildung 46: Samen von *Avena fatua* nach eintägiger Verweilzeit im Fermenter

4.3.2. Kurzbeschreibung der Biogasanlagen

4.3.2.1. Anlage A (Standort Kautzen)

Die Biogasanlage A befindet sich im nördlichen Waldviertel und ist im Besitz der Familie Datler (Plessberg 14, 3851 Kautzen).



Abbildung 47: Anlage A

Substrat

Maissilage: 50%

Grassilage: 50%

Wasser: ca. 2000 Liter / Tag

Basisdaten

Baujahr:	2003
Hauptfermentervolumen:	920 m ³
Fermentationstemperatur:	ca.45°C
pH-Wert:	8,2
Nachfermentervolumen (= Endlager)	1350 m ³
Gassackvolumen:	180 m ³
Installierte elektrische Leistung:	100 kW/h
	MAN – Motor (6 Zylinder) 63 kW
	MAN – Motor (4 Zylinder) 37 kW

Anlagenbeschreibung / Verfahrenstechnik

Die Biogasanlage arbeitet nach dem Speicher – Durchflussverfahren; d.h. der Hauptfermenter wird im Durchfluss - Verfahren betrieben und im zweiten, gasdichten Fermenter erfolgt die Nachgärung, der auch gleichzeitig als Endlager genutzt wird. Beide Behälter bestehen aus Beton mit Betondecke, sind in stehender Bauweise angefertigt und im Boden versenkt.

Im Hauptfermenter sind an der Wand zwei Ringe aus Niostarohren mit einem Durchmesser von 10 cm montiert, die das Gärsubstrat mit der Abwärme vom Blockheizkraftwerk aufheizen. Das frische Substrat wird in einem Futtermischer abgemischt und mit einer Einbringschnecke etwa einen Meter unter dem Flüssigkeitsspiegel des Fermenters (ins Fermentationssubstrat) eingebracht. Zwei Propeller-Rührwerke sorgen für ein homogenes Gemisch.

Das vergorene Substrat im Nachfermenter wird nicht beheizt und nur mit einem Paddelrührwerk durchmischt. Nach Informationen des Anlagenbetreibers werden bei seiner Anlage in Abhängigkeit vom Füllstand bis zu 10% des gesamten Biogases im Nachfermenter gewonnen. Das Gas wird in einem Gassack gesammelt und anschließend den beiden Verbrennungsmotoren zugeführt, die einen Generator antreiben. Der produzierte Strom wird ins öffentliche elektrische Stromnetz eingespeist. Die Abwärme wird zur Beheizung des Hauptfermenters, von drei Wohneinheiten, einem Feuerwehrhaus und zum Trocknen von Heu, Mais und Sägespänen verwendet.

4.3.2.2. Anlage B (Standort Haidershofen)

Die Biogasanlage B wird von Herrn Hahn Johann (Haidershofen 60, 4431 Haidershofen) betrieben.



Abbildung 48: Anlage B

Substrat

Maissilage: 60%

Hirse: 30%

Sudangras: 10%

Schweinegülle: je nach Anfall

Basisdaten

Baujahr:	2003 (2005 wurde der Nachfermenter errichtet)
Fermentervolumen:	2 x 600 m ³ (Haupt- u. Nachfermenter)
Fermentationstemperatur:	ca. 45°C
pH-Wert:	ca. 7,8
Endlager mit Folienabdeckung:	1600 m ³
Offenes Endlager:	2100 m ³
Gassackvolumen:	200 m ³
Installierte elektrische Leistung:	250 kW/h
	MAN – Motor (6 Zylinder) 125 kW
	MAN – Motor (6 Zylinder) 125 kW

Anlagenbeschreibung / Verfahrenstechnik

Diese Biogasanlage arbeitet nach dem Speicher – Durchflussverfahren. Sie besteht aus einem Hauptfermenter, einem Nachfermenter, einem Endlager mit Folienabdeckung und einem weiterem offenem Endlager. Vier Behälter sind im Boden versenkt und bestehen aus Beton. Die beiden Fermenter, in stehender Bauweise und mit Betondecke, sind isoliert und werden beheizt. Im Hauptfermenter sorgen zwei Propeller-Rührwerke und im Nachfermenter ein Propeller-Rührwerk für eine Durchmischung.

Das Substrat wird mit einer Einbringschnecke direkt, ohne vorher abgemischt zu werden, in den Hauptfermenter eingebracht. Das vergorene Substrat wird vom Hauptfermenter durch den Nachfermenter in das Endlager mit Folienabdeckung und schlussendlich ins offene Endlager geführt.

Das anfallende Gasgemisch wird zwei Verbrennungsmotoren zugeführt und der produzierte Strom wird ins öffentliche elektrische Stromnetz eingespeist. Die entstehende Wärme wird zur Beheizung der beiden Fermenter, von fünf Wohneinheiten, einem Stallgebäude, einer Getreidetrocknungsanlage und einem Feuerwehrhaus verwendet.

4.3.2.3. Anlage C (Standort Sierndorf)



Abbildung 49: Anlage C ([HTTP://WWW.LEHNERBAU.AT/PAGE.ASP/1176.HTM](http://www.lehnerbau.at/page.asp/1176.htm))

Die Biogasanlage C wird von der Pflanzenstrom Biogas GmbH & Co KEG (Oberhautzentel, 2011 Sierndorf) betrieben.

Substrat

Maissilage: ca. 90%

Hirse- und Getreidesilage: ca.10%

Fallweise Abfallkartoffel

Basisdaten

Baujahr:	2004
Fermentervolumen:	6 000 m ³ (innere + äußere Kammer)
Fermentationstemperatur:	ca. 45°C
pH-Wert:	ca. 8,0
Endlager	6 000 m ³
Installierte elektrische Leistung:	500 kW/h
	Deutz – Motor 500 kW

Anlagenbeschreibung / Verfahrenstechnik

Diese Biogasanlage arbeitet, wie die zwei weiteren Anlagen, nach dem Speicher – Durchflussverfahren. Allerdings sind die Behälter in der „Ring in Ring – Bauweise“ errichtet. Die Anlage besteht aus zwei betonierten, versenkten Behältern d.h. aus einem Fermenter und einem Endlager.

Die Behälter haben jeweils einen Außenringdurchmesser von 36 Meter, einen Innenringdurchmesser von 20 Meter und eine Höhe von sechs Meter. In der inneren Kammer sind zwei stehende Paddelrührwerke und in der äußeren Kammer sind zwei Stabrührwerke installiert. Das Substrat wird direkt in die innere Kammer eingebracht und vergoren. Das vergorene Substrat fließt durch einen Überlauf in die äußere Kammer (Nachgärbehälter) und schlussendlich ins Endlager. Das Endlager ist ebenfalls in der „Ring in Ring – Bauweise“ ausgeführt, um eine mögliche, zukünftige Systemvergrößerung durchführen zu können.

Die Anlage ist für eine elektrische Leistung von 500 kW/h ausgelegt und liefert ca. 4000 MWh/Jahr Strom, der ins EVN-Netz eingespeist wird. Das entspricht einem Jahresbedarf von rund 1200 Haushalten. Als Abwärme fallen ~700 kW/h thermische Leistung an, die durch diverse Wärmeabnehmer (Haushalte, Trocknungsanlage,...) größtenteils genutzt werden.

4.4. Laborversuche mit Fermentationssubstrat

Laborversuche wurden vorgenommen um den Hygienisierungsprozess einer Biogasanlage modelliert und unter standardisierten Bedingungen nachzuvollziehen, d. h. es wurden die Bedingungen einer Biogasanlage simuliert und gleichzeitig ein geregeltes Umwelt- und Zeitregime hergestellt (z. Bsp. Temperaturgenauigkeit $\pm 1^\circ\text{C}$). Dazu wurde Substrat aus dem Fermenter der Anlage A und Anlage C entnommen und in Laborplastikschalen abgefüllt (*Abbildung 50*). Die Proben (Unkraut- und Kultursamen) wurden in kleine Vliessäckchen gefüllt, verschlossen



(vernäht) und in das Fermentationssubstrat getaucht. Die Inkubation (= Einwirkung verschiedener Faktoren auf die Probe) erfolgte im Labortrockenschrank zu definierten Temperaturbereichen.

Abbildung 50: Versenke Probensäckchen in einer mit Substrat gefüllten Laborplastikschale

Es wurde ein mesophiler Temperaturbereich bei rund 35°C und ein thermophiler Temperaturbereich bei rund 50°C gewählt, da die meisten Biogasanlagen in diesem Temperaturbereich betrieben werden. Nach dem Erreichen der Verweilzeit (entsprechend dem vorgefertigten Versuchschemata) wurden die Proben entnommen und einer Keimfähigkeitsprüfung unterzogen. Im mesophilen Temperaturbereich wurde bei einigen Arten teilweise noch eine zusätzliche zehn Stunden – Kurzzeitvariante einbezogen, um den Verlauf des Keimfähigkeitsverlustes besser nachvollziehen zu können.

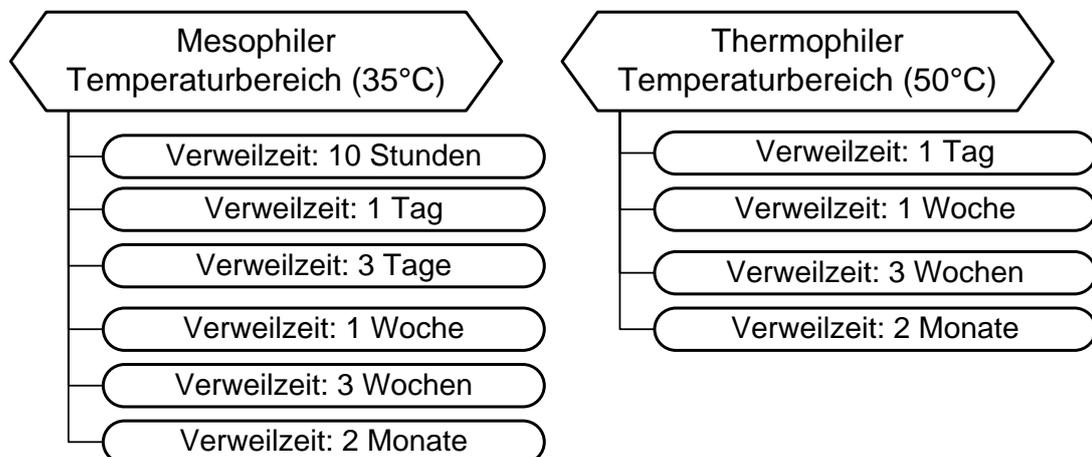


Abbildung 51: Versuchsserien im Labor

4.5. Keimfähigkeitsprüfung

Die Keimfähigkeitsprüfungen wurden überwiegend gemäß den ISTA – Methoden (International Seed Testing Association) durchgeführt. „Unter Keimung eines Samens im Laborversuch versteht man die Entwicklung des Keimlings bis zu einem Stadium, in dem das Aussehen seiner wichtigsten Teile anzeigt, ob er oder ob er nicht in der Lage ist, sich unter günstigen Bedingungen im Boden zu einer zufriedenstellenden Pflanze weiterzuentwickeln“ (ISTA GERMINATION COMMITTEE, 2009). Für einige Unkrautarten gibt es keine definierte Keimfähigkeitsmethode. Daher wurden Methoden gewählt, die für Arten der gleichen Familie oder Gattung angewendet werden, beziehungsweise wurden in Versuchen adaptierte Methoden getestet. Für jede Variante wurden 50 Körner (standardmäßig 100 Körner) in vierfacher Wiederholung angesetzt und die Prüfdauer (Ansetzen bis Endauszählung) betrug fast immer 14 Tage.



Bei der Methode **PP** (pleated paper - Faltenfilter) wurden jeweils zwei Samen in eine wassergesättigte Filterpapierfalte (entweder mit Wasser oder mit KNO_3) gelegt. Die zusätzliche Behandlung mit KNO_3 und die Vorkühlphase (VK) bei 6 – 8°C wurde dafür genutzt, um die Keimruhe zu brechen. Je nach Methodenspezifikation erfolgte die Keimfähigkeitsprüfung (*gemäß den Angaben in Tabelle 7 und Tabelle 8*).

Abbildung 52: Keimfähigkeitsprüfungsmethode „pleated paper“

Bei der Methode **TP** (top of paper – auf Papier) wurden die Samen auf runden, angefeuchteten Filterpapierplättchen verteilt, auf die Jacobsenkeimwanne gelegt und mit Glashauben abgedeckt, um die Verdunstungsverluste zu minimieren.



Abbildung 53: Keimfähigkeitsprüfungsmethode „top of paper“

Bei *Zea mays* wurde die Methode **BP** (between paper – zwischen Papier) angewendet; d. h. die Maiskörner wurden auf ein angefeuchtetes Filterpapier gelegt,



mit einem zweiten Filterpapier abgedeckt und zusammen gerollt. Die Filterpapierrollen wurden anschließend in ein Gefäß gestellt und im Keimschrank bei 25°C inkubiert.

Abbildung 54: Keimfähigkeitsprüfungsmethode „between paper“

Tabelle 7: Keimfähigkeitsprüfungsmethoden der ausgewählten Unkrautarten

	Methode	12h / 12h Tempera- tur [°C]	Keim- phase [d]	Vorbehand- lung	Wieder- holung
<i>Avena fatua</i>	PP	20 / 30	14	Vk:7d	4 x 50 K.
<i>Rumex obtusifolius</i>	PP	20 / 30	14	Vk:7d	4 x 50 K.
<i>Atriplex patula</i>	PP	20 / 30	14	KNO ₃ ; Vk:7d	4 x 50 K.
<i>Bromus</i> sp.	PP	20 / 30	14	KNO ₃ ; Vk:7d	4 x 50 K.
<i>Galium aparine</i>	PP	20 / 30	14	KNO ₃ ; Vk:7d	4 x 50 K.
<i>Amaranthus</i> sp.	TP	20 / 30	14	KNO ₃	4 x 50 K.
<i>Elytrigia repens</i>	PP	20 / 30	14	KNO ₃ ; Vk:7d	4 x 50 K.
<i>Chenopodium album</i>	TP	20 / 30	14	-	4 x 50 K.
<i>Echinochloa crus-galli</i>	PP	20 / 30	14	KNO ₃ ; Vk:7d	4 x 50 K.
<i>Polygonum lapathifolium</i>	PP	20 / 30	14	KNO ₃ ; Vk:7d	4 x 50 K.
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	PP	20 / 30	21	-	4 x 50 K.
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	TP	20 / 30	14	KNO ₃	4 x 50 K.
<i>Stellaria media</i>	TP	20 / 30	14	-	4 x 50 K.

PP... pleated paper; TP...top of paper; d...Tage; Vk...vorkühlen (6-8°C); K...Korn;

Bei den Fruchtarten wurden ausschließlich Keimfähigkeitsprüfungsmethoden gemäß den ISTA Rules angewendet (ISTA GERMINATION COMMITTEE, 2009).

Tabelle 8: Keimfähigkeitsprüfungsmethoden der ausgewählten Hauptfruchtarten

	Methode	Tempera- tur [°C]	Keim- phase [d]	Vorbehand- lung	Wieder- holung
<i>Zea mays</i>	BP	25	5		4 x 50 K.
<i>Triticum aestivum</i>	PP	20	7	Vk:3d	4 x 50 K.
<i>Trifolium pratense</i>	PP	20	14		4 x 50 K.

PP... pleated paper; BB...between paper; d...Tage; Vk...vorkühlen (6-8°C); K...Korn;

4.6. Lebensfähigkeitsprüfung

Bei *Avena fatua*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Galium aparine*, *Zea mays*, *Trifolium pratense*, *Triticum aestivum*, *Medicago sativa*, *Medicago lupulina*, *Vicia* sp. und *Trifolium repens* wurde ergänzend zur Keimfähigkeit auch die Lebensfähigkeit mithilfe des Topographischen Tetrazoliumtests bestimmt.

Der Tetrazoliumtest dient zur raschen Feststellung der Lebensfähigkeit. Bereits nach zwei Tagen kann ein Ergebnis vorliegen. Bei Verdacht auf **Keimruhe** kann die Methode **Aufschluss über das Potential keimfähiger Samen** geben und kann bei Arten angewendet werden, bei denen keine Keimprüfungsmethoden bekannt sind (ISTA TETRAZOLIUM COMMITTEE, 2003).

Die Lebensfähigkeit wird histochemisch unter Verwendung des Redoxindikators 2,3,5-Triphenyl-Tetrazoliumchlorid (TTC) die Atmung in den Zellen nachgewiesen. Denn in lebensfähigen Zellen bildet sich aus dem wasserlöslichen, ungefärbten TTC durch enzymatische Reduktion mittels Dehydrogenasen, gekoppelt mit Diaphorasen das mikrokristalline, nicht mehr diffusionsfähige Triphenylformazan, welches hellrot ist. Zeigen sich die artspezifischen Rotfärbungen an den für die Ausbildung eines normalen Keimlings wesentlichen Gewebe (Embryo, Scutellum, Sprossanlage, Wurzelanlage), gilt ein Same als lebensfähig (*Abbildung 55*). Bleiben die wesentlichen Gewebe ungefärbt, gelten sie als abgestorben und der Same wird als nicht lebensfähig bezeichnet (STEINER, 2000).

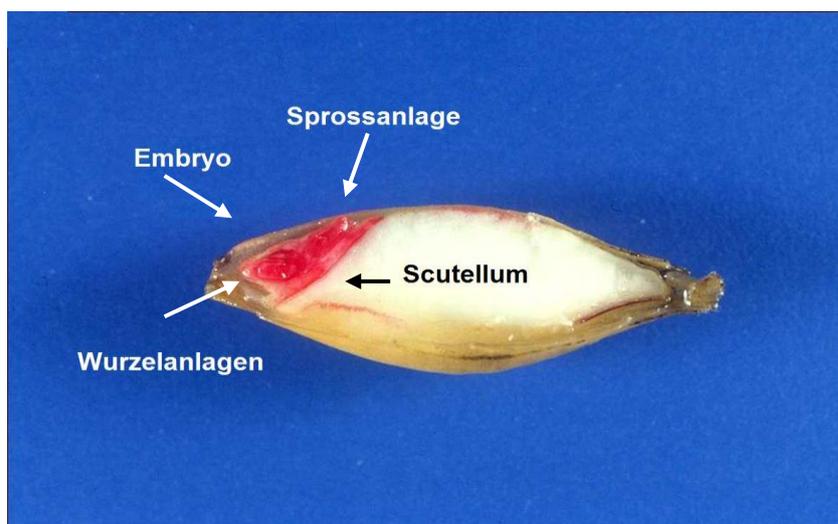


Abbildung 55: lebensfähiger Same (KILLERMANN, 2009)

Durchführung des Topographischen Tetrazoliumtests:

Die Samen wurden in ein mit entionisiertem Wasser befülltes Becherglas gegeben und in einem Klimaschrank bei 20°C in Dunkelheit für eine bestimmte Zeit einweichet. Nach Ablauf der Einweichdauer wurden die Samen von *Avena fatua*, *Galium aparine*, *Zea mays* und *Triticum aestivum* mittels Skalpell durch den Embryo und das Nährgewebe der Länge nach geschnitten. Eine Hälfte pro Korn wurde verworfen und die andere Hälfte in ein mit 1%iger TTC-Lösung gefülltes Becherglas gegeben. Die Samen von *Trifolium pratense*, *Medicago sativa*, *Medicago lupulina*, und *Trifolium repens* wurden ohne weitere Präparation in der TTC-Lösung angefärbt. Bei den Samen von *Ambrosia artemisiifolia* und *Vicia sp.* wurde die Samenschale etwas angeritzt, bevor sie in die 1%ige TTC-Lösung gegeben wurden. Nach der Präparation wurde das Becherglas mit den Samen in ein lichtverdunkelndes Behältnis gestellt und in einem entsprechenden Klimaschrank bei 30°C inkubiert. Nach der vorgegebenen Dauer (gemäß ISTA) wurden die Proben aus dem Klimaschrank genommen, von der TTC-Lösung getrennt, mehrmals mit klarem Wasser abgespült und in ein mit Wasser gefülltes Becherglas gegeben. Mithilfe eines Stereomikroskops wurden die Samen gemäß den Bewertungskriterien in die Kategorien „lebensfähig“, „nicht lebensfähig“ und „fehlender Embryo“ eingeteilt und die Lebensfähigkeit in Prozent ausgewiesen (ISTA TETRAZOLIUM COMMITTEE, 2003).

Tabelle 9: Lebensfähigkeitsprüfungsmethoden der ausgewählten Unkraut- und Kulturarten

	Einweichen in H₂O	Präparation nach dem Ein- weichen	Färbung mit TTC
<i>Avena fatua</i> (lt. ISTA)	20°C / 18h	schneiden durch den Embryo	30°C / 2h
<i>Galium aparine</i> (lt. ISTA)	20°C / 18h	schneiden durch den Embryo	30°C / 18h
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	20°C / 18h	anritzen der Samenschale	30°C / 18h
<i>Zea mays</i> (lt. ISTA)	20°C / 18h	schneiden durch den Embryo	30°C / 2h
<i>Trifolium pratense</i> (lt. ISTA)	20°C / 18h	---	30°C / 18h
<i>Triticum aestivum</i> (lt. ISTA)	20°C / 18h	schneiden durch den Embryo	30°C / 3h
<i>Medicago sativa</i> (lt. ISTA)	20°C / 18h	---	30°C / 18h
<i>Medicago lupulina</i> (lt. ISTA)	20°C / 18h	---	30°C / 18h
<i>Vicia sp.</i>	20°C / 18h	anritzen der Samenschale	30°C / 18h
<i>Trifolium repens</i> (lt. ISTA)	20°C / 18h	---	30°C / 18h

5. Ergebnisse

Zur besseren Lesbarkeit der ausgewählten Ergebnisse wurden die Felder, mit Keimfähigkeitswerte >0% grün unterlegt.

5.1. Keimfähigkeit von ausgewählten Unkrautarten

5.1.1. Keimfähigkeitsprüfung nach unterschiedlich langer Verweilzeit im Fermentationssubstrat im Labor

5.1.1.1. Mesophiler Temperaturbereich (35°C)

Tabelle 10: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten im mesophilen Temperaturbereich bei circa 35°C

	Kont- rolle	VWZ: 10h	VWZ: 1d	VWZ: 3d	VWZ: 1W	VWZ: 3W	VWZ: 2M
<i>Avena fatua</i>	54,0%	43,5%	1,5%	0%	0%	0%	0%
<i>Rumex obtusifolius</i>	64,0%	-N-	37,5%	14,0%	0%	0%	0%
<i>Atriplex patula</i>	15,0%	-N-	6,0%	6,0%	0%	0%	0%
<i>Bromus sp.</i>	96,0%	14,0%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Galium aparine</i>	94,0%	48,0%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Amaranthus sp.</i>	85,0%	-N-	68,5%	47,0%	0%	0%	0%
<i>Elytrigia repens</i>	59,0%	48,5%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Chenopodium album</i>	76,0%	-N-	76,0%	19,0%	3%	0%	0%
<i>Echinochloa crus-galli</i>	8,0%	-N-	30,0%	5,0%	0%	0%	0%
<i>Polygonum lapathifolium</i>	94,0%	-N-	94,0%	92,5%	0%	0%	0%
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	96,0%	86,0%	9,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	40,0%	0%	0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Stellaria media</i>	38,5%	0%	0%	0%	0%	0%	-N-

VWZ...Verweilzeit; h...Stunden; d...Tage; W...Wochen; M...Monate; -N-...nicht geprüft

Die Laborergebnisse im **mesophilen Temperaturbereich (~ 35°C)** ergaben, dass der Großteil der Unkrautarten die Ein-Tagesvariante im Fermentationssubstrat überlebten. Die Samen von *Chenopodium album*, *Amaranthus sp.*, *Rumex obtusifolius* und *Polygonum lapathifolium* waren zwar am widerstandsfähigsten, die Keimfähig-

keit reduzierte sich bereits nach einer Woche auf nahezu Nullprozent. Wie in der *Abbildung 56* ersichtlich, nahm bei *Echinochloa crus-galli* die Keimfähigkeit nach einer eintägigen Verweilzeit im Fermentationssubstrat zu. Die Ursache dafür war möglicherweise das Brechen der Keimruhe. In der Folge fiel die Keimfähigkeit aber schnell ab.

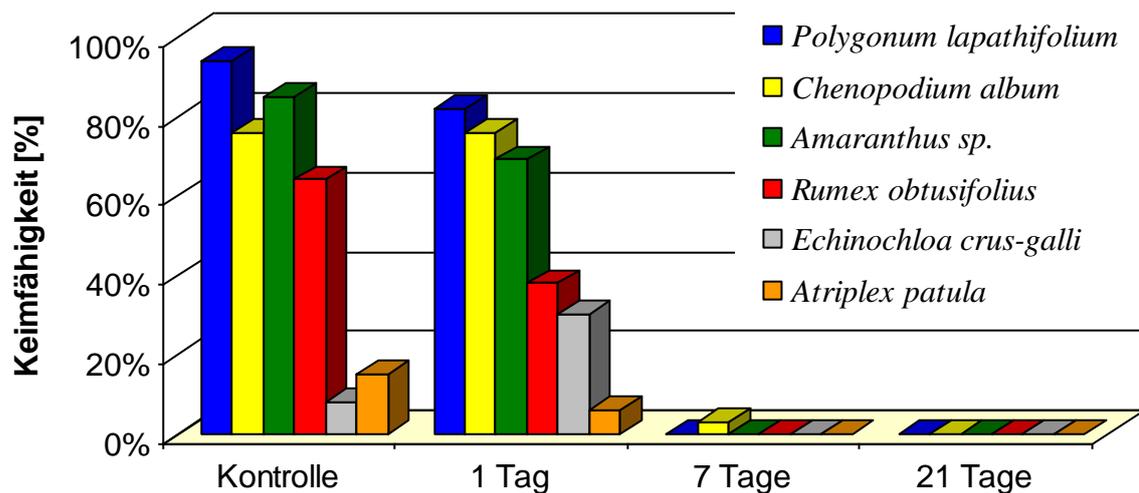


Abbildung 56: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach unterschiedlich langer Verweilzeiten (1d, 7d, 21d) bei 35°C im Labor

Um den Verlauf des **Keimfähigkeitsverlustes** bei weniger widerstandsfähigen Unkrautarten aufzuzeigen, wurde noch zusätzlich eine zehn Stunden – Kurzzeitprüfvariante durchgeführt.

Bei *Elytrigia repens*, *Galium aparine* und *Bromus sp.* war bereits nach einer Verweilzeit von 10 Stunden im Fermentationssubstrat eine offensichtliche Reduzierung der Keimfähigkeit erkennbar und nach einem Tag war die Keimfähigkeit der Samen zur Gänze abgebaut. Die Keimfähigkeit von *Ambrosia artemisiifolia* und *Avena fatua* reduzierte sich bei der zehn Stunden – Zeitvariante nur gering, aber nach einer dreitägigen Verweilzeit im Substrat waren die Samen ebenfalls nicht mehr keimfähig. *Capsella bursa-pastoris* und *Stellaria media* sind kleinsamige Grünlandunkräuter und diese reagierten sehr empfindlich in der Keimfähigkeit auf die Verweilzeit im Fermentationssubstrat. Bereits nach der Kurzzeitvariante von zehn Stunden konnte keine Keimfähigkeit mehr festgestellt werden (*Abbildung 57*).

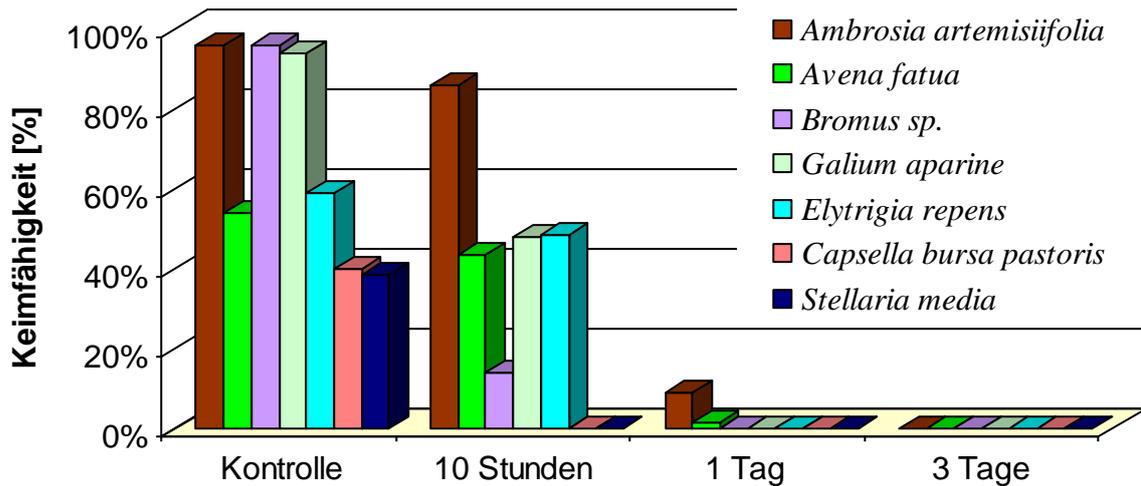


Abbildung 57: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach unterschiedlich langer Verweilzeiten (10h, 1d, 3d) bei 35°C im Labor

Bei allen eingebrachten Unkrautsamen konnte spätestens bei der 21 Tage – Variante keine Keimfähigkeit mehr nachgewiesen werden.

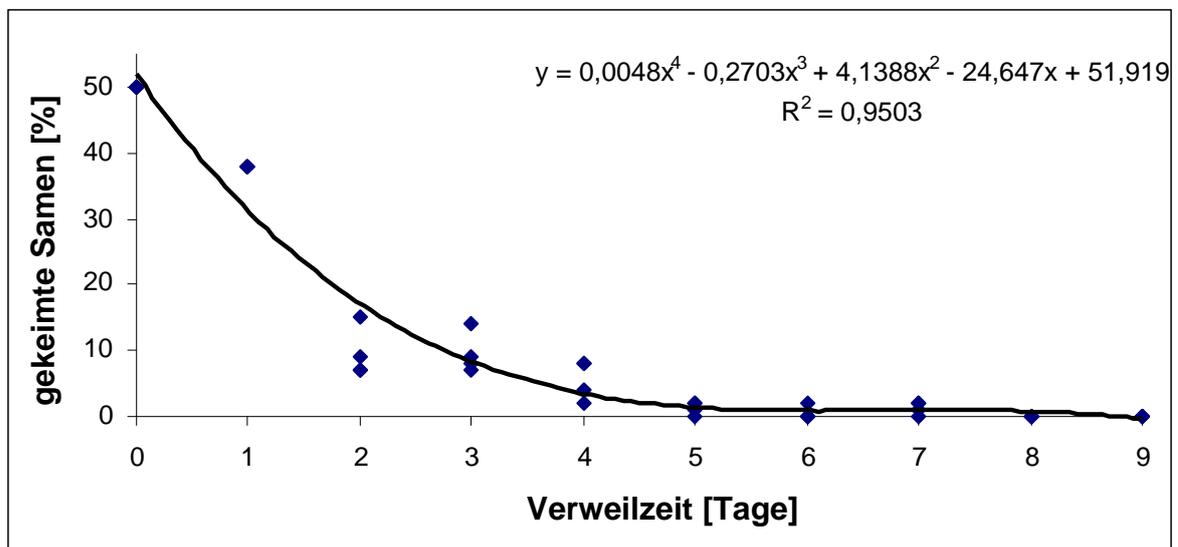


Abbildung 58: Verlauf der Hygienisierung bei *Chenopodium album*

Die *Chenopodium album* Samen wiesen die höchste Widerstandsfähigkeit auf. Anhand einer Regression (Abbildung 58) ist der Verlauf des Keimfähigkeitsverlustes nachvollziehbar.

5.1.1.2. Thermophiler Temperaturbereich (50°C)

Tabelle 11: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten im thermophilen Temperaturbereich bei circa 50°C

	Kontrolle	VWZ: 1 Tag	VWZ: 1 Woche	VWZ: 3 Wochen	VWZ: 2 Monate
<i>Avena fatua</i>	54,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Rumex obtusifolius</i>	64,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Atriplex patula</i>	15,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Bromus sp.</i>	96,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Galium aparine</i>	94,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Amaranthus sp.</i>	85,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Elytrigia repens</i>	59,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Chenopodium album</i>	76,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Echinochloa crus-galli</i>	8,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Polygonum lapathifolium</i>	94,0%	0%	0%	0%	0%

VWZ...Verweilzeit

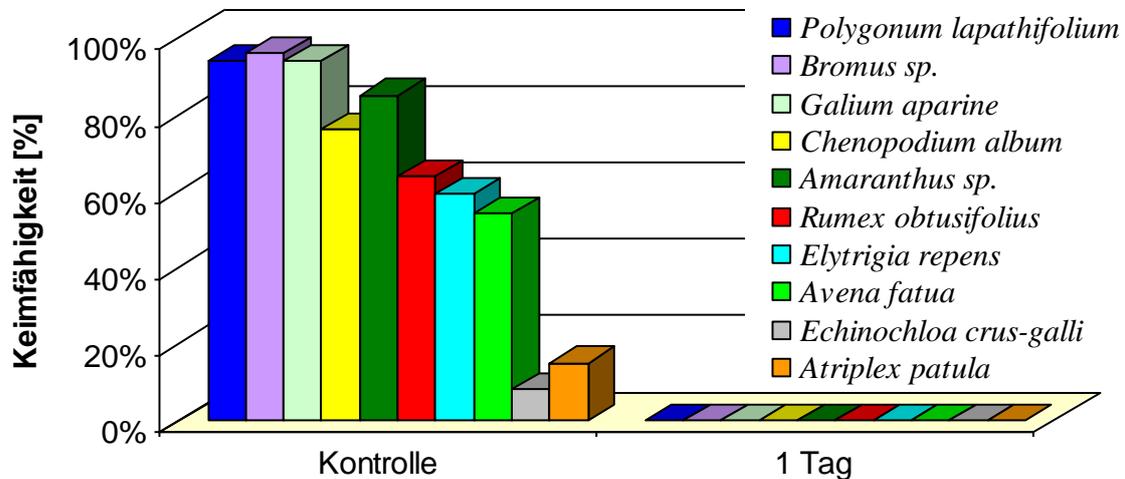


Abbildung 59: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach eintägiger Verweilzeit bei 50°C im Labor

Im **thermophilen Temperaturbereich (~ 50°C)** konnten bei allen geprüften Unkrautarten bereits nach eintägigem Einbringen in das Fermentationssubstrat **keine keimfähigen Samen** mehr ermittelt werden.

5.1.1.3. Gegenüberstellung: Mesophiler Temperaturbereich - Thermophiler Temperaturbereich

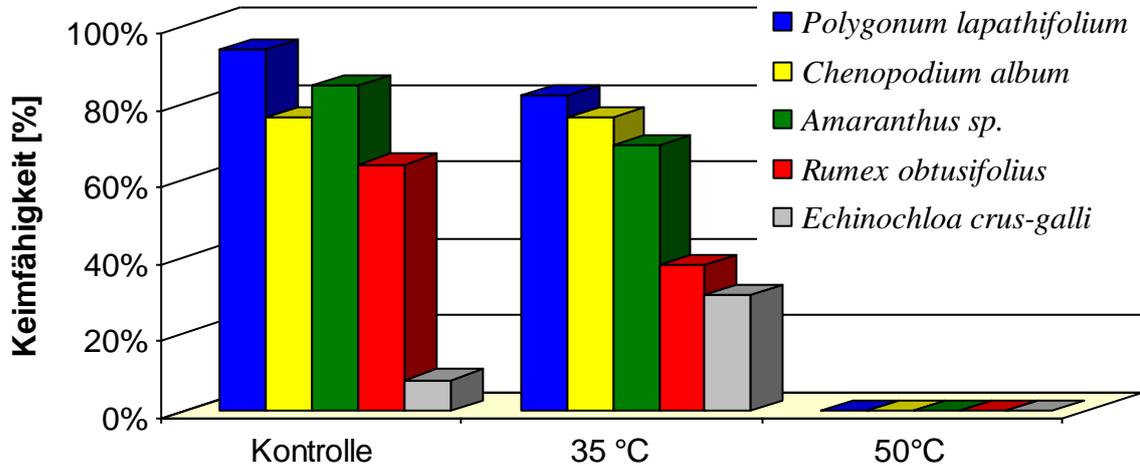


Abbildung 60: Gegenüberstellung der Keimfähigkeitsabnahme bei 35°C und 50°C nach einer eintägigen Verweilzeit

Die Samen von *Polygonum lapathifolium*, *Chenopodium album*, *Amaranthus sp.*, *Rumex obtusifolius* und *Echinochloa crus-galli* wurden im thermophilen Temperaturbereich im Gegensatz zum mesophilen Temperaturbereich nach eintägiger Verweilzeit vollständig hygienisiert.

Die schnellere Reduzierung der Keimfähigkeit im thermophilen Temperaturbereich im Vergleich zum mesophilen Temperaturbereich war zu erwarten. Dennoch ist diese sehr **effiziente Abtötung der Samen**, auch **bei sehr kurzen Einbringzeiten**, hervorzuheben.

5.1.2. Keimfähigkeitsprüfung nach unterschiedlich langer Verweilzeit im Fermenter einer Biogasanlage

5.1.2.1. Anlage A

Tabelle 12: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten der Anlage A

	Kontrolle	VWZ: 3 Tage	VWZ: 1 Woche	VWZ: 3 Wochen	VWZ: 2 Monate
<i>Avena fatua</i>	54,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Rumex obtusifolius</i>	64,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Atriplex patula</i>	15,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Bromus sp.</i>	96,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Galium aparine</i>	94,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Amaranthus sp.</i>	85,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Elytrigia repens</i>	59,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Chenopodium album</i>	76,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Echinochloa crus-galli</i>	8,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Polygonum lapathifolium</i>	94,0%	0%	0%	0%	0%

VWZ...Verweilzeit

5.1.2.2. Anlage B

Tabelle 13: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten der Anlage B

	Kontrolle	VWZ: 3 Tage	VWZ: 1 Woche	VWZ: 3 Wochen	VWZ: 2 Monate
<i>Avena fatua</i>	54,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Rumex obtusifolius</i>	64,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Atriplex patula</i>	15,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Bromus sp.</i>	96,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Galium aparine</i>	94,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Amaranthus sp.</i>	85,0%	23,0%	0%	0%	0%
<i>Elytrigia repens</i>	59,0%	0%	0%	0%	0%
<i>Chenopodium album</i>	76,0%	56,5%	0%	0%	0%
<i>Echinochloa crus-galli</i>	8,0%	1,0%	0%	0%	0%
<i>Polygonum lapathifolium</i>	94,0%	59,0%	0%	0%	0%

VWZ...Verweilzeit

5.1.2.3. Anlage C

Tabelle 14: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten der Anlage C

	Kontrolle	VWZ: 3 Tage	VWZ: 1 Woche	VWZ: 3 Wochen	VWZ: 2 Monate ^{*)}
<i>Avena fatua</i>	54,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Rumex obtusifolius</i>	64,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Atriplex patula</i>	15,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Bromus sp.</i>	96,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Galium aparine</i>	94,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Amaranthus sp.</i>	85,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Elytrigia repens</i>	59,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Chenopodium album</i>	76,0%	0,5%	0%	0%	-N-
<i>Echinochloa crus-galli</i>	8,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Polygonum lapathifolium</i>	94,0%	0%	0%	0%	-N-

VWZ...Verweilzeit

^{*)} Die Proben der Zwei-Monatsvariante gingen im Fermenter der Anlage C mehrmals verloren. Aufgrund der bereits aus den Anlagen A und B vorliegenden eindeutigen Ergebnisse wurde auf weitere Versuche in der Anlage C verzichtet.

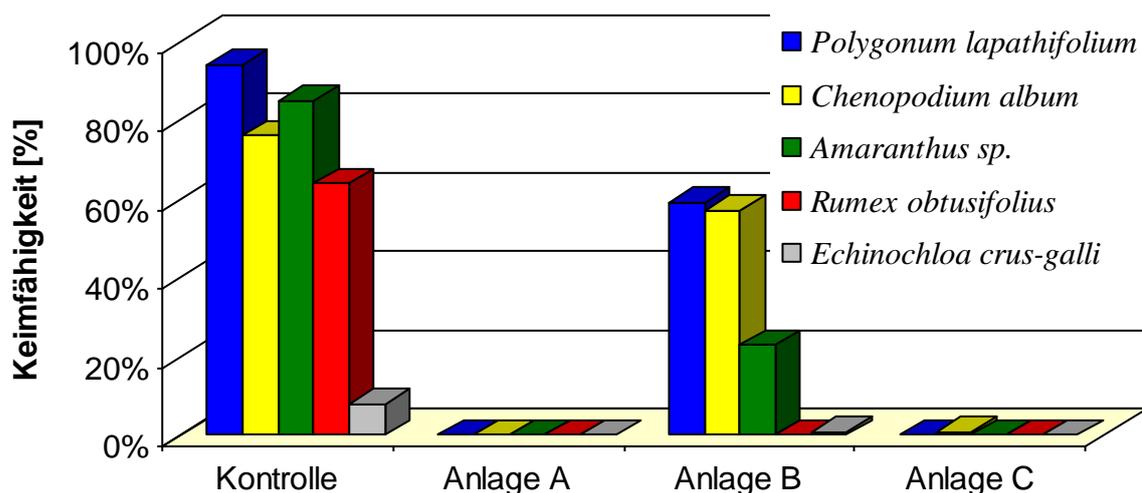


Abbildung 61: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach einer dreitägigen Verweilzeit in der Biogasanlage

Die Ergebnisse von der Einbringung der Samen in die Fermenter der drei Biogasanlagen, die bei etwa 45°C betrieben werden, sind mit den Laborergebnissen vergleichbar. Nach einer dreitägigen Verweilzeit im Fermenter wurde bei den widerstandsfähigeren Unkrautarten (*Polygonum lapathifolium*, *Chenopodium album*, *Amaranthus* sp.) bei der Anlage B nur eine Reduzierung der Keimfähigkeit festgestellt. Überdies war ein Unterschied in der Hygienisierungsrate im Vergleich zur Anlage A und C erkennbar. Ein möglicher Grund für die abgeschwächte Hygienisierung der Anlage B könnte daran liegen, dass die Proben nicht in den Hauptfermenter, sondern in den Nachfermenter eingebracht wurden. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Anlagen waren nicht zu ermitteln (Kapitel 5.1.3.3.).

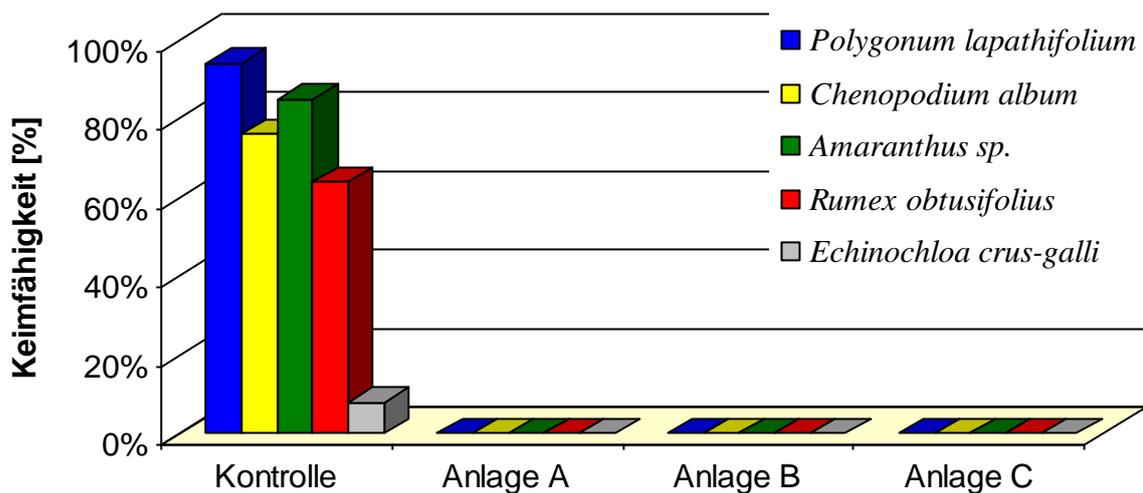


Abbildung 62: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach einer einwöchigen Verweilzeit in der Biogasanlage

Nach einer **einwöchigen Verweilzeit im Fermenter** wurde die **Keimfähigkeit der Unkrautsamen** in allen drei Biogasfermentern **auf 0% vermindert**.

5.1.3. Statistische Verrechnung

Die statistischen Berechnungen erfolgten mit dem Programmpaket SPSS. Die Konzeption der verwendeten statistischen Methoden wurde mithilfe von Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl Moder / BOKU erstellt.

Ursprünglich war eine varianzanalytische Verrechnung der Daten und eine Errechnung der Regression des Keimfähigkeitsverlustes vorgesehen. Aufgrund des eindeutigen – und wenig streuenden - Datensatzes wurde allerdings von der varianzanalytischen Verrechnung und einer Regressionsberechnung Abstand genommen.

Stattdessen wurden die Ergebnisse in Form einer Kreuztabelle tabellarisch dargestellt und anschließend wurden mithilfe des „Exakten Test nach Fisher“ die aufgestellten Nullhypothesen beziehungsweise die Zusammenhänge zwischen zwei Variablen getestet. Mit dem berechneten „korrigierten Kontingenzkoeffizient“ wurde die „Stärke des Zusammenhanges“ ausgedrückt.

Am Beispiel von *Chenopodium album* wurden statistische Berechnungen durchgeführt, denn diese Samen blieben über eine längere Zeit keimfähig.

FOLGENDE NULLHYPOTHESEN WURDEN ÜBERPRÜFT:

5.1.3.1. Nullhypothese [H_0]: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Keimfähigkeit

Die Nullhypothese wurde am Beispiel der Hygienisierung von *Chenopodium album* nach einer eintägigen Verweilzeit bei 35°C im Fermentationssubstrat im Labor überprüft.

Tabelle 15: Kreuztabelle: Temperatur * Keimfähigkeit

		Keimfähigkeit		Gesamt	
		gekeimte S.	nicht gekeimte S.		
Temperatur	35 °C	Anzahl	152	48	200
		Erwartete Anzahl	76,0	124,0	200,0
		% von Temperatur	76,0%	24,0%	100,0%
		Standardisierte Residuen	8,7	-6,8	
	50 °C	Anzahl	0	200	200
		Erwartete Anzahl	76,0	124,0	200,0
		% von Temperatur	,0%	100,0%	100,0%
		Standardisierte Residuen	-8,7	6,8	
Gesamt	Anzahl	152	248	400	
	Erwartete Anzahl	152,0	248,0	400,0	
	% von Temperatur	38,0%	62,0%	100,0%	

In der Kreuztabelle ist ersichtlich, dass bei *Chenopodium album* nach einer eintägigen Verweilzeit bei 35°C im Fermentationssubstrat, die Keimfähigkeit 76% betrug beziehungsweise dass von 200 Samen 152 Samen keimten. Bei der 50°C Variante waren nach eintägiger Verweilzeit keine Samen mehr keimfähig.

Tabelle 16: Exakter Test nach Fisher (Temperatur * Keimfähigkeit)

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	245,161(b)	1	,000	,000	,000	
Kontinuitätskorrektur(a)	241,946	1	,000			
Likelihood-Quotient	310,819	1	,000	,000	,000	
Exakter Test nach Fisher				,000	,000	
Zusammenhang linear-mit-linear	244,548(c)	1	,000	,000	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	400					

a Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

b 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 76,00.

c Die standardisierte Statistik ist 15,638.

$p(0,000) < 0,05 \rightarrow H_0$ wird verworfen. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Keimfähigkeit.

Tabelle 17: Kontingenzkoeffizient (Temperatur * Keimfähigkeit)

	Wert	Näherungsweise Signifikanz	Exakte Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß Kontingenzkoeffizient	,616	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	400		

a Die Null-Hypothese wird nicht angenommen.

b Unter Annahme der Null-Hypothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Der von SPSS errechnete Kontingenzkoeffizient von 0,616 liegt im Wertebereich zwischen 0 und K_{\max} . K_{\max} ist von der Spalten- und Zeilenanzahl abhängig. In diesem Fall beträgt $K_{\max} = 0,7071$.

Um den Kontingenzkoeffizient von der Dimension der Tabelle unabhängig zu machen, wurde ein korrigierter Kontingenzkoeffizient berechnet, der im Wertebereich zwischen 0 und 1 liegt. Der korrigierte Kontingenzkoeffizient lässt eine Aussage über die Stärke des Zusammenhanges zwischen den Merkmalen „Temperatur“ und „Keimfähigkeit“ zu.

Der errechnete „korrigierte Kontingenzkoeffizient“ beträgt 0,871. Bei einem Wert von $> 0,7$ liegt ein starker Zusammenhang vor. Das heißt, **zwischen der Temperatur im Fermentationssubstrat und der Keimfähigkeit der Unkrautsamen besteht ein starker Zusammenhang.**

5.1.3.2. Nullhypothese [H_0]: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen den Verweilzeiten und der Keimfähigkeit

Die Nullhypothese wurde am Beispiel der Hygienisierung von *Chenopodium album* bei 35°C im Fermentationssubstrat im Labor überprüft.

Tabelle 18: Kreuztabelle: Verweilzeit * Keimfähigkeit

		Keimfähigkeit		Gesamt	
		gekeimte S.	nicht gekeimte S.		
Verweilzeit	35°C - 1 Tag	Anzahl	152	48	200
		Erwartete Anzahl	50,0	150,0	200,0
		% von Verweilzeit	76,0%	24,0%	100,0%
		Standardisierte Residuen	14,4	-8,3	
	35°C - 3 Tage	Anzahl	38	162	200
		Erwartete Anzahl	50,0	150,0	200,0
		% von Verweilzeit	19,0%	81,0%	100,0%
		Standardisierte Residuen	-1,7	1,0	
	35°C - 5 Tage	Anzahl	5	195	200
		Erwartete Anzahl	50,0	150,0	200,0
		% von Verweilzeit	2,5%	97,5%	100,0%
		Standardisierte Residuen	-6,4	3,7	
	35°C - 7 Tage	Anzahl	5	195	200
		Erwartete Anzahl	50,0	150,0	200,0
		% von Verweilzeit	2,5%	97,5%	100,0%
		Standardisierte Residuen	-6,4	3,7	
Gesamt	Anzahl	200	600	800	
	Erwartete Anzahl	200,0	600,0	800,0	
	% von Verweilzeit	25,0%	75,0%	100,0%	

In der Kreuztabelle ist ersichtlich, dass bei *Chenopodium album* nach einer eintägigen Verweilzeit bei 35°C im Fermentationssubstrat, die Keimfähigkeit 76% (152 gekeimte Samen von 200) betrug.

Nach dreitägiger Verweilzeit → 19% Keimfähigkeit (38 gekeimte Samen von 200)

Nach fünftägiger Verweilzeit → 2,5% Keimfähigkeit (5 gekeimte Samen von 200)

Nach siebentägiger Verweilzeit → 2,5% Keimfähigkeit (5 gekeimte Samen von 200)

Tabelle 19: Exakter Test nach Fisher (Verweilzeit * Keimfähigkeit)

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	389,280(a)	3	,000	,000		
Likelihood-Quotient	391,290	3	,000	,000		
Exakter Test nach Fisher	387,058			,000		
Zusammenhang linear-mit-linear	299,194(b)	1	,000	,000	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	800					

a 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 50,00.

b Die standardisierte Statistik ist 17,297.

$p(0,000) < 0,05 \rightarrow H_0$ wird verworfen. Es gibt einen Zusammenhang zwischen den Verweilzeiten und der Keimfähigkeit.

Tabelle 20: Kontingenzkoeffizient (Verweilzeit * Keimfähigkeit)

	Wert	Näherungsweise Signifikanz	Exakte Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß Kontingenzkoeffizient	,572	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	800		

a Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.

b Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Der von SPSS errechnete Kontingenzkoeffizient beträgt 0,572. K_{\max} beträgt 0,7071. Der errechnete, korrigierte Kontingenzkoeffizient ergibt 0,809. Das heißt, **zwischen den Verweilzeiten und der Keimfähigkeit besteht ein starker Zusammenhang.**

5.1.3.3. Nullhypothese [H_0]: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen den Anlagen und der Keimfähigkeit

Die Nullhypothese wurde am Beispiel der Hygienisierung von *Chenopodium album* nach dreitägiger Verweilzeit im Fermenter der drei Anlagen überprüft.

Tabelle 21: Kreuztabelle: Anlage * Keimfähigkeit

		Keimfähigkeit		Gesamt	
		gekeimte S.	nicht gekeimte S.		
Anlage	A	Anzahl	0	200	200
		Erwartete Anzahl	38,0	162,0	200,0
		% von Anlage	,0%	100,0%	100,0%
		Standardisierte Residuen	-6,2	3,0	
	B	Anzahl	113	87	200
		Erwartete Anzahl	38,0	162,0	200,0
		% von Anlage	56,5%	43,5%	100,0%
		Standardisierte Residuen	12,2	-5,9	
	C	Anzahl	1	199	200
		Erwartete Anzahl	38,0	162,0	200,0
		% von Anlage	,5%	99,5%	100,0%
		Standardisierte Residuen	-6,0	2,9	
Gesamt	Anzahl	114	486	600	
	Erwartete Anzahl	114,0	486,0	600,0	
	% von Anlage	19,0%	81,0%	100,0%	

In der Kreuztabelle ist ersichtlich, dass die *Chenopodium album* Samen nach einer dreitägigen Verweilzeit im Fermenter der Anlage A hygienisiert wurden. Nach dreitägiger Verweilzeit der Samen im Nachfermenter der Anlage B sind erstaunlicherweise 113 von 200 Samen gekeimt. Das entspricht einer Keimfähigkeit von 56,5%. Nach dreitägiger Verweilzeit im Fermenter der Anlage C betrug die Keimfähigkeit 0,5%.

Tabelle 22: Exakter Test nach Fisher (Anlage * Keimfähigkeit)

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (1-seitig)	Punkt-Wahrscheinlichkeit
Chi-Quadrat nach Pearson	274,139(a)	2	,000	,000		
Likelihood-Quotient	297,007	2	,000	,000		
Exakter Test nach Fisher	288,941			,000		
Zusammenhang linear-linear	,016(b)	1	,899	,949	,475	,050
Anzahl der gültigen Fälle	600					

a 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 38,00.

b Die standardisierte Statistik ist -,127.

$p(0,000) < 0,05 \rightarrow H_0$ wurde verworfen. Es gibt einen Zusammenhang zwischen den Anlagen und der Keimfähigkeit.

Tabelle 23: Kontingenzkoeffizient (Anlage * Keimfähigkeit)

	Wert	Näherungsweise Signifikanz	Exakte Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß Kontingenzkoeffizient	,560	,000	,000
Anzahl der gültigen Fälle	600		

a Die Null-Hypothese wird nicht angenommen.

b Unter Annahme der Null-Hypothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

Der von SPSS errechnete Kontingenzkoeffizient beträgt 0,560. K_{\max} beträgt 0,7071. Der errechnete, korrigierte Kontingenzkoeffizient ergibt 0,792. Das heißt, **zwischen den Anlagen und der Keimfähigkeit besteht ein starker Zusammenhang.**

Alle drei Nullhypothesen wurden verworfen. Der berechnete, korrigierte Kontingenzkoeffizient betrug in allen Fällen etwa 0,8 und lässt daher auf einen starken Zusammenhang der geprüften Variablen schließen.

5.2. Keimfähigkeit von ausgewählten Fruchtarten

Bei *Zea mays*, *Triticum aestivum*, *Trifolium pratense* wurden Laborversuche im Fermentationssubstrat im mesophilen Temperaturbereich bei 35°C durchgeführt.

Tabelle 24: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Fruchtarten im mesophilen Temperaturbereich bei circa 35°C

	Kontrolle	VWZ: 10h	VWZ: 1d	VWZ: 3d	VWZ: 1W	VWZ: 3W	VWZ: 2M
<i>Zea mays</i>	99,0%	65,0%	5,0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Triticum aestivum</i>	93,0%	51,5%	0%	0%	0%	0%	-N-
<i>Trifolium pratense</i>	84,5%	4,5%	0,5%	0%	0%	0%	-N-

VWZ...Verweilzeit; h...Stunden; d...Stunden; W...Wochen; M...Monate; -N-...nicht geprüft

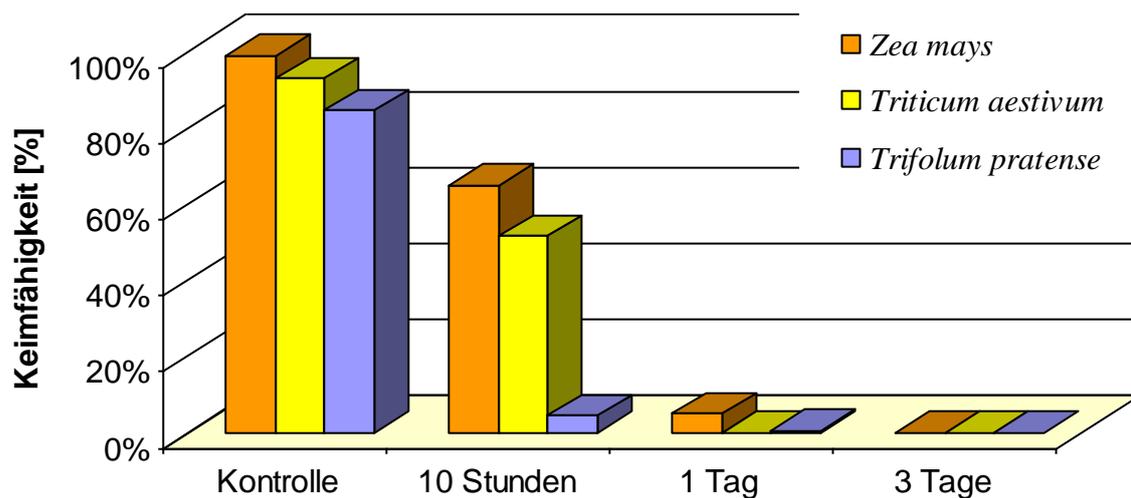


Abbildung 63: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach verschiedenen Verweilzeiten bei 35°C im Labor

Die Keimfähigkeit von *Zea mays* reduziert sich innerhalb der zehn Stunden – Zeitvariante um rund ein Drittel und nach dreitägigem Verweilen im Substrat bei 35°C waren die Samen nicht mehr keimfähig. Die keimfähigen Samen von *Triticum aestivum* wurden im Zeitraum von zehn Stunden fast um die Hälfte verringert und nach einem Tag war die Keimfähigkeit zur Gänze abgebaut. Bei *Trifolium pratense* war bereits nach einer Verweilzeit von zehn Stunden eine weitreichende Reduzierung der Keimfähigkeit erkennbar und nach drei Tagen waren keine Samen mehr keimfähig.

5.3. Lebensfähigkeit von ausgewählten Unkraut- und Fruchtarten

Bei den Unkrautarten *Avena fatua*, *Galium aparine*, *Ambrosia artemisiifolia* und bei den Fruchtarten *Triticum aestivum*, *Zea mays*, *Trifolium pratense* wurde ergänzend die Lebensfähigkeit mittels Tetrazoliumtests untersucht.

Tabelle 25: Lebensfähigkeit [%] ausgewählter Unkraut- und Fruchtarten im mesophilen Temperaturbereich bei circa 35°C

		Kontrolle	VWZ: 7 Tage
Unkrautarten	<i>Avena fatua</i>	59,9%	0%
	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	97,5%	0%
	<i>Galium aparine</i>	81,8%	0%
Fruchtarten	<i>Zea mays</i>	97,0%	0%
	<i>Trifolium pratense</i>	90,0%	4,5%
	<i>Triticum aestivum</i>	96,0%	0%

VWZ... Verweilzeit

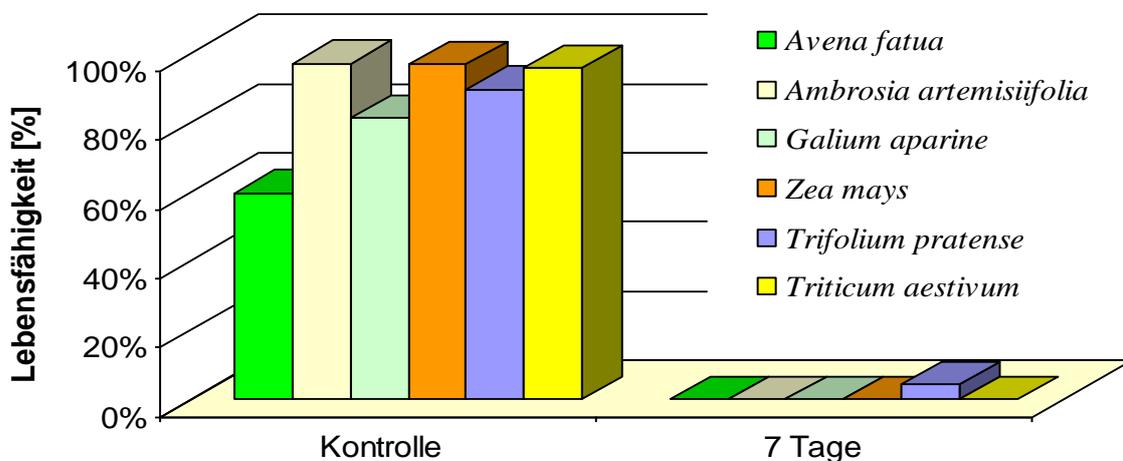


Abbildung 64: Lebensfähigkeit [%] ausgewählter Unkraut- und Fruchtarten nach einwöchiger Verweilzeit bei 35°C im Fermentationssubstrat

Bei *Avena fatua*, *Galium aparine*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Triticum aestivum* und *Zea mays* wurden nach einer siebentägigen Verweilzeit bei 35°C im Fermentationssubstrat keine lebensfähigen Samen ermittelt. Bei *Trifolium pratense* konnte nach einer siebentägigen Verweilzeit ebenfalls keine Lebensfähigkeit festgestellt werden, jedoch waren einige harte Samen dabei, die auch nach der siebentägigen Verweilzeit noch kein Wasser aufgenommen haben und somit keine Lebensfähigkeit zeigten. Harte Samen werden laut ISTA GERMINATION COMMITTEE (2009) zur Gesamtle-

bensfähigkeit dazu gerechnet. Dies führte bei *Trifolium pratense* zu einer verbleibenden Lebensfähigkeit von 4,5 Prozent.

Aufgrund dessen wurden in der Folge Untersuchungen mit 100% harten Samen bei verschiedenen Klee- und Luzernearten und bei *Vicia* sp. durchgeführt.

Definition – harte Samen:

Harte Samen sind nicht fähig Wasser aufzunehmen und bleiben deshalb hart. Hartschaligkeit ist eine Form von Keimruhe. Sie ist häufig bei vielen Leguminosen, kann aber auch in anderen Familien auftreten. Die Anzahl der harten Samen wird der Gesamtlebens- und Gesamtkeimfähigkeit zugerechnet (ISTA GERMINATION COMMITTEE, 2009).

Tabelle 26: Lebensfähigkeit [%] harter Samen im mesophilen Temperaturbereich bei circa 35°C

		VWZ: 7 Tage	VWZ: 26 Tage
Fruchtarten (harte Samen)	<i>Trifolium pratense</i>	80,0%	-N-
	<i>Medicago sativa</i>	85,7%	27,5%
	<i>Medicago lupulina</i>	63,2%	-N-
	<i>Vicia</i> sp.	80,0%	-N-
	<i>Trifolium repens</i>	-N-	49,2%

VWZ...Verweilzeit; -N-...nicht geprüft

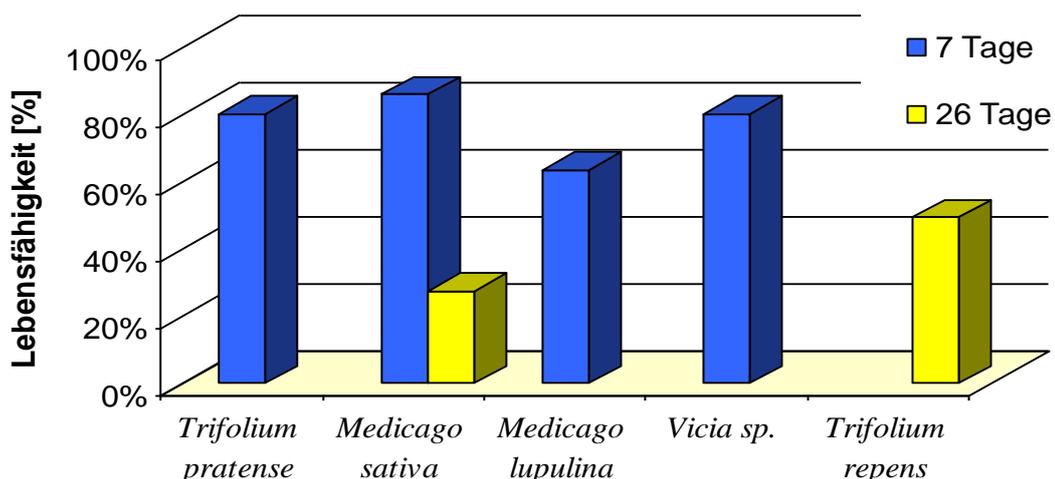


Abbildung 65: Lebensfähigkeit [%] von anfänglich 100% harten Samen ausgewählter Fruchtarten nach verschiedenen Verweilzeiten bei 35°C im Fermentationssubstrat

Es zeigte sich, dass eine Verweilzeit von sieben Tagen beziehungsweise 26 Tagen **nicht ausreicht, um die Lebensfähigkeit von harten Samen** bei den geprüften Arten **zur Gänze abzubauen**.

6. Diskussion

Im Rahmen der Arbeit wurden verschiedene Unkrautarten und Fruchtarten in Fermentationssubstrat im Labor und in drei Biogasanlagen unterschiedlich lang eingebracht und anschließend einer Keimfähigkeits- und bei bestimmten Arten einer Lebensfähigkeitsprüfung unterzogen. Das erhobene Datenmaterial lieferte eine reproduzierbare Basis für die Beurteilung der Fragestellung.

Beim **Laborversuch** wurden die Samen einem mesophilen (circa 35°C) und einem thermophilen (circa 50°C) Temperaturbereich ausgesetzt.

Die Samen von *Bromus* sp. (Trespe), *Galium aparine* (Kletten-Labkraut), *Elytrigia repens* (Acker-Quecke), *Capsella bursa-pastoris* (Gewöhnliches Hirtentäschel), *Stellaria media* (Gewöhnliche Vogelmiere) und *Triticum aestivum* (Weizen) reagierten unter den geprüften Arten am empfindlichsten und zeigten unter **mesophilen Bedingungen** bereits nach einem Tag keine Keimfähigkeit (GANSBERGER et. al., 2009b). SCHRADE et. al. (2003b) erhielten gleiche Ergebnisse bei *Triticum aestivum*, *Brassica napus* (Raps), *Alopecurus myosuroides* (Acker-Fuchsschwanzgras) und *Sinapis arvensis* (Acker-Senf). *Thlaspi arvense* (Acker-Hellerkraut) war etwas robuster, aber nach zweitägiger Verweilzeit keimten die Samen nicht mehr.

Die Keimrate von *Solanum lycopersicum* (Tomate), *Rumex obtusifolius* (Stumpfbblätteriger Ampfer) und *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) war nach 24 Stunden Verweilzeit kaum von der unbehandelten Kontrolle unterschiedlich. Im Zuge der Arbeit konnte exakt das gleich bei *Chenopodium album* reproduziert werden. Die Ausgangskeimfähigkeit von 76% blieb nach eintägiger Verweilzeit im Fermentationssubstrat konstant. Bei *Rumex obtusifolius* wurden die keimfähigen Samen um circa die Hälfte reduziert. Wie die Ergebnisse von SCHRADE et. al. (2003b) zeigen, waren die Samen von *Rumex obtusifolius* nach siebentägiger Verweilzeit bei rund 35°C nicht mehr keimfähig. Ebenso belegen die Untersuchungsergebnisse von SONNLEITNER und SONNLEITNER (2004), dass es im Fermenter bereits innerhalb weniger Tage zu einer starken Abnahme und schlussendlich zu einem völligen Verlust der Keimfähigkeit bei den Samen von *Rumex obtusifolius* und *Rumex crispus* (Krause Ampfer) kommt. GAMS et. al. (2006) prüften unreife, reife und alte reife Samen von *Rumex* sp. auf ihre Lebensfähigkeit nach einer zwei-, drei-, sieben-, und vierzigtägigen Verweilzeit in einer einstufigen Versuchsfermentieranlage. Nach

einer Woche wurden noch bis zu 10% lebensfähige Samen gefunden. Bei der vierzigtägigen Variante nicht mehr.

Die diversen Ergebnisse zeigen, dass die Einbringung von *Rumex* sp. in einen Fermenter, im Gegensatz zur Gärheubereitung und der Wiederkäuerverdauung, hygienisch höchst unbedenklich ist. Untersuchungen von SARAPATKA et. al. (1993) und HUMPHREYS et. al. (1997) belegen, dass die Samen von *Rumex obtusifolius* die Wiederkäuerverdauung, die Silagebereitung und -lagerung nahezu unbeschadet überstehen. PÖTSCH (2003) ermittelte bei einem Versuch, dass sich die Keimfähigkeit von *Rumex obtusifolius* in der Nasssilage (18% TM) nach fünf Wochen auf Nullprozent reduziert. Bei der in der Praxis üblichen Anwelksilage (35% TM) erfolgte eine vollständige Reduktion der Keimfähigkeit nach acht Wochen. Nur bei Gärheu (47% TM) waren nach acht Wochen noch 82% keimfähige *Rumex obtusifolius* Samen vorhanden. D. h. eine übliche Silierung der Fermentationsausgangsstoffe könnte den Hygienisierungseffekt weiter unterstützen und so das Risiko zunehmend minimieren. SONNLEITNER und SONNLEITNER (2004) prüften die Samen von *Rumex obtusifolius* und *Rumex crispus* auf eine mögliche Keimfähigkeitsänderung in unfermentierte Gülle sowie in Jauche. In der Jauche wurde die Keimfähigkeit der Samen rasch reduziert. In unfermentierter Gülle wurden die keimfähigen *Rumex obtusifolius* Samen nur langsam reduziert. Bei *Rumex crispus* blieb die Keimfähigkeit in der Gülle beinahe während der gesamten Lagerzeit konstant.

Die Keimfähigkeit von *Chenopodium album* Samen erwies sich als sehr stabil und erst bei der dreiwöchigen Versuchsserie bei 35°C im Fermentationssubstrat kamen keine Samen mehr zur Keimung. Bei den Versuchen von SCHRADE (2002) wurde ähnliches ermittelt. Wie im Kapitel 5.1.1.1 ersichtlich, waren die Samen von *Amaranthus* sp. (Amarant) und *Polygonum lapathifolium* (Ampfer-Knöterich) ebenso stabil. Nach dreitägiger Verweilzeit bei 35°C im Fermentationssubstrat betrug die Keimfähigkeit von *Amaranthus* sp. 47% und von *Polygonum lapathifolium* sogar noch 92,5%.

Die Einbringung von Samen ins Fermentationssubstrat unter **thermophilen Bedingungen** bei etwa 50°C führte innerhalb von einem Tag zu einem vollständigen Keimfähigkeitsverlust und dies bei allen untersuchten Unkrautarten (GANSBERGER et. al., 2009c). Die Ergebnisse von SCHRADE et. al. (2003b) waren gleichlautend. Daraus folgt Anlagen, die im thermophilen Temperaturbereich betrieben werden, sind bezüglich der Abtötung von Unkrautsamen, als effizient einzustufen.

Die Keimfähigkeitsbeurteilungen nach unterschiedlich langer Verweilzeit **im Fermenter einer Biogasanlage** werden durch die Laborergebnisse ausnahmslos bestätigt.

Die angeführten **Lebensfähigkeitsprüfungen** mit dem Tetrazoliumtest, bei dem auch Samen in Keimruhe erfasst werden, bestätigten bei den untersuchten Arten den völligen Verlust der Lebensfähigkeit. Harte Samen wurden jedoch innerhalb von 26 Tagen nicht zur Gänze inaktiviert. Da die Samen in der Praxis vielfach längeren Verweilzeiten im Fermenter ausgesetzt sind, wird beinahe eine vollständige Hygienisierung erwartet. Dies wäre durch fortführende Arbeiten noch zu klären.

Die angeführten Ergebnisse decken sich mit den Daten von PFUNDTNER (2010). PFUNDTNER (2010) untersuchte viele Gärreste von niederösterreichischen Biogasanlagen auf keimfähige Unkrautsamen und austriebsfähige Pflanzenteile. Von 117 untersuchten Proben keimten nur zwei Unkrautsamen. Bei den zwei positiven Proben handelte es sich um feste Separationsrückstände der Biogasgülle. Durch die offene Mietenlagerung erfolgte höchstwahrscheinlich nachträglich eine Kontamination. In den flüssigen Anteilen der zwei Biogasgülleproben keimten in der Testvariante keine Unkrautsamen.

Bei **parallellaufenden Versuchen mit Phytopathogenen** im Rahmen des Projektes der AGES wurde ähnliches nachgewiesen. Bei *Fusarium* spp., *Ustilago maydis* (Maisbeulenbrand) und *Sclerotinia sclerotiorum* (Weißstängeligkeit) wurde bereits nach einem Tag Verweilzeit in Fermentationssubstrat im mesophilen Temperaturbereich keine Keimfähigkeit der Sporen im Agarplattentest festgestellt. Die Sporen von *Tilletia caries* (Gewöhnlicher Steinbrand) und *Tilletia controversa* (Zwergsteinbrand) waren geringfügig widerstandsfähiger. Nach 3 Tagen Verweilzeit waren aber auch diese Sporen inaktiviert (LEONHARDT et. al., 2010; WEINHAPPEL et. al., 2010).

Diese Ergebnisse, insbesondere zu *Fusarium* spp., *Ustilago maydis* und *Sclerotinia sclerotiorum* wurden durch publizierte Daten aus Bayern bestätigt (FRIEDRICH et. al., 2009). FRIEDRICH et. al. (2009) führten umfassende Hygienisierungsuntersuchungen bei Phytopathogenen durch. Die diversen Phytopathogene konnten unterschiedlich lange in einem Durchflussfermenter bei einer Temperatur von 38°C bestehen:

- * *Globodera pallida* (Kartoffel-Zystennematode): 4 Tage

- * *Globodera rostochiensis* (Kartoffel-Zystennematode): 4 Tage
- * *Microdochium nivale* (Schneeschnitzpilz): 8 Tage
- * *Fusarium graminearum* (Ährenfusariose): 1 Tag
- * *Beet necrotic yellow vein virus* (Wurzelbärtigkeit der Zuckerrübe): 4 Tage
- * *Verticillium Dahliae* (Verticilliumwelke): 2 Tage
- * *Verticillium albo-atrum* (Verticilliumwelke): 13 Tage
- * *Ustilago maydis* (Maisbeulenbrand): 1 Tag
- * *Sclerotinia sclerotiorum* (Weißstängeligkeit): 8 Stunden
- * *Rhizoctonia solani* (Wurzeltötterkrankheit): 8 Stunden

TURNER et. al. (1983) erzielten bereits 1983 eine erfolgreiche Inaktivierung von *Globodera pallida* (Kartoffelzystennematode) nach sechs Tagen, von *Fusarium oxysporum* nach 21 Tagen und *Corynebacterium michiganense* (Bakterielle Welke) nach sieben Tagen durch mesophile Vergärung. Nach EDELMANN (2001) werden Bakterien unter mesophilen Bedingungen innerhalb weniger Tage und unter thermophilen Bedingungen innerhalb weniger Stunden abgetötet. Für eine Minimierung um 90% unter mesophilen Bedingungen werden bei *Salmonella typhimurium* 2,4 Tage, bei *Escherichia coli* 1,8 Tage und *Staphylococcus aureus* 0,9 Tage benötigt.

Die Ergebnisse aus dem Teil 5 (*Ergebnisse*) zeigen, dass der **Temperatureinfluss** und die **Verweilzeit** im Fermenter eine **zentrale Rolle bei der Verminderung der Keimfähigkeit** haben. Während nach wenigen Tagen unter mesophilen Bedingungen noch keimfähige Samen gefunden wurden, waren bei der thermophilen Versuchsserie bereits nach einem Tag alle Samen inaktiviert. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von SCHRADE (2002), VOGTMANN et. al. (1979) und EDELMANN (2001). VOGTMANN et. al. (1979) beobachteten dies bei Versuchen mit belüfteter Gülle. Der Rückgang der Keimfähigkeit war umso stärker, je länger diese im Fermentationssubstrat oder im Fermenter verweilten. Die Ergebnisse der statistischen Verrechnung weisen darauf hin, dass es einen starken Zusammenhang zwischen der Keimfähigkeit mit dem Temperaturverlauf, der Verweilzeit und den unterschiedlichen Biogasanlagentechnologien gibt. Die Ergebnisse von *Chenopodium album* zeigen dies deutlich.

Neben den Faktoren wie Temperatur und Verweildauer sind andere Parameter, wie zum Beispiel **pH-Wert, Mikroorganismenaktivität, anaeroben Verhältnisse**,

mechanische Einflüsse, Schadgaskonzentrationen, etc. an der Reduktion der Keimfähigkeit beteiligt. SCHRADE (2002) ist der Meinung, dass die Keimfähigkeit der Samen durch die Kombination von hoher Temperatur und sehr hohen **Samenfeuchtigkeitsgehalt** beeinträchtigt wird. Die anaeroben Verhältnisse haben nach EDELMANN (2001) nur eine untergeordnete Bedeutung für den Hygienisierungseffekt. Im Besonderen ist das Milieu bei der anaeroben Gärung (d. h. Exoenzyme, Säuregehalt, Redoxpotential) für die Abtötung oder die Hemmung der Pathogene verantwortlich. Speziell der leicht saure pH-Wert und die gleichzeitig hohen Konzentrationen an Exoenzymen während der Hydrolyse (= erste Phase des Fermentationsprozesses) greifen effizient pathogene Keime und Unkrautsamen an.

Die Mikroorganismen bauen im Verlauf des Fermentationsprozesses die Samen mit ihren Inhaltsstoffen wie Fette, Proteine und Kohlenhydrate zu Kohlendioxid, Methan, ... ab. Nach GANSBERGER (2010) ist die Widerstandsfähigkeit vielfach auf die Beschaffenheit der Samenschale zurückzuführen. Bei den Samen mit härterer und glatter Samenschale, wie bei *Chenopodium album*, *Amaranthus* sp., *Rumex obtusifolius*, *Polygonum lapathifolium*, ... konnten auch nach längerer Verweilzeit makroskopisch kaum morphologische Veränderungen festgestellt werden. Wird die schützende Samenschale durchbrochen, dann werden das Nährgewebe und der Keimling zügig abgebaut und die Samen verlieren die Keimfähigkeit. Bei Gräsern sind die Samen nur mit Hüllspelzen bedeckt und somit weniger geschützt. Bei *Avena fatua* (Flughäfer) kam es bereits nach einer eintägigen Verweilzeit im Fermenter zum Aufquellen und nach einer zweimonatigen Verweilzeit waren die Samen bis auf die Spelzen zersetzt. SCHRADE (2002) konnte dies bei *Triticum aestivum* deutlich beobachten. Nach fünf Wochen Aufenthalt im Fermenter war die Stärke aus dem Mehlkörper fast vollständig abgebaut und die Mikroorganismen hinterließen nur noch die schwerer zersetzbaren Substanzen des Getreidekorns. Grundsätzlich gilt, je länger die Samen im Fermentationssubstrat waren, desto deutlicher waren morphologische Veränderungen erkennbar.

Die **vorliegenden Ergebnisse zeigen** während des Fermentationsprozesses für die untersuchten Unkrautsamen **eine vollständige Hygienisierung**. Die Ausbringung von Biogasgülle nach einer üblichen Verweildauer im Fermenter stellt für die Verschleppung der geprüften Unkrautsamen kein Problem für die gedüngten Flächen dar (GANSBERGER et. al., 2009a).

7. Conclusion / Schlussfolgerung

7.1. Conclusion

Corresponding to the objective several researches were designed, systematically carried out and the achieved results are significant for critical regions concerning the output of fermentation end products.

All of the weed species (*Avena fatua*, *Rumex obtusifolius*, *Atriplex patula*, *Bromus sp.*, *Galium aparine*, *Amaranthus sp.*, *Elytrigia repens*, *Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Polygonum lapathifolium*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*) and agricultural crop species (*Zea mays*, *Trifolium pratense*, *Triticum aestivum*), which were analysed at several tests in the mesophilic ambiance (35°C) and in the thermophilic ambiance (50°C) resulted in a complete sanitation. Both, temperature and dwell time have a significant influence on the celerity of the sanitation. Laboratory results and results at biogas plants generated comparable and reproducible results. Correspondingly laboratory tests are a cheap and standardized alternative to simulate the sanitation process. Additionally accomplished viability tests with Tetrazolium on selected species approve the results of the germination tests. The viability of analysed species was reduced, but not all seeds. Several hard seeds couldn't take water into the seed, during the dwell time and so the seeds could maintain germination and viability. For more detailed conclusions further tests are necessary.

The dissemination risk of unwanted weed species by digestates and fermentation end products can be considered extremely low and harmless.

7.2. Schlussfolgerung

Der Zielsetzung entsprechend wurden mehrfache Untersuchungen konzipiert, planmäßig durchgeführt und die erzielten Ergebnisse sind aussagekräftig für kritische Bereiche in der Ausbringung von Fermentationsendprodukten von Bedeutung.

Die in den Prüfungen eingebunden Unkrautarten *Avena fatua*, *Rumex obtusifolius*, *Atriplex patula*, *Bromus sp.*, *Galium aparine*, *Amaranthus sp.*, *Elytrigia repens*,

Chenopodium album, *Echinochloa crus-galli*, *Polygonum lapathifolium*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media* und Fruchtarten *Zea mays*, *Trifolium pratense*, *Triticum aestivum* ergaben sowohl im mesophilen Temperaturbereich als auch im thermophilen Temperaturbereich eine vollständige Hygienisierung. Die Temperatur sowie die Verweilzeit im Fermenter haben einen erheblichen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Hygienisierung. Sowohl die Laborergebnisse als auch die Ergebnisse aus den Biogasanlagen erbrachten vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse. Dementsprechend sind Laborversuchsserien, die kostengünstiger und standardisierbarer durchgeführt werden können, geeignet den Hygienisierungsprozess in den Biogasanlagen nachzuvollziehen. Ergänzend durchgeführte Lebensfähigkeitsprüfungen mittels Tetrazoliumtest an ausgewählten Arten bestätigten die Ergebnisse der Keimfähigkeitsprüfungen. Bei den untersuchten Arten kam es, bis auf harte Samen, zu einer vollkommenen Reduktion der Lebensfähigkeit. Die Hartschaligkeit konnte nicht bei allen harten Samen während der vorgegebenen Verweilzeit gebrochen werden, sodass ihre Keim- und Lebensfähigkeit erhalten blieb. Für genauere Feststellungen sind weiterführende Untersuchungen notwendig.

Das Ausbreitungsrisiko unerwünschter Unkrautarten durch Fermentationsendprodukte kann als äußerst gering und daher als unbedenklich eingestuft werden.

8. Literatur- und Quellenverzeichnis

AHLERT, B. und KNOBLAUCH, A. (2003): Hygienisierung von Bioabfällen in der industriellen Kompostierung „Vom Abfall zum Rohstoff ...“. Broschürentext (Hannover). Fulda: Fachhochschule Fulda. 21-22.

BEDLAN, G. (2006): Unkräuter – Bedeutung in Gartenbau und Landwirtschaft. 8. Auflage. Wien: Österreichischer Agrarverlag Druck- und Verlagsges.m.b.H.

BMLFUW (2006): Richtlinien für die Sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Auflage. Wien: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim BMLFUW.

BMLFUW (2007): Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland. 2. Auflage. Wien: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim BMLFUW.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (2010): Ausgangsstoffe für die Biogaserzeugung. [URL: http://www.energytech.at/biogas/portrait_kapitel-2.html] (29.09.2010).

DÖHLER, H.; ECKEL, H.; FRÖBA, N.; GREBE, S.; HARTMANN, S.; HÄUßERMANN, U.; KLAGES, S.; SAUER, N.; NAKAZI, S.; NIEBAUM, A.; ROTH, U.; WIRTH, B. und WULF, S. (2009): Faustzahlen Biogas. 2. Auflage. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).

EDELMANN, W. (2001): Biogaserzeugung und –nutzung. In: M. Kaltschmitt und H. Hartmann (Hrsg.): Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin: Springer, 641-694.

EGGERSGLÜß, W. und KRASCHINSKI, S. (2001): Biogas II. (Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft) RKL-Schrift 0.4.

FACHVERBAND DER GAS- UND WÄRMEVERSORGUNGSUNTERNEHMUNGEN (2010): Biogas in Österreich. [URL: http://www.gaswaerme.at/bbg/themen/index_html?uid=2668] (24.08.2010).

FRIEDRICH, R.; KAEMMERER, D.; BÜTTNER, P. und SEIGNER, L. (2009): Evaluierung des Hygienisierungspotentials des Biogasprozesses im Hinblick auf phytopathogene Schaderreger. Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009. Band 2. Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 255-266.

GAMS, U.; KAISER, F.; GRONAUER, A.; POMMER, G.; FUCHS, R.; MOSCH, S.; VOIT, B. und KILLERMANN, B. (2006): Laboruntersuchungen über den Einfluss des Biogasprozesses auf die Lebensfähigkeit von Ampfersamen in einer einstufigen Versuchsfermentieranlage. Poster. Sektion Futterqualität und Futterkonservierung. 50. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. in Straubing u. Steinach.

GANSBERGER, M.; WEINHAPPEL, M.; LEONHARDT, C. und BRANDSTETTER, A. (2010): Unkrautsamen werden in Biogasanlagen abgetötet. Inform – Zeitschrift für Pflanzenzüchtung und Saatgutproduktion 1, 7-9.

GANSBERGER, M.; WEINHAPPEL, M.; LEONHARDT, C. UND BRANDSTETTER, A. (2009a): Unkrautverbreiter Biogasgülle? Der fortschrittliche Landwirt 21, 34-35.

GANSBERGER, M.; WEINHAPPEL, M.; LEONHARDT, C.; BRANDSTETTER, A.; SCHALLY, H. und LIEBHARD, P. (2009b): Einfluss der Verweildauer ausgewählter Unkrautsamen in Biogasanlagen auf die Keimfähigkeit. In: MÄRLÄNDER, B.; CHIRSTEN, O.; KENTER, C. UND DÜKER, A.; Gesellschaft für Pflanzenwissenschaften E. V. (Hrsg.): Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 21. Pflanzenbauwissenschaften - Systembezug und Modellierung. Göttingen: Verlag Liddy Halm, 75-76.

GANSBERGER, M.; WEINHAPPEL, M. und BRANDSTETTER, A. (2009c): Unkrautsamen werden in Biogasanlagen abgetötet. Die Landwirtschaft 6, 14.

GEHRING, K. und THYSSEN, S. (2010): Unkraut-Steckbriefe. [URL: <http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/unkrautsteckbrief/08548/>] (28.09.2010).

GERS-GRAPPERHAUS, C. (2002): Die richtige Technik für Ihre Biogasanlage. In: top agrar. Das Magazin für moderne Landwirtschaft (Hrsg.): Biogas. Strom aus Gülle und Biomasse. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, 26-31.

GRAF, W. (1998): Biogas – Historisches. In: BM für Land- und Forstwirtschaft, Abt. II/A4; BM für Umwelt, Jugend u. Familie, Abt.I/5 (Hrsg.): Biogas für Österreich. 3. überarbeitete Auflage. Wien: BM für Land- und Forstwirtschaft, Abt. II/A4; BM für Umwelt, Jugend u. Familie, Abt.I/5, 1-11.

HELM, M. (2007): Was ist bei der Planung der Anlagentechnik für landwirtschaftliche und industrielle Biogasanlagen zu beachten? In: Uwe Görisch und Markus Helm (Hrsg.): Biogasanlagen: Planung, Errichtung und Betrieb von landwirtschaftlichen und industriellen Biogasanlagen. 2. überarbeitete Auflage. Stuttgart: Ulmer Verlag, 37-50.

HOFER, G. und ZIRM, J. (2009): Energiesparen im Namen des Gesetzes. Die Presse. Print - Ausgabe. 10.01.2009.

HOLZNER, W.; GEISSELBRECHT-TAFERNER, L.; KUTZENBERGER, H.; RIES, C.; WIEDERMANN, R. und WOKAC, R. (1994): Unkräuter - Begleiter und Freunde des Menschen. Grüne Reihe d. BM. f. Umwelt, Jugend und Familie, Band 4, Wien: Verlag Ulrich Moser.

HOLZNER, W. und GLAUNINGER, J. (2005): Ackerunkräuter : Bestimmung, Biologie, landwirtschaftliche Bedeutung. Graz: Leopold Stocker Verlag.

HUMPHREYS, J.; CULLETON, N.; JANSEN, T.; O'RIORDAN, E. und STOREY, T. (1997): Aspects of role of cattle slurry in dispersal and seeding establishment of *Rumex obtusifolius* seed in grassland. Irish Journal of Agriculture and Food Research 36. 39-49.

ISTA GERMINATION COMMITTEE, (2009): ISTA (International Seed Testing Association) Handbook on Seedling Evaluation. Third Edition with Amendments 2009. Bassersdorf: Switzerland.

ISTA TETRAZOLIUM COMMITTEE, (2003): ISTA (International Seed Testing Association) Working Sheets on Tetrazolium Testing. Volume I. Agricultural, Vegetable and Horticultural Species. Bassersdorf: Switzerland.

JÄKEL, K.; WANKA, U. und ALBERT, E. (2002): Wie aus dem Gärrest „Edelgülle“ wird. In: top agrar. Das Magazin für moderne Landwirtschaft (Hrsg.): Biogas. Strom aus Gülle und Biomasse. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, 16-20.

JÜNGLING, G. (1999): Landwirtschaftliche Biogasanlagen: Zusammenfassung der Ergebnisse eines ALTENER-Projektes. Wien: Österr. Kuratorium für Landtechnik u. Landentwicklung (ÖKL).

KILLERMANN, B. (2009): Saatgutqualität von landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen sowie Heil- und Gewürzpflanzen. Mitgliederversammlung des Vereins zur Förderung des Heil- und Gewürzpflanzenanbaus. Bayern.

KOCH, W. und HURLE, F. (1978): Grundlagen der Unkrautbekämpfung. Stuttgart: Ulmer.

KOMPOST-BIOGAS (2010): Die Einsatzstoffe [URL: http://www.kompost-biogas.info/index.php?option=com_content&task=view&id=199&Itemid=230] (14.10.2010).

LEONHARDT, C.; WEINHAPPEL, M.; GANSBERGER, M.; BRANDSTETTER A.; SCHALLY, H. und PFUNDTNER E. (2009): Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten, Unkräutern und austriebsfähigen Pflanzenteilen mit Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen. Wien: Zwischenbericht zum Forschungsprojekt 100296/2 an das BMLFUW. Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH.

LEONHARDT, C.; WEINHAPPEL, M.; GANSBERGER, M.; BRANDSTETTER A.; SCHALLY, H. und PFUNDTNER E. (2010): Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten, Unkräutern und austriebsfähigen Pflanzenteilen mit Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen. Wien: Endbericht zum Forschungsprojekt 100296/2 an das BMLFUW. Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH.

LIEBHARD, P. (2008): Biogas aus erneuerbarer Biomasse. Vorlesung: Nachwachsende Rohstoffe. LVA-Nr. 951 314. Wien: Vorlesungsunterlage Universität für Bodenkultur.

N. N. (2010a): Substrate für die Biogaserzeugung. [URL: <http://www.klimaaktiv.at/article/archive/13520/>] (29.09.2010).

N. N. (2010b): Substrate. [URL: <http://www.biogas-netzeinspeisung.at/technische-planung/biogasgestehung/substrate.html>] (03.10.2010).

ÖKL ARBEITSKREIS ENERGIE (2004): Landwirtschaftliche Biogasanlagen. 4. Auflage. ÖKL-Merkblatt 61.

PESTA, G. und MEYER-PITTOFF, R. (2002): Gärprozess: Bakterien lieben es warm und nicht zu sauer. In: top agrar. Das Magazin für moderne Landwirtschaft (Hrsg.): Biogas. Strom aus Gülle und Biomasse. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, 16-20.

PFLANZENGESUNDHEIT (2010): Was ist ein Unkraut? [URL: <http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/pflanzengesundheit/unkraeuter/was-ist-ein-unkraut/>] (23.08.2010).

PFUNDTNER, E. (2010): Bestimmung von keimfähigen Unkrautsamen und austriebsfähigen Pflanzenteilen in Fermentationsendprodukten aus Proben von Biogasanlagen. In: LEONHARDT, C.; WEINHAPPEL, M.; GANSBERGER, M.; BRANDSTETTER

A.; SCHALLY, H. und PFUNDTNER, E. (2010): Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten, Unkräutern und austriebsfähigen Pflanzenteilen mit Fermentationsendprodukten aus Biogasanlagen. Wien: Endbericht zum Forschungsprojekt 100296/2 an das BMLFUW. Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH.

PIETSCH, M. (2004): Pflanzengesundheitliche Risiken und Hygienefragen bei der Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen. 13. Jahrestagung „Biogas und Bioenergie in der Landwirtschaft“ am 2. – 4.12.2004. 87-94.

PÖTSCH, E. (2003): Möglichkeiten der mechanisch/biologischen Ampferbekämpfung. In: Tagungsband zu dem Expertenkolloquium „Strategien zur Regulierung von Wurzelunkräutern im ökologischen Landbau“. Braunschweig. 18.-19.02.2003. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 255. 63-67.

PÖTSCH, E. (2008): Biogas aus Grünlandbiomasse. Kurzfassung der Vorträge zur 14. Wintertagung für Grünland- und Viehwirtschaft, 20-21.

PÖTSCH, E.; PFUNDTNER, R.; RESCH, R. und MUCH, P. (2004): Stoffliche Zusammensetzung und Ausbringungseigenschaften von Gärrückständen aus Biogasanlagen. 10. Alpenländisches Expertenforum „Biogasproduktion – alternative Biomassenutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft“. BAL Gumpenstein.

RESCH, R.; PÖTSCH, E. UND PFUNDTNER, E. (2004): Biogasanlagen in Österreich - ein aktueller Überblick. 10. Alpenländisches Expertenforum „Biogasproduktion – alternative Biomassenutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft“. BAL Gumpenstein.

RÖHRICHT, C.; RUSCHER, K. und GRUNERT, M. (2009): Energiepflanzen. Kurzkennzeichnung Halmgut- und Holzartiger Kulturarten zur Verbrennung oder Biogaszeugung. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

SARAPATKA, B.; HOLUB, M. und LHOTSKA, M. (1993): The Effect of Farmyard Manure Anaerobic Treatment on Weed Seed Viability. *Journal Agriculture and Horticulture*. Volume 10. 1-8.

SCHRADE, S. (2002): Einfluss der Biogasgärung auf die Keimfähigkeit von Unkraut- und Kulturpflanzensamen. Stuttgart: Studienarbeit Universität Hohenheim.

SCHRADE, S.; PEKRUN, C.; OECHSNER, H. und CLAUPEIN, W. (2003a): Untersuchungen zum Einfluss der Biogasgärung auf die Keimfähigkeit von Unkraut- und Kulturpflanzensamen unter besonderer Berücksichtigung des Ampfers (*Rumex obtusifolius*). Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 2003. Wien. 531-532.

SCHRADE, S.; OECHSNER, H. und PEKRUN, C. (2003b): Problem durch Biogas gelöst? *UFA Refvue* 11/03. 38-39.

SCHULZ, B. (1998): Anaerobe Verwertung von biogenen, kommunalen und gewerblichen Abfällen. In: BM für Land- und Forstwirtschaft, Abt. II/A4; BM für Umwelt, Jugend u. Familie, Abt. I/5 (Hrsg.): *Biogas für Österreich*. 3. überarbeitete Auflage. Wien: BM für Land- und Forstwirtschaft, Abt. II/A4; BM für Umwelt, Jugend u. Familie, Abt. I/5, 101-124.

SCHULZ, H. und EDER, B. (2001): *Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele*. 2. überarbeitete Auflage. Staufen bei Freiburg: Ökobuch Verlag.

SCHULZ, H. und EDER, B. (2006): *Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele Wirtschaftlichkeit*. 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Staufen bei Freiburg: Ökobuch Verlag.

SONNLEITNER, L. und SONNLEITNER, P. (2004): Beeinflussung der Keimfähigkeit von Samen unterschiedlicher Ampferarten im innerbetrieblichen landwirtschaftlichen Kreislauf. Irdning: Diplommaturaarbeit an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

STEINER, M. (2000): Ausgewählte Aspekte des Saatguthandels, der Saatguttechnologie und der Saatgutprüfung. Vorlesung: Pflanzenbau II (LVA-Nr. 330.050); Pflanzenzüchtung II (LVA-Nr. 330.056). Wien: Vorlesungsunterlage Universität für Bodenkultur.

STOCKINGER, M. (2010): In Zwischenfrüchten steckt Energie. Österreichische Bauernzeitung 41. Teil Biomasse. II.

TRETTNER, H. (2010): Technologie Portrait Biogas. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Schriftenreihe 36/2010. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

TURNER, J.; STAFFORD, D.; HUGHES, D. und CLARKSON, J. (1983): The reduction of three plant pathogens (*Fusarium*, *Corynebacterium* and *Globodera*) in anaerobic digesters. *Agricultural Wastes* 6. 1-11.

VAN DER ZWEEP, W. (1979): Het begrip onkruid. Gewasbescherming. Wageningen: CABO.

VOGTMANN, H.; QUANTE, G.; PLAKOLM, G. und HURNI, B. (1979): Die Reduktion der Keimfähigkeit von Unkrautsamen und Hygienisierungseffekt durch die Belüftung von Gülle. Schweizerische landwirtschaftliche Monatshefte 28. 73-80.

WEILAND, P. (2001): Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate. In: VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. (Hrsg.): Biogas als regenerative Energie : Stand und Perspektiven. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 19-31.

WEINHAPPEL, M. (2010): Verbreitungsgefahr von Unkräutern und Krankheitserregern mit Endprodukten aus Biogasanlagen. [URL: <http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/saat-und-pflanzgut/projekte-und-studien/verbreitungsgefahr-von-unkraeutern-und-krankheitserreger-mit-endprodukten-aus-biogasanlagen/>] (23.02.2010).

WEINHAPPEL, M.; GANSBERGER, M.; LEONHARDT, C.; BRANDSTETTER, A.; LIEBHARD, P. und PFUNDTNER, E. (2010): Untersuchungen zur Verbreitungsgefahr von samenübertragbaren Krankheiten und Unkrautarten durch Fermentationsendprodukte aus Biogasanlagen. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen (Hrsg.): „Vom Lebensmittel zum Genussmittel - was essen wir morgen?“ 65. ALVA-Tagung. Tagungsbericht 2010. Wien: Selbstverlag, 99-101.

9. Abkürzungsverzeichnis

B	Burgenland
BP	between paper
°C	Grad Celsius
ca.	circa
d	Tage
D	Dunkel
d. f.	daraus folgt
d. h.	das heißt
etc.	Et cetera (und so weiter)
FM	Frischmasse
L/D	Licht/Dunkel-Wechsel
l/kg oTS	Liter/Kilogramm organischer Trockensubstanz
M	Monate
MW el	Megawatt elektrische Leistung
-N-	nicht geprüft
NÖ	Niederösterreich
NUV	UV-Licht
PDA	Potato-Dextrose Agar
PP	pleated paper
TM	Trockenmasse
TP	top of paper
u. a.	unter anderen
usw.	und so weiter
VK	vorkühlen
VWZ	Verweilzeit
W	Woche
z. Bsp.	zum Beispiel

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <i>Geografische Verteilung der Biogasanlagen in Österreich - Stand 2007</i> (PÖTSCH, 2008).....	7
Abbildung 2: Schema des Fermentationsprozesses (WEIDLAND, 2001).....	11
Abbildung 3: Aufbau einer typischen Biogasanlage (GERS-GRAPPERHAUS, 2002).....	15
Abbildung 4: Liegender Fermenter (EGGERSGLÜß und KRASCHINSKI, 2001)	17
Abbildung 5: Stehender Fermenter (EGGERSGLÜß und KRASCHINSKI, 2001).....	17
Abbildung 6: Entstehende Gasblasen im Fermenter	18
Abbildung 7: Zündstrahl- Blockheizkraftwerk (EGGERSGLÜß und KRASCHINSKI, 2001)	19
Abbildung 8: Schematische Übersicht über die Biogasverfahren (SCHULZ und EDER, 2001; WEILAND, 2001).....	21
Abbildung 9: Verlauf der Biogasbildung von Hühner-, Schweine-, Rindergülle und Festmist im thermophilen Temperaturbereich (EGGERSGLÜß und KRASCHINSKI, 2001)	25
Abbildung 10: Methanausbeute von diversen Energiepflanzen (SCHULZ und EDER, 2006)	30
Abbildung 11: Einfluss des pH-Wertes auf die Ammoniakemission (GRONAUER, 1993)	34
Abbildung 12: Einfluss des Ammoniumgehaltes auf die Ammoniakemission (GRONAUER, 1993)	35
Abbildung 13: Verwendete Unkräuter	40
Abbildung 14: <i>Atriplex patula</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	40
Abbildung 15: <i>Atriplex patula</i>	40
Abbildung 16: <i>Avena fatua</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	41
Abbildung 17: <i>Avena fatua</i>	41
Abbildung 18: <i>Rumex obtusifolius</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS...	42
Abbildung 19: <i>Rumex obtusifolius</i>	42

Abbildung 20: <i>Bromus arvensis</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: SCHLECHTENDAL, D. F. L. V., L. E. LANGETHAL U. E. SCHENK. FLORA VON DEUTSCHLAND. 5. A., 30 BDE. U. 1 REG.-BD. GERA 1880-1888.....	43
Abbildung 21: <i>Bromus</i> sp.....	43
Abbildung 22: <i>Galium aparine</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	44
Abbildung 23: <i>Galium aparine</i>	44
Abbildung 24: <i>Amaranthus retroflexus</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	45
Abbildung 25: <i>Amaranthus</i> sp.....	45
Abbildung 26: <i>Elytrigia repens</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS.....	46
Abbildung 27: <i>Elytrigia repens</i>	46
Abbildung 28: <i>Chenopodium album</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	47
Abbildung 29: <i>Chenopodium album</i>	47
Abbildung 30: <i>Echinochloa crus-galli</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	48
Abbildung 31: <i>Echinochloa crus-galli</i>	48
Abbildung 32: <i>Polygonum lapathifolium</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	49
Abbildung 33: <i>Polygonum lapathifolium</i>	49
Abbildung 34: <i>Ambrosia artemisiifolia</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: ANGELA RÜNZLER.....	50
Abbildung 35: <i>Ambrosia artemisiifolia</i>	50
Abbildung 36: <i>Capsella bursa-pastoris</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	51
Abbildung 37: <i>Capsella bursa-pastoris</i>	51
Abbildung 38: <i>Stellaria media</i> (BEDLAN, 2006) Bildnachweis: PETER PAUL KOHLHAAS	52
Abbildung 39: <i>Stellaria media</i>	52
Abbildung 40: Standorte der in die Arbeit einbezogenen Biogasanlagen, Sammelorte von Unkrautsamen,... (AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG, 20.02.2009)	53

Abbildung 41: Ernte von Unkrautsamen für nachstehende Versuche.....	54
Abbildung 42: Trocknung von abgeschnittenen Pflanzen (<i>Rumex obtusifolius</i>)	54
Abbildung 43: Versuchsserie in den Fermentern.....	55
Abbildung 44: Probensäckchen	56
Abbildung 45: Einbringung der Proben in den Fermenter.....	56
Abbildung 46: Samen von <i>Avena fatua</i> nach eintägiger Verweilzeit im Fermenter	57
Abbildung 47: Anlage A	57
Abbildung 48: Anlage B	59
Abbildung 49: Anlage C (HTTP://WWW.LEHNERBAU.AT/PAGE.ASP/1176.HTM)	60
Abbildung 50: Versenke Probensäckchen in einer mit Substrat gefüllten Laborplastikschale	62
Abbildung 51: Versuchsserien im Labor.....	62
Abbildung 52: Keimfähigkeitsprüfungsmethode „pleated paper“	63
Abbildung 53: Keimfähigkeitsprüfungsmethode „top of paper“	63
Abbildung 54: Keimfähigkeitsprüfungsmethode „between paper“	64
Abbildung 55: lebensfähiger Same (KILLERMANN, 2009)	65
Abbildung 56: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach unterschiedlich langer Verweilzeiten (1d, 7d, 21d) bei 35°C im Labor	68
Abbildung 57: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach unterschiedlich langer Verweilzeiten (10h, 1d, 3d) bei 35°C im Labor	69
Abbildung 58: Verlauf der Hygienisierung bei <i>Chenopodium album</i>	69
Abbildung 59: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach eintägiger Verweilzeit bei 50°C im Labor	70
Abbildung 60: Gegenüberstellung der Keimfähigkeitsabnahme bei 35°C und 50°C nach einer eintägigen Verweilzeit	71
Abbildung 61: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach einer dreitägigen Verweilzeit in der Biogasanlage	73

Abbildung 62: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach einer einwöchigen Verweilzeit in der Biogasanlage	74
Abbildung 63: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten nach verschiedenen Verweilzeiten bei 35°C im Labor	82
Abbildung 64: Lebensfähigkeit [%] ausgewählter Unkraut- und Fruchtarten nach einwöchiger Verweilzeit bei 35°C im Fermentationssubstrat	83
Abbildung 65: Lebensfähigkeit [%] von anfänglich 100% harten Samen ausgewählter Fruchtarten nach verschiedenen Verweilzeiten bei 35°C im Fermentationssubstrat	84

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung von Biogas (EDELMANN, 2001).....	8
Tabelle 2: Biogasertrag und Methangehalt von Kohlenhydrate, Fette und Proteine (WEILAND, 2001)	9
Tabelle 3: Gasausbeuten von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen (SCHULZ und EDER, 2006; DÖHLER, 2009)	28
Tabelle 4: Ergebnisse der von PÖTSCH et. al, 2004 untersuchten Fermentationsrückstände	33
Tabelle 5: Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakverlusten bei der Ausbringung von Biogasgülle (BMLFUW, 2007)	36
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Schwermetallgrenzwerte mit Durchschnittsergebnissen aus 47 Biogasanlagen, der von PÖTSCH et. al, 2004 untersuchten Fermentationsrückstände aus dem Rinderbereich	37
Tabelle 7: Keimfähigkeitsprüfungsmethoden der ausgewählten Unkrautarten	64
Tabelle 8: Keimfähigkeitsprüfungsmethoden der ausgewählten Hauptfruchtarten	64
Tabelle 9: Lebensfähigkeitsprüfungsmethoden der ausgewählten Unkraut- und Kulturarten	66
Tabelle 10: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten im mesophilen Temperaturbereich bei circa 35°C	67
Tabelle 11: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten im thermophilen Temperaturbereich bei circa 50°C	70
Tabelle 12: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten der Anlage A.....	72
Tabelle 13: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten der Anlage B.....	72
Tabelle 14: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Unkrautarten der Anlage C.....	73
Tabelle 15: Kreuztabelle: Temperatur * Keimfähigkeit.....	76
Tabelle 16: Exakter Test nach Fisher (Temperatur * Keimfähigkeit).....	77

Tabelle 17: Kontingenzkoeffizient (Temperatur * Keimfähigkeit)	77
Tabelle 18: Kreuztabelle: Verweilzeit * Keimfähigkeit.....	78
Tabelle 19: Exakter Test nach Fisher (Verweilzeit * Keimfähigkeit).....	79
Tabelle 20: Kontingenzkoeffizient (Verweilzeit * Keimfähigkeit)	79
Tabelle 21: Kreuztabelle: Anlage * Keimfähigkeit.....	80
Tabelle 22: Exakter Test nach Fisher (Anlage * Keimfähigkeit).....	81
Tabelle 23: Kontingenzkoeffizient (Anlage * Keimfähigkeit)	81
Tabelle 24: Keimfähigkeit [%] ausgewählter Fruchtarten im mesophilen Temperaturbereich bei circa 35°C	82
Tabelle 25: Lebensfähigkeit [%] ausgewählter Unkraut- und Fruchtarten im mesophilen Temperaturbereich bei circa 35°C	83
Tabelle 26: Lebensfähigkeit [%] harter Samen im mesophilen Temperaturbereich bei circa 35°C	84