

Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten pflanzenbaulichen Verwertung



Projektbericht 2008



Baden-Württemberg
LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM
AUGUSTENBERG

Thema des Projektes

Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten landwirtschaftlichen Verwertung

Abschluss Dezember 2008

Gefördert durch

 <p>Baden-Württemberg</p>	<p>Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg</p> <p>Projekt-Nr. 303 E Kap. 0802 Titel-Gr. 74 - Forschung und Untersuchungen -</p>
--	---

Auftragnehmer und Projektleitung

	<p>Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe, des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg</p> <p>Direktor: Dr. Norbert Haber</p>
---	---

Kurztitel und Schlagworte

<p>Kurztitel</p> <p>Schlagworte</p>	<p>Inhaltsstoffe von Gärprodukten aus Biogasanlagen</p> <p>Biogasanlagen, Gärprodukte, Inhaltsstoffe, Nährstoffgehalte, Schadstoffgehalte, seuchenhygienische Parameter, Düngewirkung</p>
-------------------------------------	---

Zum Geleit

Die ausreichende Versorgung des Bodens mit organischer Substanz und eine auf die Bodenart und den Pflanzenbedarf abgestimmte Nährstoffzufuhr sind die maßgebenden Voraussetzungen für die nachhaltige Nutzungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Böden. Angesichts der zunehmenden Verknappung von Ressourcen, vor allem endlicher Nährstoffreserven wie Phosphor, aber auch Stickstoff, gewinnt deren bestmögliche Wiederverwertung durch Schließung von Stoffkreisläufen zunehmend an Bedeutung für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.

In den letzten Jahren hat die Anzahl kleinerer und mittlerer Biogasanlagen in landwirtschaftlichen Betrieben Baden-Württembergs, die neben Gülle überwiegend bzw. ausschließlich nachwachsende Rohstoffe (sog. NawaRo) einsetzen, deutlich zugenommen. Damit fallen zunehmend Gärreste als Endprodukte an, deren Wertstoff- und Nährstoffpotenzial im Sinne der o.g. Zielstellung möglichst umfassend zur Düngung und Bodenverbesserung zu nutzen ist. Das trägt auch dazu bei, die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen und damit das Betriebsergebnis landwirtschaftlicher Betriebe zu verbessern.

Im Vergleich zu ausreichend untersuchten Wirtschaftsdüngern und anderen organischen Düngern (z.B. Komposten) war die Datenlage zu maßgebenden Inhaltsstoffen von Gärprodukten, bedingt durch den relativ kurzen Zeitraum, in dem Biogasanlagen in der Landwirtschaft professionell betrieben werden, im Jahre 2005 noch vergleichsweise lückenhaft. Vorhandene Unterlagen aus anderen Bundesländern waren aus verschiedenen Gründen (z.B. geringe Stichprobengröße, andere Ausgangsstoffe u.a.) nur bedingt brauchbar bzw. auf Verhältnisse der baden-württembergischen Landwirtschaft übertragbar. Es bestand deshalb Bedarf an belastbaren Kenntnissen über maßgebende Inhaltsstoffe der Gärprodukte, deren Nähr- und Wertstoffen und ihrer Düngewirkung sowie ihrer pflanzenbaulich richtigen Anrechnung in der Düngebilanz als Voraussetzung für eine fachkundige Beratung. Von gleichrangiger Bedeutung sind objektive Unterlagen zu Schadstoffen sowie vor allem zur Hygienesituation der Gärprodukte, um durch eine abwägende Risikobewertung den Belangen des Umweltschutzes, insbesondere des Boden- und Gewässerschutzes, angemessen Rechnung zu tragen.

Aus diesem Grund hat das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg im Jahre 2005 die damalige Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg, heute Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, beauftragt, im Rahmen eines Forschungsprojektes unter aktiver Mitwirkung der Biogasberater Dr. M. Dederer und J. Messner entsprechende Unterlagen zu erarbeiten. Ziel des Projektes war es, mit Hilfe einer repräsentativen Übersichtsuntersuchung von Gärproduktproben aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Baden-Württemberg belastbare Ergebnisse zu maßgebenden Inhaltsstoffen und zur hygienischen Situation von Gärprodukten zu gewinnen sowie auf der Grundlage von Vegetationsversuchen (Gefäßversuchen) kurzfristig erste Grundlagen über die Düngewirkung von Gärprodukten zu erarbeiten. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes werden im vorliegenden Projektbericht vorgestellt, bewertet und diskutiert.

Unser Dank gilt dem Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg für die konzeptionelle und finanzielle Unterstützung des Projektes. Unser Dank geht auch an alle am Projekt unmittelbar Beteiligten (vgl. Impressum), die in kollegialer und kooperativer Weise

maßgeblich dazu beigetragen haben, dass der Projektbericht möglichst aussagekräftig und fundiert gestaltet werden konnte.

Möge dieser Projektbericht mit seiner umfassenden Datenbasis, seinen Erfahrungen und praxisbezogenen Anwendungsempfehlungen dazu beitragen, die nachhaltige Anwendung von Gärprodukten in der Landwirtschaft zu unterstützen und zu optimieren.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'N. Haber', written in a cursive style.

Dr. N. Haber

Direktor

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite	
A	INHALTSSTOFFE VON GÄRPRODUKTEN SOWIE MÖGLICHKEITEN ZU IHRER GEORDNETEN PFLANZENBAULICHEN VERWERTUNG - KURZFASSUNG DES PROJEKTBERICHTES	1
A 1	Zielstellung und methodische Konzeption	1
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten	2
A 2.1	Gehalte der allgemeinen Parameter sowie der Wert- und Nährstoffe	2
A 2.2	Frachten an Wert- und Nährstoffen und ihre Bedeutung für die Humus-, Kalk- und Düngebilanz	6
A 2.3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen	8
A 2.4	Abschließende Bewertung	9
A 3	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten und seuchenhygienische Situation	11
A 3.1	Unerwünschte Stoffe - Schwermetalle, Fremdstoffe, Unkrautsamen	11
A 3.2	Seuchenhygienische Situation und ihre Bewertung	12
A 3.3	Abschließende Bewertung	13
A 4	Möglichkeiten für eine geordnete pflanzenbauliche Verwertung von Gärprodukten	14
A 5	Abschlussbewertung	15
B	PLANUNG UND ABLAUF DES FORSCHUNGSPROJEKTES	17
B 1	Einleitung und Zielstellung	17
B 2	Konzeption und Arbeitsziele	18
B 3	Material und Methoden	19
B 3.1	Inhaltsstoffe und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten und Güllen	19
B 3.1.1	Auswahl der Biogasanlagen und Probenahme	20
B 3.1.2	Untersuchungen	21
B 3.1.3	Ergebnisbewertung und -darstellung	23
B 3.2	Durchführung und Auswertung der Gefäßversuche	23
C	ERGEBNISSE	25
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Güllen	25
C 1.1	Allgemeine Parameter und Wertstoffe	25
C 1.1.1	Vergleich Gärprodukte aus NawaRo- und Bioabfall-Anlagen	27
C 1.1.2	Vergleich NawaRo-Gärprodukte/ Güllen	28
C 1.1.3	Vergleich von Tierarten	29
C 1.1.4	Zeitreihenuntersuchungen	31
C 1.2	Gesamtgehalte an Nährstoffen	32
C 1.2.1	Vergleich Gärprodukte aus NawaRo- und Bioabfall-Anlagen	33
C 1.2.2	Vergleich NawRo-Gärprodukte/ Güllen	33
C 1.2.3	Vergleich von Tierarten	34
C 1.2.4	Zeitreihenuntersuchungen	35
C 1.3	Lösliche Anteile an Nährstoffen	36
C 1.4	Abschließende Bewertung zu Wert- und Nährstoffen	38
C 1.4.1	Allgemeine Parameter und Wertstoffe	38

C 1.4.2	Gesamtgehalte und lösliche Anteile an Nährstoffen	39
C 1.5	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten	41
C 1.5.1	Schwermetalle	41
C 1.5.2	Fremdstoffe und Steine sowie Unkrautsamen/ austriebsfähige Pflanzenteile	43
C 1.5.3	Abschließende Bewertung zu unerwünschten Stoffen	44
C 1.6	Wert- und Nährstofffrachten von Gärprodukten und ihre Bedeutung für die Humus-, Kalk- und Düngebilanz	45
C 1.6.1	Organische Substanz und basisch wirksame Substanz (BWS)	45
C 1.6.2	Nährstoffe	47
C 2	Mikrobiologische Parameter und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten	49
C 2.1	Salmonellen	49
C 2.2	Clostridien	50
C 2.3	Phytohygiene	52
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen	54
C 3.1	Untersuchungen mit Deutschem Weidelgras	54
C 3.1.1	Pflanzenwachstum	54
C 3.1.2	N-Ausnutzung	56
C 3.1.3	P-Wirkung	56
C 3.1.4	Kenndaten der Versuchsböden	56
C 3.2	Untersuchungen mit Körnermais	58
C 3.2.1	Pflanzenwachstum	58
C 3.2.2	N-Ausnutzung	59
C 3.2.3	P-Wirkung	60
C 3.2.4	Kenndaten der Versuchsböden	61
C 3.3	Fazit	62
C 4	Möglichkeiten zur geordneten landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten	63
C 4.1	Gesetzliche Vorgaben	63
C 4.2	Bisherige Erfahrungen	64
C 4.3	Empfehlungen für die praktische Anwendung von Gärprodukten	65
D	LITERATUR	67

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 1	Verteilung der Gärproduktproben auf NawaRo- bzw. Bioabfall-Anlagen.....20
Abbildung 2	Vergleich NawaRo- und Bioabfall-Anlagen: Allgemeine Parameter27
Abbildung 3	Vergleich NawaRo- und Bioabfall-Anlagen: Organische Substanz und C-Gehalt28
Abbildung 4	Vergleich Gärprodukte und Güllen: Allgemeine Parameter29
Abbildung 5	Vergleich Gärprodukte und Güllen: Organische Substanz und C-Gehalt.....29
Abbildung 6	Vergleich Gärprodukte nach Tierartengruppen: Allgemeine Parameter30
Abbildung 7	Vergleich Gärprodukte nach Tierartengruppen: Organische Substanz und C-Gehalt30
Abbildung 8	Vergleich NawaRo- und Bioabfall-Anlagen: Nährstoff-Gesamtgehalte33
Abbildung 9	Vergleich Gärprodukte und Güllen: Nährstoff-Gesamtgehalte34
Abbildung 10	Vergleich Gärprodukte nach Tierartengruppen: Nährstoff-Gesamtgehalte35
Abbildung 11	Lösliche Nährstoffgehalte der Gärprodukte relativ zu Nährstoff-Gesamtgehalten.....37
Abbildung 12	Schwermetallgehalte von Gärprodukten: Ausschöpfung der Grenzwerte42
Abbildung 13	Cu- und Zn-Frachten von Gärprodukten: Ausschöpfung der Grenzfrachten lt. Bioabfallverordnung für Gaben von 20 t/ha TM im 3jährigen Turnus43
Abbildung 14	Größenordnung des jährlichen Saldos zwischen Kohlenstoff(C)-Zufuhr mit Gärproduktgaben von 30 t/ha FM und dem Humusbedarf des Bodens bei optimaler bzw. suboptimaler Versorgung46
Abbildung 15	Größenordnung des jährlichen Saldos zwischen Nährstoffzufuhr mit Gärproduktgaben von 30 t/ha FM und den Nährstoffabfuhr der Ernteprodukte47
Abbildung 16	Verteilung der Clostridien in Gärprodukten, Güllen und Sonderproben51
Abbildung 17	Vergleich der Verteilungen von Clostridien bei unterschiedlichen Anlagentypen.51
Abbildung 18	Vergleich der Clostridien-Verteilungen von Salmonellen-belasteten mit unbelasteten Proben52

TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 1	Allgemeine Parameter von Gärprodukten: Mittelwerte und Spannweiten2
Tabelle 2	Wertgebende Inhaltsstoffe von Gärprodukten: Mittelwerte und Spannweiten.....3
Tabelle 3	Nährstoff-Gesamtgehalte von Gärprodukten in kg/t FM: Mittelwerte und Spannweiten4
Tabelle 4	Streuung der Nährstoff-Gesamtgehalte in der einzelnen Anlage6
Tabelle 5	Mittlere lösliche Nährstoffanteile von Gärprodukten6
Tabelle 6	Mittlere Zufuhren an Wert- und Nährstoffen mit Gärproduktgaben von 30 t/ha und ihre Bewertung für die Düngebilanz.....7
Tabelle 7	Vergleiche der Inhaltsstoffgehalte von Gärprodukten: komprimierte Übersicht über Unterschiede bei bestimmten Vergleichsgruppen10
Tabelle 8	Allgemeine und agrochemische Parameter und Untersuchungsmethoden für Gärprodukte22
Tabelle 9	Seuchen- und phytohygienische Untersuchungen von Gärprodukten22
Tabelle 10	Beschreibung und Herkunft der geprüften org. - mineralischen Dünger23
Tabelle 11	Kenndaten des Versuchsbodens sandiger Lehm.....24
Tabelle 12	Allgemeine Parameter sowie Wert- und Nährstoffe von Gärprodukten.....26
Tabelle 13	Zeitreihenuntersuchung der Gärprodukte ausgewählter Biogasanlagen: Allgemeine Parameter32
Tabelle 14	Zeitreihenuntersuchung der Gärprodukte ausgewählter Biogasanlagen: Nährstoff-Gesamtgehalte36
Tabelle 15	Schwermetalle in Gärprodukten41
Tabelle 16	Gehalte an Fremdstoffen und Steinen sowie Unkrautsamen/austriebsfähigen Pflanzenteilen in Gärprodukten44
Tabelle 17	Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) auf Basis des Ertrages (Sofortwirkung)55
Tabelle 18	Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) auf Basis des Ertrages (mit Nachwirkung).....55
Tabelle 19	Ausnutzung von Ammonium-N auf Basis des Ertrages (Sofortwirkung)56
Tabelle 20	Ausnutzung von Phosphor (P ₂ O ₅) auf Basis des Ertrages (Sofortwirkung)57
Tabelle 21	Kenndaten des Versuchsbodens zum Versuchsende57
Tabelle 22	Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) auf Basis des Ertrages - KORN58
Tabelle 23	Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) auf Basis des Ertrages - GESAMTPFLANZE ...59
Tabelle 24	Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs auf Basis des KORN-Ertrages.....60
Tabelle 25	Ausnutzung von Phosphor (P ₂ O ₅) auf Basis des Ertrages (Gesamtpflanze).....60
Tabelle 26	Kenndaten des Versuchsbodens zum Versuchsende61

VERZEICHNIS der ABKÜRZUNGEN

Allgemeine Abkürzungen

a	Jahr
bzw.	beziehungsweise
C/N-Verhältnis	Verhältnis der Gesamtgehalte an Kohlenstoff und Stickstoff
CaCl ₂ -Lösung	Calciumchlorid-Lösung
CAL-Lösung	Calcium-Acetat-Lactat-Lösung
FM	Frischmasse
KBE	koloniebildende Einheiten
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
nachf.	nachfolgend
NawaRo	nachwachsende Rohstoffe
n.b.	nicht bestimmt
N _t	Gesamt-Stickstoffgehalt
o.g.	oben genannte
OS	organische Substanz
SM	Schwermetall(e)
sog.	sogenannte
TM	Trockenmasse
u.a.	und andere
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung

Fruchtarten

K.Mais	Körner-Mais
S.Mais	Silo-Mais
W.Gerste	Winter-Gerste
W.Weizen	Winter-Weizen

Chemische Elemente

N	Stickstoff
C	Kohlenstoff
Mg	Magnesium
P	Phosphor
K	Kalium
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
Ni	Nickel
Pb	Blei
Zn	Zink
Hg	Quecksilber

Maße und Gewichte

°C	Grad Celsius
%	Prozent
Gew.-%	Gewichtsprozent
Vol.-%	Volumenprozent
t	Tonne
g	Gramm
l	Liter
m	Meter
ha	Hektar

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

μ	Mikro	10 ⁻⁶
m	Milli	10 ⁻³
k	Kilo	10 ³

Kennzeichnungen

<	Wert kleiner als
>	Wert größer als

A Inhaltsstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten zu ihrer geordneten pflanzenbaulichen Verwertung - Kurzfassung des Projektberichtes

A 1 Zielstellung und methodische Konzeption

Ziel des Projektes war es (vgl. auch Punkt B 1), mit Hilfe einer möglichst repräsentativen Übersichtsuntersuchung von Biogasgülle bzw. Gärresten aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Baden-Württemberg - nachfolgend Gärprodukte genannt - belastbare Ergebnisse zu maßgebenden Inhaltsstoffen sowie zur hygienischen Situation von Gärprodukten zu gewinnen. Außerdem sollten durch Vegetationsversuche (sog. Gefäßversuche) kurzfristig erste Grundlagen über die Düngewirkung von Gärprodukten erarbeitet werden, um damit Unterlagen für eine fachlich fundierte Beratung der Landwirte beim Einsatz von Gärprodukten im Pflanzenbau bereitzustellen.

Die **methodische Konzeption** wurde darauf ausgerichtet (vgl. Punkt B 2), einen repräsentativen Überblick über alle maßgebenden Inhaltsstoffe (Wertstoffe, Nährstoffe, unerwünschte Stoffe, wie Schwermetalle u.a.) und die hygienische Situation der Gärprodukte zu gewinnen. Dazu waren vor allem belastbare Daten aus sog. NawaRo-Anlagen, die neben Gülle nur nachwachsende Rohstoffe verwerten, zu erarbeiten. Zum Vergleich wurde eine kleinere Anzahl von Anlagen nach Bioabfall-Verordnung (sog. Bioabfall-Anlagen), die neben Gülle auch betriebsfremde Bioabfälle vergären, zu untersuchen. Ausgewählt wurden Biogasanlagen mit mittlerer Leistung (< 500 kW), die für landwirtschaftliche Betriebe typisch sind.

Im Zeitraum 2005 - 2008 wurden insgesamt 249 Gärproduktproben entsprechend dem **Untersuchungsprogramm** (vgl. Punkt B 3.1.2) untersucht. Bei einer kleineren Stichprobe von 53 Proben wurden auch Vergleiche zwischen Gärprodukten und Gülle durchgeführt sowie an 12 Biogasanlagen zusätzlich die anlagenbedingte Streuung der wertgebenden Inhaltsstoffe ermittelt. Damit und mit vergleichenden Auswertungen nach Gruppen von Tierarten der eingesetzten Gülle sollten mögliche Unterschiede geprüft und herausgearbeitet werden, die für die landwirtschaftliche Beratung von Bedeutung sein können.

Die **Untersuchungsergebnisse** der Übersichtsuntersuchungen werden in den nachfolgenden Punkten der Kurzfassung A 2 und A 3 komprimiert dargestellt und bewertet (ausführliche Ergebnisse vgl. Punkte C 1 und C 2). Sie beziehen sich durchweg auf das Endprodukt der Biogasproduktion, das *unbehandelte Gärprodukt im Endlager*, wie es in landwirtschaftlichen Betrieben überwiegend als Wirtschaftsdünger zum Einsatz kommt¹.

¹ Untersuchungen von Zwischenstufen der Vergärung, die für den Prozess der Biogasgewinnung wesentlich sein könnten, waren nicht vorgesehen und wurden nicht durchgeführt. In Ausnahmefällen wurden auch verarbeitete Gärprodukte, wie Feststoffe bzw. Fugate, untersucht. Ihre Ergebnisse werden im Bericht nicht dargestellt und kommentiert.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.1	Gehalte der allgemeinen Parameter sowie der Wert- und Nährstoffe

Die Ergebnisse der **Vegetationsversuche (Gefäßversuche)** gemäß Punkt A 2.3 liefern erste Aussagen zur Düngewirkung von Stickstoff, Phosphor und Kalium (ausführliche Ergebnisse vgl. Punkt C 3).

Die **Möglichkeiten zur geordneten landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten** (vgl. Punkt A 4) dienen dem Endziel des Projektes, den Landwirten und der Fachberatung der Landwirtschaftsverwaltung eine fundierte Wegleitung zur Verfügung zu stellen, mit der alle wesentlichen Fragen der nachhaltigen landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten fachgerecht geklärt werden können. Die gewonnenen Ergebnisse der Übersichtsuntersuchungen und der Gefäßversuche wurden dazu mit Resultaten und Erfahrungen anderer Bundesländer abgeglichen. Letztlich wurden daraus unter Berücksichtigung der aktuellen gesetzlichen Vorgaben Handlungs- und Anwendungsempfehlungen („Regeln guter fachlicher Praxis“) erstellt, die die Landwirte dabei unterstützen sollen, eine nachhaltige, umweltgerechte Verwertung der Gärprodukte zu gewährleisten (ausführliche Darstellung vgl. Punkt C 4).

A 2 Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten

A 2.1 Gehalte der allgemeinen Parameter sowie der Wert- und Nährstoffe

Allgemeine Parameter

Die **Trockenmasse(TM)-Gehalte** von Gärprodukten betragen im Mittel um 6 - 7 % FM mit einer Schwankungsbreite von etwa 5 - 8 % FM (vgl. Tabelle 1 und Punkt C 1.1). Gärprodukte aus dem Endlager sind damit - sofern keine weitere Aufbereitung erfolgt - ähnlich wie Gülle durchweg sehr dünnflüssige Produkte. Zwischen NawaRo- und Bioabfallanlagen bestehen auf Grund der relativ großen Streuung der Einzelwerte keine gesicherten Unterschiede. Gülle weisen im Mittel um 1,0 - 1,2 % FM höhere TM-Gehalte auf (vgl. Punkt C 1.1.2). Ursache für die Absenkung der TM-Gehalte in Gärprodukten ist der Abbau von organischer Trockenmasse im Verlauf des Gärprozesses. Für praktische Belange sind diese Differenzen jedoch angesichts der großen Schwankungsbreite der Einzelwerte nur bedingt relevant. Unter den Tierartengruppen ist bei Anlagen mit Schweinegülle im Vergleich zu Rinderanlagen vermehrt mit niedrigeren TM-Gehalten zu rechnen (vgl. Punkt C 1.1.3). Die übrigen Gruppen, auch viehlose Anlagen, unterscheiden sich nicht von den Rinderanlagen. In der einzelnen Biogasanlage schwanken die

Tabelle 1 Allgemeine Parameter von Gärprodukten: Mittelwerte und Spannweiten

Parameter		Mittelwert ¹		Spannweite ²	
		NawaRo ³	Bioabfall ⁴	NawaRo	Bioabfall
Trockenmasse	% FM ⁵	7,0	6,1	5,0 - 8,5	4,1 - 7,7
pH-Wert	-	8,3	8,3	7,9 - 8,6	7,9 - 8,7
Rohdichte	kg/l FM	1,0	1,0	0,98 - 1,01	0,99 - 1,01

Erläuterungen: ¹ arith. Mittelwert

² 20. - 80. Quantil

⁵ Frischmasse

³ Anlagen mit nachwachsenden Rohstoffen

⁴ Anlagen mit Bioabfällen

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.1	Gehalte der allgemeinen Parameter sowie der Wert- und Nährstoffe

TM-Gehalte im Mittel etwa 15 % um den Mittelwert der Anlage mit maximalen Streuungen bis zu 30 % (vgl. Punkt C 1.2.4).

Der **pH-Wert** von Gärprodukten fällt mit mittleren Werten von 8,3 recht hoch aus, durchweg statistisch gesichert höher als in Güllen² mit im Mittel 7,3. Ursache ist auch hier der Abbau von organischer Trockenmasse im Verlauf des Gärprozesses, in dessen Folge es zu einer vermehrten Freisetzung von Kalziumionen kommt. Bei Gärprodukten besteht deshalb eine höhere Gefahr der Ammoniakausgasung als bei Güllen. Unterschiede zwischen Anlagentypen und auch in Abhängigkeit von der Tierart bestehen in der Regel nicht. Auffällig ist die geringere Streubreite der pH-Werte von Gärprodukten im Vergleich zu Güllen, auch bezogen auf die einzelne Anlage im Zeitverlauf. Eine Bewertung der Gärprodukte anhand von Mittelwerten führt deshalb kaum zu Fehlbeurteilungen.

Gärprodukte weisen auf Grund ihrer Dünnschmelzbarkeit nur gering schwankende **Rohdichten** (Volumengewichte) von im Mittel 1,0 kg/Liter auf. Sie können deshalb in der Praxis problemlos gewichtsbezogen bewertet und behandelt werden, d.h. Unterschiede zwischen Volumen in Kubikmetern und Gewicht in Tonnen bestehen praktisch nicht.

Wertstoffe

Die Gehalte der Gärprodukte an **organischer Substanz (OS)** bewegen sich in NawaRo-Anlagen im Mittel um 50 kg/t FM und damit in der Tendenz über den Gehalten von Bioabfallanlagen (vgl. Tabelle 2). Güllen enthalten mit 70 - 80 kg/t FM gesichert höhere OS-Gehalte als Gärprodukte. Bezogen auf Tierartengruppen fallen die OS-Gehalte aus Anlagen mit Schweinegülle mit etwa 40 kg/t FM deutlich und gesichert niedriger aus als in Rinderanlagen mit etwa 55 kg/t FM. Bei den übrigen Tierartengruppen sind keine relevanten Unterschiede zu Gärprodukten aus Rinderanlagen festzustellen. In der einzelnen Biogasanlage schwanken die OS-Gehalte im Zeitverlauf in gleicher Größenordnung wie die TM-Gehalte (siehe oben).

Tabelle 2 Wertgebende Inhaltsstoffe von Gärprodukten: Mittelwerte und Spannweiten

Parameter	Mittelwert ¹		Spannweite ²		
	NawaRo ³	Bioabfall ⁴	NawaRo	Bioabfall	
Org. Substanz	kg/t FM ⁵	51	42	36 - 66	30 - 57
C/N-Verhältnis	-	6,4	5,2	5,9 - 7,6	4,2 - 6,8
BWS ⁶	kg/t FM	3,7	3,5	2,7 - 4,6	2,1 - 4,6

Erläuterungen: ¹ arith. Mittelwert ² 20. - 80. Quantil ⁵ Frischmasse
³ Anlagen mit nachwachsenden Rohstoffen ⁴ Anlagen mit Bioabfällen
⁶ basisch wirksame Substanz als CaO

Das **C/N-Verhältnis** von Gärprodukten in NawaRo-Anlagen fällt mit etwa 6,0 - 6,5/1 deutlich und statistisch gesichert niedriger aus als in Güllen (im Mittel 10 - 11/1). Bei der Verwertung von Gärprodukten ist deshalb mit einer zügigeren N-Mineralisierung zu rechnen, die sich positiv auf die N-Düngeeffizienz auswirken dürfte. Bioabfallanlagen zeigen mit im Mittel 5,0 - 5,5/1 noch günstigere Werte, sehr wahrscheinlich bedingt durch die im Vergleich zu NawaRo-

² Für alle weiteren Parameter lt. Tabelle 1 und Tabelle 2: ausführliche Ergebnisse vgl. analoge Punkte im Ergebnisteil C 1.1 wie bei Trockenmasse

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.1	Gehalte der allgemeinen Parameter sowie der Wert- und Nährstoffe

Pflanzen höheren N-Anteile der eingesetzten Bioabfälle. Bezogen auf Tierartengruppen ist bei Gärprodukten aus Schweineanlagen im Vergleich zu Rinderanlagen mit gesichert niedrigeren C/N-Verhältnissen (im Mittel 5,0 - 5,5/1) zu rechnen. Für die einzelne Anlage beträgt die Schwankungsbreite um den Anlagen-Mittelwert im Zeitverlauf im Mittel etwa 10 - 15 % mit Maximalwerten um 30 - 35 %.

Die Zufuhr an **basisch wirksamer Substanz (BWS)** mit Gärprodukten fällt im Mittel mit etwa 3,5 - 4,0 kg CaO/t FM relativ gering aus. Zwischen den Anlagentypen NawaRo und Bioabfall bestehen dabei angesichts der Streuung keine Unterschiede. Gülle verfügen mit im Mittel etwa 3,0 kg CaO/t FM über gering niedrigere BWS-Anteile, die Unterschiede sind aber bedingt durch die Streuung nicht gesichert. Bezogen auf Tierartengruppen weisen Gärprodukte aus Rinderanlagen und viehlosen Anlagen mit etwa 3,5 - 4,2 kg CaO/t FM höhere BWS-Anteile als Produkte aus Schweineanlagen mit 2,5 - 3,0 kg CaO/t FM auf. Allerdings ist, unabhängig von den vorgenommenen Differenzierungen, kaum mit einer messbaren Kalkwirkung bei der landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten zu rechnen. Bei Gaben von 30 t/ha FM würde nur etwa 1 dt/ha CaO ausgebracht, eine Kalkmenge, die den pH-Zustand des Bodens kaum beeinflussen kann. Erste Belege dazu haben die Gefäßversuche mit Gärprodukten erbracht (vgl. Punkte C 3.1.4 und C 3.2.4).

Gesamtgehalte an Nährstoffen

Gärprodukte enthalten erhebliche **Gesamtgehalte an Stickstoff** von im Mittel 4 - 5 kg/t FM, die in der Regel aus Gründen einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz den begrenzenden Faktor für die Höhe der Gärproduktgaben bilden (vgl. auch Punkt A 2.2). Ca. 55 - 65 % des N-Gesamtgehaltes liegen als Ammonium-N vor. Zwischen den Anlagentypen bestehen bei beiden Stickstoff-Komponenten keine Unterschiede (vgl. Punkt C 1.2.1). Im Vergleich zu Gülle fallen die N-Gesamtgehalte etwa 20 %, die Ammonium-N-Gehalte sogar 50 - 60 % höher aus (statistisch gesichert, vgl. Punkt C 1.2.2), eine deutliche Wertsteigerung, die im Einzelfall wahrscheinlich durch die Zufuhren an N-reichen NawaRo-Materialien zu erklären ist. Im Vergleich zur Tier-

Tabelle 3 Nährstoff-Gesamtgehalte von Gärprodukten in kg/t FM⁵:
Mittelwerte und Spannweiten

Nährstoffe		Mittelwert ¹		Spannweite ²	
		NawaRo ³	Bioabfall ⁴	NawaRo	Bioabfall
Stickstoff	N	4,7	4,8	3,9 - 5,5	3,4 - 5,9
Ammonium	NH ₄ -N	2,7	2,9	2,1 - 3,3	2,3 - 3,8
Phosphor	P ₂ O ₅	1,8	1,8	1,2 - 2,1	1,2 - 2,4
Kalium	K ₂ O	5,0	3,9	3,8 - 6,0	2,2 - 4,8
Magnesium	MgO	0,84	0,70	0,47- 1,04	0,43- 1,00
Kalzium	CaO	2,1	2,1	1,5 - 2,6	1,5 - 2,7
Schwefel	S	0,33	0,32	0,26- 0,41	0,22- 0,39

Erläuterungen: ¹ arith. Mittelwert

² 20. - 80. Quantil

⁵ Frischmasse

³ Anlagen mit nachwachsenden Rohstoffen

⁴ Anlagen mit Bioabfällen

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.1	Gehalte der allgemeinen Parameter sowie der Wert- und Nährstoffe

gruppe „Rinder“ zeigen die Stickstoff-Gesamtgehalte der Gruppen „Schweine“ und „viehlos“ im Mittel keine Unterschiede. Lediglich die Gruppe „übrige“ verfügt über leicht erhöhte Gehalte (vgl. Punkt C 1.2.3). Bei beiden Parametern ist jedoch die große Streuung der Einzelwerte zu beachten, die im Einzelfall keine zuverlässige Aussage anhand der Mittelwerte zulässt.

Die **Gesamtgehalte an Phosphor**³ bewegen sich im Mittel um 1,5 - 2,0 kg/t FM und damit in Größenordnungen einer düngerelevanten Phosphorzufuhr. Unterschiede bestehen dabei weder hinsichtlich der Anlagentypen noch zu Güllen bzw. zwischen den Tierartengruppen.

Die **Gesamtgehalte an Kalium** weisen in NawaRo-Anlagen mit im Mittel 4,5 - 5,5 kg/t FM eine ähnliche Größenordnung auf wie die N-Gesamtgehalte. Sie können damit bei hohen pflanzenverfügbaren Kaliumgehalten im Boden (Versorgungsgruppen D und E) - ähnlich wie bei Stickstoff - den begrenzenden Faktor der Gärproduktgaben bilden. Die Gärprodukte aus Bioabfallanlagen unterschreiten mit knapp 4 kg/t FM die Gehalte von NawaRo-Anlagen deutlich. Auch die Güllegehalte liegen etwa 20 % unterhalb der Gehalte der Gärprodukte, sicher bedingt durch das in der Regel Kalium-reiche NawaRo-Material der Gärprodukte. Bezogen auf Tierartengruppen bewegen sich die Gärproduktgehalte aus Schweineanlagen auf ähnlichen Niveau wie die Güllegehalte, nämlich etwa 20 % unter den Werten von Rinderanlagen. Bei den Gruppen übrige Tierarten und viehlose Anlagen bestehen, auch angesichts der Streuung der Einzelwerte, keine Unterschiede zu Rinderanlagen.

Mittlere **Magnesium-Gesamtgehalte** von Gärprodukten betragen etwa 0,6 - 1,0 kg/t FM. Praktisch relevante Unterschiede bestehen weder zwischen Anlagentypen noch zu Gülle bzw. bezüglich der Tierartengruppen. Die **Gesamtgehalte an Kalzium** belaufen sich im Mittel auf 1,8 - 2,4 kg/t TM. Praktisch zu berücksichtigende Unterschiede bestehen weder zwischen Anlagentypen noch zu Gülle. Ähnlich wie bei Kalium fallen auch die Ca-Anteile der Gärprodukte in der Gruppe „Schweine“ niedriger aus als bei Rindern, während bei den übrigen Gruppen keine Unterschiede bestehen.

Die **Schwefel-Gesamtgehalte** sind mit mittleren Werten von 0,30 - 0,35 kg/t FM im Vergleich zu den übrigen Nährstoffen als relativ niedrig einzustufen. Ähnlich wie bei Phosphor bestehen keine Unterschiede hinsichtlich der Anlagentypen, zwischen Gärprodukten und Güllen sowie zwischen den Tierartengruppen.

Für Nährstoffkalkulationen im Rahmen der Düngebilanz sind durchweg die relativ großen Streuungen zu beachten, mit denen die mittleren Wertebereiche der Nährstoff-Gesamtgehalte behaftet sind. Sie betragen für die untersuchten Gärprodukte etwa 30 - 40 % bei Stickstoff, Ammonium-N, Kalium und Schwefel sowie etwa 40 - 50 % bei Phosphor und Magnesium. Die mittleren Bereiche sind damit strenggenommen nur geeignet, um die *Größenordnung* der Nährstoffanteile von Gärprodukten abzuschätzen. Für die einzelne Anlage ist zu empfehlen, in Abständen Einzeluntersuchungen durchzuführen, um mit diesen Anlagen-bezogenen Daten zu gewährleisten, dass Fehlkalkulationen vermieden werden.

³ Für alle weiteren Nährstoffe lt. Tabelle 3: ausführliche Ergebnisse vgl. analoge Punkte im Ergebnisteil Punkt C 1.2 wie bei Stickstoff

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.2	Frachten an Wert- und Nährstoffen und ihre Bedeutung ...

Um die **zeitliche Schwankung der Nährstoff-Gesamtgehalte in der einzelnen Anlage** abzuschätzen, können die relativen Streuungen um den Anlagenmittelwert gemäß Tabelle 4 herangezogen werden (Einzelheiten vgl. Punkt C 1.2.4).

Tabelle 4 Streuung der Nährstoff-Gesamtgehalte in der einzelnen Anlage

Nährstoffe	Rel. Streuung um Anlagen-Mittelwert (%)	
	Mittel	Maximal
Stickstoff, Ammonium-N, Kalium, Schwefel	10 - 15	30 - 50
Phosphor, Magnesium, Kalzium	20 - 25	50 - 60

Lösliche Nährstoffanteile

Mit den analytisch ermittelten löslichen Nährstoffanteilen ist es möglich, die Pflanzenverfügbarkeit und damit die Düngeneffizienz der Nährstoff-Gesamtzufuhren aus Gärprodukten abzuschätzen. Dabei kann von mittleren löslichen Nährstoffanteilen, relativ zu den Nährstoff-Gesamtgehalten, gemäß Tabelle 5 ausgegangen werden (Einzelergebnisse vgl. Punkt C 1.3). Die Ergebnisse zeigen, dass die Nährstoffe in Gärprodukten - bis auf Magnesium - allgemein gut löslich sind, wobei zwischen den Anlagentypen - angesichts der Streuung der Einzelwerte - kaum relevante Unterschiede festzustellen waren.

Tabelle 5 Mittlere lösliche Nährstoffanteile von Gärprodukten

Nährstoffe	Mittlere lösliche Nährstoffanteile (% Gesamtgehalte)
Stickstoff	50 - 60
Ammonium-N	80 - 90
Phosphor	60 - 70
Kalium	100
Magnesium	<20

A 2.2 Frachten an Wert- und Nährstoffen und ihre Bedeutung für die Humus-, Kalk- und Düngebilanz

Für die landwirtschaftliche Verwertung der Gärprodukte ist es wesentlich, im Sinne der Düngerverordnung eine möglichst optimale Düngeneffizienz der ausgebrachten Nährstofffrachten zu gewährleisten.

Ausgehend von Mittelwerten der Übersichtsuntersuchung für Wert- und Nährstoffe wurde versucht, Bilanzen (Salden) aufzustellen und die möglichen Düngewirkungen zu beurteilen. Dafür wurde eine mittlere, pflanzenbaulich geeignete Gärproduktgabe von 30 t/ha FM zugrundegelegt.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.2	Frachten an Wert- und Nährstoffen und ihre Bedeutung ...

Angesichts der relativ großen Streuung der Einzelwerte um die Mittelwerte können jedoch nur *Größenordnungen* von Bilanzen bestimmt werden. Eine wissenschaftlich fundierte Bewertung der Düngeneffizienz von Gärprodukten ist zudem nur mit Hilfe mehrjähriger wissenschaftlicher Feldversuche möglich. Die dargestellten Saldierungen (vgl. Tabelle 6) können jedoch erste Anhaltspunkte liefern und Richtwerte für den praktischen Einsatz der Gärprodukte in der Landwirtschaft bereitstellen, die künftig zu präzisieren sind.

Die Zufuhren an **organischer Substanz (OS)** mit mittleren Gärproduktgaben fallen relativ gering aus. Bedingt dadurch, dass nur 20 - 30 % des Kohlenstoff(C)anteiles der organischen Substanz Humus-reproduzierbar wirksam werden, reichen diese Zufuhren in der Regel nur aus, um einen Beitrag zum Ausgleich der Humusbilanz des Bodens zu leisten. Gärprodukte sind also, im Unterschied zu Komposten, nicht geeignet, die Humusbilanz nachhaltig zu verbessern (Einzelergebnisse vgl. Punkt C 1.6.1).

Tabelle 6 Mittlere Zufuhren an Wert- und Nährstoffen mit Gärproduktgaben von 30 t/ha und ihre Bewertung für die Düngebilanz

Wertstoffe	Mittlerer Bereich	Beurteilung
Organische Substanz t/ha	1,4 - 1,7	nur Beitrag zur Humusbilanz, keine Bedarfsdeckung
Kalk - CaO dt/ha	1,0 - 1,2	kein Einfluss auf Kalkbilanz
Nährstoffe kg/ha	Mittlerer Bereich	Nährstoffsaldo im Mittel
Stickstoff - N	130 - 150	schwach negativ/ ausgeglichen
Ammonium - NH ₄ -N	80 - 90	negativ
Phosphor - P ₂ O ₅	50 - 60	ausgeglichen
Kalium ¹ - K ₂ O	140 - 160	mittlere Entzüge: positiv hohe Entzüge: ausgeglichen
Magnesium - MgO	25 - 30	ausgeglichen

Erläuterung: ¹ Kalium - nur NawaRo-Anlagen, Bioabfall-Anlagen 110 - 130 kg/ha

Die Zufuhr an **basisch wirksamer Substanz (BWS)** mit Gärprodukten bewegt sich mit etwa 1 dt/ha CaO gleichfalls auf sehr niedrigem Niveau. Diese Kalkmenge reicht nicht aus, wie auch die Ergebnisse der Gefäßversuche belegen, den pH-Zustand des Bodens zu verändern.

Im Unterschied zu den o.g. Wertstoffen fallen die **mittleren Nährstofffrachten** erheblich aus. Sie reichen auf Grund ihrer guten Düngewirksamkeit im Mittel aus, den Nährstoffbedarf der Kulturen zu decken (Einzelergebnisse vgl. Punkt C 1.6.2).

Der **Stickstoff(N)-Saldo** ist bei mittleren Abfuhrern der Ernteprodukte meist ausgeglichen. Bei hohen Abfuhrern kann der Stickstoffbedarf der Kultur per Saldo nicht mehr voll gedeckt werden. Von der N-Gesamtzufuhr wird kurzfristig nur der Ammonium-N-Anteil, der bei Gärprodukten etwa 60 % des N-Gesamtgehaltes beträgt, voll düngewirksam. Aber auch bei dem restlichen, vorwiegend organisch gebundenen N-Anteil ist angesichts des engen C/N-Verhältnisses mit ei-

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen

ner zügigen Mineralisierung und mittelfristig guten N-Düngewirkung zu rechnen. Die Höhe der Gärproduktgabe wird deshalb in der Regel durch die Stickstofffracht begrenzt.

Auch der **Phosphor(P₂O₅)-Saldo** fällt - ähnlich wie der Stickstoff(N)-Saldo - im Mittel überwiegend ausgeglichen (mittlere Abfuhr) bis schwach negativ (hohe Abfuhr) aus. Infolge der relativ guten Löslichkeit der zugeführten Phosphoranteile kann - wie erste Untersuchungen im Gefäßversuch gezeigt haben - mit einer zügigen Düngewirkung gerechnet werden.

Mit Gärproduktgaben werden erhebliche Kaliumanteile zugeführt, so dass der **Kalium(K₂O)-Saldo**, vor allem bei NawaRo-Anlagen, meist deutlich positiv ausfällt. Angesichts der vollen Löslichkeit der Kaliumanteile in Gärprodukten ist von einer sehr guten Düngewirksamkeit ähnlich der von regulären mineralischen Kaliumdüngern auszugehen. Die Kaliumzufuhr kann damit gleichfalls zum begrenzenden Faktor der Gärproduktgabe werden, insbesondere wenn die Ackerböden schon über hohe bzw. sehr hohe Kaliumgehalte (Versorgungsgruppe D bzw. E) verfügen.

Der **Magnesium(MgO)-Saldo** fällt im Mittel überwiegend ausgeglichen aus, im Unterschied zur landbaulichen Kompostanwendung, bei der stets ein hoher Positivsaldo verbleibt.

Abschließend zeigt die Saldierung der Nährstoffe, dass mit Gaben an Gärprodukten von 30 t/ha FM im Mittel vor allem bei Stickstoff, aber auch bei Kalium Grenzen erreicht werden, die lt. Düng-Verordnung eingehalten werden müssen, um im Interesse des Boden und Gewässerschutzes mittelfristig ausgeglichene Nährstoffsalden zu gewährleisten. Bedingt durch die allgemein gute Löslichkeit der Nährstoffzufuhren, besonders bei Kalium, aber auch bei Stickstoff, sind sie in der Düngebilanz grundsätzlich voll anzurechnen. Angesichts der relativ großen Streuung der Einzelwerte um die diskutierten mittleren Bereiche der Übersichtsuntersuchung ist zu empfehlen, mit den Mittelwerten nur die Größenordnung der Nährstoffzufuhren abzuschätzen, jedoch für ihre genauere Erfassung in der betrieblichen Nährstoff- und Düngebilanz Einzeluntersuchungen der Gärprodukte einer Biogasanlage zu veranlassen, um möglichst realistische Daten zu verwenden.

A 2.3 Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen

Um erste Erfahrungen zur Düngewirkung von Gärprodukten zu gewinnen, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes Vegetationsversuche (Gefäßversuche) mit Deutschem Weidelgras sowie mit Körnermais unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Dabei wurde auf eine verlustarme N-Ausbringung geachtet, um eine möglichst objektive Leistungsbewertung der geprüften Gärprodukte im Vergleich zu den Wirtschaftsdüngern Rinder- und Schweinegülle vornehmen zu können.

Die Ertragswirkung sowie die hieraus resultierende N-Ausnutzung der geprüften organisch-mineralischen Dünger kann demnach sowohl bei der Betrachtung der Sofortwirkung, aber auch hinsichtlich einer Gesamtwirkung (Anwendungs- und Nachwirkung) in die Reihung **Schweinegülle > Gärprodukte > Rindergülle** gebracht werden.

Die Höhe der Netto-P-Ausnutzung (Sofortwirkung) lag bei Deutschem Weidelgras bzw. Körnermais je nach Düngertyp in der Summe bei 15 - 40 % bzw. 27 - 53 % vom zugeführten Phosphat in der Reihe **Gärprodukte > Schweinegülle > Rindergülle**.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.4	Abschließende Bewertung

Bei der Sichtung der Bodenkenndaten zum Abschluss des Versuches fielen besonders gegenüber Versuchsbeginn die teilweise niedrigeren pH-Werte, aber auch Humusgehalte auf. Die löslichen K- und Mg-Gehalte wiesen trotz der sehr niedrigen Ausgangskonzentration keine signifikanten Unterschiede auf. Dies lässt den Schluss zu, dass die über die Düngung - ob mineralisch oder organisch-mineralisch - zugeführte K- und Mg-Gaben nahezu quantitativ für hohe und nachhaltige Pflanzenerträge nutzbar sind.

Analog zur P-Ausnutzungsrates durch Mais haben sich die P-Gehalte im Boden nur unwesentlich gegenüber dem Versuchsbeginn verändert. Bei der Ausbringung von Gärprodukten ist im Rahmen der DüV (§§ 5, 6) sowie in Abhängigkeit vom jeweiligen Versorgungszustand des Bodens auf eine ausgeglichene P-Bilanz im 6 jährigen Turnus zu achten.

In beiden Versuchsjahren waren die Rest-Nitrat-Gehalte erwartungsgemäß vernachlässigbar niedrig. Dies unterstreicht die Forderung nach einer der Intensität angepassten N-Düngung und N-Effizienz.

A 2.4 Abschließende Bewertung

Die umfangreiche Übersichtsuntersuchung hat repräsentative und belastbare Ergebnisse zu pflanzenbaulich relevanten Inhaltsstoffen der Gärprodukte in Baden-Württemberg erbracht, die folgende **Kernaussagen für die landwirtschaftliche Verwertung** ermöglichen:

Bei pflanzenbaulich geeigneten Gärproduktgaben von 30 t/ha FM fallen die Zufuhren der Wertstoffe organische Substanz (OS) und Kalk (BWS) gering aus. Die OS-Frachten können bestenfalls einen Beitrag zur Humusbilanz leisten, jedoch nicht den Humusbedarf der Böden decken. Die Kalkzufuhr bewegt sich weit unterhalb einer Erhaltungskalkung und fällt so gering aus, dass keine Veränderung des Boden-pH zu erwarten ist.

Im Unterschied dazu werden mit den o.g. Gärproduktgaben düngerelevante Nährstofffrachten an Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium zugeführt, die auf Grund ihrer allgemein guten Löslichkeit in der Düngebilanz voll anzurechnen sind und im Mittel den Düngbedarf der Pflanzen decken können. Die Ergebnisse der Gefäßversuche belegen diese Einschätzung anhand der ermittelten guten Düngewirkung bei Stickstoff und Kalium. Die Höhe der Gärproduktgabe wird in der Regel durch die N-Gesamtzufuhr, bei hohen bis sehr hohen Kaliumgehalten des Bodens (Versorgungsstufen D und E) aber auch durch die Kaliumzufuhr begrenzt, um im Sinne der Düng-Verordnung mittelfristig ausgeglichene Nährstoffbilanzen zu gewährleisten. Von der N-Gesamtzufuhr wird der Ammonium-N-Anteil von etwa 60 % sofort düngewirksam, aber auch der restliche N-Anteil auf Grund des sehr engen C/N-Verhältnisses in Gärprodukten von im Mittel 6/1 zügig mineralisiert und ist damit düngewirksam anrechenbar.

Die vorgestellten mittleren Bereiche der Nährstoffgehalte von Gärprodukten sind gut geeignet, um deren *Größenordnung* objektiv einzuschätzen. Auf Grund der allgemein großen Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert ist jedoch zu empfehlen, im landwirtschaftlichen Betrieb Einzeluntersuchungen der dort verwendeten Gärprodukte vorzunehmen, um die Nährstoffzufuhren bei der landwirtschaftlichen Verwertung für die Nährstoffbilanz möglichst exakt bewerten zu können.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 2	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten
A 2.4	Abschließende Bewertung

In Tabelle 7 werden die Ergebnisse zu Vergleichen der Gehalte an Inhaltsstoffen der Gärprodukte, die im Rahmen der Übersichtsuntersuchung durchgeführt werden konnten, wie Unterschiede zwischen Anlagentypen (NawaRo/ Bioabfall), zu GülLEN sowie nach Gruppen von Tierarten, zusammengefasst (Einzelergebnisse vgl. Punkte C 1.1 und C 1.2).

Tabelle 7 Vergleiche der Inhaltsstoffgehalte von Gärprodukten:
komprimierte Übersicht über *Unterschiede* bei bestimmten Vergleichsgruppen

Vergleich der Gärprodukte	Unterschiede		
	Parameter	Ergebnis	Sicherheit
Anlagentypen (NawaRo/ Bioabfall)	Trockenmasse	Bioabfall < NawaRo	unsicher
	C/N-Verhältnis		sicher
	org. Substanz		unsicher
	Kalium		sicher
Gärprodukte/ GülLEN	Trockenmasse	Gärprodukt < GülLE	sicher
	C/N-Verhältnis		sicher
	org. Substanz		sicher
	pH-Wert	Gärprodukt > GülLE	sicher
	Kalium		sicher
	Stickstoff		sicher
Tierartengruppen (Anlagen mit Rinder- gülLE, SchweinegülLE, übrige, viehlose An- lagen)	Trockenmasse	Schweine < Rinder	relativ sicher
	C/N-Verhältnis		relativ sicher
	org. Substanz		relativ sicher
	BWS		relativ sicher
	Kalium		unsicher
	Stickstoff	übrige > Rinder	unsicher

Diese Vergleichsergebnisse können zusätzlich zu den o.g. Bewertungen der Größenordnungen dazu dienen, mögliche Unterschiede zwischen einzelnen Vergleichsgruppen schon im Vorfeld einer Beurteilung zu berücksichtigen. Im Einzelfall ist jedoch stets eine Einzeluntersuchung der Gärprodukte zu empfehlen.

Mit den Untersuchungen an ausgewählten Biogasanlagen konnten Ergebnisse zur zeitlichen Schwankung der Nährstoff-Gesamtgehalte um den Mittelwert des Gärproduktes in der einzelnen Anlage bereitgestellt werden (vgl. Tabelle 4). Sie können den Landwirt als erste Richtwerte dabei unterstützen, die zu erwartenden Schwankungen objektiv abzuschätzen.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 3	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten und seuchenhygienische Situation
A 3.1	Unerwünschte Stoffe - Schwermetalle, Fremdstoffe, Unkrautsamen

A 3 Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten und seuchenhygienische Situation

A 3.1 Unerwünschte Stoffe - Schwermetalle, Fremdstoffe, Unkrautsamen

Mit einer Teilstichprobe der Übersichtsuntersuchung von 130 Gärproduktproben wurden alle nach Bioabfall-Verordnung unerwünschten Stoffe, wie Schwermetallgehalte (Blei - Pb, Cadmium - Cd, Chrom - Cr, Nickel - Ni, Kupfer - Cu, Zink - Zn, Quecksilber - Hg), Gehalte an Fremdstoffen >2 mm und Steinen >5 mm sowie die Anzahl Unkrautsamen/ austriebsfähige Pflanzenteile, untersucht, um belastbare Unterlagen über die Gärprodukte aus baden-württembergischen Biogasanlagen zu gewinnen.

Die Übersichtsuntersuchung hat schlüssig gezeigt (Einzelergebnisse vgl. Punkt C 1.5.1), dass die **Schwermetallgehalte** von Gärprodukten insgesamt kein Problem bilden. Die Gehalte an Pb, Cd, Cr, Ni und Hg schöpfen die Grenzwerte lt. Bioabfallverordnung im Mittel nur zu 10 - 15 % und auch im ungünstigen Fall, d.h. bei Einbeziehung von 90 % aller Proben, nur zu maximal 25 % der Grenzwerte aus. Die Einhaltung der Grenzwerte ist demnach im Regelfall zuverlässig gewährleistet.

Bei den deutlich höheren Gehalten an Cu und Zn werden die Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung im Mittel noch eingehalten. Im ungünstigen Fall (90 % aller Proben) kamen jedoch Grenzwertüberschreitungen vor, bei Cu um etwa 30 %, bei Zn sogar um bis zu 50 %. Im Ausnahmefall (Maximum) sind noch höhere Überschreitungen möglich,

Im Unterschied zu Komposten und ähnlichen Sekundärrohstoffen, die bei Überschreitung der Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung in der Landwirtschaft nicht verwertet werden können, bilden zu hohe Cu- und Zn-**Gehalte** in Gärprodukten jedoch keinen Hinderungsgrund für deren landbauliche Anwendung, weil sich die damit verbundenen Cu- und Zn-**Frachten** weit unterhalb der Grenzfrachten lt. Bioabfall-Verordnung bewegen. Das liegt an den geringen Trockenmassenmengen, die mit regulären Gärproduktgaben verbunden sind. Sie bewegen sich um den Faktor 10 unter den Höchstgaben der Bioabfall-Verordnung von 20 bzw. 30 t/ha TM. Dadurch fallen die Cu- und Zn-Frachten sehr niedrig aus, so dass nicht einmal bei Maximalgehalten die gesetzlichen Grenzfrachten erreicht werden.

Eine Anhebung der Cu- und Zn-Gehalte im Boden durch regelmäßige Anwendung von Gärprodukten ist unter diesen Bedingungen objektiv ausgeschlossen, d.h. die Belange des vorsorgenden Bodenschutzes sind gewährleistet. Zudem ist zu berücksichtigen, dass beide Schwermetalle gleichzeitig als *essentielle Spurennährstoffe* für die ausreichende Versorgung der Pflanzen von Bedeutung sind. Auf Ackerböden, die mit diesen Spurennährstoffen nicht ausreichend versorgt sind, kann eine Zufuhr über Gärprodukte als Düngungsmaßnahme deshalb sogar erwünscht sein.

Die **Gehalte an Fremdstoffen und Steinen** unterschreiten die Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung in der Regel um Größenordnungen (Einzelergebnisse vgl. Punkt C 1.5.2). Beide unerwünschten Stoffe sind damit in Gärprodukten nachweislich unproblematisch.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 3	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten und seuchenhygienische Situation
A 3.2	Seuchenhygienische Situation und ihre Bewertung

Bei der **Anzahl keimfähiger Samen/austriebsfähiger Pflanzenteile** wird der Grenzwert lt. Bioabfall-Verordnung von 2 Samen/L FM in der Regel eingehalten. Allerdings kann es, wie einzelne Gärproduktproben der Stichprobe belegten, zu Überschreitungen des Grenzwertes kommen. Als Ursache dafür ist mit großer Wahrscheinlichkeit die häufig nicht ausreichende Hygienisierung der Gärprodukte in einzelnen Biogasanlagen anzusehen. Solange jedoch die Hygienisierungsvorgaben der BioAbfV eingehalten werden, ist die Abtötung der Unkrautsamen bzw. auflauffähigen Pflanzenteile zuverlässig gewährleistet.

A 3.2 Seuchenhygienische Situation und ihre Bewertung

Zur Ermittlung des seuchenhygienischen Status von Gärprodukten wurden im Gesamtzeitraum des Projekts 2005 - 2008 insgesamt 245 Gärprodukte auf Salmonellen und Clostridien untersucht. Aufgrund erster Zwischenergebnisse ergaben sich erweiterte Fragestellungen wie nach der Epidemiologie von Salmonellen und nach der Phytohygiene, wodurch die Untersuchungen in der zweiten Phase des Projekts (2007/2008) durch weitere Probenmatrices (Güllen, Sonderproben), Zeitreihenuntersuchungen und dem Screening nach definierten Phytopathogenen ergänzt wurden.

Voraussetzung für seuchenhygienische Untersuchungen, insbesondere bei Salmonellen, ist die Einhaltung hygienischer Maßnahmen bei der Probenahme, damit es nicht zu Verschleppungen und Querkontaminationen kommt.

Mit einem Anteil von 3,2 % mit Salmonella belasteter Proben haben NawaRo-Anlagen einen geringeren Durchseuchungsgrad als Anlagen nach BioAbfV (11,1 %). Bei der Feintypisierung der nachgewiesenen Salmonellen wurde bei den Gärprodukten eine große Vielfalt von Salmonella-Serotypen festgestellt, nämlich S. Münster, S. Livingstone, S. Infantis, S. Typhimurium, S. Virchow und S. Kottbus.

Epidemiologische Untersuchungen zur Ermittlung der Eintragsquelle von Salmonellen oder Zeitreihenuntersuchungen führten aufgrund der geringen Quote belasteter Proben zu keinem Ergebnis.

Die Keimzahlen von Clostridien in den untersuchten Substraten sind logarithmisch normalverteilt und zeigen keine wesentlichen Unterschiede zwischen Gärprodukten, Güllen und bestimmten Sonderproben. Das Probenkollektiv hat einen Medianwert von 10.000 KBE/ml; 90 % (225 von 245) der Proben liegen zwischen 1.000 und 200.000 KBE/ml. Unterschiede hinsichtlich Anlagentyp, Zeitverlauf und Probenahmeregion wurden nicht festgestellt. Ebenso wenig gibt es eine Korrelation hoher Clostridienzahlen mit Salmonellen-Befunden.

Die im Einzelfall oft schwierige Differenzierung von Clostridien führte stichprobenartig zum Nachweis folgender Stämme: *Clostridium beijerinckii*, *C. butyricum*, *C. difficile*, *C. clostridioforme* und *C. perfringens*.

Die phytohygienischen Untersuchungen konzentrierten sich auf ausgewählte Pathogene von typischen Inputpflanzen von NawaRo-Anlagen, nämlich Mais und verschiedene Getreidearten.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 3	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten und seuchenhygienische Situation
A 3.3	Abschließende Bewertung

Bei den Indikatororganismen handelte es sich um die Pilze *Helminthosporium*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pythium intermedium* und *Fusarium oxysporum*, sowie *Rhizoctonia solani*.

Während außerhalb des Projekts, etwa bei Futtermitteluntersuchungen, regelmäßig Phytopathogene in Mais und Getreide vorkamen, erwiesen sich die Gärprodukte frei von diesen fünf Indikatororganismen. Nur in einem Einzelfall, einer Gülle, wurde *Pythium intermedium* nachgewiesen. Dies legt die Vermutung nahe, dass eine Hygienisierung im Bereich der Phytopathogene durchaus gegeben sein könnte.

A 3.3 Abschließende Bewertung

Anhand der repräsentativen Übersichtsuntersuchung steht außer Zweifel, dass die Schwermetallgehalte von Gärprodukten - im Unterschiede zu anderen Sekundärrohstoffen - für die landwirtschaftliche Verwertung kein Problem bilden. Die Gehalte an Pb, Cd, Cr, Ni und Hg unterschreiten auch im ungünstigen Fall (90 % aller Proben) die Grenzwerte für Schwermetallgehalte lt. Bioabfall-Verordnung deutlich.

Bei Cu- und Zn-Gehalten ist mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen, die zum Teil erheblich ausfallen können. Da aber die Trockenmassefrachten bei Regelgaben der dünnflüssigen Gärprodukte die maximal zulässigen Gaben lt. Bioabfall-Verordnung von 20 bzw. 30 t/ha TM im 3jährigen Turnus um den Faktor 10 unterschreiten, werden auch die *Grenzfrachten* für Cu und Zn, die den Grenzwerten für Schwermetallgehalte zugrunde liegen - wie im Projektbericht schlüssig nachgewiesen werden konnte -, deutlich unterschritten und selbst bei Maximalgehalten nicht erreicht. Belange des vorsorgenden Bodenschutzes, nach denen Anhebungen der Cu- und Zn-Gehalte im Boden nicht toleriert werden können, sind damit zuverlässig gewährleistet. Hinzu kommt, dass beide Schwermetalle als *essentielle Spurennährstoffe* für die ausreichende Versorgung der Pflanzen von Bedeutung sind. Auf Ackerböden, die mit diesen Spurennährstoffen nicht ausreichend versorgt sind, kann eine Zufuhr über Gärprodukte als Düngungsmaßnahme deshalb sogar erwünscht sein. Nach dieser Sachlage ist für die Fachberatung zu empfehlen, Überschreitungen der Grenzwerte für Cu- und Zn-Gehalte nicht als Ausschlusskriterium für die Verwertung von Gärprodukten heranzuziehen.

Die Übersichtsuntersuchung hat außerdem belegt, dass die Gehalte an Fremdstoffen und Steinen die Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung zuverlässig einhalten. Beide unerwünschten Stoffe sind damit in Gärprodukten nachweislich unproblematisch. Im Unterschied dazu kann es bei keimfähigen Samen/austriebsfähigen Pflanzenteilen vereinzelt zu Überschreitungen des Grenzwertes lt. Bioabfall-Verordnung kommen, wenn die erforderlichen Temperaturen von mehr als 60 - 65 °C als Voraussetzung für eine nachhaltige Hygienisierung in der Biogasanlage nicht erreicht werden.

Die seuchenhygienischen Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der Salmonellen-Befall der Gärprodukte aus NawaRo-Anlagen auf einem niedrigen, kaum bedenklichen Niveau bewegt. In Bioabfall-Anlagen wurden höhere Befallswerte festgestellt. Auf Grund der geringen Größe dieser Teilstichprobe können daraus aber keine Schlussfolgerungen gezogen werden. Insgesamt ist zu empfehlen, der Gewährleistung einer zuverlässigen Seuchenhygiene in den Biogasanlagen künftig noch mehr Aufmerksamkeit zu schenken.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 4	Möglichkeiten für eine geordnete landwirtschaftliche Verwertung von Gärprodukten

Zu Keimzahlen von Clostridien konnten mit der Übersichtsuntersuchung erstmalig belastbare Ergebnisse vorgelegt werden. Die Untersuchungen zeigten, dass keine gesicherten Unterschiede zwischen Gärprodukten und Güllen bestehen. Die Keimzahlen bewegten sich im Mittel um 10.000 KBE/ml mit einer Schwankungsbreite (90 % aller Proben) von 1.000 und 200.000 KBE/ml. Unterschiede hinsichtlich Anlagentyp, Zeitverlauf und der Probenahmeregion wurden nicht festgestellt.

Die phytohygienischen Untersuchungen konzentrierten sich auf ausgewählte Pathogene von typischen Inputpflanzen von NawaRo-Anlagen, wie Mais und andere Getreidarten. Dabei erwiesen sich die Gärprodukte frei von den ausgewählten Indikatororganismen (Pilze) *Helminthosporium*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pythium intermedium* und *Fusarium oxysporum*, sowie *Rhizoctonia solani*. Nach der bisherigen, noch stichprobenartigen Untersuchung kann eingeschätzt werden, dass die Hygienisierung im Bereich der Phytopathogene als gegeben angesehen werden kann.

A 4 Möglichkeiten für eine geordnete pflanzenbauliche Verwertung von Gärprodukten

Erklärtes Anliegen des Forschungsprojektes war es, auf der Grundlage der Ergebnisse der Übersichtsuntersuchung eine praxisorientierte Wegleitung zu erstellen (ausführliche Angaben vgl. Punkt C 4), mit der die Landwirte und die Fachberatung durch geeignete Beurteilungs- und Anwendungsempfehlungen unterstützt werden sollen, eine nachhaltige und umweltgerechte Verwertung der Gärprodukte zu gewährleisten.

Ausgangspunkt dafür sind die **gesetzlichen Vorgaben**, die sich im Regelfall landwirtschaftlicher Biogasanlagen - NawaRo-Anlagen mit betriebsinterner Verwertung der Gärprodukte - aus der Düngemittel-Verordnung und der Dünge-Verordnung ergeben, die unter diesen Bedingungen eine vereinfachte Verwertung als Wirtschaftdünger zulassen.

Gemäß Düngemittel-Verordnung muss das Gärprodukt einem zugelassenen Düngemitteltyp entsprechen - in der Regel trifft dafür der Typ „organischer NPK-Dünger“ zu. Für Bioabfall-Anlagen gelten zusätzlich die Vorgaben der Bioabfall-Verordnung, insbesondere die Festlegungen der zugelassenen Bioabfälle sowie zu unerwünschten Stoffen. Bei Abgabe der Gärprodukte an andere Nutzer sind zusätzlich alle Regelungen zu beachten, die sich aus dem „Inverkehrbringen“ ergeben.

Die **Anwendung der Gärprodukte** als organische NPK-Dünger in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion regelt die Dünge-Verordnung. Wesentliche Vorgaben:

- Gabenhöhe stets am Nährstoff- und Düngbedarf der angebauten Kulturen ausrichten,
- Nährstoffüberhänge (Positivsalden) zuverlässig vermeiden, um den Boden- und Grundwasserschutz zu gewährleisten,
- Nährstoffe müssen entsprechend dem zeitlichen Bedarf der Pflanzen zur Verfügung stehen, Sperrzeiten für die Ausbringung sind einzuhalten.

A	Inhaltstoffe von Gärprodukten sowie Möglichkeiten ... - Kurzfassung
A 4	Möglichkeiten für eine geordnete pflanzenbauliche Verwertung von Gärprodukten

Zur Umsetzung dieser Vorgaben sind bei der Ausbringung der Gärprodukte folgende **verfahrenstechnische Empfehlungen** zu beachten:

Im Vordergrund steht - ähnlich wie bei allen flüssigen Wirtschaftsdüngern (Gülle) - die verlustarme Ausbringung der Gärprodukte als maßgebende Voraussetzung für eine hohe N-Düngeeffizienz. Um die Ammoniak-Ausgasung auf das unvermeidliche Maß zu minimieren, sind die Gärprodukte möglichst mit moderner Ausbringtechnik (z.B. Schleppschauchtechnik) auszubringen und danach - wo möglich - in den Boden einzuarbeiten. Außerdem erfordert eine sachgerechte N-Düngung, die sich am N-Bedarf der angebauten Kultur im Vegetationsverlauf orientiert, die Gärprodukte - wenn möglich - in Teilgaben auszubringen (Einzelheiten dazu vgl. Punkt C 4.3). N-Stabilisatoren oder N-bindende Zusätze sind, besonders zu Kulturen mit zeitlich verzögertem und sehr langem N-Bedarf (z.B. Mais), sinnvoll. Um weitere N-Verlustquellen (z.B. Lachgas) so gering wie möglich zu halten und die Belange des Grundwasserschutzes zu berücksichtigen, ist die Verwertung zudem möglichst nur bei geeigneten Boden- und Witterungsbedingungen vorzunehmen.

A 5 Abschlussbewertung

Die umfangreiche Übersichtsuntersuchung im Rahmen des Forschungsprojektes des Ministeriums Ländlicher Raum Baden-Württemberg hat erstmalig repräsentative und belastbare Ergebnisse zu pflanzenbaulich relevanten Inhaltsstoffen der Gärprodukte in Baden-Württemberg erbracht, die als Grundlage für eine objektive Bewertung dieser Wirtschaftsdünger im Rahmen der landwirtschaftlichen Fachberatung geeignet sind.

Unter Einbeziehung der noch geringen Zahl an Projektergebnissen aus anderen Bundesländern sowie erster Erfahrungen aus Gefäßversuchen zur Düngewirkung hat das Forschungsprojekt schlüssig gezeigt:

Gärprodukte aus Biogasanlagen sind als wertvolle organische Düngemittel mit nach Düngemittel-Verordnung maßgebenden Gehalten an Stickstoff, Phosphor und Kalium einzustufen, die auf Grund ihrer allgemein guten Pflanzenverfügbarkeit einen wesentlichen Beitrag zur Düngung der Pflanzen leisten können. Die Nährstoffzufuhren decken, ausgehend von pflanzenbaulich geeigneten Gaben von 30 t/ha sowie den Nährstoffbilanzen, in der Regel den Düngebedarf der Pflanzen.

Auf Grund ihres engen C/N-Verhältnisses und des hohen Ammonium-N-Anteiles haben Gärprodukte eine zügige, kurzfristig wirksame Stickstoff(N)-Düngewirkung. Die N-Zufuhr bildet in der Regel (neben Kalium) den begrenzenden Faktor für die Gabenhöhe. Ausgehend von der guten Düngewirkung sind die N-Zufuhren und auch die Zufuhren an Phosphor und Kalium in der Nährstoff- und Düngebilanz voll anzurechnen.

Im Unterschied dazu fallen die Zufuhren der Wertstoffe organische Substanz und Kalk bei Regelgaben an Gärprodukten gering aus. Sie können bestenfalls Beiträge zur Humus- und Kalkbilanz leisten.

Die mittleren Bereiche der Nährstoffgehalte von Gärprodukten, die im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeitet wurden, sind gut geeignet, um die Größenordnung der Nährstoffzufuhren objektiv richtig einzuschätzen. Auf Grund der nachgewiesenen großen Streuung der

Einzelwerte um den Mittelwert ist jedoch zu empfehlen, im landwirtschaftlichen Betrieb Einzeluntersuchungen der dort verwendeten Gärprodukte vorzunehmen, um die Nährstoffzufuhren in der Nährstoff- und Düngebilanz möglichst exakt bewerten zu können.

Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass sich bestimmte verfahrenstechnische Eigenschaften der Gärprodukte im Zuge des Gärprozesses verbessern. So nimmt im Vergleich zu Gülle die Fließfähigkeit zu und der Säuregehalt ab, wodurch die Haftung an den Pflanzen sowie deren Verätzung vermindert wird.

Mit dem Projekt wurden auch erstmalig Vergleichsuntersuchungen zu möglichen Unterschieden der Inhaltsstoffe von Gärprodukten hinsichtlich der Anlagentypen (NawaRo/Bioabfall), zu Gülle sowie nach Gruppen von Tierarten durchgeführt. Im Ergebnis konnten Unterschiede bei bestimmten Parametern erfasst werden, die zu einer konkreteren Beurteilung der Eigenschaften der Gärprodukte beitragen. Letztlich wurden an ausgewählten Biogasanlagen Untersuchungen zur zeitlichen Schwankung der Nährstoff-Gesamtgehalte um den Mittelwert des Gärproduktes in der einzelnen Anlage erarbeitet. Sie können den Landwirt als erste Richtwerte dabei unterstützen, die zu erwartenden Schwankungen objektiv richtig abzuschätzen.

Die umfangreichen Untersuchungen zu unerwünschten Stoffen sowie zur Hygienesituation von Gärprodukten ermöglichen eine fundierte Beurteilung der möglichen Risiken, die mit der landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten verbunden sein können. Die Ergebnisse zeigen, dass die Schwermetallgehalte von Gärprodukten - im Unterschiede zu anderen Sekundärrohstoffen - für die landwirtschaftliche Verwertung kein Problem bilden. Selbst hohe Kupfer- und Zinkgehalte, die die Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung im ungünstigen Fall überschreiten können, sind - wie zweifelsfrei nachgewiesen werden konnte - tolerierbar, weil die Frachten dieser Schwermetalle und Spurennährstoffe so gering ausfallen, dass keine Anhebungen der Bodengehalte auftreten können und damit Vorsorgebelange des Bodenschutzes zuverlässig gewährleistet werden. Ein Verbot der Verwertung von Gärprodukten auf Grund von Grenzwertüberschreitungen bei Kupfer und Zink ist deshalb aus fachlicher Sicht nicht sinnvoll.

Unter den übrigen unerwünschten Stoffen bewegen sich die Gehalte an Fremdstoffen und Steinen deutlich unterhalb der Grenzwerte und bilden damit kein Problem. Es kann jedoch, wie Einzelfälle gezeigt haben, zu erhöhten Anzahlen an Unkrautsamen kommen, die auf eine unzureichende Hygienisierung der Gärprodukte zurückzuführen sind.

Die seuchenhygienischen Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der Salmonellen-Befall der Gärprodukte aus NawaRo-Anlagen auf einem niedrigen, kaum bedenklichen Niveau bewegt. Erstmals wurden belastbare Ergebnisse zu Clostridien und zur Bandbreite der zu erwartenden Keimzahlen vorgelegt. Sie zeigen, dass keine gesicherten Unterschiede zwischen Gärprodukten und Güllen sowie hinsichtlich Anlagentypen und Zeitverlauf bestehen. Erste phytohygienische Untersuchungen belegen zudem, dass Gärprodukte im allgemeinen nicht von pflanzenbaulich relevanten pathogenen Pilzen befallen sind, d.h. die Hygienisierung als ausreichend angesehen werden kann.

Abschließend liefert der Bericht eine erste praxisorientierte Wegleitung, die den Landwirten und der Fachberatung geeignete Beurteilungskriterien und Anwendungsempfehlungen an die Hand gibt, mit der eine nachhaltige und umweltgerechte Verwertung der Gärprodukte gewährleistet werden kann.

B Planung und Ablauf des Forschungsprojektes

B 1 Einleitung und Zielstellung

Die seit Jahren verfolgte Zielstellung der bundesdeutschen Umweltpolitik, geeignete organische Abfallprodukte vorrangig stofflich zu verwerten (*Verwertungsgebot*), hat unverändert hohe Priorität. Nur durch intensive Anstrengungen, Stoffkreisläufe im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (BUNDESGESETZBLATT, 1994) soweit als möglich zu schließen, kann der zunehmenden Verknappung volkswirtschaftlich wichtiger Wertstoffressourcen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in Landwirtschaft und Gartenbau wirkungsvoll begegnet werden. Dabei geht es vor allem darum, endliche Nährstoffreserven, vor allem an Phosphor, zu schonen, indem vorhandenen Nährstoffmengen über die Nutzung geeigneter organischer Abfallstoffe mehrfach im Kreislauf geführt werden, um so den Verbrauch von Primärprodukten, wie industriell erzeugten Düngemitteln, zu reduzieren.

Die Produktion von Biogas in landwirtschaftlichen Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung hat in Baden-Württemberg in den vergangenen Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. Gefördert durch das Energie-Einspeisungs-Gesetz (EEG) ist die Anzahl kleinerer und mittlerer Biogasanlagen in landwirtschaftlichen Betrieben, die neben Bioabfällen und Gülle überwiegend bzw. ausschließlich nachwachsende Rohstoffe (sog. NawaRo) einsetzen, deutlich angestiegen. Mit der gewachsenen Anzahl von Biogasanlagen hat auch der Anfall an Biogasgülle bzw. Gärückständen (nachf. Gärprodukte genannt) erheblich zugenommen. Im Sinne der o.g. Gesamtkonzeption geht es darum, das Wertstoff- und Nährstoffpotenzial dieser Gärprodukte im landwirtschaftlichen Pflanzenbau möglichst umfassend, dabei nachhaltig und umweltgerecht, zu nutzen. Das trägt auch dazu bei, die Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen zu verbessern.

Im Vergleich zu ausreichend untersuchten Wirtschaftsdüngern und anderen organischen Düngern (z.B. Komposten) ist die Datenlage zu maßgebenden Inhaltsstoffen von Gärprodukten, bedingt durch den relativ kurzen Zeitraum, in dem Biogasanlagen in der Landwirtschaft professionell betrieben werden, in der Bundesrepublik Deutschland noch vergleichsweise lückenhaft. Vorhandene Unterlagen aus anderen Bundesländern sind aus verschiedenen Gründen (z.B. geringe Stichprobengröße, andere Ausgangsstoffe u.a.) nur bedingt auf Verhältnisse der baden-württembergischen Landwirtschaft übertragbar. Es bestand deshalb Bedarf an belastbaren Kenntnissen über maßgebende Inhaltsstoffe der Gärprodukte, der Nähr- und Wertstoffe und ihre Düngewirkung sowie ihre pflanzenbaulich richtige Anrechnung in der Düngebilanz als Voraussetzung für eine fachkundige Beratung. Von gleichrangiger Bedeutung sind objektive Unterlagen zu unerwünschten Stoffen sowie vor allem zur Hygienesituation der Gärprodukte, um durch eine abwägende Risikobewertung den Belangen des Umweltschutzes, insbesondere des Boden- und Gewässerschutzes, angemessen Rechnung zu tragen.

Aus diesem Grund hat das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg im Jahre 2005 die damalige Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg, heute Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg,

Karlsruhe beauftragt, im Rahmen eines Forschungsprojektes entsprechende Unterlagen zu erarbeiten, die eine fachlich fundierte Beratung der Landwirte beim Einsatz von Gärprodukten im Pflanzenbau gewährleisten.

Ziel des Projektes war es, mit Hilfe

- einer repräsentativen Übersichtsuntersuchung von Proben aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Baden-Württemberg belastbare Ergebnisse zu maßgebenden Inhaltsstoffen sowie zur hygienischen Situation von Gärprodukten zu gewinnen,
- von Vegetationsversuchen (Gefäßversuchen) kurzfristig erste Grundlagen über die Düngewirkung von Gärprodukten zu erarbeiten.

B 2 Konzeption und Arbeitsziele

Übersichtsuntersuchung von Gärprodukten (Ergebnisse Punkt C 1 und C 2)

Die **Konzeption** war darauf auszurichten, neben einem repräsentativen Überblick über alle maßgebenden Inhaltsstoffe (Wertstoffe, Nährstoffe, Schwermetalle u.a.) und die hygienische Situation vor allem belastbare Daten zu Gärprodukten aus sog. NawaRo-Anlagen, die neben Gülle nur nachwachsende Rohstoffe verwerten, damit der Düngemittel-Verordnung unterliegen und einen Bonus von 6 Eurocent/kWh erhalten, zu gewinnen. Bei der Auswahl der Anlagen war deshalb vorrangig auf NawaRo-Anlagen zu orientieren und deren Ergebnisse mit Daten aus Anlagen nach Bioabfall-Verordnung (sog. Bioabfall-Anlagen), die neben Gülle auch betriebsfremde Bioabfälle vergären, zu vergleichen. Dabei waren vorrangig Biogasanlagen mit mittlerer Leistung (< 500 kW) auszuwählen, die für landwirtschaftliche Betriebe typisch sind.

In einer ersten Probenahmeaktion im Zeitraum 2005/2006 konzentrierte sich die Untersuchung auf den Vergleich von Gärprodukten aus NawaRo-Anlagen und Bioabfall-Anlagen. Eine zweite Probenahmeaktion im Zeitraum 2007/2008 hatte darüber hinaus zum Ziel, die Ergebnisse von Gärprodukten mit denen der gleichfalls eingesetzten Gülle zu vergleichen sowie nach Tierartengruppen zu differenzieren, um daraus belastbare Daten für die Beratung zu gewinnen.

Ausgehend von der Zielstellung des Projektes, Kennzahlen für die landwirtschaftliche Verwertung von Gärprodukten zu erarbeiten, waren die Untersuchungen konsequent auf das Endprodukt der Biogasproduktion, das *Gärprodukt im Endlager* zu konzentrieren. Untersuchungen von Zwischenstufen der Vergärung, die für den Prozess der Biogasgewinnung wesentlich sein könnten, waren nicht vorgesehen und wurden nicht durchgeführt. Grundsätzlich waren *unbehandelte Gärprodukte* aus dem Endlager (in Ausnahmefällen auch verarbeitete Gärprodukte, wie Feststoffe bzw. Fugate⁴) zu untersuchen, da sie in dieser Form von den Landwirten weit überwiegend zur Düngung eingesetzt werden.

Im **Ergebnis** waren Mittelwerte und Spannweiten aller geprüften Inhaltsstoffe der Gärprodukte bzw. Güllen sowie Ergebnisse zu ihrer seuchenhygienischen Situation vorzulegen und zu bewerten und - für wenige ausgewählte Anlagen - auch zeitliche Schwankungen zu erfassen.

⁴ Diese Ergebnisse werden im Bericht nicht dargestellt und kommentiert. Sie können bei Bedarf an der LTZ Augustenberg angefordert werden.

B	Planung und Ablauf des Forschungsprojektes
B 3	Material und Methoden
B 3.1	Inhaltsstoffe und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten und Güllen

Vegetationsversuche (Gefäßversuche) (Ergebnisse Punkt C 3)

Zur Düngewirkung von Gärprodukten liegen bisher in Baden-Württemberg nur vereinzelt Ergebnisse aus meist kurzfristigen Feldversuchen vor. Mehrjährige Versuche sind angelaufen. Mit belastbaren Ergebnissen ist erst in einigen Jahren zu rechnen. Auch in den übrigen Bundesländern wurde diese Frage noch nicht erschöpfend beantwortet, weil längerfristige Feldversuche nur vereinzelt verfügbar sind.

Im Rahmen des Forschungsprojektes war deshalb die Zielstellung darauf auszurichten, kurzfristig erste grundlegende Aussagen zur Düngewirkung der Gärprodukte und auch zu ihrer Berücksichtigung in der Nährstoffbilanz zu erarbeiten. Dazu wurde die Methode des Gefäßversuches ausgewählt, mit der bisher gute Erfahrungen gemacht worden sind. Ziel von zwei Gefäßversuchen war es, neben den übrigen Nährstoffen vor allem zur Stickstoffwirkung von Gärprodukten erste Aussagen bereitzustellen.

Möglichkeiten zur geordneten landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten (Ergebnisse Punkt C 4)

Erklärtes Hauptziel des Projektes ist es, den Landwirten und der Fachberatung der Landwirtschaftsverwaltung eine fundierte Wegleitung zur Verfügung zu stellen, mit der alle wesentlichen Fragen der nachhaltigen landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten möglichst fachgerecht geklärt werden können. Die gewonnenen Ergebnisse der Übersichtsuntersuchungen und der Gefäßversuche waren dazu zweckmäßig zu komprimieren (z.B. Richtwerte für maßgebende Inhaltsstoffe) und mit Resultaten und Erfahrungen anderer Bundesländer abzugleichen. Letztlich waren daraus unter Berücksichtigung der aktuellen gesetzlichen Vorgaben Handlungs- und Anwendungsempfehlungen („Regeln guter fachlicher Praxis“) zu erstellen, die die Landwirte dabei unterstützen sollen, eine nachhaltige und umweltgerechte Verwertung der Gärprodukte zu gewährleisten.

B 3 Material und Methoden

B 3.1 Inhaltsstoffe und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten und Güllen

Definitionen im Sinne des vorliegenden Berichtes

Gärprodukte, auch Biogasgülle, Gärrückstände, Gärreste genannt:

Hygienisierte Endprodukte der Biogasgewinnung aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen, die mittels anaerober Gärung von Gemischen aus Gülle, nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) bzw. betriebsfremden Bioabfällen (z.B. Speiseabfälle, Grün- und Rasenschnitt, Substrate aus der weiterverarbeitenden Industrie) hergestellt und ohne weitere Aufbereitung (Separierung fest/flüssig) für die Düngung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion verwendet werden.

Güllen:

Flüssige Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung (Rinder, Schweine u.a.), die gemeinsam mit anderen Ausgangsstoffen (siehe Gärprodukte) in landwirtschaftlichen Biogasanlagen Baden-Württembergs vergoren werden.

B	Planung und Ablauf des Forschungsprojektes
B 3	Material und Methoden
B 3.1	Inhaltsstoffe und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten und Güllen

B 3.1.1 Auswahl der Biogasanlagen und Probenahme

B 3.1.1.1 Auswahl der Biogasanlagen

Die Auswahl der zu beprobenden landwirtschaftlichen Biogasanlagen erfolgte durch die Biogasberater des MLR⁵ nach regionalen Gesichtspunkten unter Beachtung einer ausreichenden Repräsentanz einzelner Landkreise. Im nördlichen Landesbereich wurden vermehrt Anlagen mit Verwertung von Schweinegülle berücksichtigt, im südlichen Landesbereich Anlagen der Rindergüllevergärung aus Milchviehbetrieben.

Bei der Auswahl der landwirtschaftlichen Biogasanlagen war gemäß Projektkonzeption (vgl. Punkt B 2) vorrangig auf sog. NawaRo-Anlagen zu orientieren, weil zu den Inhaltsstoffen dieser Gärprodukte bisher noch wenig belastbare Daten vorlagen. Daneben wurden in beschränktem Umfang auch sog. Bioabfall-Anlagen beprobt.

Für die Übersichtsuntersuchung von Gärprodukten wurden in einer ersten Aktion im Zeitraum 2005/2006 aus 124 landwirtschaftlichen Biogasanlagen Baden-Württembergs 130 Gärproduktproben und in einer zweiten Aktion im Zeitraum 2007/2008 aus 94 Biogasanlagen insgesamt 119 Gärproduktproben entnommen.

In der zweiten Aktion wurden zusätzlich in 12 Anlagen Zeitreihenuntersuchungen durchgeführt (zwei bis maximal vier Probenahmen über einen mehrmonatigen Zeitraum verteilt), um einen ersten Überblick über die Streuung der Inhaltsstoffe dieser Anlagen zu gewinnen. Parallel zu der Entnahme der Gärproduktproben wurden insgesamt 53 Gülleproben entnommen. Mit Hilfe der Probenpaare Gärprodukt/Gülle sollte geprüft werden, ob relevante Unterschiede der Inhaltsstoffe zwischen beiden Materialien bestehen.

Aus beiden Probenahmeaktionen stand für die Untersuchungen eine repräsentative Stichprobe von insgesamt 249 Gärproduktproben zur Verfügung, die sich aus 223 Proben aus NawaRo-Anlagen und 26 Proben aus Bioabfall-Anlagen zusammensetzte (vgl. Abbildung 1).

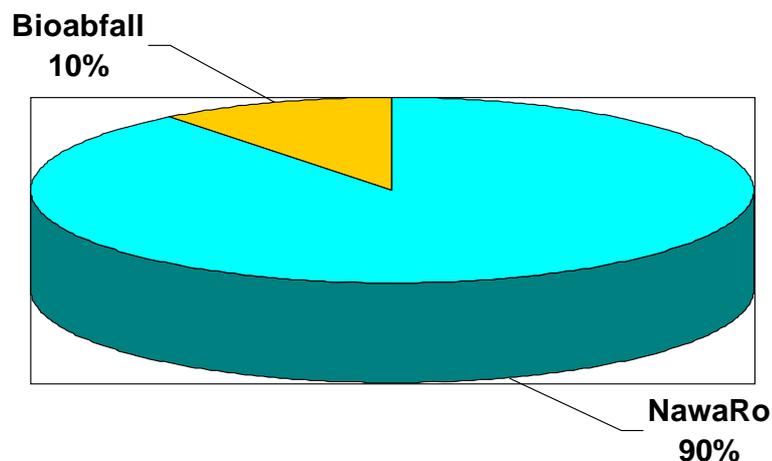


Abbildung 1 Verteilung der Gärproduktproben auf NawaRo- bzw. Bioabfall-Anlagen

⁵ Nördlicher Landesbereich: Dr. M. Dederer, LRA Ludwigsburg,
südlicher Landesbereich: J. Messner, LVVG Aulendorf

B	Planung und Ablauf des Forschungsprojektes
B 3	Material und Methoden
B 3.1	Inhaltsstoffe und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten und Gällen

B 3.1.1.2 Probenahme der Gärprodukte

Beprobt wurde grundsätzlich das *Gärprodukt im Endlager*, das für die landwirtschaftliche Verwertung als Düngemittel relevant ist (Grundsätze vgl. Punkt B 2). Dabei wurden vorrangig *unbehandelte Gärprodukte* erfasst, da sie in dieser Form von den Landwirten weit überwiegend zur Düngung eingesetzt werden. Verarbeitete Gärprodukte wie Feststoffe bzw. Fugate wurden nur in Ausnahmefällen beprobt untersucht⁶.

Die Probenahme wurde in allen Anlagen einheitlich nach einer abgestimmten Vorschrift vorgenommen (vgl. Anhang 1), mit der gewährleistet werden konnte, dass die Proben das Material im Endlager möglichst gut repräsentierten und vor allem analytisch unverändert zur Untersuchung gelangten. Dazu gehörten eine optimale Homogenisierung des Gärprodukts im Endlager und die Sicherung einer Kühlkette vom Probenahmeort bis ins Untersuchungslabor. Um das Infektionsrisiko auszuschalten, war eine detaillierte Arbeitsschutzanweisung strikt einzuhalten.

Um später eine umfassende Auswertung der Analysenergebnisse zu gewährleisten, wurde nach jeder Probenahme ein einheitliches Probenahmeprotokoll angefertigt (vgl. Anhang 1), in dem neben den logistischen Daten die Ausgangsstoffe der Biovergärung (Güllearten, Pflanzen, Bioabfälle usw.) und ihr täglicher Durchsatz in Art und Menge zu erfassen waren.

B 3.1.2 Untersuchungen

Die Untersuchung der Gärprodukte umfasste alle Parameter, die für die Nutzenbewertung als Düngemittel (Wertstoffe und Nährstoffe) sowie die Beurteilung möglicher Risiken (unerwünschte Stoffe, Hygieneparameter u.a.) erforderlich sind.

B 3.1.2.1 Allgemeine und agrochemische Untersuchungen

Die Untersuchungen erfolgten weitgehend nach DIN-Methoden sowie Methoden der VDLUFA-Methodenbücher. Spezielle Untersuchungen, wie Unkrautsamenbesatz sowie Gehalte an Fremdstoffen >2mm und Steinen >5 mm, wurden in Anlehnung an Untersuchungen für Komposte (BGK-Methodenbuch) durchgeführt (vgl. Tabelle 8).

B 3.1.2.2 Seuchen- und phytohygienische Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden mit Methoden aus dem Bereich des BGK-Kompostmethodenbuchs (Salmonellen), des Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuchs (LFGB; Clostridien) und des VDLUFA (Phytohygiene) durchgeführt (vgl. Tabelle 9). Die VDLUFA-Methode dient normalerweise zur Bestimmung von Bakterien und Pilzen in Futtermitteln. Sie wurde am LTZ Augustenberg für die Bestimmung von definierten Phytohygiene-Indikatoren in Sekundärrohstoffen abgewandelt und validiert. Hierzu zählen die folgenden pilzlichen Gattungen bzw. Spezies: *Helminthosporium*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pythium intermedium* und *Fusarium oxysporum*.

⁶ Diese Ergebnisse werden im vorliegenden Bericht nicht dargestellt und kommentiert. Sie können bei Bedarf am LTZ Augustenberg angefordert werden.

B	Planung und Ablauf des Forschungsprojektes
B 3	Material und Methoden
B 3.1	Inhaltsstoffe und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten und Gällen

Hierbei handelt es sich um ausgewählte Pathogene von Pflanzen, die typischerweise in Nawa-Ro-Anlagen verwendet werden, nämlich Mais und andere Getreidearten. Im Zuge einer von diesem Projekt unabhängigen Fragestellung wurde *Rhizoctonia solani* ebenfalls untersucht. Die Methodik im Bereich der Phytohygiene unterscheidet sich somit völlig von der Vorgehensweise nach BioAbfV, bei der die Indikatororganismen Tabak-Mosaik-Virus, *Plasmodiophora brassicae* und Tomatensamen vorgeschrieben sind. Deren Wirtspflanzen haben jedoch keine Bedeutung als nachwachsende Rohstoffe.

Tabelle 8 Allgemeine und agrochemische Parameter und Untersuchungsmethoden für Gärprodukte

Parameter	Methodenherkunft	Kapitel/Punkt/Nr.
Allgemeine Parameter		
Trockenmasse	DIN	38 414 S2
Rohdichte (Volumengewicht)	VDLUFA-Methodenbuch Band I	Kap. A 13.2.1, A 13.2.2
Organische Substanz	DIN	38 414 S3
pH-Wert	VDLUFA-Methodenbuch Band I	Kap. A 5.1.1
Gesamtgehalte Nährstoffe		
Stickstoff	VDLUFA Methodenbuch Band III	Kap. 4.1.1, 4.8.2
Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalzium, Schwefel (Königswasseraufschluss)	VDLUFA-Methodenbuch Band VI	Kap. 2.1.2
Basisch wirksame Substanz (BWS)	VDLUFA-Methodenbuch Band II	Kap. 6.3
Lösliche Nährstoffgehalte		
Stickstoff und Magnesium (CaCl ₂ -Extrakt)	VDLUFA-Methodenbuch Band I	Kap. A 6 folg.
Phosphor und Kalium (CAL-Extrakt)	VDLUFA-Methodenbuch Band I	Kap. A 6.2.1.1
Unerwünschte Stoffe		
Gesamtgehalte Schwermetalle (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Hg) (Königswasseraufschluss)	VDLUFA-Methodenbuch Band VII	Kap. 2.1.2
Unkrautsamenbesatz	BGK-Methodenbuch	Kap. II / Punkt 9
Fremdstoff- und Steingehalt	BGK-Methodenbuch	Kap. II / Punkt 10

Tabelle 9 Seuchen- und phytohygienische Untersuchungen von Gärprodukten

Parameter	Methodenherkunft	Kapitel/Punkt/Nr.
Seuchenhygiene		
Salmonellen	BGK-Methodenbuch	Kap. IV. C1
Clostridien	§ 64 LFGB	06.00/39
Phytohygiene		
Pilze	VDLUFA-Methodenbuch Band III	Kap. 28.1.2

B	Planung und Ablauf des Forschungsprojektes
B 3	Material und Methoden
B 3.2	Durchführung und Auswertung der Gefäßversuche

B 3.1.3 Ergebnisauswertung und -darstellung

Zu allgemeinen und agrochemischen Parameter der untersuchten Gärprodukte und Güllen wurden aus den Einzelergebnissen Mittelwerte (arithmetrischer Mittelwert, Median) und Spannweiten (Standardabweichung, Quantile, Maxima/Minima) aller geprüften Inhaltsstoffe gebildet. Zudem wurden die arithmetrischen Mittelwerte in einem t-Test auf statistische Unterschiede bestimmter Gruppen (NawaRo/Bioabfall, Gärprodukt/Gülle, Gruppen von Tierarten) geprüft.

Bei den seuchenhygienischen Parametern beschränkten sich die statistischen Auswertungen zu Salmonellen und zur Phytohygiene aufgrund des nicht-quantitativen Charakters der Methoden auf Mittelwerte und prozentuale Berechnungen. Bei den Clostridien wurden aus den Einzelergebnissen Mittelwerte (arithmetrischer Mittelwert, Median) und Spannweiten (Standardabweichung, Quantile, Maxima/Minima) gebildet und die Verteilungen zu einzelnen Fragestellungen in Histogrammen graphisch umgesetzt.

B 3.2 Durchführung und Auswertung der Gefäßversuche

In definierten Gefäßversuchen - konstante Wachstumsbedingungen hinsichtlich Wasserversorgung, Belichtung, Bodeneigenschaften - wurden vier Gärprodukte (Gärreste) unterschiedlicher Herkünfte aus dem Untersuchungsprogramm Baden-Württemberg gemäß Punkt B 3.1.1 im Vergleich zu einer Schweine- und Rindergülle sowie zu einer mineralischen Düngung auf deren N- und P-Wirkung geprüft (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10 Beschreibung und Herkunft der geprüften org. - mineralischen Dünger

org.-min. Dünger	Bezeichnung im Versuch	Bemerkungen	Biogasanlage Leistung [kW]
Schweinegülle	SG	Schweinemast	-
Rindergülle	RG	Milchvieh mit Nachzucht	-
Gärprodukt _{Festmist}	GP I	Hähnchenmist + NawaRo	190
Gärprodukt _{R. Gülle}	GP II	Rindergülle + Bioabfall	120
Gärprodukt _{S. Gülle}	GP III	Schweinegülle + NawaRo	180
Gärprodukt _{R. Gülle}	GP IV	Rindergülle + NawaRo	320

Die Gefäßversuche wurden in der Vegetationshalle des LTZ Augustenberg jeweils einjährig mit Deutschem Weidelgras und Körnermais in sog. Kick-Brauckmann-Gefäßen mit 10 L Inhalt durchgeführt (Versuchspläne vgl. Anhang 3, Tabellen 1 und 2). Als Versuchsboden kam ein typischer sandiger Lehm aus der Region zum Einsatz (vgl. Tabelle 11). Der aus zahlreichen Versuchen bekannte Boden bringt beste Voraussetzungen hinsichtlich Struktur, Humus- und Nährstoffgehalten mit, wie sie bei der Prüfung vorliegender organisch-mineralischer Düngemittel notwendig sind.

B	Planung und Ablauf des Forschungsprojektes
B 3	Material und Methoden
B 3.2	Durchführung und Auswertung der Gefäßversuche

Tabelle 11 Kenndaten des Versuchsbodens sandiger Lehm (sL)

pH	Humus	N _t	Nitrat-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
	[% TM]		[kg/ha]	[mg/100 g Boden]		
7,1	1,3	0,05	9	15	4	1

Beim Versuchsansatz (9 kg lufttrockener Boden/Gefäß) wurden entsprechend der Bodengehalte Kalk bei allen Varianten und Phosphor zu den Versuchsgliedern mit mineralischer N-Düngung in Höhe des zu erwartenden P-Inputs über die vorgesehene org. - mineralische Düngung zugemischt. Stickstoff wurde dem Versuchsplan entsprechend in Teilgaben mineralisch bzw. org. - mineralisch während der Vegetationsperiode gegeben. Die übrigen Hauptnährstoffe K, Mg und S wurden in zwei Teilgaben möglichst früh zum 1. und 2. Aufwuchs bei Deutschem Weidelgras bzw. bis zum 6-Blattstadium beim Mais in wässriger Lösung zu den mineralisch gedüngten Versuchsgliedern adäquat gedüngt.

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Güllen
C 1.1	Allgemeine Parameter und Wertstoffe

C ERGEBNISSE

C 1 Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Güllen

Die Grundlage für die nachfolgenden Bewertungen der Inhaltsstoffe von Gärprodukten bildet die umfangreiche Übersichtsuntersuchung im Zeitraum 2005 - 2008, in der insgesamt 249 Proben, davon 223 Proben aus NawaRo-Anlagen und 26 Proben aus Bioabfallanlagen, erfasst worden sind (vgl. Punkt B 3.1.1). Nachfolgend werden stets komprimierte Ergebnisse (Mittelwerte und ausgewählte Spannweiten der Einzelergebnisse) dargestellt. Die Auswertung stützt sich dabei überwiegend auf *Gehaltsangaben in der Frischmasse* von Gärprodukten, weil diese für die praktische Anwendung vorrangig relevant sind.

Die ausführlichen Ergebnisse mit allen statistischen Daten (Standardabweichung, Spannweiten wie Minima/ Maxima und 5., 10., 20., 80., 90. und 95. Quantile, Bewertungen von Mittelwerten mittels t-Test) sowie Vergleichen (Vergleich Gärprodukte NawaRo-/Bioabfallanlagen, Vergleich Gärprodukte/Güllen, Vergleich von Tierartengruppen) sind aus Anhang 1 zu entnehmen.

C 1.1 Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Die **Trockenmassegehalte** bewegen sich - bezogen auf die gesamte Übersichtsuntersuchung von 249 Gärproduktproben - um 6 - 7 % in der Frischmasse - FM (Schwankungsbreite etwa 5 bis 9 % FM) (vgl. Tabelle 12 und Anhang 1, Tabelle 1). Gärrückprodukte sind demnach analog den Güllen in der Regel dünnflüssig. Die **Rohdichte** (Volumengewicht) streut nur geringfügig um den Wert 1,0 kg/l FM, d.h. messbare Unterschiede zwischen Volumen(m³)- und Gewichts(t)-Bezug, die praktisch zu berücksichtigen wären, bestehen nicht. Gärprodukte können deshalb für praktische Zwecke gewichtsbezogen behandelt und bewertet werden. Der **pH-Wert** fällt mit mittleren Werten um 8,3 (Schwankungsbreite etwa 8,0 - 8,8) recht hoch aus, allgemein höher als in Güllen (vgl. Punkt C 1.1.2). Hier besteht die Gefahr einer verstärkten Ammoniakausgasung.

Unter den Wertstoffen betragen die Gehalte an **organischer Substanz** im Mittel etwa 50 kg/t FM mit Schwankungsbreiten zwischen 35 und 65 kg/t FM. Das **C/N-Verhältnis** ist mit etwa 6,0 - 6,5/1 (Schwankungsbreite etwa 5,0/1 bis 7,5/1) enger als in Güllen (vgl. Punkt C 1.1.2), ein Hinweis auf eine zügige N-Mineralisierung. Die Zufuhr an **basisch wirksamer Substanz (BWS)** mit Gärprodukten fällt mit Mittelwerten um 3,6 kg CaO/t FM (Schwankungsbreite etwa 2,7 bis 4,6 kg/t FM) relativ gering aus. Bei Gärproduktgaben von 30 t/ha FM würde damit nur etwa 1 dt/ha CaO ausgebracht, eine Kalkmenge, die den pH-Zustand des Bodens kaum beeinflussen kann.

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.1	Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Tabelle 12 Allgemeine Parameter sowie Wert- und Nährstoffe von Gärprodukten
Ergebnisse der Übersichtsuntersuchungen Baden-Württemberg 2005 - 2008,
Größe der Stichprobe: 249 Proben, davon 223 aus NawaRo- und 26 aus Bioabfallanlagen

Parameter		Mittelwerte ¹		Quantile ²			
		arith. Mittel	Median	10.	20.	80.	90.
<i>Allgemeine Parameter</i>							
Trockenmasse	% FM ³	6,9	6,9	4,1	5,0	8,5	9,4
Rohdichte	g/l FM	993	998	971	984	1007	1011
pH-Wert	-	8,3	8,3	7,7	7,9	8,7	8,9
<i>Wertgebende Inhaltsstoffe</i>							
Org. Substanz	% TM ⁴	72,3	73,0	65,3	67,8	77,1	78,7
	kg/t FM	50,2	50,9	27,9	34,5	65,3	71,5
C/N-Verhältnis ⁵	-	6,3	6,2	3,8	4,9	7,5	8,5
BWS ⁶	% CaO TM	5,6	5,5	3,5	4,3	6,7	7,4
	kg/t FM	3,7	3,6	2,1	2,7	4,6	5,4
<i>Nährstoff-Gesamtgehalte in % TM</i>							
Stickstoff	N _{gesamt}	7,3	6,8	5,2	5,7	8,3	10,0
Ammonium-N	NH ₄ -N	4,4	3,9	2,6	3,0	5,4	6,6
Phosphor	P ₂ O ₅	2,7	2,5	1,8	2,1	3,1	3,7
Kalium	K ₂ O	7,4	7,1	4,9	5,7	9,0	10,2
Magnesium	MgO	1,23	1,14	0,63	0,79	1,47	1,71
Kalzium	CaO	3,2	3,1	2,1	2,4	3,8	4,4
Schwefel	S	0,50	0,50	0,38	0,43	0,57	0,62
<i>Nährstoff-Gesamtgehalte in kg/t FM</i>							
Stickstoff	N _{gesamt}	4,7	4,6	3,3	3,9	5,6	6,2
Ammonium-N	NH ₄ -N	2,8	2,7	1,7	2,1	3,3	3,8
Phosphor	P ₂ O ₅	1,8	1,7	0,9	1,2	2,1	2,6
Kalium	K ₂ O	4,9	4,7	3,1	3,7	6,0	6,9
Magnesium	MgO	0,82	0,76	0,34	0,46	1,04	1,26
Kalzium	CaO	2,1	2,0	1,2	1,5	2,6	3,0
Schwefel	S	0,33	0,33	0,21	0,26	0,40	0,45
<i>Lösliche Nährstoffgehalte⁷ in kg/t FM</i>							
Stickstoff insg.	N II	2,2	2,1	1,4	1,6	2,8	3,1
dav. Ammonium	NH ₄ -N	2,2	2,1	1,4	1,6	2,8	3,1
Phosphor	P ₂ O ₅	1,1	1,1	0,6	0,8	1,5	1,7
Kalium	K ₂ O	4,5	4,5	2,8	3,6	5,6	6,1
Magnesium	Mg	0,08	0,07	0,02	0,04	0,11	0,16

Erläuterungen:

¹ arithm. Mittelwert - Mittel aller Einzelwerte, Median - 50 % aller Einzelwerte der Stichprobe

² Quantile - Spannweiten der Stichprobe: das 10., 20., 80. bzw. 90. Quantil beinhalten

10, 20, 80 bzw. 90 % aller Einzelwerte der Stichprobe

³ FM - Frischmasse

⁴ TM - Trockenmasse

⁵ Verhältnis aus C-Gehalt (58 % des Gehaltes an organischer Substanz) und N_{gesamt}-Gehalt

⁶ BWS - basisch wirksame Stoffe

⁷ Lösliche Nährstoffgehalte: N und Mg - CaCl₂-Extrakt, P₂O₅ und K₂O - CAL-Extrakt

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.1	Allgemeine Parameter und Wertstoffe

C 1.1.1 Vergleich Gärprodukte aus NawaRo- und Bioabfall-Anlagen

Vergleiche der Gärprodukte aus beiden Anlagentypen sind auf Grund der großen Unterschiede der Teilstichproben (NawaRo - 223 Proben, Bioabfall - 26 Proben) nur mit Einschränkung möglich. Unter dieser Prämisse ergibt sich folgende Beurteilung (vgl. Abbildung 2 sowie Anlage 1, Tabelle 1):

Die **Trockenmassegehalte** fallen in Gärprodukten aus Bioabfallanlagen mit im Mittel 6,1 % FM niedriger aus als in NawaRo-Anlagen mit 7,0 % FM. Gesicherte Unterschiede bestehen aber auf Grund der großen Streuung der Einzelwerte nicht. Bei **pH-Wert** und **BWS-Gehalt** sind keine Unterschiede zwischen beiden Anlagentypen festzustellen. Das **C/N-Verhältnis** ist in Gärprodukten aus Bioabfallanlagen mit im Mittel 5,2/1 statistisch gesichert niedriger als in NawaRo-Anlagen mit 6,4/1. Das kann als Hinweis auf eine schnellere N-Düngewirkung der Gärprodukte aus Bioabfallanlagen gewertet werden.

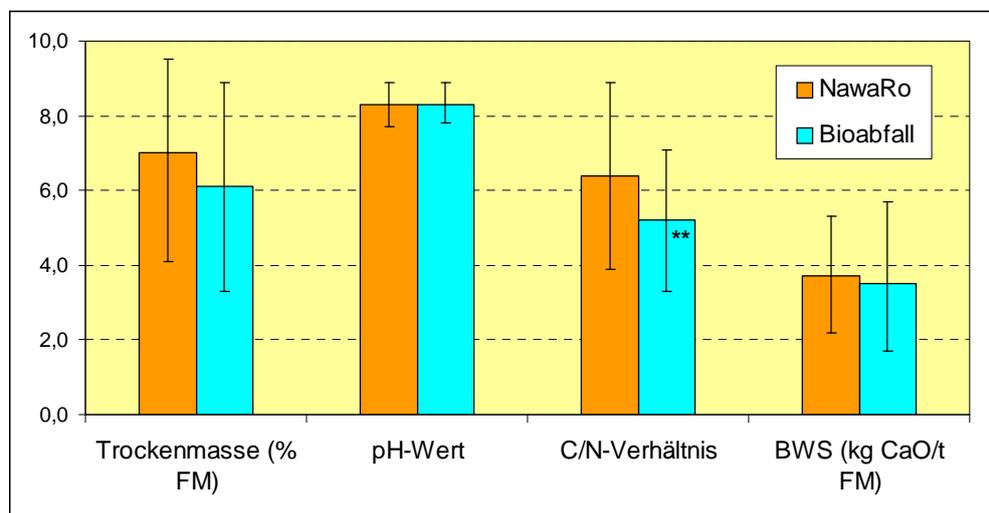


Abbildung 2 Vergleich NawaRo- und Bioabfall-Anlagen: Allgemeine Parameter
Übersichtsuntersuchungen 2005 - 2008,
Größe der Stichproben: 223 Proben NawaRo- und 26 Proben Bioabfallanlagen

Erläuterungen: Balken - arithm. Mittelwerte, Spannweiten - 10. bis 90. Quantil
t-Test: gesicherter Unterschied der Mittelwerte bei Irrtumswahrscheinlichkeit
* $\alpha = 5\%$ ** $\alpha = 1\%$

Mit Gärprodukten aus NawaRo-Anlagen werden im Mittel größere Mengen an **organischer Substanz** ausgebracht als mit Gärrückständen aus Biogasanlagen, wie die Gehalte von 52 kg/t FM im Vergleich zu 42 kg/t FM belegen (vgl. Abbildung 3). Auf Grund der großen Streuung im Einzelfall kann aber - trotz der geringen statistischen Sicherung - nicht von einem praktisch relevanten Unterschied ausgegangen werden. Gleiches gilt für die **Kohlenstoff(C)-Gehalte**, die sich in beiden Anlagentypen um 40 - 42 % TM bewegen.

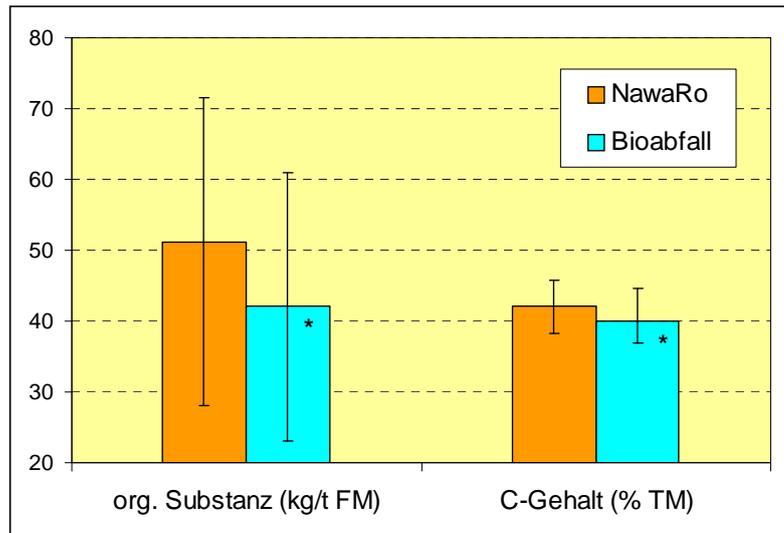


Abbildung 3 Vergleich NawaRo- und Bioabfall-Anlagen: Organische Substanz und C-Gehalt
 Übrige Angaben und Erläuterungen vgl. Abbildung 2

C 1.1.2 Vergleich NawaRo-Gärprodukte/ Güllen

Die Untersuchung der Probenpaare Gärprodukte/ Güllen aus NawaRo-Anlagen zeigte, dass die **Trockenmassegehalte** der Güllen mit 9,1 % FM im Mittel gesichert höher ausfallen als die Gehalte der Gärprodukte von im Mittel 7,8 % FM (vgl. Abbildung 4 sowie Anlage 1, Tabelle 4). Ursache ist der Abbau der organischen Trockenmasse im Verlauf des Gärprozesses. Allerdings bestehen bei Güllen größere Spannweiten von etwa 6 bis 12 % FM, so dass im Einzelfall auch Abweichungen von der allgemeinen Einschätzung auftreten können. Der **pH-Wert** von Güllen bewegt sich mit im Mittel 7,3 auf einem gesichert niedrigeren Niveau als der der Gärprodukte von im Mittel 8,0. Der Anstieg des pH-Wertes im Gärprodukt ist Folge des Abbaues der Trockenmasse im Verlauf des Gärprozesses, durch den verstärkt Kalziumionen freigesetzt werden. Besonders auffällig ist der große und gesicherte Unterschied zwischen deutlich weiteren **C/N-Verhältnissen** bei Güllen von im Mittel 10 - 11/1 im Vergleich zu Gärprodukten von im Mittel 7/1, der auf eine schnellere düngewirksame Umsetzung der N-Anteile in Gärprodukten hinweist. Allerdings ist auch hier die sehr große Streuung bei Güllen im Einzelfall zu berücksichtigen, die diese Aussage relativiert. Mit Güllen werden im Mittel etwas geringere **BWS-Anteile** ausgebracht als mit Gärprodukten.

Die Anteile an **organischer Substanz** fallen in Güllen mit 70 - 80 kg/t FM erheblich und auch gesichert höher als in Gärprodukten mit 55 - 60 t/ha FM (vgl. Abbildung 5). Allerdings ist auch hier die deutlich größere Streuung bei Güllen zu beachten, die von 40 bis 100 kg/t FM reichen kann. Entsprechend verfügen Güllen im Vergleich zu Gärprodukten auch über leicht erhöhte **Kohlenstoff(C)-Gehalte**.

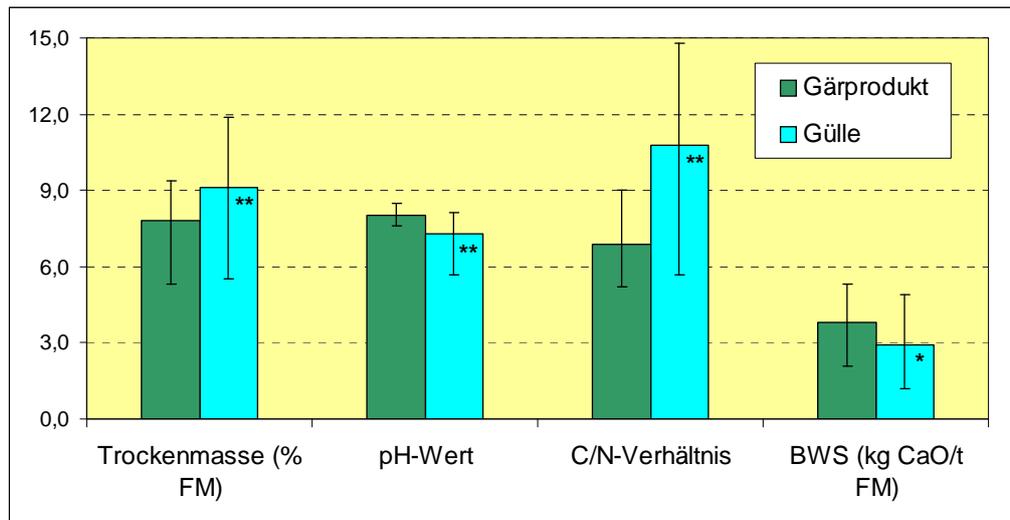


Abbildung 4 Vergleich Gärprodukte und Gällen: Allgemeine Parameter
 Übersichtsuntersuchungen 2007/2008, Größe der Stichproben: je 53 Proben
 Übrige Angaben und Erläuterungen vgl. Abbildung 2

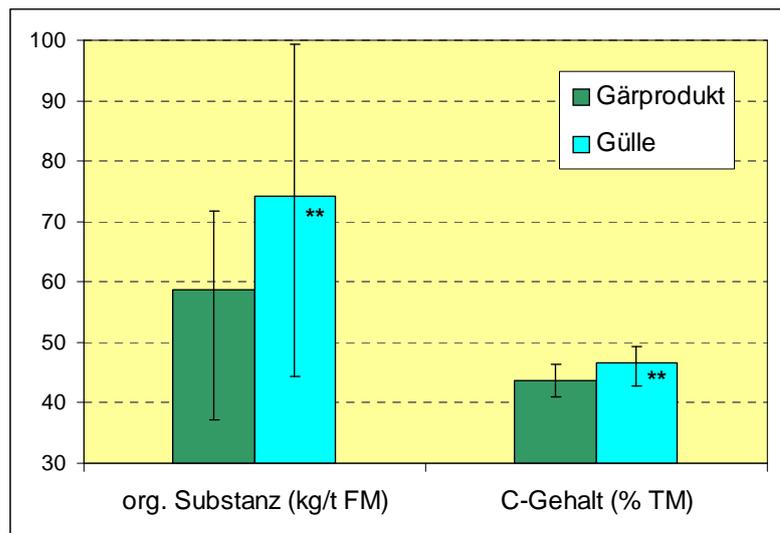


Abbildung 5 Vergleich Gärprodukte und Gällen: Organische Substanz und C-Gehalt
 Übersichtsuntersuchungen 2007/2008, Größe der Stichproben: je 53 Proben
 Übrige Angaben und Erläuterungen vgl. Abbildung 2

C 1.1.3 Vergleich von Tierarten

Um mögliche Unterschiede der Inhaltsstoffe von Gärprodukten in Abhängigkeit von der Tierart zu erfassen, wurden aus der Übersichtsuntersuchung des Zeitraumes 2005 - 2008 vier Teilgruppen gebildet: Rinder - 137 Proben, Schweine - 31 Proben, übrige Tierarten (Rinder/Schweine, Geflügel, Schafe u.a.) - 34 Proben, viehlos betriebene Biogasanlagen (nur NawaRo) - 21 Proben. Unter Berücksichtigung dessen, dass aus dieser Aufteilung der gesamten Stichprobe und der sehr unterschiedlichen Größe der gebildeten Teilgruppen nur Trends und Anhaltspunkte gewonnen werden können, lassen sich folgende Bewertungen geben:

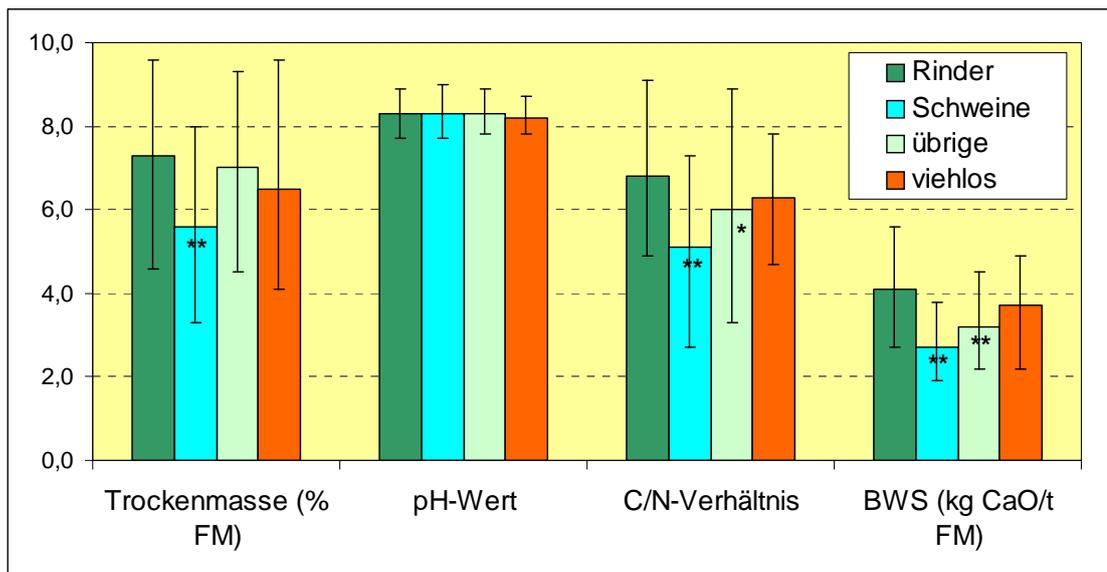


Abbildung 6 Vergleich Gärprodukte nach Tierartengruppen: Allgemeine Parameter
 Übersichtsuntersuchungen 2005 - 2008, Größe der Stichproben:
 Rinder - 137 Proben, Schweine - 31 Proben, übrige Tierarten - 34 Proben,
 viehlose Anlagen - 21 Proben

Erläuterungen: Balken - arithm. Mittelwerte, Spannweiten - 10. bis 90. Quantil
 t-Test: gesicherter Unterschied der Mittelwerte im Vergleich zur Gruppe
 Rinder bei Irrtumswahrscheinlichkeit * $\alpha = 5\%$ ** $\alpha = 1\%$

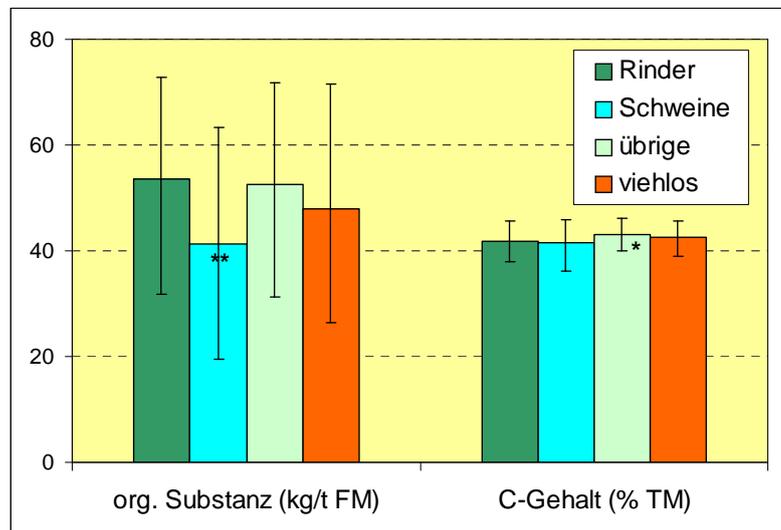


Abbildung 7 Vergleich Gärprodukte nach Tierartengruppen: Organische Substanz und
 C-Gehalt, Übersichtsuntersuchungen 2005 - 2008
 Größe der Stichproben und weitere Erläuterungen vgl. Abbildung 6

Gärprodukte aus Anlagen mit Schweinegülle verfügen über statistisch gesichert niedrigere **Trockenmassegehalte** (im Mittel 5,6 % FM) als Proben aus Anlagen mit Rindergülle (im Mittel 7,3 % FM, vgl. Abbildung 6 sowie Anhang 1, Tabelle 7). Die große Streuung der Einzelwerte

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und GülLEN
C 1.1	Allgemeine Parameter und Wertstoffe

relativiert diese Unterschiede allerdings. Die Gärprodukte der Gruppen übrige Tierarten und viehlose Anlagen weisen keine relevanten Differenzen zur Gruppe Rinder auf. Bei den **pH-Werten** sind keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Tierart festzustellen. Die **C/N-Verhältnisse** fallen bei der Gruppe Schweine mit im Mittel 5,1/1 gesichert niedriger aus als in der Gruppe Rinder mit im Mittel 6,8/1, ein Hinweis auf eine wahrscheinlich schneller wirksame N-Düngewirkung der ersteren Gruppe. Bei den weiteren Gruppen sind im Vergleich zur Gruppe Rinder keine erheblichen Unterschiede zu beobachten. Die **BWS-Gehalte** erreichen bei der Gruppe Rinder mit im Mittel 4,1 kg CaO/t FM höhere Werte und unterscheiden sich statistisch gesichert von den geringeren Gehalten der Gruppen Schweine und übrige Tierarten. Die Gärprodukte aus viehlosen Anlagen unterscheiden sich dagegen, angesichts der großen Streuung der Einzelwerte, kaum von den Proben aus Rinderanlagen.

Ein ähnliches Bild wie bei der Trockenmasse ergibt sich auch bei der **organischen Substanz** (vgl. Abbildung 7): deutlich höhere Gehalte von im Mittel 54 kg/t FM in der Gruppe Rinder, gesichert niedrigere Gehalte von im Mittel 41 kg/t FM in der Gruppe Schweine, allerdings begleitet von einer großen Streuung von ± 20 kg/t FM. Zu den übrigen Gruppen bestehen keine relevanten Unterschiede. Die **Kohlenstoff(C)-Gehalte** bewegen sich, unabhängig von den Tierarten, auf einheitlichem Niveau von im Mittel 40 - 42 % TM.

C 1.1.4 Zeitreihenuntersuchungen

Für die praktische Nutzung werden neben den Mittelwerten und Spannweiten der Inhaltsstoffe der Gärprodukte der gesamten Übersichtsuntersuchung auch entsprechende Daten für einzelne Biogasanlagen benötigt, um damit die zeitlichen Schwankungsbreiten innerhalb der Anlage zu bestimmen und so die Wert- und Nährstoffmengen, die für die landwirtschaftliche Verwertung der Gärprodukte aus der einzelnen Anlage zur Verfügung stehen, in der Nährstoff- und Düngebilanz des Betriebes möglichst exakt erfassen zu können. Dazu wurden in 12 ausgewählten Biogasanlagen sog. Zeitreihenuntersuchungen durchgeführt, indem die anfallenden Gärprodukte über einen Zeitraum von bis zu einem Jahr mehrmals (2 - 4 x) untersucht wurden. In 6 Anlagen konnten zusätzlich auch die Schwankungen bei der eingesetzten Gülle erfasst werden.

Aus den Zeitreihenuntersuchungen ergibt sich zu allgemeinen Parametern und Wertstoffen der Gärprodukte folgendes Bild (vgl. Tabelle 13, ausführliche Daten, auch zu Gülle, vgl. Anhang 1, Tabelle 10):

Bei den Parametern Trockenmasse, organische Substanz, C/N-Verhältnis und basisch wirksame Substanz ist im Gärprodukt einer Biogasanlage mit mittleren Schwankungen von etwa 15 % um den arithmetischen Mittelwert zu rechnen. Im ungünstigen Fall (Maximum des Variationskoeffizienten) treten deutlich höhere Schwankungen von 30 - 40 % auf. Lediglich der pH-Wert zeigt nur geringe Streuungen um den Mittelwert der Anlage von im Mittel 3 % bis maximal 7 %.

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.2	Gesamtgehalte an Nährstoffen

Tabelle 13 Zeitreihenuntersuchung der Gärprodukte ausgewählter Biogasanlagen:
Allgemeine Parameter und Wertstoffe (12 Anlagen)

Parameter	Statistische Kennzahlen				
	arithmetrischer Mittelwert		Variationskoeffizient des Mittelwertes in %		
	Wert	Dimension	Mittel Anlagen	Minimum	Maximum
<i>Allgemeine Parameter</i>					
Trockenmasse	7,7	% FM	14	4	30
pH-Wert	8,1	-	3	0,2	7
<i>Wertstoffe</i>					
Organische Substanz	58	kg/t FM	15	3	37
C/N-Verhältnis	7,0/1	-	12	1	33
Bas. wirks. Substanz	3,9	kg CaO/t FM	16	0,6	49

C 1.2 Gesamtgehalte an Nährstoffen

In Gärprodukten kann - bezogen auf die gesamte Stichprobe der Übersichtsuntersuchungen im Zeitraum 2005 - 2007 (249 Proben) - mit folgenden **mittleren Nährstoff-Gesamtgehalten in kg/t FM** gerechnet werden (vgl. ergänzend Tabelle 12 und Anhang 1, Tabelle 2):

Nährstoff		kg/t FM
Stickstoff	- N	4,0 - 5,0
Ammonium-N	- NH ₄ -N	2,5 - 3,0
Phosphor	- P ₂ O ₅	1,5 - 2,0
Kalium	- K ₂ O	4,5 - 5,5
Magnesium	- MgO	0,6 - 1,0
Kalzium	- CaO	1,8 - 2,4
Schwefel	- S	0,30 - 0,35

Der Ammonium-N-Anteil am Stickstoff-Gesamtgehalt beträgt im Mittel 55 - 65 %.

Durchweg ist mit relativ großen Abweichungen der Einzelwerte (orientiert am 10. - 90. Quantil der Stichprobe) von den o.g. mittleren Bereichen von etwa 30 - 40 % bei Stickstoff, Ammonium-N, Kalium und Schwefel sowie von 40 - 50 % bei Phosphor und Magnesium zu rechnen. Die mittleren Bereiche sind damit geeignet, um die *Größenordnung* der Nährstoffanteile von Gärprodukten abzuschätzen. Für genauere Kalkulationen geben die nachfolgenden Punkte C 1.2.1, C 1.2.2 und C 1.2.3 Auskunft, in denen Aufschlüsselungen der Ergebnisse vorgenommen werden.

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.2	Gesamtgehalte an Nährstoffen

C 1.2.1 Vergleich Gärprodukte aus NawaRo- und Bioabfall-Anlagen

Unter Berücksichtigung der großen Unterschiede der Teilstichproben (NawaRo - 223 Proben, Bioabfall - 26 Proben) ergibt sich folgende Beurteilung (vgl. Abbildung 8 sowie Anlage 1, Tabelle 2):

Die Nährstoff-Gesamtgehalte beider Produktgruppen unterscheiden sich - mit Ausnahme von Kalium - im Mittel nicht, so dass für praktische Kalkulationen mit den auf Seite 32 aufgeführten mittleren Gehaltsbereichen gearbeitet werden kann. Die Kaliumgehalte fallen bei NawaRo-Proben mit im Mittel 5,0 kg/t FM deutlich und statistisch gesichert höher als in Proben aus Bioabfall-Anlagen mit Mittelwerten von 3,9 kg/t FM.

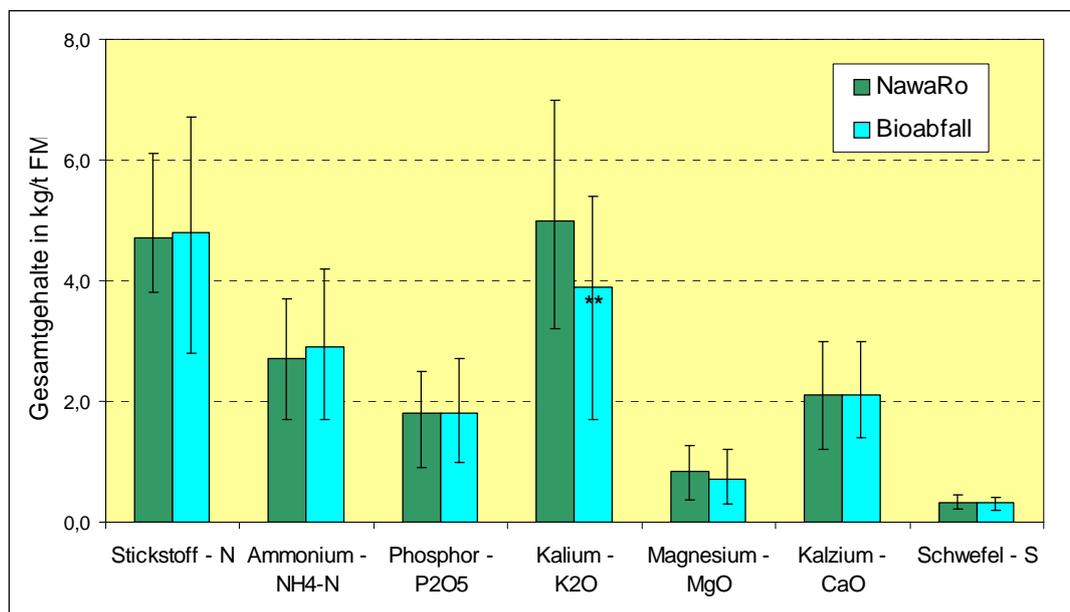


Abbildung 8 Vergleich NawaRo- und Bioabfall-Anlagen: Nährstoff-Gesamtgehalte
Übersichtsuntersuchungen 2005 - 2008,
Größe der Stichproben: 223 Proben NawaRo- und 26 Proben Bioabfallanlagen

Erläuterungen: Balken - arithm. Mittelwerte, Spannweiten - 10. bis 90. Quantil
t-Test: gesicherter Unterschied der Mittelwerte bei Irrtumswahrscheinlichkeit
* $\alpha = 5\%$ ** $\alpha = 1\%$

C 1.2.2 Vergleich NawaRo-Gärprodukte/ Gällen

Beim Vergleich der Probenpaare Gärprodukte/ Gällen aus NawaRo-Anlagen wird deutlich, dass die Gesamtgehalte an Stickstoff und Kalium im Mittel um 20 % sowie an Ammonium-N um 50 - 60 % höher ausfallen (statistisch gesichert) als in Gällen (vgl. Abbildung 9 und Anhang 1, Tabelle 5). Diese Wertsteigerung des Gärproduktes im Vergleich zur Gülle ist durch die hohen Zufuhren aus N-reichen NawaRo-Materialien und den Abbau an organischer Trockenmasse im Verlauf des Gärprozesses zu erklären. Allerdings sind auch die hohen Schwankungsbreiten zu beachten, vor allem bei Kalium, die im Einzelfall berücksichtigt werden sollten. Bei

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.2	Gesamtgehalte an Nährstoffen

Phosphor, Magnesium, Kalzium und Schwefel bestehen keine praktisch relevanten Unterschiede zwischen den Probenpaaren, auch wenn die Gehalte an Magnesium und Schwefel in Gällen geringfügig höher ausfallen.

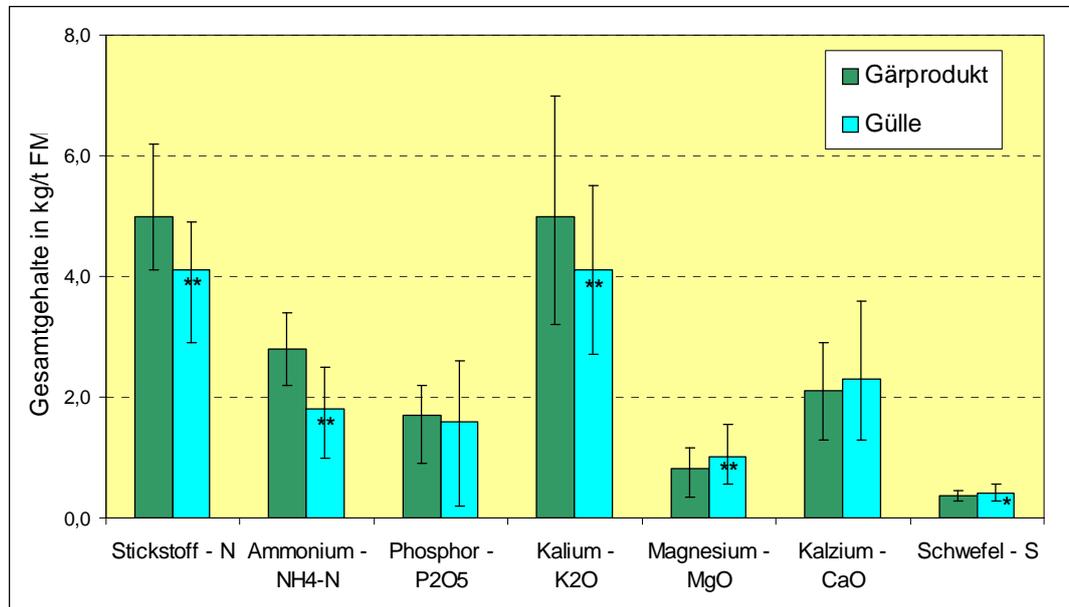


Abbildung 9 Vergleich Gärprodukte und Gällen: Nährstoff-Gesamtgehalte
Übersichtsuntersuchungen 2007/2008, Größe der Stichproben: je 53 Proben
Übrige Angaben und Erläuterungen vgl. Abbildung 8

C 1.2.3 Vergleich von Tierarten

Ähnlich wie bei den allgemeinen Parametern (vgl. Punkt C 1.1.3) wurde versucht, eine Sortierung der Nährstoff-Gesamtgehalte von Gärprodukten aus NawaRo-Anlagen nach Gruppen von Tierarten vorzunehmen. Auch hier war bei der Bewertung zu berücksichtigen, dass aufgrund der unterschiedlichen Größe der gebildeten Teilgruppen nur Anhaltspunkte abgeleitet werden können. Im Ergebnis lassen sich folgende Trends nennen (vgl. Abbildung 10 sowie Anhang 1, Tabelle 8):

Im Vergleich zur größten Tiergruppe „Rinder“ zeigen die Stickstoff-Gesamtgehalte der Gruppen „Schweine“ und „viehlos“ im Mittel keine Unterschiede. Lediglich die Gruppe „übrige“ weist leicht erhöhte, statistisch gesicherte Gehalte auf. Beim Ammonium-N fallen die Gehalte in den Gruppen „Schweine“ und „übrige“ höher aus. Bei beiden Parametern ist jedoch die große Streuung der Einzelwerte zu beachten, die im Einzelfall keine zuverlässige Aussage anhand der Mittelwerte zulässt.

Bei Phosphor zeigen sich, ausgehend von der Streuung der Einzelwerte, keine gravierenden Unterschiede zwischen den Tierartengruppen. Die Kaliumgehalte der Gruppe „Schweine“ liegen im Mittel um 20 % (statistisch gesichert) unter den Gehalten für Rinder, ein Ergebnis, dass bei der Kalkulation für die Nährstoffbilanz berücksichtigt werden sollte. Aber auch hier sind die sehr großen Schwankungen der Einzelwerte zu beachten. Bei Magnesium und Schwefel bestehen praktisch kaum Unterschiede zwischen den Tierartengruppen, auch wenn vereinzelt

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Güllen
C 1.2	Gesamtgehalte an Nährstoffen

statistisch gesicherte Mindergehalte im Vergleich zu Rindern auftreten. Ähnlich wie bei Kalium fallen auch die Kalziumanteile der Gärprodukte in der Gruppe „Schweine“ niedriger aus als bei Rindern, während die übrigen Gruppen keine Unterschiede aufweisen.

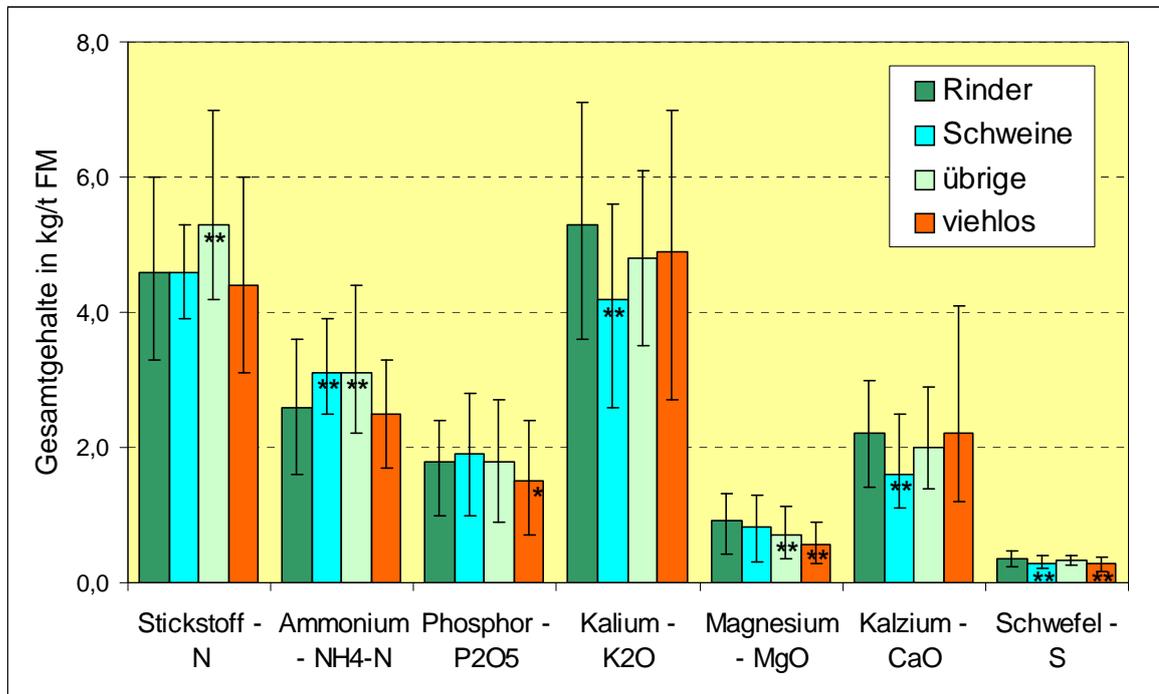


Abbildung 10 Vergleich Gärprodukte nach Tierartengruppen: Nährstoff-Gesamtgehalte
Übersichtsuntersuchungen 2005 - 2008, Größe der Stichproben:
Rinder - 137 Proben, Schweine - 31 Proben, übrige Tierarten - 34 Proben,
viehlose Anlagen - 21 Proben

Erläuterungen: Balken - arithm. Mittelwerte, Spannweiten - 10. bis 90. Quantil
t-Test: gesicherter Unterschied der Mittelwerte im Vergleich zur Gruppe
Rinder bei Irrtumswahrscheinlichkeit * $\alpha = 5\%$ ** $\alpha = 1\%$

C 1.2.4 Zeitreihenuntersuchungen

Die Zeitreihenuntersuchungen in 12 ausgewählten Biogasanlagen wurden auch für Nährstoff-Gesamtgehalte von Gärprodukten durchgeführt, um die zeitlichen Schwankungsbreiten innerhalb der Anlage zu bestimmen und so die Nährstoffmengen, die für die landwirtschaftliche Verwertung der Gärprodukte aus der einzelnen Anlage zur Verfügung stehen, in der Nährstoff- und Düngebilanz des Betriebes möglichst exakt erfassen zu können (zur Durchführung vgl. Punkt C 1.1.4).

Zu den Nährstoff-Gesamtgehalten der Gärprodukte ergibt sich aus den Zeitreihenuntersuchungen folgendes Bild (vgl. Tabelle 14, ausführliche Daten, auch zu Gülle, vgl. Anhang 1, Tabelle 11):

Bei den Nährstoffen Stickstoff, Ammonium-N, Kalium und Schwefel ist im Gärprodukt einer Biogasanlage mit mittleren Schwankungen von etwa 10 - 15 % um den arithmetischen Mittel-

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.3	Lösliche Anteile an Nährstoffen

wert zu rechnen. Im ungünstigen Fall (Maximum des Variationskoeffizienten) treten deutlich höhere Schwankungen von 30 - 50 % auf. Im günstigen Fall (Minimum) bewegen sich die Streuungen deutlich unter 10 %. Höhere mittlere Schwankungen von 20 - 25 % um den Mittelwert der Anlage sind bei den Nährstoffen Phosphor, Magnesium und Kalzium zu erwarten. Sie können im ungünstigen Fall bis zu 50 - 60 % betragen.

Tabelle 14 Zeitreihenuntersuchung der Gärprodukte ausgewählter Biogasanlagen:
Nährstoff-Gesamtgehalte (12 Anlagen)

Nährstoff	arithm. Mittelwert kg/t FM	Variationskoeffizient des Mittelwertes in %		
		Mittel Anlagen	Minimum	Maximum
Stickstoff - N	4,9	9	0	40
Ammonium - NH ₄ -N	2,7	13	4	36
Phosphor - P ₂ O ₅	1,7	26	2	61
Kalium - K ₂ O	5,4	12	0	52
Magnesium - MgO	0,74	24	3	44
Kalzium - CaO	2,2	21	4	37
Schwefel - S	0,36	16	2	31

C 1.3 Lösliche Anteile an Nährstoffen

Eine exakte Bestimmung der pflanzenverfügbaren und damit düngewirksamen Anteile der Zufuhren an Nährstoffen mit Gärprodukten ist nur - wie bei anderen Düngemitteln auch - mit Hilfe von Feld- und Gefäßversuchen möglich, in denen anhand der Nährstoffentzüge des Pflanzenertrages die Düngeneffizienz der Nährstoffzufuhren ermittelt wird. Mit den löslichen Nährstoffanteilen der Gärprodukte ist jedoch - wenn auch keine exakte Berechnung - eine *Abschätzung der Größenordnung* der zu erwartenden Pflanzenverfügbarkeit möglich, die für ihre landwirtschaftliche Verwertung als Düngemittel weitere präzisierende Hinweise liefern kann.

In den Gärprodukten der gesamten Stichprobe des Zeitraumes 2005 - 2007 (249 Proben) wurden deshalb neben den Gesamtgehalten an Nährstoffen auch die löslichen Anteile bestimmt (ähnlich wie bei der Untersuchung von Böden mit geeigneten Extraktionslösungen, Methoden vgl. Tabelle 8).

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.3	Lösliche Anteile an Nährstoffen

Im Mittel kann nach dieser erstmaligen Übersichtsuntersuchung mit folgenden **mittleren löslichen Nährstoffanteilen in kg/t FM** gerechnet werden (vgl. ergänzend Tabelle 12).

Nährstoff löslich		kg/t FM
Stickstoff	- N	2,0 - 3,0
Phosphor	- P ₂ O ₅	0,8 - 1,5
Kalium	- K ₂ O	3,5 - 5,0
Magnesium	- MgO	0,05 - 0,10

Der lösliche Stickstoff-Anteil besteht dabei im Mittel zu 90 - 95 % aus Ammonium-Stickstoff. Einen anschaulichen Überblick über die löslichen Nährstoffanteile von Gärprodukten bietet die Darstellung als Relativwerte in % der Gesamtgehalte (vgl. Abbildung 11 sowie Anhang 1, Tabelle 3):

Die Nährstoffe von Gärprodukten sind - bis auf Magnesium - allgemein gut löslich. Dabei bestehen zwischen NawaRo- und Bioabfallanlagen, auch angesichts der Streuung der Einzelwerte, keine gravierenden Unterschiede. Besonders hoch fällt die Löslichkeit bei Kalium aus (etwa 100 %). Aber auch die löslichen Stickstoffgehalte sind mit im Mittel 50 - 60 % sowie die löslichen Ammonium-N-Gehalte mit 80 - 90 % als gut löslich einzustufen. Gleiches gilt für Phosphor mit mittleren Löslichkeiten von 60 - 70 %, wobei große Spannweiten der Einzelwerte von 40 - 90 % der Gesamtgehalte zu berücksichtigen sind. Die Löslichkeit von Magnesium ist mit <20 % der Gesamtgehalte als gering einzustufen.

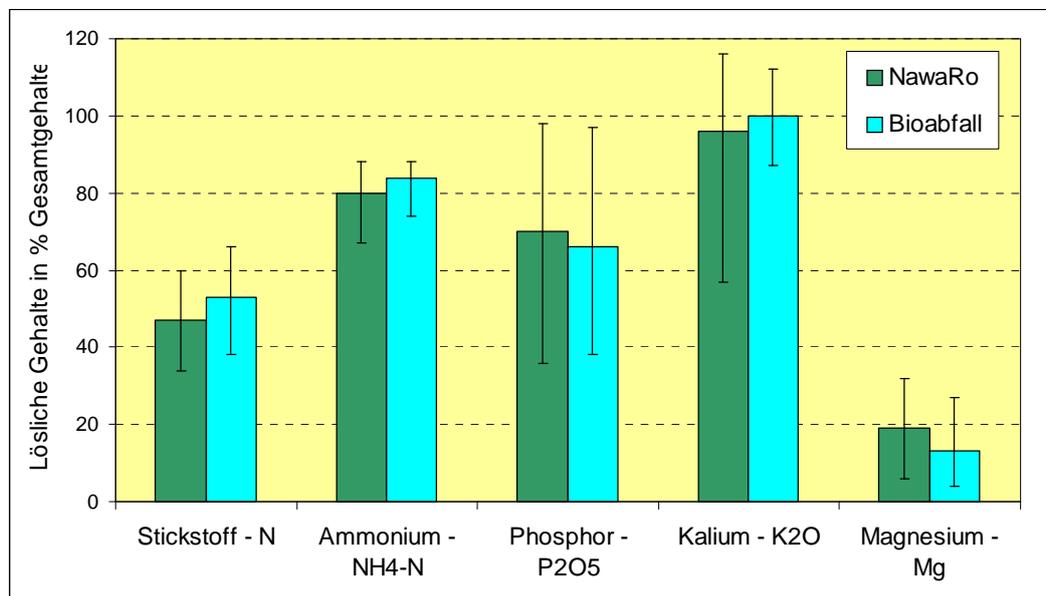


Abbildung 11 Lösliche Nährstoffgehalte der Gärprodukte relativ zu Nährstoff-Gesamtgehalten
Übersichtsuntersuchung 2005 - 2008: Stichprobe 249 Gärproduktproben
(223 Proben NawaRo, 26 Proben Bioabfall)

Erläuterungen: Balken - arithm. Mittelwerte, Spannweiten - 10. bis 90. Quantil

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Güllen
C 1.4	Abschließende Bewertung zu Wert- und Nährstoffen

C 1.4 Abschließende Bewertung zu Wert- und Nährstoffen

Aus der gesamten Übersichtsuntersuchung von 249 Gärproduktproben und den Differenzierungen dieser Stichprobe nach Anlagentypen (NawaRo-/Bioabfallanlagen), Produktgruppen (Gärprodukte/Güllen) sowie nach Tierartengruppen werden nachfolgend Gesamteinschätzungen der Ergebnisse vorgenommen.

C 1.4.1 Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Die **Trockenmasse(TM)-Gehalte** von Gärprodukten betragen im Mittel um 6 - 7 % FM mit einer Schwankungsbreite von etwa 5 - 9 % FM. Gärprodukte aus dem Endlager sind damit durchweg sehr dünnflüssige Produkte, die - sofern keine weitere Aufbereitung erfolgt - ähnlich wie Güllen landwirtschaftlich verwertet werden müssen. Im Vergleich der Probenpaare Gärprodukt/Gülle wiesen Güllen im Mittel um 1,0 - 1,2 % FM höhere TM-Gehalte auf. Ursache für die Absenkung der TM-Gehalte in Gärprodukten ist der Abbau von organischer Trockenmasse im Verlauf des Gärprozesses. Für praktische Belange sind diese Differenzen jedoch angesichts der großen Schwankungsbreite der Einzelwerte nur bedingt relevant. Davon ausgehend bestehen auch beim Vergleich der Anlagentypen kaum gesicherte Unterschiede. Unter den Tierartengruppen ist bei Anlagen mit Schweinegülle im Vergleich zu Rinderanlagen vermehrt mit niedrigeren TM-Gehalten zu rechnen. Die übrigen Gruppen, auch viehlose Anlagen, unterscheiden sich nicht von den Rinderanlagen. In der einzelnen Biogasanlage schwanken die TM-Gehalte im Mittel etwa 15 % um den Mittelwert der Anlage mit maximalen Streuungen bis zu 30 %.

Gärprodukte weisen auf Grund ihrer Dünnpflüssigkeit nur gering schwankende **Rohdichten** (Volumengewichte) von im Mittel 1,0 kg/Liter auf. Sie können deshalb in der Praxis problemlos gewichtsbezogen bewertet und behandelt werden, d.h. Unterschiede zwischen Volumen in Kubikmetern und Gewicht in Tonnen bestehen praktisch nicht.

Der **pH-Wert** von Gärprodukten fällt mit mittleren Werten von 8,3 (Schwankungsbreite 8,0 - 8,8) recht hoch aus, durchweg statistisch gesichert höher als in Güllen mit im Mittel 7,3 (Schwankungsbreite 7,0 - 8,0). Ursache ist auch hier der Abbau von organischer Trockenmasse im Verlauf des Gärprozesses, in dessen Folge es zu einer vermehrten Freisetzung von Kalziumionen kommt. Bei Gärprodukten besteht deshalb eine höhere Gefahr der Ammoniakausgasung als bei Güllen. Unterschiede zwischen Anlagentypen und auch in Abhängigkeit von der Tierart bestehen in der Regel nicht. Auffällig ist die relativ geringe Streubreite der pH-Werte von Gärprodukten im Vergleich zu Güllen, auch bezogen auf die einzelne Anlage im Zeitverlauf. Eine Bewertung der Gärprodukte anhand von Mittelwerten führt deshalb kaum zu Fehlbeurteilungen.

Die Gehalte der Gärprodukte an **organischer Substanz (OS)** bewegen sich im Mittel um 50 - 55 kg/t FM (Schwankungsbreite 35 - 65 kg/t FM). Dabei weisen Materialien aus NawaRo-Anlagen in der Tendenz höhere Gehalte auf als aus Bioabfallanlagen. Güllen enthalten mit 70 - 80 kg/t FM gesichert höhere OS-Gehalte als Gärprodukte. Bezogen auf Tierartengruppen fallen die OS-Gehalte aus Anlagen mit Schweinegülle mit etwa 40 kg/t FM deutlich und gesichert

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Güllen
C 1.4	Abschließende Bewertung zu Wert- und Nährstoffen

niedriger aus als in Rinderanlagen mit etwa 55 kg/t FM. Bei den übrigen Tierartengruppen sind keine relevanten Unterschiede zu Gärprodukten aus Rinderanlagen festzustellen. In der einzelnen Biogasanlage schwanken die OS-Gehalte im Zeitverlauf in gleicher Größenordnung wie die TM-Gehalte (siehe oben).

Das **C/N-Verhältnis** von Gärprodukten fällt mit etwa 6,0 - 6,5/1 (Schwankungsbreite etwa 5,0 - 7,5/1) deutlich und statistisch gesichert niedriger aus als in Güllen (im Mittel 10 - 11/1). Bei der Verwertung von Gärprodukten ist deshalb mit einer zügigeren N-Mineralisierung zu rechnen, die sich positiv auf die N-Düngeeffizienz auswirken dürfte. Bioabfallanlagen zeigen mit im Mittel 5,0 - 5,5/1 noch günstigere Werte als NawaRo-Anlagen, sehr wahrscheinlich bedingt durch die im Vergleich zu NawaRo-Pflanzen höheren N-Anteile der eingesetzten Bioabfälle. Bezogen auf Tierartengruppen ist bei Gärprodukten aus Schweineanlagen im Vergleich zu Rinderanlagen mit gesichert niedrigeren C/N-Verhältnissen (im Mittel 5,0 - 5,5/1) zu rechnen. Für die einzelne Anlage beträgt die Schwankungsbreite um den Anlagen-Mittelwert im Zeitverlauf im Mittel etwa 10 - 15 % mit Maximalwerten um 30 - 35 %.

Die Zufuhr an **basisch wirksamer Substanz (BWS)** mit Gärprodukten fällt im Mittel mit etwa 3,5 - 4,0 kg CaO/t FM (Schwankungsbreite etwa 2,5 - 4,5 kg/t FM) relativ gering aus. Zwischen den Anlagentypen NawaRo und Bioabfall bestehen dabei angesichts der Streuung keine Unterschiede. Güllen verfügen mit im Mittel etwa 3,0 kg CaO/t FM über gering niedrigere BWS-Anteile, die Unterschiede sind aber bedingt durch die Streuung nicht gesichert. Bezogen auf Tierartengruppen verfügen Gärprodukte aus Rinder- und viehlosen Anlagen mit etwa 3,5 - 4,2 kg CaO/t FM über höhere BWS-Anteile als Produkte aus Schweineanlagen mit 2,5 - 3,0 kg CaO/t FM. Allerdings ist, unabhängig von den vorgenommenen Differenzierungen, kaum mit einer messbaren Kalkwirkung bei der landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten zu rechnen. Bei Gaben von 30 t/ha FM würde nur etwa 1 dt/ha CaO ausgebracht, eine Kalkmenge, die den pH-Zustand des Bodens kaum beeinflussen kann. Erste Belege dazu haben die Gefäßversuche mit Gärprodukten erbracht (vgl. Punkte C 3.1.4 und C 3.2.4).

C 1.4.2 Gesamtgehalte und lösliche Anteile an Nährstoffen

Gärprodukte enthalten erhebliche **Gesamtgehalte an Stickstoff** von im Mittel 4 - 5 kg/t FM, die in der Regel aus Gründen einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz den begrenzenden Faktor für die Höhe der Gärproduktgaben bilden (vgl. auch Punkt C 1.6.2). Ca. 55 - 65 % des N-Gesamtgehaltes liegt als Ammonium-N vor. Zwischen den Anlagentypen bestehen bei beiden Stickstoff-Komponenten keine Unterschiede. Im Vergleich zu Güllen fallen die N-Gesamtgehalte etwa 20 %, die Ammonium-N-Gehalte sogar 50 - 60 % höher aus (statistisch gesichert), eine deutliche Wertsteigerung, die durch die Zufuhren an N-reichen NawaRo-Materialien zu erklären sind. Im Vergleich zur Tiergruppe „Rinder“ zeigen die Stickstoff-Gesamtgehalte der Gruppen „Schweine“ und „viehlos“ im Mittel keine Unterschiede. Lediglich die Gruppe „übrige“ verfügt über leicht erhöhte Gehalte. Bei beiden Parametern ist jedoch die große Streuung der Einzelwerte zu beachten, die im Einzelfall keine zuverlässige Aussage anhand der Mittelwerte zulässt.

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gülle
C 1.4	Abschließende Bewertung zu Wert- und Nährstoffen

Die **Gesamtgehalte an Phosphor** bewegen sich im Mittel um 1,5 - 2,0 kg/t FM und damit in Größenordnungen einer düngerelevanten Phosphorzufuhr. Unterschiede bestehen dabei weder hinsichtlich der Anlagentypen noch zu Gülle bzw. zwischen den Tierartengruppen.

Die **Gesamtgehalte an Kalium** weisen mit im Mittel 4,5 - 5,5 kg/t FM eine ähnliche Größenordnung auf wie die N-Gesamtgehalte. Sie können damit bei hohen pflanzenverfügbaren Kaliumgehalten im Boden (Versorgungsgruppen D und E) - ähnlich wie bei Stickstoff - den begrenzenden Faktor der Gärproduktgaben bilden. Die Gärprodukte aus Bioabfallanlagen unterschreiten mit knapp 4 kg/t FM die Gehalte von NawaRo-Anlagen deutlich. Auch die Güllegehalte liegen etwa 20 % unterhalb der Gehalte der Gärprodukte, sicher bedingt durch das in der Regel Kalium-reiche NawaRo-Material der Gärprodukte. Bezogen auf Tierartengruppen bewegen sich die Gärproduktgehalte aus Schweineanlagen auf ähnlichen Niveau wie die Güllegehalte, nämlich etwa 20 % unter den Werten von Rinderanlagen. Bei den Gruppen übrige Tierarten und viehlose Anlagen bestehen, auch angesichts der Streuung der Einzelwerte, keine Unterschiede zu Rinderanlagen.

Mittlere **Magnesium-Gesamtgehalte** von Gärprodukten betragen etwa 0,6 - 1,0 kg/t FM. Praktisch relevante Unterschiede bestehen weder zwischen Anlagentypen noch zu Gülle bzw. bezüglich der Tierartengruppen. Die **Gesamtgehalte an Kalzium** belaufen sich im Mittel auf 1,8 - 2,4 kg/t TM. Praktisch zu berücksichtigende Unterschiede bestehen weder zwischen Anlagentypen noch zu Gülle. Ähnlich wie bei Kalium fallen auch die Ca-Anteile der Gärprodukte in der Gruppe „Schweine“ niedriger aus als bei Rindern, während bei den übrigen Gruppen keine Unterschiede bestehen.

Die **Schwefel-Gesamtgehalte** sind mit mittleren Werten von 0,30 - 0,35 kg/t FM im Vergleich zu den übrigen Nährstoffen als relativ niedrig einzustufen. Ähnlich wie bei Phosphor bestehen keine Unterschiede hinsichtlich der Anlagentypen, zwischen Gärprodukten und Gülle sowie zwischen den Tierartengruppen.

Um die **zeitliche Schwankung der Nährstoff-Gesamtgehalte in der einzelnen Anlage** abzuschätzen, können folgende relativen Streuungen um den Anlagenmittelwert herangezogen werden:

Mittlere Streuungen für Stickstoff, Ammonium-N, Kalium und Schwefel - etwa 10 - 15 %, maximal 30 - 50 %. Mittlere Streuungen für Phosphor, Magnesium und Kalzium - etwa 20 - 25 %, maximal 50 - 60 %.

Für **Nährstoffkalkulationen im Rahmen der Düngebilanz** sind durchweg die relativ großen Streuungen zu beachten, mit denen die mittleren Wertebereiche der Nährstoff-Gesamtgehalte behaftet sind. Sie betragen für die untersuchten Gärprodukte etwa 30 - 40 % bei Stickstoff, Ammonium-N, Kalium und Schwefel sowie etwa 40 - 50 % bei Phosphor und Magnesium. Die mittleren Bereiche sind damit strenggenommen nur geeignet, um die *Größenordnung* der Nährstoffanteile von Gärprodukten abzuschätzen. Für die einzelne Anlage ist zu empfehlen, in Abständen Einzeluntersuchungen durchzuführen, um mit diesen Anlagen-bezogenen Daten zu gewährleisten, dass Fehlkalkulationen vermieden werden.

Mit den analytisch ermittelten **löslichen Nährstoffanteilen** ist es möglich, die Pflanzenverfügbarkeit und damit die Düngeneffizienz der Nährstoff-Gesamtzufuhren aus Gärprodukten abzu-

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.5	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten

schätzen. Dabei kann von folgenden mittleren löslichen Nährstoffanteilen, relativ zu den Nährstoff-Gesamtgehalten ausgegangen werden:

Relativ gute Löslichkeiten bei Stickstoff mit 50 - 60 %, Ammonium-N mit 80 - 90 %, Phosphor mit 60 - 70 % und vor allem Kalium mit 100 %, geringe Löslichkeit bei Magnesium mit unter 20 %. Deutliche Unterschiede zwischen den Anlagentypen sind angesichts der Streuung der Einzelwerte, vor allem bei Phosphor und Kalium, nicht festzustellen.

C 1.5 Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten

C 1.5.1 Schwermetalle

Die Gehalte der Gärprodukte an Schwermetallen fallen, wie die Auswertung aller Proben des Zeitraumes 2005/2006 zeigt (vgl. Tabelle 15 sowie Anlage 1, Tabelle 12), mit Ausnahme von Cu und Zn allgemein niedrig aus.

Die unerwünschten Schwermetalle (Pb, Cd, Cr, Ni, Hg) schöpfen die Grenzwerte der Bioabfall-Verordnung allgemein nur gering aus (vgl. Abbildung 12). Die Gehalte an Pb und Hg bewegen sich deutlich unter 5 %, die Gehalte an Cr und Ni im Mittel um 9 - 15 %, der Cd-Anteil um 17 % der Grenzwerte. Auch im ungünstigen Fall (90. Quantil der Stichprobe) wird ein Ausschöpfungsgrad von 25 % der Grenzwerte weit überwiegend unterschritten. Im Vergleich zu NawaRo-Anlagen ist bei Bioabfallanlagen mit leicht erhöhten Gehalten an Cd, Cr und Ni zu rechnen. Insgesamt sind diese Gehalte jedoch als unbedenklich einzustufen. Bei Ausbringung üblicher Gaben an Gärprodukten bewegen sich die entsprechenden Frachten in sehr niedrigen Bereichen, so dass Anreicherungen der Bodengehalte, die aus Sicht des Bodenschutzes bedenklich wären, praktisch ausgeschlossen sind.

Tabelle 15 Schwermetalle in Gärprodukten

Ergebnisse der Übersichtsuntersuchungen Baden-Württemberg 2005/2006,
Größe der Stichprobe: 130 Proben, davon 111 aus NawaRo- und 19 aus Bioabfallanlagen

Parameter		Mittelwerte		Quantile			
		arith. Mittel	Median	10.	20.	80.	90.
<i>Schwermetallgehalte in mg/kg TM</i>							
Blei	Pb	2,9	2,2	1,3	1,5	3,4	4,4
Cadmium	Cd	0,26	0,24	0,16	0,18	0,34	0,39
Chrom	Cr	9,0	8,0	5,2	5,9	11,0	13,9
Nickel	Ni	7,5	7,0	4,5	5,3	9,5	11,9
Kupfer	Cu	69	47	30	34	74	129
Zink	Zn	316	265	156	184	405	591
Quecksilber	Hg	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04

Erläuterungen: vgl. Tabelle 12

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Güllen
C 1.5	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten

Deutlich höhere Gehalte sind allerdings bei Cu und Zn zu verzeichnen. Sie sind in erster Linie auf die hohen Gehalte in Güllen und dort wiederum auf die Zufütterung dieser Spurenelemente bei der Schweinemast, aber auch der Rinderfütterung zurückzuführen. Im Mittel werden die Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung bei beiden Schwermetallen eingehalten. Ihre Ausschöpfung beträgt bei Cu knapp 70 %, bei Zn im Mittel der gesamten Stichprobe knapp 80 %. Sie fällt aber in Proben aus Bioabfallanlagen häufig etwas höher aus. Im ungünstigen Fall (90. Quantil) werden die Grenzwerte deutlich überschritten, bei Cu um etwa 30 %, bei Zn sogar um bis zu 50 %. Im Extrem (Maximum) wurden Cu-Gehalte um 500 mg/kg TM bzw. Zn-Gehalte um 1.400 mg/kg TM festgestellt, die die Grenzwerte von 100 bzw. 400 mg/kg TM um Größenordnungen übersteigen (vgl. Anlage 1, Tabelle12).

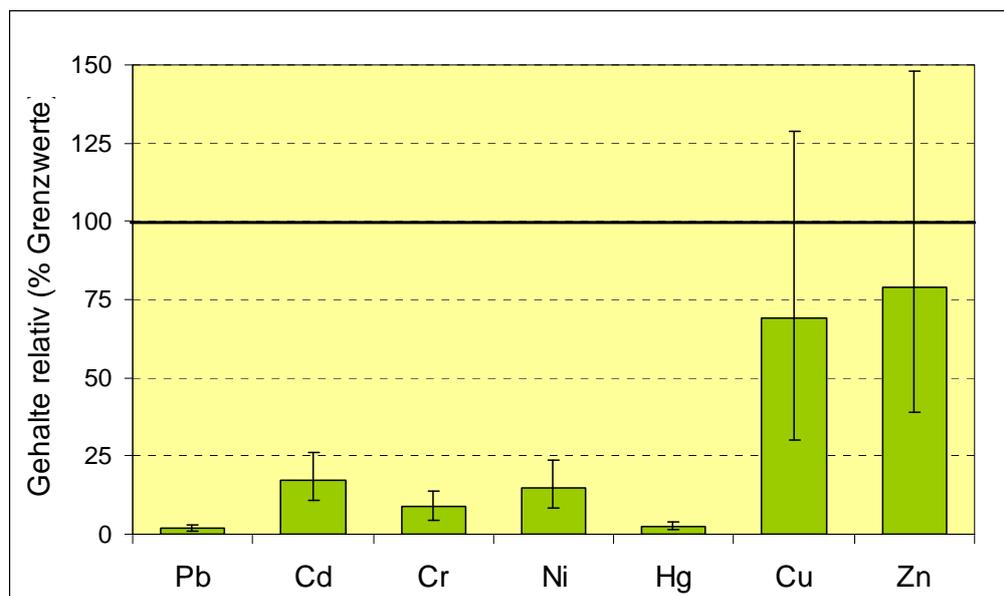


Abbildung 12 Schwermetallgehalte von Gärprodukten: Ausschöpfung der Grenzwerte der Bioabfall-Verordnung (= 100 %) für Gaben von 20 t/ha TM im 3jährigen Turnus Stichprobe 130 Proben (111 NawaRo, 19 Bioabfall)

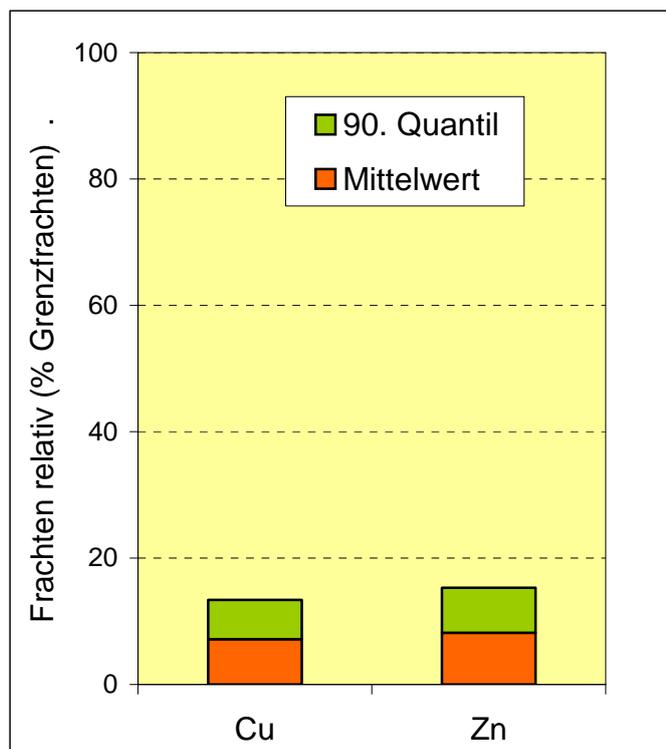
Im Unterschied zu Komposten und ähnlichen Sekundärrohstoffen, die bei Überschreitung der Schwermetall-Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung in der Landwirtschaft nicht verwertet werden können, bilden zu hohe Cu- und Zn-**Gehalte** in Gärprodukten keinen Hinderungsgrund für deren landbauliche Anwendung, weil sich die damit verbundenen Cu- und Zn-**Frachten** weit unterhalb der Grenzfrachten lt. Bioabfall-Verordnung bewegen (vgl. Abbildung 13).

Bedingt durch die hohen Nährstoffgehalte sind Gaben an Gärprodukten aus pflanzenbaulichen Erfordernissen (Gewährleistung ausgeglichener Nährstoffsalden) auf etwa 30 t/ha FM begrenzt. Mit Gaben von 30 t/ha FM werden im Mittel nur Mengen an Trockenmasse von etwa 2,0 - 2,5 t/ha ausgebracht, die die zulässigen Maximalgaben lt. Bioabfall-Verordnung von 20 bzw. 30 t/ha TM um den Faktor 10 unterschreiten. Selbst bei deutlicher Überschreitung der Grenzwerte für Cu- und Zn-**Gehalte** bewegen sich deshalb die damit verbundenen **Frachten**, auch im ungünstigen Fall (90. Quantil), deutlich unterhalb 20 % der zulässigen Grenzfrachten der Bioabfall-Verordnung. Selbst bei den o.g. Maximalgehalten in Gärprodukten von 500 mg Cu/kg TM bzw. um 1.400 Zn mg/kg TM werden die Grenzfrachten noch deutlich unterschritten.

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.5	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten

Eine Anhebung der Cu- und Zn-Gehalte im Boden durch regelmäßige Anwendung von Gärprodukten ist demnach objektiv ausgeschlossen, d.h. die Belange des vorsorgenden Bodenschutzes sind gewährleistet. Zudem ist zu berücksichtigen, dass beide Schwermetalle als *essentielle Spurennährstoffe* für die ausreichende Versorgung der Pflanzen von Bedeutung sind. Auf Ackerböden, die mit beiden Spurennährstoffen eventuell nicht ausreichend versorgt sind, kann eine Zufuhr über Gärprodukte als Düngungsmaßnahme deshalb sogar erwünscht sein.

Abbildung 13
Cu- und Zn-Frachten von Gärprodukten:
Ausschöpfung der Grenzfrachten lt. Bioabfallverordnung für Gaben von 20 t/ha TM im 3jährigen Turnus
Stichprobe 130 Proben
(111 NawaRo, 19 Bioabfall)



C 1.5.2 Fremdstoffe und Steine sowie Unkrautsamen/ austriebsfähige Pflanzenteile

Die Gehalte an **Fremdstoffen >2 mm** in Gärprodukten fallen sehr niedrig aus (vgl. Tabelle 16 sowie Anhang 1, Tabelle 13). Sie schöpfen den Grenzwert lt. Bioabfall-Verordnung von 0,5 % TM im arithmetischen Mittel zu weniger als 10 % aus. Die schiefe Verteilung der Einzelwerte - Median bei 0,000 % TM sowie messbare Werte erst ab dem 95. Quantil - belegt, dass die übergroße Mehrheit der Proben keine Fremdstoffe aufwies und nur im Einzelfall (Maximum) eine Überschreitung des Grenzwertes auftrat. Noch günstiger ist das Ergebnis bei den Gehalten an **Steinen >5 mm**. Sie unterschreiten den Grenzwert von 5 % TM um Größenordnungen. Beide unerwünschten Stoffe sind damit in Gärprodukten nachweislich unproblematisch.

Bei der **Anzahl keimfähiger Samen/austriebsfähiger Pflanzenteile** wird der Grenzwert lt. Bioabfall-Verordnung von 2 Samen/L FM in der Regel (Median) eingehalten. Etwa 60 - 70 % aller untersuchten Gärprodukte wiesen keine keimfähigen Samen auf. Der Rest zeigte allerdings - teilweise deutliche - Überschreitungen. Ursache dafür ist mit großer Wahrscheinlichkeit die häufig nicht ausreichende Hygienisierung der Gärprodukte in einzelnen Biogasanlagen.

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.5	Unerwünschte Stoffe in Gärprodukten

Tabelle 16 Gehalte an Fremdstoffen und Steinen sowie Unkrautsamen/austriebsfähigen Pflanzenteilen in Gärprodukten

Ergebnisse der Übersichtsuntersuchungen Baden-Württemberg 2005/2006,
Größe der Stichprobe: 130 Proben, davon 111 aus NawaRo- und 19 aus Bioabfallanlagen

Parameter		Mittelwerte		Quantile und Maximum			Grenzwert
		arith. Mittel	Median	80.	95.	Maximum	
Fremdstoffe > 2 mm	% TM	0,028	0,000	0,000	0,075	2,0	0,5
Steine > 5 mm	% TM	0,01	0,00	0,00	0,00	0,70	5,0
Unkrautsamen	A ¹ /l FM	2,2	1,0	4,0	8,0	13,0	2,0

Erläuterungen: ¹ A/l FM - Anzahl/Liter FM, weitere vgl. Tabelle 12

C 1.5.3 Abschließende Bewertung zu unerwünschten Stoffen

Die Übersichtsuntersuchung an 130 Gärproduktproben hat gezeigt, dass die **Schwermetallgehalte** von Gärprodukten insgesamt kein Problem bilden. Die unerwünschten Schwermetalle (Pb, Cd, Cr, Ni, Hg) schöpfen die Grenzwerte lt. Bioabfallverordnung im Mittel nur zu 10 - 15 % aus. Selbst im ungünstigen Fall, d.h. bei Einbeziehung von 90 % aller Proben, wurden nur maximal 25 % der Grenzwerte erreicht. Die unerwünschten Schwermetalle bewegen sich damit in Gärprodukten auf einem erfreulich niedrigen Niveau, die Einhaltung der Grenzwerte ist im Regelfall zuverlässig gewährleistet.

Bei den deutlich höheren Gehalten an Cu und Zn, die auf die hohen Gehalte in Gällen, bedingt durch die Zufütterung dieser Spurenelemente, zurückzuführen sind, werden die Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung im Mittel eingehalten. Ihre Ausschöpfung beträgt bei Cu knapp 70 %, bei Zn im Mittel der gesamten Stichprobe knapp 80 %. Im ungünstigen Fall (90 % aller Proben) kommen jedoch Grenzwertüberschreitungen vor, bei Cu um etwa 30 %, bei Zn sogar um bis zu 50 %. Im Ausnahmefall (Maximum) sind noch höhere Überschreitungen möglich.

Im Unterschied zu Komposten und ähnlichen Sekundärrohstoffen, die bei Überschreitung der Schwermetall-Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung in der Landwirtschaft nicht verwertet werden können, bilden zu hohe Cu- und Zn-**Gehalte** in Gärprodukten jedoch keinen Hinderungsgrund für deren landbauliche Anwendung, weil sich die damit verbundenen Cu- und Zn-**Frachten** weit unterhalb der Grenzfrachten lt. Bioabfall-Verordnung bewegen. Das liegt an den geringen Trockenmassenmengen, die mit regulären Gärproduktgaben verbunden sind. Sie bewegen sich um den Faktor 10 unter den Höchstgaben der Bioabfall-Verordnung von 20 bzw. 30 t/ha TM. Dadurch fallen die Cu- und Zn-Frachten sehr niedrig aus, so dass nicht einmal bei Maximalgehalten die gesetzlichen Grenzfrachten erreicht werden.

Eine Anhebung der Cu- und Zn-Gehalte im Boden durch regelmäßige Anwendung von Gärprodukten ist unter diesen Bedingungen objektiv ausgeschlossen, d.h. die Belange des vorsorgenden Bodenschutzes sind gewährleistet. Zudem ist zu berücksichtigen, dass beide Schwer-

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.6	Wert- und Nährstofffrachten in Gärprodukten und ihre Bedeutung ...

metalle gleichzeitig als *essentielle Spurennährstoffe* für die ausreichende Versorgung der Pflanzen von Bedeutung sind. Auf Ackerböden, die mit diesen Spurennährstoffen nicht ausreichend versorgt sind, kann eine Zufuhr über Gärprodukte als Düngungsmaßnahme deshalb sogar erwünscht sein.

Die **Gehalte an Fremdstoffen und Steinen** unterschreiten die Grenzwerte lt. Bioabfall-Verordnung in der Regel um Größenordnungen. Beide unerwünschten Stoffe sind damit in Gärprodukten nachweislich unproblematisch.

Bei der **Anzahl keimfähiger Samen/austriebsfähiger Pflanzenteile** wird der Grenzwert lt. Bioabfall-Verordnung von 2 Samen/L FM in der Regel eingehalten. Allerdings kann es, wie einzelne Gärproduktproben der Stichprobe belegten, zu Überschreitungen des Grenzwertes kommen. Als Ursache dafür ist mit großer Wahrscheinlichkeit die häufig nicht ausreichende Hygienisierung der Gärprodukte in einzelnen Biogasanlagen anzusehen.

C 1.6 Wert- und Nährstofffrachten von Gärprodukten und ihre Bedeutung für die Humus-, Kalk- und Düngebilanz

Mit den nachfolgenden Bewertungen wird versucht, die Wert- und Nährstofffrachten mit pflanzenbaulich geeigneten Gaben von Gärprodukten im Verhältnis zum Bedarf der Böden an Humus und Kalk und der angebauten Pflanzen an düngewirksamen Nährstoffen *in der Größenordnung* zu bilanzieren (Bildung von Salden). Für die Kalkulation der Frachten werden die Mittelwerte der Wert- und Nährstoffgehalte der Gesamtstichprobe der Übersichtsuntersuchung von 249 Gärproduktproben sowie eine mittlere bis hohe pflanzenbaulich geeignete Gabe an Gärprodukten von 30 t/ha FM zugrundegelegt.

Exakte und detailliertere Saldierungen, die die teilweise erheblichen Schwankungen der Einzelwerte um die angegebenen mittleren Bereiche, mögliche Nährstoffverluste (z.B. bei Stickstoff) und Unterschiede hinsichtlich der Gruppierungen der Gärprodukte nach Anlagentypen und Tierarten, daneben auch abweichende Gabenhöhen der Gärprodukte in Anhängigkeit vom Düngebedarf der Pflanzen berücksichtigen, sind nicht Gegenstand des vorliegenden Berichtes. Eine realistische Bewertung der Düngeeffizienz von Gärprodukten ist zudem nur mit Hilfe mehrjähriger wissenschaftlicher Feldversuche möglich. Die dargestellten Saldierungen können dazu erste Anhaltspunkte liefern und Richtwerte für den praktischen Einsatz der Gärprodukte in der Landwirtschaft bereitstellen, die künftig zu präzisieren sind.

C 1.6.1 Organische Substanz und basisch wirksame Substanz (BWS)

Die Gehalte der Gärprodukte an **organischer Substanz (OS)** bewegen sich, wie die Übersichtsuntersuchung gezeigt hat (vgl. Punkt C 1.4.1 sowie Anhang 1, Tabelle 1), im Mittel um 50 kg/t FM (Schwankungsbreite 35 - 65 kg/t FM). Das entspricht einem mittleren Kohlenstoff(C)-Gehalt⁷ von etwa 30 kg/t FM.

⁷ bezogen auf einen mittleren Kohlenstoff(C)anteil der organischen Substanz von 58 %

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.6	Wert- und Nährstofffrachten in Gärprodukten und ihre Bedeutung ...

Legt man eine mittlere, am Stickstoff(N)-Düngebedarf orientierte Gärproduktgabe von 30 t/ha FM zugrunde, dann werden damit im Mittel etwa 0,8 -1,0 t/ha Kohlenstoff(C) ausgebracht (vgl. Abbildung 14). Davon werden nach bisherigen Erfahrungen (BGK, 2005) nur etwa 20 - 30 %, d.h. im Mittel 0,25 - 0,30 t/ha Humus-reproduzierbar wirksam.

Diese relativ geringen Kohlenstoffzufuhren reichen, wie Abbildung 14 anschaulich zeigt, in der Regel nicht aus, um den Humusbedarf von Böden vollständig zu decken. Nur bei geringem Bedarf, d.h. bei schon optimalen Humusgehalten des Bodens und geringer Humuszehrung der angebauten Fruchtarten, ist der Saldo im günstigen Fall etwa ausgeglichen. Bei höherem

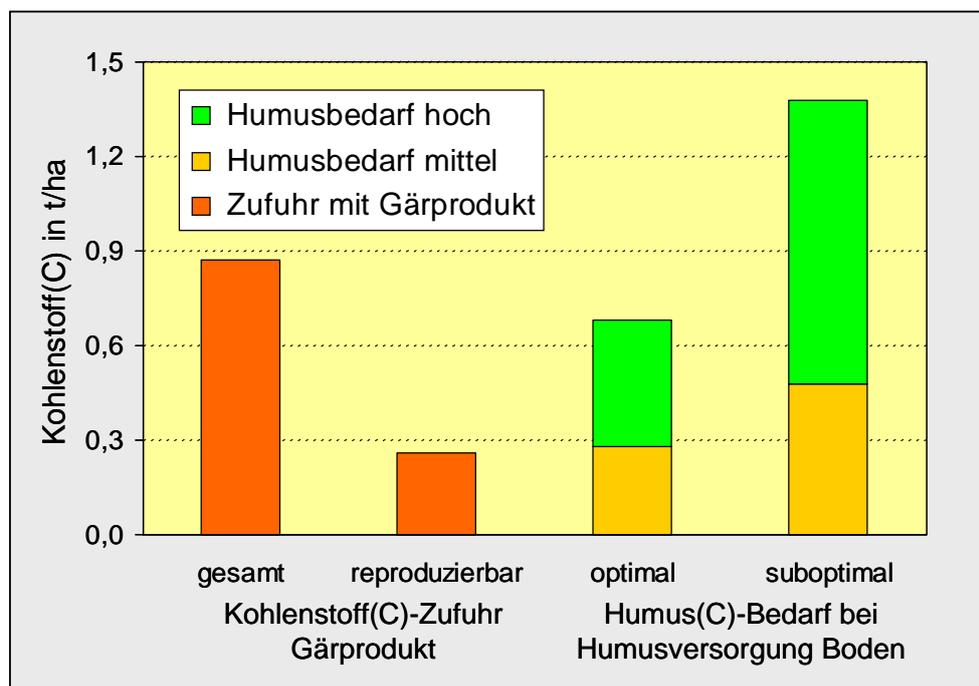


Abbildung 14 Größenordnung des jährlichen Saldos zwischen Kohlenstoff(C)-Zufuhr mit Gärproduktgaben von 30 t/ha FM und dem Humusbedarf des Bodens bei optimaler bzw. suboptimaler Versorgung

Grundlagen: Kohlenstoff(C)-Zufuhr mit Gärproduktgabe von 30 t/ha FM:

Mittelwerte bei Kohlenstoff(C)-Gehalt der organischen Substanz von 58 %, davon reproduzierbarer, d.h. Humus-wirksamer C-Anteil der C-Gesamtzufuhr = 30 %

Humus(C)-Bedarf bei Fruchtfolgerotation (Beispiele):

mittel - Körner-Mais/Getreide
hoch - Silo-Mais bzw. Zuckerrüben/Getreide

Humusversorgung des Bodens:

optimal - nur Ersatz der Humuszehrung der Fruchtfolge
suboptimal - Unterversorgung des Bodens, zusätzlicher Bedarf zur Humuszehrung der Fruchtfolge

Bedarf und vor allem bei einer schon erfolgten Humusverarmung des Bodens (suboptimale Humusgehalte) kann mit Gärprodukten bestenfalls nur ein Beitrag zum Ausgleich der Humusbilanz des Bodens geleistet werden. Gärprodukte sind also, im Unterschied zu Komposten (vgl. ANONYM, 2008), nicht geeignet, die Humusbilanz nachhaltig zu verbessern.

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.6	Wert- und Nährstofffrachten in Gärprodukten und ihre Bedeutung ...

Die Zufuhr an **basisch wirksamer Substanz (BWS)** mit Gärprodukten fällt, wie die Übersichtsuntersuchung gezeigt hat (vgl. Punkt C 1.4.1 sowie Anhang 1, Tabelle 1) im Mittel mit etwa 3,5 - 4,0 kg CaO/t FM (Schwankungsbreite etwa 2,5 - 4,5 kg/t FM) relativ gering aus. Bei diesen Gehalten ist kaum mit einer messbaren Kalkwirkung zu rechnen. Mit Gärproduktgaben von 30 t/ha FM würde nur etwa 1 dt/ha CaO ausgebracht, eine Kalkmenge, die den pH-Zustand des Bodens kaum beeinflussen kann. Das belegen auch die ersten Ergebnisse aus Gefäßversuchen (vgl. Punkt C 3).

C 1.6.2 Nährstoffe

Bei Gärproduktgaben von 30 t/ha FM fallen die damit verbundenen mittleren Nährstofffrachten erheblich aus. Die Größenordnungen der **mittleren jährlichen Nährstoffsalden** aus Nährstoffzufuhr mit Gärprodukten und den Nährstoffabfuhr bei mittleren bzw. hohen Nährstoffzügen sind dabei wie folgt einzuschätzen (vgl. Abbildung 15):

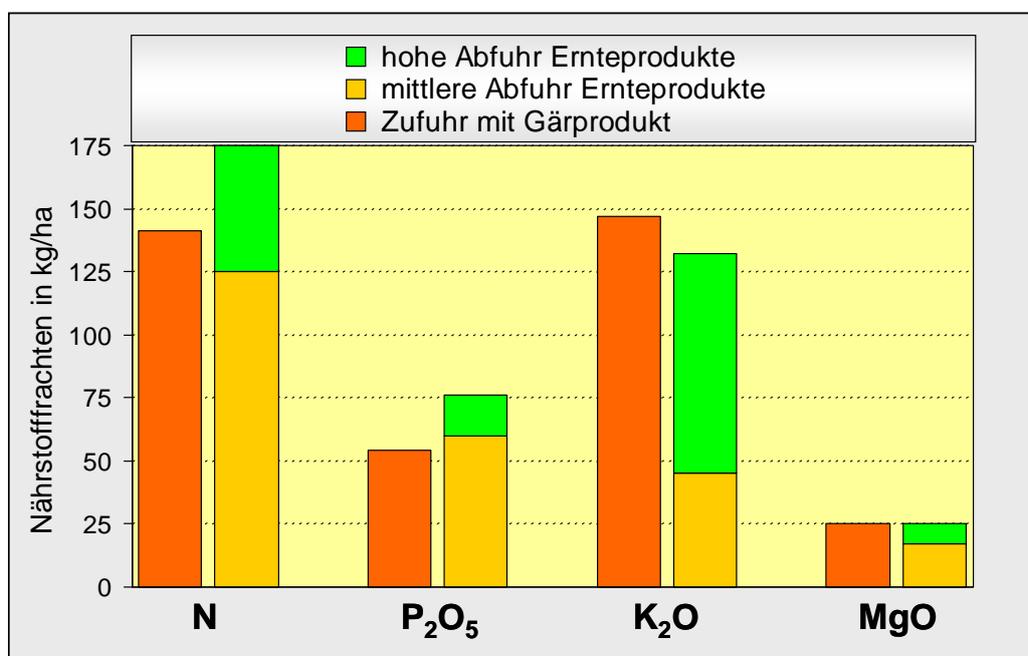


Abbildung 15 Größenordnung des jährlichen Saldos zwischen Nährstoffzufuhr mit Gärproduktgaben von 30 t/ha FM und den Nährstoffabfuhr der Ernteprodukte

Grundlagen: Nährstoffzufuhren mit Gärproduktgaben von 30 t/ha FM: Mittelwerte der Übersichtsuntersuchungen von Gärprodukten, bezogen auf *Gesamtgehalte* der Nährstoffe
 Nährstoffabfuhr mit Ernteprodukten: Mittelwerte der Ernteprodukte (ohne Stroh) von Fruchtfolgen mit mittleren Abfuhr (z.B. Körner-Mais/Getreide) bzw. hohen Abfuhr (z.B. Silo-Mais bzw. Zuckerrüben/Getreide)

Der Stickstoff(N)-Saldo ist - bezogen auf die N-Gesamtzufuhr - bei mittleren Abfuhr der Ernteprodukte schwach negativ bis ausgeglichen. Bei hohen Abfuhr kann der Stickstoffbedarf der Kultur per Saldo nicht mehr voll gedeckt werden. Von der N-Gesamtzufuhr wird nach bisherigen Erfahrungen (vgl. Punkt C 3 sowie ANONYM, 2007) nur der Ammonium-N-Anteil, der bei

C	Ergebnisse
C 1	Pflanzenbaulich relevante Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Gällen
C 1.6	Wert- und Nährstofffrachten in Gärprodukten und ihre Bedeutung ...

Gärprodukten etwa 60 % des N-Gesamtgehaltes beträgt (vgl. (vgl. Anhang 1, Tabelle 2), kurzfristig voll düngewirksam. Aber auch bei dem restlichen, vorwiegend organisch gebundenen N-Anteil ist angesichts des engen C/N-Verhältnisses (vgl. Punkt C 1.1) mit einer zügigen Mineralisierung und mittelfristig guten N-Düngewirkung zu rechnen. Insgesamt wird damit die N-Zufuhr, auch ausgehend von der guten Löslichkeit des N-Gesamtanteiles (vgl. Punkt C 1.3), zum wesentlichen *begrenzenden Faktor der Gärproduktgabe*.

Auch der Phosphor(P_2O_5)-Saldo fällt - ähnlich wie der Stickstoff(N)-Saldo - im Mittel überwiegend ausgeglichen (mittlere Abfuhr) bis schwach negativ (hohe Abfuhr) aus. Infolge der relativ guten Löslichkeit der zugeführten Phosphoranteile (vgl. Punkt C 1.3) ist - wie erste Untersuchungen im Gefäßversuch gezeigt haben (vgl. Punkte C 3.1.3 und C 3.2.3) - mit einer guten Düngewirkung zu rechnen.

Mit Gärproduktgaben werden erhebliche Kaliumanteile zugeführt, so dass der Kalium(K_2O)-Saldo meist positiv ausfällt, besonders hoch bei nur mittleren Kaliumabfuhr. Angesichts der vollen Löslichkeit (100 % gemäß Punkt C 1.3) der Kaliumanteile in Gärprodukten ist mit einer sehr guten Düngewirksamkeit ähnlich der von regulären mineralischen Kaliumdüngern zu rechnen. Die Kaliumzufuhr kann damit gleichfalls zum begrenzenden Faktor der Gärproduktgabe werden, insbesondere wenn die Ackerböden schon über hohe bzw. sehr hohe Kaliumgehalte (Versorgungsgruppe D bzw. E) verfügen.

Der Magnesium(MgO)-Saldo fällt im Mittel überwiegend ausgeglichen aus, im Unterschied zur landbaulichen Kompostanwendung, bei der stets mit einem hohen Positivsaldo zu rechnen ist (ANONYM, 2008).

Abschließend zeigt die Saldierung der Nährstoffe, dass mit Gaben an Gärprodukten von 30 t/ha FM im Mittel vor allem bei Stickstoff, aber auch bei Kalium Grenzen erreicht werden, die lt. Dünge-Verordnung (BUNDESGESETZBLATT, 2007) eingehalten werden müssen, um im Interesse des Boden und Gewässerschutzes mittelfristig ausgeglichene Nährstoffsalden zu gewährleisten. Bedingt durch die allgemein gute Löslichkeit der Nährstoffzufuhren, besonders bei Kalium, aber auch bei Stickstoff, sind sie in der Düngebilanz grundsätzlich voll anzurechnen. Angesichts der relativ großen Streuung der Einzelwerte um die diskutierten mittleren Bereiche der Übersichtsuntersuchung ist zu empfehlen, mit den Mittelwerten nur die Größenordnung der Nährstoffzufuhren abzuschätzen, jedoch für ihre genauere Erfassung in der betrieblichen Nährstoff- und Düngebilanz Einzeluntersuchungen der Gärprodukte einer Biogasanlage zu veranlassen, um möglichst realistische Daten zu verwenden.

C	Ergebnisse
C 2	Mikrobiologische Parameter und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten
C 2.1	Salmonellen

C 2 Mikrobiologische Parameter und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten

Im Zeitraum von August 2005 bis Juni 2008 wurden 245 Gärprodukte auf Salmonellen und Clostridien untersucht. Ziel der Untersuchungen war es, den seuchenhygienischen Status von Gärprodukten zu bestimmen.

In der zweiten Hälfte der Untersuchungen, die von Februar 2007 bis Juni 2008 dauerte, wurde bei 115 Proben zusätzlich die Phytohygiene untersucht. Darüber hinaus wurde in diesem Zeitraum das Untersuchungsprogramm um weitere Probenarten (51 Güllen und 27 Sonderproben) und Zeitreihenuntersuchungen ergänzt, um epidemiologische Betrachtungen zu ermöglichen.

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse komprimiert dargestellt und bewertet. Einzelergebnisse vgl. Anhang 2.

C 2.1 Salmonellen

Salmonellen kommen ubiquitär vor, treten jedoch bei Mensch und Nutztier gehäuft auf. Die meisten der ca. 2.500 verschiedenen sog. Serotypen können bei einer bestimmten Aufnahmemenge zu Magen-Darm-Erkrankungen bis hin zu schweren Allgemeinerkrankungen führen.

Die Bestimmung der Salmonellen erfolgte nach Bioabfall-Verordnung -BioAbfV- (BUNDESGESETZBLATT, 1998). Es handelt sich dabei um ein qualitatives Nachweisverfahren mit Anreicherungs-schritten. Der Salmonellen-Befund gilt als der wichtigste Indikator für die seuchenhygienische Unbedenklichkeit einer Probe. Im Rahmen von Hygienisierungsmaßnahmen geht man bei negativem Befund davon aus, dass auch keine verwandten, analytisch schwieriger nachzuweisenden Krankheitserreger mehr vorhanden sind. Gleiches gilt für weitere Mikroorganismen mit ähnlicher Temperaturempfindlichkeit wie nicht-sporenbildende Bakterien sowie Pilze und Viren. Demgegenüber stehen Dauerstadien von Parasiten und sporenbildende Bakterien, die durch eine Hygienisierung praktisch nicht dezimiert werden können.

Zu Beginn der Untersuchungen zeigte sich, dass ca. ein Drittel der Proben (12 von 37) mit Salmonellen kontaminiert war. Als Ursache für diesen hohen Anteil wurden Verschleppungen vor Ort bei der Probenahme vermutet. Die Probenehmer wurden daraufhin instruiert, die Probenahmegeräte zu desinfizieren und Hygienemaßnahmen einzuhalten, woraufhin sich die Rate an Salmonellenbefunden deutlich reduzierte. Die fraglichen 37 Proben wurden daraufhin für die Endauswertung der Salmonellen nicht berücksichtigt.

Bei Einhaltung der Hygienemaßnahmen zeigt sich bei NawaRo-Anlagen ein Anteil von 3,2 % (6 von 190) Salmonella-positiver Proben gegenüber 11,1 % (2 von 18) bei Anlagen nach BioAbfV.

Unter dem Vorbehalt des geringen Stichprobenumfangs bei Anlagen nach BioAbfV bestätigt das Ergebnis die Erwartungen und es überrascht zugleich: Einerseits kann man bei den NawaRo-Anlagen aufgrund der überwiegend pflanzlichen Inputstoffe eine niedrigere Salmonellen-Belastung als bei Anlagen nach BioAbfV erwarten, andererseits sollten letztere aufgrund ihrer strengen Zulassungskriterien seuchenhygienisch besser abschneiden als NawaRo-

C	Ergebnisse
C 2	Mikrobiologische Parameter und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten
C 2.2	Clostridien

Anlagen. Diese werden oft bei mesophilen Temperaturen betrieben, wodurch eine sichere Hygienisierung nicht garantiert werden kann.

Die Quote Salmonellen-belasteter Proben liegt, wie jahrelange Erfahrungen am LTZ belegen, im üblichen Bereich wie bei anderen Sekundärrohstoffen.

Bei der Feintypisierung der nachgewiesenen Salmonellen wurde bei den Gärprodukten eine große Vielfalt von Salmonella-Serotypen festgestellt, nämlich S. Münster, S. Livingstone, S. Infantis, S. Typhimurium, S. Virchow und S. Kottbus.

In der zweiten Hälfte der Untersuchungen (2007/2008) wurde das Untersuchungsprogramm um Güllen und Sonderproben wie Festmist, Feststoffe, Fermenter-Überstände usw. ergänzt, um die Eintragsquellen von Salmonella-positiven Gärprodukten zu identifizieren und somit die Epidemiologie zu rekonstruieren. Der Verdacht lag nahe, dass die Salmonellen nicht über die nachwachsenden Rohstoffe sondern über die tierischen Ausscheidungen in den Prozess gelangten. Bei den Güllen wurden allerdings in keinem der 51 Proben Salmonellen nachgewiesen und bei den Sonderproben gab es nur einen Fall, nämlich S. Durban, der jedoch nicht in Verbindung mit einem positiven Gärprodukt gebracht werden konnte. Ein weitaus größerer Stichprobenumfang wäre notwendig gewesen, um bei der geringen Quote Salmonella-positiver Fälle die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, eine Infektionskette nachvollziehen zu können, aber dies gestaltet sich z.B. auch im tiermedizinischen Bereich äußerst schwierig. Zeitreihenuntersuchungen für epidemiologische Betrachtungen führten mangels positiver Proben zu keinen Ergebnissen.

C 2.2 Clostridien

Bei Clostridien handelt es sich um eine vielfältige Gruppe von Bakterien, die sich unter anaeroben Bedingungen vermehren. Hierzu gehören neben meist harmlosen Formen auch Krankheitserreger wie *Clostridium tetani* (Tetanus), *C. botulinum* (Botulismus) und *C. perfringens* (histotoxisch). Für die Bestimmung von Clostridien ist in der BioAbfV keine Methode vorgeschrieben. Gewählt wurde eine horizontale, quantitative Methode nach §64 LFGB (Nr. 00.06/39). Clostridien eignen sich als Hygieneindikator insofern als sie aufgrund ihrer Fähigkeit zur Sporenbildung sehr langlebig und widerstandsfähig gegen Außeneinflüsse sind. Eine typische Hygienisierungsprozedur (z. B. 1h, 70 °C) ist somit praktisch wirkungslos.

Da es in der Literatur wenig Anhaltspunkte für Keimzahlen von Clostridien in Gärprodukten gibt, sollte zunächst festgestellt werden, welche Spanne von Keimzahlen generell auftreten können, wie diese in Beziehung zu Güllen stehen, ob der Anlagentyp eine Rolle spielt und ob es einen Zusammenhang zu den Salmonellen gibt.

Die bei den Salmonellenuntersuchungen (Anreicherungsverfahren) fraglichen 37 Proben wurden bei der Auswertung der Clostridien (Keimzählmethode) nicht eliminiert, weil Verschleppungen durch Probenahmegeräte aus methodischen Gründen toleriert werden können und nicht ins Gewicht fallen.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Keimzahlen von Clostridien in Gärprodukten, Güllen und den Sonderproben (Feststoffe, diverse Überstände und Mischungen) logarithmisch normalverteilt sind (vgl. Abbildung 16). Die Verteilungen zeigen keinen Unterschied zwischen Gärproduk-

C	Ergebnisse
C 2	Mikrobiologische Parameter und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten
C 2.2	Clostridien

ten und Güllen. Die Sonderproben hingegen weisen leicht geringere Keimzahlen auf, was jedoch durch den geringeren Stichprobenumfang (27 Proben) rein statistisch bedingt sein könnte. Das Probenkollektiv hat einen Medianwert von 10.000 KBE/ml; 90 % (225 von 245) der Proben liegen zwischen 1.000 und 200.000 KBE/ml.

Zwischen den Probenkollektiven von NawaRo-Anlagen und Anlagen nach BioAbfV gibt es keinen Unterschied (vgl. Abbildung 17). Gleiches gilt für unterschiedliche Probenahmeregionen. Einen Zusammenhang zwischen Salmonella-positiven Proben und hohen Clostridien-Keimzahlen gibt es nicht (vgl. Abbildung 18).

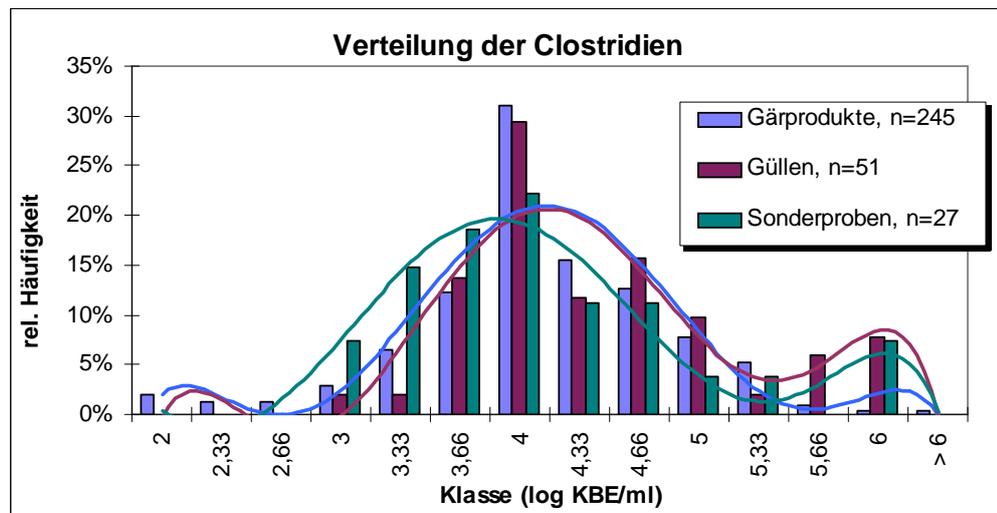


Abbildung 16 Verteilung der Clostridien in Gärprodukten, Güllen und Sonderproben: Dargestellt sind die relativen Häufigkeiten einzelner Keimzahlklassen. Die Keimzahlen folgen einer logarithmischen Normalverteilung (Gaus'sche Glockenkurve).

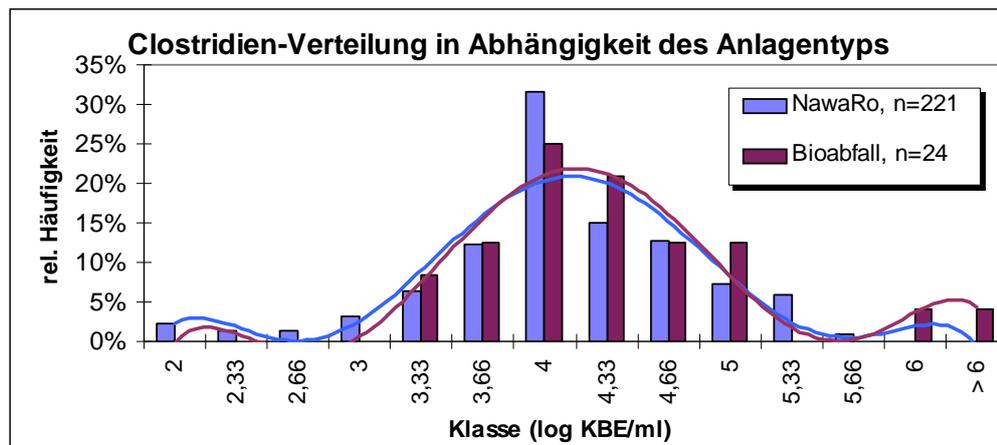


Abbildung 17 Vergleich der Verteilungen von Clostridien bei unterschiedlichen Anlagentypen.

C	Ergebnisse
C 2	Mikrobiologische Parameter und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten
C 2.3	Phytohygiene

Eine Differenzierung der Clostridien über ihr biochemisches Profil stellte sich problematisch dar. Die zur Identifizierung von Clostridien im medizinischen Bereich ausgerichteten Datenbanken erwiesen sich für Umweltkeime im Bereich der Gärprodukte als zu lückenhaft, so dass hieraus generierte Informationen mit zu großen Irrtumswahrscheinlichkeiten behaftet waren. Insofern wurde die Artdifferenzierung nur stichprobenartig durchgeführt. Mit ausreichender Sicherheit konnten dabei u. a. folgende Clostridien identifiziert werden: *Clostridium beijerinckii*, *C. butyricum*, *C. difficile*, *C. clostridioforme* und *C. perfringens*.

Zeitreihenuntersuchungen zeigten starke Streuungen der Keimzahlen innerhalb der einzelnen Anlagen von Zeitpunkt zu Zeitpunkt, ohne dass ein Trend auszumachen war. Zwischen den Anlagen waren große Überlappungen der Keimzahlen festzustellen, d.h. es gibt keine Auffälligkeiten bei einzelnen Anlagen im Vergleich zum Gesamtkollektiv. Daraus kann man schließen, dass anlagenspezifische Parameter wie Temperaturführungen, Verweildauer oder bauliche Gegebenheiten keinen Einfluss auf die Variationsbreite der Keimzahlen haben.

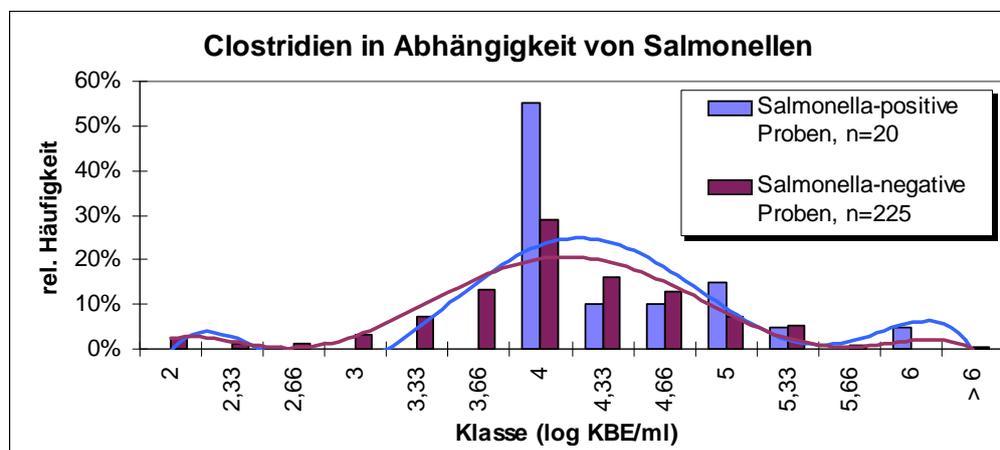


Abbildung 18 Vergleich der Clostridien-Verteilungen von Salmonellen-belasteten mit unbelasteten Proben

C 2.3 Phytohygiene

Die Untersuchung konzentrierte sich auf ausgewählte Pathogene von Pflanzen, die typischerweise in NawaRo-Anlagen verwendet werden, nämlich Mais und andere Getreide. Bei den Indikatororganismen handelte es sich um die Pilze *Helminthosporium*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pythium intermedium* und *Fusarium oxysporum*. Im Zuge einer von diesem Projekt unabhängigen Fragestellung zur Verbreitung von *Rhizoctonia solani* wurde auch dieser Pilz mit aufgenommen.

Im gesamten Untersuchungszeitraum wurde nur in einer einzelnen Probe einer der 5 für die Phytohygiene relevanten Indikatorkeime nachgewiesen. Es handelte sich dabei um eine Gülle, die den Pilz *Pythium intermedium* enthielt. Die Gärprodukte hingegen waren frei von den ins Auge gefassten Phytopathogenen. Hieraus kann man schließen, dass Gärprodukte und Güllen in der Regel nicht mit den genannten Phytopathogenen belastet sind. Ein Blick auf die im LTZ Augustenberg 2007/2008 durchgeführten Untersuchungsprogramme - wie etwa im Bereich der

C	Ergebnisse
C 2	Mikrobiologische Parameter und seuchenhygienische Situation von Gärprodukten
C 2.3	Phytohygiene

Futtermittel - zeigt, dass bei Getreidearten durchaus Fusarienbefunde zu verzeichnen waren, so dass zumindest dieser Indikatororganismus im Ausgangsmaterial für Gäranlagen zu erwarten war. Ausbleibende Befunde bei den Gärresten deuten somit auf eine gute Hygienisierung im Bereich der Phytopathogene hin.

Zeitreihenuntersuchungen für epidemiologische Betrachtungen führten mangels positiver Proben zu keinen Ergebnissen.

Mit Hilfe der verwendeten Methode war es möglich, neben den definierten Indikatorkeimen weitere Pilze auf Gattungsebene nachzuweisen und zu quantifizieren, nämlich Hefen, Mucorales, Schwärzepilze und Schimmelpilze (z. B. Aspergillen und Penicillien). Da es sich dabei nicht um Phytopathogene, sondern um Destruenten handelte und weil zumeist nur niedrige Keimzahlen vorlagen (<1.000 KBE/ml) und auch keine Trends erkennbar waren, wurde auf eine statistische Auswertung der Daten verzichtet.

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.1	Untersuchungen mit Deutschem Weidelgras

C 3 Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen

Im Zuge einer Intensivierung der landwirtschaftlichen Biogasproduktion sowie steigender Energie- und Düngemittelkosten ist eine nachhaltige und umweltschonende landwirtschaftliche Verwertung der im Gärprozess anfallenden Gärprodukte zwingend erforderlich. Die hierzu notwendige Effizienzsteigerung muss über eine verlustminimierte Ausbringung erfolgen, dies umso mehr, als im Zuge der Vergärung durch den Abbau von organischer Substanz insbesondere die Ammonium-N-Gehalte und pH-Werte ansteigen mit der Folge, dass das Risiko, Stickstoff gasförmig zu verlieren, größer sein kann als bei einer Düngung mit unvergorenen flüssigen Wirtschaftsdüngern wie Gülle.

Um erste Erfahrungen zur Düngewirkung von Gärprodukten zu gewinnen, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes Vegetationsversuche (Gefäßversuche) mit Deutschem Weidelgras sowie mit Körnermais unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt (zur Methodik vgl. Punkt B 3.2). Dabei wurde auf eine N-verlustarme Ausbringung geachtet, um eine möglichst objektive Leistungsbewertung der geprüften Gärprodukte im Vergleich zu den Wirtschaftsdüngern Rinder- und Schweinegülle vornehmen zu können.

C 3.1 Untersuchungen mit Deutschem Weidelgras

Der Gefäßversuch 2006 wurde wie unter Punkt B 3.2 beschrieben nach Versuchsplan (Anhang 3, Tabelle 1) angelegt. Während der ca. achtmonatigen Vegetationsperiode konnten fünf Aufwüchse geerntet werden. Die Kenndaten der im Versuch eingesetzten organisch-mineralischen Düngemittel sowie die nach Versuchsplan hiermit in Teilgaben ausgebrachten Ammonium-N- und Phosphat-Mengen sind im Anhang 3, Tabellen 3 bis 5 beschrieben. Danach wurden zu Dt. Weidelgras je nach Versuchsglied zwischen 0,21 und 2,3 g NH₄-N/Gefäß sowie zwischen 0,14 und 1,54 g P₂O₅/Gefäß verlustarm ausgebracht. Welche Erträge bei welcher N-/P-Effizienz im intensiv geführten Vegetationsversuch mit einer gestaffelten organisch-mineralischen (N-) Düngung im Vergleich zu einer mineralischen (N-) Düngung erzielt werden konnten, wird im folgenden dargestellt (vgl. auch Anhang 3, Tabellen 3 und 4).

C 3.1.1 Pflanzenwachstum

Die Pflanzenaufwüchse (dargestellt als Mineraldüngeräquivalente - MDÄ) wurden im Hinblick auf eine N-Sofortwirkung (Tabelle 17) sowie auf eine N-Nachwirkung (Tabelle 18) ausgewertet. Hierbei zeigte die Variante mit 1,5 g N/Gefäß - in Form von Gülle bzw. Gärprodukten in 2 Teilgaben verabreicht - das höchste Ertragspotential (MDÄ) mit Ausnahme bei Rindergülle. Die absolut höchsten Graserträge je Aufwuchs wurden unabhängig von der Form bzw. Herkunft der verwendeten organisch-mineralischen Dünger ertragsphysiologisch und witterungsbedingt zum 3. Aufwuchs erzielt. Betrachtet man die N-Nachwirkung (= Aufwuchs aus aktueller Düngung plus nachfolgender Aufwuchs ohne Düngung), erzielt das Versuchsglied mit einer N-Düngung von 1 g/Gefäß die höchsten MDÄ. Dagegen fielen die Erträge bei niedrigerer und höherer N-

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.1	Untersuchungen mit Deutschem Weidelgras

Düngung zum Teil deutlich geringer aus. Ursächlich hierfür dürften einerseits höhere unvermeidbare N-Verluste bei der Düngung in den wachsenden Bestand und/oder ein stärkerer Einbau von Stickstoff in die organische Bodensubstanz (höhere Humusproduktion gegen Versuchsende !) gewesen sein.

Tabelle 17 Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) auf Basis des Ertrages (Sofortwirkung)

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	Mineraldüngeräquivalente [% der mineralischen N-Düngung]					
	SG	RG	GP I	GP II	GP III	GP IV
0,5	91	74	101	86	91	79
1,0	60	62	60	60	56	48
1,5	128	91	118	110	108	121
2,0	83	45	72	73	60	72
im Mittel	90	66	83	81	75	80

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

Tabelle 18 Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) auf Basis des Ertrages (mit Nachwirkung)

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	Mineraldüngeräquivalente [% der mineralischen N-Düngung]					
	SG	RG	GP I	GP II	GP III	GP IV
0,5						
1,0	100	83	95	95	89	88
1,5	89	69	82	78	76	77
2,0	87	66	79	79	77	74
im Mittel	92	73	85	84	80	79

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

Die durchwegs höchsten Erträge der ausschließlich organisch-mineralisch gedüngten Versuchsglieder wurden in der Variante „Düngung mit Schweinegülle“ erzielt. Dies bestätigt bekannte Versuchsergebnisse und weist auf eine verlustarme N-Ausbringung im Gefäßversuch selbst bei sehr hohem NH₄-N-Input hin (vgl. Anhang 3, Tabelle 3). Des weiteren liegt bekanntlich der größte Teil (teilweise bis 100 %) des organisch gebundenen Rest-Stickstoffs von Schweinegülle als Harnstoff vor, der rasch und kontinuierlich im Boden in pflanzenaufnehmbaren Stickstoff umgewandelt wird und im Gefäßversuch verlustfrei in Ertrag umgesetzt werden kann.

Die Ertragswirkung der geprüften organisch-mineralischen Dünger kann demnach sowohl bei der Betrachtung der Sofortwirkung, aber auch hinsichtlich einer Gesamtwirkung (Anwendungs- und Nachwirkung) in folgende Reihung gebracht werden: **S. Gülle > Gärprodukte > R. Gülle.**

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.1	Untersuchungen mit Deutschem Weidelgras

C 3.1.2 N-Ausnutzung

Die N-Ausnutzung (Tabelle 19 und Anhang 3, Tabelle 8) der untersuchten organisch-mineralischen Dünger bestätigt - da ertragsabhängig - diese Gruppierung. Einzelne Veränderungen in der Reihenfolge der geprüften Gärprodukte sind zu erkennen, ändern jedoch nicht die Grundaussage. In der Praxis kann demnach bei Kenntnis der Gehalte des mineralischen N-Anteils und unabdingbarer Verlustgrößen bei der Ausbringung (in Abhängigkeit von den Ausbringungsbedingungen!) sehr sicher auf eine Ertragswirkung geschlossen werden. Dies setzt jedoch voraus, dass die N-Ausbringungsverluste minimiert werden, um die N-Effizienz des organisch-mineralischen Düngemittels zu verbessern, die Erträge standortabhängig zu sichern und Produktionskosten, aber auch Umweltschäden zu reduzieren.

Tabelle 19 Ausnutzung von Ammonium-N auf Basis des Ertrages (Sofortwirkung)

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	[% zur mineralischen N-Düngung]					
	SG	RG	GP I	GP II	GP III	GP IV
1,0	41	34	40	41	40	26
1,5	61	25	42	42	46	37
2,0	76	55	73	64	69	63
2,5	75	58	73	66	70	62
3,0	71	61	70	63	66	62
im Mittel	65	47	60	55	58	50

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

C 3.1.3 P-Wirkung

Die P-Wirkung der geprüften organisch-mineralischen Düngemittel (Tabelle 20) geht - da ertragsabhängig - mit der N-Wirkung parallel. Die Höhe der Netto-P-Ausnutzung (Sofortwirkung) wurde je nach Düngertyp in der Summe mit 15 % bis 40 % des zugeführten Phosphats berechnet und kann als sehr gut eingestuft werden. Hierdurch wird die Forderung, dass beim Einsatz organisch-mineralischer Dünger - unter derzeitigen Düngemittelpreisen - auch die P-Wirkung für die aktuelle Kultur signifikant anrechenbar sein muss, ökonomisch und pflanzenbaulich erfüllt. Folglich sind mittelfristig alle löslichen Nährstoffe - insbesondere P, K und Mg - einer Düngergabe mit Gülle bzw. Gärprodukten vollständig anzurechnen.

C 3.1.4 Kenndaten der Versuchsböden

Betrachtet man die Kenndaten der Versuchsböden zum Ende der Vegetationsperiode 2006 bzw. zum Versuchsbeginn der Folgefrucht Körnermais (Tabelle 21), so bestätigt sich die Aussage zur P-Verfügbarkeit anhand der CAL-P-Gehalte. Diese haben sich in Folge der (teilweise) sehr hohen P-Zufuhren trotz hohem Ertragsniveau und entsprechender Nährstoffabfuhr

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.1	Untersuchungen mit Deutschem Weidelgras

Tabelle 20 Ausnutzung von Phosphor (P_2O_5) auf Basis des Ertrages (Sofortwirkung)

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	Netto- P_2O_5 -Ausnutzung [% des Dünger-P]					
	SG	RG	GP I	GP II	GP III	GP IV
(0,5)	(74)	(43)	(88)	(77)	(83)	(62)
1,0	43	20	46	40	44	35
1,5	41	22	54	49	46	36
2,0	35	14	42	32	29	25
2,5	28	10	26	24	20	16
3,0	27	11	28	25	21	14
im Mittel	35	15	39	34	32	25

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

gegenüber dem Versuchsbeginn geringfügig erhöht. Eine vergleichsweise hohe P-Ausnutzung und die Zunahme an pflanzenverfügbarem Phosphat im Boden belegen somit die gute Löslichkeit und Verfügbarkeit von Phosphor der geprüften organisch-mineralischen Düngemittel. Hierbei ist kein relevanter Unterschied zwischen Gülle und Gärprodukt festzustellen.

Tabelle 21 Kenndaten des Versuchsbodens zum Versuchsende

Versuchsende 2006/Versuchsbeginn 2007						
Variante	pH	Humus	Nitrat-N	P_2O_5	K_2O	MgO
		[% TM]	[kg/ha]	[mg/100 g Boden]		
mineral. Düng.	7,1	1,7	1	23	19	2
SG	6,9	2,0	1	23	2	3
RG	7,0	1,9	1	20	7	2
GP I	6,9	2,0	1	19	2	2
GP II	6,8	1,9	1	19	3	2
GP III	6,8	1,9	1	20	3	2
GP IV	7,0	2,1	1	23	5	2

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

Eine kulturabhängige hohe K-Aufnahme über das im Versuch geprüfte Dt. Weidelgras (vegetative Pflanzenteile !) bedingt eine geringfügige Veränderung der K-Bodenwerte - trotz entzugsorientierter K-Düngung -, bestätigt jedoch im Gegenzug eine vorzügliche Pflanzenverfügbarkeit dieses Nährstoffes aus den organisch-mineralischen Düngern im Gefäßversuch.

Intensive Durchwurzelung und Zufuhr teilweise hoher Mengen an humusreproduzierbarer organischer Substanz mit Gülle und/oder Gärprodukten haben für einen Anstieg der Humusgehalte - mit organischer Düngung deutlicher als mit mineralischer Nährstoffzufuhr - gesorgt. Wie stabil diese Humusgehalte letztendlich sein werden, wird sich am Ende des 2. Versuchsjahres mit Körnermais herausstellen.

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.2	Untersuchungen mit Körnermais

Die pH-Werte waren erwartungsgemäß (geringe Kalkwirkung der eingesetzten organisch-mineralischen Düngemittel) leicht rückläufig. Daher ist bei regelmäßigem Einsatz dieser Dünger auf eine zusätzliche Erhaltungskalkung zu achten.

C 3.2 Untersuchungen mit Körnermais

Im Versuchsjahr 2007 wurden die Vegetationsversuche statisch derart fortgeführt, dass jedes Versuchsgefäß während der Bodenaufbereitung, Versuchsanlage und Versuchsdurchführung identisch zu dem des Vorjahres gehalten wurde. Dies ermöglicht (zunächst) einen 2 jährigen Vergleich der Ertragsleistung sowie Beeinflussung der Böden durch die Versuchsdüngung.

Der Versuchsplan zu Körnermais (Anh. Tabelle 2) wurde kulturabhängig gegenüber dem Versuch mit Dt. Weidelgras so abgeändert, dass die vorgesehenen N-Mengen in max. 3 Teilgaben ausgebracht werden konnten. Die verwendeten organisch-mineralischen Dünger (Herkünfte mit denen des Vorjahres identisch!) sind in Anh. Tabelle 9 beschrieben. Die mit der Versuchsdüngung nach Plan zugeführten NH_4^- und P_2O_5 -Mengen sind den Anh. Tabellen 10 und 2 zu entnehmen.

C 3.2.1 Pflanzenwachstum

Erwartungsgemäß erzielte die Variante mit der höchsten Mineraldüngergabe den Maximalertrag, gefolgt von den Versuchsgliedern mit 3 g N/Gefäß in organisch-mineralischer Form sowohl beim Korn- (Tabelle 22), als auch beim Gesamtpflanzenenertrag (Tabelle 23, vgl. auch Anhang 3, Tabellen 12 und 13). Das MDÄ lag beim Vergleich der einzelnen Düngungsvarianten zwischen 60 % und 87 % beim Korn bzw. 61 % und 85 % bei der Gesamtpflanze. Die Reihung im Mittel der geprüften Düngungsvarianten anhand der Erträge bzw. MDÄ ergab ein nahezu identisches Bild wie aus den Versuchen mit Dt. Weidelgras aus dem Vorjahr bekannt: **SG = GP III > GP IV > RG**.

Tabelle 22 Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) auf Basis des Ertrages - KORN

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	Mineraldüngeräquivalente [% der mineralischen N-Düngung]					
	SG	RG	GP I	GP II	GP III	GP IV
1,0	79	71	75	72	91	75
1,5	66	42	53	55	68	51
2,0	71	41	61	60	67	50
3,0	87	60	75	75	82	70
im Mittel	72	51	63	62	75	58

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

Besonders deutlich wird die unterschiedliche Wirkung der geprüften Düngemittel bei der Betrachtung des Ganzpflanzenenertrages (entsprechend einer Silomais-/Energimaisproduktion). Mit organisch-mineralischen Düngern werden in der Regel hohe Mengen an löslichem, voll

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.2	Untersuchungen mit Körnermais

pflanzenwirksamem Ammonium-N-Stickstoff zugeführt. Hierdurch wird zunächst insbesondere das vegetative Wachstum angeregt. Wird kein weiterer Stickstoff nachgedüngt bzw. ist die Nachlieferung aus der organischen N-Reserve des Düngers und Bodens gering, nimmt

Tabelle 23 Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) auf Basis des Ertrages - GESAMTPFLANZE

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	Mineraldüngeräquivalente [% der mineralischen N-Düngung]					
	SG	RG	GP I	GP II	GP III	GP IV
1,0	82	77	83	80	98	82
1,5	73	52	72	66	79	67
2,0	80	55	71	73	78	72
3,0	95	72	83	86	90	82
im Mittel	78	61	75	73	85	74

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

letztendlich der Gesamtertrag bzw. der Kornertrag ab und wird die Pflanzenqualität verringert. Dies wird besonders deutlich in der Variante „Düngung mit Rindergülle“. Die landwirtschaftliche Praxis reagiert auf solche Gegebenheiten in der Regel mit einer mineralischen Ergänzungsdüngung oder einer Staffelung der organisch-mineralischen N-Düngung (soweit technisch möglich). Nicht nötig ist ein N-Ausgleich bei Schweinegülle oder organisch-mineralischen Düngern, die einen großen Anteil an leicht mineralisierbarem organisch gebundenen Stickstoff besitzen - beispielsweise Gärprodukte auf Basis von Schweinegülle (vgl. GP III) oder Gärprodukte aus Anlagen mit hohem Anteil an eiweißreichen Co-Fermenten (vgl. GP I und II) -. Hier verbleibt trotz hoher Abbauraten der leicht abbaubaren organischen Substanz in der Biogasanlage ein größerer Anteil gut verfügbarer N-Verbindungen, als dies beispielsweise bei Rindergülle der Fall ist.

Da das (organische) C/N-Verhältnis von Gärprodukten dem von Rindergülle häufig gleichzusetzen ist, sind zur Erzielung eines mit Mineraldünger oder Schweinegülle vergleichbaren Ertrages - soweit nach guter fachlicher Praxis möglich - höhere Ausbringmengen nötig. Um in diesen Fällen größere N-Verluste zu vermeiden, ist bei einem im Vegetationsjahr frühen Düngungstermin (Winterraps und Wintergetreide) oder einer praxisüblichen einmaligen Gabe zu Mais (Anfang/Mitte April) mit Wirtschaftsdünger oder Gärprodukten mit einem N-Stabilisator zu empfehlen.

C 3.2.2 N-Ausnutzung

Die N-Ausnutzung betrug über das Korn (Tabelle 24) 21 % bis 35 % bzw. über die Ganzpflanze (Anhang 3, Tabelle 13) 27 % bis 47 % vom jeweils gedüngten Gesamt-Stickstoff. Die Verwertung des zugeführten Ammonium-N ist entsprechend höher (Anhang 3, Tabellen 14 und 15) und zwischen den geprüften Düngemitteln deutlich differenzierter ausgeprägt.

In der Reihe **SG = GP III > GP I > GP II > GP IV > RG** verläuft die absolute N-Ausnutzung der geprüften organisch-mineralischen Düngemittel völlig konform zum Ertrag.

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.2	Untersuchungen mit Körnermais

Tabelle 24 Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs auf Basis des KORN-Ertrages

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	Mineraldüngeräquivalente [% der mineralischen N-Düngung]					
	SG	RG	GP I	GP II	GP III	GP IV
1,0	35	28	33	29	41	33
1,5	35	20	26	26	36	23
2,0	36	19	29	29	33	23
3,0	34	18	32	28	31	22
im Mittel	35	21	30	28	35	25

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

Die N-Effizienz der organisch-mineralischen Düngemittel ist erwartungsgemäß im Gefäßversuch in Folge stark reduzierter N-Verluste als sehr gut einzustufen. Hieraus ist abzuleiten, dass die im Zuge steigender Energie- und Düngemittelpreise zunehmend geforderte Verbesserung der (N-) Effizienz einer Düngung mit Wirtschaftsdünger und/ bzw. Gärprodukten in der Praxis unter Beachtung gesteigert werden kann. Bei Verwendung/ Beschaffung moderner Ausbringtechnik, Nutzung von N-Stabilisatoren oder Güllezusätzen, die Ammonium-N reversibel binden, und einer bewussten Aufteilung der Düngergaben nach Pflanzenbedarf kann dieses Ziel zu einem großen Teil erreicht werden.

C 3.2.3 P-Wirkung

Die P-Wirkung bzw. P-Ausnutzung lag bei Körnermais im Anwendungsjahr (Tabelle 25) ähnlich wie bei Dt. Weidelgras im Versuchsjahr 2006 in der Reihe **Gärprodukte > Schweinegülle > Rindergülle** auf hohem Niveau zwischen 53 % und 27 % der Zufuhr.

Da Mais besonders während der Jugendentwicklung - selbst im Gefäßversuch - als eine sehr P-bedürftige Kultur anzusehen ist, ist aus den vorliegenden Ergebnissen abzuleiten, dass auch in der Praxis das Angebot an löslichem Phosphor organisch-mineralischer Dünger - insbesondere nach Vergärung - im Anwendungsjahr bestens genutzt wird und bei entsprechend hohen

Tabelle 25 Ausnutzung von Phosphor (P₂O₅) auf Basis des Ertrages (Gesamtpflanze)

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	Netto-P ₂ O ₅ -Ausnutzung [% des Dünger-P]					
	SG	RG	GP I	GP II	GP III	GP IV
1,0	56	41	69	65	82	52
1,5	40	29	56	49	52	37
2,0	37	23	44	42	43	29
3,0	30	16	34	32	33	24
im Mittel	41	27	51	47	53	36

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.2	Untersuchungen mit Körnermais

Erträgen und P-Abfuhr ein möglicherweise kalkulierter P-Überschuss besser zu steuern ist. Betriebe mit hoher Bewirtschaftungsintensität - viehhaltende Betriebe ohne bzw. mit Biogasproduktion - könnten so die Vorgaben der Dünge-Verordnung zum N- und P-Saldo in der Regel einhalten.

C 3.2.4 Kenndaten der Versuchsböden

Bei der Sichtung der Bodenkenndaten zum Abschluss des 2. Versuchsjahres (Tabelle 26) fallen besonders gegenüber Versuchsbeginn die teilweise niedrigeren pH-Werte, aber auch Humusgehalte auf.

Tabelle 26 Kenndaten des Versuchsbodens zum Versuchsende

Versuchsende 2007						
Variante	pH	Humus	Nitrat-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
		[% TM]	[kg/ha]	[mg/100 g Boden]		
mineral. Dg.	6,7	1,6	4	22	12	3
SG	6,8	1,8	5	23	3	3
RG	7,0	1,9	4	21	7	2
GP I	6,8	1,8	5	18	3	1
GP II	6,9	1,7	4	19	5	2
GR III	6,3	1,8	6	15	6	1
GP IV	6,9	1,8	4	20	7	2

Erläuterungen: SG - Schweinegülle, RG - Rindergülle, GP I - Gärprodukt Festmist, GP II - Gärprodukt Rindergülle/Bioabfall, GP III - Gärprodukt Schweinegülle/NawaRo, GP IV - Gärprodukt Rindergülle/NawaRo

Trotz Zufuhr großer Mengen an Ernterückständen und Wurzelmasse über die Vorfrucht Dt. Weidelgras - wodurch sicherlich die Humusgehalte stabilisiert werden konnten - und entsprechender organisch-mineralischer Düngung zu Körnermais zeigen die Varianten mit Gärprodukt-Düngung, aber auch mit Zufuhr von Schweinegülle im Vergleich zum Versuchsglied „Düngung mit Rindergülle“ deutlich rückläufige Humusgehalte (0,2 bis 0,3 %). Dies ist einerseits auf das höhere Ertragsniveau der Varianten mit Schweinegülle- bzw. Gärprodukt-Düngung, aber besonders auf den geringeren Input an humusreproduzierbarem Kohlenstoff zurückzuführen. Da der Kohlenstoff- und der Stickstoffhaushalt organisch-mineralischer Dünger in einer engen negativen Korrelation zueinander stehen und im Zuge der Vergärung ca. 50 % des C-Inputs im Bioreaktor in Form von Methan freigesetzt wird, muss in der Praxis besonders in diesen Fällen auf den Humushaushalt der Böden geachtet werden. Die Humusreproduktionsleistung der verwendeten organisch-mineralischen Dünger ist demnach folgendermaßen einzuordnen: **RG > Gärprodukte > SG.**

Da die Gefäßversuche im Fruchtwechsel „Dt. Weidelgras - Mais“ weitergeführt werden, wird sich zeigen, ob sich in dieser ertragsstarken und somit humuszehrenden Rotation die Humusgehalte stabilisieren oder weiter abnehmen werden. Hieraus können Aussagen für die Praxis

C	Ergebnisse
C 3	Düngewirkung von Gärprodukten - erste Ergebnisse aus Gefäßversuchen
C 3.3	Fazit

abgeleitet werden, da bekanntlich die Produktionsintensität eines Gefäßversuches etwa um den Faktor 5 höher ist als im Freilandversuch.

Die löslichen K- und Mg-Gehalte weisen trotz der sehr niedrigen Ausgangskonzentration keine Besonderheiten auf. Dies lässt den Umkehrschluss zu, dass die über die Düngung - ob mineralisch oder organisch-mineralisch - zugeführte K- und Mg-Gabe nahezu quantitativ für hohe und nachhaltige Pflanzenerträge nutzbar ist.

Analog zur P-Ausnutzungsrate durch Mais (vgl. Tabelle 25) haben sich die P-Gehalte im Boden nur unwesentlich gegenüber dem Versuchsende 2006 (vgl. Tabelle 21) verändert. Dies ist wiederum ein Hinweis, dass trotz hoher düngewirksamer P-Zufuhr über die organisch-mineralischen Dünger - insbesondere über Gärprodukte - der P-Saldo zwischen Input „Düngung“ und Output „Pflanze plus Ergänzung des Bodenvorrates“ bei einem hohem Ertragsniveau ausgeglichen ist. Langfristig müssen für eine exakte Beurteilung des P-Ernährungszustandes intensiv bewirtschafteter Ackerböden jedoch die P-Gesamtgehalte des Bodens sowie die standorttypische P-Dynamik herangezogen werden.

In beiden Versuchsjahren waren die Rest-Nitrat-Gehalte erwartungsgemäß vernachlässigbar niedrig. Dies unterstreicht die Forderung nach einer der Intensität angepassten N-Düngung und N-Effizienz.

C 3.3 Fazit

Nach zweijährigen Gefäßversuchen können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Organisch-mineralische Dünger erreichen bei verlustarmer Ausbringung zu ertragsstarken Kulturen wie Dt. Weidelgras oder Mais Mineraldüngeräquivalente von 60 % bis >90 % in der Reihenfolge **Schweinegülle > Gärprodukte > Rindergülle**. Diese sehr hohe N-Effizienz ist unter günstigen Standortbedingungen - insbesondere bei ausreichender und gleichmäßiger Wasserversorgung - auch in der Praxis erreichbar, erfordert jedoch ein Umdenken im Düngungsmanagement, um die Ammoniak(NH₃)-Verluste bei einer organisch-mineralischen Düngung auf einen unvermeidbaren Rest zu reduzieren.
2. Hierbei ist für die landwirtschaftliche Praxis zu fordern
 - eine moderne Ausbringtechnik (z.B. Schleppschlauchtechnik),
 - eine bedarfsgerechte N-Düngung, wenn möglich in Teilgaben,
 - der Einsatz von N-Stabilisatoren oder N-bindenden Zusätzen - besonders zu Kulturen mit deutlich späterem N-Bedarf (z.B. Mais) und
 - die Berücksichtigung weiterer N-Verlustquellen wie Lachgas im Zusammenhang mit Witterung und Bodenzustand bei der Ausbringung bzw. einer Einarbeitung.

C	Ergebnisse
C 4	Möglichkeiten zur geordneten landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten
C 4.1	Gesetzliche Vorgaben

C 4 Möglichkeiten zur geordneten landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten

Ausgehend von den umfangreichen Ergebnissen der Übersichtsuntersuchung von Gärprodukten aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen Baden-Württembergs werden nachfolgend in einem kurzgefassten Abriss die praktischen Möglichkeiten für eine geordnete landwirtschaftliche Verwertung dieser Wirtschaftsdünger skizziert. Grundlage dafür sind in erster Linie die Ergebnisse und Erfahrungen des Projektes, die in den Punkten C 1 bis C 3 ausführlich dokumentiert und bewertet worden sind. Darin einbezogen wird der Stand des Wissens und der Technik aus wesentlichen Arbeiten der aktuellen Literatur, soweit erste Resultate und Erfahrungen anderer Bundesländer vorliegen, sowie erste praktischen Erkenntnisse, ohne eine vollständige Berücksichtigung aller Literaturergebnisse zu gewährleisten.

Die folgenden Ausführungen bilden somit eine erste, vorrangig praxisorientierte Wegleitung, mit der die Landwirte und die Fachberatung durch geeignete Beurteilungs- und Anwendungsempfehlungen entsprechend der Projektkonzeption (vgl. Punkt B 2) dabei unterstützt werden sollen, eine nachhaltige und umweltgerechte Verwertung der Gärprodukte zu gewährleisten. Diese Handlungsempfehlungen sind, sobald weitere belastbare Erkenntnisse aus den laufenden Feldversuchen gewonnen worden sind, zu einem späteren Zeitpunkt zu ergänzen und zu vervollkommen.

C 4.1 Gesetzliche Vorgaben

Für die landwirtschaftliche Verwertung von Gärprodukten zur Düngung von Nutzpflanzen gelten die Vorgaben der Düngemittel-Verordnung -DüMV- (BUNDESGESETZBLATT, 2003), der Düngerverordnung -DüV- (BUNDESGESETZBLATT, 2007) und der Bioabfall-Verordnung -BioAbfV- (BUNDESGESETZBLATT, 1998).

Landwirtschaftliche Betriebe, in deren Biogasanlagen ausschließlich tierische Wirtschaftsdünger (vorrangig Gülle) und/oder pflanzliche Materialien (NawaRo-Pflanzen u.a.) vergoren werden, haben nur die Vorgaben von DüMV und DüV einzuhalten. Werden die anfallenden Gärprodukte vollständig im eigenen Betrieb verwertet, sind Gärprodukte den Wirtschaftsdüngern (Stalldung, Gülle) gleichgestellt, d.h. es gelten die dafür vereinfachten Regelungen. Bei Abgabe an andere Betriebe („Inverkehrbringen“) muss das Gärprodukt nach DüMV deklariert werden, d.h. einem Düngemitteltyp entsprechen und gekennzeichnet werden (Typenkennzeichnung). Dazu sind die geforderten Mindestgehalte an Nährstoffen sowie die Grenzwerte für Schwermetalle und Arsen lt. Anlage 2, Tabelle 1 DüMV einzuhalten.

Biogasanlagen, in denen neben den o.g. Ausgangsstoffen zusätzlich noch betriebsfremde Bioabfälle (z.B. Küchenabfälle) eingesetzt werden, unterliegen der BioAbfV mit ihren speziellen Regelungen zu unerwünschten Stoffen (Schwermetalle, Fremdstoffe, Unkrautsamen/ austriebsfähige Pflanzenteile) und vor allem zur Seuchen- und Phytohygiene. In diesen Anlagen ist zu beachten, dass nur gesetzlich zugelassene Bioabfälle in die Vergärung gelangen.

C	Ergebnisse
C 4	Möglichkeiten zur geordneten landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten
C 4.2	Bisherige Erfahrungen

Für die Anwendung der Gärprodukte als organische Dünger in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion gelten, gleich welcher Herkunft (NawaRo oder Bioabfall), einheitlich die Vorgaben der DüV. Sie regelt, dass die Gärprodukte

- nur in Gaben entsprechend dem Nährstoff- und Düngebedarf der angebauten Kulturen eingesetzt werden,
- Nährstoffüberhänge (Positivsalden) zuverlässig vermieden werden, um den Boden- und Grundwasserschutz zu gewährleisten und
- die Nährstoffe dazu möglichst entsprechend dem zeitlichen Bedarf der Pflanzen zur Verfügung stehen, d.h. bestimmte Anforderungen an Höhe und Zeitpunkt der Gärproduktgabe einschließlich der Sperrzeiten für die Ausbringung eingehalten werden.

C 4.2 Bisherige Erfahrungen

Auf Grund des relativ kurzen Zeitraumes, in dem Gärprodukte aus Biogasanlagen für die landwirtschaftliche Verwertung anstehen, liegen in Baden-Württemberg im Vergleich zu anderen Düngern und Sekundärrohstoffen (z.B. Komposten) nur wenige und kaum langjährige Ergebnisse zur Düngewirkung von Gärprodukten vor. Mehrjährige Versuche sind angelaufen. Mit belastbaren Ergebnissen ist erst in einigen Jahren zu rechnen. Auch in den übrigen Bundesländern wurde diese Frage noch nicht erschöpfend beantwortet, weil längerfristige Feldversuche nur vereinzelt verfügbar waren.

Im Einklang mit ausgewählten Ergebnissen aus der maßgeblichen Fachliteratur (AMON und DÖHLER, 2005; ANONYM, 2007; DEDERER, 2006; GUTSER und EBERTSEDER, 2006) sowie den Erfahrungen erster Gefäßversuche (vgl. Punkt C 3) kann festgestellt werden:

- Gärprodukte sind wertvolle organische Düngemittel mit nach DüMV maßgebenden Gehalten an Stickstoff, Phosphor und Kalium, die auf Grund ihrer allgemein guten Pflanzenverfügbarkeit einen wesentlichen Beitrag zur Düngung der Pflanzen leisten können.
- Auf Grund ihres engen C/N-Verhältnisses, das häufig noch enger ausfällt als bei Gülle, und des hohen Ammonium-N-Anteiles verfügen Gärprodukte über eine zügige, kurzfristige Stickstoff(N)-Düngewirkung.
- Die N-Zufuhr mit Gärproduktgaben bildet in der Regel (neben Kalium) den begrenzenden Faktor für die Gabenhöhe.
- Die Zufuhren mit Gärprodukten an Phosphor und noch mehr an Kalium sind allgemein gut pflanzenverfügbar und haben damit eine sehr gute Düngewirkung, häufig besser als die von Gülle. Auch die Magnesiumzufuhr bewegt sich, wenn auch weniger pflanzenverfügbar als bei den übrigen Kernnährstoffen, in für die Düngebilanz relevanten Größenordnungen.
- Auf Grund der guten Düngewirkung sind alle Nährstoffzufuhren der Gärprodukte in der Nährstoff- und Düngebilanz voll anzurechnen.
- Durch die relativ große Spannweite der Einzelwerte eignen sich die Mittelwerte der Nährstoffgehalte von Gärprodukten in der Regel nur für eine Abschätzung zu erwarten

C	Ergebnisse
C 4	Möglichkeiten zur geordneten landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten
C 4.3	Empfehlungen für die praktische Anwendung von Gärprodukten

der Gehalte. Für exakte Beurteilungen der Nährstoffzufuhren wird empfohlen, Einzeluntersuchungen der Gärprodukte der Biogasanlagen vorzunehmen.

- Durch den Gärprozess verbessern sich in der Regel bestimmte verfahrenstechnische Eigenschaften der Gärprodukte im Vergleich zu Gülle: Die Fließfähigkeit nimmt zu, wodurch die Haftung an Pflanzenbeständen zurückgeht. Der Säuregehalt nimmt deutlich ab, dadurch kann die Verätzung der Pflanzenbestände bei der Ausbringung vermieden werden.

C 4.3 Empfehlungen für die praktische Anwendung von Gärprodukten

Die in den Gefäßversuchen aufgezeigte Ertragswirkung organisch-mineralischer Dünger (Gärprodukte und Wirtschaftsdünger) ist bei verlustarmer Ausbringung und daraus resultierender Verbesserung der N-Effizienz unter Praxisbedingungen - ausreichende und gleichmäßige Wasserversorgung vorausgesetzt - realisierbar, erfordert jedoch ein Umdenken im Düngungsmanagement, um die potenziell möglichen Ammoniak(NH₃)-Verluste bei einer organisch-mineralischen Düngung auf einen unvermeidbaren Rest zu reduzieren.

Hierbei ist für die landwirtschaftliche Praxis zu fordern:

- eine moderne Ausbringtechnik (z.B. Schleppschauchtechnik),
- eine bedarfsgerechte N-Düngung, wenn möglich in Teilgaben,
- der Einsatz von N-Stabilisatoren oder N-bindenden Zusätzen, besonders zu Kulturen mit deutlich späterem N-Bedarf (z.B. Mais) und
- die Berücksichtigung weiterer N-Verlustquellen wie Lachgas im Zusammenhang mit Witterung und Bodenzustand bei der Ausbringung bzw. einer Einarbeitung.

Gärprodukte sollten wie flüssige Wirtschaftsdünger (Güllen) bedarfsgerecht möglichst in wachsende Bestände eingesetzt werden⁸. Beispielsweise zu

- Wintergetreide: zu Vegetationsbeginn 10 - 15 t/ha
(entspr. ca. 30-45 kg NH₄-N/ha; evtl. mit N-Stabilisierung)
Schossergabe 10 - 15 t/ha (entspr. ca. 30-45 kg NH₄-N/ha)
- Sommergetreide (Ausnahme: Braugerste):
10 - 20 t/ha vor Saat (entspr. ca. 30-60 kg NH₄-N/ha)
- Winterraps und Wintergerste:
nach der Saat gemäß Düng-Verordnung
max. 40 kg/ha NH₄-N (mit N-Stabilisierung)
Vegetationsbeginn (2. N-Gabe) 15 - 20 t/ha (entspr. ca. 45-60 kg NH₄-N/ha evtl. mit N-Stabilisierung)
- Grünland: je Aufwuchs 10 - 15 t/ha (entspr. ca. 30-45 kg NH₄-N/ha)

⁸ Bei einer Rohdichte der Gärprodukte von 1,0 t/m³ (vgl. Punkt C 1.1) gilt: Gabenhöhe in t/ha = m³/ha

C	Ergebnisse
C 4	Möglichkeiten zur geordneten landwirtschaftlichen Verwertung von Gärprodukten
C 4.3	Empfehlungen für die praktische Anwendung von Gärprodukten

- Mais:
 - vor Saat 20 - 30 t/ha (entspr. ca. 60-90 kg NH₄-N/ha mit N-Stabilisierung),
 - im 6 - 8 Blatt-Stadium 10 - 20 t/ha (entspr. ca. 30-60 kg NH₄-N/ha mit Einarbeitung)
- Strohrotte: gemäß Düng-Verordnung max. 40 kg NH₄-N/ha.

D Literatur

- AMON, T. und DÖHLER, H. (2005): Qualität und Verwertung des Gärrestes. In: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, ISBN 3-00-014333-5, S. 153 - 165.
- ANONYM (2007): Biogashandbuch Bayern - Materialienband, Kapitel 2.2.7. Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- ANONYM (2008): Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft. Projekt-Abschlussbericht. Hrsg.: Landwirtschaftliches Technologie Zentrum Augustenberg, Karlsruhe.
- BGK (2005): Organische Düngung - Grundlagen der guten fachlichen Praxis. Aus der Reihe „Kompost für die Landwirtschaft“. Hrsg.: Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln, und FAL, Braunschweig, S. 7.
- BUNDESGESETZBLATT (1994): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG -) vom 27.09.1994. Bundesgesetzblatt Jahrgang 1994, Teil I, Nr. 66, S. 2705 - 2728.
- BUNDESGESETZBLATT (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfall-Verordnung - BioAbfV -) vom 21.09.1998. Bundesgesetzblatt Jahrgang 1998, Teil I, Nr. 65, S. 2955 - 2981; Jahrgang 2001, S. 3379; Jahrgang 2002, S. 1488; Jahrgang 2003, S. 2373.
- BUNDESGESETZBLATT (2003): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsstoffen (Düngemittel-Verordnung - DüMV -) vom 26.11.2003, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2003, Teil I, Nr. 57, S. 2373 - 2437.
- BUNDESGESETZBLATT (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Dünge-Verordnung - DüV -) vom 27.02.2007, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2007, Teil I, Nr. 7, S. 222 - 240.
- DEDERER, M. (2006): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärresten. In: Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft - Nutzen und Risiken, KTBL-Tagung 19./20.04.2006 Osnabrück, Tagungsband, Hrsg.: KTBL e.V. Darmstadt, ISBN 978-3-939371-05-2, S. 191 - 197.
- GUTSER, R. und EBERTSEDER, T. (2006): Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern - ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. In: Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft - Nutzen und Risiken, KTBL-Tagung 19./20.04.2006 Osnabrück, Tagungsband, Hrsg.: KTBL e.V. Darmstadt, ISBN 978-3-939371-05-2, S. 7 - 22.

Tabelle 1

Inhaltsstoffe von Gärprodukten

Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Gesamtauswertung Probenaktionen 2005/06 + 2006/07

Erläuterungen: a) TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse

b) arith. Mittelwerte von Bioabfallanlagen im Vergleich zu NawaRo-Anlagen (t-Test):

statistisch gesichert

$\alpha = 5 \%$

$\alpha = 1 \%$

- Anhebung

+

++

- Absenkung

-

=

- kein Unterschied

0

Parameter	Allgemeine Parameter					
	Trockenmasse			pH-Wert		
Dimension	% FM					
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	6,9	7,0	6,1	8,3	8,3	8,3
Median	6,9	7,1	6,3	8,3	8,3	8,2
StandAbw ($\pm s$)	2,3	2,2	2,3	0,4	0,4	0,5
Minimum	1,4	1,4	1,8	6,6	6,6	7,2
Maximum	17,4	17,4	11,2	9,1	9,1	9,1
Quantil 5 %	3,3	3,4	2,8	7,6	7,6	7,7
Quantil 10 %	4,1	4,1	3,3	7,7	7,7	7,8
Quantil 20 %	5,0	5,0	4,1	7,9	7,9	7,9
Quantil 80 %	8,5	8,5	7,7	8,7	8,6	8,7
Quantil 90 %	9,4	9,5	8,9	8,9	8,9	8,9
Quantil 95 %	10,6	10,5	10,2	8,9	8,9	9,0

Parameter	Allgemeine Parameter		
	Rohdichte		
Dimension	g/l FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	130	111	19
arithm. Mittelwert	993	993	998
Median	998	998	996
StandAbw ($\pm s$)	20	20	13
Minimum	909	909	971
Maximum	1030	1029	1030
Quantil 5 %	955	950	981
Quantil 10 %	971	968	985
Quantil 20 %	984	984	988
Quantil 80 %	1007	1006	1009
Quantil 90 %	1011	1011	1011
Quantil 95 %	1015	1015	1015

Tabelle 1

Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)
Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Parameter	Wertstoffe					
	Organische Substanz - OS					
Dimension	% TM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	72,3	72,7	68,9	50,2	51,1	42,1
Median	73,0	73,4	70,3	50,9	51,6	40,9
StandAbw (±s)	6,0	5,5	8,7	18,3	18,3	16,8
Minimum	32,4	53,4	32,4	9,4	9,4	11,0
Maximum	86,9	86,9	77,7	135,0	135,0	84,9
Quantil 5 %	62,4	62,5	61,5	21,7	22,2	18,7
Quantil 10 %	65,3	65,7	63,7	27,9	28,1	23,0
Quantil 20 %	67,8	68,0	65,4	34,5	35,7	30,4
Quantil 80 %	77,1	77,4	73,7	65,3	65,9	56,7
Quantil 90 %	78,7	79,0	76,1	71,5	71,6	60,9
Quantil 95 %	80,2	80,7	76,8	79,4	79,7	66,7

Parameter	zu organischer Substanz					
	Kohlenstoff(C)-Gehalt (58 % von OS)			C/N-Verhältnis		
Dimension	% TM					
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	41,9	42,1	40,0	6,3	6,4	5,2
Median	42,3	42,5	40,8	6,2	6,3	5,3
StandAbw (±s)	3,5	3,2	5,0	2,0	2,0	1,5
Minimum	18,8	31,0	18,8	1,7	1,7	1,9
Maximum	50,4	50,4	45,0	16,6	16,6	7,3
Quantil 5 %	36,2	36,3	35,6	3,2	3,3	2,6
Quantil 10 %	37,9	38,2	36,9	3,8	3,9	3,3
Quantil 20 %	39,4	39,4	38,0	4,9	5,0	4,2
Quantil 80 %	44,7	44,9	42,7	7,5	7,6	6,8
Quantil 90 %	45,7	45,8	44,1	8,5	8,9	7,1
Quantil 95 %	46,5	46,8	44,6	9,5	9,5	7,3

Tabelle 1

Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)
Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Parameter	Wertstoffe					
	Basisch wirksame Substanz - BWS					
Dimension	% CaO TM			kg CaO/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	5,6	5,6	5,8	3,7	3,7	3,5
Median	5,5	5,5	5,7	3,6	3,7	3,3
StandAbw ($\pm s$)	1,6	1,6	1,2	1,3	1,2	1,4
Minimum	2,0	2,0	2,7	0,6	0,6	1,0
Maximum	13,4	13,4	8,3	8,0	8,0	6,2
Quantil 5 %	3,0	2,9	4,2	1,8	1,9	1,6
Quantil 10 %	3,5	3,5	4,7	2,1	2,2	1,7
Quantil 20 %	4,3	4,3	4,9	2,7	2,7	2,1
Quantil 80 %	6,7	6,8	6,7	4,6	4,6	4,6
Quantil 90 %	7,4	7,4	7,1	5,4	5,3	5,7
Quantil 95 %	8,5	8,5	7,5	5,9	5,9	5,9

Unterschiede arithm. Mittelwerte (t-Test)

Parameter	Bioabfall im Vergleich zu NawaRo
Trockenmasse	0
pH-Wert	0
Rohdichte	0
org. Substanz in % TM	-
in kg/t FM	-
C-Gehalt	-
C/N-Verhältnis	=
BWS in % TM	0
in kg/t FM	0

Tabelle 2**Inhaltsstoffe von Gärprodukten****Gesamtgehalte Nährstoffe****Gesamtauswertung Probenaktionen 2005/06 + 2006/07**

Erläuterungen: a) TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse

b) arith. Mittelwerte von Bioabfallanlagen im Vergleich zu NawaRo-Anlagen (t-Test):

statistisch gesichert

 $\alpha = 5 \%$ $\alpha = 1 \%$

- Anhebung

+

++

- Absenkung

-

=

- kein Unterschied

0

Parameter	Stickstoff - N _{gesamt}					
	% TM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	7,3	7,2	8,4	4,7	4,7	4,8
Median	6,8	6,7	7,7	4,6	4,6	4,5
StandAbw ($\pm s$)	2,5	2,4	3,1	1,2	1,2	1,8
Minimum	2,6	2,6	5,6	1,3	1,3	2,1
Maximum	18,8	18,3	18,8	10,6	8,5	10,6
Quantil 5 %	4,7	4,5	5,8	2,7	2,8	2,6
Quantil 10 %	5,2	5,2	5,9	3,3	3,4	2,8
Quantil 20 %	5,7	5,7	6,2	3,9	3,9	3,4
Quantil 80 %	8,3	8,2	9,5	5,6	5,5	5,9
Quantil 90 %	10,0	10,0	11,3	6,2	6,1	6,7
Quantil 95 %	12,7	12,5	15,0	6,9	6,8	7,6

Parameter	Ammonium-Stickstoff - NH ₄ -N					
	% TM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	4,4	4,3	5,3	2,8	2,7	2,9
Median	3,9	3,9	4,8	2,7	2,7	2,7
StandAbw ($\pm s$)	2,2	2,1	2,5	0,8	0,8	1,1
Minimum	1,1	1,1	2,1	0,7	0,7	1,5
Maximum	15,5	15,5	13,2	6,6	5,5	6,6
Quantil 5 %	2,2	2,2	2,9	1,5	1,5	1,6
Quantil 10 %	2,6	2,6	3,3	1,7	1,7	1,7
Quantil 20 %	3,0	3,0	3,6	2,1	2,1	2,3
Quantil 80 %	5,4	5,2	6,0	3,3	3,3	3,8
Quantil 90 %	6,6	6,6	7,6	3,8	3,7	4,2
Quantil 95 %	9,1	9,1	10,9	4,0	4,0	4,5

Tabelle 2

**Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)
Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Ammonium-Stickstoff - NH₄-N		
Dimension	% N _{gesamt}		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26
arithm. Mittelwert	59	58	62
Median	58	57	63
StandAbw (±s)	10	10	10
Minimum	29	29	35
Maximum	125	125	79
Quantil 5 %	43	44	44
Quantil 10 %	47	47	51
Quantil 20 %	52	52	54
Quantil 80 %	65	64	70
Quantil 90 %	71	70	73
Quantil 95 %	73	73	77

Parameter	Phosphor - P₂O₅					
Dimension	% TM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	2,7	2,6	3,0	1,8	1,8	1,8
Median	2,5	2,5	3,0	1,7	1,7	1,8
StandAbw (±s)	1,0	1,0	0,6	0,7	0,7	0,7
Minimum	0,7	0,7	1,7	0,4	0,4	0,7
Maximum	6,9	6,9	4,0	5,3	5,3	4,0
Quantil 5 %	1,2	1,1	2,1	0,7	0,7	0,8
Quantil 10 %	1,8	1,7	2,4	0,9	0,9	1,0
Quantil 20 %	2,1	2,1	2,6	1,2	1,2	1,2
Quantil 80 %	3,1	2,9	3,6	2,1	2,1	2,4
Quantil 90 %	3,7	3,7	3,7	2,6	2,5	2,7
Quantil 95 %	4,8	4,9	4,0	2,9	2,9	2,8

Tabelle 2**Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)****Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Kalium - K ₂ O					
	% TM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	7,4	7,5	6,5	4,9	5,0	3,9
Median	7,1	7,2	6,7	4,7	4,8	4,2
StandAbw (±s)	2,2	2,2	2,0	1,7	1,7	1,5
Minimum	2,8	2,8	3,6	1,0	1,0	1,2
Maximum	15,8	15,8	10,4	12,0	12,0	7,0
Quantil 5 %	4,1	4,6	3,8	2,5	2,7	1,5
Quantil 10 %	4,9	5,1	3,9	3,1	3,2	1,7
Quantil 20 %	5,7	5,8	4,1	3,7	3,8	2,2
Quantil 80 %	9,0	9,1	8,2	6,0	6,0	4,8
Quantil 90 %	10,2	10,3	9,0	6,9	7,0	5,4
Quantil 95 %	11,1	11,2	9,1	7,5	7,6	5,8

Parameter	Magnesium - MgO					
	% TM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	1,23	1,23	1,20	0,82	0,84	0,70
Median	1,14	1,13	1,23	0,76	0,77	0,62
StandAbw (±s)	0,68	0,69	0,62	0,51	0,52	0,36
Minimum	0,25	0,25	0,29	0,12	0,14	0,12
Maximum	4,85	4,85	3,05	4,37	4,37	1,54
Quantil 5 %	0,52	0,53	0,47	0,30	0,30	0,27
Quantil 10 %	0,63	0,64	0,57	0,34	0,36	0,31
Quantil 20 %	0,79	0,80	0,74	0,46	0,47	0,43
Quantil 80 %	1,47	1,48	1,36	1,04	1,04	1,00
Quantil 90 %	1,71	1,71	1,51	1,26	1,26	1,21
Quantil 95 %	2,31	2,26	2,52	1,43	1,43	1,27

Tabelle 2

Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)
Gesamtgehalte Nährstoffe

Parameter	Kalzium - CaO					
	% TM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	3,2	3,1	3,7	2,1	2,1	2,1
Median	3,1	3,0	3,8	2,0	2,0	2,0
StandAbw ($\pm s$)	1,0	0,9	1,0	0,8	0,8	0,8
Minimum	1,2	1,2	1,6	0,6	0,6	0,6
Maximum	7,8	7,8	5,3	5,8	5,8	4,5
Quantil 5 %	1,9	1,9	2,1	1,1	1,1	1,2
Quantil 10 %	2,1	2,1	2,4	1,2	1,2	1,4
Quantil 20 %	2,4	2,4	3,1	1,5	1,5	1,5
Quantil 80 %	3,8	3,7	4,4	2,6	2,6	2,7
Quantil 90 %	4,4	4,2	4,9	3,0	3,0	3,0
Quantil 95 %	4,9	4,7	5,2	3,6	3,6	3,1

Parameter	Schwefel - S					
	% TM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	0,50	0,50	0,53	0,33	0,33	0,32
Median	0,50	0,50	0,56	0,33	0,33	0,30
StandAbw ($\pm s$)	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,12
Minimum	0,11	0,11	0,26	0,07	0,07	0,10
Maximum	0,88	0,88	0,80	0,71	0,68	0,71
Quantil 5 %	0,35	0,35	0,31	0,18	0,18	0,13
Quantil 10 %	0,38	0,38	0,40	0,21	0,21	0,19
Quantil 20 %	0,43	0,42	0,46	0,26	0,26	0,22
Quantil 80 %	0,57	0,57	0,61	0,40	0,41	0,39
Quantil 90 %	0,62	0,61	0,64	0,45	0,45	0,41
Quantil 95 %	0,65	0,65	0,67	0,50	0,50	0,49

Unterschiede arithm. Mittelwerte (t-Test)

Parameter	Bioabfall im Vergleich zu NawaRo	
Ngesamt	in % TM	0
	in kg/t FM	0
NH4-N	in % TM	0
	in kg/t FM	0
	in % Ngesamt	0
P2O5	in % TM	++
	in kg/t FM	0
K2O	in % TM	0
	in kg/t FM	=
MgO	in % TM	0
	in kg/t FM	0
CaO	in % TM	++
	in kg/t FM	0
S	in % TM	0
	in kg/t FM	0

Tabelle 3**Inhaltsstoffe von Gärprodukten****Lösliche Nährstoffgehalte****Gesamtauswertung Probenaktionen 2005/06 + 2006/07**

Erläuterungen: TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse

Parameter	Leicht löslicher Stickstoff - NII					
Dimension	mg/kg FM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	2204	2175	2455	2,2	2,2	2,5
Median	2144	2144	2183	2,1	2,1	2,2
StandAbw ($\pm s$)	741	713	930	0,7	0,7	0,9
Minimum	537	537	970	0,5	0,5	1,0
Maximum	5036	4696	5036	5,0	4,7	5,0
Quantil 5 %	1109	1071	1391	1,1	1,1	1,4
Quantil 10 %	1363	1316	1447	1,4	1,3	1,4
Quantil 20 %	1560	1557	1860	1,6	1,6	1,9
Quantil 80 %	2795	2740	3082	2,8	2,7	3,1
Quantil 90 %	3082	3038	3429	3,1	3,0	3,4
Quantil 95 %	3439	3299	4048	3,4	3,3	4,0

Parameter	Leicht lösliche N-Fracht		
Dimension	% N-Gesamtfracht		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26
arithm. Mittelwert	47	47	53
Median	46	45	52
StandAbw ($\pm s$)	13	12	15
Minimum	11	11	21
Maximum	105	105	100
Quantil 5 %	30	30	36
Quantil 10 %	35	34	38
Quantil 20 %	39	39	45
Quantil 80 %	54	54	61
Quantil 90 %	61	60	66
Quantil 95 %	68	66	69

Tabelle 3**Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)****Lösliche Nährstoffgehalte**

Parameter	Leicht löslicher NH ₄ -N-Stickstoff					
	mg/kg FM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	2197	2168	2449	2,2	2,2	2,4
Median	2135	2135	2177	2,1	2,1	2,2
StandAbw (±s)	744	716	930	0,7	0,7	0,9
Minimum	284	284	964	0,3	0,3	1,0
Maximum	5030	4690	5030	5,0	4,7	5,0
Quantil 5 %	1103	1065	1385	1,1	1,1	1,4
Quantil 10 %	1357	1310	1441	1,4	1,3	1,4
Quantil 20 %	1554	1551	1854	1,6	1,6	1,9
Quantil 80 %	2789	2734	3076	2,8	2,7	3,1
Quantil 90 %	3076	3032	3423	3,1	3,0	3,4
Quantil 95 %	3433	3293	4042	3,4	3,3	4,0

Parameter	Leicht lösliche NH ₄ -N-Fracht		
	% NH ₄ -N-Gesamtfracht		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26
arithm. Mittelwert	80	80	84
Median	80	80	82
StandAbw (±s)	15	15	19
Minimum	20	20	60
Maximum	174	174	170
Quantil 5 %	55	54	74
Quantil 10 %	73	67	74
Quantil 20 %	76	76	77
Quantil 80 %	85	85	87
Quantil 90 %	88	88	88
Quantil 95 %	92	93	89

Tabelle 3

Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)
Lösliche Nährstoffgehalte

Parameter	Löslicher Phosphor- P ₂ O ₅					
	mg/kg FM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	1145	1139	1190	1,1	1,1	1,2
Median	1110	1110	1075	1,1	1,1	1,1
StandAbw (±s)	480	460	632	0,5	0,5	0,6
Minimum	20	20	270	0,0	0,0	0,3
Maximum	2770	2590	2770	2,8	2,6	2,8
Quantil 5 %	422	440	335	0,4	0,4	0,3
Quantil 10 %	588	590	515	0,6	0,6	0,5
Quantil 20 %	770	770	780	0,8	0,8	0,8
Quantil 80 %	1490	1496	1360	1,5	1,5	1,4
Quantil 90 %	1702	1680	2165	1,7	1,7	2,2
Quantil 95 %	2046	1916	2543	2,0	1,9	2,5

Parameter	Lösliche P ₂ O ₅ -Fracht		
	% P ₂ O ₅ -Gesamtfracht		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26
arithm. Mittelwert	70	70	66
Median	66	66	64
StandAbw (±s)	34	35	22
Minimum	1	1	25
Maximum	240	240	112
Quantil 5 %	29	30	27
Quantil 10 %	36	36	38
Quantil 20 %	49	47	55
Quantil 80 %	80	80	84
Quantil 90 %	99	98	97
Quantil 95 %	146	150	105

Tabelle 3

Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)
Lösliche Nährstoffgehalte

Parameter	Lösliches Kalium - K ₂ O					
	mg/kg FM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	4475	4557	3769	4,5	4,6	3,8
Median	4450	4490	4080	4,5	4,5	4,1
StandAbw (±s)	1303	1275	1346	1,3	1,3	1,3
Minimum	1110	1110	1220	1,1	1,1	1,2
Maximum	8900	8900	6340	8,9	8,9	6,3
Quantil 5 %	2034	2305	1628	2,0	2,3	1,6
Quantil 10 %	2828	3002	1795	2,8	3,0	1,8
Quantil 20 %	3600	3614	2230	3,6	3,6	2,2
Quantil 80 %	5558	5582	4760	5,6	5,6	4,8
Quantil 90 %	6144	6176	5150	6,1	6,2	5,2
Quantil 95 %	6680	6709	5565	6,7	6,7	5,6

Parameter	Lösliche K ₂ O-Fracht		
	% K ₂ O-Gesamtfracht		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26
arithm. Mittelwert	96	96	100
Median	98	98	101
StandAbw (±s)	27	28	13
Minimum	22	22	63
Maximum	319	319	134
Quantil 5 %	47	45	82
Quantil 10 %	63	57	87
Quantil 20 %	84	83	94
Quantil 80 %	108	108	107
Quantil 90 %	115	116	112
Quantil 95 %	127	129	118

Tabelle 3

Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)
Lösliche Nährstoffgehalte

Parameter	Lösliches Magnesium - MgO					
	mg/kg FM			kg/t FM		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26	249	223	26
arithm. Mittelwert	80	84	49	0,08	0,08	0,05
Median	70	70	40	0,07	0,07	0,04
StandAbw (±s)	60	61	42	0,06	0,06	0,04
Minimum	10	10	10	0,01	0,01	0,01
Maximum	410	410	220	0,41	0,41	0,22
Quantil 5 %	14	20	10	0,01	0,02	0,01
Quantil 10 %	20	30	15	0,02	0,03	0,02
Quantil 20 %	40	40	30	0,04	0,04	0,03
Quantil 80 %	110	120	60	0,11	0,12	0,06
Quantil 90 %	160	160	75	0,16	0,16	0,08
Quantil 95 %	186	189	103	0,19	0,19	0,10

Parameter	Lösliche Mg-Fracht		
	% MgO-Gesamtfracht		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	249	223	26
arithm. Mittelwert	18	19	13
Median	15	16	11
StandAbw (±s)	11	12	9
Minimum	0	0	1
Maximum	66	66	36
Quantil 5 %	3	4	3
Quantil 10 %	6	6	4
Quantil 20 %	10	10	7
Quantil 80 %	25	25	19
Quantil 90 %	32	32	27
Quantil 95 %	41	41	28

Tabelle 4

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle (Forts.)
Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Parameter	zu organischer Substanz			
	Kohlenstoff(C)-Gehalt (58 % von OS)		C/N-Verhältnis	
Dimension	% TM			
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	43,7	46,6	6,9	10,8
Median	43,9	47,3	6,8	10,8
StandAbw (±s)	2,5	3,1	1,7	3,6
Minimum	37,0	37,0	2,7	4,0
Maximum	50,4	55,0	11,5	23,9
Quantil 5 %	39,6	40,6	4,1	4,7
Quantil 10 %	40,9	42,7	5,2	5,7
Quantil 20 %	41,8	44,5	6,0	8,8
Quantil 80 %	45,7	49,0	7,9	13,1
Quantil 90 %	46,4	49,4	9,0	14,8
Quantil 95 %	47,7	50,1	9,3	16,1

Parameter	Wertstoffe			
	Basisch wirksame Substanz - BWS			
Dimension	% CaO TM		kg CaO/t FM	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	4,8	3,3	3,8	2,9
Median	5,0	2,7	3,7	2,4
StandAbw (±s)	1,4	2,0	1,5	2,1
Minimum	2,1	0,2	0,6	0,2
Maximum	8,1	10,8	8,0	11,9
Quantil 5 %	2,4	1,1	1,8	0,7
Quantil 10 %	2,9	1,7	2,1	1,2
Quantil 20 %	3,5	2,0	2,6	1,8
Quantil 80 %	5,9	4,3	4,6	4,0
Quantil 90 %	6,4	5,8	5,3	4,9
Quantil 95 %	6,7	6,2	6,1	6,8

Unterschiede arithm. Mittelwerte (t-Test)

Parameter	Gülle im Vergleich zu Gärprodukt
Trockenmasse	++
pH-Wert	=
org. Substanz in % TM	++
in kg/t FM	++
C-Gehalt	++
C/N-Verhältnis	++
BWS in % TM	=
in kg/t FM	-

Tabelle 5

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle (Forts.)
Gesamtgehalte Nährstoffe

Parameter	Phosphor - P ₂ O ₅			
	% TM		kg/t FM	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	2,3	1,9	1,7	1,6
Median	2,4	1,8	1,8	1,7
StandAbw (±s)	0,8	1,3	0,6	1,1
Minimum	0,9	0,1	0,6	0,1
Maximum	6,5	6,9	3,0	6,1
Quantil 5 %	1,0	0,2	0,7	0,1
Quantil 10 %	1,1	0,2	0,9	0,2
Quantil 20 %	1,9	1,0	1,3	0,6
Quantil 80 %	2,7	2,1	2,1	2,1
Quantil 90 %	2,8	2,4	2,2	2,6
Quantil 95 %	3,0	4,2	2,7	2,7

Parameter	Kalium - K ₂ O			
	% TM		kg/t FM	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	6,6	4,8	5,0	4,1
Median	6,5	4,6	4,9	4,0
StandAbw (±s)	1,3	1,8	1,4	1,2
Minimum	3,9	1,4	1,8	1,4
Maximum	11,0	12,0	9,0	7,0
Quantil 5 %	4,3	2,8	3,0	2,0
Quantil 10 %	5,3	3,3	3,2	2,7
Quantil 20 %	5,6	3,6	4,2	3,1
Quantil 80 %	7,7	6,0	5,9	5,1
Quantil 90 %	8,2	6,5	7,0	5,5
Quantil 95 %	8,4	7,0	7,5	6,2

Tabelle 5

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle (Forts.)
Gesamtgehalte Nährstoffe

Parameter	Magnesium - MgO			
	% TM		kg/t FM	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	1,04	1,15	0,81	1,02
Median	1,02	1,05	0,86	0,95
StandAbw ($\pm s$)	0,32	0,45	0,30	0,47
Minimum	0,40	0,31	0,19	0,21
Maximum	1,80	2,89	1,43	2,58
Quantil 5 %	0,53	0,61	0,28	0,35
Quantil 10 %	0,61	0,75	0,34	0,56
Quantil 20 %	0,77	0,87	0,54	0,68
Quantil 80 %	1,29	1,35	1,09	1,37
Quantil 90 %	1,49	1,56	1,16	1,55
Quantil 95 %	1,59	1,84	1,29	1,90

Parameter	Kalzium - CaO			
	% TM		kg/t FM	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	2,7	2,6	2,1	2,3
Median	2,4	2,4	1,9	2,0
StandAbw ($\pm s$)	0,7	1,1	0,7	1,1
Minimum	1,6	0,5	1,1	0,6
Maximum	4,5	7,7	4,0	6,8
Quantil 5 %	1,8	1,4	1,2	1,0
Quantil 10 %	1,9	1,5	1,3	1,3
Quantil 20 %	2,1	1,8	1,5	1,5
Quantil 80 %	3,3	3,3	2,6	2,9
Quantil 90 %	3,6	3,7	2,9	3,6
Quantil 95 %	4,0	4,4	3,1	4,0

Tabelle 5**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle (Forts.)
Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Schwefel - S			
	% TM		kg/t FM	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	0,48	0,47	0,36	0,41
Median	0,48	0,45	0,36	0,41
StandAbw ($\pm s$)	0,08	0,13	0,10	0,12
Minimum	0,27	0,14	0,17	0,07
Maximum	0,71	0,95	0,68	0,77
Quantil 5 %	0,37	0,33	0,22	0,23
Quantil 10 %	0,37	0,35	0,27	0,27
Quantil 20 %	0,40	0,38	0,29	0,31
Quantil 80 %	0,54	0,53	0,42	0,50
Quantil 90 %	0,56	0,60	0,45	0,54
Quantil 95 %	0,61	0,69	0,54	0,57

Unterschiede arithm. Mittelwerte (t-Test)

Parameter	Gülle im Vergleich zu Gärprodukt
Ngesamt in % TM	=
in kg/t FM	=
NH4-N in % TM	=
in kg/t FM	=
in % Ngesamt	=
P2O5 in % TM	-
in kg/t FM	0
K2O in % TM	=
in kg/t FM	=
MgO in % TM	0
in kg/t FM	++
CaO in % TM	0
in kg/t FM	0
S in % TM	0
in kg/t FM	+

Tabelle 6

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle

Lösliche Nährstoffgehalte

Auswertung Probenaktion 2006/07

nur NawaRo-Anlagen

Erläuterungen: TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse

Parameter	Leicht löslicher Stickstoff - NII				II N-Fracht	
	mg/kg FM		kg/t FM		% N-Gesamtfracht	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	2035	1637	2,0	1,6	41	41
Median	2048	1562	2,0	1,6	43	41
StandAbw (±s)	549	540	0,5	0,5	10	11
Minimum	648	623	0,6	0,6	13	25
Maximum	3193	2735	3,2	2,7	76	78
Quantil 5 %	1135	822	1,1	0,8	26	26
Quantil 10 %	1322	1003	1,3	1,0	29	29
Quantil 20 %	1550	1160	1,6	1,2	34	31
Quantil 80 %	2526	2181	2,5	2,2	47	47
Quantil 90 %	2666	2323	2,7	2,3	50	57
Quantil 95 %	2857	2567	2,9	2,6	56	60

Parameter	Leicht löslicher NH ₄ -N-Stickstoff				II NH ₄ -N-Fracht	
	mg/kg FM		kg/t FM		% NH ₄ -N-Gesamtfracht	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	2029	1630	2,0	1,6	74	94
Median	2042	1556	2,0	1,6	77	88
StandAbw (±s)	549	540	0,5	0,5	13	28
Minimum	642	617	0,6	0,6	26	54
Maximum	3187	2729	3,2	2,7	98	220
Quantil 5 %	1129	816	1,1	0,8	51	61
Quantil 10 %	1316	997	1,3	1,0	54	67
Quantil 20 %	1544	1154	1,5	1,2	65	76
Quantil 80 %	2520	2175	2,5	2,2	82	106
Quantil 90 %	2660	2317	2,7	2,3	84	121
Quantil 95 %	2851	2561	2,9	2,6	87	141

Tabelle 6

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle (Forts.)
Lösliche Nährstoffgehalte

Parameter	Löslicher Phosphor- P ₂ O ₅				Lösliche P ₂ O ₅ -Fracht	
	mg/kg FM		kg/t FM		% P ₂ O ₅ -Gesamtfracht	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53	53	46
arithm. Mittelwert	1309	1236	1,3	1,2	85	73
Median	1240	1180	1,2	1,2	68	64
StandAbw (±s)	468	660	0,5	0,7	49	35
Minimum	20	100	0,0	0,1	1	6
Maximum	2490	4300	2,5	4,3	240	191
Quantil 5 %	624	490	0,6	0,5	42	38
Quantil 10 %	860	532	0,9	0,5	51	49
Quantil 20 %	1014	852	1,0	0,9	59	57
Quantil 80 %	1596	1476	1,6	1,5	88	80
Quantil 90 %	1968	1788	2,0	1,8	172	120
Quantil 95 %	2228	2340	2,2	2,3	203	155

Parameter	Lösliches Kalium - K ₂ O				Lösliche K ₂ O-Fracht	
	mg/kg FM		kg/t FM		% K ₂ O-Gesamtfracht	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	4486	3656	4,5	3,7	94	92
Median	4550	3770	4,6	3,8	96	98
StandAbw (±s)	1502	1328	1,5	1,3	40	25
Minimum	1630	1200	1,6	1,2	22	34
Maximum	8090	6750	8,1	6,8	319	147
Quantil 5 %	1970	1626	2,0	1,6	41	42
Quantil 10 %	2156	1890	2,2	1,9	45	49
Quantil 20 %	3322	2396	3,3	2,4	75	82
Quantil 80 %	5690	4730	5,7	4,7	107	105
Quantil 90 %	6316	5360	6,3	5,4	115	118
Quantil 95 %	6558	5564	6,6	5,6	132	122

Tabelle 6**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle (Forts.)
Lösliche Nährstoffgehalte**

Parameter	Lösliches Magnesium - Mg				Lösliche Mg-Fracht	
	mg/kg FM		kg/t FM		% MgO-Gesamtfracht	
Probenart	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle	Gärprodukt	Gülle
Probenanzahl	53	53	53	53	53	53
arithm. Mittelwert	96	257	0,10	0,26	19	46
Median	70	230	0,07	0,23	15	44
StandAbw ($\pm s$)	70	136	0,07	0,14	10	23
Minimum	20	50	0,02	0,05	8	6
Maximum	410	640	0,41	0,64	61	140
Quantil 5 %	20	100	0,02	0,10	10	17
Quantil 10 %	32	112	0,03	0,11	10	23
Quantil 20 %	50	134	0,05	0,13	12	28
Quantil 80 %	140	336	0,14	0,34	25	67
Quantil 90 %	170	448	0,17	0,45	31	72
Quantil 95 %	196	496	0,20	0,50	36	79

Tabelle 7

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
Sortierung der Biogasanlagen nach Gülleherkunft bestimmter
Gruppen von Tierarten bzw. viehloser Vergärung ohne Gülle
Allgemeine Parameter und Wertstoffe
Auswertung NawaRo-Anlagen 2005/06 + 2006/07

Erläuterungen: a) TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse
 b) arith. Mittelwerte der Tierarten im Vergleich zu Gärprodukt
 aus Anlagen mit Rindergülle (t-Test):

statistisch gesichert	$\alpha = 5 \%$	$\alpha = 1 \%$
- Anhebung	+	++
- Absenkung	-	=
- kein Unterschied	0	

Parameter	Allgemeine Parameter			
	Trockenmasse			
Dimension	% FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	7,3	5,6	7,0	6,5
Median	7,5	5,5	6,7	6,6
StandAbw ($\pm s$)	2,1	2,0	2,6	2,1
Minimum	1,4	2,1	3,3	1,8
Maximum	15,1	10,0	17,4	10,1
Quantil 5 %	4,0	2,7	4,0	3,7
Quantil 10 %	4,6	3,3	4,5	4,1
Quantil 20 %	5,4	3,6	5,1	4,7
Quantil 80 %	8,8	7,4	8,2	7,9
Quantil 90 %	9,6	8,0	9,3	9,6
Quantil 95 %	10,8	8,9	10,6	9,7

Parameter	Allgemeine Parameter			
	pH-Wert			
Dimension				
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	8,3	8,3	8,3	8,2
Median	8,4	8,2	8,4	8,3
StandAbw ($\pm s$)	0,4	0,5	0,4	0,4
Minimum	6,6	7,3	7,4	7,6
Maximum	9,1	9,1	8,9	8,9
Quantil 5 %	7,6	7,6	7,6	7,7
Quantil 10 %	7,7	7,7	7,8	7,8
Quantil 20 %	7,9	7,9	7,8	7,8
Quantil 80 %	8,6	8,8	8,6	8,5
Quantil 90 %	8,9	8,9	8,9	8,6

Quantil 95 %	8,9	9,0	8,9	8,7
--------------	-----	-----	-----	-----

Tabelle 7

**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)**

Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Parameter	Wertstoffe			
	Organische Substanz - OS			
Dimension	% TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	72,3	71,8	74,5	73,4
Median	72,5	73,1	74,8	74,7
StandAbw ($\pm s$)	5,3	7,1	4,6	5,1
Minimum	59,9	53,4	62,4	58,4
Maximum	86,9	81,0	83,0	79,2
Quantil 5 %	63,6	58,1	67,2	66,8
Quantil 10 %	65,5	62,3	68,9	67,0
Quantil 20 %	67,6	67,5	70,9	69,3
Quantil 80 %	76,5	78,1	77,9	78,1
Quantil 90 %	78,8	79,1	79,4	78,6
Quantil 95 %	80,7	79,7	81,5	78,7

Parameter	Wertstoffe			
	Organische Substanz - OS			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	53,5	41,4	52,6	47,9
Median	52,9	40,5	50,2	50,0
StandAbw ($\pm s$)	17,3	17,0	21,5	16,5
Minimum	9,4	11,2	23,1	12,0
Maximum	114,5	81,0	135,0	72,5
Quantil 5 %	27,8	18,0	29,7	24,8
Quantil 10 %	31,7	19,6	31,2	26,3
Quantil 20 %	38,8	24,5	37,5	34,8
Quantil 80 %	67,6	54,2	62,9	60,6
Quantil 90 %	72,7	63,3	71,8	71,5
Quantil 95 %	80,9	64,9	83,0	71,6

Tabelle 7**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Allgemeine Parameter und Wertstoffe**

Parameter	zu organischer Substanz			
	Kohlenstoff(C)-Gehalt (58 % von OS)			
Dimension	% TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	41,9	41,6	43,2	42,6
Median	42,1	42,4	43,4	43,3
StandAbw ($\pm s$)	3,1	4,1	2,7	3,0
Minimum	34,8	31,0	36,2	33,8
Maximum	50,4	47,0	48,1	45,9
Quantil 5 %	36,9	33,7	39,0	38,8
Quantil 10 %	38,0	36,1	40,0	38,9
Quantil 20 %	39,2	39,1	41,1	40,2
Quantil 80 %	44,4	45,3	45,2	45,3
Quantil 90 %	45,7	45,9	46,1	45,6
Quantil 95 %	46,8	46,2	47,3	45,6

Parameter	zu organischer Substanz			
	C/N-Verhältnis			
Dimension				
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl				
arithm. Mittelwert	6,8	5,1	6,0	6,3
Median	6,5	5,4	5,9	6,5
StandAbw ($\pm s$)	1,9	1,9	2,1	1,8
Minimum	3,1	1,7	2,4	3,4
Maximum	16,6	8,8	11,3	11,8
Quantil 5 %	4,3	2,1	3,1	3,5
Quantil 10 %	4,9	2,7	3,3	4,7
Quantil 20 %	5,5	3,2	4,0	4,8
Quantil 80 %	7,7	6,7	7,9	7,5
Quantil 90 %	9,1	7,3	8,9	7,8
Quantil 95 %	10,0	7,6	9,4	8,0

Tabelle 7**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Allgemeine Parameter und Wertstoffe**

Parameter	Wertstoffe			
	Basisch wirksame Substanz - BWS			
Dimension	% CaO TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	5,8	5,0	4,9	5,9
Median	5,7	5,0	4,8	5,8
StandAbw ($\pm s$)	1,6	1,3	1,6	1,6
Minimum	2,0	2,2	2,7	2,6
Maximum	13,4	8,9	8,6	9,2
Quantil 5 %	3,3	2,9	3,0	3,9
Quantil 10 %	3,8	3,5	3,1	4,4
Quantil 20 %	4,5	4,1	3,4	4,8
Quantil 80 %	6,9	5,8	6,3	6,7
Quantil 90 %	7,5	6,1	6,5	8,4
Quantil 95 %	8,6	6,9	8,0	8,5

Parameter	Wertstoffe			
	Basisch wirksame Substanz - BWS			
Dimension	kg CaO/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	4,1	2,7	3,2	3,7
Median	4,0	2,9	2,9	3,8
StandAbw ($\pm s$)	1,2	0,9	0,9	1,5
Minimum	1,0	0,6	1,9	1,5
Maximum	8,0	4,5	5,6	7,6
Quantil 5 %	2,4	1,4	2,1	1,5
Quantil 10 %	2,7	1,9	2,2	2,2
Quantil 20 %	3,1	2,0	2,5	2,5
Quantil 80 %	4,7	3,5	4,1	4,5
Quantil 90 %	5,6	3,8	4,5	4,9
Quantil 95 %	6,1	4,0	4,8	6,5

Unterschiede arithmetrische Mittelwerte (t-Test)

Parameter	Tierarten im Vergleich zu Rindern		
	Schweine	übrige	viehlos
Trockenmasse	=	0	0
pH-Wert	0	0	0
org. Substanz in % TM	0	+	0
in kg/t FM	=	0	0
C-Gehalt	0	+	0
C/N-Verhältnis	=	-	0
BWS in % TM	=	=	0
in kg/t FM	=	=	0

Tabelle 8

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
Sortierung der Biogasanlagen nach Gülleherkunft bestimmter
Gruppen von Tierarten bzw. viehloser Vergärung ohne Gülle
Gesamtgehalte Nährstoffe
Auswertung NawaRo-Anlagen 2005/06 + 2006/07

Erläuterungen: a) TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse
 b) arith. Mittelwerte der Tierarten im Vergleich zu Gärprodukt
 aus Anlagen mit Rindergülle (t-Test):

statistisch gesichert	$\alpha = 5 \%$	$\alpha = 1 \%$
- Anhebung	+	++
- Absenkung	-	=
- kein Unterschied	0	

Parameter	Stickstoff - N _{gesamt}			
	% TM			
Dimension	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Tierart				
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	6,5	9,3	8,2	7,2
Median	6,3	8,0	7,3	7,0
StandAbw (±s)	1,4	3,6	3,0	1,8
Minimum	2,6	5,2	4,0	3,5
Maximum	12,5	18,3	15,4	11,6
Quantil 5 %	4,3	5,8	4,9	5,7
Quantil 10 %	5,0	6,3	5,3	5,8
Quantil 20 %	5,6	6,6	5,8	5,9
Quantil 80 %	7,3	12,2	10,3	9,1
Quantil 90 %	8,1	15,1	13,4	9,3
Quantil 95 %	9,3	16,3	13,9	9,6

Parameter	Stickstoff - N _{gesamt}			
	kg/t FM			
Dimension	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Tierart				
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	4,6	4,6	5,3	4,4
Median	4,6	4,5	5,2	4,3
StandAbw (±s)	1,2	0,7	1,3	1,2
Minimum	1,4	3,7	1,7	1,3
Maximum	7,9	6,6	8,5	6,8
Quantil 5 %	2,4	3,8	4,1	3,0
Quantil 10 %	3,3	3,9	4,2	3,1
Quantil 20 %	3,8	4,1	4,2	3,5
Quantil 80 %	5,4	5,0	6,0	5,3
Quantil 90 %	6,0	5,3	7,0	6,0
Quantil 95 %	6,4	5,8	7,8	6,1

Tabelle 8

**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)
Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Ammonium-Stickstoff - NH₄-N			
Dimension	% TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	3,7	6,5	5,0	4,2
Median	3,6	5,0	4,3	4,0
StandAbw (±s)	1,2	3,4	2,4	1,5
Minimum	1,1	2,9	2,3	1,8
Maximum	9,1	15,5	11,0	7,6
Quantil 5 %	2,0	3,1	2,3	2,6
Quantil 10 %	2,5	3,5	2,4	2,8
Quantil 20 %	2,8	3,8	3,1	3,0
Quantil 80 %	4,3	10,1	7,0	5,7
Quantil 90 %	5,1	11,6	8,7	5,9
Quantil 95 %	5,8	12,5	9,2	6,9

Parameter	Ammonium-Stickstoff - NH₄-N			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	2,6	3,1	3,1	2,5
Median	2,6	3,1	3,0	2,7
StandAbw (±s)	0,7	0,5	1,0	0,8
Minimum	0,8	2,3	1,0	0,7
Maximum	4,7	4,2	5,5	4,4
Quantil 5 %	1,4	2,4	1,9	1,5
Quantil 10 %	1,6	2,5	2,2	1,7
Quantil 20 %	2,0	2,6	2,3	1,8
Quantil 80 %	3,2	3,3	3,7	3,1
Quantil 90 %	3,6	3,9	4,4	3,3
Quantil 95 %	3,8	4,1	4,9	3,4

Tabelle 8

**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)
Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Ammonium-Stickstoff - NH₄-N			
Dimension	% N _{gesamt}			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	56	67	59	57
Median	57	65	61	56
StandAbw (±s)	10	11	9	7
Minimum	29	50	43	45
Maximum	125	87	73	72
Quantil 5 %	42	55	44	48
Quantil 10 %	45	55	46	50
Quantil 20 %	51	56	51	52
Quantil 80 %	61	79	65	63
Quantil 90 %	65	84	70	65
Quantil 95 %	68	85	71	66

Parameter	Phosphor - P₂O₅			
Dimension	% TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	2,5	3,5	2,8	2,2
Median	2,5	2,8	2,7	2,3
StandAbw (±s)	0,8	1,6	0,9	0,5
Minimum	0,7	1,1	0,9	0,9
Maximum	5,8	6,9	5,9	3,1
Quantil 5 %	1,2	1,3	1,6	1,0
Quantil 10 %	1,7	2,1	2,0	1,5
Quantil 20 %	2,0	2,5	2,3	2,1
Quantil 80 %	2,8	4,9	3,4	2,5
Quantil 90 %	3,0	5,6	3,8	2,6
Quantil 95 %	3,8	6,3	4,3	2,7

Tabelle 8

**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)
Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Phosphor - P₂O₅			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	1,8	1,9	1,9	1,4
Median	1,8	1,7	1,8	1,5
StandAbw (±s)	0,7	1,0	0,7	0,6
Minimum	0,4	0,6	0,8	0,4
Maximum	4,6	5,3	3,8	2,5
Quantil 5 %	0,8	0,8	0,9	0,6
Quantil 10 %	1,0	1,0	1,0	0,6
Quantil 20 %	1,2	1,3	1,4	1,0
Quantil 80 %	2,1	2,1	2,2	1,8
Quantil 90 %	2,4	2,8	2,8	2,3
Quantil 95 %	2,9	3,7	2,9	2,4

Parameter	Kalium - K₂O			
Dimension	% TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	7,5	7,7	7,2	7,9
Median	7,1	7,3	6,9	7,9
StandAbw (±s)	2,3	2,1	1,7	2,4
Minimum	2,8	3,7	4,6	3,4
Maximum	15,8	15,2	11,0	13,6
Quantil 5 %	4,3	5,5	4,9	4,7
Quantil 10 %	5,0	6,1	5,1	6,0
Quantil 20 %	5,7	6,5	5,6	6,1
Quantil 80 %	9,3	8,7	9,0	8,9
Quantil 90 %	10,5	10,2	9,4	9,9
Quantil 95 %	11,4	11,0	10,1	13,0

Tabelle 8**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Kalium - K₂O			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	5,3	4,2	4,8	4,9
Median	5,2	3,8	4,4	4,8
StandAbw (±s)	1,6	1,7	1,5	1,6
Minimum	1,0	1,8	2,6	1,4
Maximum	12,0	10,1	11,2	7,3
Quantil 5 %	3,2	2,4	3,2	2,3
Quantil 10 %	3,6	2,6	3,5	2,7
Quantil 20 %	4,1	3,0	4,0	3,5
Quantil 80 %	6,3	5,0	5,4	6,2
Quantil 90 %	7,1	5,6	6,1	7,0
Quantil 95 %	7,7	7,5	6,6	7,0

Parameter	Magnesium - MgO			
Dimension	% TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	1,30	1,40	1,03	0,88
Median	1,20	1,06	0,95	0,91
StandAbw (±s)	0,71	0,94	0,37	0,29
Minimum	0,36	0,40	0,47	0,25
Maximum	4,85	4,65	1,96	1,46
Quantil 5 %	0,58	0,53	0,54	0,49
Quantil 10 %	0,69	0,64	0,64	0,61
Quantil 20 %	0,88	0,74	0,74	0,72
Quantil 80 %	1,50	1,74	1,39	1,11
Quantil 90 %	1,71	2,26	1,51	1,20
Quantil 95 %	2,49	3,15	1,57	1,39

Tabelle 8**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Magnesium - MgO			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	0,91	0,82	0,70	0,56
Median	0,86	0,59	0,63	0,52
StandAbw ($\pm s$)	0,48	0,85	0,31	0,26
Minimum	0,14	0,19	0,25	0,17
Maximum	3,52	4,37	1,46	1,12
Quantil 5 %	0,37	0,24	0,31	0,25
Quantil 10 %	0,43	0,30	0,35	0,28
Quantil 20 %	0,59	0,34	0,45	0,36
Quantil 80 %	1,08	0,97	0,96	0,86
Quantil 90 %	1,32	1,29	1,12	0,89
Quantil 95 %	1,55	2,21	1,28	0,95

Parameter	Kalzium - CaO			
Dimension	% TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	3,1	3,0	3,1	3,4
Median	3,0	2,9	2,9	3,0
StandAbw ($\pm s$)	0,8	0,9	1,2	1,5
Minimum	1,2	1,8	1,7	1,2
Maximum	6,3	5,1	7,2	7,8
Quantil 5 %	2,0	1,9	1,9	2,0
Quantil 10 %	2,2	2,0	1,9	2,3
Quantil 20 %	2,4	2,4	2,2	2,5
Quantil 80 %	3,6	3,7	3,7	4,0
Quantil 90 %	3,9	4,1	4,7	5,4
Quantil 95 %	4,4	4,4	4,8	5,7

Tabelle 8**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Kalzium - CaO			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	2,2	1,6	2,0	2,2
Median	2,1	1,5	1,9	1,8
StandAbw ($\pm s$)	0,7	0,6	0,7	1,3
Minimum	0,7	0,6	1,0	0,8
Maximum	5,8	3,4	4,1	5,5
Quantil 5 %	1,2	1,1	1,3	1,0
Quantil 10 %	1,4	1,1	1,4	1,2
Quantil 20 %	1,6	1,2	1,5	1,2
Quantil 80 %	2,6	2,0	2,3	3,1
Quantil 90 %	3,0	2,5	2,9	4,1
Quantil 95 %	3,5	2,9	3,2	4,3

Parameter	Schwefel - S			
Dimension	% TM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	0,49	0,54	0,49	0,45
Median	0,50	0,52	0,50	0,46
StandAbw ($\pm s$)	0,09	0,11	0,09	0,09
Minimum	0,11	0,36	0,32	0,24
Maximum	0,71	0,88	0,67	0,67
Quantil 5 %	0,36	0,40	0,36	0,34
Quantil 10 %	0,38	0,44	0,37	0,35
Quantil 20 %	0,43	0,45	0,38	0,39
Quantil 80 %	0,57	0,61	0,57	0,51
Quantil 90 %	0,60	0,69	0,60	0,52
Quantil 95 %	0,63	0,73	0,61	0,57

Tabelle 8**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)
Gesamtgehalte Nährstoffe**

Parameter	Schwefel - S			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	0,35	0,29	0,33	0,28
Median	0,34	0,28	0,31	0,30
StandAbw ($\pm s$)	0,10	0,08	0,09	0,10
Minimum	0,07	0,17	0,20	0,08
Maximum	0,68	0,47	0,68	0,48
Quantil 5 %	0,18	0,18	0,20	0,16
Quantil 10 %	0,24	0,21	0,25	0,17
Quantil 20 %	0,28	0,24	0,27	0,21
Quantil 80 %	0,42	0,35	0,38	0,37
Quantil 90 %	0,46	0,40	0,41	0,38
Quantil 95 %	0,51	0,45	0,45	0,40

Unterschiede arithmetrische Mittelwerte (t-Test)

Parameter		Tierarten im Vergleich zu Rindern		
		Schweine	übrige	viehlos
Ngesamt	in % TM	++	++	0
	in kg/t FM	0	++	0
NH4-N	in % TM	++	++	0
	in kg/t FM	++	++	0
	in % Ngesamt	++	0	0
P2O5	in % TM	++	0	0
	in kg/t FM	0	0	-
K2O	in % TM	0	0	0
	in kg/t FM	=	0	0
MgO	in % TM	0	=	=
	in kg/t FM	0	=	=
CaO	in % TM	0	0	0
	in kg/t FM	=	0	0
S	in % TM	+	0	-
	in kg/t FM	=	0	=

Tabelle 9

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
Sortierung der Biogasanlagen nach Gülleherkunft bestimmter
Gruppen von Tierarten bzw. viehloser Vergärung ohne Gülle
Lösliche Nährstoffgehalte
Auswertung NawaRo-Anlagen 2005/06 + 2006/07

Erläuterungen: TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse

Parameter	Leicht löslicher Stickstoff - NII			
Dimension	mg/kg FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	2032	2516	2576	1960
Median	2048	2626	2468	2039
StandAbw (±s)	641	551	895	658
Minimum	537	1522	802	694
Maximum	4112	3522	4696	3636
Quantil 5 %	1025	1659	1350	1289
Quantil 10 %	1283	1836	1719	1298
Quantil 20 %	1440	2006	1857	1370
Quantil 80 %	2587	2906	3242	2437
Quantil 90 %	2795	3258	3654	2580
Quantil 95 %	3025	3350	4075	2697

Parameter	Leicht löslicher Stickstoff - NII			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	2,0	2,5	2,6	2,0
Median	2,0	2,6	2,5	2,0
StandAbw (±s)	0,6	0,6	0,9	0,7
Minimum	0,5	1,5	0,8	0,7
Maximum	4,1	3,5	4,7	3,6
Quantil 5 %	1,0	1,7	1,3	1,3
Quantil 10 %	1,3	1,8	1,7	1,3
Quantil 20 %	1,4	2,0	1,9	1,4
Quantil 80 %	2,6	2,9	3,2	2,4
Quantil 90 %	2,8	3,3	3,7	2,6
Quantil 95 %	3,0	3,4	4,1	2,7

Tabelle 9**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Lösliche Nährstoffgehalte**

Parameter	Leicht lösliche N-Fracht			
Dimension	% N-Gesamtfracht			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	45	55	49	44
Median	44	54	48	45
StandAbw ($\pm s$)	12	13	12	8
Minimum	11	32	24	27
Maximum	105	81	93	60
Quantil 5 %	29	36	35	27
Quantil 10 %	32	38	36	37
Quantil 20 %	39	45	40	40
Quantil 80 %	50	66	56	51
Quantil 90 %	56	74	60	53
Quantil 95 %	61	76	65	54

Parameter	Ammonium-Stickstoff - NH₄-N			
Dimension	mg/kg FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	2024	2509	2567	1954
Median	2042	2620	2462	2033
StandAbw ($\pm s$)	645	551	896	658
Minimum	284	1516	796	688
Maximum	4106	3516	4690	3630
Quantil 5 %	1019	1653	1344	1283
Quantil 10 %	1277	1828	1706	1292
Quantil 20 %	1434	2000	1851	1364
Quantil 80 %	2581	2900	3236	2431
Quantil 90 %	2789	3252	3648	2574
Quantil 95 %	3019	3344	4069	2691

Tabelle 9

**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)**

Lösliche Nährstoffgehalte

Parameter	Ammonium-Stickstoff - NH₄-N			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	2,0	2,5	2,6	2,0
Median	2,0	2,6	2,5	2,0
StandAbw (±s)	0,6	0,6	0,9	0,7
Minimum	0,3	1,5	0,8	0,7
Maximum	4,1	3,5	4,7	3,6
Quantil 5 %	1,0	1,7	1,3	1,3
Quantil 10 %	1,3	1,8	1,7	1,3
Quantil 20 %	1,4	2,0	1,9	1,4
Quantil 80 %	2,6	2,9	3,2	2,4
Quantil 90 %	2,8	3,3	3,6	2,6
Quantil 95 %	3,0	3,3	4,1	2,7

Parameter	Leicht lösliche NH₄-N-Fracht			
Dimension	% NH ₄ -N-Gesamtfracht			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	79	81	82	78
Median	80	82	80	78
StandAbw (±s)	16	9	17	10
Minimum	20	56	54	51
Maximum	174	98	169	98
Quantil 5 %	54	63	69	52
Quantil 10 %	61	77	75	73
Quantil 20 %	75	78	76	75
Quantil 80 %	85	86	84	83
Quantil 90 %	88	90	90	85
Quantil 95 %	89	93	99	86

Tabelle 9**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Lösliche Nährstoffgehalte**

Parameter	Phosphor - P₂O₅			
Dimension	mg/kg FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	1156	1085	1254	923
Median	1120	1070	1195	1000
StandAbw (±s)	433	589	425	425
Minimum	190	20	410	110
Maximum	2590	2200	2480	1920
Quantil 5 %	530	375	685	290
Quantil 10 %	632	440	797	350
Quantil 20 %	812	500	966	590
Quantil 80 %	1488	1680	1530	1220
Quantil 90 %	1654	1850	1597	1290
Quantil 95 %	1840	2025	1913	1470

Parameter	Phosphor - P₂O₅			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	1,2	1,1	1,3	0,9
Median	1,1	1,1	1,2	1,0
StandAbw (±s)	0,4	0,6	0,4	0,4
Minimum	0,2	0,0	0,4	0,1
Maximum	2,6	2,2	2,5	1,9
Quantil 5 %	0,5	0,4	0,7	0,3
Quantil 10 %	0,6	0,4	0,8	0,4
Quantil 20 %	0,8	0,5	1,0	0,6
Quantil 80 %	1,5	1,7	1,5	1,2
Quantil 90 %	1,7	1,9	1,6	1,3
Quantil 95 %	1,8	2,0	1,9	1,5

Tabelle 9**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Lösliche Nährstoffgehalte**

Parameter	Phosphor - P₂O₅			
Dimension	% P ₂ O ₅ -Gesamtfracht			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	71	70	72	67
Median	67	58	66	59
StandAbw (±s)	33	53	30	30
Minimum	23	1	27	25
Maximum	224	240	177	157
Quantil 5 %	35	20	40	30
Quantil 10 %	40	23	51	31
Quantil 20 %	51	35	56	46
Quantil 80 %	77	99	80	86
Quantil 90 %	90	105	90	93
Quantil 95 %	145	184	141	105

Parameter	Lösliches Kalium - K₂O			
Dimension	mg/kg FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	4693	3942	4670	4392
Median	4710	3840	4580	4430
StandAbw (±s)	1333	885	1071	1461
Minimum	1110	2350	1570	1700
Maximum	8900	6970	6850	7000
Quantil 5 %	2104	2710	3189	1970
Quantil 10 %	2990	2830	3554	2540
Quantil 20 %	3674	3370	3986	3310
Quantil 80 %	5680	4460	5570	5680
Quantil 90 %	6328	4650	6106	6140
Quantil 95 %	6752	4955	6295	6700

Tabelle 9**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Lösliche Nährstoffgehalte**

Parameter	Lösliches Kalium - K₂O			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	4,7	3,9	4,7	4,4
Median	4,7	3,8	4,6	4,4
StandAbw (±s)	1,3	0,9	1,1	1,5
Minimum	1,1	2,4	1,6	1,7
Maximum	8,9	7,0	6,9	7,0
Quantil 5 %	2,1	2,7	3,2	2,0
Quantil 10 %	3,0	2,8	3,6	2,5
Quantil 20 %	3,7	3,4	4,0	3,3
Quantil 80 %	5,7	4,5	5,6	5,7
Quantil 90 %	6,3	4,7	6,1	6,1
Quantil 95 %	6,8	5,0	6,3	6,7

Parameter	Lösliche K₂O-Fracht			
Dimension	% K ₂ O-Gesamtfracht			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	93	101	101	96
Median	95	105	102	99
StandAbw (±s)	30	23	20	32
Minimum	22	36	38	38
Maximum	319	133	170	196
Quantil 5 %	45	55	73	41
Quantil 10 %	55	67	88	49
Quantil 20 %	80	92	97	85
Quantil 80 %	103	116	109	104
Quantil 90 %	111	129	114	118
Quantil 95 %	122	130	117	122

Tabelle 9**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)****Lösliche Nährstoffgehalte**

Parameter	Lösliches Magnesium - Mg			
Dimension	mg/kg FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	98	44	76	60
Median	80	30	60	40
StandAbw ($\pm s$)	63	49	55	38
Minimum	10	10	10	20
Maximum	410	230	220	160
Quantil 5 %	30	10	20	30
Quantil 10 %	40	10	30	30
Quantil 20 %	50	10	30	30
Quantil 80 %	138	60	120	80
Quantil 90 %	164	80	158	100
Quantil 95 %	182	135	197	150

Parameter	Lösliches Magnesium - Mg			
Dimension	kg/t FM			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	0,10	0,04	0,08	0,06
Median	0,08	0,03	0,06	0,04
StandAbw ($\pm s$)	0,06	0,05	0,06	0,04
Minimum	0,01	0,01	0,01	0,02
Maximum	0,41	0,23	0,22	0,16
Quantil 5 %	0,03	0,01	0,02	0,03
Quantil 10 %	0,04	0,01	0,03	0,03
Quantil 20 %	0,05	0,01	0,03	0,03
Quantil 80 %	0,14	0,06	0,12	0,08
Quantil 90 %	0,16	0,08	0,16	0,10
Quantil 95 %	0,18	0,14	0,20	0,15

Tabelle 9**Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte nach Tierarten
(Fortsetzung)*****Lösliche Nährstoffgehalte***

Parameter	Lösliche Mg-Fracht			
Dimension	% MgO-Gesamtfracht			
Tierart	Rinder	Schweine	übrige	viehlos
Probenanzahl	137	31	34	21
arithm. Mittelwert	20	11	19	20
Median	17	11	17	14
StandAbw ($\pm s$)	11	9	12	14
Minimum	2	0	2	6
Maximum	61	39	59	66
Quantil 5 %	6	2	6	8
Quantil 10 %	9	2	7	9
Quantil 20 %	12	4	8	11
Quantil 80 %	26	17	24	29
Quantil 90 %	34	22	33	31
Quantil 95 %	42	25	41	44

Tabelle 10 **Zeitreihenuntersuchungen ausgewählter Anlagen**
Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle
Allgemeine Parameter und Wertstoffe
Auswertung Probenaktion 2006/07
nur NawaRo-Anlagen

Erläuterungen: TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse

Parameter	Probenart	Anzahl Anlagen	Kennzahlen				
			arithmetrischer Mittelwert		Variationskoeffizient des Mittelwertes in %		
			Wert	Dimension	Mittel Anlagen	Minimum	Maximum
Allgemeine Parameter							
Trockenmasse	Gärprodukt	12	7,7	% FM	14,3	4,0	30,3
	Gülle	6	8,6	% FM	29,8	0,0	51,0
pH-Wert	Gärprodukt	12	8,1	-	3,4	0,2	7,4
	Gülle	6	7,7	-	4,1	0,3	7,6
Wertstoffe							
organische Substanz - OS	Gärprodukt	12	76,1	% TM	2,7	0,3	6,5
	Gülle	6	78,9	% TM	5,3	1,6	10
	Gärprodukt	12	58,4	kg/t FM	15,2	3,3	36,5
	Gülle	6	68,9	kg/t FM	32,1	1,6	59,4
Kohlenstoff(C)-Gehalt	Gärprodukt	12	44,2	% TM	2,7	0,3	6,5
	Gülle	6	45,8	% TM	5,3	1,6	10,0
C/N-Verhältnis	Gärprodukt	12	7,0	-	12,0	1,4	33,0
	Gülle	6	9,0	-	27,1	1,6	64,0

Tabelle 10

Zeitreihenuntersuchungen ausgewählter Anlagen (Fortsetzung)

Allgemeine Parameter und Wertstoffe

Parameter	Probenart	Anzahl Anlagen	Kennzahlen				
			arithmetrischer Mittelwert		Variationskoeffizient des Mittelwertes in %		
			Wert	Dimension	Mittel Anlagen	Minimum	Maximum
Wertstoffe							
Basisch wirksame Substanz - BWS	Gärprodukt	12	5,0	% CaO TM	15,5	3,3	34,4
	Gülle	6	3,7	% CaO TM	35,5	14,6	53,9
	Gärprodukt	12	3,9	kg CaO/t FM	16,2	0,6	49,2
	Gülle	6	3,3	kg CaO/t FM	57,7	15,0	91,6

Tabelle 11

Zeitreihenuntersuchungen ausgewählter Anlagen

Vergleich Inhaltsstoffe Gärprodukte/ Gülle

Gesamtgehalte Nährstoffe

Auswertung Probenaktion 2006/07

nur NawaRo-Anlagen

Erläuterungen: TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse

Parameter	Probenart	Anzahl Anlagen	Kennzahlen				
			arithmetrischer Mittelwert		Variationskoeffizient des Mittelwertes in %		
			Wert	Dimension	Mittel Anlagen	Minimum	Maximum
Stickstoff - N _{gesamt}	Gärprodukt	12	6,5	% TM	11,7	0,6	40,1
	Gülle	6	5,7	% TM	26,4	0,0	55,9
	Gärprodukt	12	4,9	kg/t FM	9,3	0,0	40,0
	Gülle	6	4,5	kg/t FM	13,6	0,0	24,3
Ammonium-Stickstoff - NH ₄ -N	Gärprodukt	12	3,7	% TM	18,7	3,3	45,9
	Gülle	6	3,0	% TM	38,0	5,9	75,2
	Gärprodukt	12	2,7	kg/t FM	13,2	3,8	36,2
	Gülle	6	2,3	kg/t FM	21,4	5,0	53,9
	Gärprodukt	12	56	% N _{gesamt}	10,4	0,7	26,6
	Gülle	6	50	% N _{gesamt}	14,1	5,2	28,3
Phosphor - P ₂ O ₅	Gärprodukt	12	2,2	% TM	17,5	0,4	57,2
	Gülle	6	1,9	% TM	63,5	2,7	133,2
	Gärprodukt	12	1,7	kg/t FM	25,5	2,1	61,2
	Gülle	6	1,7	kg/t FM	79,1	18,2	136,7

Tabelle 11

Zeitreihenuntersuchungen ausgewählter Anlagen (Fortsetzung)
Gesamtgehalte Nährstoffe

Parameter	Probenart	Anzahl Anlagen	Kennzahlen				
			arithmetrischer Mittelwert		Variationskoeffizient des Mittelwertes in %		
			Wert	Dimension	Mittel Anlagen	Minimum	Maximum
Kalium - K ₂ O	Gärprodukt	12	7,0	% TM	14,8	0,6	48,3
	Gülle	6	5,6	% TM	23,6	2,0	56,8
	Gärprodukt	12	5,4	kg/t FM	12,4	0,4	51,5
	Gülle	6	4,7	kg/t FM	22,0	2,0	35,6
Magnesium- MgO	Gärprodukt	12	0,95	% TM	16,9	3,4	34,1
	Gülle	6	1,31	% TM	18,8	6,6	33,0
	Gärprodukt	12	0,74	kg/t FM	24,0	3,2	44,3
	Gülle	6	1,11	kg/t FM	35,9	13,6	68,2
Kalzium - CaO	Gärprodukt	12	2,9	% TM	14,3	5,0	25,1
	Gülle	6	2,9	% TM	16,9	2,0	46,9
	Gärprodukt	12	2,2	kg/t FM	21,0	4,1	37,0
	Gülle	6	2,4	kg/t FM	32,2	10,7	79,2
Schwefel - S	Gärprodukt	12	0,47	% TM	7,7	0,5	15,8
	Gülle	6	0,54	% TM	20,0	2,9	34,5
	Gärprodukt	12	0,36	kg/t FM	16,1	1,7	30,8
	Gülle	6	0,45	kg/t FM	21,7	2,9	64,2

Tabelle 12

**Inhaltsstoffe von Gärprodukten
Unerwünschte Stoffe: Schwermetalle
Auswertung Probenaktion 2005/ 2006**

- Erläuterungen: a) TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse
 b) arith. Mittelwerte von Bioabfallanlagen im Vergleich zu NawaRo-Anlagen (t-Test):
 statistisch gesichert $\alpha = 5 \%$ $\alpha = 1 \%$
 - Anhebung + ++
 - Absenkung - =
 - kein Unterschied 0
 c) Grenzwerte lt. BioAbfV für Gaben von 20 t/ha TM im 3jähr. Turnus in mg/kg TM:
 Pb - 150, Cd - 1,5, Cr - 100, Ni - 50, Cu - 100, Zn - 400, Hg - 1,0

Parameter	Blei - Pb					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	mg/kg TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	130	111	19	130	111	19
arithm. Mittelwert	2,9	2,8	3,4	2	2	2
Median	2,2	2,1	2,6	1	1	2
StandAbw ($\pm s$)	3,2	3,4	2,2	2	2	1
Minimum	0,8	0,8	1,4	1	1	1
Maximum	32,0	32,0	9,4	21	21	6
Quantil 5 %	1,1	1,1	1,4	1	1	1
Quantil 10 %	1,3	1,2	1,6	1	1	1
Quantil 20 %	1,5	1,5	2,0	1	1	1
Quantil 80 %	3,4	3,4	4,2	2	2	3
Quantil 90 %	4,4	4,1	6,6	3	3	4
Quantil 95 %	6,8	6,2	8,4	5	4	6

Parameter	Cadmium - Cd					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	mg/kg TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	130	111	19	130	111	19
arithm. Mittelwert	0,26	0,26	0,27	17	17	18
Median	0,24	0,24	0,25	16	16	17
StandAbw ($\pm s$)	0,12	0,12	0,13	8	8	9
Minimum	0,08	0,09	0,08	5	6	5
Maximum	0,89	0,89	0,52	59	59	35
Quantil 5 %	0,12	0,15	0,11	8	10	7
Quantil 10 %	0,16	0,16	0,11	11	11	7
Quantil 20 %	0,18	0,18	0,14	12	12	10
Quantil 80 %	0,34	0,34	0,39	23	22	26
Quantil 90 %	0,39	0,39	0,42	26	26	28
Quantil 95 %	0,48	0,46	0,50	32	31	33

Tabelle 12**Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)*****Unerwünschte Stoffe: Schwermetalle***

Parameter	Chrom - Cr					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	mg/kg TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	130	111	19	130	111	19
arithm. Mittelwert	9,0	8,3	13,1	9	8	13
Median	8,0	7,7	9,8	8	8	10
StandAbw (±s)	5,5	4,0	9,6	5	4	10
Minimum	4,2	4,2	5,9	4	4	6
Maximum	44,0	31,0	44,0	44	31	44
Quantil 5 %	4,9	4,9	7,3	5	5	7
Quantil 10 %	5,2	5,2	7,5	5	5	7
Quantil 20 %	5,9	5,6	8,1	6	6	8
Quantil 80 %	11,0	10,4	13,8	11	10	14
Quantil 90 %	13,9	12,6	19,1	14	13	19
Quantil 95 %	15,6	14,7	35,0	16	15	35

Parameter	Nickel - Ni					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	mg/kg TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	130	111	19	130	111	19
arithm. Mittelwert	7,5	7,0	10,0	15	14	20
Median	7,0	6,6	8,1	14	13	16
StandAbw (±s)	3,4	2,8	5,0	7	6	10
Minimum	3,5	3,5	4,6	7	7	9
Maximum	26,0	19,5	26,0	52	39	52
Quantil 5 %	4,2	4,1	5,4	8	8	11
Quantil 10 %	4,5	4,4	5,7	9	9	11
Quantil 20 %	5,3	4,9	6,6	11	10	13
Quantil 80 %	9,5	8,9	12,9	19	18	26
Quantil 90 %	11,9	10,9	13,9	24	22	28
Quantil 95 %	13,1	12,2	17,9	26	24	36

Tabelle 12**Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)****Unerwünschte Stoffe: Schwermetalle**

Parameter	Kupfer - Cu					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	mg/kg TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	130	111	19	130	111	19
arithm. Mittelwert	69	69	71	69	69	71
Median	47	45	57	47	45	57
StandAbw (±s)	76	81	45	76	81	45
Minimum	16	19	16	16	19	16
Maximum	502	502	166	502	502	166
Quantil 5 %	25	28	18	25	28	18
Quantil 10 %	30	30	28	30	30	28
Quantil 20 %	34	34	39	34	34	39
Quantil 80 %	74	73	119	74	73	119
Quantil 90 %	129	128	134	129	128	134
Quantil 95 %	183	187	161	183	187	161

Parameter	Zink - Zn					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	mg/kg TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	130	111	19	130	111	19
arithm. Mittelwert	316	306	374	79	77	93
Median	265	252	333	66	63	83
StandAbw (±s)	212	208	232	53	52	58
Minimum	76	110	76	19	28	19
Maximum	1377	1377	1127	344	344	282
Quantil 5 %	140	140	117	35	35	29
Quantil 10 %	156	156	164	39	39	41
Quantil 20 %	184	180	259	46	45	65
Quantil 80 %	405	394	510	101	99	127
Quantil 90 %	591	577	598	148	144	149
Quantil 95 %	744	741	656	186	185	164

Tabelle 12

Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)

Unerwünschte Stoffe: Schwermetalle

Parameter	Quecksilber - Hg					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	mg/kg TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	130	111	19	130	111	19
arithm. Mittelwert	0,03	0,03	0,03	3	3	3
Median	0,02	0,02	0,03	2	2	3
StandAbw (±s)	0,01	0,01	0,01	1	1	1
Minimum	0,01	0,01	0,01	1	1	1
Maximum	0,07	0,05	0,07	7	5	7
Quantil 5 %	0,01	0,01	0,01	1	1	1
Quantil 10 %	0,02	0,02	0,01	2	2	1
Quantil 20 %	0,02	0,02	0,02	2	2	2
Quantil 80 %	0,03	0,03	0,03	3	3	3
Quantil 90 %	0,04	0,04	0,04	4	4	4
Quantil 95 %	0,04	0,04	0,04	4	4	4

Unterschiede arithm. Mittelwerte (t-Test)

Schwermetallgehalte in mg/kg TM	Bioabfall im Vergleich zu NawaRo
Blei - Pb	0
Cadmium- Cd	0
Chrom - Cr	+
Nickel - Ni	+
Kupfer - Cu	0
Zink - Zn	0
Quecksilber - Hg	0

Tabelle 13

Inhaltsstoffe von Gärprodukten
Unerwünschte Stoffe: Fremdstoffe >2 mm,
Steine >5 mm, Unkrautsamen/austr. Pflanzenteile
Auswertung Probenaktion 2005/ 2006

- Erläuterungen: a) TM - Trockenmasse, FM - Frischmasse
 b) arith. Mittelwerte von Bioabfallanlagen im Vergleich zu NawaRo-Anlagen (t-Test):
 statistisch gesichert $\alpha = 5 \%$ $\alpha = 1 \%$
 - Anhebung + ++
 - Absenkung - =
 - kein Unterschied 0
 c) Grenzwerte lt. BioAbfV: Fremdstoffe >2 mm - 0,5 % TM
 Steine >5 mm - 5 % TM, Unkrautsamen/ austriebsfähige Pflanzenteile - 2 je L FM

Parameter	Fremdstoffe >2 mm					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	% TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	126	108	18	126	108	18
arithm. Mittelwert	0,028	0,014	0,111	6	3	22
Median	0,000	0,000	0,000	0	0	0
StandAbw (±s)	0,190	0,073	0,471	38	15	94
Minimum	0,000	0,000	0,000	0	0	0
Maximum	2,000	0,600	2,000	400	120	400
Quantil 5 %	0,000	0,000	0,000	0	0	0
Quantil 10 %	0,000	0,000	0,000	0	0	0
Quantil 20 %	0,000	0,000	0,000	0	0	0
Quantil 80 %	0,000	0,000	0,000	0	0	0
Quantil 90 %	0,000	0,000	0,000	0	0	0
Quantil 95 %	0,075	0,065	0,300	15	13	60

Parameter	Steine >5 mm					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	% TM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	126	108	18	126	108	18
arithm. Mittelwert	0,01	0,01	0,00	0	0	0
Median	0,00	0,00	0,00	0	0	0
StandAbw (±s)	0,06	0,07	0,00	1	1	0
Minimum	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Maximum	0,70	0,70	0,00	14	14	0
Quantil 5 %	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Quantil 10 %	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Quantil 20 %	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Quantil 80 %	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Quantil 90 %	0,00	0,00	0,00	0	0	0

Quantil 95 %	0,00	0,00	0,00	0	0	0
--------------	------	------	------	---	---	---

Tabelle 13 **Inhaltsstoffe von Gärprodukten (Fortsetzung)**
Unerwünschte Stoffe

Parameter	Unkrautsamen/ austriebsfähige Pflanzenteile					
	Gehalt			Ausschöpfung Grenzwert		
Dimension	Anzahl je L FM			% Grenzwert		
Anlagentyp	Alle	NawaRo	Bioabfall	Alle	NawaRo	Bioabfall
Probenanzahl	106	93	13	106	93	13
arithm. Mittelwert	2,2	2,2	1,9	108	109	96
Median	1,0	1,0	0,0	50	50	0
StandAbw (±s)	2,8	2,8	3,1	139	138	153
Minimum	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Maximum	13,0	13,0	10,0	650	650	500
Quantil 5 %	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Quantil 10 %	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Quantil 20 %	0,0	0,0	0,0	0	0	0
Quantil 80 %	4,0	4,0	3,2	200	200	160
Quantil 90 %	6,0	6,0	5,6	300	300	280
Quantil 95 %	8,0	8,0	7,6	400	400	380

Unterschiede arithm. Mittelwerte (t-Test)

Gehalte	Bioabfall im Vergleich zu NawaRo
Fremdstoffe	0
Steine	0
Unkrautsamen	0

Tabelle 1**Vergleich der Salmonellenbelastung
in Gärprodukten/Güllen/Sonderproben**

bereinigte Zahlen ohne die querkontaminierten Anfangschargen G1 und G2 (37 Proben):

Parameter	Salmonellen				
	Nawaro	Bioabfall	Gärprodukte gesamt	Güllen	Sonderproben
Probenart bzw. Anlagentyp					
Probenanzahl	190	18	208	51	27
Anzahl Salmonella positiv	6	2	8	0	1
% Salmonella positiv	3,2%	11,1%	3,8%	0%	3,7%

Tabelle 2**Vergleich der Clostridienbelastung
in Gärprodukten/Güllen/Sonderproben**

Parameter	Clostridien		
	Gärprodukte	Güllen	Sonderproben
Probenanzahl	245	51	27
arithm. Mittelwert	33420	87929	72431
Median	10000	13000	7000
StandAbw	93813	195411	203936
Minimum	10	1000	680
Maximum	1100000	930000	880000
Quan 5 %	518	2400	932
Quan 10 %	1500	3900	1340
Quan 20 %	3500	6000	2140
Quan 80 %	32000	66000	36400
Quan 90 %	80000	230000	88000
Quan 95 %	130000	495000	494000

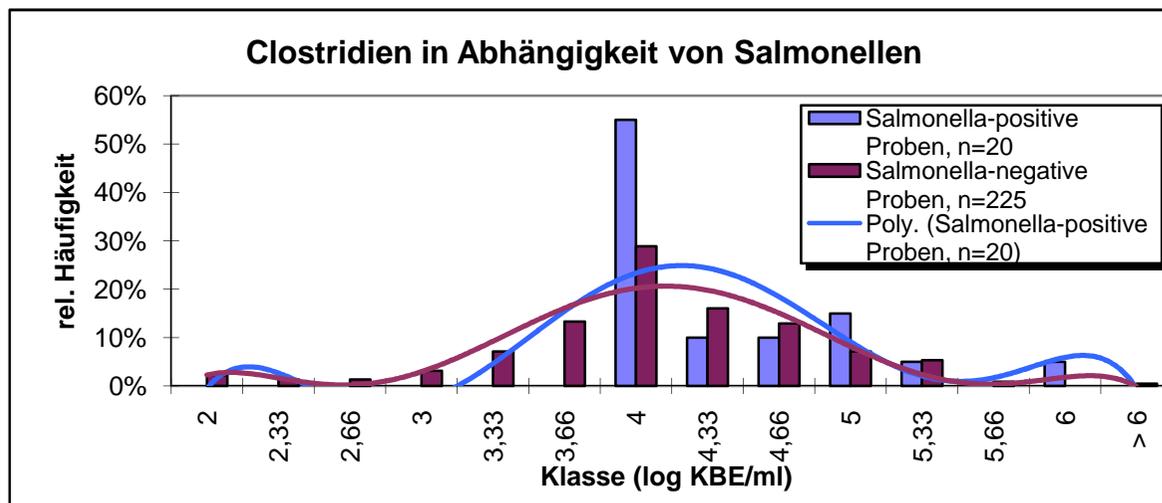
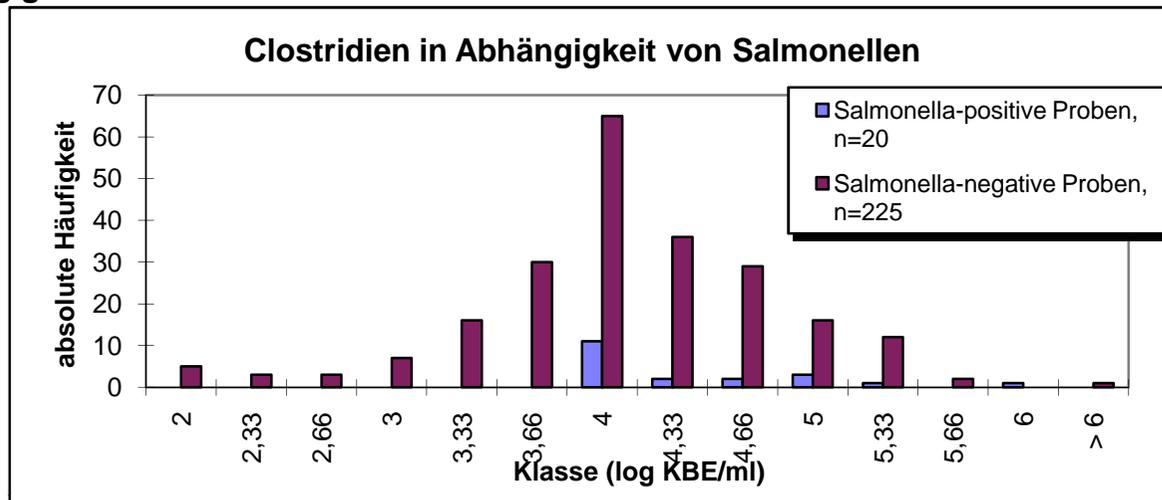
Tabelle 3**Vergleich der Phytohygiene
in Gärprodukten/Güllen/Sonderproben**

Parameter	Phytohygiene				
	Nawaro	Bioabfall	Gärprodukte gesamt	Güllen	Sonderproben
Probenart bzw. Anlagentyp					
Probenanzahl	109	6	115	51	27
Anzahl Phytohygiene auffällig	0	0	0	1	0
% Salmonella positiv	0%	0%	0%	2%	0%

Tabelle 4 Clostridien in Abhängigkeit von Salmonellen

Klasse	Salm-pos	Salm-neg
2	0	5
2,33	0	3
2,66	0	3
3	0	7
3,33	0	16
3,66	0	30
4	11	65
4,33	2	36
4,66	2	29
5	3	16
5,33	1	12
5,66	0	2
6	1	0
> 6	0	1
	20	225

Klasse	Salm-pos	Salm-neg
2	0,0%	2,2%
2,33	0,0%	1,3%
2,66	0,0%	1,3%
3	0,0%	3,1%
3,33	0,0%	7,1%
3,66	0,0%	13,3%
4	55,0%	28,9%
4,33	10,0%	16,0%
4,66	10,0%	12,9%
5	15,0%	7,1%
5,33	5,0%	5,3%
5,66	0,0%	0,9%
6	5,0%	0,0%
> 6	0,0%	0,4%
	100,0%	100,0%

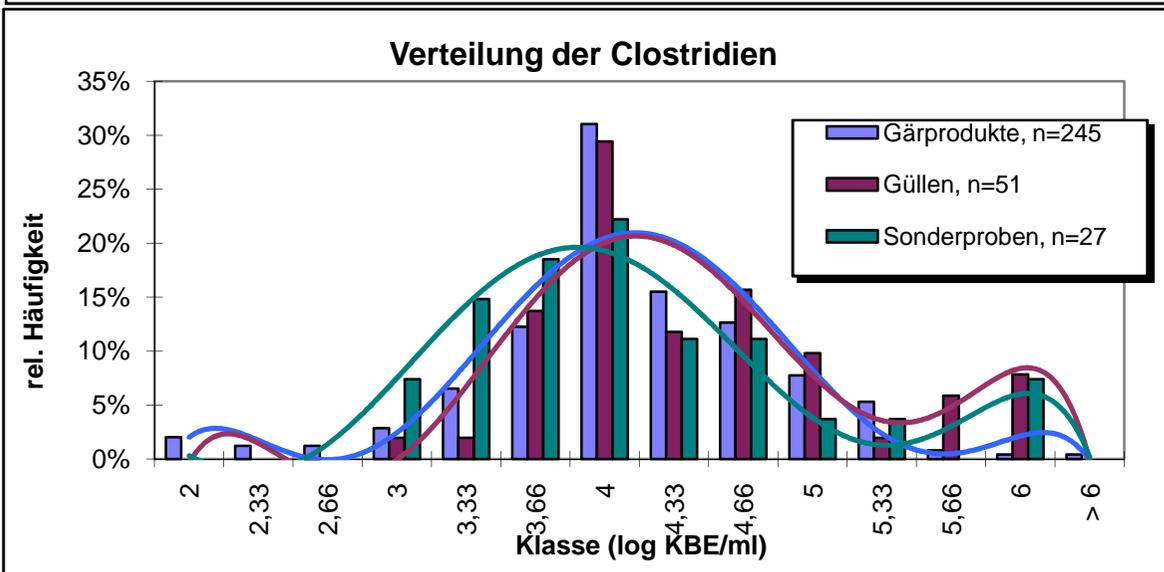
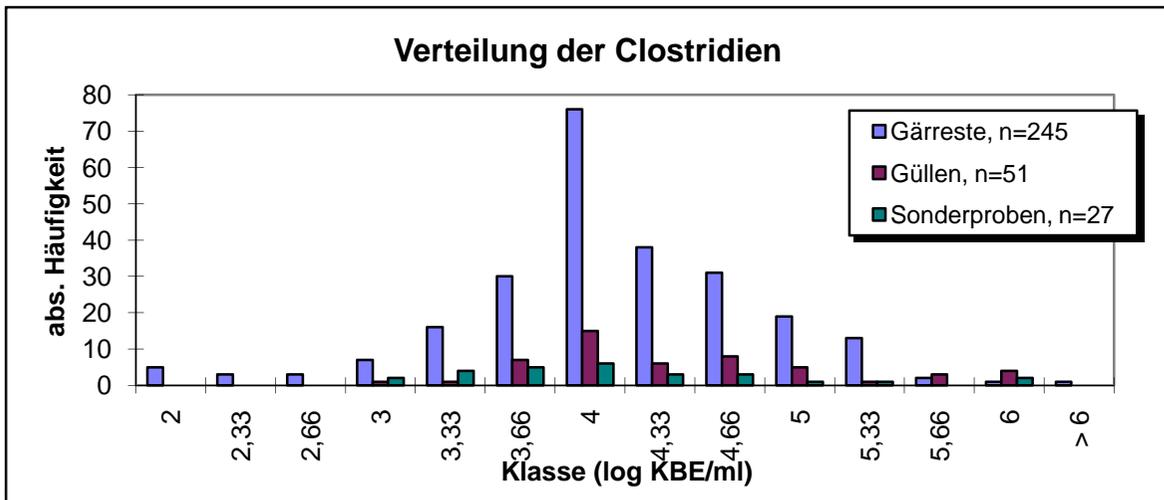


Fazit: Keine Abhängigkeit zwischen Salmonellen und Clostridien

Tabelle 5 Verteilung der Clostridien

Klasse	Gärprodukte	Gülle	Sonderproben
2	5	0	0
2,33	3	0	0
2,66	3	0	0
3	7	1	2
3,33	16	1	4
3,66	30	7	5
4	76	15	6
4,33	38	6	3
4,66	31	8	3
5	19	5	1
5,33	13	1	1
5,66	2	3	0
6	1	4	2
> 6	1	0	0
	245	51	27

Klasse	Gärprodukte	Gülle	Sonderproben
2	2,0%	0,0%	0,0%
2,33	1,2%	0,0%	0,0%
2,66	1,2%	0,0%	0,0%
3	2,9%	2,0%	7,4%
3,33	6,5%	2,0%	14,8%
3,66	12,2%	13,7%	18,5%
4	31,0%	29,4%	22,2%
4,33	15,5%	11,8%	11,1%
4,66	12,7%	15,7%	11,1%
5	7,8%	9,8%	3,7%
5,33	5,3%	2,0%	3,7%
5,66	0,8%	5,9%	0,0%
6	0,4%	7,8%	7,4%
> 6	0,4%	0,0%	0,0%
	100,0%	100,0%	100,0%



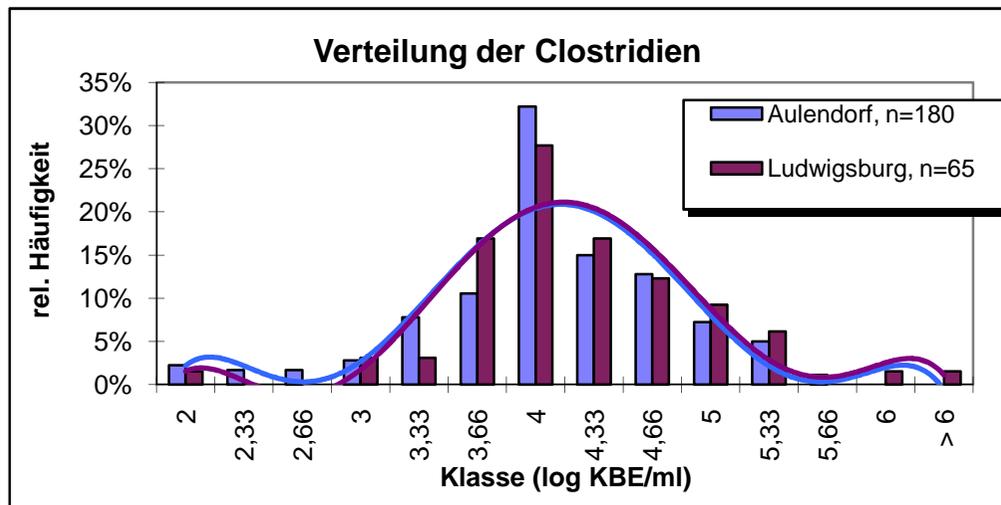
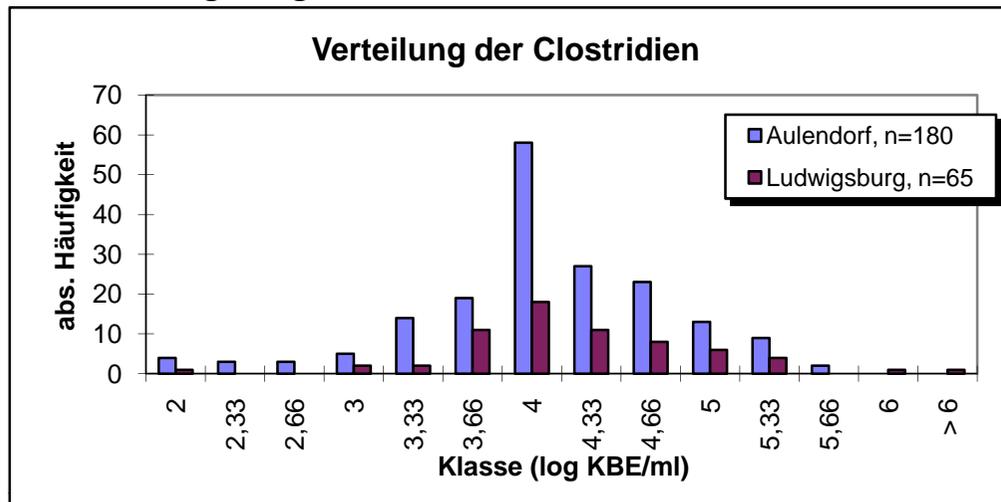
Fazit: Kein Unterschied zwischen Gärresten und Gülle; Sonderproben zu heterogen

Tabelle 6

Probenahme Aulendorf und Ludwigsburg

Klasse	Aulendorf	Ludwigsburg
2	4	1
2,33	3	0
2,66	3	0
3	5	2
3,33	14	2
3,66	19	11
4	58	18
4,33	27	11
4,66	23	8
5	13	6
5,33	9	4
5,66	2	0
6	0	1
> 6	0	1
	180	65

Klasse	Aulendorf	Ludwigsburg
2	2,2%	1,5%
2,33	1,7%	0,0%
2,66	1,7%	0,0%
3	2,8%	3,1%
3,33	7,8%	3,1%
3,66	10,6%	16,9%
4	32,2%	27,7%
4,33	15,0%	16,9%
4,66	12,8%	12,3%
5	7,2%	9,2%
5,33	5,0%	6,2%
5,66	1,1%	0,0%
6	0,0%	1,5%
> 6	0,0%	1,5%
	100,0%	100,0%



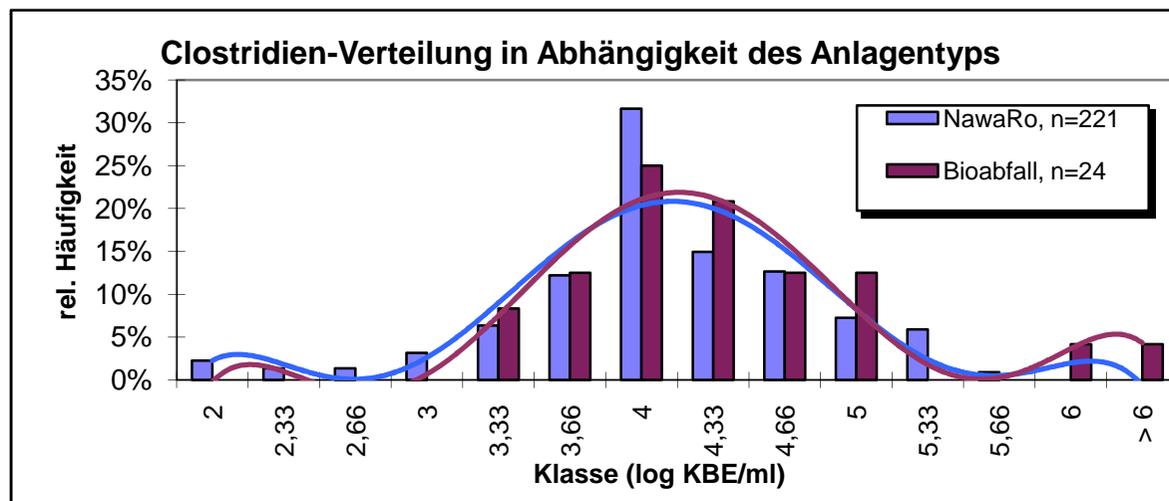
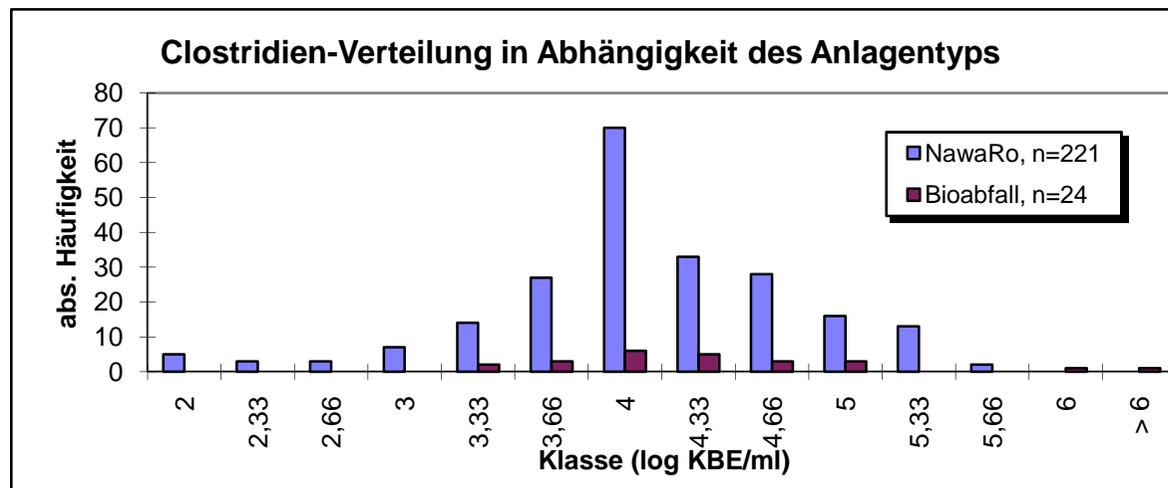
Fazit: Kein Unterschied zwischen Aulendorf und Ludwigsburg

Tabelle 7

Anlagentyp

Klasse	Nawaro	Bioabfall
2	5	0
2,33	3	0
2,66	3	0
3	7	0
3,33	14	2
3,66	27	3
4	70	6
4,33	33	5
4,66	28	3
5	16	3
5,33	13	0
5,66	2	0
6	0	1
> 6	0	1
	221	24

Klasse	Nawaro	Bioabfall
2	2,3%	0,0%
2,33	1,4%	0,0%
2,66	1,4%	0,0%
3	3,2%	0,0%
3,33	6,3%	8,3%
3,66	12,2%	12,5%
4	31,7%	25,0%
4,33	14,9%	20,8%
4,66	12,7%	12,5%
5	7,2%	12,5%
5,33	5,9%	0,0%
5,66	0,9%	0,0%
6	0,0%	4,2%
> 6	0,0%	4,2%
	100,0%	100,0%



Fazit: Kein Unterschied zwischen Anlagentypen (Gärprodukte)

Tabelle 8

Zeitreihen

Labor-Nr.	Salmonella in 1 ml FM	Clostridien KBE/g FM
	0	7300
	0	6000
	0	65000
	0	1000
	0	6600
	0	1300
	0	35000
	0	20000
	0	22000
	0	7600
	0	6400
	0	27000
	0	5900
	0	7700
	0	5500
	0	21000
	0	950
	0	3200
	0	8600
	0	200000
	0	3500
	0	6000
	0	90000
	0	9100
	0	3600
	0	45000
	0	300000
	0	6400
	0	5900
	0	1500
	0	2700

Fazit Clostridien: keine Trends, keine Anlagen-Nr.-Unterschiede,
große Schwankungsbreiten wie im Gesamtkollektiv
Fazit Salmonellen und Phytohygiene (nicht gezeigt): Trends nicht auswertbar

Anh. Tabelle 1: Versuchsplan 2006 (WEIDELGRAS) - N-Düngung

Düngerform	Variante	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs	5. Aufwuchs
	[g Gesamt-N/Gefäß]					
Kontrolle	Ko	--	--	--	--	--
mineralische N-Düngung	VG 1	0,5	--	--	--	--
	VG 2	0,5	0,5	--	--	--
	VG 3	0,5	0,5	0,5	--	--
	VG 4	0,5	0,5	0,5	0,5	--
org.-min. Düngung	VG 1	0,5	--	--	--	--
	VG 2	1,0	--	--	--	--
	VG 3	1,0	0,5	--	--	--
	VG 4	1,0	0,5	0,5	--	--
	VG 5	1,0	0,5	0,5	0,5	--
	VG 6	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5

K-Düngung: 3 g K₂O/Gefäß als Kaliumsulfat in 3 Teilgaben

Mg-Düngung: 1,5 g MgO/Gefäß als Magnesiumsulfat in 3 Teilgaben

Anh. Tabelle 2: Versuchsplan 2007 (Kö.MAIS) - N-Düngung (g Gesamt-N/Gefäß)

Düngerform	Variante	v. Saat	n. Aufgang	4-6 Blatt	6-8 Blatt
Kontrolle	Ko	--		--	--
mineralische N-Düngung	VG 1	--	0,5	--	--
	VG 2	--	1,0	--	--
	VG 3	--	1,0	--	0,5
	VG 4	--	1,0	--	1,0
org.-min. Düngung	VG 1	1,0	--	--	--
	VG 2	1,0	--	0,5 (min. N)	
	VG 3	1,0	--	0,5	--
	VG 4	1,0	--	0,5	0,5 (min. N)
	VG 5	1,0	--	1,0	
	VG 6	1,0	--	1,0	1,0

K-Düngung: 2 g K_2O /Gefäß als Kaliumsulfat in 2 Teilgaben

Mg-Düngung: 1 g MgO /Gefäß als Magnesiumsulfat in 2 Teilgaben

Anh. Tabelle 3: Kenndaten der Versuchsgüllen bzw. -gärreste (Gefäßversuch 2006)

org.-min. Düngung im Versuch	TS	pH	Gesamt-N	NH₄-N	Anteil
	[% FM]		[% FM]		[NH ₄ -N/Ges. N]
SG	7,7	7,2	0,30	0,23	77
RG	7,9	7,4	0,56	0,24	43
GR I	7,3	8,0	0,63	0,35	56
GR II	7,7	7,9	0,54	0,34	63
GR III	7,9	7,9	0,46	0,29	63
GR IV	8,1	7,9	0,42	0,25	60

Anh. Tabelle 4: Zufuhr an NH₄-N [g/Gefäß] bei gestaffelter N-Düngung 2006

org.-min. Düngung im Versuch	NH ₄ -Gabe im Versuch bei x g Ges.N/Gefäß					
	0,5 g	1,0 g	1,5 g	2,0 g	2,5 g	3,0 g
SG	0,38	0,77	1,15	1,53	1,92	2,30
RG	0,21	0,43	0,64	0,86	1,07	1,29
GR I	0,28	0,56	0,83	1,11	1,39	1,67
GR II	0,31	0,63	0,94	1,26	1,57	1,89
GR III	0,32	0,63	0,95	1,26	1,58	1,89
GR IV	0,30	0,60	0,89	1,19	1,49	1,79

Anh. Tabelle 5: Zufuhr an P_2O_5 [mg/Gefäß] bei gestaffelter N-Düngung (2006 + 2007)

org.-min. Düngung im Versuch	P_2O_5-Gabe im Versuch bei x g Ges.N:					
	0,5g	1,0 g	1,5 g	2,0 g	2,5 g	3,0 g
SG	190	381	571	762	952	1143
RG	257	514	770	1027	1284	1541
GR I	140	279	419	559	699	838
GR II	142	283	425	567	708	850
GR III	150	300	450	600	750	900
GR IV	185	370	554	739	924	1109

Anh. Tabelle 6: Ertragsverlauf - Weidelgras 2006 (Sofortwirkung)

N-Düngung	Trockenmasse-Ertrag [g TM/Gefäß]							
	[g Ges. N/Gef.]	mineralisch	SG	RG	GR I	GR II	GR III	GR IV
0		10,5	--	--	--	--	--	--
0,5		14,1	12,9	10,4	14,2	12,1	12,9	11,2
1,0		25,5	15,3	15,9	15,2	15,3	14,2	12,2
1,5		22,9	29,4	20,9	27,1	25,1	24,7	27,6
2,0		28,2	23,5	12,6	20,3	20,5	16,8	20,2
2,5		--	20,2	14,4	16,7	14,4	13,5	14,0
3,0		--	20,5	15,0	17,3	18,2	16,8	17,3

Anh. Tabelle 7: Ertragsverlauf - Weidelgras 2006 (mit Nachwirkung)

N-Düngung	Trockenmasse-Ertrag [g TM/Gefäß]						
[g Ges. N/Gef.]	mineralisch	SG	RG	GR I	GR II	GR III	GR IV
0	18,1	--	--	--	--	--	--
0,5	27,9	--	--	--	--	--	--
1,0	40,4	40,2	33,5	38,4	38,2	35,9	35,5
1,5	64,0	57,0	44,4	52,2	49,9	48,6	49,2
2,0	89,3	77,9	59,1	70,2	70,8	68,4	65,8
2,5	--	98,2	72,6	79,2	82,4	78,7	77,7
3,0	--	104,9	83,4	96,8	93,5	89,4	85,1

Anh. Tabelle 8: Ausnutzung von NH₄-N auf Basis des Ertrages (mit Nachwirkung)

N-Düngung	[% zur mineralischen N-Düngung]					
[g Ges. N/Gef.]	SG	RG	GR I	GR II	GR III	GR IV
1,0	83	66	87	77	82	64
1,5	84	62	85	75	81	65
2,0	84	62	85	77	81	65
2,5	79	64	74	65	68	65
3,0						
im Mittel	83	64	83	74	78	65

Anh. Tabelle 9: Kenndaten der Versuchsgüllen bzw. -gärreste im Gefäßversuch 2007

org.-min. Düngung im Versuch	TS	pH	Gesamt-N	NH₄-N	Anteil	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO
	[% FM]		[% FM]		NH ₄ -N/Ges. N	[% FM]			
SG	3,2	7,2	0,42	0,28	67	0,16	0,21	0,15	0,07
RG	8,5	7,4	0,37	0,18	49	0,19	0,32	0,24	0,10
GR I	5,0	8,0	0,68	0,44	65	0,19	0,33	0,24	0,02
GR II	7,0	7,9	0,60	0,39	65	0,17	0,51	0,17	0,05
GR III	4,3	7,9	0,40	0,28	70	0,12	0,34	0,16	0,04
GR IV	7,3	7,9	0,46	0,28	61	0,17	0,55	0,17	0,09

Anh. Tabelle 10: Zufuhr an NH₄-N [g/Gefäß] bei gestaffelter N-Düngung

org.-min. Düngung im Versuch	NH ₄ -Gabe im Versuch bei x g Ges.N/Gefäß				
	1,0 g	1,5 g	2,0 g	2,5 g	3,0 g
SG	0,67	1,00	1,33	1,67	2,00
RG	0,49	0,73	0,97	1,22	1,46
GR I	0,65	0,97	1,29	1,62	1,94
GR II	0,65	0,98	1,30	1,63	1,95
GR III	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10
GR IV	0,61	0,91	1,22	1,52	1,83

Anh. Tabelle 11: Ertragsverlauf - Mais 2007 -KORN

N-Düngung [g Ges. N/Gef.]	Trockenmasse-Ertrag [g TM/Gefäß]						
	mineralisch	SG	RG	GR I	GR II	GR III	GR IV
0	10,9	--	--	--	--	--	--
1,0	58,4	46,0	41,3	43,7	42,3	53,3	43,9
1,5	95,0	62,3	40,3	50,3	52,0	64,8	48,0
2,0	113,3	80,5	46,5	68,7	67,9	75,5	56,2
3,0	--	99,0	67,6	85,2	85,3	92,7	79,5

Anh. Tabelle 12: Ertragsverlauf - Mais 2007 - GESAMTPFLANZE

N-Düngung	Trockenmasse-Ertrag [g TM/Gefäß]						
[g Ges. N/Gef.]	mineralisch	SG	RG	GR I	GR II	GR III	GR IV
0	29,1	--	--	--	--	--	--
1,0	132,8	108,5	102,3	110,6	106,0	130,0	109,5
1,5	188,5	136,9	98,4	135,5	124,5	148,9	126,3
2,0	211,3	168,7	115,8	150,3	155,3	164,8	152,3
3,0	--	200,5	153,0	174,9	181,2	191,2	174,3

Anh. Tabelle 13: Ausnutzung von Gesamt-N auf Basis des **GESAMTPFLANZEN**-Ertrages

N-Düngung	[% der mineralischen N-Düngung]					
[g Ges. N/Gef.]	SG	RG	GR I	GR II	GR III	GR IV
1,0	45	37	44	41	57	47
1,5	45	25	43	36	47	33
2,0	48	22	39	41	43	34
3,0	46	23	41	38	41	30
im Mittel	46	27	42	39	47	36

Anh. Tabelle 14: Ausnutzung von $\text{NH}_4\text{-N}$ auf Basis des **KORN**-Ertrages

N-Düngung	[% der mineralischen N-Düngung]					
[g Ges. N/Gef.]	SG	RG	GR I	GR II	GR III	GR IV
1,0	53	59	50	44	65	43
1,5	52	42	40	41	57	62
2,0	54	36	45	45	52	67
3,0	50	37	50	43	49	37
im Mittel	52	44	46	43	56	52

Anh. Tabelle 15: Ausnutzung von NH₄-N auf Basis des **GESAMTPFLANZEN**-Ertrages

N-Düngung	[% der mineralischen N-Düngung]					
[g Ges. N/Gef.]	SG	RG	GR I	GR II	GR III	GR IV
1,0	69	77	67	63	90	66
1,5	67	52	66	56	75	78
2,0	72	46	60	63	68	54
3,0	68	48	64	59	64	50
im Mittel	69	56	64	60	74	62

IMPRESSUM

Herausgeber:
Landwirtschaftliches Technologiezentrum
Augustenberg (LTZ)

Tel.: 0721 / 9468-0
Fax: 0721 / 9468-209
eMail: poststelle@ltz.bwl.de
Internet: www.ltz-augustenberg.de

Projektleitung:
LTZ Augustenberg, Dr. Norbert Haber

Projektförderung
MLR Baden-Württemberg (Projekt-Nr. 303E)

Projektbearbeitung
Dr. Rainer Kluge

Mitarbeit
Dr. Wolfgang Wagner
Dr. Markus Mokry
Dr. Manfred Dederer
Herr Jörg Messner

Auflage: 100 Exemplare
Druck: Eigendruck

Stand: Dezember 2008

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe gestattet.