

Abschlussbericht

des

Verbundvorhabens

**„Bewertung nachwachsender Rohstoffe zur
Biogaserzeugung für die Pflanzenzüchtung“**

Projektpartner:

**Teilprojekt 1
Deutsche Maiskomitee e.V.
Brühler Straße 9
53119 Bonn**

**Teilprojekt 2
Fachhochschule Südwestfalen
Fachbereich Agrarwirtschaft
Lübecker Ring 2
59494 Soest**

**Teilprojekt 3
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der
Landwirtschaft
Bartningstrasse 49
64289 Darmstadt**

**Teilprojekt 4
VDLUFA Qualitätssicherung NIRS GmbH
Am Versuchsfeld 13
34128 Kassel**

**Teilprojekt 5
Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für
Kulturpflanzen
Bundesallee 50
38116 Braunschweig**

assoziiert:

**Gesellschaft zur Förderung der privaten deutschen
Pflanzenzüchtung e.V.
Kaufmannstrasse 71-73
53115 Bonn**

gefördert durch:

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
Hofplatz 1
18276 Gülzow**

**Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz
Rochusstrasse 1
53123 Bonn**

Einleitung und allgemeine Zielsetzung

Der Betriebszweig Biogas ist in Deutschland noch relativ jung, hat sich aber seit Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) rasant entwickelt.

Mit der ersten Novellierung des Erneuerbare Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2004 haben sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der Energieerzeugung deutlich verbessert. Durch die gesicherte Mindestvergütung für die Strom-Einspeisung und den NaWaRo-Bonus für rein landwirtschaftliche Substrate ist die Energiegewinnung durch Vergärung von Biomasse zu einem zukunftsorientierten und kalkulierbaren Betriebszweig für die Landwirtschaft geworden. Aus diesen Gründen hat die Biogasbranche in Deutschland bis 2006 einen bis dato nicht für möglich gehaltenen Aufschwung erlebt.

Die stark zunehmende Zahl von Anlagen, nicht zuletzt in viehstarken Regionen und die damit einhergehende Flächenkonkurrenz machen eine Erhöhung der Effizienz der Biomasseproduktion unabdingbar. Durch die Novellierung des EEG im Jahre 2009 ist der Einstieg in die Biogasproduktion für viehhaltende Betriebe wieder attraktiver gestaltet worden. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass eine Monovergärung von Gülle wirtschaftlich jedoch nicht rentabel ist. Da viehhaltende Betrieb in ihrer Flächenverfügbarkeit oftmals begrenzt sind bietet der Zweit- und Zwischenfruchtanbau eine ökonomisch und pflanzenbaulich attraktive Alternative zum Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen als Hauptfrucht.

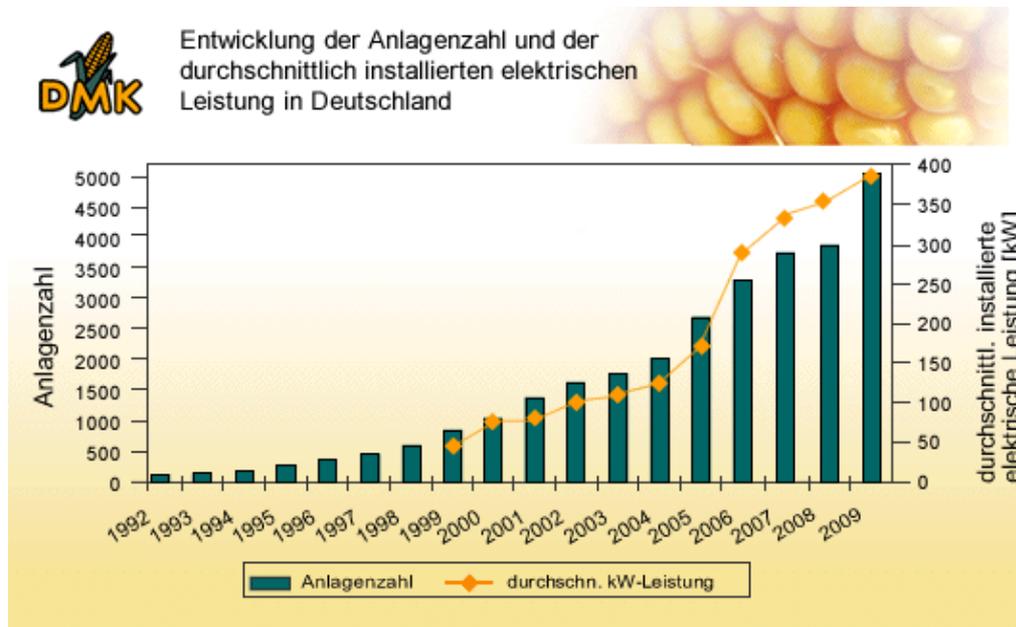


Abbildung: Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland und Entwicklung der durchschnittlichen Anlagengröße

Flächeneffizienz und Nachhaltigkeit der Biomasseerzeugung unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten sind die Ziele des Teilprojektes 2, in welchem vielfeldrige

Fruchtfolgen ökologisch und ökonomisch mit klassischen engen Biomasse- und Marktfruchtfolgen verglichen worden sind. Die Ergebnisse des Teilprojektes zeigen, dass Energiepflanzenproduktion und ein breites Kulturartenspektrum nicht in Widerspruch zueinander stehen, sondern die Produktion von Biomasse zur Diversifizierung des Fruchtfolgespektrums führen kann. Im Hinblick auf Cross-Compliance Anforderungen und regionalen Restriktionen bei der Genehmigung von Biogasanlagen sind diese Ergebnisse von großer Bedeutung für die Praxis.

Im Laufe der Planung zum Bau einer Biogasanlage oder beim Abschluss von Lieferverträgen für verschiedene landwirtschaftliche Substrate sind Daten zum Gasertragspotential dieser Kulturen notwendig. Hierfür werden Richtwerte für die einzelnen Kulturen benötigt. Doch wie steht es um die Vergleichbarkeit von Biogaserträgen in Laborversuchen? Mit diesem Thema hat sich das Teilprojekt 3 befasst. In insgesamt drei Durchgängen eines Ringversuches mit zahlreichen Laboren sind bisher nicht erkannte Probleme in der Durchführung von Batchversuchen und der Auswertung im Nachhinein bei vielen Laboren identifiziert worden. Als Ergebnis des Projektes wird momentan eine Methodenvorschrift des VDLUFA erarbeitet, welche für Labore standardisierte Vorgehensweisen in der Versuchsdurchführung vorgibt. Hierdurch wird eine Möglichkeit geschaffen, Biogaserträge aus Batchversuchen verschiedener Labore vergleichbar zu machen.

Eine effizientere Energiepflanzenproduktion ist in Zukunft nur über züchterischen Fortschritt möglich. Mais ist momentan die dominante Kultur in der Energiepflanzenproduktion zur Biogaserzeugung. Seine Trockenmassebildung je Hektar wird von keiner anderen Kultur erreicht.

Im Bereich der Energiepflanzen sind daher starke züchterische Aktivitäten von Nöten. Momentan dienen Batch-Tests als Selektionsmerkmal in der Züchtung von Energiepflanzen. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese zur Erarbeitung einer Rangfolge zwischen Kulturen und für eine grobe Einteilung nach Erträgen nützlich sind. Um effektive Zuchtprogramme hierauf aufzubauen sind sie jedoch zu langsam, zu teuer und zu ungenau. Folglich bleibt die Energiepflanzenzüchtung größtenteils auf bereits intensiv bearbeitete massewüchsige Pflanzen beschränkt.

Die Teilprojekte 4 und 5 haben als Ziel die Erarbeitung von Kalibrationen zur Selektion von Energiepflanzen in der Pflanzenzüchtung mittels Nahinfrarotspektroskopie und die Entwicklung von Schätzformeln zur Vorhersage des Biogaspotentials. Effektive Selektionsmethoden in der Pflanzenzüchtung sind unabdingbar für ein breites Kulturartenspektrum im Bereich der Energiepflanzenproduktion.

Teilprojekt 1

Projektkoordination und Ergebnistransfer in Beratung und Praxis (FKZ: 22003305)

**Projektleitung: Deutsches Maiskomitee e.V.
 Dr. Helmut Meßner**

Projektlaufzeit: 10.04.2007 – 31.06.2010

Berichtszeitraum: 10.04.2007 – 30.06.2010

1. Aufgabenstellung

Die komplexe Projektstruktur des Verbundvorhabens mit insgesamt fünf Projektpartnern und den sowohl zeitlich als auch inhaltlich verknüpften und voneinander abhängigen Arbeitsschritten macht eine intensive Koordinationstätigkeit durch das DMK erforderlich. Von besonderer Wichtigkeit ist dabei sowohl der Informations- und Datenaustausch zwischen den Vorhabenbeteiligten als auch die Einbindung weiterer, für das Vorhaben relevanter Organisationen oder Forschungsverbünde (z.B. Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung), sowie der Ergebnistransfer in die Praxis und Beratung durch Vorträge auf Fachtagungen und Publikationen in Fachzeitschriften, um die im Projekt gewonnenen Ergebnisse möglichst zeitnah in die Praxis weitergeben zu können.

2. Durchgeführte Arbeiten im Teilprojekt

2.1 Projektbesprechungen

Die Aufgabe des Teilprojektes lag darin, die Arbeit im Forschungsverbund zu koordinieren und den Wissensaustausch zwischen den Projektpartnern zu ermöglichen. Dies geschah durch die Organisation regelmäßiger Projekttreffen. Es wurden insgesamt acht interne Arbeitstreffen durchgeführt.

Im Rahmen der Kooperation des Verbundprojektes naRoBi mit weiteren themennahen Züchtungsprojekten bei Sonnenblumen, Roggen, Winterweizen, Triticale und Feldgras hat am 28. Mai 2008 ein Treffen an der Fachhochschule Soest stattgefunden.

Hierbei wurden die jeweils aktuellen Projektstände vorgestellt. Weiterhin wurde ein Probentransfer für in den Batch-Versuchen unterrepräsentierte Kulturen und die Bereitstellung von NIRS-Spektren aus diesen Projekten vereinbart. So konnten für das Verbundvorhaben wichtige Daten ohne zusätzliche Kosten generiert werden.

2.2 Ergebnistransfer in Beratung und Praxis

Im Mai 2008 ging die Homepage des Verbundprojektes online. Der Internetauftritt www.narobi.org liefert einen Überblick über die Projektstruktur, die Partner im Verbund, die Ziele und die durchzuführenden Arbeiten.

Aufgrund des breit gefächerten Themenspektrums der einzelnen Teilprojekte erachteten wir es als wichtig, die Teilprojekte und das Gesamtprojekt auch grafisch zu verknüpfen. Hierzu wurde ein Logo für das Verbundvorhaben erstellt, welches die Logos der einzelnen Teilprojekte beinhaltet (s. Abbildung 1). Die in diesem Zusammenhang ebenfalls erstellte Präsentationsvorlage verdeutlicht bei Vorträgen auch visuell die Verknüpfungen innerhalb des Forschungsverbundes.



Abbildung: Logo des Gesamtprojektes

Auf dem „Symposium Energiepflanzen“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe am 24. und 25. Oktober 2007 in Berlin wurden das Projekt und die bereits durchgeführten Arbeiten durch den Projektkoordinator Dr. Meßner präsentiert.

Im Rahmen der Agritechnica 2007 organisierte das Deutsche Maiskomitee ein Forum zum Thema „Biomasse erzeugen und Gaserträge messen“, auf welchem die einzelnen Projektpartner ihre für die Teilprojekte geleisteten Vorarbeiten und die Zielstellungen in ihren Teilbereichen einem breiten Fachpublikum vorstellen konnten. Bei einem Informationsabend in Berlin zu Beginn des Jahres 2008 zum Thema „Bioenergie aus Biomasse“ stellte das DMK Anbaukonzepte für einen ökonomisch sicheren und ökologisch unbedenklichen Maisanbau zur Gewinnung von Bioenergie aus Biomasse vor. Die nachhaltige und umweltschonende Nutzung von Mais zur Erzeugung von Bioenergie aus Biomasse stand auch im Mittelpunkt eines Parlamentarischen Informationsabends des DMK in Brüssel Anfang des Jahres

2009. Deutschland nimmt bei der Bioenergiegewinnung aus Biomasse eine führende Position in Europa ein. Durch die Einbettung der Fruchtart Mais in spezielle Anbausysteme, in denen auch die Vegetationszeiträume ohne Bewuchs durch Zwischenfruchtanbau genutzt werden, wird sowohl der wirtschaftliche Erfolg als auch die ökologische Unbedenklichkeit der Biomasseerzeugung erhöht. Auf beiden Veranstaltungen hatte Prof. Dr. Lütke Entrup Gelegenheit, die bis dato gewonnenen Ergebnisse des Teilprojektes 2 zu präsentieren.

Auf der Tagung des Ausschusses Futterkonservierung und Fütterung im Deutschen Maiskomitee e.V. am 17./18. März 2009 konnte Herr Dr. Wulf einen Vortrag mit dem Titel „Messung von Biogaserträgen: Methoden und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen“ über die Arbeiten des Teilprojektes 3 vor Wissenschaftlern, Beratern und Praktikern im Bereich der Biogasproduktion halten. Der Tagungsband dieser Veranstaltung ist als Sonderheft 331 im Verlag für Landbauforschung des Johann Heinrich von Thünen-Institutes erschienen.

Im August 2009 fand eine öffentliche Vortragstagung auf dem Versuchsgut Merklingsen der Fachhochschule Südwestfalen statt, auf der erste Ergebnisse einem interessierten Publikum vorgestellt wurden. 100 Personen verfolgten die Vorträge und informierten sich im Anschluss bei einem Rundgang über die für das Teilprojekt 2 in Soest angeschaffte Erntetechnik sowie die Anbauversuche zu verschiedenen Fruchtfolgen aus Haupt-, Zweit- und Zwischenfrüchten. Ziel dieser Veranstaltung war es, die Projektergebnisse einer breiteren Öffentlichkeit aus Beratern, Praktikern und Anlagenbetreibern aus erster Hand zugänglich zu machen.

In der Zeitschrift „Mais“ Ausgabe 3/2009 ist ein gemeinsamer Artikel aller Projektpartner erschienen. Mit diesem Medium werden auf breiter Basis Wissenschaftler, Züchtungsunternehmen, Berater und praktische Landwirte erreicht.

Anlässlich der Jahrestagung des Deutschen Maiskomitees im November 2010 werden die Ergebnisse der Teilprojekte 4 und 5 im Ausschuss Züchtung, Sorten, Saatgutwesen vorgestellt, da die Ergebnisse dieser beiden Teilprojekte insbesondere für praktische Züchter interessant sind.

Tabelle: chronologische Übersicht der Vorträge von Projektpartnern

Datum	Veranstaltung	Referent
24.+ 25.10. 2007	Symposium Energiepflanzen, Berlin	Dr. Melmut Meßner (TP 1)
14.11. 2007	Forum Agritechnica, Hannover	Prof. Dr. Norbert Lütke Entrup (TP 2) Dr. Sebastian Wulf (TP 3) Prof. Dr. Jörg-Michael Greef (TP 5)
16.01. 2008	Parlamentarischer Abend, Berlin	Prof. Dr. Norbert Lütke Entrup (TP 2)
17.02. 2009	Parlamentarischer Abend, Brüssel	Prof. Dr. Norbert Lütke Entrup (TP 2)
18.03. 2009	Ausschuss Futterkonservierung und Fütterung im DMK, Braunschweig	Dr. Sebastian Wulf, KTBL (TP 3)
19.08. 2009	öffentliche Tagung naRoBi, Merklingsen	Dr. Helmut Meßner (TP 1) Sebastian Hötte (TP 2) Dr. Sebastian Wulf (TP 3) Dr. Roland Baetzel (TP 4) Christian Pfitzner (TP 5)
18.11. 2010	Ausschuss Züchtung, Sorten- und Saatgutwesen im DMK, Dresden	Dr. Roland Baetzel (TP 4) Christian Pfitzner (TP 5)

Teilprojekt 2

Materialbereitstellung und Anbauversuche einschließlich einer ökonomischen Bewertung (FKZ: 22001806)

Projektleitung: Fachhochschule Südwestfalen,
Fachbereich Agrarwirtschaft Soest
Prof. Dr. N. Lütke Entrup
Dr. F.-F. Gröblichhoff
Dipl.-Ing. Sebastian Hötte

Berichtszeitraum: 01.01.2007 – 30.06.2010

Projektlaufzeit: 01.01.2007 – 30.06.2010

Inhaltsverzeichnis:

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis Anhang.....	VIII
1 Material und Methoden.....	1
1.1 Versuchsanlage.....	1
1.2 Anbautechnik und Ernte	3
1.3 Probennahme und Aufbereitung.....	4
2 Witterungsverlauf in den Versuchsjahren 2007 bis 2009.....	7
3 Ergebnisse und Diskussion der Versuchsanstellung.....	10
3.1 Winterzwischenfrüchte	10
3.1.1 Grünroggen.....	10
3.1.2 Welsches Weidelgras	12
3.1.3 Bewertung Winterzwischenfrüchte.....	15
3.2 Wintergetreide GPS.....	16
3.2.1 Wintergerste (GPS).....	16
3.2.2 Wintertriticale (GPS)	17
3.2.3 Winterweizen (GPS)	19
3.2.4 Bewertung Wintergetreide (GPS).....	21
3.3 Zweitfrüchte und Sommerzwischenfrüchte.....	22
3.3.1 Sorghum im Zweitfruchtanbau	22
3.3.2 Sonnenblumen im Zweitfruchtanbau.....	24
3.3.3 Futterraps, Markstammkohl und Grobleguminosen (-gemenge).....	26
3.3.4 Bewertung der Zweit- und Sommerzwischenfrüchte.....	29
3.4 Mais.....	29
3.4.1 Mais im Zweitfruchtanbau	30

3.4.2	Mais im Monoanbau.....	31
3.5	Vergleich der verschiedenen Fruchtfolgen	33
4	Ökonomische und ökologische Bewertung.....	38
4.1	Nährstoffbilanz.....	38
4.2	Humusbilanz.....	42
4.3	Gasausbeuten und Methanerträge der verschiedenen Kulturarten	44
4.4	Ökonomische Bewertung	48
4.4.1	Methodik	48
4.4.2	Vergleich der Fruchtfolgesysteme anhand von Modellbetrieben.....	50
	Literaturverzeichnis:	53
	Anhang	54

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Probenbehandlung im Versuchsgut Merklingsen der Fachhochschule Südwestfalen</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 2: Witterungsverlauf im Versuchsjahr 2007</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 3: Witterungsverlauf im Versuchsjahr 2008</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 4: Witterungsverlauf im Versuchsjahr 2009</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 5: Kumulierte Erst- und Zweit- und Zwischenfruchterträge der einzelnen Fruchtfolgefelder im Mittel von drei Jahren, Standort: Versuchsgut Merklingsen, Soest</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 6: Ertragsleistung und Trockenmasserträge von Sorghum als Zweitfrucht nach Wintergerste angebaut von 2007 bis 2009</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 7: Abhängigkeit des Methanertrages (m^3/ha) vom Trockenmassertrag (dt/ha)</i>	<i>48</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Darstellung der Fruchtfolgen in den Anbauversuchen im Versuchsgut Merklingsen</i>	<i>2</i>
<i>Tabelle 2: Flächenplan der Großparzellen der Anbauversuche im TP 2</i>	<i>3</i>
<i>Tabelle 3: Generierte Proben aus den Anbauversuchen des TP2 für die NIRS-Kalibration.....</i>	<i>5</i>
<i>Tabelle 4: Ertragsleistung (dt/ha TM) von Grünroggen im drei- und zweijährigen Vergleich.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 5: Trockensubstanzgehalte (% TS) von Grünroggen im drei- und zweijährigen Vergleich.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 6: Trockensubstanzerträge und Trockensubstanzgehalte von Welsches Weidelgras, Einjähriges Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Herbststernte 2007 bis 2009</i>	<i>13</i>
<i>Tabelle 7: Trockenmasseerträge von Welsches Weidelgras, Einjähriges Weidelgras und Mischungen aus Beiden zum Frühjahrsschnitt 2007 bis 2009 nach einer Herbstvornutzung</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 8: Trockensubstanzgehalte von Welsches Weidelgras, Einjähriges Weidelgras und Mischungen aus beiden zum Frühjahrsschnitt 2007 bis 2009 nach einer Herbstvornutzung</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 9: Trockensubstanzgehalte und Trockemasseerträge von Wintergerste in den Versuchsjahren 2007 bis 2009</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 10: Trockenmasseerträge von Triticale GPS im dreijährigen Vergleich</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 11: Trockensubstanzgehalte von Triticale GPS im dreijährigen Vergleich.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 12: Trockenmasseerträge von Winterweizen GPS im dreijährigen Vergleich.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 13: Trockensubstanzgehalte von Winterweizen GPS im dreijährigen Vergleich.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 14: Trockenmasseertragsleistung von Sorghumarten in den Versuchsjahren 2007 bis 2009</i>	<i>23</i>
<i>Tabelle 15: Trockensubstanzgehalte von Sorghumarten in den Versuchsjahren 2007 bis 2009.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 16: Trockenmasseerträge von Sonnenblumen in den Versuchsjahren 2007 bis 2009.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 17: Trockensubstanzgehalte von Sonnenblumen in den Versuchsjahren 2007 bis 2009.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 18: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Futterraps in den Versuchsjahren 2007 und 2008</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 19: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Grobleguminosen (-gemenge) in den Versuchsjahren 2007 bis 2009</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 20: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Mais im Zweitfruchtanbau von 2007 bis 2009</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 21: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalt von Mais im Monoanbau von 2007 bis 2009</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 22: Berechnung von Sollwerten für die Stickstoffdüngung</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 23: Gemessene Nmin-Gehalte in 0 bis 90 cm Bodentiefe</i>	<i>39</i>

<i>Tabelle 24: Berechnung des durchschnittlichen Stickstoff-Bedarfs (kg/ha) anhand von korrigierten Sollwerten der einzelnen Fruchtarten</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 25: Überhangsbewertung/Stickstoffeinsparpotentiale der verglichenen Fruchtfolgen</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 26: Humusbilanz der verschiedenen Fruchtfolgen.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 27: Humusbilanz unter Nutzung des Einsparpotentials bei sollwertangepasster Gärsubstratdüngung ..</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 28: Mittlere Biogasleistung der Kulturarten im Mittel der Versuchsjahre 2007 bis 2009</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 29: Mittlere Methangehalte der Kulturarten im Mittel der Versuchsjahre 2007 bis 2009.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 30: Mittlere Methanleistung der Kultarten im Mittel der Versuchsjahre 2007 bis 2009.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 31: Mittlere Trockenmasseertragsleistung und Methanerträge der verschieden Kulturarten über die Versuchsjahre 2007 bis 2009</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 32: Fruchtfolgen für den Systemvergleich von reiner Marktfrucht- und gemischten Marktfrucht/ Biogasfruchtfolgen</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 33: Kostendarstellung der kalkulierten Fruchtfolgesysteme</i>	<i>51</i>

Tabellenverzeichnis Anhang

<i>Tabelle A 1: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2007 von Welsches Weidelgras, Mais (Zweitfrucht), Weizen (GPS), Futterraps und Marktstammkohl</i>	54
<i>Tabelle A 2: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2007 von Wintergerste (GPS), Sorghum, Sonnenblumen, Triticale (GPS) und Grobleguminosen(-gemische)</i>	55
<i>Tabelle A 3: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2007 von Weizen (GPS), Welsches Weidelgras (Herbst), Grünroggen und Mais (Zweitfrucht) sowie Mais (Monoanbau)</i>	56
<i>Tabelle A 4: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2008 von Welsches Weidelgras, Mais (Zweitfrucht), Weizen (GPS), Futterraps und Marktstammkohl</i>	57
<i>Tabelle A 5: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2008 von Wintergerste (GPS), Sorghum, Sonnenblumen, Triticale (GPS) und Grobleguminosen(-gemische)</i>	58
<i>Tabelle A 6: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2008 von Weizen (GPS), Welsches Weidelgras (Herbst), Grünroggen und Mais (Zweitfrucht) sowie Mais (Monoanbau)</i>	59
<i>Tabelle A 7: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2009 von Welsches Weidelgras, Mais, Weizen (GPS), Futterraps und Marktstammkohl</i>	60
<i>Tabelle A 8: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2009 von Wintergerste (GPS), Sorghum, Sonnenblumen, Triticale (GPS) und Grobleguminosen(-gemische)</i>	61
<i>Tabelle A 9: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2009 von Weizen (GPS), Welsches Weidelgras (Herbst), Grünroggen und Mais (Zweitfrucht) sowie Mais (Monoanbau)</i>	62
<i>Tabelle A 10: Boniturergebnisse im Grünroggensortiment 2007</i>	63
<i>Tabelle A 11: Boniturergebnisse im Grünroggensortiment 2008</i>	63
<i>Tabelle A 12: Boniturergebnisse im Grünroggensortiment 2009</i>	64
<i>Tabelle A 13: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Herbstnutzung 2007</i>	64
<i>Tabelle A 14: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Herbstnutzung 2008</i>	65
<i>Tabelle A 15: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beidem zur Herbstnutzung 2009</i>	65
<i>Tabelle A 16: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Frühjahrsernte 2007 nach Herbstvornutzung</i>	66
<i>Tabelle A 17: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Frühjahrsernte 2008 nach Herbstvornutzung</i>	66

<i>Tabelle A 18: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Frühjahrsernte 2009 nach Herbstvornutzung</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle A 19: Bonituren Wintergerste im Versuchsjahr 2007</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle A 20: Bonituren Wintergerste im Versuchsjahr 2008</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle A 21: Bonituren Wintergerste im Versuchsjahr 2009</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle A 22: Bonituren Wintertriticale im Versuchsjahr 2007</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle A 23: Bonituren Wintertriticale im Versuchsjahr 2008</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle A 24: Bonituren Wintertriticale im Versuchsjahr 2009</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle A 25: Bonituren Winterweizen GPS im Versuchsjahr 2007</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle A 26: Bonituren Winterweizen GPS im Versuchsjahr 2008</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle A 27: Bonituren Winterweizen GPS im Versuchsjahr 2009</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle A 28: Bonituren Sorghum im Versuchsjahr 2007</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle A 29: Bonituren Sorghum im Versuchsjahr 2008</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle A 30: Bonituren Sorghum im Versuchsjahr 2009</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle A 31: Bonituren Sonnenblumen im Versuchsjahr 2007.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle A 32: Bonituren Sonnenblumen im Versuchsjahr 2008.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabelle A 33: Bonituren Sonnenblumen im Versuchsjahr 2009.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabelle A 34: Bonituren Futterraps und Markstammkohl im Versuchsjahr 2007</i>	<i>75</i>
<i>Tabelle A 35: Bonituren Futterraps und Markstammkohl im Versuchsjahr 2008</i>	<i>75</i>
<i>Tabelle A 36: Bonituren Grobleguminosen (-gemenge) im Versuchsjahr 2007.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabelle A 37: Bonituren Grobleguminosen (-gemenge) im Versuchsjahr 2008.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabelle A 38: Bonituren Grobleguminosen (-gemenge) im Versuchsjahr 2009.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabelle A 39: Bonituren Zweitfruchtmais im Versuchsjahr 2007</i>	<i>77</i>
<i>Tabelle A 40: Bonituren Zweitfruchtmais im Versuchsjahr 2008</i>	<i>78</i>
<i>Tabelle A 41: Bonituren Zweitfruchtmais im Versuchsjahr 2009</i>	<i>78</i>
<i>Tabelle A 42: Bonituren Mais im Monoanbau im Versuchsjahr 2007</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle A 43: Bonituren Mais im Monoanbau im Versuchsjahr 2008</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle A 44: Bonituren Mais im Monoanbau im Versuchsjahr 2009</i>	<i>80</i>
<i>Tabelle A 45: Inhaltstoffe, Gärrestanfall und Humuswirkung der Gärreste der verschiedenen Fruchtfolgen</i>	<i>81</i>

<i>Tabelle A 46: Rohaschegehalte der untersuchten Pflanzenarten.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle A 47: Ökonomischen Auswertung und Kostenübersicht der Fruchtfolge 1.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabelle A 48: Ökonomischen Auswertung und Kostenübersicht der Fruchtfolge 2.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabelle A 49: Ökonomischen Auswertung und Kostenübersicht der Fruchtfolge 3.....</i>	<i>84</i>

1 Material und Methoden

Die Durchführung von Anbauversuchen und die Bereitstellung von geeignetem Probenmaterial für die Kooperationspartner war eine wesentliche Aufgabe im Teilprojekt 2. Im folgenden Kapitel werden Versuchsstandort am Versuchsgut Merklingsen, der Aufbau und die Durchführung der Versuche sowie die Probennahme und -Aufbereitung der generierten Proben beschrieben.

1.1 Versuchsanlage

Das Versuchsgut Merklingsen der Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft befindet sich ca. 10 km westlich von Soest im Bereich der Niederbörde. Es handelt sich um einen Börde Standort mit sehr guter Wasserversorgung und hoher Fruchtbarkeit. Das Klima ist maritim geprägt.

Lage:	ca. 80 m über NN, eben
Klima:	ca. 860 mm Jahresniederschlag, 10,3 °C mittlere Jahrestemperatur
Boden:	Pseudogley-Parabraunerde (ca. 75 BP, L4, L _ö)
Nährstoffversorgung:	hoch (pH-Wert 7,1; P ₂ O ₅ : 26 mg/100g Boden; K ₂ O: 19 mg/100g Boden; MgO: 6 mg/100g Boden)

Auf einer Pachtfläche des Versuchsgutes Merklingsen wurden der Planung entsprechend Fruchtfolgeversuche (Tabelle 1) angelegt. Es wurden drei Fruchtfolgevarianten bzw. Anbaufolgen untersucht:

1. Vielseitige fünffeldrige Fruchtfolge
2. Einseitiger Fruchtwechsel
3. Monokultur von Mais

Der einseitige Fruchtwechsel von Grünroggen und Mais sowie die Monokultur von Mais dienen als Vergleich zur Bewertung der verschiedenen Fruchtfolgen. Die fünffeldrige Fruchtfolge bestand aus einer Kombination von geeigneten Erst- und Zweitfrüchten, die in der Abfolge eine optimale Ausnutzung der möglichen Vegetationszeit gewährleisten sollten. Dabei wurden Elemente des Haupt-, Zweit- und Zwischenfruchtanbaus miteinander verknüpft, um so die unterschiedlichen Saat- und Erntezeitpunkte mit geeigneten Fruchtarten zu besetzen.

Das Versuchsdesign zeigt Tabelle 2. In jedem Jahr wurde jede Fruchtart in Klein- und Großparzellen angebaut. Insgesamt sind 20 Großparzellen à 0,4 ha für die Darstellung der drei Anbaufolgen angelegt worden.

Tabelle 1: Darstellung der Fruchtfolgen in den Anbauversuchen im Versuchsgut Merklingsen

Rotation	1. Frucht	2. Frucht
1. Jahr	Welsch. Weidelgras	Mais
2. Jahr	Weizen (GPS)	Zwischenfruchtgruppe I
3. Jahr	Gerste (GPS)	Zwischenfruchtgruppe II
4. Jahr	Triticale (GPS)	Zwischenfruchtgruppe I
5. Jahr	Weizen (GPS)	Welsch. Weidelgras
Vergleich	Grünroggen	Mais
Vergleich	Maismonokultur	

Zwischenfruchtgruppe I: Raps, Markstammkohl und Grobleguminosengemenge

Zwischenfruchtgruppe II: Sonnenblumen und Sorghum

Innerhalb der Großparzellen wurden in den Jahren 2007 bis 2009 die Sortenversuche der jeweiligen Fruchtarten angelegt. Jedes Fruchtfolgeglied wurde hierbei in einer dreifachen Wiederholung auf den Großparzellen angebaut. Eine Ausnahme bildet die Anbaufolge Grünroggen-Mais. Hier wurde nur eine zweifache Wiederholung benötigt, da das Sortiment des Zweitfruchtmais bereits nach Welschen Weidelgras dargestellt wurde und dies demselben Aussattermin entspricht. Damit eine gegenseitige Beeinflussung der Kleinparzellen ausgeschlossen werden konnte, wurde nur in einer der drei Wiederholungen der Großparzellen eine Sortenprüfung durchgeführt. Die übrigen zwei Wiederholungen wurden in den Folgejahren zur Durchführung von Sortenprüfungen genutzt (vgl. Tabelle 2). Damit stand in jedem Jahr für jede Fruchtart ausreichend Fläche für Sortenprüfungen in den Kleinparzellen in einer vierfachen Wiederholung zur Verfügung.

Tabelle 2: Flächenplan der Großparzellen der Anbauversuche im TP 2

Parz. Nr.	Wiederholung 2		Wdh 3	WKA (Sonderprüfung)		Wiederholung 3				
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2006/07	TR		WG	FuRo	FuRo	TR	WW	W-Gras	WW	
	Zwfr.	Mais	Zwfr.	Mais	Mais	Zwfr.	W.Gras	Mais	Zwfr.	Mais
2007/08	WW		TR	FuRo	FuRo	WW	W.Gras	WW	WG	
	W.Gras	Mais	Zwfr.	Mais	Mais	W.Gras	Mais	Zwfr.	Zwfr.	Mais
2008/09	W.Gras		WW	FuRo	FuRo	W.Gras	WW	WG	TR	
	Mais	Mais	W.Gras	Mais	Mais	Mais	Zwfr.	Zwfr.	Zwfr.	Mais

Parz. Nr.	Wiederholung 1					Wiederholung 2				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2006 / 07	W.Gras	WW	WG	TR	WW		WW	W.Gras	WW	WG
	Mais	Zwfr.	Zwfr.	Zwfr.	W.Gras	Mais	W.Gras	Mais	Zwfr.	Zwfr.
2007 / 08	WW	WG	TR	WW	W.Gras		W.Gras	WW	WG	TR
	Zwfr.	Zwfr.	Zwfr.	W.Gras	Mais	Mais	Mais	Zwfr.	Zwfr.	Zwfr.
2008 / 09	WG	TR	WW	W.Gras	WW		WW	WG	TR	WW
	Zwfr.	Zwfr.	W.Gras	Mais	Zwfr.	Mais	Zwfr.	Zwfr.	Zwfr.	W.Gras

1.2 Anbautechnik und Ernte

Die Bewirtschaftung der Flächen erfolgte grundsätzlich pfluglos. Je nach Bodenzustand und Anforderungen der angebauten Fruchtarten erfolgte der Einsatz der Bodenbearbeitungsgeräte. Pflanzenschutz und Düngung erfolgten nach guter landwirtschaftlicher Praxis.

Die angebauten Sorten und die Grundlagen der Anbautechnik sind in Tabelle A 1 bis Tabelle A 9 des Anhangs aufgeführt. Die Sortenauswahl erfolgte in Abstimmung mit der GFP und anderen Institutionen derart, dass ein möglichst großer Anteil der Varianz des vorhandenen Sortenspektrums abgebildet wurde. Bei einzelnen Kulturarten konnte aufgrund einer hohen Sortenfluktuation über die drei Versuchsjahre keine Sortenkonstanz gewährleistet werden. Daher wurden Sorten entsprechend der Varianzvorgabe adäquat ersetzt. Die angebauten Sorten der einzelnen Kulturarten in den einzelnen Jahren sowie die Bodenbewirtschaftungs-, Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen sind in Tabelle A 1 bis Tabelle A 9 des Anhangs dargestellt. Die Auswahl der Düngungsmengen richtete sich dabei nach

dem Entzug der Pflanzen und den jeweiligen Gegebenheiten in den einzelnen Jahren. Ebenso wurden Pflanzenschutzmaßnahmen nach guter fachlicher Praxis durchgeführt.

Durch die Möglichkeit zum vorzeitigen Maßnahmenbeginn stand die erforderliche Erntetechnik bereits zur Ernte der ersten Winterzwischenfrüchte Anfang Mai 2007 zur Verfügung.

Dadurch konnten die Groß- und Kleinparzellen fristgerecht und mit bester verfügbarer Technik in der gesamten Projektlaufzeit beerntet werden. Die Ernte erfolgte mit einem selbstfahrenden Feldhäcksler der Marke Claas Jaguar 830 Profistar 2, Typ 492 und einem an die Fruchtart angepassten Schneidwerk (Getreideschneidwerk mit Messerbalken bzw. reihenunabhängiges Maisgebiss). Die Einstellungen der Maschine wurden fruchtartspezifisch optimiert. Das gesamte Erntegut einer Kleinparzelle wurde am Häcksler gewogen und eine repräsentative Probe entnommen. Zusätzlich zu den Sortenproben wurden durch agronomische Maßnahmen vereinzelt Sonderproben generiert, um die Varianz in den Fruchtarten zu erhöhen (z.B. Einsatz der Sikkation).

1.3 Probennahme und Aufbereitung

Die Probenbehandlung erfolgte wie in Abbildung 1 dargestellt. Bei der Parzellenernte konnte durch den rotierenden Verteilkopf und die Probenentnahmeschnecke am Wiegesystem eine repräsentative Probe von bis zu 10 % des Parzellenertrages entnommen werden. Von dieser Probe wurde umgehend eine Trockensubstanzprobe von ca. 800g bis 1000g Frischmasse entnommen und nach einer Vortrocknung auf einem Belüftungsboden für 24 h in einem Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Für alle weiteren Untersuchungen wurde unverzüglich mittels eines Betonmischers eine Mischprobe aus jeweils der ersten und zweiten sowie der dritten und vierten Wiederholung erstellt. Diese Mischproben wurden unmittelbar anschließend spektral mittels Polytec-NIRS-Spektrometer (für Teilprojekt 5) vermessen, und anschließend verpackt und tiefgefroren. Diese Proben wurden den Teilprojekten 4 für inhaltstoffliche Untersuchungen sowie den Biogasbatchtest und dem Teilprojekt 5 für weitere analytische Untersuchungen zur

Verfügung gestellt. Eine Übersicht über den Umfang der Beprobung ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Generierte Proben aus den Anbauversuchen des TP2 für die NIRS-Kalibration

Fruchtart	2007	2008	2009
Futtermais	6	12	
Futtermais (Sonder*)	4	5	
Grobleguminosen (Sonder*)		3	
Grobleguminosen(-gemische)	9	20	10
Grünroggen	6 [†]	20 [†]	16
Mais (früh)	10 (5)	20 (+5)	20
Mais (Sonder*)		3	
Mais (Spät)	10 (5)	20 (+5)	20
Markstammkohl		8	
Sonnenblumen	11	20	18
Sorghum	12	20	22
Sorghum (Sonder*)	1	4	
Triticale	10 [†]	20	20
Welsches Weidelgras (Herbst)	12	20	10
Welsches Weidelgras	7 [†] (7)	29 [†] (+10)	36
Wintergerste	10 [†]	22	20
Winterweizen	10 [†]	22	20
Gesamt	118	268 (288)	212

()= zzgl. Silageproben

* Proben aus pflanzenbaulichen Fragestellungen

[†]Keine At-line-Spektren, Gerät nicht vorhanden (2007) oder Defekt (2008)

Da das NIRS-Messgerät zur Messung am Frischmaterial erst ab Ende August 2007 zur Verfügung stand, musste bei den ersten Ernteterminen auf die entsprechende NIRS-Messung verzichtet werden. Zudem wurde bei der Ernte des Welschen Weidelgrases und des Grünroggens im Jahr 2008 ein Defekt am Schwarzabgleich des NIRS-Gerätes festgestellt. Durch die Firma Polytec wurde das Spektrometer ausgetauscht und repariert. Die Spektren dieser zwei betroffenen Winterzwischenfrüchte wurden verworfen, da eine rechnerische Korrektur nicht möglich war.

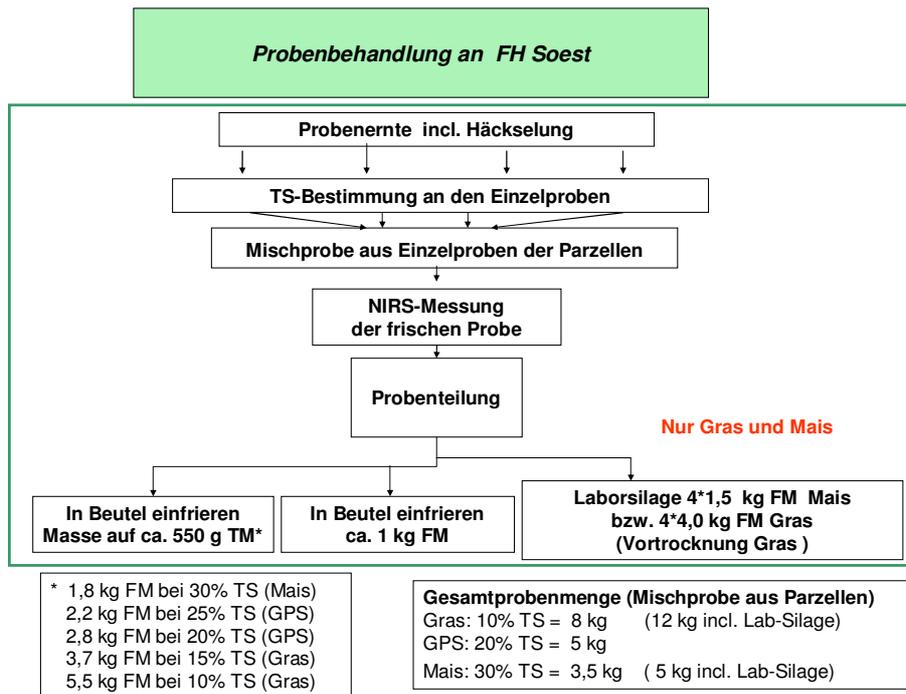


Abbildung 1: Probenbehandlung im Versuchsgut Merklingsen der Fachhochschule Südwestfalen

Insgesamt konnten für die NIRS-Entwicklung 598 Gefrierproben aus den Anbauversuchen des Teilprojektes 2 generiert werden. Zusätzlich sind im Jahr 2007 und 2008 Laborsilagen in Einweckgläsern für das Projekt 'Entwicklung einer NIRS Kalibration für Mais- und Gras-Silagen' des Julius-Kühn-Institutes (Projektleiter Prof. Dr. Pahlow, FKZ: 22004305) erstellt worden.

2 Witterungsverlauf in den Versuchsjahren 2007 bis 2009

Das Versuchsjahr 2007 (vgl. Abbildung 2) war durch einen milden Winter mit einer nur kurzen Vegetationsruhe im Januar gekennzeichnet. Insgesamt war das Frühjahr durch ein stetiges Wachstum geprägt, mit einer längeren Trockenphase und sommerlichen Temperaturen im April. Die Aussaat von Mais konnte daher bereits am 23. April erfolgen. Durch hohe Niederschläge und niedrige Temperaturen um 15 °C im Mai und Juni war das Auflaufen der Zweitfrüchte Sonnenblumen und Sorghum verzögert. Generell war der Sommer sehr niederschlagsreich. Für das Jahr 2007 ergab sich eine Niederschlagssumme von 962 mm. Milde Temperaturen im Winter führten zu 310 Wachstumstagen mit Tagesmitteltemperaturen 5 °C.

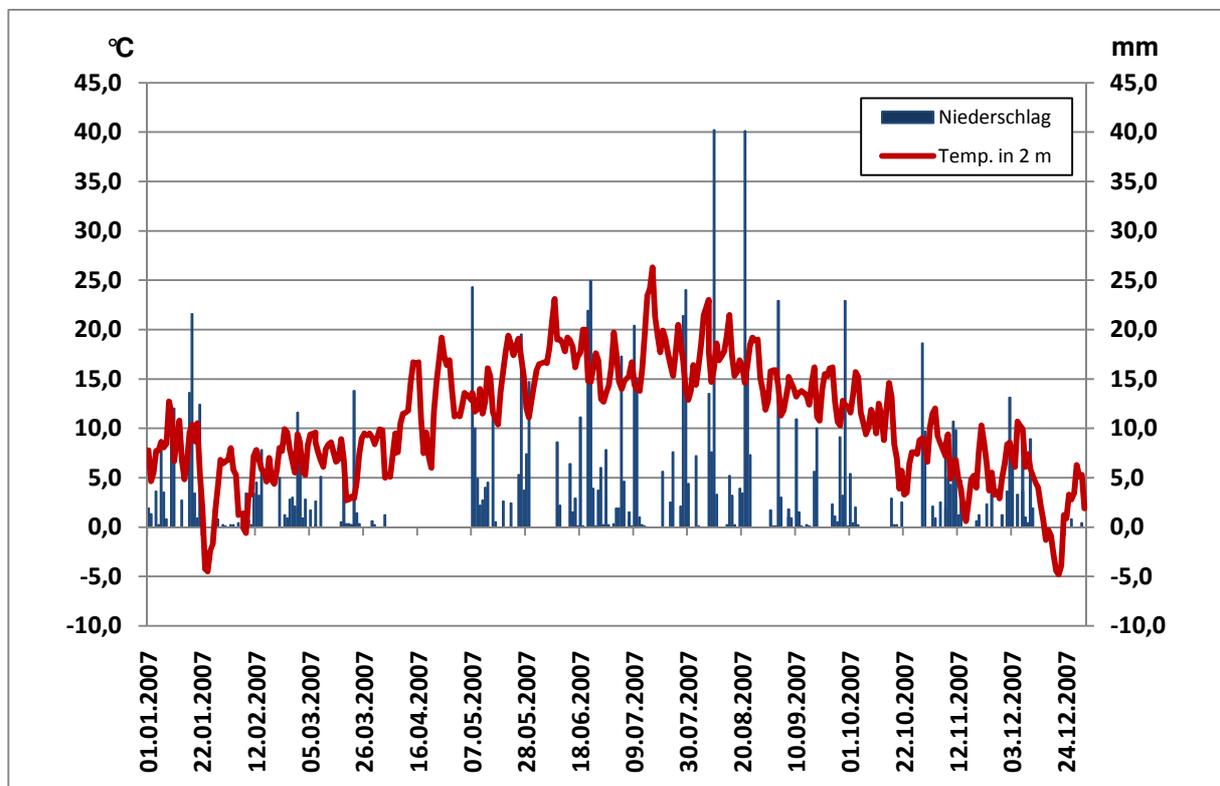


Abbildung 2: Witterungsverlauf im Versuchsjahr 2007

Ein milder Winter und ein warmer Sommer mit guter Niederschlagsverteilung für den Standort Soest prägten das Versuchsjahr 2008 (vgl. Abbildung 3). Die Winterkulturen konnten sich über Winter gut entwickeln. Zur Maisaussaat am 22. April stiegen die Temperaturen auf über 10 °C an, nach einer vorhergehenden kurzen kühleren Phase. Ende Juni bis Mitte August stiegen die Temperaturen auf ein hohes Niveau von über 20 °C im Tagesdurchschnitt, was grade die Sommerkulturen begünstigte.

Insgesamt waren 284 Wachstumstage im Jahr 2008 zu verzeichnen mit einer Niederschlagssumme von 697 mm.

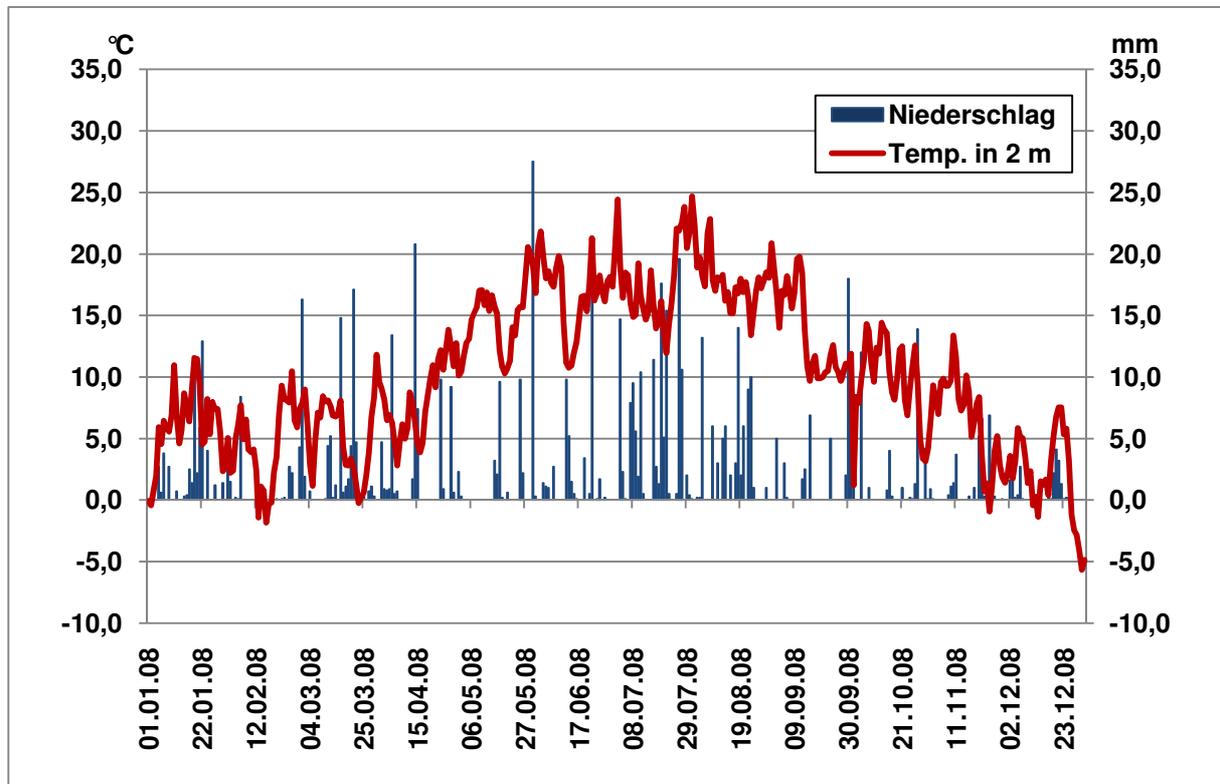


Abbildung 3: Witterungsverlauf im Versuchsjahr 2008

Das Versuchsjahr 2009 begann mit einem sehr kalten Winter und vergleichsweise kühlem Frühjahr (vgl. Abbildung 4). Erst zur Maisaussaat am 16. April stiegen die Temperaturen auf über 10 °C an. Hohe Temperaturen zur Zweitfruchtaussaat und hohe Sommertemperaturen sowie hohe Einstrahlungsintensitäten prägten den Sommer und Herbst. Wachstum war bis in den späten Herbst vorhanden, wodurch sich 277 Vegetationstage insgesamt ergaben. Die Niederschlagssumme betrug 734 mm.

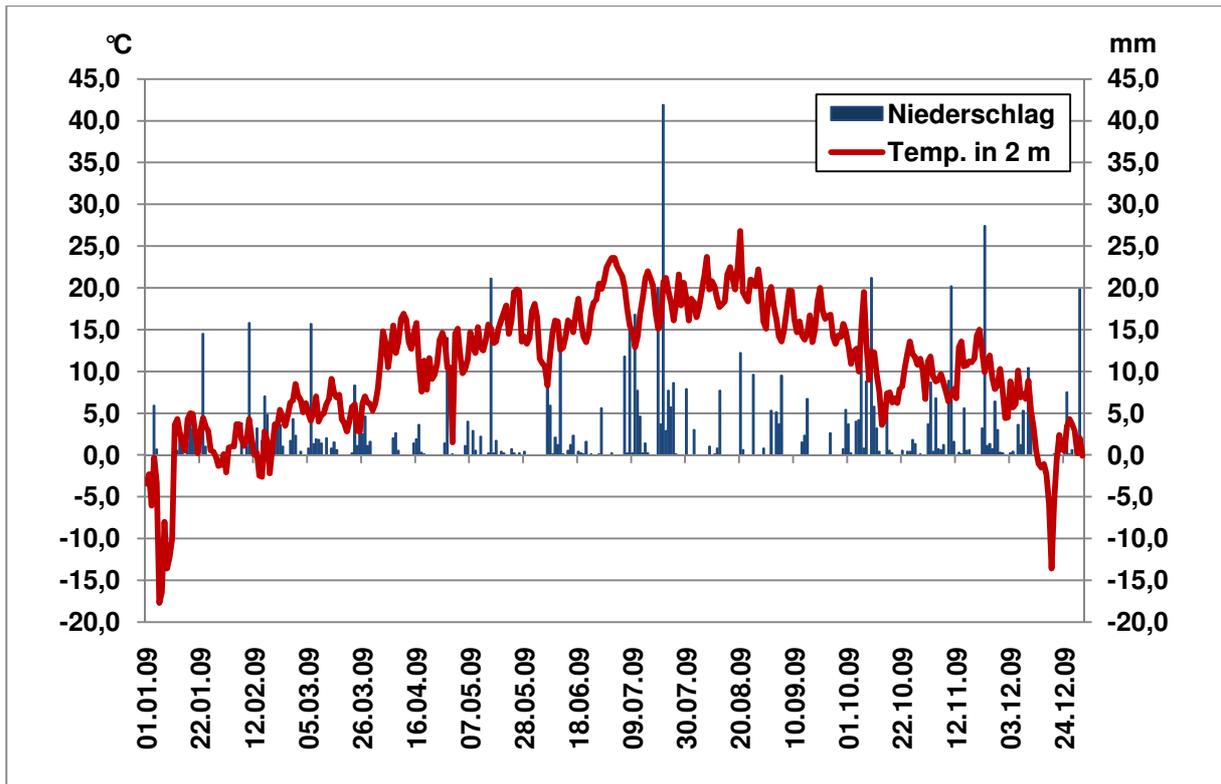


Abbildung 4: Witterungsverlauf im Versuchsjahr 2009

3 Ergebnisse und Diskussion der Versuchsanstellung

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Fruchtarten anhand der Trockenmasseertragsleistung und erreichten Trockensubstanz beschrieben und bewertet. Dabei werden Sorteneffekte über die Jahre mittels der statistisch berechneten Grenzdifferenz (Niveau 5 %) bewertet und Differenzen anhand von erfassten Bonituren erläutert.

3.1 Winterzwischenfrüchte

In der fünffeldrigen Fruchtfolge (FF1) sind das Welsche Weidelgras und in der FF2 der Grünroggen definitionsgemäß als Winterzwischenfrüchte anzusehen, da die Haupttrockenmassebildung im Frühjahr stattfindet. Anbautechnisch wurde das Sortiment Welsches Weidelgras und Einjähriges Weidelgras bereits als Sommerzwischenfrucht angelegt und im Herbst vorgeerntet. Grünroggen wurde nach Zweitfruchtmais als Winterung im Herbst ausgedrillt. Der Erntetermin richtet sich nicht nach dem optimalen Ertrag bzw. Trockensubstanzgehalt der Winterzwischenfrucht sondern nach der noch möglichen Aussaat von Mais. Am Standort Soest sollte der Zwischenfruchtmais bis zum 10. Mai gelegt sein, um eine ausreichende Entwicklungszeit mit sicherer Abreife zu gewährleisten.

3.1.1 Grünroggen

Aufgrund der sommerlichen Witterung im April des Jahres 2007 erreichten die Sorten des Grünroggens bis zur Ernte am 4. bzw. 5. Mai im Mittel der Sorten 90 dt/ha Trockenmasse. Die bereits relativ hohen Trockensubstanzgehalte von über 20% zeigen an, dass die Sorten teilweise bereits in der Vollblüte standen bzw. darüber hinaus entwickelt waren. Trotz Lager in den Parzellen der Sorten Protector, Vitallo und Borfuro konnten hier noch signifikant höhere Erträge erzielt werden als im restlichen Sortiment.

Stetiges langsames Wachstum im Jahr 2008 sowie ein später Anstieg der Frühjahrstemperaturen führte beim Grünroggen zu einer verzögerten Entwicklung. Bei der Ernte am 05. Mai 2008, bedingt durch die kalendarisch terminierte Zweitfruchtaussaat von Mais, konnten im Mittel nur 46,16 dt/ha TM erreicht werden. Gekennzeichnet wird dieses frühe Entwicklungsstadium durch einen niedrigen

Trockensubstanzgehalt von 15,79 % im Mittel der Sorten. Bereits bei der Bonitur (vgl. Tabelle A 11) Ende März zeigten die Sorten Protector und Vitallo die höchste Masse im Sortiment. Wuchshöhen von über 103 cm wurden ebenfalls nur von diesen Sorten erzielt. Auch die Ertragsleistung der Sorten Protector und Vitallo ist signifikant höher als beim restlichen Sortiment, mit Ausnahme von Borfuro.

Der vergleichsweise normale Vegetationsstart im Versuchsjahr 2009 brachte im Mittel des Sortiments 68,96 dt/ha TM. Der Entwicklungszustand zur Ernte ist nicht über die Blüte hinausgegangen, dementsprechend sind die Trockensubstanzgehalte im Mittel bei 16,02 %. Vitallo und Protector sind vom Trockenmasseertrag am höchsten mit 72 dt/ha TM und 78,35 dt/ha TM und unterscheiden sich mit Ausnahme von Bafuro signifikant vom übrigen Sortiment.

Bei der Betrachtung des dreijährigen Vergleichs (vgl. Tabelle 4) hat die Sorte Protector die höchste Trockenmasseleistung erbracht und unterscheidet sich signifikant von den Sorten Matador und Carotop. Auch bei der Betrachtung der zweijährigen Ergebnisse von 2008 und 2009 (vgl. Tabelle 5) ändert sich dieses Bild nicht.

Tabelle 4: Ertragsleistung (dt/ha TM) von Grünroggen im drei- und zweijährigen Vergleich

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	08 und 09
	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM
Vitallo	92,98	56,81	72,00	73,93	64,41
Protector	99,05	58,79	78,35	78,73	68,57
Matador	82,57	44,07	60,34	62,32	52,21
Borfuro	97,47	50,70	69,03	72,40	59,86
Carotop*	84,11	43,60	66,66	64,79	55,13
Visello	.	42,21	72,52		57,37
Conduct	.	42,18	63,15		52,67
Pallazzo	.	.	68,51		
Placido	.	42,22	.		
Evolò	.	40,90	.		
Balistic	.	40,12	.		
Pollino	83,80	.	.		
Mittel	90,00	46,16	68,96	70,43	58,60
GD 5%	8,90	9,60	8,54	5,70	6,71

* in 2009 nur 2 Wiederholungen, GD 5% = 12,07 dt/ha TM; im dreijährigem Vergleich GD 5% = 6,58 dt/ha TM; im zweijährigen Vergleich GD 5% = 8,21 dt/ha TM

Die Sorten Protector und Vitallo haben zudem signifikant höhere Trockensubstanzgehalte als die restlichen Sorten. Die Bonituren zeigen ebenfalls bei diesen Sorten den weitesten Entwicklungsstand in allen drei Jahren auf. Zudem ist

der Entwicklungsstand nach Winter ein weiterer Indikator, bei dem diese beiden Sorten einen Vorsprung aufzeigen.

Tabelle 5: Trockensubstanzgehalte (% TS) von Grünroggen im drei- und zweijährigen Vergleich

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	08 und 09
	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM
Vitallo	25,03	16,22	17,46	19,57	16,84
Protector	24,20	16,18	17,42	19,27	16,80
Matador	21,17	15,00	14,94	17,03	14,97
Borfuro	22,44	15,51	16,41	18,12	15,96
Carotop*	21,58	15,17	14,78	17,18	14,98
Visello	.	15,97	15,58		15,77
Conduct	.	15,44	14,83		15,13
Pallazzo	.	.	15,83		
Placido	.	16,10	.		
Evoló	.	16,00	.		
Balistic	.	16,34	.		
Pollino	22,81	.	.		
Mittel	22,87	15,79	16,02	18,23	15,78
GD 5%	1,20	0,67	0,85	0,49	0,51

* in 2009 nur 2 Wiederholungen, GD 5% = 1,21 % TS; im dreijährigem Vergleich GD 5% = 0,57 % TS; im zweijähriger Vergleich GD 5% = 0,62 % TS

3.1.2 Welsches Weidelgras

Innerhalb der fünfeldrigen Fruchtfolge (FF1) werden das Welsche Weidelgras, das Einjährige Weidelgras sowie Mischungen aus beiden als Sommerzwischenfrucht nach Weizen (GPS) für eine Herbstnutzung sowie als Winterzwischenfrucht für eine folgende Frühjahrsnutzung angebaut. Die Bestandsetablierung nach Winterweizen war einfach und sicher als Stoppel(-Mulch)saat durchzuführen.

Im Jahre 2007 war der Versuch durch Lager in den Parzellen gekennzeichnet (vgl. Tabelle A 13). In den Jahren 2008 und 2009 war hingegen der Rostbefall auffällig, wodurch sich ebenfalls Sortendifferenzierungen aufzeigten (vgl. Tabelle A 14 und Tabelle A 15). Die Sorten des Welschen Weidelgrases Dorike und Taurus zeigten hier den geringsten Befall.

Zur Herbsterntelassen sich im Mittel der Versuchsjahre große Ertragsdifferenzen erkennen. So wurden 2007 und 2009 nur 26 dt/ha TM bzw. 29 dt/ha TM erzielt. Im

Jahr 2008 wurden über 41 dt/ha TM erzielt. Die Trockensubstanzgehalte schwankten im Mittel des Sortiments von 20,6 % TS in 2007 bis zu 24,6 % TS in 2009.

Im dreijährigen Vergleich hatten zur Herbsterte das Einjährige Weidelgras Imperio und Mischungen aus Welsches und Einjähriges Weidelgras wie Fabio und Imperio signifikant höhere Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge erzielt im Vergleich zu den übrigen Sorten des Welschen Weidelgrases (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Trockensubstanzerträge und Trockensubstanzgehalte von Welsches Weidelgras, Einjähriges Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Herbsterte 2007 bis 2009

Sorte	Jahr						3-Jährig	
	2007		2008		2009		07 bis 09	07 bis 09
	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS
Taurus (WW)	25,66	19,50	37,94	18,81	27,43	22,49	30,34	20,27
Pollanum (EW)	25,54	20,74	44,84	24,18	29,41	23,99	33,26	22,97
Mondora (WW)	28,53	19,12	38,11	19,23	31,62	23,91	32,75	20,75
Lemtal (WW)	19,93	20,92	36,07	20,62	26,53	25,49	27,51	22,34
Imperio (EW)	32,04	21,83	46,92	29,21	31,09	28,56	36,68	26,54
Gemini (WW)	24,28	20,53	43,14	23,53	29,87	24,81	32,43	22,95
Fabio (WW)	24,65	20,40	40,41	19,24	27,88	23,87	30,98	21,17
Fabio + Pollanum (WW/EW)	28,29	22,00	42,20	21,07	30,88	24,12	33,79	22,39
Fabio + Imperio (WW/EW)	28,82	22,15	46,06	23,59	30,39	26,36	35,09	24,03
Dorike* (WW)	27,82	18,83	37,41	19,24	27,12	22,73	30,78	20,27
Gesamt	26,56	20,60	41,31	21,87	29,22	24,63	32,36	22,37
GD 5%	4,95	1,96	4,68	0,63	3,83	1,98	2,53	0,93

Im Frühjahr (Tabelle 7) wurde dieses Sortiment nach der Überwinterung erneut geerntet. Wie schon beim Grünroggen wurde auch beim Welschen Weidelgras die Ernte nach dem kalendarischen Termin für eine späte Maisaussaat festgelegt. Somit wurde in allen Versuchsjahren bereits Anfang Mai geerntet, um eine Maisaussaat bis zum zehnten Mai zu gewährleisten.

Bonitiert wurde unter anderem die Masse der Sorten nach Winter (vgl. Tabelle A 16 bis Tabelle A 18). Sorten des Einjährigen Weidelgrases haben im Frühjahr in allen Versuchsjahren generell die geringste Masse im Vergleich zu den Mischungen mit Welsches Weidelgras mit der Sorte Fabio gezeigt.

Im dreijährigen Vergleich von 2007 bis 2009 haben Sorten des Einjährigen Weidelgrases signifikant geringere Erträge erzielt als die Sorten des Welschen Weidelgrases mit Ausnahme bei der Sorte Lemtal.

Tabelle 7: Trockenmasseerträge von Welsches Weidelgras, Einjähriges Weidelgras und Mischungen aus Beiden zum Frühjahrsschnitt 2007 bis 2009 nach einer Herbstvornutzung

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	08 und 09
	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM
Taurus (WW)	90,62	64,82	91,82	82,42	78,32
Pollanum (EW)	84,97	62,77	83,56	77,10	73,16
Mondora (WW)	94,56	65,91	92,32	84,27	79,12
Lemtal (WW)	90,48	62,24	87,89	80,20	75,07
Imperio (EW)	86,67	61,54	76,48	74,90	69,01
Gemini (WW)	87,33	57,07	83,77	76,06	70,42
Fabio (WW)	96,43	66,25	93,24	85,31	79,75
Fabio + Pollanum (WW/EW)	.	67,71	91,00		79,35
Fabio + Imperio (WW/EW)	.	63,95	94,68		79,31
Dorike (WW)	.	58,65	101,13		79,89
Mittel	90,15	63,09	89,59	80,04	76,34
GD 5%	4,23	7,34	10,13	4,58	6,13

Im Mittel des Sortiments wurden im Frühjahr 18,7 % TS in 2007, 15,1 % TS in 2008 und 17,6 % TS in 2009 erzielt (vgl. Tabelle 8). Im dreijährigen Vergleich erzielten das Einjährige Weidelgras Imperio und das Welsche Weidelgras Lemtal signifikant höhere Trockensubstanzgehalte als das übrige Sortiment, wobei beim Trockenmasseertrag keine Unterschiede festzustellen waren.

Tabelle 8: Trockensubstanzgehalte von Welsches Weidelgras, Einjähriges Weidelgras und Mischungen aus beiden zum Frühjahrsschnitt 2007 bis 2009 nach einer Herbstvornutzung

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	08 und 09
	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS
Taurus (WW)	18,32	14,65	17,39	16,79	16,02
Pollanum (EW)	18,66	14,38	17,57	16,87	15,97
Mondora (WW)	18,23	14,72	16,72	16,56	15,72
Lemtal (WW)	20,28	16,93	18,69	18,63	17,81
Imperio (EW)	19,55	16,31	18,92	18,26	17,62
Gemini (WW)	17,65	14,89	19,37	17,31	17,13
Fabio (WW)	18,09	14,62	16,55	16,42	15,58
Fabio + Pollanum (WW/EW)	.	14,68	17,09		15,89
Fabio + Imperio (WW/EW)	.	15,45	17,30		16,38
Dorike (WW)	.	14,62	16,99		15,80
Mittel	18,68	15,13	17,66	17,26	16,39
GD 5%	0,89	0,85	1,35	0,60	0,78

So zeigte sich beim zweijährigen Vergleich der Mischung Welsches Weidelgras (Sorte Fabio) und Einjähriges Weidelgras (Sorte Imperio), dass die

Trockensubstanzgehalte im Vergleich zur Reinsaat von Fabio signifikant höher lagen.

3.1.3 Bewertung Winterzwischenfrüchte

Die Ertragsleistung von Winterzwischenfrüchten ist stark von der Witterung im Herbst und Winter sowie dem Termin des Vegetationsbeginns im Frühjahr abhängig. Ertragschwankungen zwischen den einzelnen Versuchsjahren sind beim Roggen in Höhe von 44 dt/ha TM und beim Welschen Weidelgras von 27 dt/ha TM aufgetreten. Insgesamt konnte auf dem wasserhaltenden Boden des Soester Standortes und mit ausreichend Niederschlag in den Versuchsjahren mit Welschem Weidelgras bzw. Einjährigem Weidelgras im Frühjahr mehr Trockenmasse erzielt werden als mit Grünroggen.

Welsches und Einjähriges Weidelgras bieten zudem die Möglichkeit als Sommerzwischenfrucht bereits im Herbst Erträge von durchschnittlich 32 dt/ha TM zu erzeugen.

Mischungen aus dem Einjährigen und Welschen Weidelgras mit ausgewählten Sorten bringen Synergieeffekte hinsichtlich Ertragskonstanz und höherer Trockensubstanzgehalte bei kombinierter Herbst- und Frühjahrsnutzung. Allerdings sind die Effekte bei optimal auf die Nutzungsrichtung ausgerichteter Sortenwahl und in Reinsaat nicht so deutlich.

3.2 Wintergetreide GPS

Wintergerste, Triticale und Winterweizen bilden in der fünffeldrigen Fruchtfolge (FF1) den Grundstein für die Biomasseleistung und wurden Ende der Milchreife/Anfang Teigreife geerntet. Damit sind Trockenmassegehalte von 32 % bis 35 % zu erwarten. Die Verwertungsrichtung ist Ganzpflanzensilage. Die frühe Ernte räumt die Fläche noch vor Ende Juni. Nachfolgend wurde eine an den jeweiligen Erntetermin des Wintergetreides angepasste Zweitfrucht ausgedrillt.

3.2.1 Wintergerste (GPS)

Wintergerste wurde nach Futterraps angebaut. Damit erhielt die Wintergerste ideale Bodenverhältnisse nach der Sommerzwischenfrucht. Der gare Boden mit wenig Stoppel- und Wurzelresten erleichterte die Bodenbearbeitung und sorgte für gute Aussaatbedingungen mit hohen Feldaufgängen.

Geerntet wurde die Wintergerste zum Anfang der Teigreife bereits Ende Mai bis Anfang Juni. So stand den Zweitfrüchten Sonnenblumen und Sorghum noch genügend Vegetationszeit für eine hinreichende Nutzungsreife zur Verfügung.

Das Wintergerstensortiment wurde breit ausgewählt mit zweizeiligen und mehrzeiligen Gerstensorten.

Tabelle 9: Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge von Wintergerste in den Versuchsjahren 2007 bis 2009

Sorte	Jahr						3-Jährig	
	2007		2008		2009		07 bis 09	07 bis 09
	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS
Merilyn (M)	130,24	28,63	124,43	33,19	115,25	29,05	123,31	30,29
Reni (Z)	103,52	28,79	126,06	30,94	125,77	29,20	118,45	29,65
Passion (Z)	117,61	29,55	116,13	32,86	116,53	29,93	116,76	30,78
Malwinta (Z)	109,66	28,56	120,98	33,05	117,34	28,69	116,00	30,10
Lomerit (M)	124,27	30,05	139,40	34,49	129,41	31,03	131,03	31,86
Fridericus (M)	129,44	29,56	125,93	33,98	124,75	31,87	126,71	31,80
Finesse (Z)	113,64	28,08	120,29	30,47	125,61	28,89	119,85	29,15
Emily (Z)	99,38	30,34	118,52	32,18	119,42	29,56	112,44	30,70
Campanile (Z)	90,36	28,18	118,46	33,66	118,01	27,82	108,94	29,89
Alinghi (M)	130,99	30,88	131,40	33,01	118,46	29,57	126,95	31,15
Mittel	114,91	29,26	124,16	32,78	121,06	29,56	120,04	30,54
GD 5%	16,47	1,60	11,13	1,55	12,53	0,96	7,59	0,79

(Z = Zweizeilige Gerstensorten; M = Mehrzeilige Gerstensorten)

Im Mittel des Sortimentes wurden Trockenmasseerträge von 114,9 dt/ha in 2007, 124 dt/ha in 2008 und 121,06 dt/ha in 2009 erreicht (vgl. Tabelle 9). Das breit angelegte Sortiment liegt jedoch im Trockensubstanzgehalt sehr eng zusammen. Geerntet wurde die Wintergerste mit 30,54 % TS im Mittel der Versuchsjahre.

In 2007 und 2008 wurden die Wintergerstensorten durch Virusbefall und Verunkrautung durch Trespe beeinträchtigt. Auswirkungen auf die Ertragsleistung in den einzelnen Jahren konnten jedoch nicht nachgewiesen werden (vgl. Tabelle A 19 bis Tabelle A 21).

Mehrzeilige Gerstensorten wie Alinghi, Lomerit und Fridericus haben in der Regel signifikant höhere Erträge erzielt als die zweizeiligen Gerstensorten (vgl. Tabelle 9). Im Trockensubstanzgehalt unterscheiden sich Lomerit und Fridericus ebenfalls signifikant von den zweizeiligen Gerstensorten. Generell zeigt jedoch das Gerstensortiment im Trockensubstanzgehalt eine geringe Sortenvarianz.

3.2.2 Wintertriticale (GPS)

Triticale wurde in der fünffeldrigen Fruchtfolge nach den Zweitfrüchten Sudangras bzw. Sonnenblumen angebaut. Der relativ späte Aussattermin (Mitte Oktober) in den Versuchsjahren wurde verursacht durch die späte Ernte der Zweitfrüchte, da hier eine genügende Massenentwicklung abgewartet werden musste.

Die Bonituren (vgl. Tabelle A 10 bis Tabelle A 12) zeigen, dass gerade im Jahr 2009 nach einem kälteren Winter die Bestände zu Vegetationsbeginn nicht viel Masse aufwiesen. Jedoch gab es keine Auswinterungserscheinungen die in einer Bonitur hätten erfasst werden können. Im Versuchsjahr 2007 waren die Bestände durch *Septoria tritici* und Braunrost an den unteren Blättern beeinträchtigt. Sortendifferenzierungen zeigten, dass zur Ernte die Sorte Magnat am stärksten mit *Septoria tritici* befallen war.

Im Jahr 2007 konnten aufgrund hoher Grenzdifferenzen (Niveau 5 %) kaum signifikante Sortenunterschiede festgestellt werden. Im Versuchsjahr 2008 präsentierte sich dieses Bild ähnlich (vgl. Tabelle 10). Im Jahr 2009 wurde das höchste Ertragsniveau im Jahresvergleich erreicht. Aufgrund des Sortenwechsels wurde ein Hybridroggen mit in das Triticalesortiment aufgenommen. Die Sorte Pallazzo erreichte signifikant höhere Erträge (190 dt/ha TM) als die Triticale-Sorten mit Ausnahme der Sorte Massimo (Triticale).

Im dreijährigen Vergleich erzielte die Sorte Massimo den höchsten Trockenmasseertrag. Dieser Ertrag unterscheidet sich nicht signifikant gegenüber den Sorten Logo und Grenado.

Tabelle 10: Trockenmasseerträge von Triticale GPS im dreijährigen Vergleich

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	07 und 08
	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM
Benetto	144,38	131,90	167,52	147,93	138,14
Talentro	144,27	149,83	171,25	155,12	147,05
Massimo	148,57	155,65	186,03	163,42	152,11
Magnat	137,84	137,62	174,82	150,10	137,73
Logo	150,18	141,87	176,56	156,20	146,02
Impetto	154,98	133,81	171,74	153,51	144,40
Grenado	165,72	144,42	174,93	161,69	155,07
Agrano	144,15	146,39	173,87	154,80	145,27
Tritikon	152,41	137,07	.		144,74
Trimester	142,18	.	.		
Pallazzo*	.	.	190,51		
Evolo	.	154,66	.		
Mittel	148,47	143,32	176,36	155,35	145,61
GD 5%	21,26	17,05	7,87	8,58	12,51

* Winterroggen, Hybridroggen

Die Trockensubstanzgehalte sind in Tabelle 11 dargestellt. Das Triticale-Sortiment zeigte in den einzelnen Versuchsjahren nur eine geringe Variation der Trockensubstanzgehalte, obwohl das Sortenspektrum bewusst breit ausgewählt wurde.

In 2009 erreichte die Hybridroggensorte Pallazzo signifikant höhere Trockensubstanzgehalte als das übrige Sortenspektrum. Gekennzeichnet wurde dies durch eine bessere Jugendentwicklung nach Winter.

Tabelle 11: Trockensubstanzgehalte von Triticale GPS im dreijährigen Vergleich

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	08 und 09
	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS
Benetto	30,04	30,77	33,33	31,38	30,41
Talentro	28,22	32,04	33,07	31,11	30,13
Massimo	29,23	31,79	33,42	31,48	30,51
Magnat	29,53	31,92	32,69	31,38	30,73
Logo	29,36	33,07	32,88	31,77	31,21
Impetto	29,94	29,64	30,03	29,87	29,79
Grenado	29,32	30,81	31,69	30,61	30,07
Agrano	29,35	32,40	33,33	31,70	30,88
Tritikon	29,35	31,61	.		30,48
Trimester	28,51	.	.		
Pallazzo*	.	.	36,98		
Evolo	.	32,89	.		
Mittel	29,29	31,69	33,05	31,16	30,47
GD 5%	0,64	1,45	1,39	0,71	0,80

* Winterroggen, Hybridroggen

3.2.3 Winterweizen (GPS)

Winterweizen steht in der fünffeldrigen Fruchtfolge (FF1) nach Mais sowie nach Grobleguminosen (-Gemenge). Das Sortiment beim Weizen konnte nur bedingt über die drei Versuchsjahre gehalten werden. Nicht verfügbare Sorten wurden durch ähnliche Einstufungen und Bewertungen anderer Sorten in der Beschreibenden Sortenliste ersetzt.

Im ersten Versuchsjahr 2007 war durch die Vorfrucht Triticale ein hoher Fremdbesatz in den Parzellen auszumachen, da bei der Versuchsanlage im Jahr 2006 der Triticaledurchwuchs nicht ausreichend bekämpft werden konnte. Ein Befall mit Fusarium konnte ebenfalls beobachtet werden und ist in den Bonituren aufgeführt (vgl. Tabelle A 25). Im Jahr 2008 hatte der Versuchsstandort der Weizenparzellen im Winter unter Staunässe zu leiden. Dies ist differenziert in den Bonituren aufgeführt. Nach den guten Aussaatbedingungen im Versuchsjahr 2009 konnten Sortendifferenzierungen in der Jugendentwicklung nach Winter ermittelt werden, die sich jedoch nicht auf den Trockenmasseertrag auswirkten (vgl. Tabelle A 25 bis Tabelle A 27).

Beim Vergleich der dreijährig angebauten Sorten, erzielte die Sorte Winnetou die höchste mittlere Ertragsleistung mit 160 dt/ha TM (vgl. Tabelle 12) und unterscheidet sich damit signifikant zu allen anderen dreijährig geprüften Sorten.

Tabelle 12: Trockenmasseerträge von Winterweizen GPS im dreijährigen Vergleich

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	07 und 08	08 und 09
	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM
Winnetou	168,49	143,62	169,67	160,59	156,06	156,65
Boomer	161,56	118,78	162,28	147,54	140,17	140,53
Tommi	150,22	120,39	160,03	143,55	135,31	140,21
Ephoros	149,99	130,38	168,20	149,53	140,19	141,55
Dekan	149,69	104,23	154,25	136,06	126,96	149,29
Mulan	.	117,25	165,86			129,24
Carenius	.	114,76	155,45			135,11
Campari	148,58	114,04	.		131,31	
Buteo	150,78	111,52	.		131,15	
Türkis	158,45	.	.			
Primus	.	.	160,35			
Opus	162,75	.	.			
Marathon	.	112,26	.			
Brilliant	137,76	.	.			
Ararat	.	.	159,68			
Mittel	153,83	118,72	161,75	146,64	137,30	141,80
GD 5%	18,27	18,72	7,60	7,99	12,85	10,01

Tabelle 13: Trockensubstanzgehalte von Winterweizen GPS im dreijährigen Vergleich

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	07 und 08	08 und 09
	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS
Winnetou	36,39	31,16	35,08	34,32	33,78	33,12
Boomer	36,35	30,92	34,92	34,06	33,63	32,92
Tommi	34,72	29,92	33,39	32,68	32,32	31,65
Ephoros	38,44	31,70	35,13	35,09	35,07	32,01
Dekan	36,53	31,38	35,17	34,36	33,95	33,42
Mulan	.	30,27	33,75			33,27
Carenius	.	30,68	34,11			32,40
Campari	36,73	29,20	.		32,96	
Buteo	36,94	32,06	.		34,50	
Türkis	36,48	.	.			
Primus	.	.	32,34			
Opus	36,27	.	.			
Marathon	.	31,17	.			
Brilliant	37,03	.	.			
Ararat	.	.	35,67			
Mittel	36,59	30,85	34,40	34,10	33,74	32,68
GD 5%	1,84	0,71	1,12	0,77	0,92	0,64

Die Trockensubstanzgehalte im Sortiment schwankten innerhalb der einzelnen Jahre sehr gering (vgl. Tabelle 13), zwischen den Jahren deutlicher. Die Witterung über Winter und der Vegetationsstart im Frühjahr sind in den einzelnen Jahren wesentliche Faktoren für den Entwicklungsstand.

3.2.4 Bewertung Wintergetreide (GPS)

Wintergetreide bietet insgesamt hohe Trockenmasseertragsleistungen auf dem Versuchsstandort. Wintergerste ist bereits Ende Mai bis Anfang Juni erntereif. Wintertriticale und Winterweizen befinden sich Ende Juni im Stadium EC 79-83. Die frühen Erntetermine bieten genügend Zeit für die Aussaat von Zweitfrüchten. Insgesamt verlaufen die Trockensubstanzerhöhung und die beginnende Abreife sehr zügig, so dass nur ein enges (kleines) Erntefenster bei den Wintergetreidearten zur Verfügung steht. Durch die geringe Streuung der einzelnen Wintergetreidearten im Trockensubstanzgehalt kann das Erntefenster nur bedingt erweitert werden und zeigt wie nah die Sorten der einzelnen Wintergetreidearten für die Verwertungsrichtung GPS für die Biomasseerzeugung beieinander liegen.

3.3 Zweitfrüchte und Sommerzwischenfrüchte

In der fünffeldrigen Fruchtfolge werden Zweitfrüchte nach Wintergerste (GPS) und Sommerzwischenfrüchte nach Triticale und Winterweizen angebaut. Entsprechend dem Versuchsplan wurden Sorghum, Sonnenblumen, Futterraps und Markstammkohl sowie Grobleguminosen (-gemenge) als Zweitfrucht angebaut. Sommerzwischenfrüchte werden traditionell nach Druschkulturen in Stoppelsaat oder Untersaat angebaut. Futterraps und Markstammkohl sowie Grobleguminosen (-gemenge) werden im klassischen Sommerzwischenfruchtanbau als Ackerfutterpflanzen oder als Gründüngungspflanzen angebaut. Die Verlagerung dieser Sommerzwischenfrüchte auf eine frühere Aussaat erhöht den verfügbaren Vegetationszeitraum, eine wichtige Voraussetzung für hohe Biomasseerträge.

3.3.1 Sorghum im Zweitfruchtanbau

Die Sorghumarten benötigen hohe Bodentemperaturen, die in der Regel bei einem Zweitfruchtanbau nach Wintergerste gewährleistet sind. Anbautechnisch ist die Saatbettbereitung unproblematisch und auch die flache Saatgutablage bereitet mit der Versuchstechnik keine Probleme.

Die Bonituren (vgl. Tabelle A 28) zeigten im Jahr 2007 deutliche Unterschiede im Feldaufgang der einzelnen Sorten. Unterschiedliche Keimfähigkeiten, die teilweise erheblich geringer waren als ausgewiesen, sind eine Ursache hierfür. Daher wurde in den folgenden Versuchsjahren eine Überprüfung der Keimfähigkeit durchgeführt, um optimale Pflanzenstände zu erzeugen. Die Anzahl der Bestockungstriebe war ebenfalls sehr differenziert. Dies zeigte, dass einzelne Sorten geringere Bestandesdichten durch einen höheren Bestockungskoeffizient ausgleichen könnten. Vor allem die Sorte Piper hatte eine Vielzahl von Nebentrieben gebildet. Die Versuchsjahre 2008 und 2009 profitierten aus den ersten Erfahrungen des Versuchsjahres 2007. Die extrem breite Variation des Sortiments kann in den Bonituren (vgl. Tabelle A 28 bis Tabelle A 30) anhand der Wuchshöhe und am Merkmal Stadium des Rispschiebens abgelesen werden. Gerade bei der Wuchshöhe gab es enorme Unterschiede. Im Versuchsjahr 2009 war bei einigen Sorten Lager festzustellen, vorwiegend bei den hochwüchsigen Sorten. Generell war Sorghum durch eine sehr langsame Jugendentwicklung bis zum Bestandesschluss gekennzeichnet. Dies erhöht den Konkurrenzdruck durch

Ungräser und Unkräuter, die den Einsatz von Herbiziden erfordern. Dabei konnte nur auf ein sehr beschränktes Wirkstoffsortiment zurückgegriffen werden.

Die Trockenmasseertragsleistungen schwankten sehr stark zwischen den Versuchsjahren sowie zwischen den Sorten innerhalb der Versuchsjahre (vgl. Tabelle 14). Im dreijährigen Vergleich konnte die Sorte Goliath signifikant höhere Ertragsleistungen erzielen als die übrigen getesteten Sorten. Dieses Bild wurde im zweijährigen Vergleich ebenfalls bestätigt, obwohl die getestete Sortenanzahl höher ist. Nur die Sorte Lussi konnte im Jahr 2007 die Leistung der Sorte Goliath erreichen.

Tabelle 14: Trockenmasseertragsleistung von Sorghumarten in den Versuchsjahren 2007 bis 2009

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig	
	2007	2008	2009	07 bis 09	07 und 08	07 und 09
	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM
Susu (Sgh)	72,84	91,33	87,54	83,90	82,08	80,19
Supersile 20 (Sgh)	44,88	62,25	75,57	60,90	53,56	60,22
Sucrosorgo 506 (MoH)	82,05	70,43	111,06	87,85	76,24	96,56
Rona 1 (ZH)	54,32	69,57	97,52	73,80	61,94	75,92
Piper (Sgh)	48,50	65,22	68,88	60,87	56,86	58,69
Goliath (ZH)	101,99	103,76	125,26	110,34	102,88	113,63
Akklimat (Sgh)	60,37	74,82	80,33	71,84	67,60	70,35
Nutri Honey (ZH)	66,89	71,09	.		68,99	
King 61 (Sgh)	82,68	82,17	.		82,42	
Friggo (ZH)	55,68	58,35	.		57,02	
Lussi (Sgh)	105,46	.	100,47			102,96
GK Emese (ZH)	.	.	80,43			
True (Sgh)	.	.	75,63			
Maja (Sgh)	.	.	107,33			
Frugal (Sgh)	42,92	.	.			
Mittel	68,22	74,90	91,82	78,50	70,96	82,31
GD 5%	13,71	15,09	13,57	8,35	9,77	9,88

(Züchterangaben: Sgh = Sorghum-Hybride; ZH = Zuckerhirse; MoH = Morenhirse)

Ebenso wie die Erträge schwankten auch die Trockensubstanzgehalte (vgl. Tabelle 15). Die Sorte Piper hat im dreijährigen Vergleich die signifikant höchsten Trockensubstanzgehalte mit 24,52 % TS erzielt. Dieses Bild blieb auch in den zweijährigen Vergleichen erhalten. Insgesamt wurde der Trockenmassegehalt zu gering ausgebildet, nur im Versuchsjahr 2009 konnten im Mittel des Sortiments etwa 23 % TS erreicht werden.

Tabelle 15: Trockensubstanzgehalte von Sorghumarten in den Versuchsjahren 2007 bis 2009

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig	
	2007	2008	2009	07 bis 09	07 und 08	07 und 09
	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS
Susu (Sgh)	18,52	17,60	21,70	19,27	18,06	20,11
Supersile 20 (Sgh)	16,11	14,92	19,15	16,73	15,52	17,63
Sucrosorgo 506 (MoH)	15,43	14,33	19,21	16,32	14,88	17,32
Rona 1 (ZH)	16,71	14,76	21,87	17,78	15,73	19,29
Piper (Sgh)	20,11	21,74	31,70	24,52	20,93	25,91
Goliath (ZH)	16,99	16,85	23,05	18,96	16,92	20,02
Akklimat (Sgh)	18,98	18,48	24,02	20,49	18,73	21,50
Nutri Honey (ZH)	18,03	16,32	.		17,17	
King 61 (Sgh)	19,21	17,07	.		18,14	
Friggo (ZH)	20,48	18,91	.		19,70	
Lussi (Sgh)	23,92	.	20,58			22,25
GK Emese (ZH)	.	.	24,16			
True (Sgh)	.	.	27,51			
Maja (Sgh)	.	.	25,85			
Frugal (Sgh)	17,70	.	.			
Mittel	18,52	17,10	23,53	19,15	17,58	20,50
GD 5%	1,85	0,77	1,28	0,72	0,95	1,06

(Züchterangaben: Sgh = Sorghum-Hybride; ZH = Zuckerhirse; MoH = Morenhirse)

3.3.2 Sonnenblumen im Zweitfruchtanbau

Die Sonnenblumen stehen in der fünffeldrigen Fruchtfolge (FF 1) als Zweitfrucht nach Wintergersten-GPS. Die Anbaustellung ist vergleichbar mit Sorghum, wodurch diese Kulturen verglichen werden können.

Beeinträchtigt wurden die Sonnenblumen im Versuchsjahr 2007 durch Wildverbiss, der zu einem Ausdünnen der Pflanzenbestände geführt hat, wie in den Bonturen der einzelnen Versuchsjahre dargestellt ist (vgl. Tabelle A 31 bis Tabelle A 33).

Im Gegensatz zum Sorghum war die Jugendentwicklung bis zum Bestandesschluss bei den Sonnenblumen wesentlich schneller, so dass in den Versuchsjahren 2007 und 2008 auf eine Herbizidapplikation verzichtet werden konnte. Im Versuchsjahr 2009 wurde jedoch aus Gründen der Ackerhygiene eine Behandlung mit Stomp SC durchgeführt.

Aufgrund der relativ geringen Ertragsdifferenzen (Niveau 5 %) in den einzelnen Versuchsjahren gab es keine signifikanten Sortenunterschiede. Erst im dreijährigen Vergleich konnte ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des höheren Ertrages der Sorte Albatre gegenüber ES-Elektra nachgewiesen werden.

Tabelle 16: Trockenmasseerträge von Sonnenblumen in den Versuchsjahren 2007 bis 2009

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	07 und 08	08 und 09
	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM	dt/ha TM
Rumbasol	78,84	78,24	93,83	83,63	78,54	86,03
Pegasol	83,01	80,32	97,79	87,04	81,67	89,06
ES Elektra	77,94	72,11	94,18	81,41	75,03	83,14
Allisson	82,68	78,08	97,14	85,97	80,38	87,61
Albatre	99,97	74,09	101,85	91,97	87,03	87,97
Methasol	89,92	80,20	.	.	85,06	.
Heliaroc	78,58	77,38	.	.	77,98	.
ES Karamba	83,80	77,68	.	.	80,74	.
Rigasol	.	71,87	93,55	.	.	82,71
Joana	.	77,63	93,83	.	.	85,73
Tournesol	86,10	.	.	.	.	.
Metharoc	.	.	101,66	.	.	.
ES Petunia	98,43	.	.	.	.	.
EC Magnific	.	.	94,76	.	.	.
Mittel	85,93	76,76	96,51	86,01	80,80	86,04
GD 5%	n. s.	10,85	9,34	9,34	12,31	7,77

Die Trockensubstanzgehalte waren in allen drei Versuchsjahren niedrig. Erst im Versuchsjahr 2009 konnten höhere Trockensubstanzgehalte im Mittel des Sortenspektrums durch eine sehr spät terminierte Ernte (vgl. Tabelle 17) erreicht werden. Im dreijährigen Vergleich zeigt die Sorte Albatre einen signifikant niedrigeren Trockensubstanzgehalt, der sich auch im zweijährigen Vergleich mit einem anderen Sortenspektrum wiederfindet. Die höchsten Trockensubstanzgehalte konnten mit der Sorte Pegasol im dreijährigen Vergleich erzielt werden. Dieser signifikante Unterschied findet sich auch in den zweijährigen Vergleichen wieder. Die ab 2008 neu aufgenommene Sorte Rigasol hatte im Versuchsjahr 2009 signifikant die höchsten Trockensubstanzgehalte. Dieses Ergebnis zeichnet sich auch im zweijährigen Vergleich ab, obwohl im ersten Versuchsjahr 2008 keine Unterschiede zum Sortiment festzustellen waren.

Tabelle 17: Trockensubstanzgehalte von Sonnenblumen in den Versuchsjahren 2007 bis 2009

Sorte	Jahr			3-Jährig	2-Jährig	2-Jährig
	2007	2008	2009	07 bis 09	07 und 08	08 und 09
	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS
Rumbasol	16,18	15,45	21,52	17,72	15,82	18,49
Pegasol	16,76	15,22	24,80	18,93	15,99	20,01
ES Elektra	16,12	15,58	22,06	17,92	15,85	18,82
Allisson	16,70	15,55	22,83	18,36	16,13	19,19
Albatre	15,64	14,30	20,15	16,70	14,97	17,23
Methasol	16,26	14,34			15,30	
Heliaroc	17,77	16,18	.		16,98	
ES Karamba	16,20	14,90			15,55	
Rigasol	.	15,97	29,66			22,82
Joana	.	14,63	20,78			17,71
Tournesol	17,30	.	.			
Metharoc	.	.	18,36			
ES Petunia	16,80	.	.			
EC Magnific	.	.	23,06			
Mittel	16,57	15,21	22,58	17,93	15,82	19,18
GD 5%	1,30	0,75	1,35	0,67	0,60	0,81

3.3.3 Futterraps, Markstammkohl und Grobleguminosen (-gemenge)

Nach Winterweizen-GPS wurden Futterraps und Markstammkohl und nach Wintertriticale-GPS wurden Grobleguminosen (-gemenge) als Sommerzwischenfrüchte angebaut.

Im Versuchsjahr 2007 keimten aufgrund der ausreichenden Bodenfeuchte diese Zwischenfrüchte sehr schnell, nach kurzer Zeit stockte aber durch Trockenheit das weitere Wachstum und es kam aufgrund der unzureichenden Jugendentwicklung zu einer starken Verunkrautung. Markstammkohl, Sommerwicke und Hafer wurden von Feldhasen selektiv verbissen. Beim Markstammkohl konnten sich statt der angestrebten 25-30 Pflanzen/m² nur 6-10 Pflanzen/m² etablieren, die aufgrund des anhaltenden Verbisses auch völlig verunkrauteten (vgl. Tabelle A 34). Deshalb konnten die Markstammkohlvarianten im Versuchsjahr 2007 nicht geerntet werden. Gleiches gilt für Sommerwicken und die Stützfrucht Hafer, die durch Verbiss ständig kurz gehalten wurden.

Auch im Versuchsjahr 2008 konnten Ackerbohnen, Futtererbsen und diverse Mischungen im Ertrag nicht überzeugen (vgl. Tabelle 19). Die langen Anbauzeiträume dieser Zwischenfrüchte (Ende Juni bis Ende September) ließen

höhere Erträge erwarten. Die Leguminosen wurden von Mehltau und Braunrost stark befallen (vgl. Tabelle A 37). Der Rapsbestand war trotz reduzierter Saatmenge zu dicht, so dass Krankheiten und die gegenseitige Konkurrenz die Ertragsbildung beeinflussten (vgl. Tabelle A 37). Die Saatstärken beim Raps müssen bei frühem Saattermin überprüft werden. Das Krankheitsgeschehen in den Leguminosen bedarf einer zusätzlichen Fungizidspritzung, um den Krankheitsdruck zu reduzieren und damit die Ertragsbildung zu begünstigen.

Im Versuchsjahr 2009 wurden die Aussaatstärken beim Futterraps nochmals auf etwa 6 kg/ha reduziert. Nach einer zügigen Jugendentwicklung kam der Bestand in eine Wachstumsdepression, wodurch sich die Unkräuter (vorwiegend Knöterich) sehr zahlreich durchsetzen konnten. Die Bestände mit Raps und Markstammkohl waren bis zu 70 % völlig verunkrautet. Daher wurde auf eine Parzellenernte verzichtet. Grobleguminosen zeigten auch im Versuchsjahr 2009 wieder Unterschiede im Krankheitsbefall trotz durchgeführter Fungizidbehandlung, wobei der Befall vom Niveau her wesentlich geringer war als im Jahr 2008 (vgl. Tabelle A 38).

Bedingt durch die starke Verunkrautung konnten Markstammkohlbestände nur im Jahr 2008 geerntet werden. Im Versuchsjahr 2009 konnte kein ausreichender Futterrapsbestand geerntet werden. Daher sind in Tabelle 18 die Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Futterraps nur für die Versuchsjahre 2007 und 2008 dargestellt. Im Vergleich zeigt die Futterrapsorte Molino die signifikant höchsten Trockenmasseerträge. Insgesamt war der Trockensubstanzgehalt in allen Versuchsjahren sehr niedrig. Die Sorte Campari verzeichnet im mehrjährigen Vergleich die signifikant geringsten Trockensubstanzgehalte, wobei sich das restliche Sortiment statistisch nicht unterscheiden lässt.

Tabelle 18: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Futterrapen in den Versuchsjahren 2007 und 2008

Sorte	Jahr				2-Jährig	2-Jährig
	2007		2008		07 und 08	07 und 08
	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS
Sparta	33,51	19,91	41,16	15,80	37,34	17,86
Molino	48,36	19,54	48,19	16,36	48,27	17,95
Mikonos	32,59	18,77	41,06	15,95	36,83	17,36
Licapo	32,58	19,90	38,77	15,32	35,68	17,61
Campari	41,39	17,24	40,20	13,79	40,79	15,51
Akela	37,68	19,22	34,15	15,71	35,91	17,46
Mittel	37,68	19,10	40,59	15,49	39,14	17,29
GD 5%	8,95	1,32	4,81	0,54	4,91	0,69

Bei den Leguminosengemischen haben die Gemenge aus Ackerbohnen und Futtererbsen signifikant höhere Trockenmasseerträge erzielt als das übrige Sortiment. In der Mischung beider Arten (Sorte Condor und Livioletta) wurden die Erträge im sortenreinen Anbau signifikant übertroffen. Gerade Sommerwicken und Hafer sowie Erbsen ließen sich aufgrund der mangelnden Standfestigkeit nur bedingt mit der der praxisüblichen Erntetechnik ernten. Die Trockensubstanzgehalte variieren mit den einzelnen Kulturarten. Die niedrigsten Trockensubstanzgehalte wurden bei Sommerwicken und Hafer sowie bei der Ackerbohnen Sorte Condor gemessen. Futtererbsen zeigten dagegen die höchsten Trockensubstanzgehalte.

Tabelle 19: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Grobleguminosen (-gemenge) in den Versuchsjahren 2007 bis 2009

Sorte	Jahr						3-Jährig	3-Jährig
	2007		2008		2009		07 bis 09	07 bis 09
	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS
Scirocco (AB)	16,72	26,26	32,58	19,09	25,37	21,61	24,89	22,32
Misch. AB + FE + SW	26,66	24,48	33,69	18,70	27,71	23,37	29,35	22,18
Livioletta(FE) + Hafer	29,41	24,79	35,57	20,06	32,75	25,90	32,57	23,58
Livioletta (FE)	27,60	27,36	42,50	22,53	34,87	22,82	34,99	24,24
Gloria (AB)	23,36	20,27	38,51	16,42	33,48	19,44	31,79	18,71
Florida (FE)	23,30	26,52	28,08	20,35	24,61	24,67	25,33	23,85
Condor (AB) + Livioletta (FE)	29,61	23,43	42,07	19,68	46,08	22,07	39,25	21,73
Condor (AB) + Florida (FE)	24,66	20,90	44,45	19,14	42,34	23,93	37,15	21,33
Condor (AB)	25,18	22,53	40,30	17,90	35,15	19,02	33,54	19,82
Berninova (SW) + Hafer	11,75	19,76	27,75	15,95	25,77	18,52	21,75	18,08
Mittel	23,82	23,63	36,55	18,98	32,81	22,14	31,06	21,58
GD 5%	9,27	3,38	7,05	2,19	6,80	1,69	4,33	1,42

3.3.4 Bewertung der Zweit- und Sommerzwischenfrüchte

Zweitfrüchte nach Getreide-GPS führen zu einer Verbesserung der flächenbezogenen Ertragsleistung im Jahr. Sonnenblumen und einige leistungsstarke Sorten von Sorghum können noch ausreichende Erträge nach Wintergersten-GPS-Ernte erzielen. Zwischenfrüchte nach Triticale oder Winterweizen wie z.B. Markstammkohl waren in allen drei Versuchsjahren schwierig in der Bestandesetablierung. Futterraps konnte ähnlich wie die Grobleguminosen nicht das erhoffte Ertragsniveau erreichen. Trotz verlängerter Vegetationszeit im Sommerzwischenfruchtanbau konnten die Ertragsleistungen nicht das Niveau des klassischen Sommerzwischenfruchtanbaues übertreffen. Es konnten drei Faktoren ausgemacht werden, die zu den beschriebenen Problemen geführt haben könnten:

1. Auswirkungen der Zersetzungsprozesse von noch aktiven Wurzelresten einer GPS-Getreidevorfrucht, auf das Wuchsverhalten von Folgefrüchten
2. Der Krankheitsdruck in den Sommermonaten und persistente Herbizidwirkstoffe (hohe Halbwertszeiten der Wirkstoffe) könnten die Pflanzenbestände beeinträchtigt haben.
3. Überprüfung der optimierten Aussaatstärken hinsichtlich der Trockenmasseertragsleistung von Sommerzwischenfrüchten.

Auch LAURENZ (2010) <http://www.duesse.de/znr/pdfs/2010/2010-05-26-energiepflanzen-03.pdf> beschreibt unbefriedigende Leistungen der klassischen Sommerzwischenfrüchte (Futterraps) und Sommerungen (Hafer) im Zwischenfruchtanbau. Er führt dies auf die fehlende Anpassung an die extremen Langtagbedingungen zum Saatzeitpunkt Ende Juni zurück. Bei deutlich späteren (Ende Juli, Anfang August) Aussaaten sind die möglichen Erträge höher. Hier sind weitere Untersuchungen anzustellen.

3.4 Mais

Mais stellte in allen drei Fruchtfolgen einen wichtigen Baustein für die Biomassegewinnung zur Biogaserzeugung dar. In der fünffeldrigen Fruchtfolge wurde der Mais als Zweitfrucht nach Welschem Weidelgras als Winterzwischenfrucht angebaut. Das Ziel war eine Aussaat bis zum 10. Mai, um eine ausreichende Abreife des breiten Sortiments zu gewährleisten. Ebenso wurde beim Fruchtwechsel von Grünroggen und Mais verfahren. Hier steht der Mais in derselben zeitlichen Wachstumsphase. Maissortenversuche wurden daher auf die Aussaat nach

Welschem Weidelgras beschränkt. Zur Erfassung von Auswirkungen der Maismonokultur wurde in allen Versuchsjahren ein Sortenversuch angelegt.

3.4.1 Mais im Zweitfruchtanbau

Mais im Zweitfruchtanbau wurde nach Grünroggen und Welschem Weidelgras angebaut. Der Aussattermin wurde bis zum 10. Mai festgesetzt, damit der Mais noch ausreichend abreifen konnte. Das Sortenspektrum wurde für diese Fruchtfolgestellung speziell ausgesucht. Es umfasst eine Variation der Siloreifezahl von 200 bis ca. 270. Aufgrund des schnellen Sortenwechsels konnte das Sortiment in den drei Versuchsjahren nur bedingt aufrecht erhalten werden. Daher ist eine vergleichende Auswertung über drei Versuchsjahre nicht direkt möglich. Die Tabelle 20 zeigt die Trockenmasseertragsleistung sowie die Trockensubstanzgehalte zu den einzelnen Versuchsjahren.

Tabelle 20: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Mais im Zweitfruchtanbau von 2007 bis 2009

Sorte	SRZ	Jahr					
		2007		2008		2009	
		dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS
Kalvin	200	173,03	36,45	222,69	33,18	203,13	39,41
MGM 125262	ca. 220	.	.	212,16	32,50	.	.
NK Cooler	ca. 230	.	.	.	.	195,73	38,34
MGM 132241	ca. 230	206,33	35,89	.	.	.	.
Bredero	ca. 240	199,64	36,00	218,07	32,57	184,47	37,58
Asteri CS	240	204,77	35,12	228,27	32,62	190,60	38,63
NK Magitop	240	.	.	223,38	32,91	205,51	37,65
SUM 1306	ca. 240	199,52	36,14	.	.	.	.
SM Masetto	240	181,39	41,43	.	.	.	.
EGZ 6206	ca. 240	195,49	35,36	.	.	.	.
LG 3277	250	.	.	218,86	31,69	191,15	37,36
DKC 3472	250	190,51	36,53	225,77	32,37	.	.
Taxxoa	250	191,36	35,31	.	.	.	.
RH0777	ca. 250	.	.	219,67	33,01	.	.
MGM 158658	ca. 250	.	.	.	.	196,30	34,29
KXA 7211	ca. 250	.	.	227,17	32,73	.	.
KXA 7132	ca. 250	218,38	35,00	.	.	.	.
Fernandez	ca. 250	.	.	.	.	225,52	36,85
Aabsolut	260	.	.	221,45	31,11	205,61	36,62
DKC 3399	ca. 270	.	.	.	.	197,08	36,87
Mittel		196,04	36,32	221,75	32,47	199,51	37,36
GD 5%		17,45	1,96	16,87	1,47	10,74	1,87

Im Versuchsjahr 2008 wurde das höchste Niveau mit 221,75 dt/ha TM erreicht. Durch die späte Ernte des Zweitfruchtmaises konnte eine ausreichende Abreife erreicht werden. Im Versuchsjahr 2009 wurde bereits im Sommer Lager festgestellt, dieses wird in den Bonituren ersichtlich (vgl. Tabelle A 39 bis Tabelle A 41). Lediglich die Sorten Calvin und MGM 158658 zeigten kein Lager bzw. geneigte Pflanzen. Auswirkungen auf den Trockenmasseertrag konnten im Versuchsjahr 2009 nicht ausgemacht werden.

3.4.2 Mais im Monoanbau

Die Anbaufolge drei (FF3) umfasst den ausschließlichen Monoanbau von Mais und wurde zum Vergleich mitgeführt. Aussaat- und Erntetermine konnten optimal realisiert werden. Das Sortiment wurde hinsichtlich der Siloreifezahl von 230 bis 370 sehr breit ausgewählt.

Die Bonituren sind in Tabelle A 42 bis Tabelle A 44 dargestellt. Auffällig war die Unterscheidung in der Abreife einzelner Sorten. Auch die Wuchshöhe ließ Sortendifferenzierungen erkennen. Im Versuchsjahr 2009 wurde während der Jugendentwicklung ein phänotypisches Symptom einzelner Sorten bonitiert, das auf Phosphormangel schließen ließ. Hieraus resultierende Differenzierungen konnten im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode nicht mehr auffindig gemacht werden. Zudem wurde im Versuchsjahr 2009 vereinzelt Lager festgestellt, das bereits im Juli aufgetreten war und auch zur Ernte noch Bestand hatte. Die stärksten Auswirkungen waren bei der Sorte Asteri CS festzustellen, die auch in der Trockenmasseertragsleistung abfiel.

Generell zeigte sich, dass eine höhere Siloreifezahl zu einem höheren Trockenmasseertrag führt. Positive und negative Abweicher von dieser Regel stellen hingegen die Sorten NK Cooler und DKC 5542 im Versuchsjahr 2009 dar. Die Erhöhung der Siloreifezahl führte jedoch zu einer Reduzierung des Trockensubstanzgehaltes, was zur Folge hat, dass eine ausreichende Ausreife abgewartet werden muss.

Tabelle 21: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte von Mais im Monoanbau von 2007 bis 2009

Sorte	SRZ	Jahr					
		2007		2008		2009	
		dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS	dt/ha TM	% TS
NK Cooler	230	.	.	.	.	221,65	39,04
NK Magitop	240	212,15	33,41	241,33	33,34	.	.
Asteri CS	240	.	.	246,51	32,88	182,13	35,23
SUM 1306	240	210,76	32,48	.	.	.	.
DKC 3399	ca. 250	.	.	.	.	176,10	34,36
Ingrid	260	228,52	31,53	.	.	.	.
ES Paroli	260	.	.	241,32	33,12	.	.
Aabsolut	260	.	.	257,78	32,18	.	.
EGZ 8209	ca. 270	.	.	.	.	201,73	34,26
DKC 3871	ca. 280	232,01	30,21	257,29	30,01	.	.
SM 60160	ca. 280	.	.	241,55	31,53	.	.
NK Oktet	ca. 280	.	.	.	.	202,62	29,85
Hookera	ca. 280	.	.	.	.	186,77	33,49
Atletico	280	244,05	29,70	.	.	.	.
KXA 7262	ca. 290	243,00	30,66	.	.	.	.
Cannavaro	310	.	.	262,94	27,44	212,69	30,34
PR34B39	ca. 320	247,60	25,61	276,18	27,83	234,86	28,01
Scandi	320	.	.	.	.	238,66	29,54
LZM 456/21	ca. 330	217,15	27,80	.	.	.	.
DKC 5542	ca. 340	.	.	.	.	199,41	28,35
CSM 5705	ca. 350	256,11	26,86	283,08	28,64	.	.
DKC 6022	ca. 370	248,67	24,18	.	.	.	.
Midixx	.	.	.	274,05	28,52	.	.
Mittel		234,00	29,24	258,20	30,55	205,66	32,24
GD 5%		16,35	2,36	15,14	1,92	19,69	1,82

3.5 Vergleich der verschiedenen Fruchtfolgen

Beim Vergleich der Anbaufolgen konnte die Anbaukombination von Grünroggen und Zweitfruchtmais über drei Versuchsjahre mit durchschnittlich 283 dt/ha TM die höchsten Trockenmasseerträge produzieren.

Mais im Monoanbau erreichte auf dem Soester Bördestandort im Durchschnitt 232 dt/ha TM. Die Spannweite im Trockenmasseertrag der jährlich geprüften 10 Sorten reichte von 206 bis 258 dt/ha TM.

Die fünffeldrige Fruchtfolge erreichte im Durchschnitt der drei Versuchsjahre im Mittel der Pflanzenarten und Sorten 204 dt/ha TM. Die durchschnittlichen Jahresschwankungen der Erträge von 2007 bis 2009 im Mittel der geprüften Sorten betragen in der Grünroggen-Mais-Folge ca. 30 dt/ha TM und im Monomaisanbau sogar 50 dt/ha TM. Diese sind weitaus größer als beim durchschnittlichen flächenbezogenen Vergleich des fünffeldrigen Anbausystems mit 14 dt/ha TM. Somit konnte die Vielzahl der angebauten Kulturen die Jahreseffekte wesentlich besser puffern. Allerdings ist der durchschnittliche Jahresertrag deutlich niedriger als in den maisbetonten einfachen Anbaufolgen.

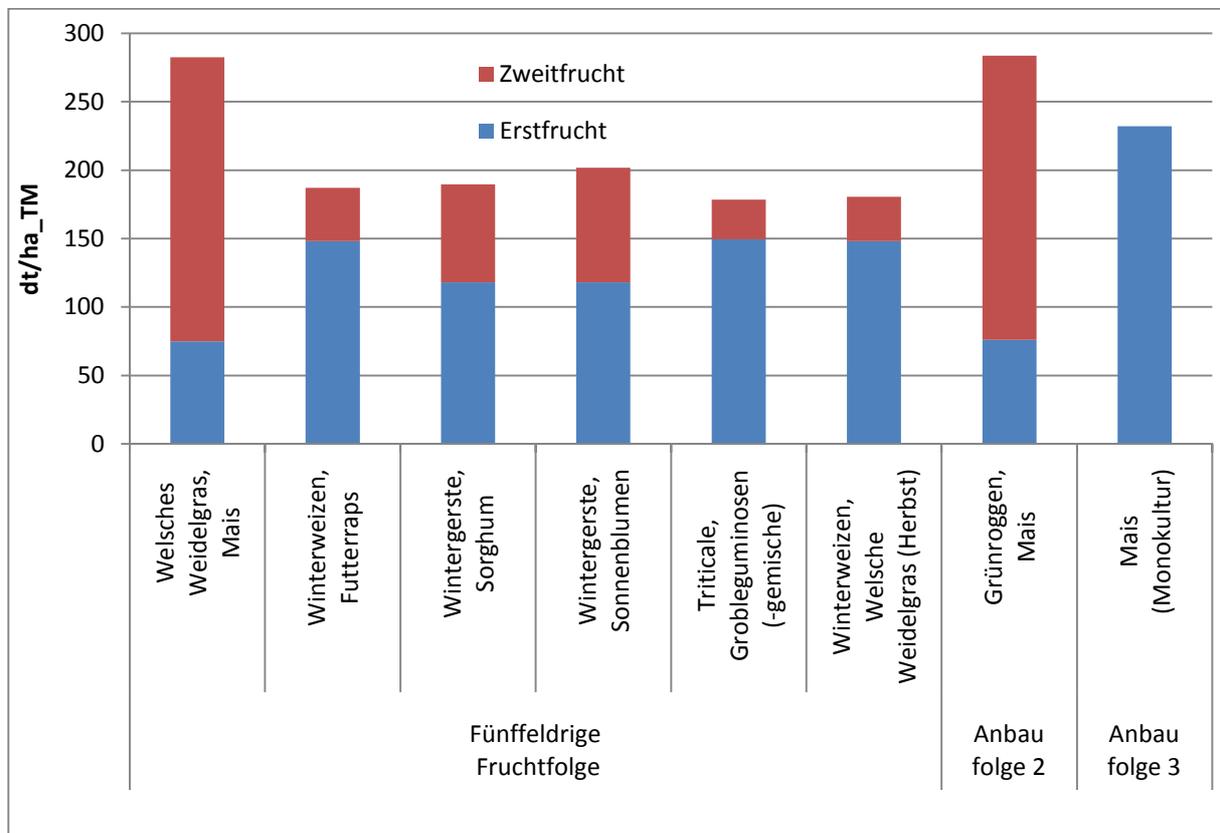


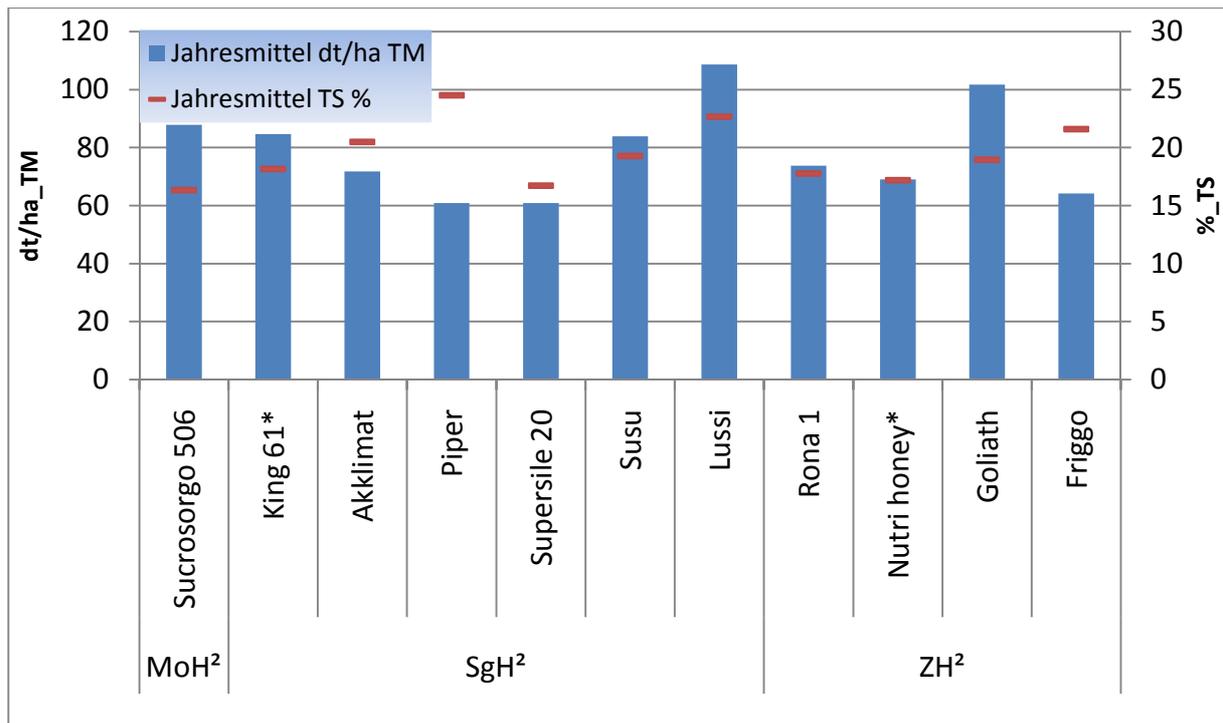
Abbildung 5: Kumulierte Erst- und Zweit- und Zwischenfruchterträge der einzelnen Fruchtfolgefelder im Mittel von drei Jahren, Standort: Versuchsgut Merklingsen, Soest

Die Ursache für die geringere TM-Ertragsbildung des fünffeldrigen Systems ist nicht in den Erträgen der Winterzwischenfrucht Welsches Weidelgras zu begründen. Dieses zeigte im Frühjahrsschnitt mit dem anschließenden Zweitfruchtmais ähnlich gute Ertragsleistungen wie die Kombination von Grünroggen und Mais. Auf dem wasserhaltenden Standort in der Soester Börde war das Welsche Weidelgras in zwei von drei Ernten ertragreicher als der Grünroggen, der zum gleichen Zeitpunkt geerntet wurde. Lediglich im Jahr 2007 mit ausgeprägter Frühjahrstrockenheit war der Grünroggen ertraglich vorteilhafter. Dieser Effekt kann jedoch nicht ausschließlich dem Witterungsverlauf angelastet werden, sondern kann auch durch bessere Saatbedingungen in 2006 entstanden sein.

Auf Lößlehmstandorten kann mit dem Welschen Weidelgras im Winterzwischenfruchtanbau i.d.R. mehr Trockenmasse produziert werden als mit Grünroggen. Vorteilhaft für das Welsche Weidelgras sind niedrige Anbaukosten, da durch die Herbstvornutzung schon ein Ertrag von über 32 dt/ha TM erreicht werden konnte und die Frühjahrsnutzung ohne weitere Bearbeitungsmaßnahmen sehr kostengünstig zu erledigen ist. Allerdings ist die Maisaussaat nach Grünroggen erheblich leichter und kostengünstiger durchzuführen. Dies ist auf das dichte verfilzte Wurzelwerk des Welschen Weidelgrases zurückzuführen.

Die Aussaat des Zweitfruchtmaises wurde um den fünften bis zehnten Mai organisiert, also etwa ca. zwei bis drei Wochen später als die Maisaussaat im Monoanbau. Im Sortiment des Zweitfruchtmaises befanden sich Sorten mit einer Variation der Siloreifezahlen von 200 bis 270. Mit einem Ertrag von 205 dt/ha TM und 35 % Trockensubstanz brachten die Sorten des Zweitfruchtmais relativ konstante Erträge. Anders sieht dies beim Mais im Monoanbau aus, da hier das Sortiment mit Siloreifezahlen von 240 bis 340 breiter gespreizt war. Der durchschnittliche Ertrag lag bei 232 dt/ha TM, schwankte aber in den Jahren von 205 dt/ha TM in 2009 bis 258 dt/ha TM in 2008. Auch die Streuung zwischen den Sorten des Maissortimentes ist bedingt durch den weiten Bereich der Siloreifezahl wesentlich größer. Hierbei kann festgestellt werden, dass im Vergleich über die Jahre eine höhere Siloreifezahl einen höheren Trockenmasserertrag bringt, allerdings bei gleichem Erntetermin einen geringeren Trockensubstanzgehalt von 5 bis 10 % zur Folge hat. Daher muss im Herbst länger auf eine ausreichende Ausreife später Maissorten gewartet werden, um den Ertragsvorteil sinnvoll nutzen zu können.

Wintergerste als Hauptfrucht vor den Zweitfrüchten Sonnenblumen bzw. Sorghum brachte mit 118 dt/ha TM sehr konstante Erträge über die Versuchsjahre. Die Streuungen der Sortenerträge sind eher gering, es lässt sich ein leichter Ertragsvorteil von mehrzeiligen Sorten feststellen. Ein Trockensubstanzgehalt von ca. 31 % konnte bereits in der ersten Juniwoche erreicht werden. Die Aussaat von Sorghum und Sonnenblumen erfolgte umgehend nach der Stoppelbearbeitung. Sonnenblumen erreichten bis Ende September einen mittleren Trockenmasseertrag von 87 dt/ha, so dass in der Anbaukombination mit Wintergerste noch über 200 dt/ha TM erreicht werden konnten. Sorghum wurde ebenfalls nach der GPS-Nutzung von Wintergerste ausgedrillt. Diese Kultur benötigt höhere Temperaturen nach der Saat, um die Jugendentwicklung zu beschleunigen. Meist lief die Bestandesetablierung sehr zögerlich und es dauerte lange bis zum Bestandsschluss. Sehr unterschiedliche Arten und Sortentypen standen zur Verfügung. Mohrenhirsen, Sorghumhybriden und Zuckerhirsen kamen zum Einsatz. Dementsprechend streuten die Erträge von 60 dt/ha TM bis zu 108 dt/ha TM. Die höchsten Erträge brachten in den Soester Versuchen die Zuckerhirse Goliath mit 101 dt/ha TM und die Sorghumhybride Lussi mit 108 dt/ha TM. Allerdings lagen die Trockensubstanzgehalte unter 25 %. Daher ist gerade bei Sorghum eine ausreichende Abreife der Bestände abzuwarten, um eine gute Silagequalität zu gewährleisten und unnötigen Wassertransport zu vermeiden.



MoH = Mohrenhirse; SgH = Sorghumhybride, ZH = Zuckerhirse

* 2009 nicht im Sortiment angebaut n=2

² Züchterangaben

³ Keine Angaben

Abbildung 6: Ertragsleistung und Trockenmasseerträge von Sorghum als Zweitfrucht nach Wintergerste, angebaut von 2007 bis 2009

Winterweizen lieferte im Mittel der Sorten und Jahre 148 dt/ha TM und Triticale 150 dt/ha TM mit Spitzenerträgen von bis zu 185 dt/ha TM. Beide Kulturen können bereits Ende Juni siliert werden. Dabei sind die Schwankungen im Trockensubstanzgehalt zwischen den Sorten innerhalb des Weizen- sowie des Triticale-Sortimentes mit 3 bis 4 % sehr gering. Die im Körnerreifegrad breit angelegte Sortenvariation machte sich bei Triticale und Weizen im TS-Gehalt bei GPS-Nutzung nicht besonders stark bemerkbar.

Problematisch im Anbau nach Winterweizen- und Triticale-GPS waren die Zwischenfrüchte Markstammkohl, Futterraps und Grobleguminosen. Trotz der längeren Vegetationszeit gegenüber dem traditionellen Zwischenfruchtanbau konnten nur unbefriedigende Ertragsleistungen erzielt werden. Mehrere Ursachen könnten dafür in Betracht kommen. Diese Kulturarten sind in den Sommermonaten einem hohen Krankheitsdruck vor allem mit Mehltau und Braunrost ausgesetzt. Daher dürfte eine Fungizidmaßnahme erforderlich sein, um die Ertragsbildung abzusichern. Weiterhin beeinträchtigen vermutlich die nach der Ganzpflanzenernte insbesondere bei pflugloser Verfahrensweise noch aktiven Wurzeln von Winterweizen und Triticale die nachgebauten Kulturen in der Wurzel- und

Jugendentwicklung. Als dritter Grund könnte der häufige Wassermangel im Sommer zu nennen sein. Für die Keimung der Zwischenfrüchte insbesondere bei Grobleguminosen werden ausreichende Wassermengen benötigt. Der Oberboden ist meist stark ausgetrocknet durch den Wasserentzug der Vorkultur. Die Zersetzungsprozesse der umsetzungsträgen Getreidewurzeln und –stoppeln binden zusätzlich Stickstoff. Mit Futterraps, Markstammkohl und Grobleguminosen konnten trotz früher Aussaat keine Ertragszuwächse realisiert werden, die die Ertragshöhe des traditionellen Zwischenfruchtanbaus übertroffen hätten. Grundsätzlich ist auch zu berücksichtigen, dass Zwischenfrüchte durch persistente Herbizidwirkstoffe betroffen sein können.

4 Ökonomische und ökologische Bewertung

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Fruchtfolgen hinsichtlich der Nährstoffbilanzen und der Humuswirkung verglichen. Es werden die realen Abfuhrer von der Fläche und die rechnerisch ermittelten Rückfuhrer über das Gärsubstrat bewertet.

In Form von virtuellen Modellbetrieben mit und ohne Biogasproduktion wird anschließend eine ökonomische Bewertung verschiedener Fruchtfolgesysteme vorgenommen. Die Ertragsleistungen aus den Anbauversuchen und die Analysen der Batchtest-Versuche des Teilprojektes 4 sind Basis der Kalkulationen.

4.1 Nährstoffbilanz

Die Stickstoffbilanz wird ermittelt aus der Differenz des gedüngten und abgefahrenen Stickstoffs des geernteten Aufwuchses. Die Stickstoffbilanzen wurden nach dem Nährstoffvergleichsrechner Version 3.5 der Landwirtschaftskammer NRW anhand von korrigierten Sollwerten berechnet (vgl. Tabelle 22)

Tabelle 22: Berechnung von Sollwerten für die Stickstoffdüngung

Fruchtart	Sollwert*	Zuschlag für Standort-eigenschaften	Abzug für Bewirtungs-verhältnisse	Zu-/Abschlag für Vorfrucht	korrigierter Sollwert
Welsches Weidelgras (Herbst + Frühjahr)	160	10	0		170
Mais	190	10	0		200
Weizen	180	10	0	20	210
Futtermispel/ Markstammkohl	100	10	0		110
Wintergerste	160	10	0	-20	150
Sudangras/ Sonnenblumen	160	10	0		170
Triticale	180	10	0	-20	170
Grobleguminosen	0	0	0		0
Weizen	180	10	0	-20	170
Grünroggen	100	10	0	20	130
Mais	190	10	0		200
Mais Mono	190	10	0		200

* Faustzahl nach Nährstoffvergleichsrechner der LWK-NRW

Ausgehend von den Sollwerten der einzelnen Kulturen werden Zu- und Abschläge für den Standort und die Bewirtschaftungsverhältnisse zur Korrektur der Sollwerte verrechnet. Für umsetzungsträge Böden, wie auf dem Standort des Versuchsgutes Merklingsen, wird generell ein Zuschlag von +10 kg/ha N gewährt. Ausnahme bilden die Grobleguminosen, da hier kein zusätzlicher Stickstoff benötigt wird. Zusätzlich wird ein Zu- oder Abschlag für die Vorfrucht berücksichtigt. Ein Zuschlag von +20 kg/ha N wird z.B. für den Anbau von Weizen nach Mais und ein Abschlag von -20 kg/ha N wird für den Anbau nach Blattfrüchten gegeben (vgl. Tabelle 22).

Die Nmin-Gehalte im Boden variierten in den Versuchsjahren sehr stark. Die höheren N-Werte im Jahr 2009 wurden durch eine Gülleapplikation im Herbst des Versuchsjahres 2008 verursacht. Die niedrigsten Nmin-Gehalte sind beim Welschen Weidelgras im gesamten Versuchszeitraum gemessen worden (vgl. Tabelle 23). Dies dürfte auch auf die Herbstvornutzung zurückzuführen sein.

Tabelle 23: Gemessene Nmin-Gehalte in 0 bis 90 cm Bodentiefe

Fruchtart	gemessener Nmin-Gehalt zu Veg. Beginn*			
	2007	2008	2009	Durchschnitt
Welsches Weidelgras (Herbst + Frühjahr)	24	9	5	13
Mais				
Weizen	24	37	92	51
Futtermais/ Markstammkohl				
Wintergerste	24	16	74	38
Sudangras/ Sonnenblumen				
Triticale	24	40	89	51
Grobleguminosen				
Weizen	24	38	115	59
Grünroggen	24	22	86	44
Mais				
Mais Mono	24	51	103	60

*Messung der Gesamtfläche

Die Nährstoffkonzentration und die Gärsubstratmengen (Rückführung) wurden über die abgefahrene Erntemasse, die Inhaltstoffe sowie über den Trockenmasseabbau während des Gärvorganges berechnet. Die Nährstoffkonzentrationen sind bei der Ernte und im Gärsubstrat annähernd gleich, da diese während des Gärprozesses nicht abgebaut werden.

Generell würde von einer Ausnutzung des Gesamtstickstoffs von 70 % im Gärsubstrat ausgegangen. Ausbringungsverluste von 30 % wurden als Faustwert angesetzt. Stickstoff, der im Gärsubstrat im Anwendungsjahr nicht zur Verfügung stand wird als N-Nachlieferung des Bodens gewertet. Diese Stickstoffanteile müssen allerdings in der Stickstoffbilanz berücksichtigt werden. Die Berechnung der Stickstoffnachlieferung wurde im Nährstoffvergleichsrechner durchgeführt.

Tabelle 24: Berechnung des durchschnittlichen Stickstoff-Bedarfs (kg/ha) anhand von korrigierten Sollwerten der einzelnen Fruchtarten

Fruchtart	korrigierter Sollwert	gemessener Nmin-Gehalt zu Veg. Beginn	N-Nachlieferung des Bodens	Durchschnittlicher N-Bedarf je ha
		Ø Jahre		Ø Jahre
Welsches Weidelgras (Herbst + Frühjahr)	170	-13	-23	134
Mais	200		-43	157
Weizen	210	-51	-25	134
Futtermispel/ Markstammkohl	110		-18	92
Wintergerste	150	-38	-23	89
Sudangras/ Sonnenblumen	170		-22	148
Triticale	170	-51	-25	94
Grobleguminosen	0			0
Weizen	170	-59	-25	86
Grünroggen	130	-44	-4	82
Mais	200		-53	147
Mais Mono	200	-60	-40	100

Um den durchschnittlichen N-Bedarf der einzelnen Kulturen über die Versuchsjahre zu ermitteln wurde der korrigierte Sollwert um den durchschnittlichen Nmin-Gehalt

und die N-Nachlieferung bereinigt. Zur Aussaat der Zweitfrüchte wurde keine Nmin-Untersuchung durchgeführt. Es wurde davon ausgegangen, dass keine nennenswerten Stickstoffrestmengen in mineralischer Form vorhanden sind. Die biologische Stickstofffixierung der Grobleguminosen erforderte keine weitere Stickstoffgabe (vgl. Tabelle 24).

Bilanziert man den Stickstoffbedarf für die einzelnen Fruchtfolgen anhand der Sollwertmethode mit den anrechenbaren Stickstoffmengen aus dem Gärsubstrat erhält man einen Überhang bzw. ein Einsparpotenzial.

Der größte Stickstoffüberhang wurde im Monomaisanbau (FF3) mit 101 kg/ha N berechnet. Ausschlaggebend waren hier vor allem die hohen Stickstoffrestmengen im Boden, die zu Vegetationsbeginn gemessen wurden. Die fünffeldrige Fruchtfolge (FF1) sowie der stetige Fruchtwechsel (FF2) haben mit 31 kg/ha N und 35 kg/ha N in etwa gleichwertige Überhänge. Aufgrund der hohen Ertragsleistungen im Monomaisanbau waren die Nährstoffabfuhr und damit die anrechenbaren Nährstoffe im Gärsubstrat mit 202 kg/ha N fast so hoch wie in der Fruchtfolge 1 mit 218 kg/ha N (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25: Überhangsbewertung/Stickstoffeinsparpotentiale der verglichenen Fruchtfolgen

Fruchtart	N-Bedarf je ha	N-Bedarf je ha	anrechenbar aus Gärsubstrat	Überhang/ Einsparpotenzial an N
	Ø Jahre	Ø FF	kg/ha N	kg/ha N
Welsches Weidelgras (Herbst + Frühjahr)	134	187	218	31
Mais	157			
Weizen	134			
Futtermispel/ Markstammkohl	92			
Wintergerste	89			
Sudangras/ Sonnenblumen	148			
Triticale	94			
Grobleguminosen	0			
Weizen	86	229	264	35
Grünroggen	82			
Mais	147			
Mais Mono	100	100	202	101

Bei der Betrachtung von Ernte-Abfuhr und Rückführung der Nährstoffe durch das Gärsubstrat konnten ausgeglichene Bilanzen für Phosphor und Kali berechnet werden. Verluste während des Gärprozesses in einer Biogasanlage entstehen kaum und wurden daher nicht berücksichtigt.

Bei einer bedarfsgerechten Gärsubstratdüngung über die Sollwertermittlung können Stickstoffüberhänge reduziert werden, was zu negativen Bilanzen bei Phosphor und Kali führt. Die Anteile von eingespartem Gärsubstrat müssen auf andere Flächen die nicht zur Biomasserotation gehören, ausgebracht werden. Damit kann der errechnete Stickstoffüberhang aus dem Nährstoffkreislauf der Biogasanlage exportiert werden. Somit ist dieser auch außerhalb für die Nahrungsmittelproduktion verwendbar.

4.2 Humusbilanz

Humusbilanzen wurden mit dem Nährstoffvergleichsrechner Version 3.5 der Landwirtschaftskammer Nordrhein Westfalen und dem Standpunktpapier zur Humusbilanzierung des VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) erstellt.

Die Humusbilanzierung errechnet die Veränderung der Humusvorräte durch den Anbau von Kulturpflanzen mit unterschiedlichen Nutzungsrichtungen. Hierbei wird ein Humussaldo gebildet aus der Differenz von Humuszufuhr und Humusbedarf. Bei der Humuszufuhr wird die Reproduktionsleistung von organischem Material sowie der Einsatz von organischen Düngemitteln bewertet. Der Humusbedarf ist anbau- und kulturartspezifisch zu ermitteln. Anhand von Faustzahlen kann der Bedarf an kg/ha C für die einzelnen Kulturarten ermittelt werden. Von entscheidender Bedeutung ist noch die Anbaustellung. So werden Hauptfrüchte anders bewertet als Zweit- oder Zwischenfrüchte. Der Humusbedarf sowie die Bilanzierung sind in Tabelle 26 für die einzelnen Fruchtfolgen dargestellt. In diesem Ansatz wurde davon ausgegangen, dass theoretisch das Gärsubstrat vollständig innerhalb der Fruchtfolge auf der Fläche verbleibt.

Die fünffeldrige Fruchtfolge sowie der permanente Fruchtwechsel (Grünroggen/Mais) erreichten die höchsten Salden mit 562 kg/ha C und 555 kg/ha C (vgl. Tabelle 26). Der Anbau von Mais in Monoanbau hatte einen geringen positiven Humussaldo von 158 kg/ha C. In dieser Betrachtung ist die Humusbilanz von Mais im Monoanbau unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten der Cross-Compliance-Verpflichtung

ausgeglichen. Jedoch sind die Salden der vielfältigen Fruchtfolge und des stetigen Fruchtwechsels weitaus höher. Bei dieser Betrachtung wurde allerdings davon ausgegangen, dass der gesamte Gärrest auf der gesamten Erntefläche verbleibt.

Tabelle 26: Humusbilanz der verschiedenen Fruchtfolgen

Humusbilanz			Humusbedarf (kg/ha C)			Humuslieferung durch Gärrest	Humusbilanz, vollständige Gärrestnutzung
<i>Fruchtfolge</i>	<i>1. Frucht</i>	<i>2. Frucht</i>	<i>1. Frucht</i>	<i>2. Frucht</i>	<i>kg/ha C</i>	<i>kg/ha C</i>	<i>kg/ha C</i>
Fünffeldrige Fruchtfolge	Welsches Weidelgras	Mais	120	-560	-324	886	562
	Weizen (GPS)	Futerraps	-280	80			
	Gerste (GPS)	Sudangras	-280	-280			
	Triticale (GPS)	Grob-leguminosen	-280	80			
	Weizen (GPS)	Welsches Weidelgras	-280	60			
Stetiger Fruchtwechsel	Grünroggen	Mais	120	-560	-440	995	555
Monokultur	Mais		-560		-560	718	158

Unter Berücksichtigung der Stickstoffüberhänge muss die Gärrestausbringung reduziert werden (vgl. Tabelle A 45). Dies hat zur Folge, dass die Humuslieferung ebenfalls reduziert wird. Dies stellt sich beim stetigen Fruchtwechsel und in der fünffeldrigen Fruchtfolge nicht als Problem dar. Anders jedoch beim Mais im Monoanbau. Bei der Korrektur der Gärsubstratmenge um die Höhe des Stickstoffüberhangs ist die Humusreproduktion nicht mehr ausreichend und die Humusbilanz wird negativ (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27: Humusbilanz unter Nutzung des Einsparpotentials bei sollwertangepasster Gärsubstratdüngung

Humusbilanz	Humuswirkung	Humuslieferung durch Gärrest	Reduzierung Gärrestausbringung	Reduzierte Humuswirkung	Humusbilanz, reduzierte Gärrestnutzung
Fruchtfolge	<i>kg/ha C</i>	<i>kg/ha C</i>	<i>m³</i>	<i>kg/ha C</i>	<i>kg/ha C</i>
Fünffeldrige Fruchtfolge	-324	886	6	-88	474
Stetiger Fruchtwechsel	-440	995	7	-94	461
Monokultur	-560	718	20	-252	-94

Dieser Wert (-94 kg/ha C) ist nur mittelfristig tolerierbar und sollte aus Nachhaltigkeitsgründen nach dem Standpunktpapier der VDLUFA vom 30.04.2010 langfristig zwischen -75 und 100 kg/ha C liegen.

4.3 Gasausbeuten und Methanerträge der verschiedenen Kulturarten

In die Großparzellen der Kulturen wurden unter Berücksichtigung der verschiedenen Fruchtfolgestellungen Sortenversuche integriert, um für Teilprojekt 4 und Teilprojekt 5 Proben für Analysen und die Kalibrationsentwicklung zur Verfügung zu stellen. Diese wurden nach Inhaltsstoffen sowie auf das Biogaspotential hin überprüft. Der hier dargestellte Bearbeitungsstand ist vom 19.04.2010.

Durch die breite Sortenvariation sollte eine möglichst große Differenzierung zwischen den Sorten einer Kulturart erreicht werden. Die Analyseergebnisse dienen zur Ermittlung des Biogaspotentials der verschiedenen Kulturarten und wurden für die ökonomische Bewertung der Fruchtfolgen als Berechnungsgrundlage genutzt.

Tabelle 28: Mittlere Biogasleistung der Kulturarten im Mittel der Versuchsjahre 2007 bis 2009

		Biogas NL/kg oTS				
		Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD
Fruchtart	Futtermisp	12	651,45	573,90	725,10	48,10
	Grobleguminosen(-gemische)	30	449,94	301,90	554,10	68,72
	Grünroggen	24	566,60	508,10	612,00	28,68
	Mais (früh)	30	659,35	625,60	708,70	18,83
	Mais (Spät)	30	644,63	595,40	668,50	14,84
	Markstammkohl	4	628,30	609,90	638,00	12,60
	Sonnenblumen	29	567,81	484,80	612,70	28,16
	Sorghum	32	590,46	559,40	617,90	16,65
	Triticale	30	579,74	545,90	596,50	14,60
	Welsche Weidelgras (Herbst)	30	601,61	506,10	676,00	49,63
	Welsches Weidelgras (Frühj.)	28	611,02	542,10	649,30	24,05
	Wintergerste	30	597,94	540,10	647,50	21,49
Winterweizen	30	569,32	528,90	612,50	25,66	

Die Biogasleistung der einzelnen Kulturarten ist in Tabelle 28 dargestellt. Auffällig sind die hohen Gasausbeuten und die große Spannweite zwischen den Minimum- und Maximum Werten bei Futtermisp, Grobleguminosen (-gemisch), Sonnenblumen und Welsches Weidelgras in der Herbstbeerntung, die gleichzeitig die höchsten Standardabweichungen aufweisen. Die höchsten Methangehalte wurden mit den Grobleguminosen (-gemischen) erzielt (vgl. Tabelle 29).

Die entscheidende Größe ist in der Biogasproduktion die Methanleistung als Ergebnis aus Biogasleistung und Methangehalt. Mais erreichte die höchsten, das Sortiment der Grobleguminosen die niedrigsten Methanerträge.

Resultierend aus den Trockenmasseerträgen der Kulturen und der spezifischen Methanleistung können unter Berücksichtigung der Rohaschegehalte (vgl. Tabelle A 46) die Methanerträge je Hektar Anbaufläche errechnet werden (vgl. Tabelle 31). Hier zeigte vor allem der Mais sehr hohe Leistungen und ein enormes Potential auf.

Tabelle 29: Mittlere Methangehalte der Kulturarten im Mittel der Versuchsjahre 2007 bis 2009

		% Methan			
		Mittelwert	Minimum	Maximum	SD
Fruchtart	Futtermisp	52,56	51,60	54,30	0,76
	Grobleguminosen(-gemische)	58,74	52,60	67,20	4,36
	Grünroggen	56,80	54,70	58,50	1,22
	Mais (früh)	52,91	51,00	54,00	0,77
	Mais (Spät)	52,82	51,20	54,30	0,73
	Markstammkohl	53,73	53,30	54,10	0,39
	Sonnenblumen	52,01	49,00	53,40	0,92
	Sorghum	53,00	51,60	54,50	0,79
	Triticale	54,99	53,60	56,10	0,59
	Welsche Weidelgras (Herbst)	54,17	52,20	56,00	1,03
	Welsches Weidelgras	54,78	53,00	56,60	1,24
	Wintergerste	55,15	54,00	57,30	0,83
	Winterweizen	54,23	53,40	55,80	0,50

Tabelle 30: Mittlere Methanleistung der Kulturarten im Mittel der Versuchsjahre 2007 bis 2009

		Methan NL/kg oTS			
		Mittelwert	Minimum	Maximum	SD
Fruchtart	Futtermisp	337,84	303,00	357,30	16,87
	Grobleguminosen(-gemische)	256,49	203,60	313,10	34,79
	Grünroggen	314,10	275,50	343,70	19,28
	Mais (früh)	349,21	332,30	366,50	8,11
	Mais (Spät)	340,41	314,90	356,50	7,72
	Markstammkohl	324,10	321,40	326,30	2,11
	Sonnenblumen	311,17	282,30	340,80	19,38
	Sorghum	312,95	289,10	322,30	8,93
	Triticale	313,88	295,00	325,80	8,75
	Welsche Weidelgras (Herbst)	331,75	275,70	365,30	24,55
	Welsches Weidelgras (Frühj.)	335,07	297,90	364,10	15,42
	Wintergerste	327,52	308,00	341,60	8,49
	Winterweizen	304,75	282,10	325,00	14,26

Tabelle 31: Mittlere Trockenmasseertragsleistung und Methanerträge der verschiedenen Kulturarten über die Versuchsjahre 2007 bis 2009

		dtha TM	% TS	m ³ /ha Methan
		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
Fruchtart	Futtermisp	39,14	17,29	1137,22
	Grobleguminosen(-gemische)	31,06	21,58	734,12
	Grünroggen	64,67	17,60	1845,69
	Mais (früh)	232,62	30,68	7794,15
	Mais (Spät)	205,77	35,38	6734,49
	Markstammkohl	30,64	15,49	885,43
	Sonnenblumen	86,05	17,97	2405,23
	Sorghum	78,04	19,62	2027,00
	Triticale	155,75	31,35	4623,72
	Welsche Weidelgras (Herbst)	32,36	22,37	944,81
	Welsches Weidelgras	79,30	16,93	2431,74
	Wintergerste	119,94	30,54	3718,77
	Winterweizen	144,38	33,97	4159,27

Die höchsten Erträge lieferte der Mais im Monoanbau mit 7794 m³/ha Methan. Markstammkohl, Grobleguminosen und Welsches Weidelgras im Herbstschnitt zeigten mit unter 1000 m³/ha Methan die geringsten Ertragsleistungen. Mit Korrelationsrechnungen über alle Kulturen konnte belegt werden, dass der Methanertrag zu über 95 % von der Trockenmasseertragsleistung abhängig ist (vgl. Abbildung 7). Damit ist die Gasausbeute im getesteten Kulturartenspektrum nur von nachrangiger Bedeutung.

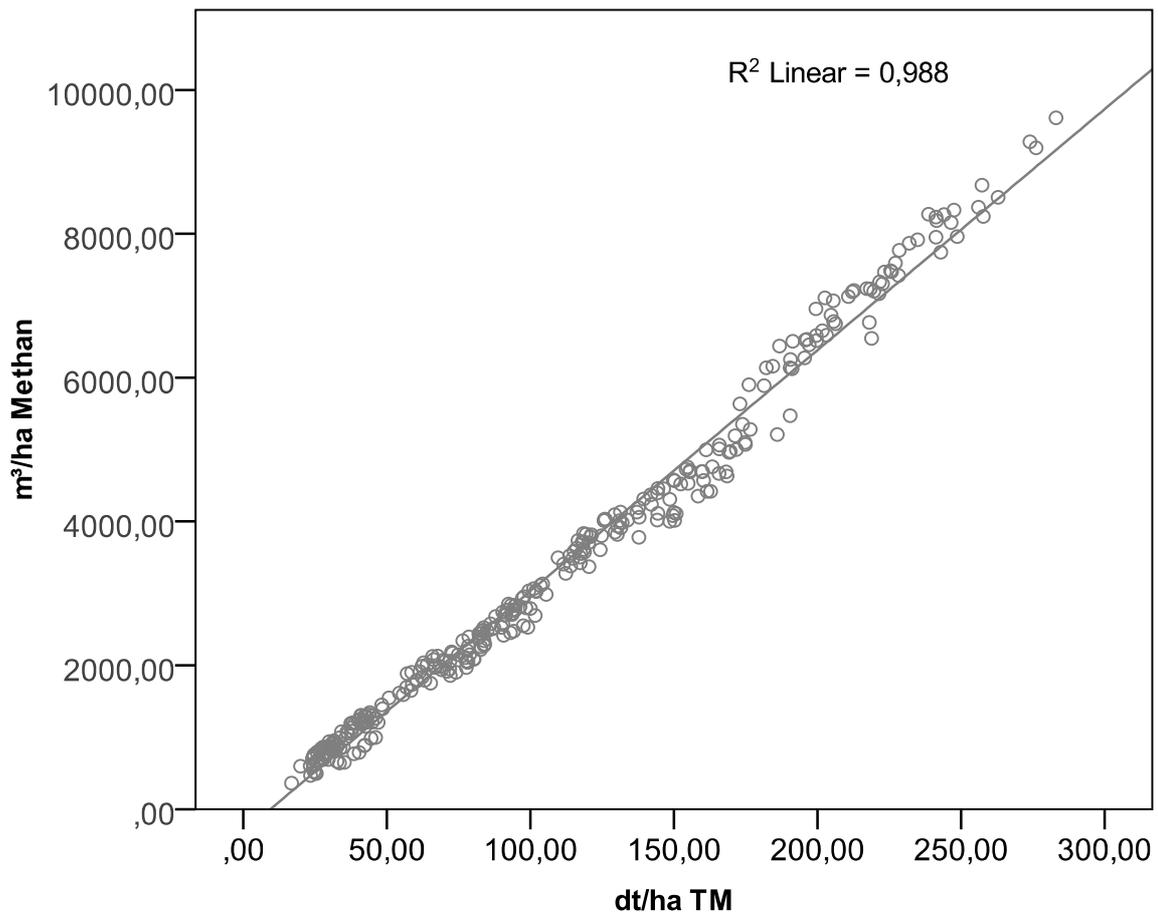


Abbildung 7: Abhängigkeit des Methanertrages (m³/ha) vom Trockenmasseertrag (dt/ha)

4.4 Ökonomische Bewertung

Für die ökonomische Bewertung der Anbausysteme wurden fruchtfolgespezifische Modellbetriebe entwickelt. Mit den mittleren Ertragsdaten aus den Versuchsjahren 2007 bis 2009 sowie den entsprechenden Gasausbeuten wurden Vergleiche von Fruchtfolgesystemen erstellt. Hiermit sollte die Vorzüglichkeit von Fruchtfolgen mit Marktfrüchten und kombinierten Marktfrucht-Biogasfruchtfolgen dargestellt werden.

4.4.1 Methodik

Es wurden drei virtuelle Fruchtfolgen konzipiert (vgl. Tabelle 32). Die Fruchtfolgen unterschieden sich grundsätzlich durch „mit und ohne Biogasnutzung“. So ist die Fruchtfolge 1 eine reine Marktfruchtfolge bestehend aus Raps, Weizen und Gerste. Die Fruchtfolge 2 bildete dagegen die typische Fruchtfolge eines Betriebes mit Biogasproduktion ab. Sie bestand aus 50 % Mais für die Bioenergieproduktion und

50 % Getreide (Weizen und Gerste), das als Marktfrucht oder als Futtermittel dient. Im Gegensatz dazu wurde in der Fruchtfolge 3 ein weites Spektrum an Kulturpflanzen angebaut, bestehend aus Haupt-, Zweit- und Zwischenfrüchten sowohl für die Biogasproduktion als auch für den Marktfruchtbau. Dadurch wurde die mögliche Vegetationszeit sehr gut ausgeschöpft. Durch den Leguminosenanbau wird Stickstoff gebunden und in den Kreislauf der Biogasanlage gebracht. Anforderungen der Biodiversität und des Umweltschutzes werden dabei beachtet.

Kalkuliert wurden die Fruchtfolgen auf der Basis eines 150 ha großen Betriebes mit einer durchschnittlichen Schlaggröße von 3 ha. Für die Fruchtfolgen mit integrierter Biogasproduktion wurde eine Anlage von 150 kWh el. in die Kostenstruktur aufgenommen. Aufwendige Arbeiten wie Ernte und Gülleausbringung werden von einem Lohnunternehmer durchgeführt. Alle Kosten und Preise für die Arbeitserledigung und Lohnarbeit, für landwirtschaftliche Güter und Produktionsmittel wurden nach KTBL Betriebsdaten 2008 berechnet.

Die Marktfruchterträge beruhen auf einem 15-jährigem Durchschnitt, des Versuchsgutes in Merklingsen im Kreis Soest.

Die Flächenkosten wurden mit 500 €/ha angesetzt. Einheitlich wurden Ernte- und Konservierungsverluste von 10 % für alle Kulturen zur Biomasseproduktion abgezogen.

Die Düngung erfolgt organisch über das Gärsubstrat und über den Anfall von Gülle durch die Schweinemast mit 1000 Mastschweineplätzen. Die Ausbringungskosten sind angerechnet auf die jeweilig gedüngte Kultur. Der in der Düngebilanz fehlende Stickstoff, Kali und Phosphor wurde über die mineralische Ergänzung bei der Mais-Unterfußdüngung und als Abschlussdüngung im Getreide kalkuliert. Die Kalkulation bewertet den Gewinnbeitrag je ha Produktionsfläche.

Tabelle 32: Fruchtfolgen für den Systemvergleich von reiner Marktfrucht- und gemischten Marktfrucht/Biogasfruchtfolgen

Jahr	Fruchtfolge 1	Fruchtfolge 2	Fruchtfolge 3
Jahr 1	Winterraps (<i>Korn</i>)	Silomais	Winterraps (<i>Korn</i>)
			Welsches Weidelgras (Herbst und Frühjahrsnutzung)
Jahr 2	Winterweizen (<i>Korn</i>)	Silomais	Silomais
Jahr 3	Wintergerste (<i>Korn</i>)	Winterweizen (<i>Korn</i>)	Winterweizen (<i>Korn</i>)
			Ackerbohnen + Futtererbsen (Zwischenfrucht mit GPS Nutzung)
Jahr 4		Wintergerste (<i>Korn</i>)	Silomais
Jahr 5			Ackerbohnen (<i>Korn</i>)
Jahr 6			Triticale (<i>GPS</i>)
			Welsches Weidelgras (Herbst und Frühjahrsnutzung)
Jahr 7			Silomais
Jahr 8			Wintergerste (<i>Korn</i>)
Systeme	Dreifeldrige Fruchtfolge	Vierfeldrige Fruchtfolge	Achtfeldrige Fruchtfolge
	Verbesserte Dreifelderwirtschaft Ba-Ha-Ha	Doppelfruchtwechsel Ba-Ba-Ha-Ha	2 Glieder des Überfruchtwechsels 1 Glied des einfachen Fruchtwechsels Ba-Ba-Ha-Ba-Ba-Ha-Ba-Ha

4.4.2 Vergleich der Fruchtfolgesysteme anhand von Modellbetrieben

Aus den Angaben in Tabelle 33 wird deutlich, dass die Fruchtfolgen mit Biogasproduktion nur geringfügig höhere Produktionskosten verursachen als eine reine Marktfruchtfolge. Dies ist begründet durch die höheren Kosten für die Maschinenmiete sowie Lohnarbeit, aber auch durch die Einsparung von Produktionsmitteln, da Nährstoffe im Kreislauf der Biogasanlage wieder eingesetzt werden können. Die Direktkosten sind im Fruchtfolgesystem 3 am geringsten, da Leguminosen keinen mineralischen Stickstoff benötigen sondern noch zusätzlich binden und in den Kreislauf durch die GPS-Ernte einbringen. Allerdings sind die Arbeiterledigungskosten höher, da mehr Erntearbeiten anfallen und die Zwischenfruchtaufwüchse für die Biogasnutzung relativ hohe Kosten verursachen.

Tabelle 33: Kostendarstellung der kalkulierten Fruchtfolgesysteme

Auswertung	Fruchtfolge 1 .../ha	Fruchtfolge 2 .../ha	Fruchtfolge 3 .../ha
Variable Kosten der Arbeitserledigung			
Variable Maschinenkosten (€)	124	124	98
Maschinenmiete, Lohnarbeit (€)	127	309	433
Summe Var. Kosten der Arbeitserledigung	251	432	532
Direktkosten (€)	415	313	277
Summe Variable Kosten	666	745	808
Fixe Kosten			
Arbeit (€)	76	76	64
Fläche (€)	500	500	500
Technische Einrichtungen, Maschinen (€)	86	100	78
Summe fixe Kosten	662	676	642
Produktionskosten (Variable + fixe Kosten)	1328	1421	1450
Arbeitszeitbedarf			
Ständige AK insgesamt (h)	5	5	4
Leistungen/Kosten/Erfolgsgrößen			
Leistungen (kWh el.)		14968	15696
Variable Kosten Biogas (€)		636	667
Festkosten Biogas (€)		1048	1099
Vermarktung			
Marktleistung Kornverkauf (€)	1403	744	654
Marktleistung Biogas (€)		2884	3024
Marktleistung Gesamt (€)	1403	3627	3678
Deckungsbeitrag (€)	737	2246	2203
Lohnansatz (€)	76	76	64
Gewinnbeitrag (€)	-1	446	398

Durch die Produktion von Biogas fallen zusätzliche Festkosten durch die Anlage an. Bei Anlagenkosten von 3.300 €/kWh (Braun, Lorleberg und Wacup 2009) installierter Leistung wurden die Festkosten anhand der erzeugten elektrischen Energie je Hektar kalkuliert. Ebenso wurden die variablen Kosten für die Biogaserzeugung mit 0,017 €/kWh (inkl. Zündöl) bewertet. Somit wurden die gesamten Kosten der produzierten elektrischen Energie in der Biogasanlage auf die Fläche umgelegt.

Die Marktleistung setzt sich zusammen aus dem Verkauf der Marktfrüchte sowie aus den Erlösen der Strom- und Wärmeverkäufe (30 % Wärmenutzung) und dem daraus resultierenden KWK-Bonus, der als Zusatzvergütung dem Strompreis zugeschlagen wird. Damit ist die Marktleistung bei den Fruchtfolgen mit Biogasproduktion insgesamt höher als bei einer reinen Marktfruchtfolge. Die Marktleistung der maisbetonten-vierfeldrigen-Fruchtfolge 2 ist im Vergleich mit der achtfeldrigen-Fruchtfolge annähernd gleich.

Der Gewinnbeitrag je Hektar Produktionsfläche ist bei Biogasnutzung höher als im Marktfruchtanbau. Die Marktleistung ist bedingt durch die Erlöse in 2008 hoch, aber die Preise für Produktionsmittel waren im Jahr 2008 ebenfalls hoch. Somit haben Nährstoffkreislaufsysteme finanzielle Vorteile durch die Einsparung an Mineraldünger. Bei Berücksichtigung des neuen EEG 2009 ist die Biogasproduktion trotz gestiegener Produktionskosten wirtschaftlich. Bei der Unterscheidung sowohl im Deckungsbeitrag als auch im Gewinnbeitrag schneidet die Fruchtfolge 2 (50 % Maisanbau) besser ab als die Fruchtfolge 3 (37 % Maisanbau). Begründet ist dies durch die hohen Erntekosten der Zwischen- und Zweitfrüchte und geringeren Markterlöse für Ackerbohnen sowie hohe Kosten beim Rapsanbau.

Literaturverzeichnis:

- Braun J., Lorleberg W., Wacup H. (2009): Regionale Struktur- und Einkommenswirkungen der Biogasproduktion in NRW, Forschungsbericht des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest, Nr. 24
- L. Laurenz, 2010: Grünfütterroggen/ Zweikultursysteme mit Getreide-GPS/ Sommerzwischenfrüchten. NRW-Energiepflanzentagung: Biogas - Alternativen zu Mais, am 26.5.2010 im Landwirtschaftszentrum Haus Düsse <http://www.duesse.de/znr/pdfs/2010/2010-05-26-energiepflanzen-03.pdf>

Anhang

Tabelle A 1: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2007 von Welsches Weidelgras, Mais (Zweitfrucht), Weizen (GPS), Futterraps und Marktstammkohl

Jahr	2007				
Stellung in der Fruchtfolge	Winter-zwischenfrucht	Hauptfrucht	Erstfrucht	Zweitfrucht	
Fruchtart	Welsches Weidelgras	Mais	Weizen (GPS)	Futterraps	Marktstammkohl
Aussaat	05.10.2006	14.05.2007	09.10.2006	14./20.6.2007*	20.06.2007
Bodenbearbeitung	Kurzscheibenegge	Fräse (2x) Kreiselegge Federzinkenegge Kreiselegge + Einzelkorn-drillmaschine	Kurzscheibenegge, Kreiselegge (2x) Drillmaschine	Fräse Kreiselegge + Drillmaschine	Fräse Kreiselegge + Drillmaschine
Pflanzenschutz	kein	Cato+Click+ Certrol +FHS (0,02+1,0+0,2+0,18), Cato + FHS (0,02+0,09)	StompSC+Lexus+ Fastac (2+0,02+0,1) CCC+Fastac+ Combi Top (1+0,1+6,5) Input+CCC+ Sumicidin+Bravo (0,75+0,1+0,2+0,8)	kein	Kein
Düngung	150 N	174 N; 86 P ₂ O ₅	203 N	120 N	120 N
Ernte	04.05.2007	09.10.2007	19.06.2007	21.09.2007	nicht erntbar
Sorten	1 Lemtal	Asteri CS	Winnetou	Campari 00	Camaro
	2 Taurus	EGZ 6206	Tommi	Mosa 00	Furchenkohl
	3 Gemini	SM Masetto	Campari	Molino --	Markola
	4 Fabio	KXA 7132	Brilliant	Sparta --	Gr.Angeliter
	5 Mondora	MGM132241	Ephoros	Liratop 00	
	6 Imperio (EW)	DKC 3472	Opus	Mikonos 00	
	7 Pollanum (EW)	Taxxoax	Dekan	Liflorum 00	
	8	SUM 1306	Türkis	Akela	
	9	Bredero	Boomer		
	10	Kalvin	Buteo		
Ränder/Großparzelle	Fabio	Amadeo	Winnetou	Akela	
Bemerkung					

Tabelle A 2: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2007 von Wintergerste (GPS), Sorghum, Sonnenblumen, Triticale (GPS) und Grobleguminosen(-gemische)

Jahr	2007				
Stellung in der Fruchtfolge	Erstfrucht	Zweitfrucht	Zweitfrucht	Erstfrucht	Zweitfrucht
Fruchtart	Wintergerste	Sorghum	Sonnenblumen	Triticale (GPS)	Grobleguminosen (-gemische)
Aussaat	29.09.2006	04.06.2007	05.06.2007	09.10.2006	14.06.2007
Bodenbearbeitung	Kurzscheibenegge, Kreiselegge (2x) Drillmaschine	Fräse (2x) Kreiselegge + Drillmaschine	Fräse (2x) Kreiselegge + Drillmaschine	Kurzscheibenegge, Kreiselegge (2x) Drillmaschine	Fräse Kreiselegge + Drillmaschine
Pflanzenschutz	Herold* Cadou+ Fastac (0,3+0,15+0,075), Sumicidin (0,20), TerpalC+Moddu+ Epsotop (1+0,25+9), Input (0,6)	Buctril+Click (1,25+0,25) Banvel (0,4)	kein	StompSC+Lexus+ Fastac (2+0,02+0,1), CCC+Fastac (1,5+0,1), CCC+Camposan+ Input+Epsotop (0,5+0,25+1,2+9,0)	kein
Düngung	199 N	120 N	100 N	207 N	keine
Ernte	31.05.2007	27.09.2007	26.09.2007	13.06.2007	13.09.2007
Sorten	1 Passion	Susu	Allison	Benetto	AB Scirocco
	2 Fridericius	Sucrosorgo 506	ESElektra	Agrano	AB Condor
	3 Merylin	King 61	Pegasol	Trimestre	AB Gloria
	4 Reni	Rona1	Tournesol	Talento	SW Berninova + Hafer
	5 Finess	Akklimat	Rumbasol	Tritikon	FE Livioletta
	6 Alinghi	Piper	Heliaroc	Masssimo	FE Florida
	7 Lomerit	Nutri honey	Methasol	Magnat	Mischung AB+FE+SW
	8 Emily	Goliath	Albatre	Inpetto	Condor + Hafer
	9 Campanile	Frugal	ES Petunia	Logo	Condor + Liviol.+Hafer
	10 Malwinta	Friggo	ES Karamba	Grenado	Livioletta + Hafer
	11	Supersile 20			
	12	Lussy			
Ränder/ Großparzelle	Zzoom (H)	Susu	Allison	Vitalis	Mischung AB+FE+SW
Bemerkung					

Tabelle A 3: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2007 von Weizen (GPS), Welsches Weidelgras (Herbst), Grünroggen und Mais (Zweiffrucht) sowie Mais (Monoanbau)

Jahr	2007				
Stellung in der Fruchtfolge	Erstfrucht	Winter-zwischenfrucht	Erstfrucht	Hauptfrucht	Hauptfrucht
Fruchtart	Weizen (GPS)	Welsches Weidelgras (Herbst)	Grünroggen	Mais	Mais (Mono)
Aussaat	09.10.2006	20.06.2007	05.10.2006	14.05.2007	23.04.2007
Bodenbearbeitung	Kurzscheiben-egge, Kreiselegge (2x) Drillmaschine	Fräse	Kurzscheiben-egge, Kreisel-egge (2x), Drillmaschine	Fräse (2x) Kreiselegge Federzinken-egge Kreiselegge + Einzelkorn-drillmaschine	Kurzscheiben-egge, Federzinken-egge (2x), Kreisel-egge (2x), Einzelkorn-drillmaschine
Pflanzenschutz	StompSC+Lexus+ Fastac (2+0,02+0,1), CCC+Fastac+ Combi Top (1+0,1+6,5), Input+CCC+ Sumicidin+Bravo (0,75+0,1+0,2+0,8)	kein	StompSC+ Lexus+Fastac (2+0,02+0,1)	Cato+Click+ Certrol+FHS Cato + FHS (20g+0,09)	Cato+Click+ Certrol (0,02+1,0+0,2)
Düngung	203 N	100 N	150 N	174 N; 86 P ₂ O ₅	164 N; 86 P ₂ O ₅
Ernte	19.06.2007	08.10.2007	09.05.2007	09.10.2007	20.09.2007
Sorten	1 Winnetou	Lemtal	Passion	Asteri CS	CSM5705
	2 Tommi	Taurus	Fridericius	EGZ 6206	Atletico
	3 Campari	Gemini	Merylin	SM Masetto	KXA7262
	4 Brilliant	Fabio	Reni	KXA 7132	Ingrid
	5 Ephoros	Mondora	Finess	MGM132241	LZM456/21
	6 Opus	Imperio (EW)	Alinghi	DKC 3472	DKC 3871
	7 Dekan	Pollanum (EW)		Taxxoax	DKC 6022
	8 Türkis	Fabio + Imperio		SUM 1306	PR 34B39
	9 Boomer	Fabio + Pollanum		Bredero	SUM 1306
	10 Buteo	Dorike		Kalvin	NK Magitop
Ränder/ Großparzelle	Winnetou	Fabio	Pollino	Amadeo	Amadeo
Bemerkung					

Tabelle A 4: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2008 von Welsches Weidelgras, Mais (Zweitfrucht), Weizen (GPS), Futterraps und Marktstammkohl

Jahr		2008			
Stellung in der Fruchtfolge	Winter-zwischenfrucht	Hauptfrucht	Erstfrucht	Zweitfrucht	
Fruchtart	Welsches Weidelgras	Mais	Weizen (GPS)	Futterraps/ Marktstammkohl	
Aussaat	08.10.2007	07.05.2008	15.10.2007	26.06.2008	
Bodenbearbeitung	Catros, Rabe Grubber, Catros, Kreiselegge / Drille	Vorgrubber + Zinkenrotor, Fräse, Allrounder	Catros, Rabe Grubber, Catros, Allrounder, Kreiselegge/Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge/ Drille	
Pflanzenschutz	Herold WG (0,3), Cadou WG (0,16), Pointer (0,015), Trafo WG (0,15), Combi Top (19,0), Karate Zeon (0,08), Moddus (0,4), Camposan (0,2), Input (1,5)	Cato+Certrol B+ Click (0,03+0,25+0,5), Cato+FHS (0,03+0,18)	Herold SC+Cadou SC (0,3+0,2), CCC+Combi Top+ Input (1,2+9,2+0,8), CCC+Moddus+ Epsa Top+AHL (0,3+0,15+ 8,20), U 46 M (nur Feld 1) (2,0), Gladio+Amistar Opti (0,5+1,5)		
Düngung	172 N	186 N+82 P	175 N	120 N	
Ernte	02.05.2008	24.09.2008	24.06.2008	11.09.2008	
Sorten					
1	Lemtal	Absolut	Winnetou	Campari 00	
2	Taurus	Astri CS	Tommi	Mosa 00	
3	Gemini	Bredero	Campari	Molino --	
4	Fabio	DKC3472	Brilliant	Sparta --	
5	Mondora	Kalvin	Ephoros	Liratop 00	
6	Imperio (EW)	KXA 7211	Opus	Mikonos 00	
7	Pollanum (EW)	LG3277	Dekan	Liflorum 00	
8	Fabio + Imperio	MGM 125262	Türkis	Akela	
9	Fabio + Pollanum	NK Magitop	Boomer		
10	Dorike	RH0777	Buteo		
Ränder/Großparzelle	Fabio	Ronaldinio	Winnetou	Mosa 00	
Bemerkung			Wachstum und Ertrag teils durch Vernässung beeinträchtigt,	Keine Parzellenernte von Marktstammkohl aufgrund starker Verunkrautung	

Tabelle A 5: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2008 von Wintergerste (GPS), Sorghum, Sonnenblumen, Triticale (GPS) und Grobleguminosen(-gemische)

Jahr	2008				
Stellung in der Fruchtfolge	Erstfrucht	Zweitfrucht	Zweitfrucht	Erstfrucht	Zweitfrucht
Fruchtart	Wintergerste	Sudangras	Sonnenblumen	Triticale (GPS)	Grobleguminosen (-gemische)
Aussaat	25.09.2007	11.06.2008		15.10.2007	26.06.2008
Bodenbearbeitung	Catros, Rabe Grubber, Catros, Kreiselegge / Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge / Drille		Catros, Rabe Grubber, 2x Catros, Rabe Grubber, Allrounder, Kreiselegge/Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge / Drille
Pflanzenschutz	Herold WG+ Cadou WG+ Pointer+ AHL (0,3+0,16+0,015), Trafo WG (0,15), Combi Top+ Karate Zeon+ AHL (9,0+0,08), Moddus+ Camposan (0,4+0,2), Input+ Combi Top+ AHL(0,75+10,0), Input (0,75)	Certrol B (0,3), Mais Banvell WG+ Click (0,3+1,0)		Herold SC+ Cadou SC (0,3+0,2), CCC+Combi Top+ AHL (1,2+9,2), Input+CCC+ Moddus+Epso Top+AHL (0,8+0,3+0,15+8,2), Gladio (0,5), Amistar Opti (1,5)	
Düngung	172 N	120 N		175 N	
Ernte	10.06.2008	23.09.2008	18.09.2008	24.06.2008	10.09.2008
Sorten	1 Passion 2 Fridericius 3 Merylin 4 Reni 5 Finess 6 Alinghi 7 Lomerit 8 Emily 9 Campanile 10 Malwinta	Akklimat Friggo Goliath King 61 Nutri Honey Piper Rona 1	Albatre Allison ES Elektra ES Karamba Heliaroc Joana Methasol	Agrano Benetto Evolu Grenado Impetto Logo Magnat Massimo Talentra	AB Scirocco AB Condor AB Gloria SW Berninova + Hafer FE Livioletta FE Florida Mischung AB+FE+SW Condor + Hafer Condor + Liviol.+Hafer Livioletta + Hafer Scirocco + Santana
Ränder/Großparzelle	Merylin	Susu		Cultivo	
Bemerkung					

Tabelle A 6: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2008 von Weizen (GPS), Welsches Weidelgras (Herbst), Grünroggen und Mais (Zweifrucht) sowie Mais (Monoanbau)

Jahr	2008				
Stellung in der Fruchtfolge Fruchtart	Erstfrucht Weizen (GPS)	Winter-zwischenfrucht Welsches Weidelgras (Herbst)	Erstfrucht Grünroggen	Hauptfrucht Mais	Hauptfrucht Mais (Mono)
Aussaat	15.10.2007	26.06.2008	25.09.2007	07.05.2008	22.04.2008
Bodenbearbeitung	Catros, Rabe Grubber, Catros, Allrounder, Kreiselegge/Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge / Drille	Catros, Rabe Grubber, Kreiselegge / Drille	Vorgrubber + Zinkenrotor, Fräse, Allrounder	Catros, Rabe Grubber, 5x Allrounder, Kreiselegge + Krümmler
Pflanzenschutz	Herold SC+ Cadou SC (0,3+0,2), CCC+Combi Top+ Input (1,2+9,2+0,8), CCC+Moddus+ Epsa Top+AHL (0,3+0,15+ 8,20), U 46 M (nur Feld 1) (2,0), Gladio+Amistar Opti(0,5+1,5)	Duplosan DP (2,5)	Herold WG+ Cadou WGPointer+ AHL (0,3+0,16+0,015, Trafo WG (0,15), Combi Top+ Karate Zeon+ AHL (9,0+0,08), CCC+AHL(1,25), CCC+AHL(0,03)	Cato+Certrol B+Click (0,03+0,25+0,5, Cato+FHS (0,03+0,18)	Terano+Click+ AHL (1,0+0,5), Cato+CertrolB + Click (0,02+0,5+0,5)
Düngung	175 N	100 N	111 N	176 N+92 P	286 N, 72 P
Ernte	24.06.2008	24.09.2008	05.05.2008	24.09.2008	09.09.2008
Sorten	1 Winnetou 2 Tommi 3 Campari 4 Brilliant 5 Ephoros 6 Opus 7 Dekan 8 Türkis 9 Boomer 10 Buteo	Lemtal Taurus Gemini Fabio Mondora Imperio (EW) Pollanum (EW) Fabio + Imperio	Balistic Borfuro Carotop Conduct Evolu Matador Placido Protector Visello	Absolut Astri CS Bredero DKC3472 Kalvin KXA 7211 LG3277 MGM 125262 NK Magitop	Aabsolut Asteri CS Canavaro CSM 5705 DKC 3871 ES Paroli Midixx Nk Magitop PR34B39
Ränder/ Großparzelle	Winnetou	Fabio	Vitallo Vitallo	RH0777 Ronaldinio	SM 60160 Torres
Bemerkung	Wachstum und Ertrag teils durch Vernässung beeinträchtigt				

Tabelle A 7: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2009 von Welsches Weidelgras, Mais, Weizen (GPS), Futterraps und Marktstammkohl

Jahr	2009			
Stellung in der Fruchtfolge	Winter-zwischenfrucht	Hauptfrucht	Erstfrucht	Zweitfrucht
Fruchtart	Welsches Weidelgras	Mais	Weizen (GPS)	Futterraps/ Marktstammkohl
Aussaat	26.06.2008	08.05.2009	14.10.2008	02.07.2009
Bodenbearbeitung	Fräse, Parapflug, Kreiselegge/ Drille	Allrounder, Saat	Schwergrubber (Gülle), Kreiselegge/ Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge/ Drille
Pflanzenschutz	Duplosan DP (2,50)	Cato+Click+ Certrol B+ FHS (0,03+1,0+0,5+0,2), Cato (nur Feld 11) (0,02), Callisto (nur Feld 11) (0,8), Cato + FHS (0,03), FHS (0,15)	Cadou WG(0,42), Starane+IPU+ Combi Top+AHL (1,0+1,75+37,0), Combi Top (8,7), CCC+Combi Top (1,0+3,75), CCC+Moddus+ Gladio+Micro Top (0,3+0,15+0,4+4,5), Circon+Micro Top (0,8+8,1), Taspas+Folicur+ Trafo WG (0,3+0,5+0,15), Flamenco+Vegas (1,3+0,15)	Gladio (0,5)
Düngung	250 N	156 N, 82 P	151 N	120 N
Ernte	06.05.2009	02.10.2009	29.06.2009	
Sorten	1 Lemtal 2 Taurus 3 Gemini 4 Fabio 5 Mondora 6 Imperio (EW) 7 Pollanum (EW) 8 Fabio + Imperio 9 Fabio + Pollanum 10 Dorike	Asteri CS Fernandez Bredero MGM 158658 DKC 3399 NK Cooler Kalvin NK Magitop LG 3277 Aabsolut	Ararat Boomer Carenius Dekan Ephoros Mulan Primus Tommi Winnetou	Campari Molino Mikonos Licapo Akela Sparta Camaro Furchenkohl Markola Grüner Angeliter
Ränder/Großparzelle	Fabio	Ronaldinio	Winnetou	Mosa
Bemerkung				keine Parzellenernte aufgrund starker Verunkrautung

Tabelle A 8: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2009 von Wintergerste (GPS), Sorghum, Sonnenblumen, Triticale (GPS) und Grobleguminosen(-gemische)

Jahr	2009				
Stellung in der Fruchtfolge	Erstfrucht	Zweitfrucht	Zweitfrucht	Erstfrucht	Zweitfrucht
Fruchtart	Wintergerste	Sudangras	Sonnenblumen	Triticale (GPS)	Grobleguminosen (-gemische)
Aussaat	15.10.2008	09.06.2009	09.06.2009	15.10.2008	02.07.2009
Bodenbearbeitung	Schwergrubber (Gülle), Kreiselegge/Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge/Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge/Drille	Schwergrubber (Gülle), Kreiselegge/Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge/Drille
Pflanzenschutz	Cadou WG(0,42), Starane+IPU+CombiTop+AHL (1,0+1,75+37,0), Combi Top (8,7), Moddus+Camposan+Gladio (0,35+0,2+0,4), Combi Top (6,3), Input + AmistarOpti+Camposan+Combi Top (0,6+1,25+0,2+7,0)	Banvell M+ Click (0,4+1,0)	Stomp SC (2,5)	Cadou WG(0,42), Starane+IPU+CombiTop+AHL (1,0+1,75+37,0), Combi Top (8,7), CCC+Combi Top (1,0+8,3), Taspas+Folicur+Trafo WG (0,3+0,5+0,15), Flamenco+Vegas (1,3+0,15)	Gladio (0,5)
Düngung	147 N	110 N	110 N	140 N	0
Ernte	09.06.2009	07.10.2009	05.10.2009	29.06.2009	28.09.2009
Sorten	1 Passion 2 Fridericius 3 Merylin 4 Reni 5 Finess 6 Alinghi 7 Lomerit 8 Emily 9 Campanile 10 Malwinta	Akklimat Friggo Goliath King 61 Nutri Honey Piper Rona 1 Sucrosorgo 506 Supersile 20 Susu	Allisson ES Elektra Pegasol Rumbasol Metharoc EC Magnific Albatre Rigasol Joana	Agrano Benetto Evolu Grenado Impetto Logo Magnat Massimo Talentra Pallazzo	Scirocco (AB) Condor (AB) Gloria (AB) Berninova (SW) + Hafer Livioletta (FE) Florida (FE) Misch. AB + FE + SW Condor (AB) + Florida (FE) Condor (AB) + Livioletta (FE) Livioletta(FE) + Hafer AB + KE
Ränder/Großparzelle	Highlight	Susu	Rumbasol	Benetto	AB + KE
Bemerkung					

Tabelle A 9: Bewirtschaftungsdaten im Versuchsjahr 2009 von Weizen (GPS), Welsches Weidelgras (Herbst), Grünroggen und Mais (Zweiffrucht) sowie Mais (Monoanbau)

Jahr	2009				
Stellung in der Fruchtfolge	Erstfrucht	Winter-zwischenfrucht	Winter-zwischenfrucht	Hauptfrucht	Hauptfrucht
Fruchtart	Weizen (GPS)	Welsches Weidelgras (Herbst)	Grünroggen	Mais	Mais (Mono)
Aussaat	14.10.2008	02.07.2009	24.10.2008	08.05.2009	16.04.2009
Bodenbearbeitung	Schwergrubber (Gülle), Kreiselegge/Drille	Fräse, Parapflug, Kreiselegge/Drille	Schwergrubber (Gülle), Kreiselegge/Drille	Allrounder, Saat	Allrounder, Saat
Pflanzenschutz	Cadou WG (0,42), Starane+IPU+Combi Top+AHL (1,0+1,75+37,0), Combi Top (8,7), CCC+Combi Top (1,0+3,75), CCC+Moddus+Gladio+Micro Top (0,3+0,15+0,4+4,5), Circon+Micro Top (0,8+8,1), Taspas+Folicur+Trafo WG (0,3+0,5+0,15), Flamenco+Vegas (1,3+0,15)		Cadou WG (0,42), Starane+IPU+Combi Top+AHL (1,0+1,75+37,0), Combi Top (8,7), CCC (1,25)	Cato+Click+ Certrol B+FHS (0,03+1,0+0,5+0,2), Cato (nur Feld 11)(0,02), Callisto (nur Feld 11) (0,8), Cato + FHS (0,03), FHS (0,15)	Calaris (0,8)+ Milagro forte Peak Pack + Peak(0,5)+ Peak(0,1), Cato + FHS(0,03)+ FHS(0,15)
Düngung	151 N	120 N	168 N	156 N, 82 P	101 N, 82 P
Ernte	29.06.2009	21.10.2009	07.05.2009	02.10.2009	17.09.2009
Sorten	1 Ararat 2 Boomer 3 Carenius 4 Dekan 5 Ephoros 6 Mulan 7 Primus 8 Tommi 9 Winnetou 10 Winnetou	Lemtal Taurus Gemini Fabio Mondora Imperio Pollanum Fabio + Imperio Fabio + Pollanum Dorike Fabio	Vitallo Protector Borfuro Carotop Metador Visello Pallazzo Conduct Vitallo	Asteri CS Fernandez Bredero MGM 158658 DKC 3399 NK Cooler Kalvin NK Magitop LG 3277 Aabsolut Ronaldinio	Asteri CS Cannavaro Hookera PR34B39 DKC 3399 DKC 5542 EGZ 8209 NK Oktet Scandi NK Cooler Ronaldinio
Ränder/Großparzelle	Winnetou		Vitallo	Ronaldinio	Ronaldinio
Bemerkung					

Tabelle A 10: Boniturergebnisse im Grünroggensortiment 2007

Datum	05.03.07	05.03.07	16.04.07	16.04.07	16.04.07	16.04.07	09.05.07	09.05.07	09.05.07
EC-Stadium	EC 29-31	EC 29-31		37-49	37-49	37-49	59	Ernte	Ernte
Sorte	Stand v. Veg.beginn	Mehltau*)	EC Stadium	Wuchshöhe in cm	Mehltau unt. Blätter	Braunrost unt. Blätter	Wuchshöhe in cm	% lag. Fläche	% Neigung
1 Vitallo	7,5	2	47-49	86	3	1,5	172	55	63
2 Protector	7,0	2	47	99	3	1,0	90	96	70
3 Borfuro	6,8	2	39-41	85	3	1,0	85	94	91
4 Carotop	6,5	3	37	65	2	2,0	141	18	13
5 Matador	6,0	3	37	60	5	1,5	139	8	13
6 Pollino	6,0	4	34	64	7	1,8	137	0	0
Mittel:	6,6	2,6		76,3	4	1,5	127	45,0	42,0

Tabelle A 11: Boniturergebnisse im Grünroggensortiment 2008

Datum	31.03.08	05.05.08	05.05.08
EC-Stadium	EC 30	EC 29-31	
Sorte	Masse	Wuchshöhe in cm vor der Ernte	EC Stadium vor der Ernte
1 Vitallo	7,0	103	55
2 Protector	6,8	111	55
3 Borfuro	6,0	96	55
4 Carotop	5,8	79	51
5 Matador	5,5	75	49-51
6 Visello	5,0	73	39
7 Placido	5,0	71	37-39
8 Conduct	5,5	76	49
9 Balistic	5,0	69	49
10 Evolo	4,8	69	37-39
Mittel:	5,6	82,1	

Tabelle A 12: Boniturergebnisse im Grünroggensortiment 2009

Datum	01.04.09	04.05.09	27.04.09	27.04.09	04.05.09	04.05.09	04.05.09
EC-Stadium	EC 27						
Sorte	Jugendent-wicklung	EC Stadien	lag. Fläche %	% Neigung	WH in cm	lag. Fläche %	% Neigung
1 Vitallo	8,0	55-59	73	76	111	52,5	75
2 Protector	7,5	55	75	66	116	57,5	73
3 Borfuro	6,8	55	61	66	106	52,5	63
4 Carotop	6,0	51-55	0	0	95	0,0	0
5 Matador	5,0	51	0	0	88	0,0	0
6 Visello	5,0	51-55	0	0	91	0,0	0
7 Pallazzo	5,8	51	0	0	93	0,0	0
8 Conduct	6,0	51	1	6	100	0,0	0
Mittel:	6,3				100,3	22	28

Tabelle A 13: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Herbstnutzung 2007

Datum	24.09.07	24.09.07	24.09.07
EC-Stadium			
Sorte	% lag. Fläche	% Neigung	WH in cm
1 Lemtal - dipl.	65,0	35,0	43,8
2 Taurus - tetrapl.	90,0	37,5	48,8
3 Gemini - tetrapl.	90,0	50,0	48,8
4 Fabio - tetrapl.	90,0	32,5	48,8
5 Mondora - tetrapl.	90,0	30,0	51,3
6 Imperio - dipl.	5,0	5,0	62,5
7 Pollanum - tetrapl.	0,0	0,0	66,3
8 Fabio+Imperio	22,5	32,5	55,0
9 Fabio+Pollanum	27,5	40,0	66,3
10 Dorike	90,0	25,0	51,3
Mittel:	57,0	28,8	54,3

Tabelle A 14: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Herbstnutzung 2008

Datum	24.09.08	24.09.08
EC-Stadium		
Sorte	Wuchshöhe in cm	Rost
1 Lemtal	36,3	6,3
2 Taurus	39,4	2,5
3 Gemini	86,3	3,5
4 Fabio	38,1	3,3
5 Mondora	40,0	2,0
6 Imperio	72,5	6,5
7 Pollanum	91,3	4,5
8 Fabio+Imperio	85,6	7,5
9 Fabio+Pollanum	83,1	4,3
10 Dorike	37,5	1,8
Mittel:	61,0	4,2

Tabelle A 15: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beidem zur Herbstnutzung 2009

Datum	21.10.09	21.10.09	21.10.09
EC-Stadium			
Sorte	WH in cm	% Verunkrautung	Rost
1 Lemtal	32,5	39	6
2 Taurus	35,0	14	4
3 Gemini	31,9	25	5
4 Fabio	33,1	21	6
5 Mondora	33,1	19	6
6 Imperio	61,9	4	5
7 Pollanum	63,1	8	6
8 Fabio + Imperio	55,0	9	6
9 Fabio + Pollanum	50,6	10	6
10 Dorike	31,9	13	3
Mittel:	42,8	16,1	5,1

Tabelle A 16: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Frühjahrsernte 2007 nach Herbstvornutzung

Datum	06.03.07	16.04.07	16.04.07	02.05.07	02.05.07	02.05.07	02.05.07
EC-Stadium	29-31						
Sorte	Stand v. Veg.beginn	EC Stadium	Wuchshöhe in cm	EC Stadium	Wuchshöhe in cm	lag. Fläche %	% Neigung
1 Lemtal - dipl.	7,5	34	68	49	96	50,0	43,8
2 Taurus - tetrapl.	7,5	37	59	49	103	76,3	55,0
3 Gemini - tetrapl.	7,3	34-37	54	43	101	11,3	25,0
4 Fabio - tetrapl.	7,8	34	59	49	103	80,0	52,5
5 Mondora - tetrapl.	7,5	34	63	51	103	67,5	52,5
6 Imperio - dipl.	5,3	34-37	65	51	103	23,8	27,5
7 Pollanum - tetrapl.	4,3	34-35	58	51	104	1,3	12,5
Mittel:	6,7		60,8		102	44,3	38,4

Tabelle A 17: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Frühjahrsernte 2008 nach Herbstvornutzung

Datum	01.04.09	04.05.09	04.05.09	04.05.09
EC-Stadium	WH 25-30 cm	vor der Ernte		
Sorte	Masse	Wuchshöhe in cm	lag. Fläche %	% Neigung
1 Lemtal	5,3	81,3	60	59
2 Taurus	6,8	86,3	38	46
3 Gemini	6,5	87,5	19	44
4 Fabio	6,0	88,8	40	38
5 Mondora	5,3	87,5	25	44
6 Imperio	4,5	87,5	60	65
7 Pollanum	5,5	95,0	23	31
8 Fabio+Imperio	6,0	90,0	63	44
9 Fabio+Pollanum	6,0	92,5	25	31
10 Dorike	6,5	91,3	10	6
Mittel:	5,8	88,8	36,1	40,8

Tabelle A 18: Bonituren vom Welschen Weidelgras, Einjährigen Weidelgras und Mischungen aus beiden zur Frühjahrsernte 2009 nach Herbstvornutzung

Datum	01.04.09	04.05.09	04.05.09	04.05.09
EC-Stadium	WH 25-30 cm	vor der Ernte		
Sorte	Masse	Wuchshöhe in cm	lag. Fläche %	% Neigung
Lemtal	5,3	81	60	59
Taurus	6,8	86	38	46
Gemini	6,5	88	19	44
Fabio	6,0	89	40	38
Mondora	5,3	88	25	44
Imperio	4,5	88	60	65
Pollanum	5,5	95	23	31
Fabio+Imperio	6,0	90	63	44
Fabio+Pollanum	6,0	93	25	31
Dorike	6,5	91	10	6
Mittel:	5,8	88,8	36,1	40,8

Tabelle A 19: Bonituren Wintergerste im Versuchsjahr 2007

Datum	05.03.07	12.04.07	12.04.07	12.04.07	25.05.07	25.05.07	25.05.07	25.05.07
EC-Stadium	EC 29				EC 75	EC 75	EC 75	EC 75
Sorte	Stand v. Veg.beginn	EC Stadium	Wuchshöhe in cm	Virusbefall	Wuchshöhe in cm	Strohbreife	Stand	Verunkrautung (Trespe)
1 Passion	7,00	31	33	1	71	2	8,8	3
2 Fridericus	7,75	31	33	2	99	2	8,8	2
3 Merylin	8,00	31-32	34	2	105	1	9,0	2
4 Reni	7,00	31-32	37	4	68	2	6,0	4
5 Finess	7,00	31	33	2	76	2	6,8	3
6 Alinghi	8,75	32-33	46	3	93	1	8,3	2
7 Lomerit	7,50	32	39	3	102	2	8,3	2
8 Emily	6,75	32	39	4	64	2	5,5	4
9 Campanile	7,00	32	35	4	68	2	4,5	4
10 Malwinta	7,50	32	38	2	66	2	5,0	4
Mittel:	7,4		36,7	2,6	81,1	1,8	7,1	2,9

Von Wdh a bis Wdh d: weniger Virus, weniger Staunässe, mehr Trespe

Tabelle A 20: Bonituren Wintergerste im Versuchsjahr 2008

Datum	31.03.08	31.03.08	15.05.08	09.06.08	09.06.08
EC-Stadium				79-83	79-83
Sorte	Masse	Virusbefall	Wuchshöhe in cm	Wuchshöhe in cm	Verunkrautung (Trespe)
Alinghi	7,75	2,50	92,00	106,50	0,25
Campanile	7,50	2,50	75,75	87,25	0,00
Emily	7,25	3,25	71,00	97,75	1,00
Finesse	7,50	4,50	75,00	89,50	1,50
Fridericus	7,00	2,00	90,75	108,75	0,25
Lomerit	7,75	3,00	103,25	116,25	0,00
Malwinta	7,50	3,50	77,75	91,50	1,75
Merilyn	7,25	2,50	78,25	113,25	0,00
Passion	7,50	4,00	74,75	88,67	1,00
Reni	7,00	4,25	83,50	107,50	0,00
Mittel:	7,4	3,2	82,2	100,7	0,6

Tabelle A 21: Bonituren Wintergerste im Versuchsjahr 2009

Datum	01.04.09	04.06.09
EC-Stadium	24	79-83
Sorte	Jugendent-wicklung	Wuchshöhe in cm
1 Passion	6,50	90,0
2 Fridericus	5,25	103,8
3 Merylin	5,00	107,5
4 Reni	6,00	94,4
5 Finess	6,25	88,1
6 Alinghi	6,75	105,6
7 Lomerit	5,50	105,0
8 Emily	6,00	86,9
9 Campanile	5,50	93,1
10 Malwinta	5,50	93,1
Mittel:	5,8	96,8

Tabelle A 22: Bonituren Wintertriticale im Versuchsjahr 2007

Datum	05.03.07	12.04.07	12.04.07	12.04.07	12.04.07	06.06.07	11.06.07	11.06.07
EC-Stadium	29-31					75	79-81	79-81
Sorte	Stand v. Veg.beginn	EC Stadium	Wuchshöhe in cm	Septoria unt. Bl.	Braunrost unt. Bl.	Wuchshöhe in cm	Strohreifereife	Septoria
1 Logo	7,3	33	45,9	1,5	1,0	120,0	1,0	2,0
2 Massimo	7,5	33	50,5	1,3	1,0	120,6	2,0	1,0
3 Agrano	7,0	32	51,0	2,0	1,0	113,8	2,0	1,0
4 Benetto	7,3	33	40,4	2,0	1,0	115,0	2,0	1,0
5 Magnat	7,0	32-33	42,1	2,0	1,0	116,3	1,0	3,5
6 Grenado	8,0	32-33	44,4	2,0	1,0	138,1	1,0	1,0
7 Tritikon	7,8	32	41,3	2,0	1,0	115,6	2,0	1,0
8 Talentro	7,5	32	35,6	2,0	2,3	116,3	2,0	1,0
9 Impetto	5,5	35	63,5	3,0	2,0	123,8	2,0	2,0
10 Trimester	7,3	32	39,3	1,3	1,0	104,4	1,5	1,0
Mittel:	7,2		45,4	1,9	1,2	118,4	1,7	1,5

Tabelle A 23: Bonituren Wintertriticale im Versuchsjahr 2008

Datum	31.03.08	15.05.08	15.05.08	23.06.08
EC-Stadium	EC 30			EC 75-79
Sorte	Masse	WH in cm	EC Stadium	WH in cm
1 Benetto	4,0	66,3	37-39	110,0
2 Agrano	5,5	78,8	49	111,9
3 Evolo (Roggen)	4,5	97,5	55	108,1
4 Talentro	4,5	70,0	39-49	105,6
5 Tritikon	5,3	71,3	49	110,6
6 Massimo	6,0	73,1	49-51	125,0
7 Magnat	5,0	71,9	37-39	107,5
8 Inpetto	5,0	61,3	37-39	107,5
9 Logo	4,8	81,3	49-51	109,4
10 Grenado	5,0	63,1	37	103,8
Mittel:	5,0	73,4		109,9

Tabelle A 24: Bonituren Wintertriticale im Versuchsjahr 2009

Datum	01.04.09	79-83
EC-Stadium	26	79-83
Sorte	Jugendent-wicklung	WH in cm
1 Benetto	6,5	115,0
2 Agrano	6,0	125,0
3 Pallazzo (Ro)	7,8	137,5
4 Talentro	6,0	111,3
5 Benetto (Sack)	5,0	116,3
6 Massimo	5,8	133,8
7 Magnat	6,0	114,4
8 Inpetto	5,5	116,3
9 Logo	6,5	126,3
10 Grenado	6,0	105,6
Mittel:	6,1	120,1

Tabelle A 25: Bonituren Winterweizen GPS im Versuchsjahr 2007

Datum	05.03.07	05.03.07	12.04.07	12.04.07	15.06.07	15.06.07	15.06.07	15.06.07
EC-Stadium	EC 24	EC 24			EC 79	EC 79	EC 79	EC 79
Sorte	Stand v. Veg.beginn	% Ausfalltriticale*	EC Stadium	Wuchshöhe in cm	Wuchshöhe in cm	Strohbreite	Fremdbesatz in % (Tritic.)	Fusarium
1 Winnetou	7,0	23	32,0	37,9	111,3	2,0	51,3	2,0
2 Tommi	6,8	8	31-32	34,9	101,9	3,0	57,5	1,5
3 Campari	7,0	21	31-32	38,9	93,8	3,0	72,5	1,3
4 Brilliant	6,3	13	31,0	33,3	89,9	3,0	66,3	1,0
5 Ephoros	6,3	18	31-32	30,3	105,0	3,0	57,5	1,0
6 Opus	6,8	12	31-32	36,0	114,4	2,0	51,3	1,0
7 Dekan	7,0	13	32,0	37,1	95,6	2,3	52,5	1,3
8 Türkis	7,0	14	31-32	42,4	104,4	2,0	67,5	1,0
9 Boomer	7,0	14	31-32	34,1	91,9	2,0	53,8	1,5
10 Buteo	6,0	23	33,0	39,4	104,0	2,3	57,5	1,0
Mittel:	6,8	15,6		36,4	101,2	2,5	58,8	1,3

* Triticale aus dem Vorjahresanbau, Ernte 2006, Versuchdesign wurde im Herbst 2006 angelegt.

Tabelle A 26: Bonituren Winterweizen GPS im Versuchsjahr 2008

Datum	31.03.08	23.06.08	31.03.08
EC-Stadium	EC 30	EC 75-79	EC 30
Sorte	Masse*)	WH in cm	Masse ohne Wdh 1
1 Winnetou	6,3	85,0	6,3
2 Tommi	6,0	85,0	6,0
3 Campari	6,0	73,8	6,0
4 Carenius	5,0	74,4	5,0
5 Ephoros	6,7	88,8	6,7
6 Marathon	4,7**)	88,8	5,3
7 Dekan	5,5**)	78,8	6,0
8 Mulan	5,0**)	78,8	5,7
9 Boomer	5,3**)	73,1	6,0
10 Buteo	5,5**)	76,9	6,3
Mittel:	5,5	80,3	5,9

*) Sorten 1-5 Boniturwert aus Wdh 2-4, in Wdh 1 sehr nasse Stellen ohne Weizen

***) Sorten 6-10 Boniturnwerte aus 4 Wdh, aber in Wdh 1 um bis zu 4 Noten schlechtere Werte

⇒ Verursacht durch nasse Stellen im Versuch, daher größerer Unterschied als in den anderen Wdh

Tabelle A 27: Bonituren Winterweizen GPS im Versuchsjahr 2009

Datum	01.04.09	25.06.09
EC-Stadium	25-26	79-83
Sorte	Jugend-entwicklung	WH in cm
1 Winnetou	6,5	95,0
2 Tommi	7,0	94,4
3 Primus	6,8	90,6
4 Carenius	5,0	84,4
5 Ephoros	7,0	97,5
6 Ararat	7,0	95,6
7 Dekan	7,0	90,6
8 Mulan	6,5	88,8
9 Boomer	6,0	84,4
10 Buteo	7,0	91,3
Mittel:	6,6	91,3

Tabelle A 28: Bonituren Sorghum im Versuchsjahr 2007

Datum	25.06.07	03.07.07			30.07.07	30.07.07	30.07.07	30.07.07	24.09.07
EC-Stadium	EC 13-14	EC 14			EC 21-26	EC 21-26	EC 21-26	EC 21-26	vor Ernte
Sorte	Stand n. Auflauf	Pflanzen / m ²	Saatmenge Kö/m ²	% Feldaufgang	Wuchshöhe in cm	Pfl.masse (Sudangras)	% Verunkrautung	Anz. Bestockungs- triebe/Pfl.	Wuchshöhe in cm
1 Sucrosorgho 506	4,8	16	23	71	38,1	4,0	47,5	1-3	235,0
2 King 61	5,3	38	55	68	45,6	5,3	62,5	4-5	217,5
3 Rona 1	4,0	14	25	54	35,0	2,5	52,5	3	190,0
4 Akklimat	5,8	43	140	31	36,9	2,8	42,5	3-4	181,3
5 Piper	6,5	53	130	41	44,4	3,0	63,8	4-6 (8)	183,8
6 Nutri honey	4,8	25	30	83	37,5	2,8	55,0	5-6	193,8
7 Goliath	5,0	19	35	55	45,6	6,3	46,3	0-1	257,5
8 Frugal	4,0	14	30	47	36,3	2,3	62,5	3-4	185,0
9 Friggo	5,3	27	43	63	34,4	4,3	47,5	2-3 (4)	118,8
10 Supersile 20	4,3	18	23	77	27,5	2,0	65,0	2-3	142,5
11 Susu	4,0	30	55	54	38,1	3,5	55,0	4-5	215,0
12 Lussi	6,8	39	23 kg		58,1	7,0	55,0	4-6	247,5
Gesamtergebnis	5,0	28			39,8	3,8	54,6		197,3

Tabelle A 29: Bonituren Sorghum im Versuchsjahr 2008

Datum	17.07.08	17.07.08	23.09.08	23.09.08	23.09.08
EC-Stadium	EC 14-15	EC 14-15			
Sorte	Anz. Pflanzen/m ²	Jugendentwicklung	Wuchshöhe in cm	Rispschieben	Krankheiten
1 Sucrosorgho	23,6	7,0	250,0	1,0	3,0
2 King 61	39,8	5,8	230,0	7,3	2,8
3 Rona 1	23,3	4,5	235,0	4,3	1,0
4 Akklimat	80,1	4,3	207,5	6,8	6,3
5 Piper	84,0	5,0	212,5	9,0	8,8
6 Nutri honey	29,9	4,0	222,5	6,3	2,5
7 Goliath	26,9	7,5	285,0	1,0	2,0
8 Friggo	38,8	5,0	125,0	9,0	1,3
9 Supersile 20	26,8	4,5	177,5	1,0	2,0
10 Susu	53,3	6,0	230,0	7,5	2,8
GK Emese	27,8	5,3	160,0	9,0	1,0
Gardavan	40,6	6,5			
Lussi	53,6	8,0	290,0	9,0	2,8
Gesamtergebnis	42,2	5,6	214,0	5,9	3,0

Tabelle A 30: Bonituren Sorghum im Versuchsjahr 2009

Datum		13.07. 09	15.07. 09	23.07. 09	23.07. 09	05.10. 09	05.10. 09	05.10. 09	05.10. 09	05.10. 09
EC-Stadium				13-15	13-15					
Sorte	Auflaufdatum	Phytotoxine	Pflanzen / m ²	Jugend- wicklung	Stand Parzelle	WH in cm	Rispen- schieben	% Lager	% Neigung	Pilzbefall
1 Sucrosorgho	21.06.09	2,0	43,0	7,3	4	295	7,0	33	28	2
2 True	19.06.09	4,0	74,5	4,5	5	255	9,0	3	6	4
3 Rona 1	19.06.09	2,3	23,3	4,8	4	253	8,5	44	39	2
4 Akklimat	20.06.09	3,8	66,9	3,5	5	255	9,0	33	14	6
5 Piper	19.06.09	4,3	173,0	6,5	7	250	9,0	0	0	8
6 Maja	21.06.09	2,0	21,3	4,8	4	323	8,0	5	5	1
7 Goliath	19.06.09	2,3	28,5	8,0	7	300	7,0	45	33	1
8 Lussi	20.06.09	2,5	68,4	6,3	7	268	8,0	0	0	2
9 Supersile 20	20.06.09	2,0	19,9	3,8	3	240	7,5	0	0	1
10 Susu	20.06.09	2,0	39,5	4,3	4	275	9,0	0	0	1
R Friggo		2,4	33,1	5,3	6	137	9,0	0	0	1
R GK Emese		4,4	18,4	4,8	4	143	9,0	0	0	1
R Lussi		2,8	73,4	5	5					
Mittel:		2,0	52,5	5,3	5,0	254,1	8,3	14	11	2,4

Tabelle A 31: Bonituren Sonnenblumen im Versuchsjahr 2007

Datum	25.06.07	27.06.07	24.09.07
EC-Stadium	EC 14	EC 14	vor Ernte
Sorte	Stand n. Auflauf	Anz. Sonnenbl./m ²	Wuchshöhe in cm
1 Allison	5,8	6,1	200,0
2 ES Elektra	7,3	5,3	201,3
3 Pegasol	6,8	5,5	185,0
4 Tournesol	7,8	6,1	185,0
5 Rumbasol	4,3	4,4	196,3
6 Heliaroc	6,8	6,4	178,8
7 Methasol	7,0	5,8	203,8
8 Albatre	8,0	6,3	205,0
9 ES Petunia	8,0	7,8	191,3
10 ES Karamba	6,5	4,8	197,5
Mittel:	6,8	5,8	194,4

Tabelle A 32: Bonituren Sonnenblumen im Versuchsjahr 2008

Datum	17.07.08	17.09.08
EC-Stadium	EC 18-19	
Sorte	Anz. Pflanzen/m ²	Wuchshöhe in cm
1 Sucrosorgho	10,0	202,5
2 King 61	9,1	222,5
3 Rona 1	10,0	192,5
4 Akklimat	8,6	210,0
5 Piper	9,4	185,0
6 Nutri honey	7,6	220,0
7 Goliath	10,3	220,0
8 Friggo	9,5	177,5
9 Supersile 20	9,1	197,5
10 Susu	9,1	197,5
Gesamtergebnis	9,3	202,5

Tabelle A 33: Bonituren Sonnenblumen im Versuchsjahr 2009

Datum		09.07.09	16.09.09
EC-Stadium		12-13	
Sorte	Auflaufdatum	Anz. Pflanzen/m ²	WH in cm
1 Allison	21.06.09	8,0	196,3
2 ES Elektra	20.06.09	7,5	196,3
3 Pegasol	20.06.09	8,9	183,8
4 Rumbasol	20.06.09	8,8	185,0
5 Metharoc	19.06.09	8,8	232,5
6 EC Magnific	20.06.09	9,1	201,3
7 Albatre	19.06.09	9,9	183,8
8 Rigasol	20.06.09	10,0	177,5
9 Joana	19.06.09	9,5	187,5
Mittel:		8,9	193,8

Tabelle A 34: Bonituren Futterraps und Markstammkohl im Versuchsjahr 2007

Datum	25.06.07	31.07.07	31.07.07	31.07.07	31.07.07	05.09.07	05.09.07	05.09.07
EC-Stadium	EC 11	EC 15	EC 15	EC 16	EC 16	vor Ernte	vor Ernte	vor Ernte
Sorte	Stand n. Auflauf	Jugendentwicklung (Raps)	% Verunkrautung (Raps)	Anz. Pfl./m ² (Markstammkohl)	% Verunkrautung (Markstammkohl)	Stand vor Ernte	WH in cm	% Verunkrautung
1 Campari (Raps)	6,8	7,3	41,3			4,5	57,5	36,3
2 Molino (Raps)	7,5	7,0	26,3			3,5	106,3*)	17,5
3 Mikonos (Raps)	7,0	6,8	26,3			3,3	60,0	33,8
4 Licapo (Raps)	6,8	7,3	42,5			3,0	50,0	52,5
5 Akela (Raps)	7,0	7,8	50,8			4,3	47,5	48,8
6 Sparta (Raps)	7,8	7,8	36,3			3,8	46,3	40,0
7 Camaro (Markstammkohl)	6,3			7,5	50,0	2,8	66,3	93,3
8 Furchenkohl (Markstammkohl)	7			9,5	48,8	2,5	62,5	95,0
9 Markola (Markstammkohl)	7			10,1	47,5	2,5	66,3	91,0
10 Grüner Angeliter (Markstammkohl)	6			8,1	37,5	2,5	66,3	87,0
Mittel:	6,9	7,3	37,2	8,8	45,9	3,3	62,9	59,5

*) Molino Wuchshöhe mit Blüten- und Schotenständen gemessen (05.09.2007)

Tabelle A 35: Bonituren Futterraps und Markstammkohl im Versuchsjahr 2008

Datum	11.09.08	11.09.08	11.09.08
EC-Stadium			
Sorte	Wuchshöhe	% Schoßanteile	% Verunkrautung
1 Campari (Raps)	58,8	0,0	1,8
2 Molino (Raps)	62,5	17,5	0,0
3 Mikonos (Raps)	68,8	0,3	0,8
4 Licapo (Raps)	55,6	0,0	2,0
5 Akela (Raps)	45,6	0,0	1,0
6 Sparta (Raps)	55,6	0,0	1,5
7 Camaro (Markstammkohl)	75,0		18,8
8 Furchenkohl (Markstammkohl)	60		53,75
9 Markola (Markstammkohl)	81,25		8,25
10 Grüner Angeliter (Markstammkohl)	75		17,5
Mittel:	63,8	3,0	10,5

Tabelle A 36: Bonituren Grobleguminosen (-gemenge) im Versuchsjahr 2007

Datum	25.06.07	25.06.07	30.07.07	30.07.07	29.08.07	29.08.07	03.09.07	03.09.07
EC-Stadium	EC 12	EC 12	EC *)	EC *)	vor Ernte	vor Ernte	vor Ernte	vor Ernte
Sorte	Stand n. Auflauf	Stand n. Auflauf	Jugendentwicklung	% Verunkrautung	Wuchshöhe in cm	% Verunkrautung	Stand	Stand
1 Scirocco - AB	5,0	5,0	7,3	18,8	82,5	36,3	2,0	8,0
2 Condor - AB	5,0	5,0	6,5	22,5	100,0	15,0	4,0	6,0
3 Gloria - AB	3,3	6,8	5,5	22,5	83,8	26,3	5,3	4,8
4 Berninova - SW + HA	6,8	3,3	3,8	36,3	26,3	86,3	2,0	8,0
5 Livioletta - FE	8,0	2,0	6,3	17,5	81,3	11,3	5,3	4,8
6 Florida - FE	7,0	3,0	5,3	25,0	73,8	23,8	3,8	6,3
7 AB + FE + SW	6,5	3,5	5,3	22,5	76,3	32,5	4,5	5,5
8 Condor - AB + HA	4,8	5,3	5,0	22,5	96,3	27,5	4,3	5,8
9 Condor + Liviol. - AB + FE + HA	6,0	4,0	5,8	18,8	81,3	20,0	5,0	5,0
10 Livioletta - FE + HA	7,3	2,8	5,3	28,8	81,3	30,0	4,0	6,0
Mittel:	6,0	4,1	5,6	23,5	78,3	30,9	4,0	6,0

*) EC: AB 60 FE 34 SW 34 (30.07.2007)

Tabelle A 37: Bonituren Grobleguminosen (-gemenge) im Versuchsjahr 2008

Datum	03.09.2008	03.09.2008	03.09.2008	03.09.2008
EC-Stadium				
Sorte	WH in cm	% lag. Fläche	% Neigung	Krankheiten
1. Scirocco - AB	108,8	0,0	0,0	8,0
2. Condor - AB	123,1	0,0	0,0	6,5
3. Gloria - AB	106,9	0,0	0,0	4,8
4. Berninova - SW + Hafer	34,4	80,0	78,8	1,0
5. Livioletta - FE	68,1	72,5	68,8	8,0
6. Florida - FE	50,6	100,0	75,0	8,0
7. Mischung AB + FE + SW	66,3	65,0	73,8	7,8
8. Condor - AB + Florida - FE	96,3	85,0	63,8	8,0
9. Condor - AB + Livioletta - FE	77,5	75,0	67,5	8,0
10. Livioletta - FE + Hafer	71,9	58,8	71,3	8,0
Mittel:	80,4	53,6	49,9	6,8

Krankheiten:

Ackerbohnen: Rost, Schokoladenflecken

Futtererbsen: Mehltau

Sommerwicke: gesund

Tabelle A 38: Bonituren Grobleguminosen (-gemenge) im Versuchsjahr 2009

Datum	16.09.2009	28.09.2009	28.09.2009	28.09.2009
EC-Stadium				
Sorte	Krankheiten	WH in cm	% Lager	% Neigung
1. Scirocco - AB	7,5	77,5	0,0	0,0
2. Condor - AB	4,8	92,5	0,0	0,0
3. Gloria - AB	5,3	70,6	0,0	0,0
4. Berninova - SW + Hafer	1,0	62,5	33,8	31,3
5. Livioletta - FE	3,0	66,3	37,5	56,3
6. Florida - FE	5,0	50,0	80,0	68,8
7. Mischung AB + KE + SW	2,8	50,6	85,0	62,5
8. Condor - AB + Florida - FE	4,5	79,4	53,8	43,8
9. Condor - AB + Livioletta - FE	3,8	85,0	40,0	50,0
10. Livioletta - FE + Hafer	4,0	51,9	68,8	52,5
Mittel:	4,2	68,6	39,9	36,5

Tabelle A 39: Bonituren Zweitfruchtmais im Versuchsjahr 2007

Datum	24.09.07	24.09.07
EC-Stadium		
Sorte	Abreife	WH in cm
1 Asteri CS	3,0	270,0
2 EGZ 6206	3,0	257,5
3 SM Masetto	4,3	252,5
4 KXA 7132	3,0	300,0
5 MGM 132241	2,8	285,0
6 DKC 3472	3,0	285,0
7 Taxxa	2,0	275,0
8 SUM 1306	3,3	270,0
9 Bredero	2,8	267,5
10 Kalvin	3,3	242,5
Mittel:	3,0	270,5

Tabelle A 40: Bonituren Zweitfruchtmais im Versuchsjahr 2008

Datum	15.09.08	24.09.08
EC-Stadium		
Sorte	WH in cm	Abreife
1 Aabsolut	285,0	6,5
2 Asteri CS	312,5	4,8
3 Bredero	302,5	5,8
4 DKC 3472	322,5	6,5
5 LG3277	297,5	6,5
6 Calvin	285,0	6,8
7 KXA 7211	337,5	5,3
8 MGM 125262	310,0	5,3
9 NK Magitop	292,5	6,0
10 RH0777	295,0	5,0
Mittel:	304,0	5,8

Tabelle A 41: Bonituren Zweitfruchtmais im Versuchsjahr 2009

Datum	13.07.09	13.07.09	16.09.09	01.10.09
EC-Stadium				
Sorte	% lag. Fläche	% Neigung	WH in cm	Abreife
1 Asteri CS	53	25	260,0	6,5
2 Fernandez	9	14	310,0	5,3
3 Bredero	28	19	257,5	6,0
4 MGM 158658	1	3	282,5	4,0
5 DKC 3399	33	16	285,0	5,8
6 NK Cooler	55	38	270,0	6,0
7 Calvin	50	24	237,5	5,8
8 NK Magitop	3	3	245,0	5,3
9 LG 3277	34	23	257,5	5,0
10 Aabsolut	55	25	250,0	5,0
Mittel:	32	19	265,5	5,5

Tabelle A 42: Bonituren Mais im Monoanbau im Versuchsjahr 2007

Datum	20.09.07	20.09.07
EC-Stadium		
Sorte	Abreife	WH in cm
1 CSM 5705	2,8	300,0
2 Atletico	3,3	298,8
3 KXA 7262	4,0	297,5
4 Ingrid	4,3	282,5
5 LZM 456/21	2,3	297,5
6 DKC 3871	2,3	282,5
7 DKC 6022	2,0	300,0
8 PR34B39	2,0	287,5
9 SUM 1306	5,0	280,0
10 NK Magitop	5,0	277,5
Mittel:	3,3	290,4

Tabelle A 43: Bonituren Mais im Monoanbau im Versuchsjahr 2008

Datum	09.09.08	09.09.08
EC-Stadium		
Sorte	Abreife	WH in cm
1 Aabsolut	3,5	287,5
2 Asteri CS	3,0	307,5
3 Cannavaro	2,0	337,5
4 CSM 5705	2,0	330,0
5 DKC 3871	2,0	310,0
6 ES Paroli	5,0	305,0
7 Midixx	2,0	317,5
8 NK Magitop	3,8	297,5
9 PR34B39	2,0	327,5
10 SM 60160	4,3	290,0
Mittel:	3,0	311,0

Tabelle A 44: Bonituren Mais im Monoanbau im Versuchsjahr 2009

Datum	26.05.09	13.07.09	13.07.09	16.09.09	16.09.09	16.09.09	16.09.09
EC-Stadium							
Sorte	Nährstoffmangel	% lag. Fläche	% Neigung	WH in cm	Abreife	% lag. Fläche	% Neigung
1 Asteri CS	5,8	95	51	220,0	3,8	50,0	31,3
2 Cannavaro	2,8	93	69	245,0	2,3	36,3	23,8
3 Hookera	4,8	83	40	230,0	2,8	25,0	12,5
4 PR34B39	5,3	80	49	300,0	2,0	0,0	0,0
5 DKC 3399	6,0	84	58	230,0	3,5	20,0	12,5
6 DKC 5542	2,0	89	53	270,0	2,0	0,0	0,0
7 EGZ 8209	5,5	63	56	245,0	3,8	25,0	8,8
8 NK Oktet	7,0	66	45	235,0	7,3	17,5	8,8
9 Scandi	2,0	25	24	292,5	2,3	0,0	0,0
10 NK Cooler	3,8	45	45	250,0	5,5	20,0	20,0
Mittel:	4,5	72	49	251,8	3,5	19,4	11,8

Tabelle A 45: Inhaltstoffe, Gärrestanfall und Humuswirkung der Gärreste der verschiedenen Fruchtfolgen

Bewertung Gärrest	TS %	kg/m ³ N	kg/m ³ P ₂ O ₅	kg/m ³ K ₂ O	Gärrestanfall (m ³)	Humuswirkung (kg)
Fünffeldrige Fruchtfolge	11,86	5,27	2,31	5,64	59	886
Stetiger Fruchtwechsel	10,89	4,86	1,92	6,12	76	995
Monokultur	9,83	4,97	2,34	6,66	58	718

Tabelle A 46: Rohaschegehalte der untersuchten Pflanzenarten

		XA	
		Anzahl	Mittelwert
Fruchtart	Futerraps	12	12,31
	Grobleguminosen(-gemische)	30	9,30
	Grünroggen	24	7,75
	Mais (früh)	30	3,96
	Mais (Spät)	30	3,74
	Markstammkohl	4	10,85
	Sonnenblumen	29	10,46
	Sorghum	32	7,09
	Triticale	30	5,32
	Welsche Weidelgras (Herbst)	30	11,53
	Welsches Weidelgras	28	9,30
	Wintergerste	30	5,36
	Winterweizen	30	5,25

Materialbereitstellung und Anbauversuche einschließlich einer ökonomischen Bewertung

Tabelle A 47: Ökonomischen Auswertung und Kostenübersicht der Fruchtfolge 1

Fruchtfolge 1	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3
Hauptfrucht	Wraps (Korn) €/ha	WW (Korn) €/ha	WG (Korn) €/ha
Variable Kosten der Arbeitserledigung			
Variable Maschinenkosten	114,84	119,23	138,35
Maschinenmiete, Lohnarbeit	134,74	125,37	121,66
Summe Var. Kosten der Arbeitserledigung	249,58	244,60	260,01
Direktkosten	419,58	428,75	396,08
Summe Variable Kosten	669,16	673,35	656,09
Fixe Kosten			
Arbeit	72,23	74,59	80,82
Fläche	500,00	500,00	500,00
Technische Einrichtungen, Maschinen	81,39	85,58	91,59
Summe fixe Kosten	653,62	660,17	672,41
Produktionskosten (Variable + fixe Kosten)	1322,78	1333,52	1328,50
Arbeitszeitbedarf	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha
Ständige AK insgesamt	4,82	4,97	5,39
Leistungen/Kosten/Erfolgsgroßen	Kwh/ha el.	Kwh/ha el.	Kwh/ha el.
Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnung			
Leistungen (kWh/ha el.)	41,00	95,00	90,00
Variable Kosten (€/ha)	669,16	673,35	656,09
variable Produktionskosten (ct/kWh el. bzw. ct/dt)	1632,10	708,79	728,99
Produktionskosten (ct/kWh el. bzw. ct/dt Erntegut)	3226,30	1403,71	1476,11
Marktleistung bei Kornverkauf	1234,10	1624,50	1350,00

Tabelle A 48: Ökonomischen Auswertung und Kostenübersicht der Fruchtfolge 2

Fruchtfolge 2	Jahr 1 Mais (Mono) (Silage) €/ha	Jahr 2 Mais (Mono) (Silage) €/ha	Jahr 3 WW (Korn) €/ha	Jahr 4 WG (Korn) €/ha
Hauptfrucht				
Variable Kosten der Arbeitserledigung				
Variable Maschinenkosten	118,66	118,66	119,23	138,35
Maschinenmiete, Lohnarbeit	421,13	421,13	231,60	160,43
Summe Var. Kosten der Arbeitserledigung	539,79	539,79	350,83	298,78
Direktkosten	363,83	363,83	294,34	230,48
Summe Variable Kosten	903,61	903,61	645,17	529,26
Fixe Kosten				
Arbeit	73,76	73,76	74,59	80,82
Fläche	500,00	500,00	500,00	500,00
Technische Einrichtungen, Maschinen	78,08	78,08	85,58	159,05
Summe fixe Kosten	651,84	651,84	660,17	739,87
Produktionskosten (Variable + fixe Kosten)	1555,45	1555,45	1305,35	1269,13
Arbeitszeitbedarf				
Ständige AK insgesamt	Akh/ha 4,92	4,92	Akh/ha 4,97	Akh/ha 5,39
Leistungen/Kosten/Erfolgsgrößen				
Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnung				
Leistungen (kWh/ha el.)	Kwh/ha el. 29936,49	29936,49	Kwh/ha el. 95,00	Kwh/ha el. 90,00
Variable Kosten (€/ha)	903,61	903,61	645,17	529,26
variable Produktionskosten (ct/kWh el. bzw. ct/dt)	3,02	3,02	679,13	588,07
Produktionskosten (ct/kWh el. bzw. ct/dt Erntegut)	5,20	5,20	1374,05	1410,15
Marktleistung bei Kornverkauf			1624,50	1350,00

Materialbereitstellung und Anbauversuche einschließlich einer ökonomischen Bewertung

Tabelle A 49: Ökonomischen Auswertung und Kostenübersicht der Fruchtfolge 3

Fruchtfolge 3	Jahr 1		Jahr 2		Jahr 3		Jahr 4		Jahr 5		Jahr 6		Jahr 7		Jahr 8	
	WW (Korn) €/ha	AB + FE (GPS) €/ha	Mais (Mono) (Silage) €/ha	AB (Korn) €/ha	Triticale (GPS) €/ha	Wgras (H+Fr) (GPS) €/ha	Mais (Spät) (Silage) €/ha	WG (Korn) €/ha	Wraps (Korn) €/ha	Wgras (H+Fr) (GPS) €/ha	Mais (Spät) (Silage) €/ha	Wraps (Korn) €/ha	Wgras (H+Fr) (GPS) €/ha	Mais (Spät) (Silage) €/ha		
Variable Kosten der Arbeitserledigung	112,87	51,80	79,11	66,10	100,97	0,00	64,59	108,71	108,66	28,13	64,59	108,66	28,13	64,59		
Variable Maschinenkosten	232,18	150,18	431,84	118,38	331,40	457,85	412,54	221,46	240,97	457,85	412,54	240,97	457,85			
Maschinenmiete, Lohnarbeit																
Summe Var. Kosten der Arbeitserledigung	345,05	201,98	510,95	184,48	432,37	457,85	477,13	330,17	349,63	485,98	477,13	349,63	485,98			
Direktkosten	209,32	74,15	315,74	151,72	326,38	130,00	135,53	182,43	199,18	178,00	311,53	199,18	178,00			
Summe Variable Kosten	554,37	276,12	826,69	336,20	758,74	587,85	612,66	512,60	548,81	663,98	788,66	548,81	663,98			
Fixe Kosten																
Arbeit	68,06	29,10	48,45	37,80	60,45	40,65	41,25	65,06	65,85	13,50	41,25	65,85	13,50			
Fläche	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00			
Technische Einrichtungen, Maschinen	81,90	33,53	58,02	50,87	69,09	41,35	56,20	75,56	77,82	25,13	56,20	77,82	25,13			
Summe fixe Kosten	649,96	62,63	606,47	588,67	629,54	82,00	597,45	640,62	643,67	38,63	597,45	643,67	38,63			
Produktionskosten (Variable + fixe Kosten)	1204,33	338,75	1433,16	924,87	1388,28	669,85	1210,11	1153,22	1192,48	702,61	1386,11	1192,48	702,61			
Arbeitszeitbedarf	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha	Akh/ha			
Ständige AK insgesamt	4,54	1,94	3,23	2,52	4,03	2,71	2,75	4,34	4,39	0,90	2,75	4,39	0,90			
Leistungen/Kosten/Erfolgsgroßen	Kwh/ha el.	Kwh/ha el.	Kwh/ha el.	Kwh/ha el.	Kwh/ha el.	Kwh/ha el.	GJ/ha el.	GJ/ha el.	GJ/ha el.	GJ/ha el.	GJ/ha el.	GJ/ha el.	GJ/ha el.			
Kennzahlen der Deckungsbeitragsrechnung																
Leistungen (kWh/ha el.)	95,00	3517,46	29490,20	57,00	16369,55	12621,58	25473,57	90,00	41,00	12621,58	25473,57	41,00	12621,58			
Variable Kosten (€/ha)	554,37	276,12	826,69	336,20	758,74	587,85	612,66	512,60	548,81	663,98	788,66	548,81	663,98			
variable Produktionskosten (ct/kWh el. bzw. ct/dt)	583,55	7,85	2,80	589,82	4,64	4,66	2,41	569,55	1338,55	5,26	3,10	1338,55	5,26			
Produktionskosten (ct/kWh el. bzw. ct/dt Erntegut)	1267,72	9,63	4,86	1622,57	8,48	5,31	4,75	1281,35	2908,48	5,57	5,44	2908,48	5,57			
Marktleistung bei Kornverkauf	1624,50			1026,00				1350,00	1234,10			1234,10				

Teilprojekt 3

Biogaserträge in Laborversuchen – Fragen zur Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit (FKZ: 22019205)

**Projektleitung: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der
Landwirtschaft e.V. (KTBL)**

Dipl.-Ing. Helmut Döhler

Dr. Sebastian Wulf

Projektlaufzeit: 10.04.2007 – 31.03.2010

Berichtszeitraum: 10.04.2007 – 31.03.2010

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
1 Ziele des Teilprojektes.....	1
2 Voraussetzungen zu Projektbeginn	1
3 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	1
4 Ringversuch Biogaserträge	2
4.1 Methodisches Vorgehen.....	2
4.2 Ergebnisse der Versuchsdurchgänge.....	5
4.3 Fragebogen Systemparameter	8
4.4 Relevante Einzelparametern für die Methodenbeschreibung	10
4.5 Erstellung der Methodenvorschrift	12
5 Richtwerte zu Gaserträgen.....	12
5.1 Vorgehen.....	12
5.2 Ergebnisse.....	16
6 Ausblick	21
7 Literatur	21
8 Anhang.....	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vergleich der Gaserträge für Zellulose in den drei Durchgängen..... des Ringversuchs	5
Abbildung 2:	Biogaserträge aus Zellulose. Vergleich der Versuchsergebnisse aus dem..... 1. und 2. Durchgang des Ringversuchs für die einzelnen Labore	6
Abbildung 3:	Vergleich der Gaserträge für Gras in Durchgang 2 und 3 des Ringversuchs	6
Abbildung 4:	Vergleich der Gaserträge für Mais in Durchgang 2 und 3 des Ringversuchs.....	7
Abbildung 5:	Variationskoeffizienten (CV) für die Ergebnisse im Biogasertrag zwischen	
	den am Ringversuch teilnehmenden Laboren für Cellulose, Gras und Mais..	7
Abbildung 6:	Antworten zu ausgewählten Fragen des Fragebogens. Anzahl der	
	Antworten von 17 Rückläufen.....	9
Abbildung 7:	Rohstoffausnutzung der Bewerberanlagen für den Bundeswettbewerb..... Biogas 2008	13
Abbildung 8:	Anzahl Datensätze in den verschiedenen Substratkategorien	15
Abbildung 9:	Anzahl Substrat nach Stichprobenumfang	15
Abbildung 10:	Verteilung der Laborergebnisse zu Gras, Maissilage, Sorghum-Silage	
	und Getreidesilage.....	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	An den Ringversuchen beteiligte Labore	3
Tabelle 2:	Mitglieder der KTBL-Arbeitsgruppe „Ringversuch Biogaserträge“	4
Tabelle 3:	Mitglieder der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“	12
Tabelle 4:	Mittelwerte für Trockenmassen, Biogas- und Methanerträge	
	aus Laborversuchen mit ausgewählten Substraten	17
Tabelle 5:	Richtwerte für die Gasausbeute landwirtschaftlicher Biogasanlagen ..	19

1 Ziele des Teilprojektes

Mit Hilfe eines Ringversuches soll geklärt werden, wie in Gärversuchen, die auf Basis der VDI-Richtlinie „Vergärung organischer Stoffe“ (VDI 2006) durchgeführt werden, Unterschiede in den Versuchsergebnissen reduziert werden können. Zudem sollen aus Ergebnissen von batch-Gärversuchen aktuelle allgemeingültige Richtwerte der Gasausbeute abgeleitet werden, die als Grundlage zur Auslegung und betrieblichen Optimierung von Biogasanlagen verwendet werden können. Die Ziele im Einzelnen sind:

- Identifikation von Ursachen für Abweichungen in den Messergebnissen bei der Bestimmung des Biogasertrags.
- Anpassung der Messverfahren und Erarbeitung von Vorschlägen für eine VDLUFA-Methodenvorschrift, die einfach aufgebaut ist und helfen soll Fehlerquellen zu vermeiden. Die Vergleichbarkeit zwischen Ergebnissen verschiedener Labore soll somit verbessert werden.
- Überarbeitung des KTBL-Heftes Nr. 50 "Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen"

2 Voraussetzungen zu Projektbeginn

Die Produktion und Nutzung von Biogas hat seit der Neufassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) zum 1.08.2004 durch Errichtung weiterer Biogasanlagen deutlich zugenommen. Bei der Auslegung und der betrieblichen Optimierung dieser Anlagen werden im Allgemeinen Daten aus Gärversuchen zusammen mit Informationen und Erfahrungswissen aus vorhandenen Anlagen herangezogen. Die Ergebnisse der bisher im Labor durchgeführten Gärversuche sind zur Ermittlung der Gaserträge nicht ohne weiteres vergleichbar, da oft unterschiedliche Versuchsbedingungen zugrunde gelegt werden und bestimmte Begriffe bisher z. T. nicht klar voneinander abgegrenzt sind.

Auch bei Beachtung der VDI-Richtlinie 4630 (VDI 2006) muss mit abweichenden Ergebnissen durch Unterschiede bei Gärversuchen in den verschiedenen Laboren gerechnet werden. Solche Ertragsunterschiede sind bei der Gegenüberstellung unterschiedlicher Laborergebnisse festgestellt worden. Die beträchtlichen Abweichungen (große Variationskoeffizienten) konnten durch die Unterschiede in den Ausgangsmaterialien oder der Versuchsdurchführung alleine nicht erklärt werden.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt gliedert sich in zwei Teilaufgaben:

- die Durchführung eines Ringversuchs und der Erarbeitung einer Methodenvorschrift aus den hieraus gewonnenen Erkenntnissen.

- die Sammlung von aktuellen Gasertragsdaten für ein möglichst umfassendes Substratspektrum, deren statistische Auswertung und die Ableitung von Richtwerten für die Gasausbeute. Auf Grundlage dieser Daten soll eine Neuauflage des Heftes „Gasausbeute landwirtschaftlicher Biogasanlagen“ erscheinen.

Im Rahmen beider Teilaufgaben wurde jeweils eine KTBL-Arbeitsgruppe gegründet, welche die inhaltliche Arbeit unterstützt. Im Rahmen der Projektlaufzeit fanden 2-3 Sitzungen der jeweiligen Arbeitsgruppen statt. Die erarbeitete Methodenvorschrift wurde zu Projektende dem zuständigen VDLUFA-Gremium zur Übernahme als Verbandsmethode zur Verfügung gestellt.

Die Arbeiten zur ersten Teilaufgabe (Ringversuch) wurden zum Großteil vor Beginn der Arbeiten zur zweiten Teilaufgabe (Gasertragsdaten) abgeschlossen, damit Erkenntnisse über Probleme in der Durchführung von Gärversuchen bei der Auswertung der Gasertragsdaten berücksichtigt werden konnten.

4 Ringversuch Biogaserträge

4.1 Methodisches Vorgehen

Eingesetzte Substrate

Es wurden 3 Durchgänge zum Ringversuch durchgeführt, wobei Substrate zunehmender Komplexität zum Einsatz kamen.

1. Zellulose und getrocknetes, geschrotetes Getreide
2. getrocknete, gemahlene Silagen (Grassilage und Maissilage) und Zellulose
3. frische, gefrorene Silagen (Grassilage, Maissilage) und Zellulose

Die zunehmenden Anforderungen im Einsatz und der Vergärung der Substrate sollten dazu dienen, problematische Einzelschritte in der Versuchsdurchführung besser identifizieren zu können. Die in jedem Durchgang als Substrat verwendete Zellulose sollte einen Vergleich zwischen einzelnen Durchgängen ermöglichen.

Versand des Probenmaterials und Durchführung der Gärversuche

Nach Abfrage der Labore über ihre Bereitschaft zur Teilnahme an dem jeweiligen Durchgang wurden die entsprechenden Probenmengen durch die VDLUFA-NIRS-GmbH beschafft und zum Versand aufbereitet. Dies umfasste eine Homogenisierung des Probenmaterials, so dass an alle Labore identisches Material verschickt werden konnte. Der Versand der Proben erfolgte nach Vorankündigung, so dass in allen Laboren eine unverzügliche Annahme und Lagerung bzw. Weiterverarbeitung des Probenmaterials geplant werden konnte.

Die Gärversuche wurden in allen Laboren mit den jeweils vor Ort gebräuchlichen Methoden vergoren. Diese Methoden basierten auf der VDI 4630. Im Projektverlauf wurden in einzelnen Laboren aufgrund der Ergebnisse einzelner Durchgängen Anpassungen in Versuchsdurchführung oder –auswertung vorgenommen.

Insgesamt nahmen 29 Labore an den Ringversuchen teil (Tabelle 1). Die meisten Labore waren an allen 3 Durchgängen beteiligt, einige wurden erst im Projektverlauf auf den Ringversuch aufmerksam, hatten großes Interesse an einer Teilnahme und wurden daher mit aufgenommen.

Tabelle 1: An den Ringversuchen beteiligte Labore

- Ag FUKO, LWK Hannover
- ATB Bornim, Potsdam-Bornim
- CUTEK, Claustal-Zellerfeld
- B3, Potsdam
- BOLAMIX, Leideneck
- FAL Braunschweig, Braunschweig
- FHI UMSICHT, Oberhausen
- FHI IKTS, Dresden
- HAWK, Göttingen
- gewitra, Bonn
- Institut Energetik, Leipzig
- Institut Esch, Saalfeld IS Forschungsgesellschaft, Wahlstedt
- Landwirtschaftliches Labor Janssen, Gieboldehausen
- LEAF, Niederlande
- LfL Freising
- LfL Sachsen, Leipzig
- LHL Eichhof, Bad Hersfeld
- LUFA Nord-West, Oldenburg
- LUFA Rheinland-Pfalz, Speyer
- LUFA Rostock, Rostock
- MT-Energie, Rockstedt
- Plancotec, Neu-Eichenberg
- Schmack, Schwandorf
- TLL, Dornburg
- TU Bergakademie Freiberg, Freiberg
- Universität Stuttgart-Hohenheim
- Universität Kiel
- Universität Rostock
- Universität Wien, Österreich

Auswertung und Verwendung der Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse wurden durch die VDLUFA-NIRS GmbH statistisch ausgewertet und vom Auftragnehmer aufgearbeitet. Eine Vorauswertung mit Rückschlüssen auf Problemfelder der Versuchsdurchführung wurde an die Mitglieder einer hierzu gegründeten KTBL-Arbeitsgruppe (Tabelle 2) übermittelt.

Tabelle 2: Mitglieder der KTBL-Arbeitsgruppe „Ringversuch Biogaserträge“

Name	Institution
Dr. Manfred Bischoff (stellv. Vorsitzender)	LUFA Nord-West, Oldenburg
Dr. Joachim Clemens	Institut für Pflanzenernährung, Universität Bonn
Dr. Hauke Heuwinkel (Vertretung Dr. Andreas Gronauer)	Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
Gabriele Meißbauer	Schmack-Biogas GmbH, Schwandorf
Dr. Hans Oechsner (Vorsitzender)	Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Stuttgart-Hohenheim
Hannelore Schelle	Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam
Peter Tillmann	VDLUFA Qualitätssicherung NIRS GmbH, Kassel
Dipl.-Ing. Welsch, Winfried	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn

Zu jedem Durchgang des Ringversuchs fand eine Sitzung der Arbeitsgruppe statt, in der die Ergebnisse besprochen und Handlungsfelder identifiziert wurden. Das Gremium diente auch der Planung des jeweils folgenden Durchgangs. Die Arbeitsgruppe setzte die Erkenntnisse aus dem Ringversuch in den Entwurf einer Methodenvorschrift um.

Mit den beteiligten Laboren wurde zu jedem Durchgang eine Besprechung der Ergebnisse durchgeführt. Diese Gelegenheit zu Diskussion, Austausch und Erkenntnisgewinn wurde von den meisten Laboren genutzt.

Erstellung einer Methodenvorschrift

Die Arbeitsgruppe „Ringversuch“ erarbeitete auf Grundlage der Ergebnisse des Ringversuches eine Methodenvorschrift zur Durchführung von batch-Gärversuchen. Dieser Entwurf wurde über den VDLUFA-Arbeitskreis „Biogas“ in den Prozess zur Verabschiedung einer Verbandsmethode eingebracht (1. Lesung).

4.2 Ergebnisse der Versuchsdurchgänge

Die Anzahl der teilnehmenden Labore nahm vom 1. zum 3. Durchgang stetig zu. Die nach Gasertrag sortierten Ergebnisse für Zellulose wiesen im ersten Durchgang eine deutliche liegende S-Form auf (Abbildung 1a) mit zum Teil großen Abweichungen zwischen den Ergebnissen. Dies ist nicht untypisch für Ringversuche dieser Art, insbesondere im ersten Durchgang. In den folgenden Durchgängen (Abbildung 1b und c) flachte die Kurve ab und die Variabilität zwischen den Laboren nahm ab. Trotzdem waren zum Teil erhebliche Variabilitäten für die Wiederholungen innerhalb eines Labors und einzelne Labore mit sehr stark vom Mittelwert abweichenden Ergebnissen zu beobachten.

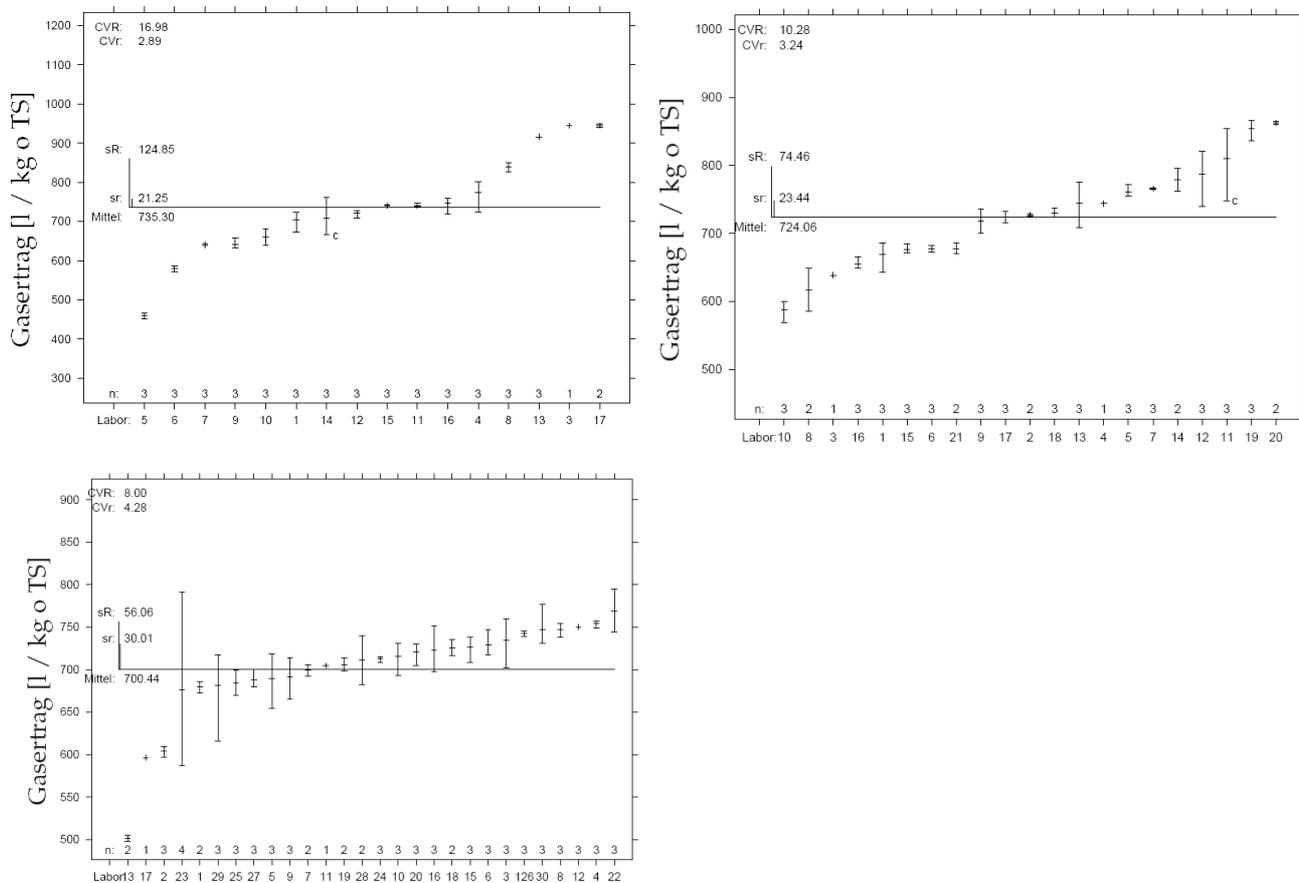
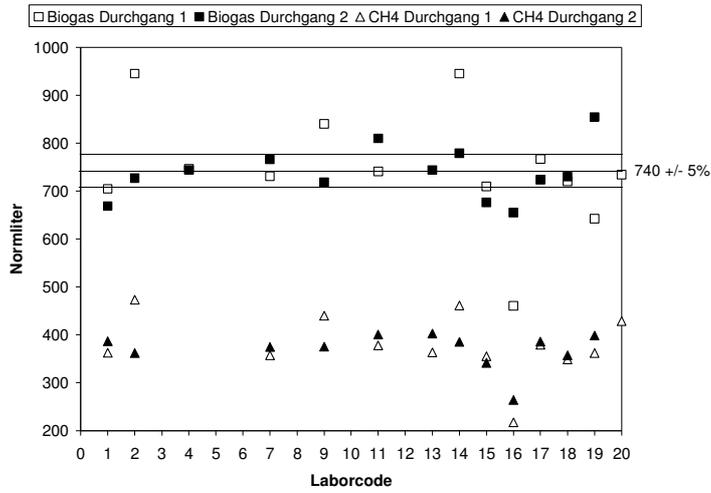


Abbildung 1: Vergleich der Gaserträge für Zellulose in den drei Durchgängen des Ringversuchs

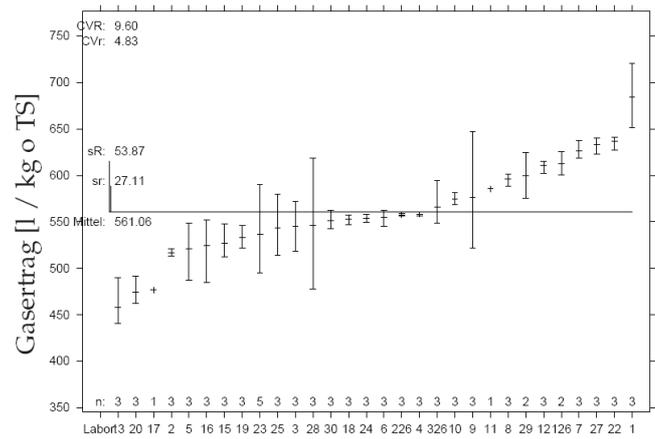
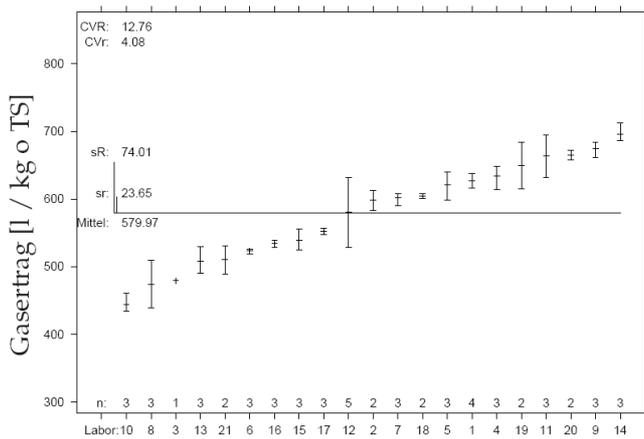
Vergleicht man die mit Zellulose erzielten Biogas- und CH₄-Erträge der beiden ersten Durchgänge für die einzelnen Labore (Abbildung 2), ist festzustellen, dass bei einigen der Labore die Gaserträge aus dem Referenzmaterial anstiegen, bei anderen aber geringer ausfielen als im ersten Durchgang. Die Faktoren, die zu den Veränderungen der Gaserträge geführt haben, scheinen nicht systematisch zu sein. Auffallend ist jedoch, dass jene Labore, die im ersten Durchgang die höchsten (Labor 2, 9, 14) bzw. geringsten (Labor 16, 19)

Gaserträge aus dem Referenzmaterial berichtet hatten, im zweiten Durchgang Gaserträge



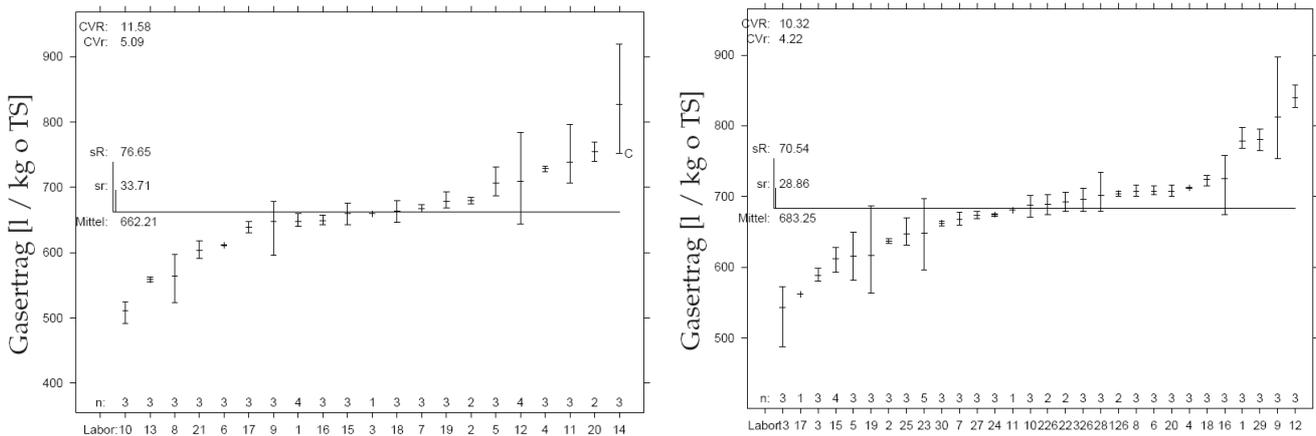
berichten, die deutlich näher am erwarteten Wert von 740 NI/kg oTM liegen.

Abbildung 2: Biogaserträge aus Zellulose. Vergleich der Versuchsergebnisse aus dem 1. und 2.



Durchgang des Ringversuchs für die einzelnen Labore

Abbildung 3: Vergleich der Gaserträge für Gras in Durchgang 2 und 3 des Ringversuchs



■ Durchgang 1 ■ Durchgang 2 □ Durchgang 3

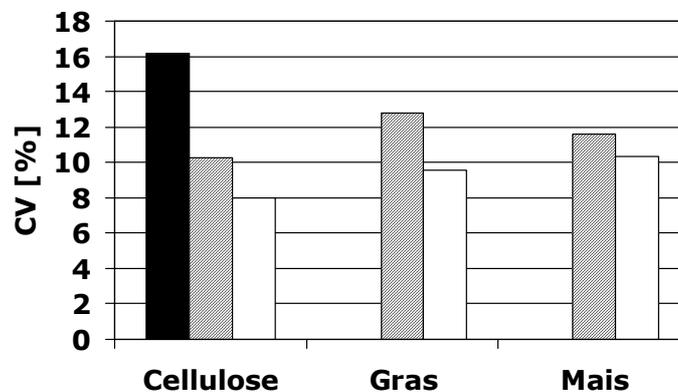


Abbildung 4: Vergleich der Gaserträge für Mais in Durchgang 2 und 3 des Ringversuchs

Die Verteilung der Ergebnisse aus der Bestimmung des Gasertrags aus Mais und Gras im 2. und 3. Durchgang des Ringversuchs (Abbildung 3 und Abbildung 4) zeigen ähnliche Verläufe und Variabilitäten wie die für Zellulose.

Auch für diese Substrate war im dritten Durchgang eine deutliche Verbesserung in der Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu beobachten (Abbildung 5), obwohl mit den frischen Silagen deutlich schwerer zu handhabendes Material eingesetzt wurde als mit den getrockneten und gemahlene Substraten im zweiten Durchgang. Es kann also davon ausgegangen werden, dass alleine durch die Teilnahme an dem Ringversuch und die gemeinsame Diskussion der Ergebnisse und Methoden bei vielen Laboren ein Lerneffekt stattgefunden hatte, der zu einer deutlichen Annäherung der Ergebnisse führte. Dies gilt insbesondere für Labore, die erst seit kürzerem Gärversuche durchführten.

Abbildung 5: Variationskoeffizienten (CV) für die Ergebnisse im Biogasertrag zwischen den am Ringversuch teilnehmenden Laboren für Cellulose, Gras und Mais. Die Eigenschaften der Proben von Gras und Mais unterscheiden sich für die beiden dargestellten Durchgänge.

4.3 Fragebogen Systemparameter

Alle teilnehmenden Labore gaben an, die Gasertragsmessung in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4630 durchzuführen.

Die Art und Weise der Versuchsdurchführung und –auswertung war jedoch nicht in allen Laboren identisch. Unterschiede bestanden vor allem in:

- Dimensionierung des Versuchsansatzes
- Verwendetes Impfmateriale (eigens gezüchtetes Material, Mischung aus Gärrückständen, Ablauf der Anaerobstufe von Kläranlagen)
- Messtechnik für Gasvolumen und CH₄-Gehalt
- Korrekturverfahren mit Standards

Daher wurde durch die Arbeitsgruppe ein Fragebogen entwickelt, in dem alle wesentlichen Systemparameter und Grundlagen der Versuchsauswertung abgefragt wurden. Dieser wurde über die VDLUFA an die teilnehmenden Labore versandt. Es wurden Informationen abgefragt zu:

- Substratlagerung und –aufbereitung
- Herkunft und Eigenschaften des Impfmateriale
- Verhältnis Substrateinwaage zu Impfmateriale
- Charakterisierung des Versuchsaufbaus
- Temperatur und Druckbedingungen während der Versuchsdurchführung
- Art und Häufigkeit der Durchmischung der Fermenter
- Verwendete Referenzmaterialien
- Häufigkeit und Methoden zur Bestimmung des Gasvolumens und der Gasqualität
- Mitgeführte Nullproben und deren Verrechnung
- Art der Kopfraumkorrektur
- Parameter zur Berücksichtigung des Wasserdampfgehaltes und der Korrektur auf Normbedingungen

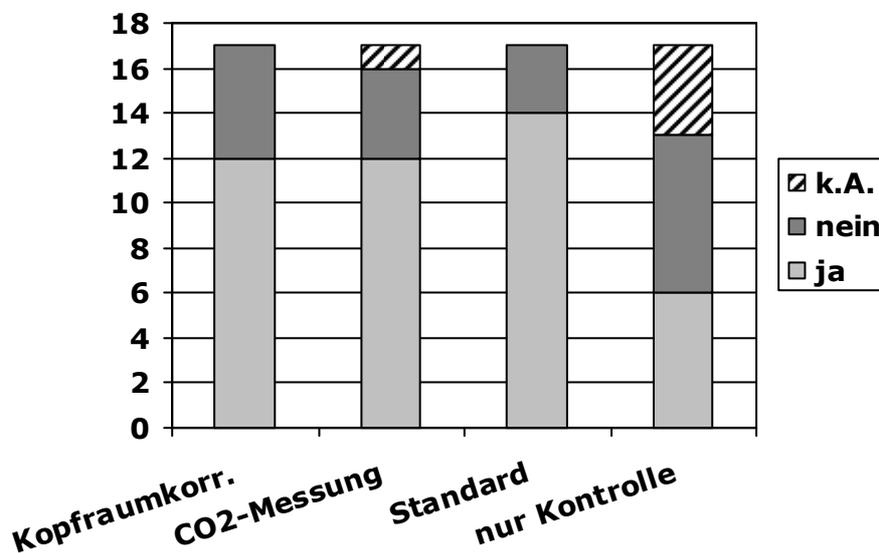
Aus dem Fragebogen, der von 17 Laboren beantwortet wurde, wurden Angaben zur Einwaage entnommen. Ein Zusammenhang zwischen der Menge der Einwaage und dem gemessenen Gasertrag konnte nicht festgestellt werden.

Eine Kopfraumkorrektur wurde von 13 der 17 Labore durchgeführt (Abbildung 6) bzw. eine Korrektur war nicht notwendig, da kein Kopfraum vorhanden war (4 Labore) oder mit einem Eudiometer und Natronlauge als Sperrflüssigkeit gemessen wurde (1 Labor). 4 Labore führten keine Korrektur durch, obwohl diese bei Kopfraumvolumina zwischen 20 und 35 % des Fermentervolumens notwendig wäre. Eine fehlende Kopfraumkorrektur führt zu einer

Unterschätzung der CH₄-Konzentration im Biogas und somit zu einer Unterschätzung der produzierten CH₄-Menge.

4 von 17 Laboren hatten nur CH₄ als Parameter der Gasqualität gemessen und kein CO₂. Hierbei fällt auf, dass alle 4 Labore, bei denen eine Kopfraumkorrektur fehlte, sowohl CH₄ als auch CO₂ gemessen hatten und somit eine einfache mathematische Kopfraumkorrektur über die Gasqualität möglich gewesen wäre.

3 von 17 Laboren gaben an, dass sie während der Messungen keinen Standard mitführten (Abbildung 6). Da für den Ringversuch ein Standard vorgegeben war, bezog sich diese Aussage wahrscheinlich auf die normale Laborpraxis. Eine mathematische Korrektur der Gaserträge anhand eines mitgeführten Standards nahmen 7 Labore vor. Es bestand Übereinstimmung darin, dass eine Korrektur der Biogaserträge anhand eines externen Sollwertes (wie z.B. für Cellulose definiert) nicht vorgenommen werden sollte. Es wurde jedoch deutlich, dass eine Korrektur mit einem internen Standard/Sollwert möglich oder



zumindest nicht fehlerhaft ist, wenn dieser durch eine Vielzahl von Messreihen im eigenen Labor belegt ist.

Abbildung 6: Antworten zu ausgewählten Fragen des Fragebogens.

In vielen Fällen könnte weniger die Messtechnik, als die Auswertungsverfahren Ursache für Abweichungen gewesen sein. Fehler in der Wasserdampfkorrektur oder der Umrechnung auf Normliter können große Auswirkungen auf den errechneten Gasertrag haben. Da der Wasserdampf in 40°C warmem Gas einen Volumenanteil von 6 % haben kann und der Temperaturunterschied zwischen 0°C und 40°C zu einer Volumendifferenz von bis zu 15 % führt, sind im Extremfall Abweichungen von bis zu 20 % im Ergebnis möglich, die alleine durch eine fehlende Korrektur auf Standardbedingungen erklärbar sind.

Diese Umrechnung in Normliter, die Berechnung des CH₄-Ertrags aus CH₄-Konzentrationen und Biogaserträgen, sowie die Korrektur der Messwerte um den im Gas enthaltenen

Wasserdampf und das Kopfraumvolumen der Versuchsgefäße bereitete einigen beteiligten Laboren Probleme.

Dies zeigte auch eine Kontrollrechnung mit vorgegebenen fiktiven Messwerten und Versuchsbedingungen, aus denen durch die Labore ein Gasertrag errechnet werden sollte. An dieser Testberechnung beteiligten sich 15 Labore (2 Labore konnten bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden, da offensichtlich Fehler bei der Datenübertragung vorlagen oder abweichend von allen anderen Laboren eine Wasserdampfsperre genutzt und aus diesem Grund keine Wasserdampfkorrektur vorgenommen wurde.).

Es waren 2 Datensätze vorgegeben, einer mit gleich bleibenden Temperatur- und Druckbedingungen (0°C, 1013 mbar) und ein zweiter mit von Messtermin zu Messtermin variierenden Bedingungen. Während der Variationskoeffizient (CV) der Berechnungen im ersten Datensatz < 1% war, betrug er im Datensatz 2 für CH₄-Gehalt und CH₄-Ertrag fast 2 %. Als Ursache für die abweichenden Berechnungsergebnisse konnte bei 5 Laboren eine fehlende Kopfraumkorrektur identifiziert werden, bei 2 Laboren kam im Datensatz 1 eine fehlende Wasserdampfkorrektur hinzu, da auch bei 0°C Wasserdampf im Gas enthalten ist. Bei 3 Laboren konnte die Ursache der abweichenden Ergebnisse nicht ermittelt werden. 5 Ergebnisse waren mit den erwarteten Werten identisch. Dieses Ergebnis machte deutlich, wie wichtig eine detaillierte Beschreibung des Berechnungsverfahrens in der Methodenvorschrift ist und dass hierdurch möglicherweise ein bedeutender Anteil der Varianz in den berichteten Ergebnissen erklärt werden kann.

4.4 Relevante Einzelparametern für die Methodenbeschreibung

Probenahme und Materialaufbereitung

Die Arbeitsgruppe ist der Meinung, dass die Probenahme selbst nicht Gegenstand einer Methodenvorschrift sein sollte. Hier sollte auf entsprechende DIN- oder CEN-Richtlinien hingewiesen werden.

In der Regel erfolgt eine Zerkleinerung der Substrate auf < 10mm um eine repräsentative Probe vergären zu können. Der Einfluss der Materialaufbereitung auf den Gasertrag ist stark vom Substrat abhängig. In der Regel wird hierdurch die Dynamik der Gasbildung beeinflusst, nicht jedoch der Gesamtgasertrag. Dies gilt vor allem für frisches Material, wie Silagen. Bei Material mit hohen Gehalten an Lignocellulose (Stroh), kann eine starke Zerkleinerung (Vermahlen) der Probe jedoch innerhalb gebräuchlicher Versuchszeiträume bzw. Verweilzeiten zu einer Erhöhung des Gasertrages führen. Für Körner (Getreide) oder Samen (Sonnenblumen) muss gesichert sein, dass die Nährstoffe für die Mikroorganismen zugänglich sind. Dies kann durch Quetschen oder Schrotten erreicht werden. Von diesen Verfahren kann auf Wunsch des Auftraggebers abgewichen werden. Dies ist im Analyseprotokoll zu vermerken.

TM/oTM-Bestimmung

Problematisch an der Korrektur ist die Verfügbarkeit der entsprechenden Daten. Tabellierte Werte geben abhängig von Substratzustand nur Schätzwerte, genaue Bestimmungs-

Methoden (HPLC) sind zu aufwändig und zu teuer für Routineanalyse, einfache analytische Verfahren, wie z.B. die Wasserdampfdestillation, erfassen hingegen nur die Säuren und keine Alkohole. Darüber hinaus wird hier Milchsäure nicht erfasst, da sie nicht wasserdampflichflüchtig ist.

Für die Laborroutine wird eine Korrektur aufgrund von tabellierten Werten als die praktikabelste Möglichkeit angesehen. In Messberichten sollten neben den auf oTM bezogenen Werten auch die auf Frischmasse bezogenen Gaserträge angegeben werden, da diese für den Auftraggeber in der Regel die größere Bedeutung haben und von Verlusten bei der oTM-Bestimmung unabhängig sind.

Impfmaterial

Es gibt Hinweise darauf, dass die Auswahl des Impfsubstrates von großer Bedeutung für die Qualität der Ergebnisse ist. Hohe Fettsäuregehalte und nicht abgebaute Bestandteile aus der Biogasanlage verfälschen das Ergebnis. In der Arbeitsgruppe besteht Übereinstimmung darin, dass maximale Fettsäuregehalte festgelegt werden sollten. Ein Aushungern der Impfmateriale kann geringe Fettsäuregehalte nicht immer gewährleisten.

Referenzmaterial

Das Referenzmaterial dient der Kontrolle des Gärverlaufs. Eine Korrektur der Messwerte anhand des Referenzmaterials sollte nach Meinung der Arbeitsgruppe nicht erfolgen, da nicht sichergestellt ist, ob die Ursache für abweichende Ergebnisse nur auf einen mangelnden Abbau im Fermenter zurückzuführen ist. Ebenso könnten Probleme mit der Dichtigkeit des Systems, der Gaserfassung oder der Gasanalytik vorliegen. Die in der VDI-Richtlinie angegebenen Grenzen für das Verwerfen der Ergebnisse müssen enger gefasst werden.

Versuchsdurchführung

In VDI 4630 werden z. T. sehr unterschiedliche Systeme des Versuchsaufbaus und der Gaserfassung beschrieben. Zum jetzigen Zeitpunkt erscheint es nicht sinnvoll diese Vielfalt der Systeme einzuschränken, auch um möglichen technischen Entwicklungen Raum zu geben.

Abbruchkriterium

Für den Ringversuch wurde von den Laboren eine Versuchsdauer von 35 Tagen gefordert. Einzelergebnisse lassen jedoch darauf schließen, dass diese nicht in allen Fällen eingehalten wurde und stattdessen nach der 1%-Regel der Versuch früher beendet wurde. Anhand von Gasertragskurven einzelner Labore wurde überprüft, welche Abweichungen durch die Anwendung der 1%-Regel entstehen können. Im Schnitt würden im Vergleich zum Gasertrag nach 35 Tagen Mindererträge zwischen 5 und 10% ermittelt. In Extremfällen könnten die Mindererträge bis zu 25% erreichen. Auffällig war hierbei, dass bei einigen

Summenkurven das 1%-Kriterium nur kurzzeitig erreicht wurde und danach die tägliche Zunahme des Gasertrags wieder anstieg. Dies macht deutlich, dass für die Methodenvorschrift eine Änderung des Abbruchkriteriums notwendig ist. In den Entwurf der Methodenvorschrift wird eine Kombination aus Mindestdauer und Unterschreitung einer täglichen Neubildung an Gas aufgenommen. Dieses Kriterium soll eine Mindestanzahl an Tagen andauern.

Versuchsauswertung

In die Methodenvorschrift wurde eine detaillierte schrittweise Beschreibung des Berechnungsverfahrens aufgenommen, welche die Problematik der Kopfraumkorrektur, Wasserdampfkorrektur und die Umrechnung auf Normvolumen berücksichtigt.

4.5 Erstellung der Methodenvorschrift

Auf Basis der in Abschnitt 4.4 genannten Überlegungen wurde der Entwurf einer Methodenvorschrift durch die Arbeitsgruppe erstellt (Anhang). Diese stellt eine einfache „Schritt für Schritt“-Anleitung dar, wie sie für VDLUFA-Methodenvorschriften üblich ist. Der Entwurf wurde im März 2010 offiziell über den VDLUFA AK Biogas in den Prozess zur Anerkennung als Verbandmethode eingebracht.

5 Richtwerte zu Gaserträgen

5.1 Vorgehen

Die Zusammenstellung und Auswertung der Daten für die überarbeitete Fassung des KTBL-Gasertragsheftes (KTBL 2010a) erfolgte durch die KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“, deren Mitglieder (Tabelle 3) zu einem großen Teil auch in der Arbeitsgruppe „Ringversuche Biogaserträge“ (Tabelle 2) vertreten sind.

Tabelle 3: Mitglieder der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“

Name	Institution
Prof. Dr. Thomas Amon Dr. Alexander Bauer	Universität für Bodenkultur, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Wien
Dr. Manfred Bischoff	LUFA Nord-West, Oldenburg
Dr. Joachim Clemens	Gewitra mbH, Bonn
Dr. Hauke Heuwinkel	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), Freising

Ulrich Keymer	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik, München
Gabriele Meißbauer	Schmack Biogas AG, Schwandorf
Dr. Hans Oechsner	Universität Hohenheim Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Stuttgart
Dr.-Ing. Gerd Reinhold	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena
Hannelore Schelle	Institut für Agrartechnik Bornim e.V (ATB) Abteilung Bioverfahrenstechnik, Potsdam-Bornim
Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Peter Weiland	Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Braunschweig
OAR Winfried Welsch	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn
Walter Zerr	Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL) Abtl. IV Landwirtschaft und Umwelt, Gießen

In den letzten Jahren wurde wiederholt aufgezeigt, dass die im Jahr 2005 festgelegten Richtwerte für die Gasausbeute (KTBL 2005) im Praxisbetrieb von vielen Anlagen übertroffen werden können, so auch im Rahmen des Bundeswettbewerbs Biogas 2008 (Abbildung 7; KTBL 2010b).

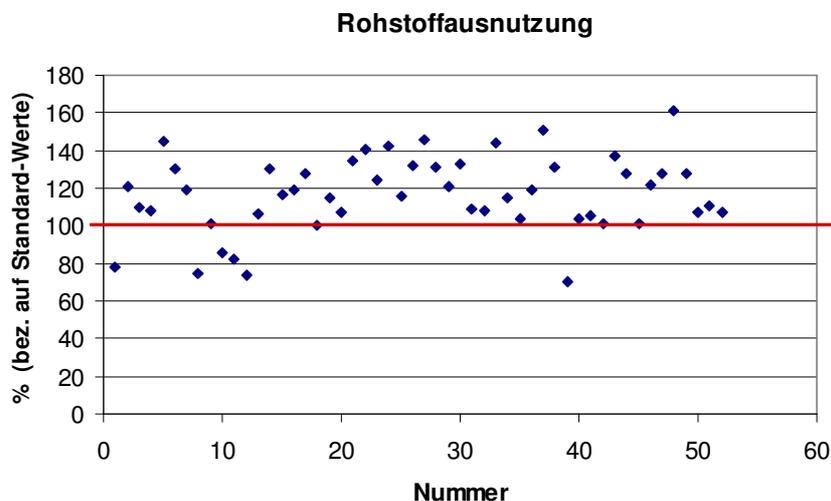


Abbildung 7: Rohstoffausnutzung der Bewerberanlagen für den Bundeswettbewerb Biogas 2008 (100 % = nach Richtwerten 2005 berechnete Gasausbeute; KTBL 2010b)

Mehrere Ursachen führen zu den z. T. deutlichen Mehrerträgen:

Die Festlegung der Richtwerte in der Arbeitsgruppe erfolgte 2005 unter eher konservativen Gesichtspunkten, d. h. es wurden tendenziell etwas niedrigere Werte angesetzt als auf Basis der vorhandenen Daten und bei optimalem Anlagenbetrieb zu erwarten gewesen wären.

Zum Einen aufgrund der zu diesem Zeitpunkt noch unzureichenden Datenlage und zum Anderen, um Fehldimensionierungen aufgrund zu optimistischer Annahmen zu vermeiden.

Die Rohstoffeffizienz von landwirtschaftlichen Biogasanlagen hat sich verbessert: Lag die durchschnittliche Gasausbeute der Bewerber für das 2005 durchgeführte Modellvorhaben Biogas nur bei 98 % der KTBL-Gasertragsstandards, hat sie sich 2008 auf 116 % erhöht (KTBL 2010a).

Die Richtwerte beziehen sich auf Einzelsubstrate in Monovergärung. Bei der Covergärung insbesondere mit Gülle treten jedoch i. A. positive Synergieeffekte auf. Diese konnten in verschiedenen Untersuchungen nachgewiesen werden (AMON ET AL. 2007, OHLY 2006). Die Ursachen – u. a. wird von einer verbesserten Nährstoffzusammensetzung im Vergleich zur Monofermentation ausgegangen – konnten bisher noch nicht eindeutig geklärt werden. Quantitative Aussagen zum Effekt in der Praxis sind jedoch nicht möglich.

Durch die Untersuchungen im Rahmen des Ringversuchs Biogaserträge konnte nicht nur die Datenbasis zu Gaserträgen der verschiedenen Substrate sondern v. a. die Datenvergleichbarkeit deutlich verbessert werden. Aus diesem Grund wurde die Überarbeitung des Gasertragsheftes in das Forschungsvorhaben aufgenommen, um die in der Praxis häufig als Entscheidungsgrundlage genutzten KTBL-Gasertragswerte an die aktuellen Praxiserfahrungen anzupassen.

Wie bereits 2005 wurden die Ergebnisse verschiedener Labore zu Gaserträgen aus Batch-Fermentationsversuchen mit Einzelsubstraten, die entsprechend der VDI-Richtlinie 4630 durchgeführt wurden, zusammengestellt. Bis auf einzelne Ausnahmen waren diese Institute alle am Ringversuch Biogaserträge beteiligt. Kontinuierliche Gärversuche wurden hingegen nicht einbezogen, da diese meist mit anderen Zielsetzungen, z. B. Untersuchung der Prozessstabilität, durchgeführt werden.

Von den beteiligten Institutionen wurden über 2440 Einzeldatensätze zur Verfügung gestellt. Allerdings waren bei einer Reihe von Datensätzen die Methangehalte/-erträge nicht verfügbar, weshalb diese Datensätze im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt wurden. Weiterhin blieben fachlich ermittelte Ausreißer im Bereich der Gaserträge und zum Teil auch Datensätze zu Substraten mit praxisunüblichen Trockenmassegehalten in Absprache mit den durchführenden Einrichtungen von Beginn an in der Auswertung unberücksichtigt. Aus den verbleibenden Datensätzen wurden diejenigen in die hier dargestellten Werte einbezogen, deren Ergebnisse innerhalb einer Spanne von Mittelwert plus bzw. minus der zweifachen Standardabweichung des gesamten Datensatzes für das jeweilige Substrat lagen. Neben den Mittelwerten wurde auch der Variationskoeffizient ermittelt.

Substrate, für die nur einzelne Untersuchungsergebnisse vorlagen, sind nicht dargestellt, da eine statistische Auswertung nicht möglich war.

Die Datensätze der 1368 verbliebenen, in die Auswertung einbezogenen Laboruntersuchungen wurden in Substratkategorien eingeteilt. Es zeigte sich, dass mehr als die Hälfte der Datensätze aus Untersuchungen zu Mais und Sorghum stammten (Abbildung 8). Während für die einzelnen Substrate dieser Kategorie einen hoher Stichprobenumfang vorlag, war für eine Vielzahl weiterer Substrate die Datenbasis deutlich eingeschränkt: häufig waren weniger als 10 Einzeldatensätze verfügbar (Abbildung 9).

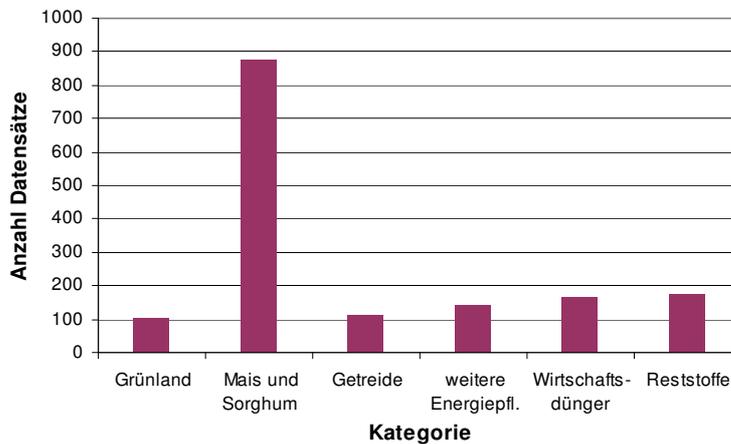


Abbildung 8: Anzahl Datensätze in den verschiedenen Substratkategorien

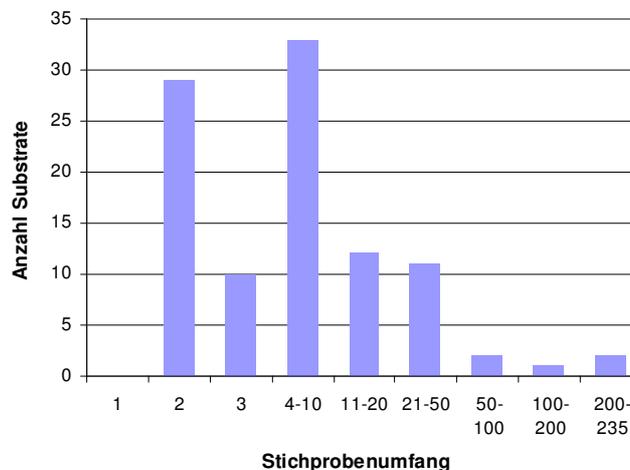


Abbildung 9: Anzahl Substrat nach Stichprobenumfang

Trotz der im Vergleich zu 2005 deutlich verbesserten Datenqualität war für einige Substrate die Datenlage aus Sicht der Arbeitsgruppen-Mitglieder unzureichend (z. B. geringe Stichprobenumfänge insb. bei Wirtschaftsdüngern, nicht praxisrelevante TM-Gehalte bei einigen Silagen). Die Arbeitsgruppe beschloss daher, auch für die Neuauflage des Gasertragshefts eine zweite Tabelle mit sog. Richtwerten zu generieren, in die neben den Laborergebnissen auch das Expertenwissen der Arbeitsgruppen-Mitglieder und Praxiserfahrungen einfließen sollen. Hier kann zudem, anders als in der Labortabelle (Tabelle 4), der auf Frischmasse bezogene Biogas- oder Methanertrag dargestellt werden, da praxisrelevante TM-Gehalte zugrunde gelegt werden. Die Richtwerte (Tabelle 5) wurden

in der Gruppe abgestimmt und in den Neuauflagen der Faustzahlen Biogas (KTBL 2009a) und Faustzahlen Landwirtschaft (Auszug; KTBL 2009b) veröffentlicht.

5.2 Ergebnisse

Wirtschaftsdünger

Insgesamt wiesen die Datensätze zu den Wirtschaftsdüngern eine hohe Streubreite auf, besonders deutlich bei Rinder- und Schweinegülle (Tabelle 4). Für Schweinegülle verblieben nach Ausschluss der Datensätze mit Inkonsistenzen nur wenige Stichproben mit stark abweichenden Methangehalten, so dass für dieses Substrat die Ausweisung von Mittelwerten in der Labortabelle nicht möglich war (Tabelle 4).

Nachwachsende Rohstoffe

Die statistische Auswertung der Datensätze ergab sowohl für Grünland als auch für Mais/Sorghum und für Getreide bei Vergärung der ganzen Pflanze insgesamt keine signifikanten Unterschiede zwischen den ursprünglich festgelegten TM-Kategorien (Abbildung 10). Zugleich konnte auf Basis der Datenlage keine Unterscheidung zwischen frischem und siliertem Material bei Gras und Getreide gezeigt werden.

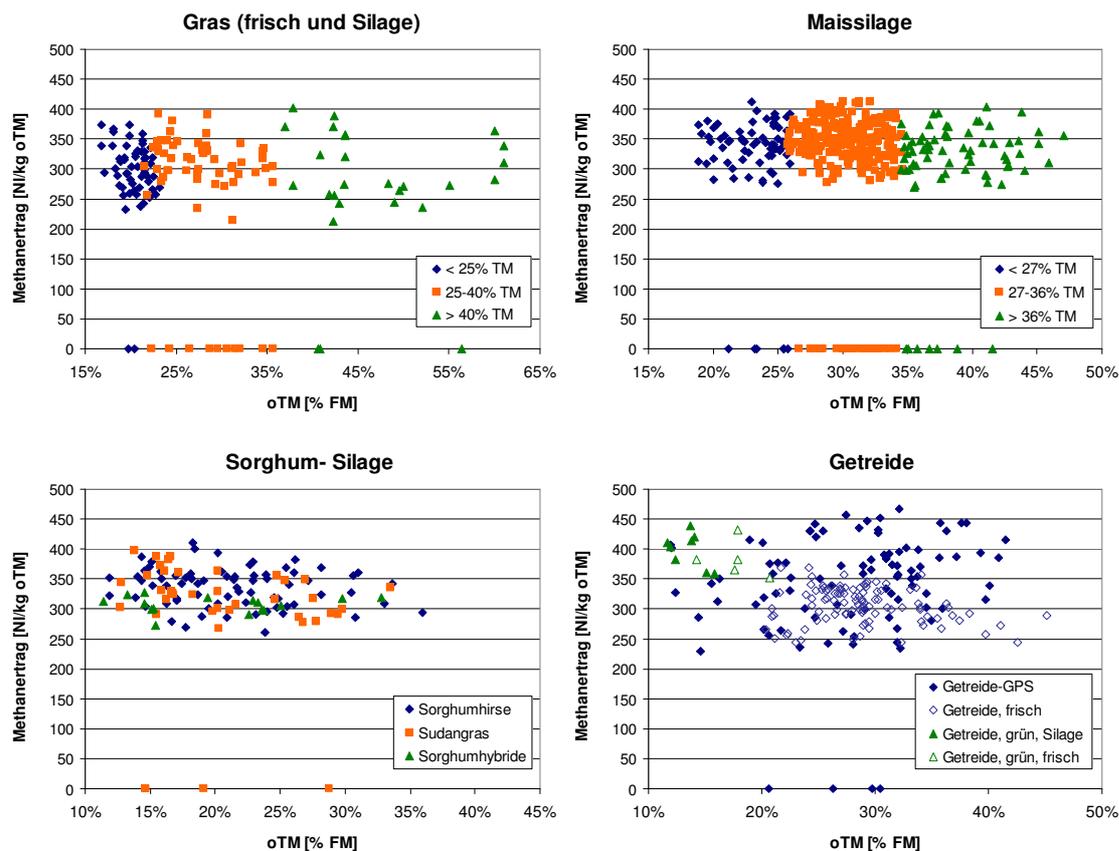


Abbildung 10: Verteilung der Laborergebnisse zu Gras, Maissilage, Sorghum-Silage und Getreidesilage.

Für die Darstellung der Mittelwerte (Tabelle 4) wurde in der Arbeitsgruppe dennoch für Gras und Maissilage die Beibehaltung der Kategorien befürwortet, um die Bandbreite der Silagen in der Praxis von nass bis trocken abzudecken, während bei den Richtwerten (Tabelle 5) auf eine Unterscheidung verzichtet werden sollte – auch um die Bedeutung des Frischmasseernteertrags je Hektar als entscheidende Größe für die gesamte Gasausbeute zu verdeutlichen.

Bei einer Reihe von silierten Substraten ergaben sich mittlere TM-Gehalte, die deutlich unter denen von Praxissilagen lagen. Es wird daher bei der Darstellung der Mittelwerte darauf hingewiesen, dass es sich hier um Laborsilagen handelt (s. Tabelle 4). Im Gegenzug wird hier auf die Ausweisung des auf die Frischmasse bezogenen Biogas- oder Methanertrags verzichtet, um einer falschen Interpretation zu geringer, jedoch nicht praxisrelevanter Gasertragswerte vorzubeugen. Stattdessen wird im Heft die Umrechnung von spezifischem Gasertrag auf den Frischmasseertrag erläutert.

Für Getreidestroh ergaben sich auf Basis der Laborergebnisse sehr hohe Gaserträge. Die Arbeitsgruppen-Mitglieder bestätigten hohe Synergieeffekte durch die Beimischung geringer Mengen stark zerkleinerten Stroh in der Praxis. Um jedoch Fehlinterpretationen zu vermeiden, wird in der Tabelle eine entsprechende Fußnote ergänzt (s. Tabelle 4).

Die Darstellung von Ergebnissen zu Miscanthus soll nach Ansicht der Arbeitsgruppen-Mitglieder nicht in die Auswertung aufgenommen werden, da die Verwertung in der Biogasanlage unter pflanzenbaulichen Gesichtspunkten keinen Sinn macht (durch einen Schnitzeitpunkt bei Silierfähigkeit entstehen irreversible Schädigung; BIOGAS FORUM BAYERN 2010).

Aufgrund sehr widersprüchlicher Ergebnisse zu Zuckerrüben konnten keine Mittelwerte in die statistische Auswertung aufgenommen werden. So konnte u. a. nicht abschließend geklärt werden, ob bei Silagen die notwendige Säurekorrektur vorgenommen worden war. Auch waren die ermittelten Methanerträge und z. T. auch –gehalte für Blätter höher als im Rübenkörper, was aufgrund des Zuckergehalts im Körper als unwahrscheinlich anzusehen ist. Es finden sich im Heft daher nur Richtwerte für Rüben, jedoch keine Laborergebnisse (Tabelle 4 und Tabelle 5).

Substrate aus der Weiterverarbeitung und organische Reststoffe

Die Datenverfügbarkeit für Reststoffe hat sich im Vergleich zu 2004/5, als die Erhebung für die Erstauflage des Gasertragshefts durchgeführt wurde, nicht wesentlich verbessert: Bei vielen Substraten dieser Kategorie lagen nur Informationen zum Biogasertrag vor bzw. lediglich ein einzelner Datensatz mit Informationen zum Methangehalt und -ertrag. Aus diesem Grund finden sich nur wenige Substrate in der Labortabelle (Tabelle 4). Zugleich ist nach Ansicht der Experten wegen des möglichen Verlustes des NawaRo-Bonus bei Einsatz von Stoffen, die sich nicht auf der Positivliste des EEG 2009 finden, mit einer abnehmenden Bedeutung nicht-landwirtschaftlicher Nebenprodukte in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zu rechnen.

Tabelle 4: Mittelwerte für Trockenmassen, Biogas- und Methanerträge aus Laborversuchen mit ausgewählten Substraten (Angaben in Normvolumen)

Teilprojekt Biogaserträge in Laborversuchen – Fragen zur Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit

Substrat	Eigenschaften (Substratzustand, Behandlung, Herkunft)	Anzahl Versuche [n]	TM [% FM]	oTM [% TM]	Biogas- ertrag [NI/kg oTM]	Variations- koeffizient Biogasertr. [%]	Methan- konz. [%]	Methan- ertrag [NI/kg oTM]
Wirtschaftsdünger								
Geflügelmist	abhängig vom Stroh-/Kot- Verhältnis, wenig gelagert	5	54,8	78,6	531	18	61	325
Rindermist		11	21,7	83,6	507	16	62	313
Rindergülle	-	24	10,4	82,6	299	28	59	176
Schweinegülle	-	34	5,0	72,6	372	33	n.v.	n.v.
Pferdemist/-äpfel ¹⁾	-	6	27,2	84,2	491	7	52	253
Nachwachsende Rohstoffe								
Gras	siliert/frisch							
<25% TS	-	51	22,4	90,2	603	10	50	304
25-40% TS	-	45	31,0	89,5	598	10	53	315
>40% TS	-	28	52,7	90,5	571	12	53	306
Kleegrass	-	16	18,2	90,3	606	9	60	361
Klee	siliert/frisch	14	16,4	89,5	546	18	50	274
Luzerne	siliert/frisch	20	20,9	89,0	506	16	56	283
Maissilage	-							
<27% TS	-	59	24,3	95,2	642	8	54	347
27-36 % TS	-	195	31,6	96,0	646	8	54	348
>36 % TS	-	59	40,3	96,1	627	9	53	332
CCM	-	6	53,4	97,8	720	11	54	387
Maiskorn	-	3	79,9	94,8	764	10	51	385
Sorghum sudanense	siliert/frisch	20	26,6	93,3	577	9	54	312
Sorghum bicolor	siliert/frisch	50	25,7	92,9	608	11	56	336
Sorghum bicolor * sudanense	siliert/frisch	17	27,3	93,9	541	17	56	298
Panicum virgatum	siliert	4	29,2	93,5	609	13	57	348
Getreide/Grünroggen	siliert/frisch	222	29,9	92,6	582	15	56	326
Getreidekorn	gequetscht / geschrotet	10	87,6	96,2	752	6	51	381
Getreidestroh ²⁾	kurzgehäckselt	17	92,8	91,6	558	6	52	292
Raps-GPS		7	31,2	92,2	543	9	62	335
Sonnenblume	siliert/frisch	76	20,9	88,7	517	16	57	294
Zwischenfrüchte								

Substrat	Eigenschaften (Substratzustand, Behandlung, Herkunft)	Anzahl Versuche [n]	TM	oTM	Biogas- ertrag [NI/kg oTM]	Variations- koeffizient Biogasertr. [%]	Methan- konz. [%]	Methan- ertrag [NI/kg oTM]
			[% FM]	[% TM]				
Raps (Zwischenfrucht)	siliert/frisch	46	16,3	91,8	572	8	54	306
Ölrettich ³⁾	siliert	5	9,3	80,1	509	8	60	305
Rübsen ³⁾	siliert	8	9,0	86,3	606	9	65	390
Senf ³⁾	siliert	2	13,4	87,5	531	30	60	318
Substrate aus der Weiterverarbeitung und organische Reststoffe								
Apfeltrester	-	3	22,7	93,5	574	12	50	282
Getreideabfälle	-	5	88,7	96,2	651	12	57	374
Kleie	-	3	88,8	94,4	773	2	54	415
Rapskuchen	-	5	92,3	87,6	659	4	59	387
Vinasse	-	3	4,6	75,0	757	21	54	403
Zuckerrübenschnitzel	-	3	25,4	90,9	747	11	58	430

¹⁾ Pferdemist: höherer TM- bzw. geringerer oTM-Gehalt als Pferdeäpfel, jedoch keine Unterschiede in den spezifischen Gaserträgen.

²⁾ Nur als Teilsubstrat in geringen Mengen, gehäckselt auf max. 10 mm.

³⁾ Laborsilagen, daher geringer TM-Gehalt.

Tabelle 5: Richtwerte für die Gasausbeute landwirtschaftlicher Biogasanlagen (Angaben in Normvolumen)

Substrat	Eigenschaften (Substratzustand, Behandlung, Herkunft)	Richtwert					
		TM	oTM	Biogasertrag		Methan- gehalt	Methanertrag
		% FM	% TM	NI/kg oTM	Nm ³ /t FM	%	NI/kg oTM
Wirtschaftsdünger							
Geflügelmist	abhängig vom Stroh-/Kot- Verhältnis, wenig gelagert	40	75	500	150	55	280
Rindermist		25	85	450	100	55	250
Rindergülle	mit Futterrest	10	80	380	30	55	210
Schweinegülle	-	6	80	420	20	60	250
Nachwachsende Rohstoffe							
Maissilage	-	33	95	650	200	52	340
CCM	-	65	98	730	470	52	380
Sorghumsilage	-	28 ¹⁾	90	610	150	52	320
Getreide-GPS	mittlerer Kornanteil	33	95	620	190	53	330

Substrat	Eigenschaften (Substratzustand, Behandlung, Herkunft)	Richtwert					
		TM	oTM	Biogasertrag		Methan- gehalt	Methanertrag
		% FM	% TM	NI/kg oTM	Nm ³ /t FM	%	NI/kg oTM
Grünroggensilage	-	25 ¹⁾	90	600	140	53	320
Sonnenblumensilage	-	25	90	520	120	57	300
Zuckerrübensilage	oTM säure- korrigiert	23	90	700	150	52	360
Futtrübensilage	oTM säure- korrigiert	16	90	700	100	52	360
Getreidekorn	gequetscht/ gemahlen	87	97	730	620	52	380
Körnermais	gequetscht/ gemahlen	87	98	730	620	52	380
Stroh	kurzgehäckselt	86	90	400	310	52	120
Grassilage	-	35	90	600	190	53	320
Landschaftspflegegras	-	50	85	200-400 ²⁾	85-170 ²⁾	50	100-200 ²⁾
Kleegrassilage	-	30	90	580	160	55	320
Klee-/Luzernesilage	-	30	90	530	140	55	290
Substrate aus der Weiterverarbeitung und organische Reststoffe							
Bioabfall ³⁾	-	40	50	615	120	60	370
Getreideschlempe	Alkoholproduktion	6	94	700	40	55	390
Getreideabfälle	-	88	85	650	490	56	360
Glycerin	Reinheitsgehalt 99 % = 1,3 kg/l	100	99	850	840	50	430
Kartoffelschlempe	Alkoholproduktion	6	85	670	30	54	360
Rapskuchen		92	87	660	530	60	400
Speisereste ³⁾	-	16	87	680	100	60	410

¹⁾ Nach Anwelken.

²⁾ Stark abhängig vom Verholungsgrad/Ligningehalt.

³⁾ Bioabfall und Speisereste setzen sich aus einer Vielzahl unterschiedlicher Herkünfte zusammen; im Einzelnen können sich die tatsächlichen Gasausbeuten von den hier angegebenen Werten unterscheiden.

Insgesamt haben sich die ausgewiesenen Gaserträge um ca. 10 % im Vergleich zu 2005 erhöht und dürften dadurch nun die in der Praxis erzielten Gasausbeuten besser widerspiegeln. Somit liefern die neuen Standardwerte auch weiterhin eine solide Entscheidungsgrundlage für Anlagenplaner, -betreiber und Berater. Im überarbeiteten Heft (KTBL 2010a; s. Anhang 2) werden zusätzlich einige Anwendungsbeispiele aufgeführt, wie die Richtwerte z. B. zur Überprüfung des laufenden Anlagenbetriebs herangezogen werden können.

6 Ausblick

Ringversuch / Methodenvorschrift

Die Methodenvorschrift wird voraussichtlich noch 2010 als Verbandsmethode verabschiedet werden.

In den Durchgängen des Ringversuchs wurde der hohe Bedarf seitens der Labore für einen Methodenabgleich und eine Verifizierung der Versuchsdurchführung und Auswertung deutlich. Durch den expandierenden Markt der Biogaserzeugung und insbesondere die Öffnung des EEG für landwirtschaftliche Nebenprodukte besteht ein steigender Bedarf an Analysen des Gasertrags. Sehr unterschiedliche Stoffeigenschaften stellen auch zunehmende Herausforderungen an die Versuchsdurchführung. Darüber hinaus nimmt die Anzahl der in diesem Bereich tätigen Labore stark zu. Gerade für neue Marktteilnehmer ist die Verifizierung ihrer Methoden von besonderer Bedeutung. Weiterführende Ringversuche sind daher sinnvoll.

Richtwerte zu Gaserträgen

Die Datenlage zur Abschätzung von Richtgrößen für den Gasertrag ist für die wichtigsten auf Biogasanlagen eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe gut. Wenige Daten liegen allerdings für Wirtschaftsdünger vor. Dies liegt daran, dass diese Produkte bisher meist innerbetrieblich genutzt und selten als Biogassubstrat gehandelt wurden. Mit der Einführung des Güllebonus hat sich dies geändert, so dass zunehmendes Interesse an verlässlichen Gasertragsdaten für Wirtschaftsdünger besteht. Gleiches gilt für landwirtschaftliche Nebenprodukte, deren Bedeutung zunehmen wird. Es ist daher damit zu rechnen, dass sich die verfügbare Datenbasis in Zukunft verbessern wird.

Für die Einschätzung des Gasertrags aus Wirtschaftsdüngern sind auch systematische Untersuchungen sinnvoll, da deren Gasertrag stark von Haltungs- und Lagerungsbedingungen abhängig ist. So haben z.B. der Strohgehalt und die Lagerzeit von Festmist deutlichen Einfluss auf dessen Gasertrag, so dass zufällig erhobene Daten häufig schwer auszuwerten sind.

Sobald sich die Datenbasis in diesen Bereichen deutlich verbessert hat, ist eine Aktualisierung der hier abgeleiteten Richtwerte sinnvoll.

7 Literatur

AMON, T.; EDER, M.; HRBEK, R.; KRYVORUCHKO, V.; MACHMÜLLER, A.; MILOVANOVIC, D.; STÜRMER, B. (2007): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark, Endbericht BMLFUW-Forschungsprojekt 1421. www.wiso.boku.ac.at/fileadmin/_/H73/H733/pub/Biolandbau/2007_Endbericht_BMLFUW1421_Steiermark.pdf; Zugriff am 28.07.2010

BIOGAS FORUM BAYERN (2010): Eignet sich Miscanthus als Biogassubstrat? <http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/>; Zugriff am 29.07.2010

KTBL (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL-Heft 50, KTBL, Darmstadt

KTBL (2009a): Faustzahlen Biogas. KTBL, Darmstadt

KTBL (2009b): Faustzahlen für die Landwirtschaft. KTBL, Darmstadt

KTBL (2010a): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, 2. überarbeitete Auflage. KTBL-Heft 88, KTBL, Darmstadt (im Druck)

KTBL (2010b): Clevere Landwirte geben Gas – Musterlösungen für landwirtschaftliche Biogasanlagen, Teil 2. KTBL-Heft 89, KTBL, Darmstadt (in Vorbereitung)

OHLY, N. (2006): Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Optimierung der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen (Dissertation),
<https://fridolin.tu-freiberg.de/archiv/pdf/MaschinenbauOhlyNils207427.pdf>; Zugriff am 28.07.2010

VDI (2006): Technische Regel VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Beuth Verlag GmbH, Berlin

8 Anhang

Die im Anhang befindlichen Dokumente sind nicht zur Veröffentlichung freigegeben. Sie werden jedoch durch den Auftragnehmer bzw. durch Veröffentlichung als VDLUFA-Verbandsmethode der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

1. Methodenvorschrift zur Bestimmung von Gaserträgen: „Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute von Kofermenten in Gärtests“
2. Endfassung des Heftes „Gasausbeute in Biogasanlagen“ 2. Auflage (KTBL-Heft Nr. 88)

BESTIMMUNG DER BIOGAS- UND METHAN AUSBEUTE VON KOFERMENTEN IN GÄRTESTS

Verbandsmethode

1 Zweck und Anwendungsbereich

Die Methode dient der Bestimmung des Biogas- und Methanertrags von Kofermenten in Gärtests.

2 Prinzip

Die Probe wird unter standardisierten Bedingungen mit einem Inokulum (Impfsubstrat) in einem Kleinfermenter unter kontrollierten Temperaturbedingungen anaerob vergoren. Die je kg zugeführter organischer Trockenmasse entstehende Methanmenge (Biogasmenge und –zusammensetzung) wird bestimmt.

3 Reagenzien

- 3.1 Inokulum aus einer Biogasanlage (besser Mischung mehrerer Anlagen), Versuchsfermenter oder/und Faulturm, gegebenenfalls kultiviert, ausgehungert (geringes Gasbildungspotential 7.1), oTS-Gehalt: 1-3 Gew-%, und mind. 50% des TS-Gehaltes, Essigsäureäquivalent < 500 mg/l (5.1)
- 3.2 Referenzmaterial: Mikrokristalline Zellulose, evtl. ergänzt durch eine hausinterne Referenzprobe.

4 Geräte

- 4.1 Temperierte Kleinfermenter nach VDI-Richtlinie 4630 mit Gas auffangeinrichtung
- 4.2 Evtl. Kondensator (Kühlfalle) zur Entfernung von Wasserdampf aus dem Gasstrom
- 4.3 Graduiertes Gassammelrohr, Eudiometer, Gaszähler, Mikrogaszähler oder Trommelgaszähler

Bearbeiter: n.n.

- 4.4 IR-Spektrometer oder anderes geeignetes Messgerät zur Bestimmung des CH₄- und ggfs. ergänzend des CO₂-Gehaltes (vgl. 5.4.3.)
- 4.5 Temperatur- und Luftdruckmessgerät

5 Durchführung

5.1 Vorbereitung

Die einzuwiegende Probenmenge wird auf < 10 mm Partikelgröße zerkleinert. Körner wie Getreide oder Ölsaaten werden gequetscht oder geschrotet.

Von jeder Probe und dem Inokulum werden der Trockensubstanzgehalt (Trocknung bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz) und der organische Trockensubstanzgehalt (Vermuffeln bei 550 °C) bestimmt. Vom Inokulum wird der pH-Wert bestimmt.

Die oTS-Masse der einzuwiegenden Probe darf maximal 50 % der oTS-Masse des zugesetzten Inokulums betragen (7.8). Die Einwaage ist mit einer Genauigkeit von 1% relativ zu bestimmen.

Der Trockensubstanzgehalt der Mischung aus Inokulum und Probe im Fermenter darf 10% nicht überschreiten.

5.2 Ansatz im Fermenter

Die vorbereitete Probenmenge wird mit dem Inokulum in Fermenter gut vermischt. Beim Verschließen der Fermenter wird der Kopfraum mit Inertgas (Stickstoff, Argon) gespült. Es werden mindestens 3 Wiederholungen einer Probe angesetzt, für großvolumige Fermenter (ab ca. 10 Liter Substratvolumen) sind 2 Wiederholungen ausreichend. Die Kriterien zur Wiederholbarkeit der Messungen (5.4.5) sind jedoch in jedem Fall einzuhalten.

Die Fermenter samt Inokulum werden im mesophilen Bereich bei einer Temperatur von 37 ± 2°C gefahren. Die Fermenter werden regelmäßig (mindestens täglich) gerührt. Die Bildung von Schwimmschichten muss verhindert und Gas aus dem Fermenterinhalt freigesetzt werden.

Eine Nullprobe nur mit Inokulum zur Bestimmung des Blindwertes (Gasertrags des Inokulums) wird bei jeder Charge als Dreifachbestimmung mit angesetzt. Je Ansatz wird eine Referenzprobe (3.2) zur Kontrolle mitgeführt. Deren Gasertrag darf vom laboreigenen Sollwert um nicht mehr als 5% abweichen.

5.3 Messung

Die Messung der Gasmenge findet so häufig statt, dass kein oder nur eine minimaler Überdruck im Kleinfementer entsteht. Zu jedem Messtermin findet eine Luftdruck- und Gas-Temperaturmessung zum Zeitpunkt und am Ort der Volumenmessung statt. Die Messungen werden über den gesamten Zeitraum vorgenommen.

Die Messungen enden, wenn alle drei folgenden Kriterien erfüllt sind:

- a. mindestens 25 Tage Vergärung
- b. die tägliche Gasmenge unter 0,5% der bisher bestimmten Gasmenge fällt und
- c. das Kriterium b. an drei aufeinanderfolgenden Tagen erfüllt ist.

Der pH-Wert des Fermenterinhalt wird nach Ende der Untersuchung kontrolliert, um sicherzustellen, dass es während des Untersuchungszeitraums zu keiner Versauerung kommt bzw. gekommen ist.

Die Gasqualität (Methangehalt sowie ggfs. der CO₂-Gehalt werden repräsentativ für jede Volumenbestimmung erfasst. Das Methan-Messgerät (4.4) muss arbeitstäglich überprüft und gegebenenfalls kalibriert werden.

5.4 Auswertung

Die Auswertung erfolgt zunächst für jeden einzelnen Messtag. Diese Werte werden dann zu einem Gesamtgasertrag aufaddiert.

5.4.1 Gasvolumen je Messtag

Die gemessenen Gasmengen werden für jeden Messtag auf Normliter (trockenes Gas bei 0°C und 1013 hPa) umgerechnet:

$$V_{0p} = V_p + \frac{T_0}{T_p} \cdot \frac{p - p_w}{p_0}$$

- Mit:
- V_p = abgelesenes Volumen in Liter l
 - V_{0p} = Volumen des Gases in Normliter NI
 - p = Luftdruck in hPa
 - p_0 = Normdruck: 1013 hPa
 - p_w = Dampfdruck des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur des Gases am Messgerät in hPa
 - T_p = Gastemperatur in K am Messgerät (°C + 273)
 - T_0 = Normtemperatur: 273 K

Der Wasserdampfdruck kann aus Tabellen entnommen werden (VDI-

Richtlinie 4630). Bevorzugt sollte er bei Sättigung mit Wasserdampf mit der Magnus-Formel berechnet werden (9.2):

$$p_w = 6,11213 * e^{(17,5043 * T_c)/(241,2+T_c)}$$

Mit T_c = Temperatur des Gases am Volumen-Messgerät in °C

Analog wird der Blindwert V_{oB} (Gasmenge der Nullprobe in Normliter) berechnet, wobei die Intervalle zwischen den Messungen wegen der geringeren Gasbildung in der Regel länger sind.

5.4.2 Summe des spezifischen Gasvolumens

Der Gasertrag der verschiedenen Messtage wird summiert und auf die eingewogene Menge oTS bezogen. Da die Messintervalle für Probe und Blindwert häufig unterschiedlich lang sind, erfolgt die Blindwertkorrektur in diesem Schritt. Sollen korrigierte Werte auch für einzelne Messtage berechnet werden, so müssen die Gaserträge des Blindwertes gegebenenfalls rechnerisch auf die entsprechenden Messintervalle der Probe aufgeteilt werden.

$$V_s = \left(\sum_n V_{oPn} - \sum_n V_{oBn} \right) \cdot \frac{100}{m \cdot C_{oTS}}$$

Mit: V_s = spezifischer Gasertrag je kg oTS

V_{oPn} = Gasertrag der Probe am n. Tag in Normliter

V_{oBn} = Gasausertrag des Blindwertes am n. Tag in Normliter

m = Einwaage in kg

n = n Tage des Untersuchungszeitraums

C_{oTS} = oTS-Gehalt der Probe in g je 100g Frischmasse (%)

5.4.3 Methanertrag je Messtag

Die Berechnung des Methan-Ertrags erfolgt zunächst für jeden einzelnen Messtag aus den Gasmengen (Normliter) und den korrespondierenden CH_4 -Konzentrationen. Eine Standardisierung der Methan-Konzentration über gleichzeitig gemessene CO_2 -Konzentrationen wird empfohlen, da hierdurch eine Korrektur der Methan-Konzentration um im Messgas vorhandenen Restwasserdampf vorgenommen wird. Auch eine Kopfraumkorrektur (Totvolumen im Fermenter) erübrigt sich durch dieses Vorgehen, da in der Anfangsphase des Versuches vorhandenes Inertgas im Gasvolumen rechnerisch berücksichtigt wird.

Für die Probe:

$$CH_{4P} = V_{oP} \cdot \frac{C_{PCH_4}}{C_{PCH_4} + C_{PCO_2}}$$

Mit: CH_{4P} = Methanmenge aus der Probe in Normliter NI
 V_{0P} = Gasmenge der Probe in Normliter NI
 C_{PCH_4} = Messwert für die CH_4 -Konzentration der Probe in %
 C_{PCO_2} = Messwert für die CO_2 -Konzentration der Probe in %

Für den Blindwert analog:

$$CH_{4B} = V_{0B} \cdot \frac{C_{BCH_4}}{C_{BCH_4} + C_{BCO_2}}$$

Falls keine CO_2 -Konzentration im Messgas bestimmt wurde, muss die CH_4 -Messung in zuverlässig getrocknetem Gas erfolgen und, falls ein relevantes Kopfraumvolumen vorliegt, eine Kopfraumkorrektur nach 7.6 vorgenommen werden.

5.4.4 Summe des spezifischen Methanertrags

Analog der Berechnung des spezifischen Biogasvolumens gilt:

$$CH_{4S} = \left(\sum_n CH_{4Pn} - \sum_n CH_{4Bn} \right) \cdot \frac{100}{m \cdot C_{oTS}}$$

Mit: CH_{4S} = spezifischer Methanertrag je kg oTS
 CH_{4Pn} = Methanertrag der Probe am n. Tag in Normliter
 CH_{4Bn} = Methanertrag des Blindwertes am n. Tag in Normliter
m = Einwaage in kg
n = n Tage des Untersuchungszeitraums
 C_{oTS} = oTS-Gehalt der Probe in g je 100g Frischmasse (%)

5.4.5 Gültigkeit der Messung

Bei drei Wiederholungen einer Probe dürfen diese um maximal die Wiederholbarkeit (s. 6.) paarweise voneinander abweichen. Sollte eine Wiederholung eine größere Abweichung von den anderen beiden Proben aufweisen, wird sie verworfen. Zeigen keine zwei Wiederholungen einer Probe paarweise kleinere Abweichungen als die Wiederholbarkeit aus 6, wird die Probe wiederholt.

Der Methanertrag der mitgeführten Referenzprobe (3.2) darf maximal 5 % vom hauseigenen Sollwert (bestimmt als Mittelwert über einen längeren Zeitraum) abweichen. Ist die Abweichung größer, wird der gesamte Ansatz wiederholt.

6 Angaben zur Statistik

Die Versuchsanlage und Vorgehensweise wurde in Ringuntersuchungen des KTBL und VDLUFA geprüft. Die Auswertung erfolgte nach DIN ISO 5725. Ergebnisse aus unterschiedlichen Ringversuchen sind in der folgenden Tabelle dargestellt

Biogasertrag [NI/kg oTS]			
L			
N			
\bar{x} (%)			
s_r (%)			
VK_r (%)			
s_R (%)			
VK_R (%)			
Methanertrag			
L	-	-	-
N	-	-	-
\bar{x} (%)	-	-	-
s_r (%)	-	-	-
VK_r (%)	-	-	-
s_R (%)	-	-	-
VK_R (%)	-	-	-

L = Anzahl der Laboratorien in der Auswertung

N = Anzahl der Einzelwerte in der Auswertung

\bar{x} = Mittelwert

s_r = Wiederholstandardabweichung

VK_r = Wiederholvariationskoeffizient

s_R = Vergleichstandardabweichung

VK_R = Vergleichvariationskoeffizient

7 Bemerkungen

7.1 Inokulum

Frisches Inokulum aus einem aktiven Biogasfermometer muss erst über mehrere Tage temperiert ausgefault werden, um die Eigenmethanproduktion des Inokulums zu senken. Die Eigenmethanproduktion des Inokulums sollte weniger als 20 % der Methanproduktion des Testsubstrates betragen.

7.2 Probenlagerung bis zur Untersuchung

Wenn Proben zwischen Annahme und Untersuchung gelagert werden müssen, ist für verderbliche und andere nicht-stabile Proben eine Lagerung in gefrorenem Zustand vorzusehen. Aufgetaut wird im Kühlschrank bei max. 4-8 °C in geschlossenen Behältern.

7.3 Abweichungen in der Probenvorbereitung

Wird z.B. auf Wunsch des Auftraggebers von der Zerkleinerung der Proben abgewichen, muss dies im Prüfprotokoll ausgewiesen werden.

7.4 TS- bzw. oTS-Bestimmung an Silagen und anderen Proben mit flüchtigen Bestandteilen

Bei der TS- und oTS-Bestimmung von Silagen gehen flüchtige Fettsäuren und Alkohole weitgehend verloren. Dadurch kann der spezifische Methanertrag überschätzt werden. Bei Silagen und anderen hydrolysierten Substraten muss daher der Gehalt an Fettsäuren und Alkoholen bestimmt werden, um den TS- bzw. oTS-Gehalt der Substratprobe zu korrigieren. Eine pauschale Korrektur der TS-Gehalte nach Tabellenwerten wird empfohlen. (8) Die Art bzw. Literaturquelle der vorgenommenen Korrektur ist im Messbericht zu nennen.

Silagen sind möglichst ungetrocknet zu vergären. Bei Trocknung von Silagen vor der Vergärung bezieht sich der ermittelte Gasertrag nur noch auf das von flüchtigen Substanzen befreite Substrat.

7.5 Wiederfindung

Zur Kontrolle des Messverfahrens wird in regelmäßigen Abständen die Wiederfindungsrate von mikrokristalliner Cellulose bestimmt. Hierbei muss ein Gasertrag von 740 Nl je kg oTS mit höchstens 5 % Abweichung erreicht werden. Wird dieser nicht erreicht, sind vor der Durchführung weiterer Messungen die Apparatur, die Messeinrichtungen und das Impfmateriale zu überprüfen.

Die Ansätze zur Bestimmung der Wiederfindungsrate können zur Festlegung des Gasertrags eines laborinternen Referenzmaterials genutzt werden, das der Überprüfung der Versuchsansätze dient (5.4.5)

7.6 Kopfraumkorrektur

Wird keine Kopfraumkorrektur nach 5.4.3 durchgeführt, ist die Korrektur des Methangehaltes wie folgt vorzunehmen, um das bei Versuchsende im Kopfraum enthaltene Methan zu berücksichtigen.

$$C_{\text{korrr}}^{\text{tr}} = C_{t_2}^{\text{tr}} + (C_{t_2}^{\text{tr}} - C_{t_1}^{\text{tr}}) \frac{V_K}{V_B}$$

Mit: $C_{\text{korrr}}^{\text{tr}}$ = korrigierte Konzentration der Biogaskomponente im trockenen Gas, in Vol.%
 C^{tr} = gemessene Konzentration der Biogaskomponente im trockenen Gas, in Vol.%
 V_K = Kopfraumvolumen, in ml
 V_B = Volumen des produzierten Biogases, in ml
 t = Messzeitpunkt ($t_2 > t_1$)

7.7 Kalibrierung des IR-Spektrometers oder anderen geeigneten Messgerätes zur Bestimmung des CH₄- und CO₂-Gehaltes

Der aktuell gültigen Kalibrierung der Messgeräte zur Bestimmung der Gaszusammensetzung kommt große Bedeutung zu. Die Kalibrierung ist zeitnah zu den Messungen und regelmäßig mit Prüfgasen zu kontrollieren bzw. neu zu erstellen.

7.8 Die oTS-Masse der einzuwiegenden Probe sollte 50 % der oTS-Masse des zugesetzten Inokulums nicht überschreiten. Wenn sichergestellt ist, dass die Probe nicht zu viele leichtvergärbare Substanzen (z.B. Zucker, Flotatfett, Melasse, Glycerin) enthält, kann dieser Anteil bis auf 100 % der oTS des Inokulums erhöht werden.

Ist der Anteil leichtflüchtiger Substanzen (flüchtige organische Säuren, Alkohole, Ester, usw.) größer als 10% bezogen auf die Trockenmasse, ist sicherzustellen, dass diese flüchtigen organischen Substanzen in der Berechnung des Mischungsverhältnisses von Inokulum und Probe berücksichtigt werden.

8 Literatur

8.1 VDI-Richtlinie 4630 – Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung,

- Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. VDI, April 2006
- 8.2 MUKENGELE, M. u. H. OECHSNER: Einfluss der Silierung auf den spezifischen Methanertrag bei Mais, Landtechnik Heft 1/2007, S. 20-21
- 8.3 WEISSBACH, F. u. C. STRUBELT: Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Silagen als Substrat für Biogasanlagen. In: Kurzfassungen zum 120. VDLUFA-Kongress in Jena, 16. – 19. September 2008
- 8.4 WEISSBACH, F. u. C. STRUBELT: Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen. Landtechnik Heft 2/2008, S. 82-83
- 8.5 Sonntag, D. und Heinze, D.: Sättigungsdampfdruck- und Sättigungsdampfdichtetafeln für Wasser und Eis. (1. Aufl.), VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1982

Nicht zur Veröffentlichung freigegeben

„Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen“

Der Erarbeitung dieses Heftes liegen Untersuchungsergebnisse und Laborwerte zugrunde, die von den Mitgliedern der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“ im Rahmen des FNR-Projekts „Ringversuch Biogaserträge“ ermittelt, bereit- und zusammengestellt wurden. Der Dank hierfür gilt den Autoren und Einrichtungen:

Prof. Dr. Thomas Amon	Universität für Bodenkultur, Institut für Land-, Umwelt- und
Dr. Alexander Bauer	Energietechnik, Wien
Dr. Manfred Bischoff	LUFA Nord-West, Oldenburg
Dr. Joachim Clemens	Gewitra mbH, Bonn
Dr. Hauke Heuwinkel	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Land- technik und Tierhaltung (ILT), Freising
Ulrich Keymer	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Länd- liche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik, München
Gabi Meißauer	Schmack Biogas AG, Schwandorf
Dr. Hans Oechsner	Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bio- energie, Stuttgart
Dr.-Ing. Gerd Reinhold	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena
Hannelore Schelle	Institut für Agrartechnik Bornim e.V (ATB), Abteilung Bioverfahrens- technik, Potsdam-Bornim
Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Peter Weiland	Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechno- logie und Biosystemtechnik, Braunschweig
OAR Winfried Welsch	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucher- schutz (BMELV), Bonn
Walter Zerr	Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL), Abtl. IV Landwirt- schaft und Umwelt, Gießen

Darüber hinaus haben folgende Einrichtungen dankenswerterweise Daten zur Verfügung gestellt:

- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenzüchtung (IPZ), Freising, Dr. E. Stickse
- Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Fakultät Ressourcenmanagement, Fachgebiet Nachhaltige Energie- und Umwelttechnik (NEUTec), Prof. R. Wallmann
- Institut für Agrartechnik Bornim e.V (ATB), Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe, Potsdam-Bornim (Ergebnisse aus dem FNR-Projekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)“)
- Technologie und Förderzentrum für nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing, Dr. D. Bloch
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Abteilung Pflanzenproduktion und Agrarökologie, Dornburg (Ergebnisse aus dem FNR-Projekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)“)

1. Problemstellung

Mit den Novellierungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in den Jahren 2004 und 2008 wurden die Voraussetzungen für einen verstärkten Einsatz der Biogaserzeugung in der Landwirtschaft geschaffen. Zusätzlich zu den nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) und Wirtschaftsdüngern werden zukünftig verstärkt auch rein pflanzliche Nebenprodukte Verwendung finden.

Die in den Biogasanlagen erzielbare Gasausbeute wird sowohl von der Zusammensetzung des Substrates als auch durch die Verfahrens- und Prozesstechnik beeinflusst. Die Abschätzung der zu erwartenden Gasausbeute - für die Auslegung der Biogasanlagen im Zuge der Planung notwendig - erfolgt oft empirisch aufgrund von individuellen Erfahrungswerten. Dies führt zu sehr unterschiedlicher Dimensionierung der Anlagen bei sonst gleichen Ausgangsbedingungen. Da sich Biogasanlagen durch hohen Kapitalbedarf und Langlebigkeit auszeichnen, wirken sich Fehler in der Anlagenauslegung oft gravierend aus: eine spätere Korrektur der Auslegungsmängel ist meist nicht möglich. Mit der 2005 veröffentlichten ersten Auflage des vorliegenden KTBL-Heftes wurde ein einheitlicher Standard zur Abschätzung der Gasausbeute landwirtschaftlicher Biogasanlagen auf Basis des bekannten Wissens bereitgestellt.

Seit 2005 erfolgten durch Labore und wissenschaftliche Einrichtungen weitere Gärversuche mit unterschiedlichen Zielstellungen. Schwerpunkte waren die Ermittlung der Gaserträge für die Anlagenauslegung und die Beantwortung von Fragen wie der Einfluss von Erntetermin, Art und Sorte auf die Gasausbeute. Durch die Vorgaben der VDI-Richtlinie „Vergärung organischer Stoffe“ (VDI 4630) und die bundesweit durchgeführten Ringversuche konnte die Variation in den Messergebnissen der einzelnen Labore deutlich verringert werden.

Aus dem Betrieb von inzwischen mehr als 4 000 landwirtschaftlichen Biogasanlagen konnten zudem Praxiserfahrungen zu verfahrenstechnischen Einflussfaktoren sowie Daten zur substratgerechten Dimensionierung der Anlagen gewonnen werden. Auch hier zeigte sich der Bedarf für eine Überarbeitung der Datengrundlage für die erste Auflage.

2. Zielsetzung

Vorliegendes KTBL-Heft fasst die aktuellen Ergebnisse der durchgeführten Batch-Fermentationsversuche zusammen und dokumentiert die statistische Auswertung der ermittelten Gaserträge. Durch die Auswertung vieler, unter vergleichbaren Bedingungen im Labormaßstab durchgeführter Gärversuche und die Einbeziehung des Wissens von Experten können fundierte Richtwerte für den zu erwartenden Gasertrag als Basis für Anlagenkonzeption und -planung sowie die Prozessführung bereitgestellt werden.

Infolge der letzten EEG-Novelle (2009) sind Veränderungen in der Substratzusammensetzung, Verfahrenstechnik und im Anlagenbetrieb zu erwarten. Qualifizierte Richtwerte zu Gaserträgen sind daher z. B. erforderlich für:

- bestehende Biogasanlagen (z. B. Substratauswahl, Belastungssteigerung),
- die Auslegung neu zu errichtender Biogasanlagen (Auslegungs- und Optimierungsmöglichkeiten) auf Basis der regionalen Verfügbarkeit der Substrate und
- die Entscheidung zum eigenen Anbau bzw. dem Zukauf pflanzlicher Ko-Substrate oder dem Einsatz rein pflanzlicher Nebenprodukte.

In der Praxis wird die Gasausbeute aus Substraten nicht nur durch deren Gasbildungspotenzial bestimmt. Biologische und technische Parameter im Anlagenbetrieb haben erheblichen Einfluss auf den Gasertrag und sind daher ebenfalls dargestellt.

Damit soll dieses Heft dazu beitragen, in der Praxis vorhandene Auslegungs- und Planungsprobleme zu vermindern. Zusätzlich werden Informationen zur Bedeutung einer genauen Massenermittlung und zur Normierung des Gasvolumens zur Verfügung gestellt.

3. Herangehensweise

Laborversuche

Durch die Arbeit der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“ und die Bereitstellung von Versuchsergebnissen durch die beteiligten Einrichtungen konnten insgesamt 1386 Datensätze für die Auswertung zusammengestellt werden.

Basis für die statistische Auswertung bildeten Batch-Fermentationsversuche mit Einzelsubstraten, die entsprechend der VDI-Richtlinie 4630 durchgeführt wurden. Kontinuierliche Gärversuche wurden hingegen nicht einbezogen, da diese meist mit anderen Zielsetzungen, z. B. Untersuchung der Prozessstabilität, durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der in die Auswertung einbezogenen Laboruntersuchungen wurden gemittelt. Durch die Angabe des Stichprobenumfangs und des Variationskoeffizienten besteht die Möglichkeit, die Genauigkeit des Mittelwertes zu bewerten, die ein Produkt der Probenheterogenität und der methodischen Variation ist.

Fachlich ermittelte Ausreißer im Bereich der Gaserträge, aber auch Datensätze zu Substraten mit praxisunüblichen Trockenmassegehalten in den zur Verfügung gestellten Datensätzen blieben in Absprache mit den durchführenden Einrichtungen von Beginn an in der Auswertung unberücksichtigt. Aus den verbleibenden Datensätzen wurden diejenigen in die hier dargestellten Werte einbezogen, deren Ergebnisse innerhalb einer Spanne von Mittelwert plus bzw. minus der zweifachen Standardabweichung des gesamten Datensatzes für das jeweilige Substrat lagen.

Substrate, für die nur einzelne Untersuchungsergebnisse vorlagen, sind nicht dargestellt, da eine statistische Auswertung nicht möglich war.

Richtwerte für die Gasausbeute

Bei der Zusammenstellung der Ergebnisse aus den Gärversuchen zeigte sich, dass z. T. große und aus den vorliegenden Daten nicht begründbare Unterschiede zwischen den Einzelergebnissen vorliegen. Gleichzeitig differierte die Anzahl der auswertbaren Einzelversuche je Labor und Substratart teilweise erheblich. In Anbetracht dieser Faktoren und auch aufgrund der z. T. geringen Anzahl von Gärversuchen mit der gleichen Substratart sind die dargestellten Ergebnisse der statistischen Auswertung unterschiedlich gut abgesichert. Zusätzlich können die in den Batchversuchen z. T. sehr niedrigen Trockensubstanzgehalte für eine Reihe von Silagen nicht auf die Praxis übertragen werden.

Daher hat sich die Arbeitsgruppe - wie bereits 2005 bei der ersten Auflage dieses Heftes - zur Veröffentlichung von Richtwerten entschlossen. Diese basieren neben den Laborergebnissen auf Ergebnissen von Rechenmodellen sowie auf Erfahrungen aus dem Betrieb von Praxisanlagen. Eine laufende Überprüfung und Verifizierung anhand neuer Ergebnisse zu Gaserträgen wird zur weiteren Qualifizierung der Richtwerte empfohlen

4. Ermittlung der Gasausbeute

4.1 Methoden und Verfahren

Im Allgemeinen erfolgt die experimentelle Ermittlung der Gasausbeute im Labor gemäß der Standards der VDI-Richtlinie 4630. Folgende Methoden kommen hierbei zur Anwendung:

- **Batchversuche** mit Aussagen zur qualitativen Beurteilung der Geschwindigkeit des anaeroben Abbaus und einer quantitativen Ermittlung des potenziellen Gas- und Methanertrags (Abb. 1). Die Ergebnisse sind jedoch mit Unsicherheiten verbunden (HEUWINKEL ET AL. 2009, MEBNER ET AL. 2009), wie sich auch bei der Zusammenstellung der Daten für die erste Auflage dieses Heftes gezeigt hat.
Unter anderem auch vor diesem Hintergrund wird derzeit ein Ringversuch mit 30 Laboren zur Feststellung und Verbesserung der Untersuchungsqualität im Batchversuch durchgeführt. Ziel ist die Erstellung einer entsprechenden VDLUFA-Methodenvorschrift für solche Messun-

gen. Die hier ausgewerteten Daten wurden bis auf wenige Ausnahmen von am Ringversuch beteiligten Laboren zur Verfügung gestellt.

- **Kontinuierliche Gärversuche** sind für die Simulation von Raumbelastung, Verweilzeit, mehrphasiger Prozessführung, Prozessstabilität, Zuspisefrequenz, Schockbelastung, Anfahprozessen und Ähnlichem geeignet.



Abbildung 2: Batch-Fermentationsversuche

Rechenmodelle sind hilfreich, wenn im Einzelfall keine belastbaren Messwerte für die zu erwartende Gasausbeute vorliegen. Die Gasausbeuten und der Methangehalt werden näherungsweise nach Analyse der Substratinhaltsstoffe (Futtermittelanalyse nach Weender bzw. van Soest) unter Berücksichtigung der Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe berechnet. Hoher Rohfaser- und Ligningehalte setzen die Verdaulichkeit des eingesetzten Substrates deutlich herab und führen zu einem niedrigeren Methanertrag.

So kann Wiesengras bzw. Grassilage einer intensiv bewirtschafteten Fläche bei einem optimalen Erntezeitpunkt mit hohem Eiweiß- und niedrigem Rohfasergehalt (22 % des TM-Gehaltes) einen Methanertrag von bis zu 350 l/kg oTM liefern, während Substrat einer Landschaftspflegefläche mit einem hohen Rohfasergehalt (35–45 % des TM-Gehaltes) lediglich 100 bis 200 NI Methan/kg oTM erbringt (Abb. 2). Rechenmodelle liefern so eine Entscheidungshilfe für oder gegen den Einsatz eines einzelnen Substrates mit nicht bekannter Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen (AMON ET AL. 2007, BASERGA 1998, KEYMER UND SCHILCHER 1999, KTBL UND BOKU 2010, LFL BAYERN 2004, WEIßBACH 2008).

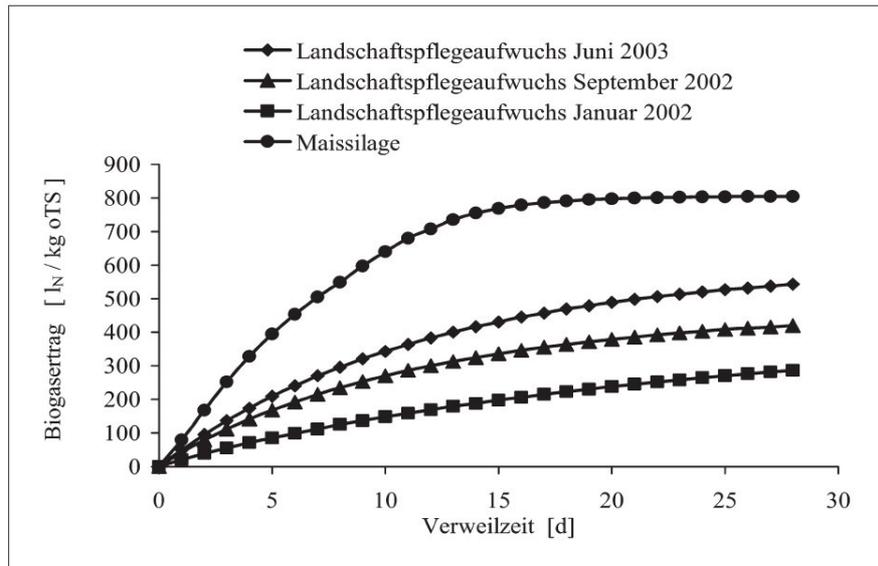


Abbildung 2: Kumulierte Biogaserträge aus Landschaftspflegeaufwuchs unterschiedlicher Schnittzeitspannen; Maissilage zum Vergleich (PROCHNOW ET AL. 2007)

4.2 Probenahme und Ergebnisberechnung

- Probenahme, Aufbereitung und Transport der Probe

Für die Entnahme einer repräsentativen Untersuchungsprobe zeichnet in der Regel der Landwirt verantwortlich. Anleitungen zur sachgerechten Probenahme finden sich in den einschlägigen Vorschriften der landwirtschaftlichen Untersuchungsanstalten (VDLUFA) bzw. der Landesanstalten und Kammern.

Für Silagen empfiehlt sich die Korrektur des TM-Gehaltes, um den Verlust der flüchtigen Säuren bei der Ermittlung des TM-Gehaltes zu berücksichtigen. Diese kann analog zur Futtermitteluntersuchung nach VDLUFA erfolgen, oder nach dem Vorschlag von WEIßBACH und STRUBELT (2008), der für Biogasanlagen optimiert ist.

- Normierung des Gasvolumens (Normliter)

Alle Angaben zu Gasausbeuten im vorliegenden Heft beziehen sich auf Normvolumen. Dies ist erforderlich, da sich das Volumen von Gasen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur verändert. Mit zunehmender Gastemperatur vergrößert sich das Volumen bei konstantem Druck. Je größer der Druck, desto kleiner ist das Gasvolumen bei konstanter Temperatur. Um Volumenangaben (Biogaserträge) untereinander vergleichen zu können, müssen sich die Angaben deshalb auf den Normzustand (Normtemperatur $T = 273,15 \text{ K}$ oder $t = 0 \text{ °C}$; Normdruck $P = 1013 \text{ hPa}$; trockenes Gas) beziehen. Beispielsweise hat das Gas bei 30 °C und 960 hPa ein um rund 17% größeres Volumen als unter Normbedingungen, und somit einen um denselben Prozentsatz geringeren volumenbezogenen Heizwert als Normgas. Zudem weist Biogas immer einen mehr oder weniger großen, von Anlage zu Anlage schwankenden Feuchtigkeitsgehalt auf. Mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt im Biogas sinkt der Heizwert (H_i). Aus Gründen der Vergleichbarkeit empfiehlt es sich deshalb, das Normvolumen auf wasserfreies Gas zu beziehen.

Formel für die Umrechnung auf Normvolumen:

$$V_0 = V + \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p - p_w}{p}$$

V = abgelesenes Volumen in Liter l

V_0 = Volumen des Gases in Normliter

p = Gasdruck in mbar

p_0 = Normdruck: 1013 hPa

p_w = Dampfdruck des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur des Gases am Messgerät in mbar
 T = Gastemperatur in K am Messgerät ($^{\circ}\text{C} + 273,15$)
 T_0 = Normtemperatur: 273,15 K

Der Wasserdampfdruck kann aus Tabellen entnommen (VDI 4630; LFL BAYERN 2003) oder mit Hilfe der Magnusformel wie folgt berechnet werden:)

$$p_w = 6,11213 \cdot e^{\frac{(17,5043 \cdot T_c)}{(241,2 + T_c)}}$$

p_w = Wasserdampfdruck in mbar
 T_c = Temperatur des Gases am Messgerät in $^{\circ}\text{C}$

Zur Berechnung des Normvolumens müssen Rohgasvolumen, Gastemperatur und Luftdruck (wenn man hilfsweise unterstellt, dass Biogas druckfrei in der Leitung transportiert wird) bekannt sein. Es wird davon ausgegangen, dass das Gas wasserdampfgesättigt ist.

- Methangehalt

Zu beachten ist, dass der Methangehalt in der Praxis oft durch die biologische Entschwefelung durch Luftzufuhr (O_2) um 3 bis 8 % verringert wird. Gleichzeitig erhöht sich aber in gleichem Maße das Gasvolumen, so dass der Energieertrag pro Fermentervolumen oder kg oTM nicht beeinflusst wird.

5. Gaserträge

5.1 Gaserträge der Laborversuche

Alle der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“ zugänglichen, experimentell ermittelten Gaserträge wurden in eine Datenbank des KTBL eingestellt. Diese Datenbank enthält, soweit verfügbar, Informationen zu den Inhaltsstoffen der Substrate, zu den Vergärungsbedingungen sowie zur Versuchsanstellung. Im vorliegenden Heft werden für die einzelnen Substrate die Mittelwerte der Einzelmessungen für Trockenmassegehalt, organischen Trockenmassegehalt, Biogas- und Methanausbeute sowie Methankonzentration dargestellt (Tabelle 1).

Durch die Angabe der Anzahl an Datensätzen und des Variationskoeffizienten (VK = Standardabweichung in Prozent vom Mittelwert) als Maß für die Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert kann die Aussagequalität der Mittelwerte beurteilt werden. Der Variationskoeffizient bezieht sich auf die Biogasausbeute. Ein niedriger Variationskoeffizient ist ein Indiz für eine geringe Streuung der Gasausbeute und damit für eine hohe Aussagekraft der Werte. Dagegen steht ein hoher Variationskoeffizient für eine große Streuung der Werte. Allerdings nimmt auch dieses Streuungsmaß mit der Anzahl der Messwerte bei absolut gleicher Streuung ab. Daher ist für Planungszwecke bei hohen Variationskoeffizienten und/oder einer geringen Anzahl Messdaten die Untersuchung der eigenen Substrate zu empfehlen.

In der Praxis werden die Biogasausbeuten durch verfahrenstechnische Parameter sowie durch die Anlagentechnik erheblich beeinflusst (z. B. Verweilzeit, Fermenterbelastung, Prozessführung, Substratkonsistenz, Substrataufbereitung etc.). Der Methanertrag kann daher in der Praxis sowohl unter-, als auch über den in Tabelle 1 angegebenen Werten liegen.

Die Werte der Tabelle 1 enthalten Angaben für Methangehalte, die teilweise deutlich über praktischen Erfahrungswerten liegen. Dies ist u. a. dadurch begründet, dass in Batchversuchen keine biologische Entschwefelung stattfindet (4.2). Die in der Praxis übliche Luftzufuhr in den Gasraum der Anlagen senkt zwar den relativen Methangehalt, nicht aber die Methanmenge. Aus diesem Grund sollte vorrangig die auf oTM bezogene Methanausbeute (spezifischer Methanertrag; $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{kg oTM}$) als Grundlage für energetische Berechnungen zur Anwendung kommen.

In einigen der Batchversuche kamen Silagen zum Einsatz, deren Trockenmassegehalte deutlich unter praxisüblichen Werten lagen. Aus diesem Grunde wird in Tabelle 1 der Gasertrag nur auf oTM

bezogen angegeben. Eine Umrechnung der Gaserträge auf Frischmasse-Bezug kann wie folgt einfach durchgeführt werden:

$$\text{Gasertrag}(FM) = \frac{\text{Gasertrag}(oTM)}{\text{kg}(FM)/\text{kg}(oTM)}$$

Da für Substrate auf landwirtschaftlichen Betrieben häufig keine Informationen zum oTM-Gehalt vorliegen, kann vereinfachend von den folgenden Faktoren (F) zur Berechnung des oTM-Gehaltes aus dem Trockenmassegehalt ausgegangen werden ($\text{kg oTM} = F \times \text{kg TM}$):

Rindergülle:	0,82
Schweinegülle:	0,72
Mais- bzw. Sorghumsilage, Getreide-GPS:	0,94
Grassilage:	0,90

Nicht zur Veröffentlichung freigegeben

Tabelle 1: Mittelwerte für Trockenmassen, Biogas- und Methanerträge aus Laborversuchen mit ausgewählten Substraten
(Angaben in Normvolumen): Auswertung von Laborergebnissen der KTBL-Arbeitsgruppe "Biogaserträge")

Substrat	Eigenschaften (Substratzustand, Behandlung, Herkunft)	Anzahl Versuche [n]	TM	oTM	Biogas- ertrag [NI/kg oTM]	Variations- koeffizient Biogasertr. [%]	Methan- konz. [%]	Methan- ertrag [NI/kg oTM]
			[% FM]	[% TM]				
Wirtschaftsdünger								
Geflügelmist	abhängig vom Stroh-/Kot- Verhältnis, wenig gelagert	5	54,8	78,6	531	18	61	325
Rindermist		11	21,7	83,6	507	16	62	313
Rindergülle	-	24	10,4	82,6	299	28	59	176
Schweinegülle	-	34	5,0	72,6	372	33	n.v.	n.v.
Pferdemist/-äpfel ¹⁾	-	6	27,2	84,2	491	7	52	253
Nachwachsende Rohstoffe								
Gras	siliert/frisch							
<25% TS	-	51	22,4	90,2	603	10	50	304
25-40% TS	-	45	31,0	89,5	598	10	53	315
>40% TS	-	28	52,7	90,5	571	12	53	306
Kleegras	-	16	18,2	90,3	606	9	60	361
Klee	siliert/frisch	14	16,4	89,5	546	18	50	274
Luzerne	siliert/frisch	20	20,9	89,0	506	16	56	283
Maissilage	-							
<27% TS	-	59	24,3	95,2	642	8	54	347
27-36 % TS	-	195	31,6	96,0	646	8	54	348
>36 % TS	-	59	40,3	96,1	627	9	53	332
CCM	-	6	53,4	97,8	720	11	54	387
Mais Korn	-	3	79,9	94,8	764	10	51	385
Sorghum sudanense	siliert/frisch	20	26,6	93,3	577	9	54	312
Sorghum bicolor	siliert/frisch	50	25,7	92,9	608	11	56	336
Sorghum bicolor* sudanense	siliert/frisch	17	27,3	93,9	541	17	56	298
Panicum virgatum	siliert	4	29,2	93,5	609	13	57	348
Getreide/Grünroggen	siliert/frisch	222	29,9	92,6	582	15	56	326
Getreidekorn	gequetscht / geschrotet	10	87,6	96,2	752	6	51	381
Getreidestroh ²⁾	kurzgehäckselt	17	92,8	91,6	558	6	52	292
Raps-GPS		7	31,2	92,2	543	9	62	335
Sonnenblume	siliert/frisch	76	20,9	88,7	517	16	57	294

Substrat	Eigenschaften (Substratzustand, Behandlung, Herkunft)	Anzahl Versuche n	TM	oTM	Biogas- ertrag NI/kg oTM	Variations- koeffizient Biogasertr. %	Methan- konz. %	Methan- ertrag NI/kg oTM
			% FM	% TM				
Zwischenfrüchte								
Raps (Zwischenfrucht)	siliert/frisch	46	16,3	91,8	572	8	54	306
Ölrettich ³⁾	siliert	5	9,3	80,1	509	8	60	305
Rübsen ³⁾	siliert	8	9,0	86,3	606	9	65	390
Senf ³⁾	siliert	2	13,4	87,5	531	30	60	318
Substrate aus der Weiterverarbeitung und organische Reststoffe								
Apfeltrester	-	3	22,7	93,5	574	12	50	282
Getreideabfälle	-	5	88,7	96,2	651	12	57	374
Kleie	-	3	88,8	94,4	773	2	54	415
Rapskuchen	-	5	92,3	87,6	659	4	59	387
Vinasse	-	3	4,6	75,0	757	21	54	403
Zuckerrübenschnitzel	-	3	25,4	90,9	747	11	58	430

¹⁾ Pferdemist: höherer TM- bzw. geringerer oTM-Gehalt als Pferdeäpfel, jedoch keine Unterschiede in den spezifischen Gaserträgen.

²⁾ Nur als Teilsubstrat in geringen Mengen, gehäckselt auf max. 10 mm.

³⁾ Laborsilagen, daher geringer TM-Gehalt.

5.2 Richtwerte für die Gasausbeuten

Die im Rahmen der begleitenden Expertengruppe abgestimmten Richtwerte für die Gasausbeute wichtiger Biogassubstrate sind in Tabelle 2 dargestellt. Zusätzlich wird hier der Frischmassebiogas-ertrag dargestellt, der aufgrund von praxisunüblichen Trockenmassegehalten bei einer Reihe der Laborsilagen in Tabelle 1 nicht ausgewiesen werden konnte.

Tabelle 2: Richtwerte für die Gasausbeute landwirtschaftlicher Biogasanlagen (Angaben in Normvolumen)

Substrat	Eigenschaften (Substratzustand, Behandlung, Herkunft)	Richtwert					
		TM	oTM	Biogasertrag		Methan- gehalt	Methanertrag
		% FM	% TM	NI/kg oTM	Nm ³ /t FM	%	NI/kg oTM
Wirtschaftsdünger							
Geflügelmist	abhängig vom Stroh-/Kot- Verhältnis, wenig gelagert	40	75	500	150	55	280
Rindermist		25	85	450	100	55	250
Rindergülle	mit Futterrest	10	80	380	30	55	210
Schweinegülle	-	6	80	420	20	60	250
Nachwachsende Rohstoffe							
Maissilage	-	33	95	650	200	52	340
CCM	-	65	98	730	470	52	380
Sorghumsilage	-	28 ¹⁾	90	610	150	52	320
Getreide-GPS	mittlerer Kornan- teil	33	95	620	190	53	330
Grünroggensilage	-	25 ¹⁾	90	600	140	53	320
Sonnenblumensilage	-	25	90	520	120	57	300
Zuckerrübensilage	oTM säure- korrigiert	23	90	700	150	52	360
Futterrübensilage	oTM säure- korrigiert	16	90	700	100	52	360
Getreidekorn	gequetscht/ gemahlen	87	97	730	620	52	380
Körnermais	gequetscht/ gemahlen	87	98	730	620	52	380
Stroh	kurzgehäckselt	86	90	400	310	52	120
Grassilage	-	35	90	600	190	53	320
Landschaftspflegegras	-	50	85	200-400 ²⁾	85-170 ²⁾	50	100-200 ²⁾
Kleegrassilage	-	30	90	580	160	55	320
Klee-/Luzernesilage	-	30	90	530	140	55	290
Substrate aus der Weiterverarbeitung und organische Reststoffe							
Bioabfall ³⁾	-	40	50	615	120	60	370
Getreideschlempe	Alkoholproduktion	6	94	700	40	55	390
Getreideabfälle	-	88	85	650	490	56	360
Glycerin	Reinheitsgehalt 99 % = 1,3 kg/l	100	99	850	840	50	430
Kartoffelschlempe	Alkoholproduktion	6	85	670	30	54	360

Substrat	Eigenschaften (Substratzustand, Behandlung, Herkunft)	Richtwert					
		TM	oTM	Biogasertrag		Methan- gehalt	Methanertrag
		% FM	% TM	Nl/kg oTM	Nm ³ /t FM	%	Nl/kg oTM
Rapskuchen		92	87	660	530	60	400
Speisereste ³⁾	-	16	87	680	100	60	410

¹⁾ Nach Anwelken.

²⁾ Stark abhängig vom Verholungsgrad/Ligningehalt.

³⁾ Bioabfall und Speisereste setzen sich aus einer Vielzahl unterschiedlicher Herkünfte zusammen; im Einzelnen können sich die tatsächlichen Gasausbeuten von den hier angegebenen Werten unterscheiden.

6. Gasausbeute und Stabilität des Fermentationsprozesses

Die Gasausbeuten der Tabellen 1 und 2 können in der Planungsphase landwirtschaftlicher Biogasanlagen herangezogen werden. Es empfiehlt sich, das Anlagenkonzept von einer neutralen Institution, z. B. landwirtschaftlichen Beratungsstelle, technisch und ökonomisch überprüfen zu lassen. Insbesondere die langfristige Entwicklung der Bereitstellungskosten und die Kontinuität der Verfügbarkeit der eingeplanten externen Ko-Substrate sind zu prüfen. Eine worst-case-Betrachtung schafft zusätzliche Sicherheit.

Grundvoraussetzung für einen effizienten Betrieb und die Optimierung der Gasausbeute in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage sind die Erfassung der Menge und Qualität der Einsatzstoffe und Produkte. Hierzu gehören das Biogasvolumen und/oder Elektroenergieeinspeisung ebenso, wie die CH₄- und H₂S-Gehalte des Biogases. Eine laufende Überwachung und Auswertung dieser Parameter, z. B. über Zeitreihen, ermöglicht die Beurteilung der Leistung der Biogasanlage, schafft Möglichkeiten, ggf. steuernd einzugreifen und dient als Entscheidungsgrundlage. Auch ist dies eine Voraussetzung zur Eigenkontrolle des BHKW-Wirkungsgrades. Leider fehlt diese elementare Messtechnik in vielen Anlagen.

6.1 Einflussfaktoren

Die spezifischen Biogausausbeuten (Tabelle 1) sind unter standardisierten, optimalen Bedingungen für die anaerobe Fermentation ermittelt worden.

Im Folgenden werden wichtige verfahrenstechnische Größen und deren Einfluss auf die Gasausbeute aufgeführt, hinsichtlich ihres Einflusses auf Gasausbeute und Prozessstabilität charakterisiert und bezüglich des Variations- und Einsatzbereiches beschrieben (Tabelle 3). Zu beachten ist, dass für den Fermentationsprozess vorrangig die Konzentration im Fermenter und nicht die der Zusp eisung von Relevanz ist. Eine Zusp eisung von Material mit hohen TM-Gehalten ist daher unproblematisch, sofern im Fermenter selbst im Mittel 10 bis 12 % TM (anlagentypische Grenzwerte) nicht überschritten werden.

Die verfahrenstechnischen Parameter Verweilzeit und Raumbelastung üben erheblichen Einfluss auf die in der Praxis realisierte Gasausbeute aus. Grundlage bildet hierbei das Nettovolumen der an der Gasbildung aktiv beteiligten Fermenter. Auch Stoffkonzentrationen, hemmende Wirkung von Substanzen und besonders der bei Monovergärungsanlagen oft festgestellte Mangel an Mikronährstoffen können zu erheblichen Abweichungen in der Gasausbeute führen (Tabelle 4). Während bei hohen Trockensubstanzgehalten im Fermenter (> 12 %) bei den meisten heute üblichen Fermenterbauarten hydraulische Probleme zu erwarten sind, können bei hohen Konzentrationen an Stickstoff und flüchtigen Fettsäuren biologisch bedingte Hemmwirkungen auftreten. Die Konzentrationsgrenzen sind z. T. fließend, da eine Adaption der Biozönose festzustellen ist (Tabelle 4).

Neben verfahrenstechnischen Parametern und Stoffkonzentrationen hat auch die Anlagentechnik (Pfpfenstrom, voll durchmischte Rührkessel, Reihen und Parallelschaltung, Trockenfermentation und Hydrolysevorstufen) einen zum Teil deutlichen Einfluss auf den anaeroben Prozess.

Tabelle 3: Einflussfaktoren auf die Gasausbeute und Stabilität des Prozesses in landwirtschaftlichen Biogasanlagen (Rührkesselfermenter)

Parameter	Einheit	Wertebereich	Gasausbeute (m ³ /kg oTM)	Bemerkungen
Temperatur	°C	30 bis 45	mit steigender Temperatur erhöht sich die Umsetzungsgeschwindigkeit; Temperaturen	mesophile Mikroorganismen, üblicher Temperaturbereich
	°C	45 bis 55	> 55 °C führen zu Prozessdepression	thermophile Mikroorganismen; Anwendung nur vereinzelt
Verweilzeit ¹⁾	-	Innerhalb der Temperaturbereiche ist eine Wirkung auf Gasausbeute und Stabilität unter praktischen Bedingungen kaum nachweisbar. Temperaturschwankungen sind zu vermeiden, da sonst Gasausbeute und Prozessstabilität negativ beeinflusst werden.		
Verweilzeit ¹⁾	Tage (d)	10 bis über 150	steigt mit zunehmender Verweilzeit bis zur maximalen Gasausbeute	Das Ausspülen aktiver Mikroorganismenpopulation ist zu vermeiden. Auch durch Rezirkulation in den Fermenter sollte die kritische Verweilzeit von 20 d nicht unterschritten werden.
Raumbelastung ¹⁾	kg oTM/m ³ ·d	0,5 bis 5 ²⁾	sinkt mit Steigerung der Belastung (im Bereich 1 bis 3 kg oTM/m ³ d kann näherungsweise eine lineare Abnahme unterstellt werden)	Verweilzeit und Raumbelastung sind gemeinsam zu betrachten und bei der Planung zu berücksichtigen. In Abhängigkeit von Substrat und Abbaufähigkeit sind differenzierte Richtwerte anzuwenden. Bei Reihenschaltung von Fermentern ist die Belastung des Einzelfermenters zu beachten.
Verweilzeit und Raumbelastung	d; kg oTM/m ³ ·d	Substratparameter wie Art/Qualität, Menge, Konzentration, Abbaugeschwindigkeit sind bei der Festlegung der Verweilzeit und der Raumbelastung zu beachten. Bei Reihenschaltung ist eine gesonderte Berechnung der Faulraumbelastung notwendig. Bewährte Richtwerte sind: Substrat: Gülle + NawaRo Verweilzeit: ≥ 80 Tage max. Raumbelastung 2 bis 4 kg oTM/m ³ ·d bis 3 kg oTM/m ³ ·d		
Fütterungsintervall	d ⁻¹	i. d. R. 1 bis 24 ³⁾	sinkt bei nicht an das Substrat angepasster Fütterungshäufigkeit	Bei hoher Raumbelastung und kurzer Verweilzeit ist die Fütterungshäufigkeit zu erhöhen. Höhere Fütterungshäufigkeit kann die H ₂ S-Belastung im Gas und den Anstieg der Fettsäuregehalte reduzieren.
Substrateinbringung	-	in Vorgrube: direkt in Fermenter:	Gefahr von Ausbeuteverlusten bei längerer Lagerdauer infolge einsetzender Vergärung in der Vorgrube. Bei Direkteinbringung Möglichkeit der höheren Gasausbeute infolge besserer Einmischung, leichter automatisierbar.	
Schwimmstärkste	cm	0 bis 30	führt zur Behinderung des Gasaustausches. Dicke Schwimmschichten können u. U. mit den vorhandenen Rührwerken nicht mehr zerstört werden. In Nachgärbehältern ist sie z. T. vorteilhaft als Träger der Bakterien für die biologische Entschwefelung bzw. zur Minderung von NH ₃ -Emissionen.	
Substratzerkleinerung	-	Kaum positiver Einfluss auf die Gasausbeute. Die Abbaugeschwindigkeit kann jedoch in einigen Fällen erhöht werden.		
Substratkonserverung (Silierung)	-	Beachtung der Silienverluste und des in den Fettsäuren gebundenen Kohlenstoffs, ist für exakte Bilanzierungen erforderlich.		
Gasdichte abgedeckte Gärrestlager	-	steigt bei hoher Raumbelastung bzw. geringer Verweilzeit		Gasdichte Gärrestlager können die Restgasemission verringern; bei geringer Raumbelastung (<1 kg oTM/m ³ d) bzw. langer Verweilzeit (> 120 Tage) nur geringer Effekt.

¹⁾ Bezug: beheiztes Netto-Fermentervolumen.

²⁾ In Einzelfällen bis zu 8 kg oTM/m³·d, bei Pflropfenstromfermentation bis zu 10 kg oTM/m³·d.

³⁾ Prozentuale Verteilung der Fütterungshäufigkeit der im Bundesmessprogramm II (FNR 2009) untersuchten Biogasanlagen: 27 % ≤ 12 mal täglich, 47 % 13 bis 24 mal, 18 % 25 bis 48 mal, 7 % ≥ 49 mal.

Tabelle 4: Einfluss von Konzentrationen und hemmende Wirkung von Stoffen im Fermenter

Parameter (im Fermenter bzw. dem Gär- rückstand)	Bemerkungen
TM-Gehalt (%)	Bis 10 % im Fermenter und 15 % in der Vorgrube kein negativer Einfluss. Höhere Gehalte können zu hydraulischen Problemen im Fermenter führen. Abhängigkeit von der Struktur des Substrates ist zu beachten.
NH₄-N (kg/m³)	Bis 4 kg/m ³ kein negativer Einfluss. Einfluss hängt ab von der Adaption der Biologie an die Konzentration.
pH-Wert	Zwischen 7 und 8. Eine Steuerung der Anlage über den pH-Wert ist nicht möglich, da Prozessstörungen zu spät angezeigt werden.
Fettsäuregehalt (mg/l) Essigsäuregehalt Propionsäuregehalt	Für die Praxis ist die regelmäßige Untersuchung der Fettsäurekonzentration im Fermenter sinnvoll, wenn hohe Raumbelastungen (über 4 kg oTM/m ³ ·d) gefahren werden oder wenn eine einseitige Substratzusammensetzung vorliegt. Veränderungen in den Essig- und Propionsäuregehalten erlauben wichtige Rückschlüsse auf den Stabilitätszustand des Biogasprozesses. Essigsäure sollte im Fermenter unter 3 000 mg/l liegen, Propionsäure unter 600 mg/l. Bei Anstieg des Propionsäuregehaltes über den Essigsäuregehalt liegt eine unmittelbare Gefahr für den Fermentationsprozess vor. Er droht umzukippen. Die wasserdampflichten organischen Säuren C ₂ bis C ₆ (Summenparameter als Essigsäureäquivalent) können zeitnah und kostengünstig bestimmt werden. Bei Werten > 4 g/l muss in Einzelanalysen das Verhältnis von Essigsäure zu Propion- und Buttersäure bestimmt werden, um den Zustand des Fermenters einzuschätzen.
FOS/TAC	Maß für die Pufferkapazität im Fermenter, das in der Regel durch Titration bestimmt wird; zeigt den Anteil flüchtiger organischer Säuren im Verhältnis zur Kalkreserve. Der Wert sollte ≤ 0,6 liegen. Dabei handelt es sich um ein fermenterspezifisches Niveau, das auch höher sein kann, sich aber nicht kurzfristig verändern sollte. Der durch Titration bestimmte FOS-Wert korreliert nur bedingt mit dem Fettsäuregehalt im Fermenter. Bei Werten > 0,6 ist eine Fettsäureanalyse notwendig.
Tierarzneimittel und Desinfektionsmittel	Bei fach- und sachgemäßem Einsatz der Mittel sind meist keine Beeinträchtigungen bekannt. Wird nicht nur ein Einzeltier behandelt, sondern ein ganzer Stall/ein ganzes Abteil, und gelangt die belastete Gülle anschließend konzentriert in die Biogasanlage, können Effekte auftreten.
Mikronährstoffe	Eine ausreichende Spurenelementversorgung ist bei vielen Anlagen bereits durch einen hohen Gülleanteil sichergestellt. Dies ist jedoch abhängig von Art und Umfang der Kosubstrate. Bei Monovergärung von nachwachsenden Rohstoffen (wenig Pflanzenvariation) sollte die Spurenelementversorgung regelmäßig geprüft und entsprechend des Bedarfs ergänzt werden. Hohe Schwefelgehalte können Mikronährstoffe binden.

6.2 Beispiele zur Berechnung/Darstellung der Anlageneffizienz

Die Richtwerte für die Gasausbeuten der unterschiedlichen Substratarten können dazu dienen, die Effizienz einer in Betrieb befindlichen Biogasanlage anhand der Inputstoffe und der produzierten Biogas- und Strommenge zu überprüfen. Durch einen Soll-/Ist-Vergleich der Stromproduktion ist es möglich, suboptimale Betriebsbedingungen zu erkennen, die z. B. auf einem Spurenelementmangel oder einer unerwünschten Anreicherung von Stoffwechselprodukten beruhen.

Voraussetzung für einen solchen Vergleich in den Biogasanlagen ist eine genaue Massen- und Trockensubstanzermittlung. Sofern keine Wägung der Einzelsubstrate erfolgt, sind z. B. die Probewägung der Radladerschaufeln bzw. Volumenermittlung über Behälterfüllstände geeignete Methoden, die allerdings periodisch zu wiederholen sind.

Für die Berechnung der Soll-Stromproduktion sind folgende Annahmen zu treffen:

- Die Methanausbeute der eingesetzten Substratmischung setzt sich additiv aus den Methanerträgen der einzelnen Substrate der Substratmischung zusammen.
- Das Blockheizkraftwerk erreicht den unterstellten elektrischen Wirkungsgrad.

Unter diesen Voraussetzungen kann aus der Summe der Stromerträge der einzelnen Substrate die zu erwartende Stromausbeute der Biogasanlage errechnet werden. Ist die von der Biogasanlage pro Tonne Substratmischung erzeugte Strommenge geringer als der errechnete Stromertrag, so empfiehlt es sich, eine detaillierte Prozessanalyse durchzuführen, um die Ursachen für den suboptimalen Betrieb zu finden und Maßnahmen zur Prozessoptimierung einzuleiten.

Beispiel 1

Der Rechengang wird nachfolgend am Beispiel einer Praxisanlage erläutert, die mit einer Gesamtverweilzeit von 100 Tagen betrieben wird.

Die unter Einsatz von zwei Zündstrahlmotoren erzielte Stromproduktion beträgt 11 680 kWh/d. Der Zündölverbrauch beträgt 257 l/d. Aus dem Zündöl werden unter Annahme eines Heizwertes von 10 kWh/l und eines elektrischen Wirkungsgrads des BHKW von 37 % täglich 950 kWh Strom gewonnen. Die aus dem Biogas täglich erzeugte Strommenge reduziert sich damit auf 10 730 kWh_{el}.

Die erzeugte Strommenge liegt somit, falls die Substratmassen exakt ermittelt wurden, deutlich über dem errechneten Sollwert von 8 481 kWh_{el}, der sich aus den Richtwerten für die Gaserträge der einzelnen Substrate errechnet (Tabelle 5). Das hier dargestellte Praxisbeispiel zeigt, dass die Biogasanlage unter dem Gesichtspunkt der Substratausnutzung optimal betrieben wird. Möglichkeiten zur Optimierung der Biogasanlage bestehen hier daher nicht beim eigentlichen Abbauprozess und sollten vorrangig in anderen Bereichen (z. B. Eigenstromverbrauch, Wärmenutzung, Betriebsabläufe) gesucht werden.

Tabelle 5: Substratcharakterisierung und daraus berechnete Methan- bzw. Stromproduktion für Rechenbeispiel 1

Substrat	Substratmasse t FM/d	oTM-Gehalt % FM	Methanertrag ¹⁾ Nm ³ /t oTM	Methanvolumen Nm ³ /d	Stromproduktion ²⁾ kWh _{el} /d
Rindergülle	14,25	6,4	210	192	709
Maissilage	10,50	29,0	340	1 035	3 831
Grassilage	8,25	23,0	320	607	2 247
Gerste GPS	1,50	37,0	330	183	678
Rinderfestmist	5,50	20,0	250	275	1 018
Summe	40,00			2 292	8 481

¹⁾ Die Methanerträge der Einzelsubstrate entsprechen den Richtwerten aus Tabelle 2 dieses Heftes.

²⁾ Berechnet für einen elektrischen Wirkungsgrad von 37 % und 10 kWh/m³ Methan.

Beispiel 2:

Der Rechengang wird nachfolgend am Beispiel einer einstufig betriebenen Praxisanlage erläutert, die mit einer Gesamtverweilzeit von 80 Tagen betrieben wird.

Die Gasverwertung erfolgt mit einem Zündstrahlmotor von 180 kW_{el} Nennleistung gemeinsam mit einem Gasmotor von 315 kW_{el} Nennleistung. Die tägliche Stromproduktion beträgt 9 069 kWh_{el}. Aus dem Zündölverbrauch von 77 l/d werden unter der Annahme eines Heizwertes von 10 kWh/l bei einem elektrischen Wirkungsgrad des BHKW von 37 % täglich 285 kWh_{el} Strom erzeugt. Die aus dem Biogas erzeugte Strommenge reduziert sich damit auf 8 784 kWh_{el}.

Die tatsächlich erzeugte Strommenge ist um mehr als 10 % geringer als die aus den Einzelsubstraten errechnete Stromproduktion in Höhe von 10 072 kWh_{el} (Tabelle 6). Das Praxisbeispiel

zeigt, dass die Biogasanlage nicht optimal betrieben wird und Möglichkeiten für eine Optimierung des Anlagenbetriebs geprüft werden sollten.

Tabelle 6: Substratcharakterisierung und daraus berechnete Methan- bzw. Stromproduktion für Rechenbeispiel 2

Substrat	Substratmasse t FM/d	oTM-Gehalt % FM	Methanertrag ¹⁾ Nm ³ /t oTM	Methanvolumen Nm ³ /d	Stromproduktion ²⁾ kWh _{el} /d
Rindergülle	9,90	8,4	210	175	646
Maissilage	19,20	29,0	340	1 893	7 005
Weizenschrot	2,10	82,0	380	654	2 421
Summe	31,20			2 722	10 072

¹⁾ Die Methanerträge der Einzelsubstrate entsprechen den Richtwerten aus Tabelle 2 dieses Heftes; Weizenschrot eigene Untersuchungen.

²⁾ Berechnet für einen elektrischen Wirkungsgrad von 37 % und 10 kWh/m³ Methan.

Beispiel 3

Mittels der Richtwerte der Gaserzeugung lässt sich auch ein grafischer Soll-Ist-Vergleich der theoretischen Gasproduktion mit der realisierten Stromerzeugung darstellen. In Abbildung 3 ist die aus der realisierten Stromerzeugung errechnete Methanproduktion der theoretischen Gasbildung auf Basis der Richtwerte gegenübergestellt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Substratcharakterisierung für Beispiel 3

	TM-Gehalt % FM	oTM-Gehalt % TM	Methanertrag ¹⁾ Nm ³ CH ₄ /kg oTM
Getreide	87	97	380
Maissilage	32	95	340
Anweilsilage	40	90	320
Rindergülle	8	80	210
Rindermist	25	80	250

¹⁾ Die Methanerträge der Einzelsubstrate entsprechen den Richtwerten aus Tabelle 2 dieses Heftes.

Es zeigt sich, dass die Substratausnutzung in der Beispielanlage auch nach längerem Anlagenbetrieb noch optimierungsbedürftig war. Erst zum Ende des Auswertungszeitraums konnte die auf Basis der Richtwerte zu erwartende Stromerzeugung über einen längeren Zeitraum erreicht bzw. übertroffen werden.

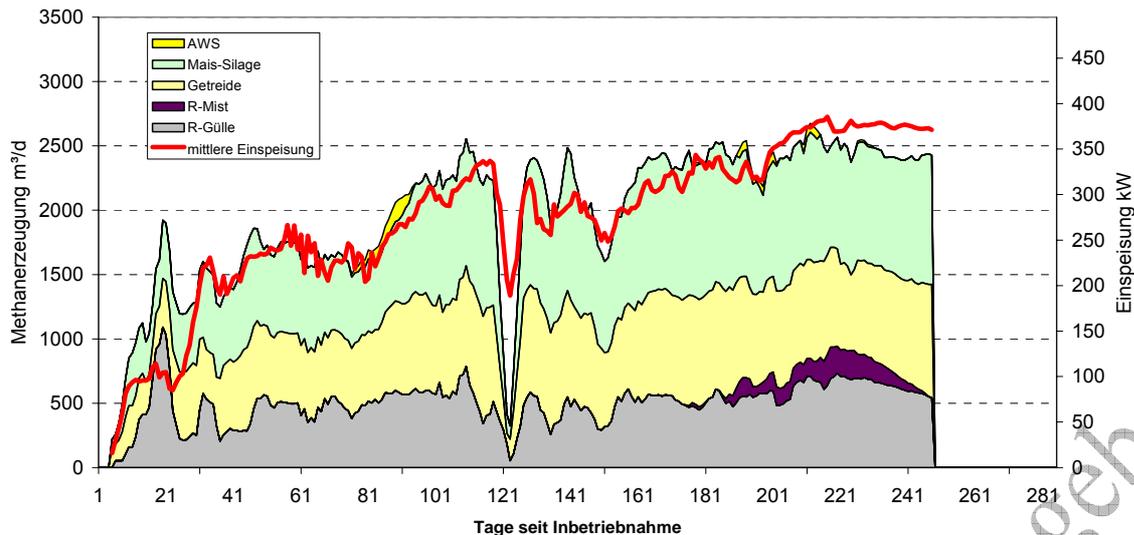


Abbildung 3: Vergleich der nach Richtwert mit der auf Basis der tatsächlichen Stromeinspeisung berechneten Methanerzeugung (5-Tage-Mittelwerte, 34 % Wirkungsgrad)

Beispiel 4

Analog zu den oben dargestellten Berechnungen wurden 1.150 Biogasanlagen verschiedener Anlagenhersteller, Anlagengrößen und Jahren der Inbetriebnahme hinsichtlich ihrer Substratausnutzung miteinander verglichen (BIOREACT 2009). Eine relative Substratausnutzung wurde als Quotient aus dem tatsächlichen Gasertrag und dem nach Richtwerten theoretisch erwarteten Gasertrag berechnet (Abb. 4). Hierbei zeigte sich, dass die Substratausnutzung über alle betrachteten Anlagen nahezu normalverteilt ist und der Median nahezu dem aus Richtwerten berechneten Gasertrag entspricht (100 %).

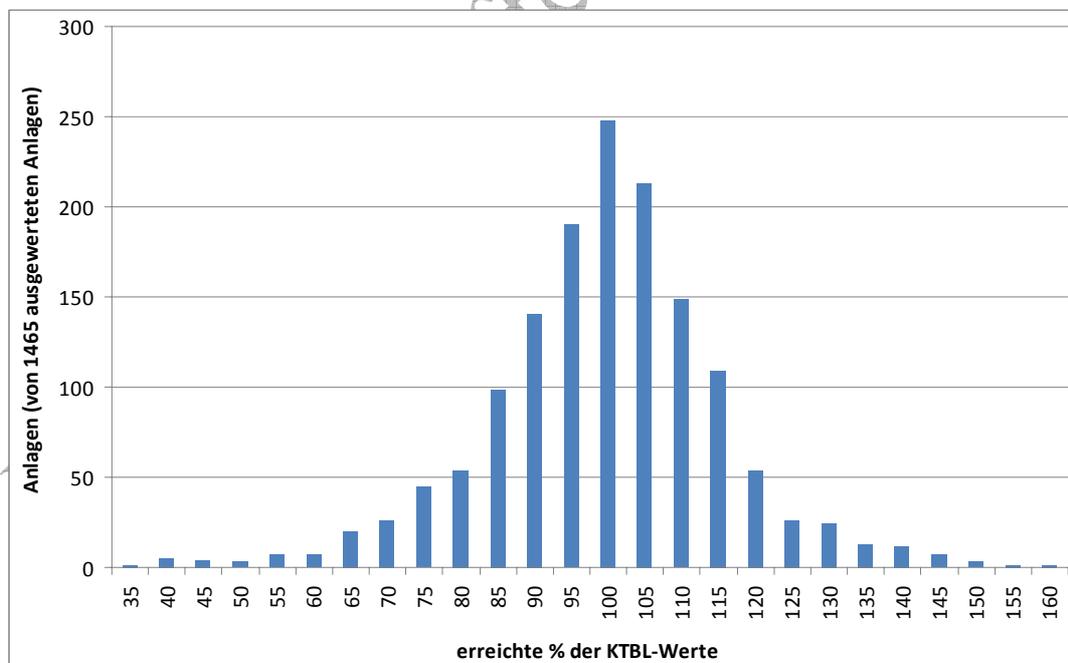


Abbildung 4: Relative Substratausnutzung von 1150 Biogasanlagen bezogen auf KTBL-Richtwerte (= 100 %; Datenbasis KTBL 2005) (BIOREACT 2009)

Die Ergebnisse der obigen Rechenbeispiele und der vergleichenden Untersuchung zur Substratnutzung beziehen sich auf Angaben der Betreiber. Hiermit sind einige Unsicherheiten verbunden: Zum Einen ist nicht immer sichergestellt, dass der Gasertrag korrekt auf Normliter umgerechnet wurde. Zum Anderen sind die Möglichkeiten zur genauen Erfassung des Substratinputs vor Ort über Wägung und TM-Bestimmung häufig begrenzt. Gaserträge, die mehr als 130% der Richtwerte betragen, übersteigen im Allgemeinen das theoretisch mögliche Gasbildungspotential (= 100% Abbau) und sind nur über Fehler in der Datenerhebung erklärbar.

Zugleich zeigen diese Vergleiche mit Erhebungen zu Gaserträgen auf Biogasanlagen, dass aus Batchversuchen abgeleitete Richtwerte zu Gasausbeuten als Basis für die Auslegung und wirtschaftliche Vorplanung von Biogasanlagen geeignet sind. Durch Optimierungen im Anlagenbetrieb sind jedoch auch Erträge erzielbar, die deutlich über den Richtwerten liegen.

Literatur

- AMON, TH.; MACHMÜLLER A.; KRYVORUCHKO, V.; MILOVANOVIC, D.; HRBEK, R; EDER M.; STÜRMER, B. (2007): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Endbericht BMLFUW-Forschungsprojekt 1421
- BASERGA, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT-Berichte Nr. 512, Tänikon
- BIOREACT (2009): persönliche Mitteilung U. Hölker und <http://www.biogaswissen.de/>
- FNR (Hrsg., 2009): Ergebnisse des Biogasmessprogramms II, Gülzow
- HEUWINKEL, H.; ASCHMANN, A.; GERLACH, R.; GRONAUER, A. (2009): Die Genauigkeit der Messung des Gasertragspotentials von Substraten mit der Batchmethode. In: Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Schriftenreihe der LfL, Band 15-17, S. 95-103
- KEYMER U., SCHILCHER A. (1999): Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten in Biogasanlagen vergärbarer Substrate. Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising
- KTBL UND BOKU (2010): Online European Feedstock Atlas, <http://daten.ktbl.de/euagrobiogasbasis/>, Zugriff am 05.04.2010
- LF L BAYERN (2003): Biogasanlagen: Umrechnung von gemessenen Gasvolumina auf Normbedingungen, <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03039/>, Zugriff am 05.04.2010
- LF L BAYERN (2004): Biogasausbeuten verschiedener Substrate, <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/>, Zugriff am 05.04.2010
- MEßNER, H.; LÜTGE ENTRUP, N.; WULF, S.; DÖHLER, H.; BAETZEL R.; PFITZNER, C.; KAISER, S.; SCHILF, J.; GREEF, J.-M. (2009): Bewertung nachwachsender Rohstoffe zur Biogaserzeugung. FNR-Verbundvorhaben „naRoBi“ mit ersten Ergebnissen. Mais 36 (3), . 96-101
- PROCHNOW, A.; HEIERMANN, M.; DRENCKHAN, A.; SCHELLE, H. (2007): Biomethanisierung von Landschaftspflegeaufwuchs - Jahresverlauf der Biogaserträge. Naturschutz und Landschaftsplanung 39, (1), 2007, S. 19-24
- WEIßBACH, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. Landtechnik 63 6/2008, S. 356-358
- WEIßBACH, F. und STRUBELT, C. (2008): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Silagen als Substrat für Biogasanlagen. In: 120. VDLUFA-Kongress „Erhöhte Biomassenachfrage - eine neue Herausforderung für die Landwirtschaft“. VDLUFA Schriftenreihe 64, S. 29-31

Teilprojekt 4

Entwicklung von NIRS-Kalibrierungen an getrocknetem Material und Umsetzung der NIRS-Untersuchungen unter praktischen Bedingungen (FKZ: 22001906)

**Projektleitung: VDLUFA Qualitätssicherung NIRS GmbH
Dr. Peter Tillmann
Dr. Roland Baetzel**

Projektlaufzeit: 10.04.2010 – 30.06.2010

Berichtszeitraum: 10.04.2010 – 30.06.2010

Inhaltsverzeichnis

1	ZIELSTELLUNG.....	3
2	MATERIAL UND METHODEN	3
2.1	Material.....	3
2.2	Methoden	6
2.2.1	Gärtests.....	6
2.2.2	Laboranalytik.....	7
3	ERGEBNISSE	8
3.1	Batchversuche.....	8
3.2	Laboruntersuchungen.....	11
3.3	Entwicklung von Kalibrationen.....	13
3.3.1	Schätzung des Biogasertrages.....	13
3.3.1.1	Fruchtartenübergreifend.....	13
3.3.1.2	Fruchtartenspezifische Kalibrationen	14
3.3.1.3	Kalibrationen nach Stärkegehalt	16
3.3.1.4	Kalibrationen mit Fruchtartenkombinationen.....	17
3.3.1.5	Kalibrierung auf Basis NLTS	19
3.3.2	Schätzung von Laborparametern	21
3.4	Umsetzung von Kalibrationen in die Praxis	22
4	FAZIT	23
5	ANHANG	25

1 Zielstellung

Für Merkmale wie z.B. Gasausbeute stößt die Prüfung von Genotypen im Versuchsfermenter schnell an ihre Kapazitätsgrenzen. Um auf alle nutzbaren Merkmale und Genotypen in der Sortenentwicklung mit hohem Durchsatz und hoher Verlässlichkeit selektieren zu können, ist eine praktikable, kostengünstige Meßmethode erforderlich. Hierzu bietet sich die Nutzung der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) an. Die zentrale Zielsetzung dieses Projektteiles ist die Entwicklung einer in der praktischen Züchtung anwendbaren NIRS-Methode. Dies setzt voraus, dass die für die NIRS-Kalibrierung erforderlichen Batch-Tests im Labormaßstab durchgeführt werden und quantitativ vergleichbare Analysenwerte zur Gasbildung liefern.

Wesentlich wird sein, eine robuste Kalibrierung zu erhalten, die anschließend für ein breites Genotypenspektrum nutzbar ist. Die notwendigen Proben zur Erstellung und späteren Validierung wurden aus den Züchtungsprojekten und aus weiteren laufenden Forschungsverbänden der FNR zur Verfügung gestellt (vgl. Tabelle 1).

2 Material und Methoden

2.1 Material

Stoffliche Grundlage der Entwicklungsarbeiten der Kalibrierung unter Laborbedingungen sind einerseits die auf den Flächen der FH Südwestfalen (Teilvorhaben 2) angebauten Proben diverser Kulturarten (ca. 210 Proben jährlich) und andererseits Proben von weiteren Projekten (Verbundvorhaben „Optimierung von Getreide für die Biogasnutzung“, „Eignung von Brassica Zuchtstämmen und Leguminosen für die Biomasseerzeugung“, „Energierübe“, „Evaluierung, Züchtung und Einsatz von Feldgras als pflanzlicher Energierohstoff für die Biogasnutzung“ u.a., ca. 540 Proben jährlich (vgl. Tabelle 1).

Ergänzend zu den Proben vom Projektpartner Soest (Teilvorhaben 2) und den in Tabelle 1 genannten Projekten konnten 437 Proben aus weiteren Projekten für die Bestimmung des Biogasertrages genutzt werden.

Somit wurden nach Abstimmung mit den Lieferanten der Proben aus den Erntejahren 2007 bis 2009 insgesamt 2064 Proben zur Lagerung übernommen, eingefroren und aufgearbeitet. Für die Erntejahre 2008 und 2009 sind zusätzlich zu der genannten Zahl 136 Proben vom Projektpartner Soest (Teilvorhaben 2) aus einem Zwischenfruchtanbau übernommen und eingelagert worden.

Tabelle 1 : Probenumfang nach Kulturarten, Jahren und Herkunft

Fruchtart	2007	2008	2009	Herkunft
Weizen	60	75	75	Universität Gießen ¹
Roggen	75	75	75	Saaten Union ²
Triticale	75	75	75	LSA Hohenheim ³
Gräser	100	75	75	Euro Grass ⁴
Zwischenfrüchte	25	50	50	Universität Gießen ⁵
Silomais	100	100	100	LfL Freising und dt. Maiszuchtfirmen
Ölfrüchte	100	100	100	LSA Hohenheim ⁶
Summe	535	550	550	

¹ Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen und geeigneten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen; FKZ:22018205

² Züchterische Evaluierung von Sorten und pflanzengenetischen Ressourcen (PGR) bei Roggen für die Bioenergienutzung; FKZ: 22018305

³ Triticale - Eine Energiepflanze für die Biogasnutzung; FKZ: 22021205

⁴ Evaluierung, Züchtung und Einsatz von Feldgras als pflanzlicher Rohstoff für die Biogasnutzung; FKZ: 22004206

⁵ Zwischenfrüchte/Leguminosen; Projektskizze wird z. Zt. erstellt

⁶ Entwicklung neuer Biomasse-Genotypen bei Roggen, Raps, Rübsen, Sonnenblume und Sorghum sowie deren Einbindung in leistungsfähige Energiefruchtfolgen; FKZ: 22012904

Von den gefrorenen und gehäckselten Proben wurde ein repräsentativer Anteil entnommen, im Trockenschrank bei 60-80 °C getrocknet (vgl. Tabelle 1) und für die NIRS-Messung fein vermahlen. Der verbleibende Teil der Proben wurde für die Gärversuche weiter eingelagert.

Die Spektren der getrockneten und vermahlenen Proben wurden in zweifacher Wiederholung auf einem NIRSystem 5000 (Firma FOSS, Hamburg) aufgezeichnet. Ergänzend zum Originalantrag werden die Spektren aller selektierten Proben noch auf weiteren NIRS-Geräten aufgezeichnet, um so jederzeit auch entsprechende Kalibrationen für diese Geräte zur Verfügung stellen zu können. Diese sind zum Einen ein NIRS-Gerät der Firma Carl Zeiss (Corona 45plus) und zum Anderen ein Gerät der Firma Bruker Optik GmbH (MPA).

Von den vorliegenden 2200 Proben erfolgte eine Selektion der Proben für die Gärtests (Biogasertrag) aufgrund der spektralen Variation (vgl. Abb. 1). Bei einzelnen Fruchtarten wurden aufgrund der geringen Probenanzahl (z.B. Gräser) oder der Bedeutung als Rohstoff für Biogasanlagen (z.B. Mais) alle vorhandenen Proben für die Gärversuche selektiert.

Die folgende Tabelle 2 zeigt, wieviel Proben je Pflanzenart in den Erntejahren 2007 bis 2009 übernommen und anschließend für die weitere Analytik selektiert wurden.

Tabelle 2: Probenumfang und daraus selektierte Proben

	Art	2007		2008		2009	
		Gesamt	Selektiert	Gesamt	Selektiert	Gesamt	Selektiert
GPS	Weizen	68	26	52	41	20	20
	Triticale	220	46	120	42	33	28
	Hafer			8	8	9	9
	Roggen	134	17	90	20	24	24
	Gerste	10	10	22	11	20	20
Grünroggen	Grünroggen	63	18	16	8	16	16
Kreuzblütler	Raps	29	29	87	29	15	14
	Rübsen	6	6	10	10	10	10
Gräser	Weidelgras	21	19	187	117	161	113
Sorghum	Sudangras	19	19	76	66	52	46
Leguminosen	Leguminosen	18	18	35	22	34	30
Silomais	Silomais	148	136	95	80	94	79
Sonnenblume	Sonnenblume	15	14	20	10	17	16
Zwischenfrüchte	Zwischenfrüchte			72	72	64	64
	Summe	751	358	890	536	569	489

Über die Laufzeit des Projektes sollten je Fruchtart mindestens 150 bis 200 Proben aus verschiedenen Erntejahren für eine Kalibrationsentwicklung zur Verfügung stehen. Aufgrund der hohen Bedeutung von Silomais sollten hier ca. 300 Proben zur Verfügung stehen.

Insgesamt wurden 1498 Proben aus den 2200 gelieferten Proben für weitere Untersuchungen selektiert. Die einzelnen Pflanzenarten wurden in Gruppen (vgl. Tabelle 3) für die weiteren Kalibrationsarbeiten zusammengefasst.

Tabelle 3: Anzahl Proben und zusammengefasste Fruchtarten nach Gruppen

NR	Gruppe	Fruchtarten	Anzahl
1	GPS	Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer	336
2	Mais	Silomais	318
3	Kreuziferen	Raps, Rübsen, Kohl, Senf	177
4	Gräserartige	Weidelgäßer, Grünroggen, Gemenge	361
5	Sonnenblumen	Sonnenblumen	49
6	Sonstige	Zuckerrübenblatt, Phacelia	19
7	Leguminosen	Grobleguminosen, Gemenge	100
8	Sorghum	Sudangras, Zuckerhirsen	138

Die Abbildung 1 zeigt, wie viele Proben je Pflanzenart selektiert wurden.

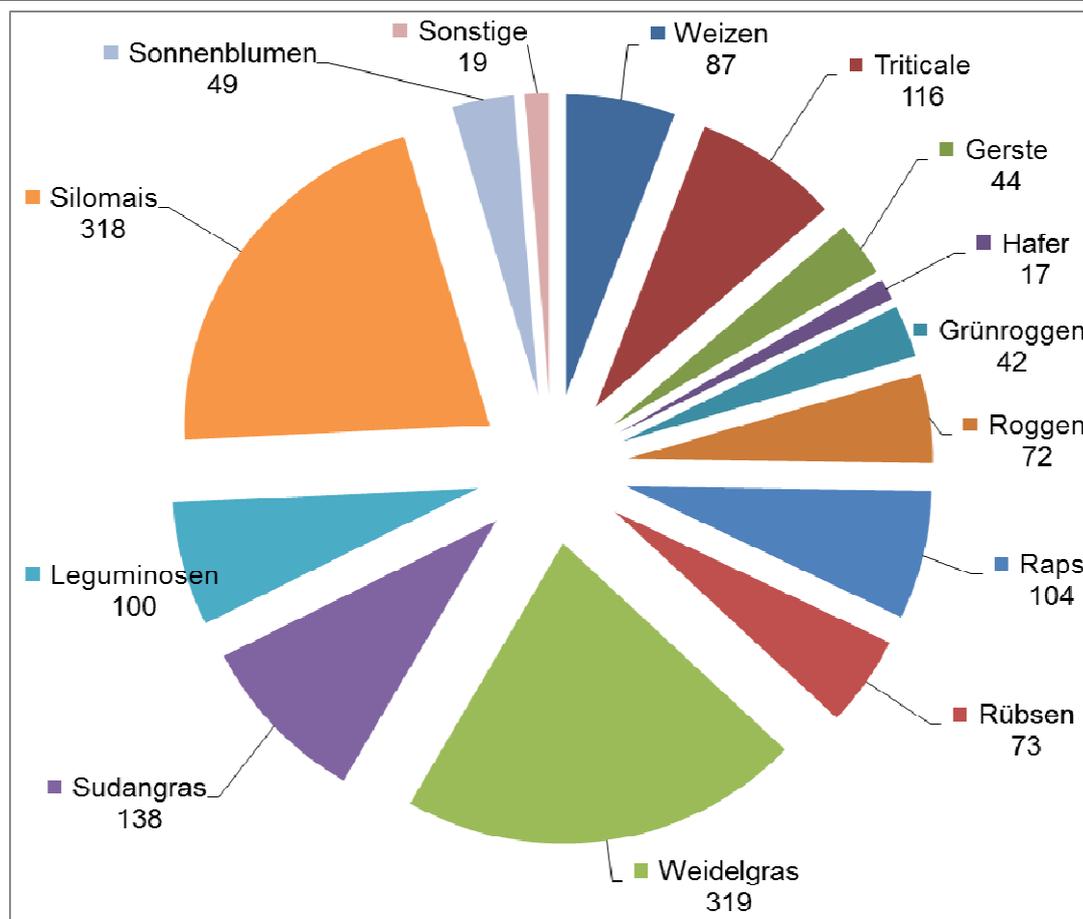


Abb. 1: Anzahl selektierter Proben nach Pflanzenart

2.2 Methoden

2.2.1 Gärtests

Ziel der Gärtests ist die Erfassung von Ertragspotenzial und Gärverlauf unter möglichst praxisnahen Bedingungen mit einem Substratvolumen, das die Verarbeitung repräsentativer Proben von Häckselmaterialien erlaubt. Dazu wird eine Batch-Apparatur (Zerr, W. 2005) genutzt, in der neben betrieblichem Pflanzenmaterial auch spezielle, zur Energiegewinnung veredelte Pflanzenarten in Abhängigkeit von pflanzenbaulichen Parametern und klimatischen Bedingungen überprüft werden können. Die Vergärungen erfolgen bei mesophilen Temperaturen ($37\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$). Als Gärbehälter werden in der Anlage gasdichte 20 l PE-Gärbehälter eingesetzt (vgl. Abb. 2). Als Impfsubstrat dient modifizierte Fermentergülle (75% Rind, 25% Schwein).

Am Fermenter wird das Substrat durch einen Sieb in die Behälter eingefüllt und diese mit einem Deckel verschlossen. Nach Probeentnahme werden im Labor die Einwaagen bestimmt. Danach stellt man die Behälter in die mit Wasser gefüllten vorgewärmten Becken. In jedem Becken befindet sich eine 0-Variante ohne Kofermentatzusatz und zwei Gefäße mit Standardsubstanzen.

Die Gasmessung erfolgt zu Beginn im 24 Stunden Rhythmus, später können auch die Erträge einiger Tage gesammelt werden. Die Messzeiträume betragen in der Regel 35 Tage. Am Ende der Versuche werden die Gasmengen nach Konvention auf Liter Gas bzw. Methan unter Normalbedingungen pro kg organische Trockensubstanz umgerechnet und das aus dem Partialdruck des Wasserdampfes und der Temperatur berechnete Wasserdampfvolumen subtrahiert.



Abb. 2: Versuchsanlage zur Biogasertragsmessung (Bild Walter Zerr, Eichhof)

Die Gasbildung der als Nullvariante eingesetzten Fermentergülle zeichnet sich, obwohl biologisch hochaktiv, aufgrund des geringen Nährstoffangebotes durch eine nur sehr langsam und gleichmäßig ansteigende Summenkurve aus. Durch Subtraktion dieser Werte von den Gasmengen aus den Behältern mit zugesetztem Material erhält man die Erträge aus den Kofermentaten. Aus den Gasmengen der Standards werden Aktivitätsfaktoren ermittelt und damit die Ergebnisse der Kofermentatvergärungen korrigiert.

2.2.2 Laboranalytik

Die Laboruntersuchungen auf Parameter der Futtermittelkunde erfolgten nach folgenden VDLUFA – Methoden:

- TM
- Rohasche (XA, VDLUFA Bd.3, Methode 8.1)
- Stärke (XS, 7.2.1)
- Zucker (XZ, 7.1.1)
- Rohfett (XL, 5.1.1)
- Rohprotein (XP, 4.1.1)
- Rohfaser (XF, 6.1.1)
- NDF (6.5.1, mit Veraschung)
- ADF (6.5.2, mit Veraschung)

- ADL (6.5.3)
- ELOS (6.6.1)

3 Ergebnisse

3.1 Batchversuche

Mit den vorhandenen 3 eigenen Anlagen (für je 20 Gärgefäße) konnten pro Durchlauf (35 Tage Verweilzeit) 24 Proben, je Anlage eine Nullvariante, sowie eine Standardvariante durchgeführt werden. Dies sind bei 9 möglichen Durchläufen pro Jahr 216 Proben die vergoren werden konnten. Die Anzahl von ca. 216 Proben/Jahr entspricht den Zahlen, welche wir in unserem Einspruch gegen den Zuwendungsbescheid (Schreiben vom 02.05.2007) dargestellt haben. Durch den Aufstockungsbescheid (Ihr Schreiben vom 14.06.2007) konnten wir weitere 135 Proben im Auftrag vergären lassen. Somit waren wir in der Lage 351 Proben/Jahr auf den Gasertrag zu untersuchen.

Es sollte berücksichtigt werden, dass die genannten Zahlen als „optimal“ anzusehen sind. Nicht berücksichtigt wurden technische Schwierigkeiten, Wiederholungsanalysen und Fehltage der Mitarbeiter. Abweichend zum Originalantrag ergab sich eine zeitliche Verschiebung bei der Erstellung von ersten Kalibrationen für den Gasertrag, da erst im 4. Quartal 2008 alle Gaserträge der Ernte 2007 vorlagen.

Zu Beginn des Projektes kam es zu einigen technischen Problemen in der Versuchsanlage, so dass eine hohe Anzahl von Proben wiederholt werden mussten. Einige Proben konnten aufgrund von Materialmangel nicht wiederholt werden. Der Hauptgrund für den zeitlichen Verzug liegt jedoch im zeitlichen und personellen Aufwand für die Batch-Versuche begründet. Wie schon im Einspruch zum Zuwendungsbescheid (unser Schreiben vom 02.05.2007) von uns beschrieben, ist bei der Durchführung der Gärversuche ein hoher Arbeitskräfteeinsatz notwendig. Dieser liegt in der bewusst großzügig gewählten Dimension der Gärbehälter (ca. 15 l Impfschlamm und 300 g/TS Kofermentat) sowie der kontinuierlichen Gasmessung begründet.

Die Auswertung der im Rahmen dieses Verbundprojektes durchgeführten Ringversuche (Teilvorhaben 3 KTBL, FKZ 22019205) bestätigten, dass die zuvor beschriebenen Mengenansätze für die Gärversuche richtig gewählt wurden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass wir sowohl im Bereich der Probenvorbereitung der gefrorenen Proben als auch bei den Gärversuchen das Probenaufkommen nicht in einem angemessenen Zeitraum aufarbeiten konnten.

In der folgenden Abbildung 3 ist exemplarisch der Gärverlauf von unsilierten Maisproben im Vergleich zu Grasproben dargestellt. Der Abbau der schnell vergärbaren Stärke im Mais führt in den ersten 10 Untersuchungstagen zu einem steileren Anstieg bei der Maisvariante, danach flacht die Kurve ab. Der relativ geringe Gehalt an kurzkettingen Sacchariden lässt die Gaserträge aus der Grassilage nur in den ersten drei Tagen deutlich ansteigen. Der darauf folgende Kurvenverlauf

dokumentiert eine kontinuierliche, aber mit einer geringeren Reaktionsgeschwindigkeit verlaufende Hydrolyse der Zellwände.

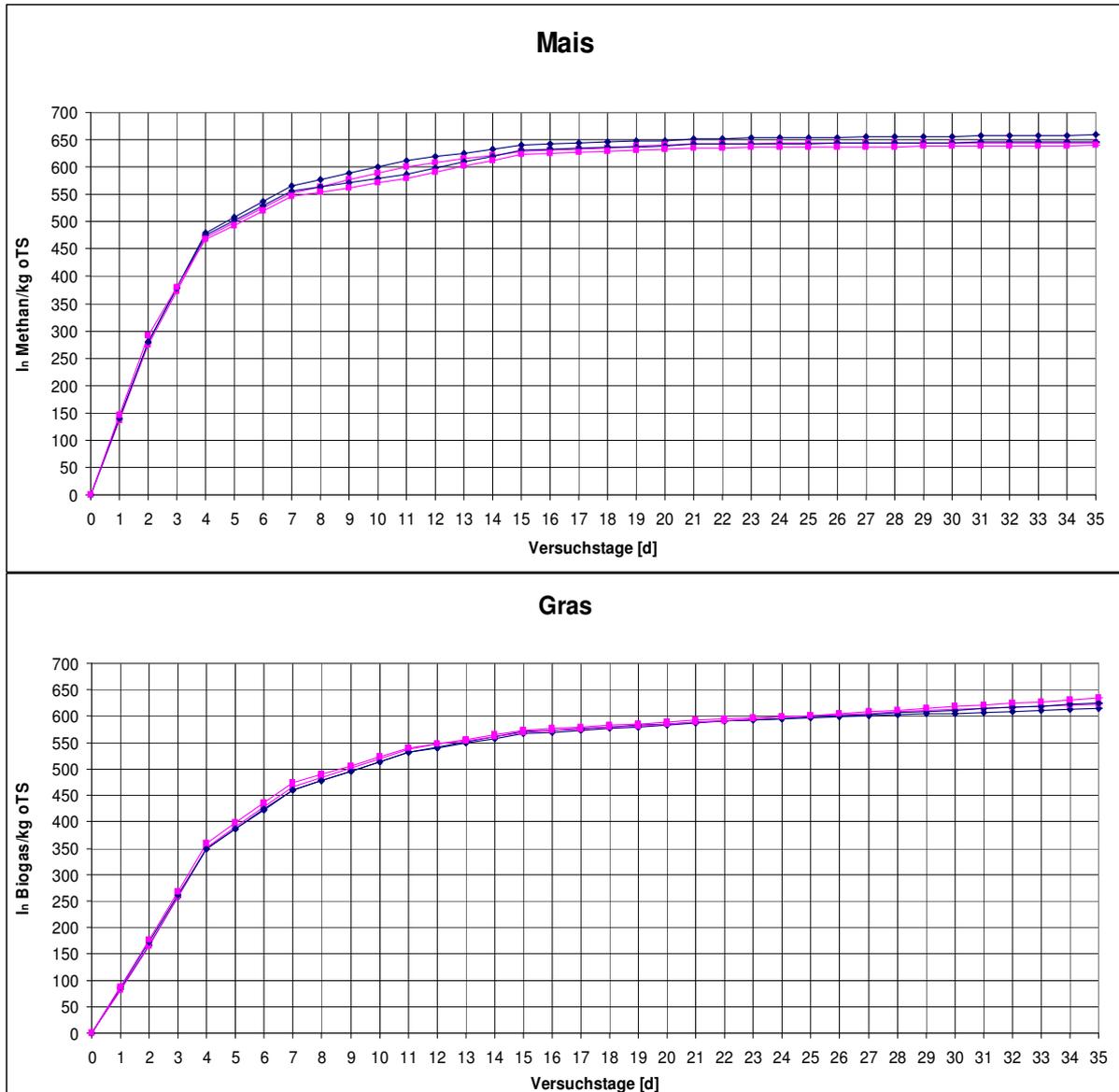


Abb. 3: Verlauf der Biogassummenkurve einer Mais- und einer Grassprobe

In der Tabelle 4 sind die Biogas- und Methanerträge für die bisher analysierten, unsiliierten Kofermentate aus den Erntejahren 2007 bis 2009 dargestellt.

Tabelle 4: Gaserträge nach Fruchtarten – Zusammengefasst nach Gruppen

		Biogas NL/kg oTS	Methan NL/kg oTS	% Methan
Gesamt	Mittelwert	622,70	335,48	54,11
	Min	306,62	183,00	46,21
	Max	895,37	501,32	67,47
	Anzahl	926	926	926
	S	104,35	52,18	3,71
	cv%	16,76	15,55	6,86
GPS	Mittelwert	560,66	310,78	55,54
	Min	420,51	234,30	46,62
	Max	711,54	393,88	63,91
	Anzahl	175	175	175
	S	63,49	35,16	3,38
	cv%	11,32	11,31	6,09
Mais	Mittelwert	673,76	350,80	52,23
	Min	441,08	252,05	46,21
	Max	895,37	474,76	59,94
	Anzahl	217	217	217
	S	100,69	49,58	2,79
	cv%	14,94	14,13	5,35
Kruziferen	Mittelwert	598,59	330,77	55,53
	Min	353,68	183,00	48,10
	Max	866,22	483,11	67,47
	Anzahl	135	135	135
	S	95,68	48,79	4,54
	cv%	15,98	14,75	8,18
Gräserartige	Mittelwert	659,22	360,80	55,00
	Min	363,34	225,62	48,45
	Max	891,44	480,13	65,39
	Anzahl	209	209	209
	S	106,98	51,11	3,06
	cv%	16,23	14,17	5,56
Sonneblumer	Mittelwert	590,04	317,66	53,75
	Min	486,81	257,00	50,60
	Max	787,79	456,26	57,92
	Anzahl	27	27	27
	S	71,90	44,75	1,83
	cv%	12,19	14,09	3,41
Sonstige	Mittelwert	579,83	314,84	54,19
	Min	478,15	251,48	51,92
	Max	733,59	407,96	58,04
	Anzahl	7	7	7
	S	76,72	49,30	2,65
	cv%	13,23	15,66	4,89
Leguminosier	Mittelwert	588,82	332,80	56,92
	Min	306,62	194,00	51,19
	Max	850,13	501,32	67,12
	Anzahl	48	48	48
	S	143,69	76,02	4,15
	cv%	24,40	22,84	7,30
Sorghum	Mittelwert	606,10	308,55	50,94
	Min	392,49	195,00	46,30
	Max	828,46	414,29	57,35
	Anzahl	108	108	108
	S	81,47	41,83	1,91
	cv%	13,44	13,56	3,75

3.2 Laboruntersuchungen

In der folgenden Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Laboruntersuchungen auf Parameter der Futtermittelkunde (TM, Rohsche (XA), Zucker (XZ), Stärke (XS), XP (Protein), Rohfett (XL), ADF org, ADL, NDF org, NDF, EULOS, ELOS) der untersuchten Proben dargestellt.

Tabelle 4: Inhaltsstoffvariation der untersuchten Proben

Spalte1	XA	XS	XP	XZ	XL	XF	EULOS	ELOS	ADF org	ADL	NDF org
Mittelwert	8,07	20,85	9,85	12,83	2,08	23,33	24,00	65,66	31,97	3,88	46,97
Min	2,78	0,10	1,81	1,15	0,90	9,76	3,54	43,67	4,30	0,54	7,55
Max	39,60	45,16	30,08	34,31	10,04	38,69	45,63	81,26	47,80	44,47	73,28
Anzahl	1266	413	668	384	401	426	276	162	579	581	294
S	4,06	11,78	3,80	6,21	0,89	5,07	7,70	7,16	6,19	2,51	8,90
cv%	50,33	56,51	38,60	48,42	42,65	21,72	32,08	10,91	19,35	64,55	18,95

* Angaben bezogen auf % Trockensubstanz

Es wurden auffällig hohe Aschegehalte (Maximalwerte >20 %) bei Raps und Gras gefunden. Die Wiederholung der Analysen brachte jedoch die gleichen Ergebnisse, so dass man hier von einer Verunreinigung durch Boden ausgehen muss. Im Weiteren wurde Zuckerrübenblatt untersucht, welches durch Verunreinigungen bis zu 39,6 % Asche aufwies.

Entgegen der ursprünglichen Absicht, den Gehalt an Zellwandgerüstsubstanzen wie z.B. Hemicellulose, Cellulose und Lignin durch einen Neutral-Detergentien-Faser (NDF) Aufschluß und einem Säure-Detergentien-Faser (ADF) Aufschluß zu bestimmen, wurde aufgrund aktueller Informationen das Rohlignin im Anschluß an die Bestimmung des ADF durch Säure-Detergentien-Lignin (ADL) bestimmt.

In Tabelle 5 wird die Variation der einzelnen Laborparameter aufgeteilt nach Gruppen (vgl. Tabelle 3) dargestellt.

Tabelle 5: Inhaltsstoffvariation der einzelnen Fruchtarten

		XA	XS	XP	XZ	XL	XF	EULOS	ELOS	ADF org	ADL	NDF org
GPS	Mittelwert	6,37	12,85	7,86	12,96	1,63	29,60	29,95	49,94	31,87	3,59	50,70
	Min	2,78	0,60	1,81	1,19	0,90	26,44	24,62	45,48	22,77	1,27	44,48
	Max	14,30	37,29	30,08	26,07	3,00	34,16	35,22	54,05	44,87	6,53	58,35
	Anzahl	271	130	232	178	130	5	4	4	166	167	73
	S	1,98	8,45	2,98	6,52	0,37	3,37	5,70	4,67	4,38	0,84	2,85
	cv%	31,05	65,78	37,91	50,33	22,71	11,37	19,03	9,36	13,75	23,52	5,62
Mais	Mittelwert	4,24	28,69	6,57	5,19	2,21	20,64	27,69	65,56	26,34	3,04	47,19
	Min	3,08	6,56	3,23	1,15	1,32	14,60	3,54	59,44	19,81	0,54	37,56
	Max	13,27	45,16	9,30	9,83	2,85	34,12	45,63	71,29	39,20	6,15	73,28
	Anzahl	275	236	96	29	103	147	43	40	165	165	95
	S	0,97	6,72	0,73	2,37	0,34	3,10	5,57	2,72	2,87	0,70	6,85
	cv%	22,86	23,42	11,09	45,67	15,34	15,04	20,11	4,16	10,91	23,07	14,52
Kruziferen	Mittelwert	11,57	5,37	12,16	13,19	2,26	13,24	31,65	43,67	37,23	3,99	28,66
	Min	7,77	0,78	8,24	6,22	1,32	12,44	31,65	43,67	22,80	1,21	20,56
	Max	19,69	8,37	17,27	17,97	4,97	14,19	31,65	43,67	47,80	9,71	43,74
	Anzahl	156	12	104	64	91	5	1	1	102	103	5
	S	2,30	1,96	2,05	2,28	0,54	0,64			5,15	1,18	8,23
	cv%	19,85	36,50	16,90	17,31	23,73	4,86			13,85	29,48	28,70
Gräserartige	Mittelwert	9,96	15,04	11,90	15,62	1,97	24,27	22,30	66,64	30,28	3,49	47,94
	Min	3,54	12,19	4,78	3,25	1,04	9,76	9,26	46,50	4,30	1,05	15,60
	Max	31,24	17,88	16,32	34,31	2,71	35,19	43,50	81,26	41,30	44,47	57,67
	Anzahl	304	2	107	65	38	196	195	115	64	64	95
	S	3,40	4,02	2,12	7,04	0,39	4,56	7,48	7,27	4,94	5,38	7,26
	cv%	34,18	26,76	17,78	45,06	19,76	18,79	33,56	10,90	16,30	154,30	15,14
Sonnenblumen	Mittelwert	11,05	1,14	9,44	16,15	6,03	25,23	30,28		40,34	6,77	
	Min	9,06	0,10	8,72	11,71	2,82	21,71	23,36		31,14	5,22	
	Max	14,84	2,24	10,64	21,11	10,04	28,26	35,55		43,40	8,04	
	Anzahl	40	16	10	20	11	7	4		18	18	
	S	1,43	0,77	0,59	2,47	2,09	2,38	5,84		3,05	0,73	
	cv%	12,95	67,48	6,27	15,26	34,60	9,43	19,29		7,57	10,83	
Sonstige	Mittelwert	22,32		12,43			23,77					22,99
	Min	8,36		4,89			19,77					7,55
	Max	39,60		17,68			27,03					35,70
	Anzahl	18		14			5					14
	S	7,99		3,86			3,15					9,96
	cv%	35,78		31,04			13,27					43,34
Leguminosen	Mittelwert	10,74	3,31	18,53	5,36	1,62	21,84	24,43	53,55	43,35	11,28	33,98
	Min	6,57	0,76	15,25	2,96	1,05	11,44	12,91	51,12	41,11	5,59	27,93
	Max	22,00	7,41	25,20	10,36	2,12	33,94	39,43	55,97	45,65	14,60	41,74
	Anzahl	80	20	40	14	18	29	21	2	18	18	11
	S	3,46	1,87	2,41	2,23	0,32	5,31	6,54	3,43	1,25	1,93	4,62
	cv%	32,26	56,54	13,00	41,64	19,77	24,29	26,78	6,40	2,89	17,07	13,61
Sorghum	Mittelwert	6,56		8,89	14,75	1,63	31,42	37,30		35,47	4,24	52,92
	Min	4,11		6,30	10,31	1,33	25,18	30,47		26,05	1,53	42,20
	Max	22,00		11,82	24,32	1,97	38,69	41,94		45,03	11,91	62,80
	Anzahl	125		68	17	13	32	8		49	49	37
	S	1,95		1,07	3,48	0,17	3,67	4,67		4,15	1,61	5,02
	cv%	29,65		12,04	23,59	10,69	11,69	12,52		11,69	38,02	9,49

* Angaben bezogen auf % Trockensubstanz

3.3 Entwicklung von Kalibrationen

Ziel des Projektes ist es, stabile Kalibrationen für den Biogasertrag sowie die Parameter der Labormethoden (in vitro Schätzer) zu entwickeln und diese für den praktischen Einsatz verfügbar zu machen. Wie zuvor beschrieben wurden die Spektren aller Proben auf einem NIRS-System 5000 aufgezeichnet und einer anschließenden Selektion unterzogen. Die Spektren der Selektionssets wurden wie schon beschrieben auf weiteren NIRS-Geräten (Corona 45plus, MPA-Multi Purpose Analyzer) aufgezeichnet, um so jederzeit auch entsprechende Kalibrationen für diese Geräte zur Verfügung stellen zu können.

3.3.1 Schätzung des Biogasertrages

Wie schon zuvor beschrieben, konnten 926 Proben (vgl. Tabelle 3) auf ihren Gasertrag hin untersucht werden. Jede dritte Probe (n=317) wurde für eine spätere unabhängige Validierung aus dem Gesamtprobensatz (n=926) herausgenommen. Die verbleibenden Proben wurden zur Kalibrationsentwicklung (Kreuzvalidierung) herangezogen.

3.3.1.1 Fruchtartenübergreifend

Ziel sollte es sein, eine robuste Kalibrierung zu erhalten, die anschließend für ein breites Genotypenspektrum nutzbar ist. Der zuvor beschriebene Datensatz wurde um Proben mit einem zu hohen Aschegehalt (Verunreinigung) manuell bereinigt, somit standen für die Kalibrierarbeiten noch 850 Proben zur Verfügung. In der folgenden Tabelle 6 ist das Ergebnis der Kreuzvalidierung mit dem zuvor beschriebenen Datensatz dargestellt.

Tabelle 6: Ergebnisse der Kreuzvalidierung

Name	N	R ²	SECV	PLS
Biogas NL/kg oTS	567	0,67	57,8	10
Methan NL/kg oTS	557	0,63	29,86	8

R² = Bestimmtheitsmaß

SECV = Standardfehler der Kreuzvalidierung

PLS = Anzahl genutzter Faktoren in Kreuzvalidierung

Die Tabelle 6 zeigt ähnliche Ergebnisse für die Kreuzvalidierung wie sie auch schon in den Zwischenberichten dargestellt wurden. Der Schätzfehler für den Biogas-/Methanertrag liegt bei 60l/31l und das Bestimmtheitsmaß der Kalibrierungen bei maximal 0,66. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der unabhängigen Validierung der in Tabelle 6 gezeigten Kalibrierungen wieder.

Tabelle 7: Ergebnisse der unabhängigen Validierung

	N/Outlier	Slope	R ²	SEP(C)	Bias
Biogas NL/kg oTS	282/10	1,02	0,63	65,85	-2,77
Methan NL/kg oTS	282/10	1,05	0,56	34,91	-1,64

Outlier = Anzahl Proben / Ausreißer

Slope = Steigung

R² = Bestimmtheitsmaß

SEP (C) = Standardfehler der Analyse, Bias korrigiert

Bias = Systematischer Fehler

In der Spalte N/Outlier ist die Anzahl der Proben aufgeführt, welche bei der Validierung manuell herausgenommen wurden. Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,6 in der Analyse kann eine sichere Selektion von Genotypen mit hohem Biogasertrag nicht gewährleistet werden. Lediglich eine Gruppierung in Genotypen mit hohen und mit niedrigen Biogasausbeuten kann gewährleistet werden.

3.3.1.2 Fruchtartenspezifische Kalibrationen

Der Ansatz, eine Kalibrierung für den Biogasertrag über Fruchtarten hinweg zu erstellen wie unter 3.3.1.1 beschrieben, zeigt nicht die gewünschten Ergebnisse. Aufgrund dessen wurden fruchtartenspezifische Kalibrationen entwickelt. Diese sind in Tabelle 8 dargestellt. Für die Gruppe der Kreuziferen und Leguminosen wurden alle vorhandenen Datensätze zur Kreuzvalidierung herangezogen, da nicht ausreichend Proben zur Verfügung standen. Bei Sorghum wurde aufgrund der schon im letzten Zwischenbericht dargestellten guten Anpassung der Kalibrierung, trotz geringem Stichprobenumfang, der Datensatz in einen Validierdatensatz (jede dritte Probe) und einen Kalibrierdatensatz (verbleibenden Proben) aufgeteilt.

Tabelle 8: Ergebnisse der Kreuzvalidierung

Kalibration	Name	N	R ²	SECV	PLS
	Biogas NL/kg oTS	114	0,47	47,39	7
GPS	Methan NL/kg oTS	110	0,16	26,28	1
	Methan %	110	0,72	1,74	8
	Biogas NL/kg oTS	149	0,82	57,88	6
Mais	Methan NL/kg oTS	153	0,73	34,23	6
	Methan %	87	0,60	2,88	1
	Biogas NL/kg oTS	116	0,74	48,57	5
Kruziferen*	Methan NL/kg oTS	118	0,45	31,25	3
	Methan %	113	0,75	2,31	5
	Biogas NL/kg oTS	165	0,53	66,56	3
Gras	Methan NL/kg oTS	164	0,56	31,20	6
	Methan %	76	0,48	1,46	3
	Biogas NL/kg oTS	29	0,85	52,75	3
Leguminosen*	Methan NL/kg oTS	30	0,75	34,92	2
	Methan %	25	0,65	2,50	1
	Biogas NL/kg oTS	63	0,78	39,91	4
Sorghum	Methan NL/kg oTS	63	0,80	19,00	4
	Methan %	45	0,39	1,08	1

*alle Daten zur Kreuzvalidierung herangezogen

R² = Bestimmtheitsmaß

SECV = Standardfehler der Kreuzvalidierung

PLS = Anzahl genutzter Faktoren in Kreuzvalidierung

Die beste Anpassung und Schätzgenauigkeit weist die Gruppe Sorghum auf. Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,8 für Biogas- und Methanertrag und entsprechenden Schätzfehlern von 40 l zu 20 l. Mais weist ein leicht höheres Bestimmtheitsmaß bei deutlich höheren Schätzfehlern (58 l zu 34 l) auf. Obwohl bei der Gruppe der Gräser der größte Stichprobenumfang zur Verfügung stand, zeigt diese zusammen mit der GPS die niedrigsten Bestimmtheitsmaße.

Tabelle 9: Ergebnisse der unabhängigen Validierung

Kalibration	Name	N	Slope	R ²	SEP(C)
	Biogas NL/kg oTS	62	0,54	0.163	58,35
GPS	Methan NL/kg oTS	62	1,15	0.160	31,48
	Methan %	61	0,53	0.149	32,52
	Biogas NL/kg oTS	69	0,56	0.242	89,31
Mais	Methan NL/kg oTS	69	0,40	0.070	48,02
	Methan %	30	0,27	0.048	3,53
	Biogas NL/kg oTS	49	0,53	0.236	64,80
Gras	Methan NL/kg oTS	49	0,66	0.358	28,39
	Methan %	36	1,24	0.371	2,50
	Biogas NL/kg oTS	34	0,86	0.563	50,93
Sorghum	Methan NL/kg oTS	34	0,84	0.572	27,01
	Methan %	25	1,76	0,73	0,97

N = Anzahl Proben

Slope = Steigung

R² = Bestimmtheitsmaß

SEP (C) = Standardfehler der Analyse, Bias korrigiert

In der unabhängigen Validierung der in Tabelle 8 (außer Kruziferen und Leguminosen) dargestellten Kalibrierungen zeigt sich ein noch schlechteres Bild, wie schon bei der Validierung der fruchtartenübergreifenden Kalibrierung. Für GPS, Mais und Gras brechen die Bestimmtheitsmaße auf ein inakzeptables Niveau zusammen und die Schätzfehler für den Biogasertrag gehen bis auf 90 l hoch. Einzig Sorghum zeigt noch eine bessere Anpassung und Schätzgenauigkeit.

3.3.1.3 Kalibrationen nach Stärkegehalt

Da weder die fruchtartenübergreifende noch die nach Fruchtarten sortierten Kalibrierungen zufriedenstellende Ergebnisse aufweisen, wurde der zuvor beschriebene Datensatz nach dem Stärkegehalt (XS) in eine Gruppe bis 4% und eine über 4% aufgeteilt.

Auf den ersten Blick betrachtet bringt eine Unterteilung in stärkehaltige (über 4%) und nicht stärkehaltige (unter 4%) Pflanzen weder eine Verbesserung der Schätzgenauigkeit noch der Anpassung.

Tabelle 10: Ergebnisse der Kreuzvalidierung

		N	R ²	SECV	PLS
bis 4 % XS	Biogas NL/kg oTS	294	0,66	56,16	7
	Methan NL/kg oTS	394	0,68	27,4	8
	Methan %	191	0,64	2,2	5
größer 4 % XS	Biogas NL/kg oTS	290	0,66	54,28	6
	Methan NL/kg oTS	293	0,56	29,49	6
	Methan %	212	0,37	2,23	4

R² = Bestimmtheitsmaß

SECV = Standardfehler der Kreuzvalidierung

PLS = Anzahl genutzter Faktoren in Kreuzvalidierung

Dies zeigt sich auch in der externen Validierung, welche in Tabelle 11 dargestellt ist. Wie auch schon bei den zuvor gezeigten Kalibrierungen brechen die Bestimmtheitsmaße auf ein inakzeptables Niveau zusammen.

Tabelle 11: Ergebnisse der unabhängigen Validierung

		N	Slope	R ²	SEP(C)
	BiogasNL	159	0,97	0.540	71,62
bis 4 % XS	MethanNL	159	1,00	0.523	37,83
	Methan	104	0,97	0.461	2,85
	BiogasNL	155	0,87	0.414	73,29
größer 4 % XS	MethanNL	155	0,82	0.331	38,65
	Methan	117	0,98	0.172	3,50

N = Anzahl Proben

Slope = Steigung

R² = Bestimmtheitsmaß

SEP (C) = Standardfehler der Analyse, Bias korrigiert

3.3.1.4 Kalibrationen mit Fruchtartenkombinationen

Nachdem nun die fruchtartenübergreifende Kalibrierung, eine spezifische Kalibrierung auf Fruchtarten und die Sortierung nach Inhaltsstoffen (XS) nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis gekommen sind, wurden die Datensätze von unterschiedlichen Fruchtartengruppen kombiniert. Ziel war es neben einer möglichst hohen Variation von Biogaserträgen ähnliche Rohmaterialien zu kombinieren.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Kombination verschiedener Fruchtartengruppen dargestellt. Während bei Mais, Leguminosen und Sorghum bei der fruchtartenspezifischen Kalibration noch Bestimmtheitsmaße von über 0,8 zu

finden waren, findet sich in der Kombination der genannten Fruchtarten das höchste Bestimmtheitsmaß für den Methanertrag mit 0,68. Die Schätzfehler liegen in der gleichen Größenordnung wie schon in Tabelle 8 gezeigt.

Auch die Kombination von GPS und Mais sowie Leguminosen mit Kruziferen zeigen keine besseren Ergebnisse als die fruchtartenspezifischen Ergebnisse.

Tabelle 12: Ergebnisse der Kreuzvalidierung

Kalibration	Name	N	R ²	SECV	PLS
	Biogas NL/kg oTS	211	0,65	57,12	6
Mais+Legum.+Sorgh.	Methan NL/kg oTS	216	0,68	30,62	5
	Methan %	122	0,35	1,82	1
	Biogas NL/kg oTS	246	0,78	55,06	8
GPS+Mais	Methan NL/kg oTS	245	0,53	31,34	6
	Methan %	190	0,38	2,72	5
	Biogas NL/kg oTS	100	0,64	60,2	3
Legum.+Kruzif.	Methan NL/kg oTS	98	0,47	33,66	1
	Methan %	92	0,64	2,61	3

R² = Bestimmtheitsmaß

SECV = Standardfehler der Kreuzvalidierung

PLS = Anzahl genutzter Faktoren in Kreuzvalidierung

Die unabhängigen Validierungen (vgl. Tabelle 13) der in Tabelle 12 gezeigten Kalibrierungen weisen den gleichen Trend auf wie auch schon zuvor beschrieben. Die Bestimmtheitsmaße brechen zusammen und die Schätzfehler steigen an.

Tabelle 13: Ergebnisse der unabhängigen Validierung

Kalibration	Name	N	Slope	R ²	SEP(C)
	Biogas NL/kg oTS	113	0,89	0,47	71,10
Mais+Legum.+Sorgh.	Methan NL/kg oTS	113	0,80	0,44	38,06
	Methan %	63	1,01	0,24	23,86
	Biogas NL/kg oTS	133	0,77	0,49	73,64
GPS+Mais	Methan NL/kg oTS	133	0,82	0,34	36,72
	Methan %	94	0,93	0,26	3,06
	Biogas NL/kg oTS	53	1,05	0,54	67,77
Legum.+Kruzif.	Methan NL/kg oTS	53	0,94	0,27	43,60
	Methan %	50	0,80	0,31	36,21

N = Anzahl Proben

Slope = Steigung

R² = Bestimmtheitsmaß

SEP (C) = Standardfehler der Analyse, Bias korrigiert

3.3.1.5 Kalibrierung auf Basis NL/kg TS

Wie schon unter Punkt 2.2.2 beschrieben, werden am Ende der Batchversuche die aufgefangenen Gasmengen nach Konvention auf Liter Gas bzw. Methan unter Normalbedingungen pro kg organische Trockensubstanz (NL/kg oTS) umgerechnet und das aus dem Partialdruck des Wasserdampfes und der Temperatur berechnete Wasserdampfvolumen subtrahiert.

In den vorliegenden Untersuchungen wurde davon ausgegangen, dass die aufgezeichneten Spektren der getrockneten Proben die Asche beinhalten. Um den Fehler zu verkleinern, wurde die zuvor vorgenommene Korrektur des Trockensubstanzgehaltes um die Asche wieder hinzu gerechnet und die Biogaserträge auf Liter Gas unter Normalbedingungen pro kg Trockensubstanz (NLTS) umgerechnet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kreuzvalidierung eines Datensatzes mit 844 Proben (vgl. Tabelle 6 und 7) dargestellt. Aus dem Datensatz wurde jede dritte Probe zur externen Validierung entnommen. Die Tabelle 14 zeigt den Vergleich der Kalibrierungen mit dem gleichen Datensatz bezogen auf NL/kg oTS und auf NL/kg TS. Die Kalibrierungen wurden mit den gleichen Proben und der gleichen Anzahl von Faktoren berechnet, so dass ein Einfluss der bei der Kreuzvalidierung unberücksichtigten Proben ausgeschlossen werden kann, dessen Biogaserträge wie zuvor beschrieben umgerechnet wurden.

Tabelle 14: Ergebnis der Kreuzvalidierung

Merkmal	N	PLS	R ²	SECV
Biogas NL/kg /kg oTS	509	10	0,66	59,59
Biogas NL/kg TS	509	10	0,68	55,90
Methan NL/kg oTS	507	8	0,58	31,13
Methan NL/kg TS	504	8	0,58	28,84

R² = Bestimmtheitsmaß

SECV = Standardfehler der Kreuzvalidierung

PLS = Anzahl genutzter Faktoren in Kreuzvalidierung

Es zeigt sich, dass durch Änderung der Bezugsgröße keine deutliche Verbesserung der Anpassung und Schätzgenauigkeit der Kalibrierung erreicht wird.

Die unabhängige Validierung (Tabelle 15) zeigt eine leicht bessere Anpassung und Schätzgenauigkeit für die auf NL/kg TS umgerechnete Kalibrierung.

Tabelle 15: Ergebnis der unabhängigen Validierung

Merkmal	N/Outlier	Slope	R ²	SEP(C)	Bias
Biogas NL/kg /kg oTS	282/10	1,02	0,63	65,85	-2,765
Biogas NL/kg TS	282/10	1,06	0,66	60,25	-4,932
Methan NL/kg oTS	282/10	1,05	0,56	34,91	-1,644
Methan NL/kg TS	282/10	1,08	0,59	31,72	-1,898

N/Outlier = Anzahl Proben / Ausreißer

Slope = Steigung

R² = Bestimmtheitsmaß

SEP (C) = Standardfehler der Analyse, Bias korrigiert

Bias = Systematischer Fehler

In der Spalte N/Outlier ist die Anzahl der Proben aufgeführt, welche bei der Validierung manuell herausgenommen wurden.

3.3.2 Schätzung von Laborparametern

Insgesamt standen je nach Parameter bis zu 1260 Datensätze zur Verfügung. Um eine externe Validierung durchführen zu können, wurden 1/3 der Daten zufällig ausgewählt und als externer Validierungssatz verwendet. In der folgenden Tabelle 16 ist das Ergebnis der Kreuzvalidierung für die Laborparameter Stärke (XS), Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Zucker (XZ), Rohfaser (XF), EULOS, ELOS, ADF org, ADL und NDF org dargestellt. Da eine Schätzung des Aschegehaltes (XA) mittels NIRS prinzipiell nicht möglich ist, wurde auf die Bestimmung des Aschegehaltes verzichtet. Geschätzt werden hier eng damit korrelierende Merkmale.

Tabelle 16: Ergebnis der Kreuzvalidierung - fruchtartenübergreifend

Laborparameter	N	PLS	R ²	SECV
XS	225	12	0,99	1,57
XP	400	15	0,99	0,49
XZ	227	11	0,99	0,71
XL	241	10	0,90	0,18
XF	189	11	0,97	0,91
EULOS	109	7	0,94	1,90
Elos	90	9	0,97	1,55
ADF org	328	10	0,96	1,24
ADL	319	12	0,89	0,48
NDF org	144	8	0,93	2,47

R² = Bestimmtheitsmaß

SECV = Standardfehler der Kreuzvalidierung

PLS = Anzahl genutzter Faktoren in Kreuzvalidierung

Die vorliegenden Kalibrationen mit Datensätzen aus den Erntejahren 2007 bis 2009, zeigen über alle Parameter hinweg eine sehr gute Anpassung und auch eine gute Schätzgenauigkeit (vgl. Tabelle 16). Außerdem zeigt sich hier, wie auch schon in den zuvor beschriebenen Kalibrationen für den Biogasertag, dass für die Kreuzvalidierung eine recht hohe Anzahl von Faktoren benötigt werden. Der Grund hierfür liegt in der hohen Anzahl von Fruchtarten, die in einem gemeinsamen Kalibriermodell für die einzelnen Parameter verrechnet wurden.

Die folgende Tabelle 17 zeigt uns das Ergebnis der unabhängigen Validierung der zuvor beschriebenen (vgl. Tabelle 16) Kalibrationen. Auch hier zeigen sich sowohl in der Anpassung als auch in der Schätzgenauigkeit sehr gute Ergebnisse.

Tabelle 17: Ergebnis der unabhängigen Validierung – fruchtartenübergreifend

Laborparameter	N/Outlier	Slope	R ²	SEP(C)	Bias
XS	128/3	0,98	0,99	1,47	-0,09
XP	223/3	0,98	0,96	0,70	-0,14
XZ	126/2	1,01	0,98	0,95	0,05
XL	132	1,01	0,85	0,35	0,06
XF	103/4	0,97	0,96	1,08	-0,17
EULOS	55/2	0,99	0,88	2,39	0,27
Elos	48/1	1,02	0,93	1,68	0,09
oADF	173	1,00	0,92	1,72	0,10
ADL	172/1	0,82	0,73	0,87	0,03
oNDF	84	1,00	0,90	2,60	-0,26

N/Outlier = Anzahl Proben / Ausreißer

Slope = Steigung

R² = Bestimmtheitsmaß

SEP (C) = Standardfehler der Analyse, Bias korrigiert

Bias = Systematischer Fehler

In der Spalte N/Outlier ist die Anzahl der Proben aufgeführt, welche bei der Validierung manuell herausgenommen wurden

In der Tabelle A1 im Anhang ist das Ergebnis der unabhängigen Validierung für die einzelnen Fruchtarten dargestellt.

3.4 Umsetzung von Kalibrationen in die Praxis

Aus früheren Projekten ist bekannt, dass die Umsetzung in die Laborpraxis pflanzenzüchterischer Unternehmen eine fachliche Begleitung benötigt. Probleme die sich früher ergaben, waren zum Beispiel der Einfluss der unterschiedlichen Probenvermahlung und der Einfluss der Restfeuchte der Probe während der NIRS-Messung.

Ergänzend zum Originalantrag wurden deshalb die Spektren aller selektierten Proben noch auf weiteren NIRS-Geräten aufgezeichnet, um so jederzeit auch entsprechende Kalibrationen für diese Geräte zur Verfügung stellen zu können. Diese sind einerseits ein NIRS-Gerät der Firma Carl Zeiss (Corona 45plus) und andererseits ein Gerät der Firma Bruker Optik GmbH (MPA-Multi Purpose Analyzer). Wie geplant wurden die vorliegenden Kalibrationen zu Testzwecken an beteiligte Züchter weitergegeben, Standardisierungsproben wurden erstellt und die beteiligten Geräte wurden standardisiert.

Um gewährleisten zu können, dass die beteiligten Institutionen und Züchterhäuser immer mit den aktuellsten Kalibrierungen arbeiten können, wurden diese auch auf einem Server gestützten System installiert (SaBiNA, - Server Based NIRS Analysis) und den Partnern ein Zugang geschaffen. Die folgende Abbildung 4 zeigt das Funktionsprinzip von SaBiNA. Der Vorteil liegt nicht nur in der Aktualität der Kalibrierungen, sondern auch in der Auswertung von Spektren unterschiedlicher Spektrometersysteme.

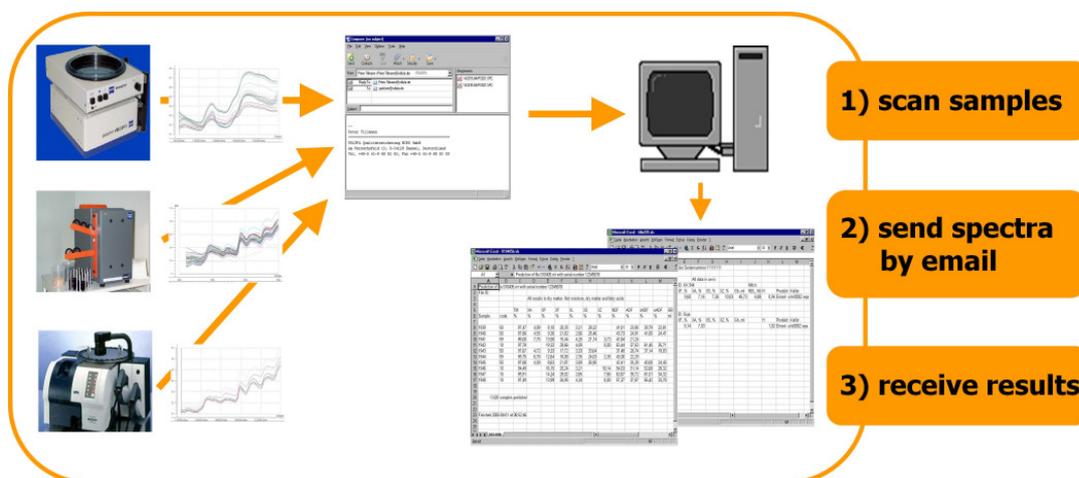


Abbildung 4: Funktionsprinzip SaBiNA

4 Fazit

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeiten war es, die NIRS-Untersuchung an getrockneten, gemahlene Proben in großen Serien (heute ein standardisiertes Verfahren) auch auf die neuen gärbioologischen Eigenschaften der pflanzenzüchterisch bearbeiteten Pflanzen zu übertragen.

Außerdem sollten auch Kalibrierungen für die Parameter der Labormethoden (in vitro Schätzer) entwickelt werden.

Bedauerlicherweise muß an dieser Stelle deutlich gemacht werden, dass es bis dato nicht gelungen ist, Kalibrationen für die Gasausbeute zur Verfügung zu stellen, mit welchen eine hinreichend genaue Selektion von Genotypen möglich ist. Der Schätzfehler bei Batch-Versuchen liegt bei über 40 NL Biogas, dies ist sowohl in der Literatur beschrieben als auch durch eigene Versuche bestätigt. Somit ist die Größenordnung der Schätzfehler der unter Punkt 3.3.1 gezeigten Kalibrierungen von ca. 50 bis 60 NL Biogas nicht weiter verwunderlich.

In den unabhängigen Validierungen der unter Punkt 3.3.1 gezeigten Kalibrierungen ist in fast allen Fällen ein deutlicher Abfall des Bestimmtheitsmaßes zu beobachten. Eine Ausnahme bildet hier das Sorghum. Bei dieser kulturartenspezifischen Kalibration können auch in der Validierung recht gute Bestimmtheitsmaße erreicht werden. Dieser Effekt ist momentan noch nicht erklärbar.

Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,6 in der Analyse kann eine sichere Selektion von Genotypen mit hohem Biogasertrag nicht gewährleistet werden. Lediglich eine Gruppierung in Genotypen mit hohen und mit niedrigen Biogasaubeuten kann

gewährleistet werden. Es besteht somit keine Aussicht auf Erreichung des Projektziels den Biogas-/Methanertrag aus Batchversuchen mittels NIRS zu schätzen.

Für die Bestimmung der Laborparameter stehen ausreichend Proben mit Referenzdaten zur Verfügung. Für alle Maisproben wird im Moment noch der Parameter Rohfaser (XF) ergänzt, um mittels der Weißbach-Formel und Regressionsgleichungen anderer Autoren den Gasertrag schätzen zu können.

Für die unter Punkt 3.3.2 beschriebenen Kalibrationen konnten sehr gute Anpassungen und Schätzgenauigkeiten erreicht werden.

5 Anhang

Tabelle A1: Ergebnis der fruchtartenspezifischen Validierung der Laborparameter

		XA	XS	XP	XZ	XL	XF	Eulos	Elos	ADF	ADL
	N/Outlier	91	43	79/4	60	44/1		2	2	56	56/1
	Slope	0,98	1,00	1,05	0,99	0,73				0,99	0,79
1 GPS	RSQ	0,90	0,98	0,90	0,95	0,61				0,92	0,61
	SEPC	0,67	1,13	0,63	1,56	0,22				1,23	0,53
	Bias	0,17	-0,05	-0,05	0,04	0,05				0,16	-0,04
	N/Outlier	78/2	66	33/1	10	34	38/1		13	40/1	40/2
	Slope	0,64	0,97	0,81		0,84	0,93		0,90	0,94	0,45
2 Silomais	RSQ	0,70	0,94	0,85		0,70	0,92		0,82	0,63	0,16
	SEPC	0,45	1,64	0,31		0,21	0,99		1,38	1,56	0,48
	Bias	-0,11	-0,29	-0,04		-0,06	-0,15		0,73	-0,26	0,03
	N/Outlier	85/3		35	21	13	47/2	49	34	21	21
	Slope	1,07		0,92	1,00	1,41	0,96	0,93	1,02	1,05	1,12
Gräserartig	RSQ	0,82		0,92	0,99	0,80	0,87	0,90	0,96	0,95	0,60
	SEPC	1,43		0,61	0,96	0,21	1,17	2,01	1,29	0,97	0,95
	Bias	-0,06		0,03	-0,24	0,12	-0,33	0,09	0,06	0,23	0,06
	Anzahl	11	7	4	7	4				5	5
	Slope	0,71									
Sonnenblum	RSQ	0,11									
	SEPC	1,09									
	Bias	0,29									
	N/Outlier	42/2		24/1	5	4	12			14	14
	Slope	1,07		0,99			0,93			0,58	0,91
8 Sorghum	RSQ	0,73		0,70			0,80			0,74	0,62
	SEPC	0,59		0,69			1,94			2,32	0,86
	Bias	0,14		-0,30			-1,01			0,51	0,11

ELOS:

Enzymlösliche organische Substanz, der mit einer Enzymlösung lösliche Anteil der organischen

Masse, liegt oft in der Größenordnung der beim Tier verdaulichen organischen Masse.

ADF org. (Acid Detergent Fiber):

saure Detergentien-Faser, der Rückstand nach der Behandlung mit definierten sauren Detergentien, umfasst Lignin und Zellulose, liegt etwa um 30 g/kg TM über der

Rohfaser, enthält nur den organischen Teil.

NDF org. (Neutral Detergent Fiber):

neutrale Detergentien-Faser, der Rückstand nach der Behandlung mit neutralen Detergentien, umfasst auch die Hemizellulose, die Zellwandbestandteile der Pflanzen, enthält nur den organischen Teil.

Teilprojekt 5

**Entwicklung einer online-NIRS-Methode für den Einsatz im
praktischen Züchtungsbetrieb und großen Versuchsserien**

(FKZ: 22002006)

**Projektleitung: Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsanstalt für
Kulturpflanzen
Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde
Prof. Dr. habil. Jörg Michael Greef
Dipl.-Ing. agr. Christian Pfitzner**

Projektlaufzeit: 10.04.2007 – 31.07.2010

Berichtszeitraum: 10.04.2007 – 31.07.2010

I.	KURZDARSTELLUNG	1
1	Aufgabenstellung	1
2	Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens	1
3	Planung und Ablauf.....	1
3.1	Konzeption zum NIRS-atline-Messsystem	1
3.2	Verzögerter Projektbeginn	2
3.3	Kostenneutrale Verlängerung	3
4	Stand der Wissenschaft und Technik zum Projektbeginn.....	3
4.1	Ermittlung des Gasbildungspotentials.....	3
4.2	Einsatz der Nahinfrarotspektroskopie.....	4
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	4
5.1	Zusammenarbeit innerhalb des Verbundprojektes	4
5.2	Weiterführende Zusammenarbeit	4
II.	ERGEBNISDARSTELLUNG.....	5
1	Erzielte Ergebnisse	5
1.1	Eingesetzte Versuchstechnik.....	5
1.1.1	Aufbau von zwei NIRS-atline-Messsystemen für die Feldrandmessung	5
1.1.1.1	Verwendetes Spektrometersystem	5
1.1.1.2	Rahmen und Drehbühne	6
1.1.1.3	Software	6
1.1.1.4	Ernte und Probenaufbereitung des Pflanzenmaterials für die NIR-Messung	7
1.1.1.5	NIR-Messung des frischen Pflanzenmaterials.....	7
1.1.1.6	NIR-Messung des trockenen, vermahlenden Pflanzenmaterials	7
1.1.1.7	Ermittlung des Gasbildungspotentials durch Batch-Fermenter.....	7
1.2	Methodik	8
1.2.1	Referenzdatenbasis des Pflanzenmaterials	8
1.2.2	Berechnung des Gasbildungspotentials	12
1.2.3	Laboranalyse.....	12
1.2.4	Kalibrationsentwicklung	13
1.2.4.1	Datensätze	13
1.2.4.2	Datenvorbereitung.....	14
1.2.4.3	Kalibrierung	14

1.3	Ergebnisse	15
1.3.1	Kalibration und Validation	15
1.3.1.1	Kalibrierung wertgebender Inhaltsstoffe von frischem Pflanzenmaterial	15
1.3.1.2	Kalibrierung des Gasbildungspotentials von frischen Pflanzenmaterial	16
1.3.2	Fehlerbetrachtung	20
1.3.2.1	Fehler der Batch-Tests	20
1.3.2.2	Fehler der Berechnung des Gasbildungspotentials	22
1.3.2.3	Ergebnissicherheit	23
2	Nutzen	24
2.1	Schutzrechte	24
2.2	Beitrag zu förderpolitischen Zielen	24
2.3	Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten	25
3	Veröffentlichungen	26
4	Literaturverzeichnis	27
5	Anhang	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Messeinrichtung mit Spektrometer PSS 1720, Bandmesskopf (Polytec Gmbh) und Drehbühne	6
Abb. 2: Inkubation der Ansätze.....	8
Abb. 3: Zusammensetzung der Batchtest-Proben.....	9
Abb. 4: Zusammensetzung der Proben auf Basis der berechneten Methanausbeuten.....	9
Abb. 5: Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf Mittelwert und Standardabweichung der Methanausbeute im Batch-Test.....	21
Abb. 6: Erreichte Methodenabhängige Toleranzen der Ergebnissicherheit bei der Schätzung des Methanbildungspotentials.....	25
Abb. 7: Atline NIRS- Messstand Serienmodell PSS-A-T01 Fa. Polytec GmbH.....	26

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Technische Parameter der verwendeten Spektrometer	5
Tab. 2: Untersuchter Probenumfang.....	10
Tab. 3: Kalibrationsstatistik ausgewählter wertgebender Pflanzenparameter.....	16
Tab. 4: Kalibrationsstatistik gemessener (Batch-Tests) und berechneter Methanerträge auf der Basis von Spektren trockener, vermahlener Proben und frischem Häckselgut.....	17
Tab. 5: Kalibrationsstatistik vergleichbarer Datensets von gemessenen (Batch-Tests) und berechneten Methanerträgen, Spektren von trockenen, vermahlenden Proben und von frischem Häckselgut, Spektrometer PSS 1720.....	18
Tab. 6: Validationsstatistik gemessener (Batch-Tests) und berechneter Methanerträge auf der Basis von Spektren trockener, vermahlener Proben und frischem Häckselgut.....	19

I. KURZDARSTELLUNG

1 Aufgabenstellung

Die zunehmende Nutzung von Biomasse zur Biogasgewinnung erfordert die Entwicklung entsprechender Analyseverfahren, mit denen die potentielle Gasausbeute der eingesetzten Pflanzen bewertet werden kann. Insbesondere in der Energiepflanzenzüchtung werden Schnellmethoden benötigt, die möglichst erntezeitnah und kostengünstig genotypische Unterschiede im Gasbildungspotential an großen Probenreihen feststellen können.

Die Nahinfrarot-Spektroskopie hat sich in der Qualitätsanalytik landwirtschaftlicher Produkte bewährt und entwickelte sich im letzten Jahrzehnt von einer etablierten Labormethode zunehmend auch zur online-Anwendung, mit der frisches Pflanzenmaterial direkt während der Ernte bewertet werden kann. Daraus leitet sich die Aufgabenstellung des Teilprojektes 5 ab:

1. Entwicklung einer online NIRS-Methode für den Einsatz im praktischen Züchtungsbetrieb und großen Versuchsserien und
2. Aufbau von Datenbanken für die NIRS-Kalibrierung und Entwicklung von Schätzformeln zur Vorhersage des Biogaspotenzials auf der Grundlage futteranalytischer Kennwerte

2 Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens

Klimaschutzziele, Forderungen zur nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung, Unabhängigkeit von Energieimporten sowie die Schaffung von Arbeitsplätzen ließen die Bedeutung von erneuerbarer Energie in den letzten 10 Jahren stark anwachsen. Mittel- bis langfristig sollen Erneuerbare Energien ihre Wettbewerbsfähigkeit im Energiebinnenmarkt erreichen (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG, 2009). In einer Förderinitiative des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz werden kurz- und mittelfristig große Zuchtfortschritte im Bereich der Energiepflanzen gefordert, die die Effektivität des Energiepflanzenbaus deutlich erhöhen. Ein Förderschwerpunkt ist unter anderem die Entwicklung, Etablierung und Optimierung von effektiven Analyseverfahren zur Bestimmung von Inhaltsstoffen und anderen züchterisch relevanten Parametern (Bekanntmachung über die Förderung der angewandten Forschung zum Schwerpunkt „Züchtungsforschung und Züchtung im Bereich Energiepflanzen“ im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ der Bundesregierung vom 8. Januar 2009, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz). Durch den Einsatz von Schnellmethoden zur Feststellung des Biogasbildungspotentials in der Energiepflanzenzüchtung lassen sich durch schnellere Informationsgewinnung Zuchtprogramme effektiver gestalten.

3 Planung und Ablauf

3.1 Konzeption zum NIRS-online-Messsystem

Frische Pflanzenproben behalten ihre spektral wirksame stoffliche Matrix zeitlich nur sehr begrenzt bei. Lagerung und Transport werden damit zum Problem. Einfrieren würde die stoffliche Matrix der Proben stark verändern, ebenso der Transport und die kurzfristige Lagerung unter Schutzgas, wie in der Lebensmittelindustrie üblich. Aus diesen Gründen fiel die Entscheidung für

den Aufbau von zwei Messsystemen, einen NIRS-Messstand für die Vorortmessungen an dem Versuchsstandort Merklingsen der FH Soest und den andern für das Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL Braunschweig. Nach Bedarf wurden beide Messsysteme zu anderen Standorten transportiert, um dort Vorortmessungen durchzuführen.

Hauptfehlerquellen bei der online-Applikation der NIR-Messmethodik auf Erntemaschinen sind der Probenahmefehler der Referenzdaten, die Prozesssicherheit und Systemstabilität im Dauereinsatz. Um gemäß der Projektzielstellung die Kalibrierbarkeit des Biogasbildungspotentials heraus arbeiten zu können, sollten zum Einen die genannten Fehlerquellen vermieden und zum Anderen dennoch die online-Fähigkeit der Messbedingungen gesichert werden. Es wurde deshalb einer atline-Messeinrichtung der Vorzug gegeben.

Im Einzelnen wurden folgende Systemeigenschaften berücksichtigt:

- Objektmessung in Reflexion von der freien, geglätteten (aber nicht planen) Gutoberfläche, d.h. mit einer Rauhtiefe und adäquaten Messbedingungen (Messabstand Messkopf-Objekt: 20 cm), wie sie auf einer Versucherntemaschine realisiert werden können.
- Für die Aufnahme der Spektren wurde das Spektrometer PSS 1720 der Fa. Polytec GmbH verwendet (Spektralbereich: 850-1650 nm)
- Messstreckenvergrößerung durch modifizierte Refillmethode, dadurch geringerer spektraler Probenahmefehler und Glättung des pathlength-Einflusses durch unterschiedliche Häcksellänge/Schüttdichte. Die Mehrfachmessung erfolgt durch eine speziell vom Spektrometerhersteller dafür entwickelte Software.
- Interne Spektrometerreferenzierung (Schwarz-weiß-Abgleich) durch Shutter (realisiert durch verwendete Systemvariante) und durch mechanische Weißreferenzierung im Messkopf (Neuentwicklung des Messkopfes PSS-H-A01 durch die Fa. Polytec GmbH für die online-Anwendung)
- Transformation der Spektren auf das Standardwellenlängenformat (850 bis 1650 nm). X-Achse der aufgenommenen Spektren wird standardisiert (Software der Fa. Polytec GmbH)

3.2 Verzögerter Projektbeginn

Aus personellen Gründen (Ausschreibungs-/Bewerbungsverfahren) verschob sich der Projektbeginn vom 01.04.2007 auf den 01.07.2007. Die Lieferung der Spektrometersysteme an die FAL Braunschweig erfolgte am 03.08.2007. Die Gründe dafür lagen zum einen darin, dass die Auftragserteilung an die Bereitstellung der finanziellen Mittel gebunden war und diese erst durch Umschichtung und Aufstockung (laut Protokoll der Projektbesprechung vom 30.04.2007) sichergestellt werden musste. Der positive Bescheid der FNR auf den entsprechenden Antrag vom 08.05.2007 ging bei der FAL am 29.05.2007 ein. Zum anderen sorgte die wirtschaftliche Konjunkturlage in Deutschland für Lieferverzögerungen bei vielen Firmen, so auch beim Hersteller der Spektrometersysteme, der Fa. Polytec GmbH, denn die Auftragserteilung der FAL erging bereits am 30.05.2007. Im Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft wurden während dieser Verzögerungszeiten alle Anstrengungen unternommen, um in ständigem Kontakt mit dem Gerätehersteller die Projektanforderungen an das Gerätesystem, insbesondere der Software umzusetzen sowie den Messstand im Haus zu konstruieren und zu bauen, so dass der erste

Messstand am 23.08.2007 zum Versuchsstandort Merklingsen der FH Soest verbracht und das Personal vor Ort in den Messalgorithmus eingewiesen werden konnte. Zu diesem Zeitpunkt war auch der Messstand in der FAL betriebsbereit.

3.3 Kostenneutrale Verlängerung

Eine kostenneutrale Verlängerung wurde für den Zeitraum 01.04.2010 bis 31.07.2010 beantragt und von der FNR bewilligt. Die wesentlichen Gründe dafür waren:

- Durch verzögerten Projektbeginn traten Rückstände in der Probenbearbeitung auf.
- Anhand des ausgewerteten Datenmaterials zeigte sich, dass sich das Biogas- bzw. Methanbildungspotential auf Basis der Batchtests nicht mit ausreichender Bestimmtheit kalibrieren lässt.
- Bekanntwerden von Ergebnissen Dritter mit relevanter Projektwirkung: Futtermittelanalytischer Ansatz zur Berechnung des Biogasbildungspotentials auf der Grundlage der fermentierbaren organischen Trockensubstanz nach Weißbach (2008, 2009)
- Verbinden des futtermittelanalytischen Ansatzes und der eingesetzten Detektionstechnik zur Entwicklung stabiler NIRS-Kalibrierungen und Ausbau zu einer kostengünstigen Schnellmethode.

4 Stand der Wissenschaft und Technik zum Projektbeginn

4.1 Ermittlung des Gasbildungspotentials

Grundsätzlich wird das Gasbildungspotential von nachwachsenden Rohstoffen entweder durch Fermenterversuche ermittelt oder mit entsprechenden Methoden berechnet. Die Berechnung kann auf der Grundlage der Weender Futtermittelanalyse, entsprechender Verdauungsquotienten der DLG-Futterwerttabelle (Keymer et al., 1999) und spezifischer Gasbildungsraten der Nährstoffe (Baserga, 1998) erfolgen. Die mit diesen Modellen errechnete Biogasausbeute ist meistens kleiner als die in der Praxis ermittelte. Der Grund dafür wird darin gesehen, dass sich die Verdauungsquotienten, die aus Verdauungsversuchen mit Wiederkäuern abgeleitet sind, nicht 1: 1 auf Biogasanlagen übertragen lassen. Es wird deshalb versucht, die Verdauungsquotienten entsprechend anzupassen. Ein Ansatz in diese Richtung stammt von Amon, 2007a. In einem so genannten Energiewertmodell wird versucht, die Methanausbeute aus ausgewählten Inhaltsstoffen und der Bruttoenergie der eingesetzten Substrate regressionsanalytisch zu berechnen. Die entsprechenden Regressionsgleichungen weisen aber zurzeit sehr niedrige Bestimmtheitsmaße auf. Einen anderen Weg zur experimentellen Ermittlung der Verdauungsquotienten beschreitet Banemann, 2007. Durch die so genannte modifizierte In-Sacco-Methode, bei der sich das zu vergärende Substrat in einem Gagebeutel im Fermenter befindet, wird das Substrat vor und nach der Vergärung einer Weender-Futtermittelanalyse unterzogen und so der Abbau der Inhaltsstoffe ermittelt.

Von Kaiser (2007) konnte ein enger Zusammenhang zwischen dem Abbau der organischen Trockensubstanz im Fermenter und der Methanausbeute nachgewiesen werden. Der darauf basierende regressionsanalytische Ansatz zur Berechnung der Biogasausbeute beruht allerdings auf der Differenz der Inhaltsstoffe aus einer Input-Outputanalyse, so dass die Formel nicht praktikabel zur Berechnung eingesetzt werden kann.

Schätzformeln für das Biogasbildungspotential, wie sie in der Futtermittelbewertung üblich sind, gab es zu Beginn des Projektes nicht.

Ein Ansatz, Richtwerte zur Methanbildung von Gärrohstoffen abzuleiten findet sich bei Amon et al. (2007b). Es muss dazu angemerkt werden, dass eine Vielzahl von veröffentlichten substrat-spezifischen Biogas- bzw. Methanausbeuten auf nicht einheitlicher, d.h. nicht standardisierter Bezugsbasis vorliegen, wodurch eine vergleichende Betrachtung erschwert ist.

Für die Messung des Biogasbildungspotentials schien zu Beginn des Projektes der „Hohenheimer Biogastest (HBT)“ das einzige praktikable „Batch-Verfahren“ zu sein, das für eine NIR-Kalibrierung den notwendigen Probendurchsatz liefert. Hinzu kommt, dass die dafür eingesetzte normierte Probenaufbereitung mit der der NIR-Futterwertparameter-Schätzung übereinstimmt. Aus Fachkreisen wurde dieser Methode entgegengehalten, dass die geringe Prüfmenge von weniger als 1 g Frischmasse zu große Fehler provoziert. Helfrich, et al., 2003 gibt den Fehler des Hohenheimer Biogastestes mit 7,1 % an. Die Meinung, dass größere Batch-Fermenter zu geringeren Fehlern bei der Ermittlung des Biogasbildungspotentials führen, herrscht zu Beginn des Projektes vor. Dazu trug bei, dass parallel durchgeführte Analysen am ITL der Bayerischen LfL mit dem HBT und Batch-Fermentern an gleichem Substrat zu abweichenden Ergebnissen führten. Zur Messung des Biogasbildungsvermögens kommen unterschiedliche Fermentergrößen und Apparaturen zum Einsatz (Batch-Fermenter 1 l – 50 l, Gaserfassung mit Gassammelbeuteln, Mikrogaszähler, Eudiometer).

4.2 Einsatz der Nahinfrarotspektroskopie

Im Bereich der Biogaserzeugung gibt es erste Ansätze die NIRS zur Prüfung der Substratqualität zur Prozesssteuerung von Fermentern und für die Analyse von Gärrückständen zu nutzen. Ein Ansatz, die Methanausbeute von Getreideganzpflanzen mit der NIRS-Methode zu kalibrieren, stammt von Schuster et al. (2007). Es wird ein Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidation von 0,98 erreicht. Die Kalibrierung erfolgt allerdings auf der Basis I_N Methan/kg Frischmasse, so dass die Kalibrierung hauptsächlich auf dem Wassergehalt beruhen dürfte.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

5.1 Zusammenarbeit innerhalb des Verbundprojektes

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern

- Deutsches Maiskomitee e.V., 53 115 Bonn, Clemens-August-Strasse 54
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 64 289 Darmstadt, Bartningstraße 49
- VDLUFA Qualitätssicherung NIRS GmbH, 34 128 Kassel, Am Versuchsfeld 13
- Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, 59494 Soest, Lübecker Ring 2

5.2 Weiterführende Zusammenarbeit

- Die zur Ermittlung des Gasbildungspotentials notwendigen Batchtests wurden von der Landwirtschaftskammer Hannover durchgeführt (LWK Bezirksstelle Hannover, 30453 Hannover Wunstorfer Landstr. 11)

- Hinsichtlich des Einsatzes der Nahinfrarot-Spektrometer und Softwareentwicklung wurde eng mit der Firma Polytec GmbH, 76 337 Waldbronn, Polytec-Platz 1-7 zusammen gearbeitet
- Bereitstellung von Triticale-Proben von der Nordsaat Saatzuchtgesellschaft mbH Langenstein
- Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde Braunschweig, Projekt: Erzeugung und NIRS-Bewertung von Silagen aus nachwachsenden Rohstoffen (NAWARO) zur Biogaserzeugung, Projektleiter: Dr. Pahlow

II. ERGEBNISDARSTELLUNG

1 Erzielte Ergebnisse

1.1 Eingesetzte Versuchstechnik

1.1.1 Aufbau von zwei NIRS-atline-Messsystemen für die Feldrandmessung

1.1.1.1 Verwendetes Spektrometersystem

Die verwendete Systemvariante PSS-1720 der Firma Polytec GmbH hat folgende technische Parameter:

Tab. 1: Technische Parameter der verwendeten Spektrometer

Typ	3D-Transmissionsgitter-Polychromator inkl. Ordnungsfiler
SMA-Lichtwellenleiteranschluss	für Fasern mit Kerndurchmesser < 400 µm; F# = 3
Streulicht	1 : 50.000
Spektrale Auflösung	90µm-Spalt: < 7 nm
Wellenlängenbereich	850 – 1650 nm
Abs. Wellenlängengenauigkeit	< 0,5 nm
Bewegliche optische Teile	keine
Detektor	Hamamatsu G9201-256S

Hinsichtlich der Projektanforderungen, die die Entwicklung einer online-NIRS-Methode für den Einsatz im praktischen Züchtungsbetrieb sichern sollen, sind folgende Eigenschaften des Spektrometersystems herauszustellen, die u.a. auch zur Auswahl des Systems geführt haben:

- Pixeldispersion 0,1 % über gesamten Spektralbereich von 850 – 1650 nm → genauere Interpolation möglich
- Streulichtverhältnis 1 : 50.000 → sehr gutes S/N-Verhältnis
- Wellenlängenauflösung 6,3 nm
- hohe Wellenlängenrichtigkeit (1,9 Pixel optische Auflösung) → Kalibrationstransfer
- Elektronik ist nicht messqualitätsbestimmend → kein odd-even-Effekt
- Hohe Systemstabilität → geringe Drift

} Dedektion signal-schwacher Eigenschaften

- Kollimierte Messgeometrie → geringerer Einfluss der Abstandsvariation zwischen Objekt und Messkopf

1.1.1.2 Rahmen und Drehbühne

Durch die Konstruktion und den Bau eines entsprechenden Messstandes im Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft in Interaktion mit dem Spektrometerhersteller, der Firma Polytec GmbH, wurde die Übertragbarkeit der Messbedingungen und letztlich der Kalibrationsmodelle auf die online-Messung durch die Realisierung einer adäquaten Messkonfiguration und Messgeometrie berücksichtigt. Den Prototyp des Messstandes zeigt Abbildung 1.



Abb. 1: Messeinrichtung mit Spektrometer PSS 1720, Bandmesskopf (Polytec GmbH) und Drehbühne

Der Rahmen wurde in der institutseigenen Werkstatt aus Kastenprofil hergestellt. Das Probengefäß (ca. 27 l, bzw. ca. 2-8 kg, je nach Fruchtart und Trockensubstanzgehalt) wurde von einer Drehbühne aufgenommen (Drehbühne SW 250, zentralvertrieb@aol.com). Diese besitzt eine Tragkraft bis zu 25 kg, der Drehteller hat einen Durchmesser von 225 mm und dreht sich mit 2,5 U/min (Rechtslauf, 220 V).

1.1.1.3 Software

Die Software zur Bedienung des Messstandes wurde nach Vorgaben des Projektbearbeiters von der Firma Polytec GmbH entwickelt. Die Software gestattet die Aufnahme von Spektren in frei wählbaren Wiederholungen. Die Wiederholungspektren werden automatisch gemittelt. Mit der Software kann im Predictmodus gearbeitet werden. In diesem können drei Modelle predictet werden. Schätzwert und M-Wert werden angezeigt.

1.1.1.4 Ernte und Probenaufbereitung des Pflanzenmaterials für die NIR-Messung

Die Ernte am Versuchsstandort Merklingsen erfolgte mit dem selbstfahrenden Feldhäcksler Claas Jaguar 830 Profistar 2, mit einem an die Fruchtart angepassten Schneidwerk. Die Probenahme erfolgt mit einer Probenahmeeinrichtung auf dem Häcksler. Am Versuchsstandort Braunschweig wurden die Proben auf dem Feld per Hand als Ganzpflanzen geerntet und anschließend stationär gehäckselt.

1.1.1.5 NIR-Messung des frischen Pflanzenmaterials

Die Proben wurden gut durchmischt in das Probengefäß des Messstandes gegeben. Das Probengefäß wurde immer bis zu einer vorgegebenen (markierten) Höhe gefüllt und gewogen. Anschließend wurde es auf die Drehbühne unter das Spektrometer gestellt, in Rotation versetzt und die Spektren erfasst. Die Messung fand in 6facher Wiederholung statt, zwischen den einzelnen Wiederholungen wurde die Probe im Probengefäß gut gemischt.

Die Messzeit des Spektrometers wurde auf eine Umdrehung des Probengefäßes abgestimmt, während der der Messfleck auf Grund der exzentrischen Stellung des Messkopfes gegenüber dem Probengefäß einen Kreisring der Probe abscannt und ca. 300 Einzelspektren erfasst, aus denen ein Mittelwertspektrum berechnet wurde. Aus dem Messalgorithmus (Software) ergaben sich damit 6 Mittelwertspektren pro Probe, die für die Auswertung zur Verfügung standen.

Die Mittelwertspektren aus diesen 6 Mittelwertspektren wurden für die Kalibrierung verwendet. Unmittelbar nach der Messung wurden die Proben in Beutel verpackt und für die Analysen/Batchtests bei -20 °C in der Kühlzelle eingefroren. Eine repräsentative Teilprobe wurde für die TS-Bestimmung bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet, eine zweite repräsentative Teilprobe wurde bei 60 °C getrocknet. Diese stellte das Ausgangsmaterial für weitere Inhaltsstoffanalysen dar.

1.1.1.6 NIR-Messung des trockenen, vermahlenden Pflanzenmaterials

Für die Messung der trockenen, vermahlenden Proben wurde zunächst die gleiche Messanordnung, einschließlich des Spektrometers PSS 1720 verwendet, um die Kalibrierergebnisse mit denen der frischen Proben unter gleichen Messbedingungen vergleichen zu können. Die Proben wurden dazu in Petrischalen gefüllt, deren Durchmesser im Verhältnis zur Messfleckgröße des Messkopfes so gewählt wurde, dass Randeffekte ausgeschlossen werden können.

Darüber hinaus wurden die Proben (in Ringcups) mit dem Foss Laborspektrometer NIRSystems 5000 (Spektralbereich: 1100 -2500 nm) gemessen.

1.1.1.7 Ermittlung des Gasbildungspotentials durch Batch-Fermenter

Da frisches Pflanzenmaterial bewertet werden sollte, wurde frisches, d.h. unsiliertes Material vergoren. Das bei -20 °C gelagerte Material wurde schonend aufgetaut, zusammen mit kommunalem Impfschlamm in 20 l-PE-Batchbehälter gegeben und ohne weitere Substratzugabe mesophil vergoren. Von allen Proben wurde vorher der Gehalt an Trockenmasse (TS) und der organischen Trockenmasse (oTS) bestimmt. Die eingewogene Substratmenge pro Fermenter lag

je nach Gehalt an organischer Trockenmasse zwischen 300 und 1500 g Frischmasse (VDI-Richtlinie 4630).

Die Durchführung der Batchversuche wurde mit der LWK Hannover Anfang Februar 2008 vertraglich vereinbart. Die Versuchsbedingungen waren mit den im Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde durchgeführten Batchtests vergleichbar, so dass die Richtigkeit der Messergebnisse jederzeit überprüfbar war.

Folgende Versuchsbedingungen wurden eingehalten:

- Batchbehälter: Getränkefässer, rund 20 l aus NDPE Firma Speidel, Gasanalysebeutel 20 l und 40 l Firma Tesseraux
- Impfschlamm: Inokulum, aus der Kläranlage Gifhorn
- Messeinrichtung: Ritter Trommelgaszähler TG3, Dräger X-am 7000 Gasmessgerät mit folgenden Sensoren: CO₂ (0-100 Vol%), CH₄ (0-100 Vol%), H₂S (0-1000 ppm)

Die Biogas-Batchanlage bestand aus 7 isolierten Wasserbädern (ca. 4.000 x 800 x 400 mm) nebst Heiztechnik und Stellrosten, 140 Gärbehältern nebst Zubehör und Gasanalysebeuteln.

Der Algorithmus für den Ansatz und die Durchführung der Batchtests wurde vor Auftragserteilung in Form einer Verfahrensbeschreibung vereinbart. Diese enthält neben der genannten Geräteausstattung die genaue Beschreibung der Verfahrensschritte, die sich wie folgt gliedern:

- Leerwaage der Gärbehälter
- Homogenisierung der Probe
- Überprüfung der Gassammelbeutel
- Homogenisierung des Impfschlammes
- Entnahme des Impfschlammes
- Befüllung der Gärbehälter
- Einwaage der Substratmenge
- Sättigung des Gasraumes mit N₂
- Verschließen der Gärbehälter
- Inkubation der Ansätze 35 Tage



Abb. 2: Inkubation der Ansätze

Für das Verfahren waren vereinbarungsgemäß folgende Parameter einzuhalten:

- Impfschlamm aus Klärwerk (mesophile Betriebsweise)
- Inkubation in der Klimakammer bzw. im Wasserbad bei 37°C
- Doppelansatz und Blindwert 35 Tage Vergärung
- Möglichst tägliche Durchmischung durch schütteln
- Gasmessung wenn sich jeweils 2-3 l Gas für eine Messung gebildet hat

1.2 Methodik

1.2.1 Referenzdatenbasis des Pflanzenmaterials

Die für die Kalibrierexperimente verwendeten Proben wurden im Rahmen des Verbundvorhabens auf den Versuchsflächen der FH Südwestfalen und des eigenen Institutes angebaut. Triticale-Proben wurden von der Nordsaat Saatzuchtgesellschaft mbH Langenstein bereitgestellt. Eine möglichst hohe Inhaltsstoffvariation wurde über die Einbeziehung eines breiten Sorten bzw. Artenspektrums, bei den Gräsern darüber hinaus durch unterschiedliche Schnitttermine erzielt. Tabelle 2 zeigt den untersuchten Probenumfang. Da die Kalibrierungen auf der Basis der mit Batchtests ermittelten Methanausbeuten bzw. der berechneten Methanausbeuten durchgeführt wurden, differieren die Datensätze entsprechend.

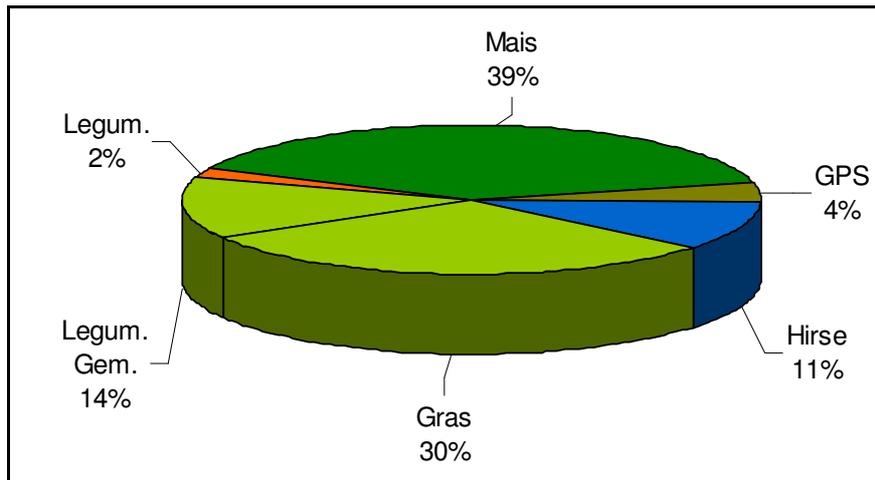


Abb. 3: Zusammensetzung der Batchtest-Proben

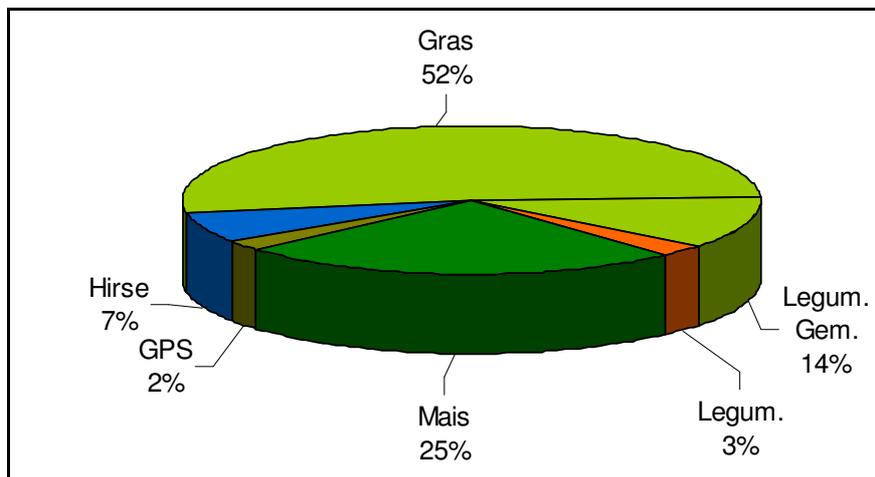


Abb. 4: Zusammensetzung der Proben auf Basis der berechneten Methanausbeuten

Tab. 2: Untersucher Probenumfang

Erntejahr	Gruppen-Index	Art	vorhandene Proben	Biogas	
				gemessen (I _N kg/oTS)	berechnet (I _N kg/oTS)
2007	Gräser	Weidelgräser	14	12	14
	Leguminosengemenge	Leguminosengemenge	4	4	4
	Leguminosen	Leguminosen	5	5	4
	Mais	Mais	62	44	62
	ZWFBrassica	Futerraps	8	7	0
	Sonnenblume	Sonnenblume	15	14	0
	Hirse	Sudangras Zuckerhirse	16 3	14 3	16 0
2008	Gräser	Weidelgräser	169	86	165
		Teff	1	1	1
		sonstige Gräser	6	3	6
	Leguminosengemenge	Leguminosen-Gras-Gemenge	67	39	66
		Grobleguminosen-Getreide-Gemische	6	0	6
	Leguminosen	Klee	6	1	4
		Grobleguminosen	26	3	26
		Luzerne	8	7	8
	Mais	Mais	151	90	149
	GPS	Grünroggen	4	3	4
		Grünroggen-Gemenge	13	9	13
		Triticale	25	6	5
		Wintergerste	22	0	0
		Winterweizen	22	4	0
sonstige, Hafer, Sommerroggen		9	0	0	
ZWFBrassica	Senf	9	0	0	
	Raps	30	14	0	
	Ölrettich	9	0	0	
	Rübsen	7	2	0	
	Kohl	11	8	0	
Sonnenblume	Sonnenblume	25	13	0	
Hirse	Sudangras	22	8	21	
	Zuckerhirse	28	14	26	
Sonstige	Silphie, Phacelia	8	3	0	
2009	Gräser	Weidelgräser	196	3	160
		Teff	20	0	20
		Gräsergemisch	180	0	180
	Leguminosengemenge	Leguminosen-Gras-Gemenge	46	12	46
	Leguminosen	Grobleguminosen	10	0	0
		Luzerne	12	0	12
	Mais	Mais	115	0	75
	GPS	Grünroggen	13	0	0
		Grünroggen-Gras-Gemenge	6	2	0
		Wintergerste	10	0	0
Winterweizen		10	0	0	
Sonnenblume	Sonnenblume	20	0	0	
Hirse	Sudangras	18	0	4	
	Zuckerhirse	37	0	19	
Summe			1504	434	1116

1.2.2 Berechnung des Gasbildungspotentials

Die Berechnung des Gasbildungspotentials erfolgte auf der Grundlage fruchtartenspezifischer Schätzgleichungen nach Weißbach, 2008. In diese gehen der Gehalt der Proben an Rohasche (XA) und Rohfaser (XF) ein und für die Gräser der Gehalt an Rohasche und die enzymunlösliche organische Substanz (EULOS). Mit den Schätzgleichungen wird der Gehalt der jeweiligen Probe an fermentierbarer organischer Trockensubstanz (FoTS) geschätzt. Folgende Schätzgleichungen wurden verwendet:

$$\text{Silomais: FoTS [g/kg TS]} = 984 - XA - 0,47 XF - 0,00104 XF^2$$

$$\text{Gras: FoTS [g/kg TS]} = 1000 - XA - 0,62 \text{ EULOS} - 0,000221 \text{ EULOS}^2$$

$$\text{Luzerne: FoTS [g/kg TS]} = 971 - XA - 0,41 XF - 0,00101 XF^2$$

$$\text{Grünroggen: FoTS [g/kg TS]} = 975 - XA + 0,23 XF - 0,0023 XF^2$$

Nach Weißbach (2008, 2009) kann bei den hier untersuchten Pflanzenarten mit einer potentiellen Gasausbeute von 800 l_N Biogas/kg FoTS bzw. 420 l_N Methan/kg FoTS gerechnet werden. Für Luzernegras wurde der jeweils mittlere Wert aus den Schätzgleichungen für Gras und Luzerne gewichtet aus dem Luzerne-Gras-Anteil berechnet. Die so errechneten Gasausbeuten bildeten neben den Gasausbeuten der Batchtests die Referenzdatenbasis für die Kalibrierexperimente.

1.2.3 Laboranalyse

Die in die Untersuchung einbezogenen futtermittelanalytischen Kennwerte wurden in physikalische Parameter, Parameter der Weender Rohnährstoffanalyse, Parameter der erweiterten Weender-Analyse und Verdaulichkeitsparameter gegliedert. Im Einzelnen wurden folgende Parameter einbezogen:

Physikalische Parameter:

Trockensubstanz der frischen Probe	%TSfrisch
Trockensubstanz der gemahlten Laborprobe	%TSLabor
Organische Trockensubstanz	% oTS
Schüttdichte der frischen Probe	D (g/cm ³)

Weender Rohnährstoffanalyse:

Rohasche	%XA
Rohfaser	%XF
Rohprotein	%XP
Rohfett	%XL

Erweiterte WeenderAnalyse:

Neutrale Detergenzfaser	%NDF
-------------------------	------

Neutrale Detergenzfaser der organischen Masse	%oNDF
SäureDetergenzFaser	%ADF
SäureDetergenzFaser der organischen Masse	%oADF
SäureDetergenzLignin	%ADL
Rohzellulose	%CL
Hemizellulose	%HC
Wasserlösliche Kohlenhydrate	%WSC

Verdaulichkeitsparameter:

Enzymunlösliche organische Substanz	EULOS (g/kg TM)
Enzymlösliche organische Substanz	%ELOS
Zellulaseverdaulichkeit der organischen Masse	%CDOM
Invitroverdaulichkeit der organischen Masse	%IVDOM

Die Analysen erfolgen in der VDLUFA Kassel und im Labor des Instituts für Pflanzenbau und Bodenkunde des JKI Braunschweig nach den Vorschriften des VDLUFA-Methodenbuches III.

Zusätzlich zu den futtermittelanalytischen Kennwerten wurde im Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des JKI Braunschweig der CSB-Wert ermittelt. Der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) ist ein Maß für die Summe aller im Wasser vorhandenen, unter bestimmten Bedingungen oxidierbaren Stoffe. Er gibt die Menge an Sauerstoff (in mg/l) an, die zu ihrer Oxidation benötigt würde, wenn Sauerstoff das Oxidationsmittel wäre.

Der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) ist nach der VDI-Richtlinie 4630 damit auch ein Maß für das theoretische Methanbildungspotential. Bei der CSB-Bilanzierung wird nach dieser Richtlinie davon ausgegangen, dass 1 g CSB 350 ml Methan entsprechen. Da ca. 10 % der CSB-Fracht für die Neubildung von Biomasse verbraucht werden, wird davon ausgegangen, dass bei vollständigem Abbau von 1 g CSB ca. 320 ml_N Methan entsteht.

Die Berechnung des potenziellen spezifischen Methanertrages ergibt sich deshalb aus:

$$\text{rechn. CH}_4\text{-Menge (l}_N\text{/kg FM)} = \text{CSB (g/kg FM)} \cdot 0,32 \text{ l}_N\text{/g, bzw.}$$

$$\text{rechn. CH}_4\text{-Menge (l}_N\text{/kg oTM)} = \text{rechn. CH}_4\text{-Menge (l}_N\text{/kg FM)} \cdot 100 / \text{oTS(\%)}$$

Die auf dieser Basis errechnete potenzielle spezifische Methanausbeute muss betragsmäßig höher liegen als die in den Batchtests ermittelte und der auf Basis der fermentierbaren organischen Substanz (nach Weißbach, 2008) berechneten, da auch nicht fermentierbare Substanzen, wie z.B. Lignin, im CSB-Analyseverfahren abgebaut werden. Die potenzielle spezifische Methanausbeute auf Basis des CSB-Wertes diente daher als Plausibilitätskriterium für die obere Methanausbeute-Grenze.

Alle ermittelten Labordaten wurden in einer Accessdatenbank abgelegt.

1.2.4 Kalibrationsentwicklung

1.2.4.1 Datensätze

Um die Kalibrierbarkeit des Gasbildungspotentials zu ermitteln, wurden die Kalibrierexperimente fruchtartenspezifisch und global, d.h. über mehrere Fruchtarten und an frischen und trockenen Proben in entsprechenden Datensets durchgeführt.

Die parallelen Kalibrierexperimente an trockenen, vermahlenden und den entsprechenden frischen Proben geben darüber hinaus Auskunft über die Leistungsfähigkeit beider Spektrometersysteme und Messmethoden. Das globale Datenset enthielt die Fruchtarten: Gräser, Leguminosen, Leguminosengemenge, Mais und GPS (Grünroggen, Grünhafer). Fruchtartenspezifisch konnte mit ausreichenden Stichprobenumfängen Gräser, Silomais und Luzernegras kalibriert und validiert werden.

1.2.4.2 Datenvorbereitung

Eine Spektrenfilterung der am frischen Material erfassten Spektren war nicht notwendig, da durch die rotierende Messstrecke keine Randeffekte auftreten. Die Begrenzung der Gesamtmesszeit einer Messung auf eine Umdrehung des Probenaufnahmegefäßes verhinderte eine Gewichtung der einzelnen Scans.

Die Auswertung der in diffuser Reflexion gemessenen Spektren erfolgte auf der Basis von Absorptionsspektren. Um Streueffekte zu korrigieren, wurden die Spektren mittels SNV (Standard Normal Variante) standardisiert, bei den getrockneten Proben auch auftretende wellenlängenabhängige Drift durch eine Detrend-Transformation korrigiert. Die Korrektur von Spektren-Offset-Effekten bei den frischen Proben infolge der Schüttdichteunterschiede, erfolgte mit der ersten Ableitung der Spektren.

1.2.4.3 Kalibrierung

Die Kalibrierungen der am PSS-Messtand gemessenen Proben erfolgten mit dem Softwarepaket CWS (Calibrations Workshop, SensoLogic GmbH). Die Schätzfunktionen wurden mit der Partial Least Squares Regression (PLSR) berechnet.

Zur Ausreißerdiagnose wurden die programminternen Ausreißeroptionen mit folgenden Limits genutzt: Normalisierter H-Wert > 3; T-Wert (Student's t-test) > 3; D-Wert (Cook's statistic) > 3 und S-Wert (Spektren-Rekonstruktions-Fehler) > 5.

Die Kalibrierungen der mit dem Laborspektrometer gemessenen Proben wurde mit dem Chemometrie-Softwarepaket WinISI III (Infrasoft International) vorgenommen, die Schätzfunktionen mit der Modified Partial Least Squares Regression (mPLSR) berechnet (Shenk et al., 1991). Die Ausreißerdiagnose erfolgte mit den softwareintern voreingestellten Limits: T-Wert > 2,5 und globaler H-Wert >10.

Die Verwendung zweier unterschiedlicher Programme für die Kalibrierung hängt mit der praktischen Anwendung zusammen. So finden Kalibriermodelle, die mit WinISI erstellt wurden im Laborbereich Anwendung (FOSS-Spektrometer), Modelle, die mit der CWS-Software erstellt wurden, dagegen auch in der online-Anwendung auf Erntemaschinen. In vorliegender Studie sollte daher die typische Systemleistungsfähigkeit ermittelt werden.

Die Beurteilung der Kalibrierergebnisse erfolgte mit den üblichen Fehlermaßen der Kalibrationsstatistik RMSECV (Root-mean-square error of cross-validation) und dem RMSEP (Root-mean-square error of prediction) Standardfehler der Prädiktion bei Validation an einem externen Testset). Zusätzlich wurde der RPD-Wert (Ratio of the standard deviation of the reference data for the validation samples) als dimensionslose Größe zur Beurteilung herangezogen. Der RPD-Wert ist das Verhältnis zwischen der Standardabweichung des Validationssets (SD) zum RMSEP

$$RPD=SD/RMSEP$$

und kennzeichnet damit das Signal/Rausch-Verhältnis, d.h. mit welcher Trennschärfe das Modell die Unterschiede der Zielgröße erkennen kann (Normalverteilung des Testsets vorausgesetzt).

Die dabei verwendete Beurteilungsskala folgt dem Vorschlag von Williams et al. (1996), wonach Werte zwischen:

- 0 – 2 als nicht ausreichend,
- 2 – 3 für Screening geeignet,
- 3 – 5 zufriedenstellend,
- 5 – 10 gut bis sehr gut und
- > 10 als exzellent angesehen werden.

Außerdem ist das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Kreuzvalidierung bzw. der externen Validierung dargestellt, obwohl es hinsichtlich der Bewertung der Vorhersageleistung nach Plesch (1982) mehr orientierenden Charakter hat.

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Kalibration und Validation

1.3.1.1 Kalibrierung wertgebender Inhaltsstoffe von frischem Pflanzenmaterial

Die Kalibrier-/ Validierungsergebnisse wertgebender Pflanzenparameter werden dargestellt, um die Leistungsfähigkeit des atline-Spektrometersystem zu kennzeichnen. Bis auf die Parameter Rohfaser (RF) und neutrale Detergenzfaser (NDF) bei Mais, die in der Validation noch keine befriedigenden Ergebnisse zeigen, deuten alle Parameter sowohl bei Gras als auch bei Silomais darauf hin, dass das verwendete Spektrometersystem in der Lage ist, frisches Pflanzenmaterial zu Screeningzwecken zu detektieren. Um die Qualität der Schätzung an einem Beispiel zu veranschaulichen, sei darauf hingewiesen, dass aktuell beim NIR-online-Screening der Trockensubstanz von Gräsern der Fehler zwischen 1,2 und 1,4 % liegt, also fast doppelt so hoch ist, wie der hier dargestellte. Auch bei Silomais kann ein RMSEP von 1,19 als sehr gut angesehen werden, da er im Durchschnitt bisheriger NIR-online-Anwendungen bei ca. 2 % liegt.

Tab. 3: Kalibrationsstatistik ausgewählter wertgebender Pflanzenparameter

		Kalibration					Validation				
		N	Mittelwert	RMSECV	R^2_{cv}	RPD	N	Mittelwert	RMSEP	R^2	RPD
Gras	TS	344	20,79	0,63	0,97	6,18	181	20,88	0,72	0,96	4,75
	oTS	354	18,89	0,57	0,98	6,91	184	18,80	0,67	0,96	4,82
	RF	330	24,47	1,19	0,90	3,09	173	25,09	1,26	0,87	2,67
	NDF	324	50,18	1,56	0,92	3,57	170	52,13	1,65	0,91	3,33
	ADF	332	26,89	1,33	0,91	3,26	168	28,26	1,36	0,90	3,13
	Rohcell	325	24,49	1,23	0,86	2,68	169	25,71	1,33	0,86	2,53
	WSC	339	17,39	2,18	0,93	3,85	174	15,58	2,41	0,89	2,93
	EULOS	334	227,28	26,56	0,87	2,73	174	235,96	25,81	0,83	2,36
Mais	TS	173	29,92	1,35	0,96	4,75	91	31,09	1,19	0,94	4,12
	oTS	181	29,19	1,36	0,95	4,47	96	30,34	1,49	0,92	3,46
	RF	167	21,29	1,38	0,82	2,38	89	20,93	1,55	0,59	1,55
	NDF	170	46,46	2,44	0,76	2,04	89	44,91	2,08	0,63	1,63
	ADF	168	24,66	1,56	0,81	2,27	89	24,42	1,44	0,76	2,01
	Rohcell	171	21,48	1,52	0,79	2,19	89	21,19	1,26	0,76	2,06
	Stärke	167	26,29	3,50	0,86	2,72	85	29,78	3,04	0,81	2,25
	WSC	170	11,23	1,82	0,88	2,92	89	11,37	1,75	0,86	2,62

Für andere Parameter gibt es kaum Daten aus der NIR-online- bzw. atline-Schätzung frischer Futterpflanzen, die zu verallgemeinern wären. Vergleicht man deshalb die hier erzielten Ergebnisse mit entsprechenden aus der Laborspektroskopie, erhält man Aufschluss über Möglichkeiten und Grenzen der NIR-Detektion frischen Pflanzenmaterials. So lässt sich der Rohfasergehalt von Gras mit dem Laborspektrometer NIRSSystems 5000 mit einem Fehler der Kreuzvalidation (RMSECV) von 0,76 % schätzen. Der entsprechende Fehler des hier vorgestellten Systems liegt bei 1,19 %. Bei Silomais liegt das Verhältnis bei Rohfaser 0,75 zu 1,38 % und bei Stärke 1,6 zu 3,5 %.

1.3.1.2 Kalibrierung des Gasbildungspotentials von frischen Pflanzenmaterial

Stellvertretend für das Biogasbildungspotential werden im Folgenden die Ergebnisse für das Methanbildungspotential dargestellt. Zum Einen ist das Methan der eigentlich nutzbare Energieträger, zum Anderen ist die Schwankung des Methananteils am Biogas bei den in die Untersuchung einbezogenen kohlenhydratreichen Pflanzenarten sehr gering. Er liegt bei ca. 53 %. Deshalb liefern die Kalibrierexperimente mit der Zielgröße Biogas analoge Ergebnisse zu denen, die sich mit Methan ergeben.

Betrachtet man die Kalibrierergebnisse der gemessenen Methanausbeuten für das frische Häckselgut (Tabelle 4), so fallen die großen Fehler der Kreuzvalidation auf, die zwischen 31 und 36 l_N/kg oTS liegen.

Tab. 4: Kalibrationsstatistik gemessener (Batch-Tests) und berechneter Methanerträge auf der Basis von Spektren trockener, vermahlener Proben und frischem Häckselgut

Kalibrationsset	trockene, vermahlene Proben Spektrometer NIRSystem 5000					frisches Häckselgut Spektrometer PSS 1720				
	N	Mittelwert [I _N /kg oTS]	RMSECV [I _N /kg oTS]	R ²	RPD	N	Mittelwert [I _N /kg oTS]	RMSECV [I _N /kg oTS]	R ²	RPD
Methan, gemessen										
Global	125	362,09	35,67	0,31	1,21	165	344,88	35,57	0,49	1,41
Gras	77	371,00	38,03	0,12	1,07	92	369,17	34,52	0,32	1,21
Mais	66	348,39	27,93	0,53	1,46	77	344,51	32,69	0,31	1,21
Legum.-Gem.	47	387,57	36,96	0,37	1,27	51	381,32	30,82	0,65	1,69
Methan, berechnet										
Global	455	342,24	6,69	0,91	3,42	508	341,43	13,00	0,69	1,80
Gras	229	347,01	2,95	0,98	7,95	250	346,45	8,20	0,87	2,83
Mais	119	347,64	4,15	0,91	3,29	127	348,09	6,06	0,79	2,30
Legum.-Gem.	74	330,63	4,88	0,94	4,12	85	331,21	12,00	0,62	1,63

Die Datensets der gemessenen Methanausbeuten wiesen aber nur Standardabweichungen zwischen 40 und 52 I_N/kg oTS auf, so dass die RPD-Werte entsprechend niedrig ausfallen und damit anzeigen, dass die Vorhersageleistung der Kalibriermodelle ungenügend ist. Unterstrichen wird dieses Ergebnis auch durch die niedrigen Bestimmtheitsmaße, die anzeigen, dass die Anpassung der spektralen Information an die realen Methanausbeuten nur ungenügend gelingt. Nun besitzt frisches Pflanzenmaterial eine Reihe von spektral wirksamen Eigenschaften, die nur bedingt die Detektion einer entsprechenden Zielgröße (außer Wasser) unterstützen bzw. sogar unterdrücken können. Zu nennen sind hier die Mehrfachstreuung (Epidermalscattering, Mesophyllscattering), Mehrfachreflexion und -brechung durch unterschiedliche Brechungsindizes (Luft, Protoplasma, Membranen), insbesondere aber der hohe Wassergehalt (50-80%), der die Absorptionseigenschaften maßgeblich beeinflusst und temperaturabhängig macht. Nicht zuletzt variieren Inhomogenität und Packungsdichteunterschiede der frischen Proben ihre spektralen Eigenschaften. Die genannten Störgrößen reduzieren sich in trockenem, vermahlenem Pflanzenmaterial auf ein Minimum bzw. eliminieren sich ganz. Damit wäre ein günstigeres Signal-Rausch-Verhältnis bei trockenem Material und insofern eine bessere Kalibrierbarkeit des Methanbildungspotentials zu erwarten.

Ein Blick auf die Kalibrierergebnisse der gemessenen Methanausbeuten der trockenen, vermahlenden Proben bestätigt diese Erwartung aber nicht. Auch hier liegen die Fehler der Kreuzvalidation im Bereich 28-38 I_N/kg oTS und sind im Verhältnis zu der zu kalibrierenden Varianz zu hoch, was zu niedrigen RPD-Werten führt, die wiederum ein Urteil für die ungenügende Vorhersageleistung der Kalibriermodelle abgeben. Auch die erreichten Bestimmtheitsmaße der Kreuzvalidation verhalten sich entsprechend. Zu übereinstimmenden Ergebnissen kommt auch Baetzel (2009) an wesentlich größeren Datensätzen.

Ein ganz anderes Bild zeigen die Kalibrierergebnisse auf Basis der berechneten Methanausbeuten. Die Fehler der Kreuzvalidation liegen bei den Kalibriermodellen des frischen Häckselgutes im Bereich von 6 bis 13 I_N/kg oTS und damit deutlich niedriger als die, die mit den gemessenen Methanausbeuten erzielt wurden. Außerdem wird deutlich, dass die fruchtbar-

tenspezifischen Kalibrierungen bessere Ergebnisse liefern als die Kalibrierung über Fruchtarten in einem gemeinsamen Datenset. Der höhere RMSECV bei Luzernegras von 12 I_N/kg oTS mag seine Ursache zum Einen in der höheren Materialheterogenität im Zusammenhang mit dem vergleichsweise niedrigeren Stichprobenumfang des Datensets haben, zum anderen war die Gewichtung der errechneten Methanausbeuten aus dem Luzerne-Gras-Anteil abhängig von der genauen Bestimmung der Anteile, was eine gewisse Unschärfe einschloss. Bei den Kalibriermodellen der Datensätze Silomais und Gras erreichen die RPD-Werte aber bereits ein Niveau, auf dem die Modell-Vorhersageleistung für Screening-Zwecke als geeignet erscheint.

Die analogen Ergebnisse, die an dem trockenen, vermahlenden Material erzielt wurden (Tabelle 4) bestätigen die obigen Ausführungen zu den Störgrößen. Die Fehler der Kreuzvalidation der Kalibriermodelle bewegen sich zwischen 3 und 7 I_N/kg oTS, ohne globales Kalibriereset zwischen 3 und 5 I_N/kg oTS. Die erreichten RPD-Werte verweisen, gemessen an der genannten Scala, auf eine zufriedenstellende bis gute Vorhersageleistung der Modelle. Auch an diesen Ergebnissen wird deutlich, dass eine fruchtartenspezifische Kalibrierung gegenüber der globalen Kalibrierung Vorteile bringt. Um diesbezüglich den Einfluss unterschiedlicher Datensatzgrößen auszuschließen, wurden die genannten Kalibrierexperimente auf der Grundlage gleicher Datensätze durchgeführt. Die damit erzielten Ergebnisse bestätigen ebenfalls die Überlegenheit einer fruchtartenspezifischen Kalibrierung (Tabelle 5).

Tab. 5: Kalibrationsstatistik vergleichbarer Datensets von gemessenen (Batch-Tests) und berechneten Methanerträgen, Spektren von trockenen, vermahlenden Proben und von frischem Häckselgut, Spektrometer PSS 1720

Kalibrationsset	trockene, vermahlene Proben Spektrometer NIRSystem 5000					frisches Häckselgut Spektrometer PSS 1720				
	N	Mittelwert [I _N /kg oTS]	RMSECV [I _N /kg oTS]	R ²	RPD	N	Mittelwert [I _N /kg oTS]	RMSECV [I _N /kg oTS]	R ²	RPD
	Methan, gemessen									
Global	303	368,84	37,08	0,56	1,52	304	370,79	39,80	0,51	1,43
Gras	93	378,90	41,04	0,49	1,41	90	377,61	42,86	0,42	1,32
Mais	120	373,32	36,06	0,57	1,54	119	373,08	36,21	0,56	1,52
	Methan, berechnet									
Global	303	338,72	8,22	0,88	2,90	305	338,89	13,02	0,69	1,79
Gras	92	340,19	7,31	0,92	3,45	91	340,50	9,41	0,85	2,61
Mais	118	350,23	3,85	0,87	2,72	115	350,60	5,95	0,68	1,75

Die Kreuzvalidierung ist die Modell-Validierung an einem Teildatensatz, der während der Modell-Berechnung sukzessiv aus dem Berechnungsdatsatz entnommen wird. Sie dient u.a. zur Optimierung der Faktorenanzahl des multivariaten Modells.

Insofern ist diese Art der Validierung nicht vollkommen unabhängig vom Modell und führt oft zu „optimistischeren“ Annahmen über eine zukünftige Vorhersageleistung des Modells. Realistischer dagegen ist die Validation des Modells an einem diesbezüglich unabhängigen Testdatensatz, der die zu erwartende Probenpopulation unter all ihren auftretenden Bedingungen möglichst repräsentativ abbildet. Die Ergebnisse einer externen Validierung sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tab. 6: Validationsstatistik gemessener (Batch-Tests) und berechneter Methanerträge auf der Basis von Spektren trockener, vermahlener Proben und frischem Häckselgut

Validationsset	trockene, vermahlene Proben						frisches Häckselgut					
	Spektrometer NIRSystem 5000						Spektrometer PSS 1720					
	N	Mittelwert [I _N /kg oTS]	RMSEP [I _N /kg oTS]	bias [I _N /kg oTS]	R ²	RPD	N	Mittelwert [I _N /kg oTS]	RMSEP [I _N /kg oTS]	bias [I _N /kg oTS]	R ²	RPD
	Methan, gemessen											
Global	261	357,41	42,77	-6,21	0,27	1,16	328	355,89	34,59	10,90	0,45	1,28
Gras	40	365,96	31,25	-9,90	0,63	1,44	47	362,65	29,96	9,92	0,59	1,45
Mais	35	358,89	27,44	6,07	0,45	1,29	37	358,51	26,81	14,89	0,58	1,27
	Methan, berechnet											
Global	442	341,42	5,99	0,03	0,94	3,94	498	341,77	13,53	0,17	0,65	1,66
Gras	227	347,38	4,34	-0,03	0,96	5,12	244	347,76	8,81	0,31	0,84	2,49
Mais	112	349,19	3,21	0,30	0,93	3,65	117	349,33	5,61	0,47	0,78	2,15
Legum.-Gem.	40	328,84	5,32	2,50	0,94	3,65	43	330,79	11,66	-1,79	0,64	1,65

An Hand der Fehler der Validierung RMSEP (Root Mean Square Error of Prediction) und an den Bestimmtheitsmaßen wird deutlich, dass sich die gemessenen Methanausbeuten weder an frischem Häckselgut, noch am trockenen, vermahlenden Material mit ausreichender Genauigkeit validieren lassen. Wenn auch die Fehler der Validierung die relative Überlegenheit der fruchtartenspezifischen Kalibrierung gegenüber der globalen tendenziell nachzeichnen, so sind sie mit 27 - 43 I_N Methan/kg oTS zu hoch. Darüber hinaus zeigen die Validationsergebnisse der gemessenen Methanausbeuten systematische Abweichungen der NIRS-Vorhersagewerte vom arithmetischen Mittel der Referenzwerte (bias) zwischen 6 und 10 I_N/kg oTS beim trockenen und zwischen 10 - 15 I_N/kg oTS beim frischen Material an, eine Folge der unzureichenden Anpassung der Kalibriermodelle an die jeweiligen unabhängigen Testsets. Oft wird in der Literatur der um den bias „bereinigte“ RMSEP, der so genannte SEP ($SEP^2 \cong RMSEP^2 - bias^2$) dargestellt. Nach Fearn (2002) lässt sich dadurch aber die Beurteilung der Vorhersageleistung nicht verbessern, sondern ist eher ein Ausdruck dafür, wie gut sie wäre, wenn die Verzerrung durch den systematischen Fehler nicht auftreten würde. Die RPD-Werte unterstreichen daher deutlich die unzureichende Validierbarkeit der Kalibrationsmodelle. RPD-Werte zwischen 1,16 und 1,44, bei trockenem, vermahlenem Material, liegen in dem Bereich, wie sie auch von Darnhofer (2009) bei der Validierung entsprechender Kalibriermodelle von Silomais erreicht wurden.

Die Ergebnisse der Tabelle 6, die auf Basis der berechneten Methanausbeuten beruhen, zeigen an, dass die entsprechenden Kalibriermodelle validierbar sind. Die bei frischem Häckselgut erreichten RPD-Werte für Silomais und Gras weisen eindeutig darauf hin, dass bei weiterem Ausbau der Kalibrierungen ein online-Einsatz für Screening-Zwecke möglich ist. Die bei diesen beiden Pflanzenarten auftretende Verzerrung durch den systematischen Fehler (bias) ist sehr gering, so dass die Ergebnissicherheit der Schätzwerte mit ± 2 RMSEP (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$) angegeben werden kann. Diese beträgt für Gras $\pm 17,62$ I_N/kg oTS und für Silomais $\pm 11,22$ I_N/kg oTS. Die Validationsergebnisse, die mit den berechneten Methanausbeuten an den trockenen, vermahlenden Proben erzielt wurden, sind gemessen an den erreichten RPD-Werten bereits zufriedenstellend. Die Anpassung der Schätzwerte an die Daten der unabhängigen Testsets liegt zwischen 93 und 96 %. Die systematische Verzerrung (bias) ist für Gras und Silomais akzeptabel, bei Luzernegrass sind weitere Verbesserungen der Kalibration notwendig. Die Ergebnissicherheit der Schätzwerte kann für

Gras und Mais mit $\pm 8,68 \text{ l}_N/\text{kg oTS}$ und $\pm 6,42 \text{ l}_N/\text{kg oTS}$ angegeben werden. Sie ist damit doppelt so hoch, wie die, die an den frischen Proben erreicht werden konnte. Damit wird auch an diesen Validationsergebnissen deutlich, dass es weit schwieriger ist, komplexe Merkmale an frischem Material auf Grund der genannten spektroskopischen Bedingungen mit der NIRS zu detektieren, als das bei trockenem Material der Fall ist. Es bleibt darüber hinaus festzuhalten, dass sich die gemessenen Methanerträge im Gegensatz zu den berechneten nicht mit ausreichender Qualität kalibrieren und validieren lassen, obwohl die zu kalibrierende Varianz der gemessenen Methanerträge in den verwendeten Datensätzen im Mittel fünf Mal größer ist als die, der berechneten Methanerträge. Dieser scheinbare Widerspruch löst sich durch entsprechende Fehlerbetrachtung auf.

1.3.2 Fehlerbetrachtung

1.3.2.1 Fehler der Batch-Tests

Der Methodenfehler berechnet sich als Wurzel aus dem Mittelwert der quadratischen Vorhersagefehler,

$$RMSECV = RMSEP = \sqrt{\sum (y_{ipred} - y_{iref})^2 / N}$$

d.h. er gibt nur dann den Fehler der NIR-Methode vollständig richtig wieder, wenn die Referenzmethode fehlerfrei wäre. Ein Blick auf die Kalibrations- und Validationsergebnisse der gemessenen Methanausbeuten zeigt, dass sich die Fehler der Kreuz-, als auch der Testsatzvalidierung beim frischen Häckselgut und den trockenen, vermahlenden Proben in der gleichen Größenordnung bewegen, obwohl die Qualität der spektralen Daten der trockenen Proben auf Grund der spektroskopischen Bedingungen besser ist. Das weist auf eine mangelhafte Präzision der Referenzmethode hin. Der Fehler der Referenzmethode kann am Sichersten aus Mehrfachmessungen ermittelt werden.

In einem Batch-Wiederholungsversuch (3 Wiederholungen), der mit 20 l-PE-Batchbehältern in zwei unabhängigen Labors mit jeweils dem selben Pflanzenmaterial (Gras, Mais) durchgeführt wurde, ergaben sich substratunabhängig Variationskoeffizienten der Gas- bzw. Methanausbeute zwischen 8 und 10%. Das entsprach einer Standardabweichung von 34 - 43 l_N Methan/kg oTS. Auch Heuwinkel et al. (2009) ermittelte in Batchversuchen mit 2 l Laborflaschen und drei Wiederholungen einen substratunabhängigen Variationskoeffizienten des Gasertrages von rund 10 %. Helfrich, et al., 2003 gibt den Fehler des Hohenheimer Biogastestes, der mit einer Prüfmenge von weniger als 1 g Frischmasse und drei Wiederholungen auskommt, mit 7,1 % an. Wulf et al. (2009 a) berichtet von Ringversuchen bei denen für Zellulose, einem sehr homogenen Substrat, eine Wiederholgenauigkeit von $s\% = 8$ auftrat. Das entspricht bei einem Normierungsrichtwert für die Zellulose (nach VDI 4630, Anonymus 2006) von 745 l_N Biogas einem Fehler von rund 60 l_N Biogas bzw. rund 30 l_N Methan.

Eine vertiefte Ursachenanalyse des Referenzmethodenfehlers kann an dieser Stelle nicht erfolgen. Eine ausführliche Beschreibung technischer und biochemischer Einflussgrößen auf die Biogasausbeute findet sich bei Fritz (2008).

Sieht man zunächst von den technischen Einflussgrößen ab, indem man sie so weit wie möglich konstant hält, lässt sich in grober Näherung eine Unterteilung in Probenahmefehler und biochemische Fehlerursachen vornehmen.

Die Ursache für Probennahmefehler liegt bei pflanzlichem Material meist in der Materialheterogenität. Da diese eine scalenabhängige Eigenschaft ist, kann sie nur durch angepasste Probenvolumina bzw. durch Materialhomogenisierung überwunden werden.

Ein eigens dazu durchgeführter Batchversuch (20 l-PE-Batchbehälter) zur Ermittlung der Wiederholgenauigkeit der Biogasausbeute wurde mit einer späten Maissorte (34 %TS) und Welschem Weidelgras (3. Schnitt, 24 %TS) durchgeführt. In 6 Wiederholungen wurde von beiden Fruchtarten jeweils in gehäckselter Form und nachzerkleinerter Form (mittels Thermomixer, Fa. Vorwerk) die Biogasausbeute ermittelt (Abbildung 5).

Im Ergebnis dieses Versuches hatte der Zerkleinerungsgrad keinen signifikanten Einfluss auf Mittelwert und Standardabweichung des Methanertrages innerhalb der Fruchtarten.

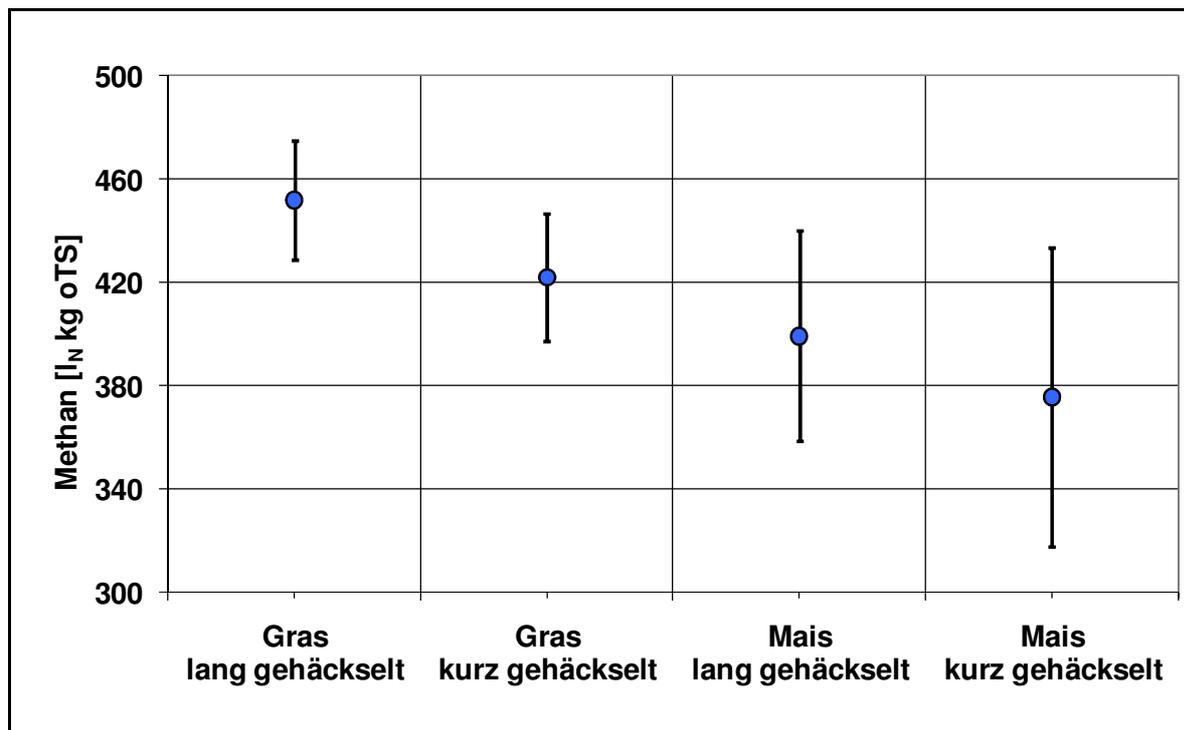


Abb. 5: Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf Mittelwert und Standardabweichung der Methanausbeute im Batch-Test

Tendenziell sind eine Abnahme der Methanausbeute und eine Zunahme der Standardabweichung mit zunehmendem Zerkleinerungsgrad erkennbar, was darauf schließen lässt, dass energiereiche Substanzen infolge der Zerkleinerung verloren gehen. Auch die angeführten Präzisionsangaben der Biogasausbeuten, die auf der Grundlage unterschiedlicher Fermentergrößen ermittelt wurden, weisen darauf hin, dass die Materialheterogenität nicht die Hauptfehlerursache darstellt.

Hinsichtlich der biochemischen Ursachen weist Heuwinkel et al. (2009) an Hand von Batch-Versuchen, in denen Inokula mit unterschiedlichem Ausfallgrad verwendet werden, nach, dass in Abhängigkeit vom zugesetzten Substrat sowohl positive als auch negative Synergieeffekte auftreten können, die sich auf den Gasertrag und Methangehalt auswirken. Dies zeigt, dass Wechselwirkungen zwischen Substrat und Inokulat als Variationsursache weiter aufzuklären sind und davon abzuleitende Erkenntnisse in die Weiterentwicklung der Batch-Methode einfließen sollten.

Nach Winzen, et al (2004) setzt sich der Referenzmethodenfehler im RMSEP fort, wenngleich durch die Fehler minimierenden Modellbildungsalgorithmen eine gewisse Dämpfung erreicht wird. Die einzig sinnvolle Optimierungsmöglichkeit besteht daher darin, die Reproduzierbarkeit der Referenzwerte zu erhöhen. Das kann auf zwei Wegen erreicht werden: 1. Mehrfachmessung und Mittelung der Referenzwerte für jede Kalibrier- und Validierprobe und 2. durch die Verwendung von mehr Kalibrierproben. Bei Weg 1 ist die Verbesserung der Methode unmittelbar am RMSEP abzulesen, beim zweiten Weg oft nicht, weil wiederum gegen „schlechte“ Referenzwerte validiert wird.

Um den Aufwand der Mehrfachmessung zur Verbesserung der Referenzwerte abzuschätzen, kann wiederum der RPD-Wert herangezogen werden. Da dieser das Verhältnis zwischen der Standardabweichung des Validationssets zum RMSEP ($RPD = SD/RMSEP$) ist, ist zunächst zu fragen, wie hoch die Standardabweichung des Validationssets sein soll, die die natürlich vorkommende Variation der Proben repräsentiert, welche zukünftig vorhergesagt werden sollen. Die entsprechenden Angaben, die dazu in der Literatur zu finden sind bzw. sich daraus gewinnen lassen, bewegen sich bei Mais zwischen 15 I_N Methan /kg oTS (Darnhofer et al., 2009, Weiland, 2007) und 35 I_N Methan /kg oTS (Baetzel, 2009). Eigene Bestimmungen schwankten ebenfalls bei Silomais zwischen 35 und 40 I_N Methan /kg oTS und bei Gras um 40 I_N Methan /kg oTS, wie sie auch bei Wulf et al. (2009 b) angegeben wird. Nimmt man für Mais eine Variation von 35 I_N Methan /kg oTS und für Gras und Leguminosen-Grasgemisch eine Variation von 40 I_N Methan /kg oTS an, so ergibt sich bei einem geforderten RPD-Wert von 2,5 (für Screening geeignet) ein geforderter RMSEP von 14 I_N Methan /kg oTS für Mais und 16 I_N Methan /kg oTS für Gras und Leguminosen-Grasgemisch. Da der Fehler der Batch-Tests, wie oben ausgeführt, zwischen 30 und 35 I_N Methan /kg oTS liegt, kann die Mehrfachmessung nach

$$N = (2 * SD_{IST} / SD_{SOLL})^2$$

bei Mais mit 9 bis 25 Wiederholungen und bei Gras und Leguminosen-Grasgemisch mit 8 bis 19 Wiederholungen veranschlagt werden. Diese Kalkulation zeigt bereits, dass die Mehrfachmessung keine vertretbare Methode zur Verbesserung der Referenzwerte darstellt, da Batch-Tests verfahrenstechnisch sehr aufwendig und teuer sind. Es muss deshalb über die Verbesserung der Referenzmethode bzw. einen Wechsel zu anderen Referenzmethoden nachgedacht werden. Die zur Kalkulation herangezogenen Quellen belegen auch in der Zusammenschau, dass sich die Störvarianz in der Größenordnung der Nutzvarianz, also der zu kalibrierenden Varianz bewegt und dadurch die Kalibrierbarkeit behindert. In diesem Zusammenhang wird oft empfohlen, die Nutzvarianz künstlich durch Einbeziehung „extremer“ Proben zu erhöhen. Zweifellos verbessert sich der RPD-Wert durch Vergrößerung der Spannweite des Validationssets, so wie sich dadurch auch das Bestimmtheitsmaß der Validation erhöht. Es ist jedoch zu bedenken, dass dadurch die Unterscheidung der Proben innerhalb der natürlich vorkommenden Variabilität nicht verbessert wird, die derart „manipulierte“ Kalibration also kaum einen praktischen Nutzen hat. Gleiches gilt für die Einbeziehung mehrerer Fruchtarten in eine Kalibrierung, wie mit dem globalen Datenset demonstriert wird.

1.3.2.2 Fehler der Berechnung des Gasbildungspotentials

Um die Fehler der Referenzwerte zu bestimmen, die auf den berechneten Methanausbeuten beruhen, müssen die Fehler der Ausgangsdaten, die für die fruchtartenspezifischen Schätzgleichungen nach Weißbach (2008) notwendig sind, ermittelt und mit diesen die Fehlerfortpflanzung der Schätzgleichungen (Gauß-Formel) berechnet werden. Die verwendeten Schätzgleichungen für die Berechnung der fermentierbaren organischen Trockensubstanz (FoTS) haben folgende Form:

$$\text{Silomais: FoTS [g/kg TS]} = 984 - XA - 0,47 XF - 0,00104 XF^2$$

$$\text{Gras: FoTS [g/kg TS]} = 1000 - XA - 0,62 \text{EULOS} - 0,000221 \text{EULOS}^2$$

$$\text{Luzerne: FoTS [g/kg TS]} = 971 - XA - 0,41 XF - 0,00101 XF^2$$

Die Fehler der Ausgangsdaten, die z.T. im Labor ermittelt bzw. aus vorhandenen Labor-NIR-Kalibrationen entnommen wurden, betragen für XF: 7,9 g/kg TS, für EULOS: 23,07 g/kg TS und für XA (Rohasche): 0,89 g/kg TS. Wegen der nichtlinearen Abhängigkeit von FoTS (XF) bzw. FoTS(EULOS) ist die Fehlerfortpflanzung abhängig vom Wert („Arbeitspunkt“) XF bzw. EULOS. Für diesen wurden der jeweils mittlere Wert der verwendeten Daten eingesetzt, d.h. für XF_{Mais} : 209,81g/kg TS und für $EULOS_{\text{Gras}}$: 238,29 g/kg TS. Mit diesen Ausgangsdaten ergibt sich folgende Fehlerfortpflanzung der Schätzgleichungen:

Für Mais: 4,02 g FoTS/kg TS und für Gras: 3,18 g FoTS/kg TS.

Der Fehler des Methanbildungspotentials beträgt damit:

Für Mais: 1,72 l_N/kg oTS und für Gras: 1,35 l_N/kg oTS.

Nach dieser Kalkulation ist damit der Fehler der Methanausbeute der genannten Batch-Tests um bis zum 20-fachen höher, im Vergleich zum Fehler, der bei der Berechnung der Methanausbeute auftritt.

1.3.2.3 Ergebnissicherheit

Auf der Grundlage des ausgewerteten Datenmaterials konnte nachgewiesen werden, dass sich die mittels Batchtests ermittelte Methanausbeuten nicht mit ausreichender Bestimmtheit kalibrieren/validieren lassen. Hauptursachen sind die unzureichende Konditionierung der Batchtests und die damit verbundene geringe Wiederholgenauigkeit einerseits und die geringe fruchtartenspezifische Varianz des Biogas- bzw. Methanbildungspotentials andererseits. Beide Ursachen zusammen führen zu einem ungünstigeren analytischen Signal-Rauschverhältnis. Dass dieses ungünstige analytische s/n-Verhältnis hinsichtlich der Kalibrierbarkeit nicht an die besonderen spektralen Bedingungen frischer Proben gebunden ist, beweisen die grundsätzlich gleichen Ergebnisse, bei gleicher Messanordnung und gleichem verwendeten Spektralbereich, die mit trockenen, vermahlenden Proben erzielt wurden. Diese Ergebnisse werden durch entsprechende Literaturbelege gestützt. Darüber hinaus kann vermutet werden, dass z.B. auch nicht nachweisbare Einflüsse des Genotyps (Eder et al., 2009) bzw. der inhaltsstofflichen Zusammensetzung (Schittenhelm, 2008) auf die Methanausbeute bei Mais ebenfalls ihre Ursache in dem genannten ungünstigen s/n-Verhältnis haben. Die Batchmethode ist als Werkzeug für den Nachweis von kleinen Unterschieden in der Methanausbeute zu „grob“ und daher verbesserungswürdig (Heuwinkel et al., 2009).

Ein weit günstigeres analytisches Signal-Rauschverhältnis der Referenzdaten lässt sich mit dem futtermittelanalytischen Ansatz nach Weißbach (2008) erzielen. Dieser Ansatz beruht auf der Berechnung der fermentierbaren organischen Trockensubstanz (FoTS). Dabei wird die Beziehung von biologischer Abbaubarkeit im Fermenter und der am Tier gemessenen Verdaulichkeit dadurch verbessert, indem der Anteil metabolischer Nährstoffausscheidungen endogenen Ursprungs in der Tierkotzusammensetzung berücksichtigt wird. Resultat dieser Überlegungen ist, dass allein der Anteil nichtfermentierbarer organischer Trockensubstanz die Variationsursache der spezifischen Biogas- bzw. Methanausbeute darstellt. Dieser Ansatz ist durch

Fermenterbilanzierungen unter Praxisbedingungen sowie stöchiometrische Berechnungen abgesichert (Weißbach, 2009) und wurde auf dem Biogas-Innovationskongress am 17.06.2010 in Osnabrück mit dem Biogas-Innovationspreis ausgezeichnet (www.raiffeisen.com/news/artikel/30215781).

Mit diesen Referenzdaten gelingt nachweisbar die NIR-Kalibrierung/Validierung des Methanbildungspotentials mit ausreichender Bestimmtheit und mit einer Vorhersageleistung, die bei frischem Pflanzenmaterial im Screeningbereich und bei trockenem Material im für Laboranalysen geeigneten Bereich liegt. Darüber hinaus ist die Berechnung des Methanbildungspotentials auf Basis der genannten Eingangsdaten wesentlich kostengünstiger als Batchtests - ein nicht zu vernachlässigender Punkt, weil gerade die Referenzdatenbasis einer NIR-Kalibrierung den Hauptkostenfaktor darstellt.

Schätzggleichungen zur Berechnung der FoTS und Umrechnung in die entsprechende Gasmenge werden zurzeit für: Getreide und Getreidekornsilagen (Weizen, Roggen, Gerste, Hafer), Maisganzpflanzen und –silagen, Getreideganzpflanzensilagen (Weizen, Roggen, Gerste, Triticale) und andere Grünfütterarten (Grünroggen, Grünhafer, Luzerne, Gras) bereitgestellt.

Die Übertragung der Schätzggleichungen auf andere Energiepflanzen (z.B. Hirse) könnte über die Bilanzierung des Abbaus der organischen Trockensubstanz in speziellen Batchtests (modifizierte Insacco-Methode) erreicht werden. Dazu werden entsprechende Arbeiten im Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius-Kühn-Institut - Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen in Braunschweig durchgeführt.

2 Nutzen

2.1 Schutzrechte

Es wurden keine Schutzrechte angemeldet.

2.2 Beitrag zu förderpolitischen Zielen

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Verknappung fossiler Energieträger bei gleichzeitig steigender Nachfrage wird der Strukturwandel der Landwirtschaft besonders deutlich, der sich neben den traditionellen Feldern auf die nachhaltige Nutzung regenerativer Energiequellen erstreckt. Dabei spielt die Biogasproduktion eine herausragende Rolle. Bei der weiteren Entwicklung des Energiepflanzenanbaus kommt der Pflanzenzüchtung eine Schlüsselfunktion zu. Eigenschaften wie hohe und stabile Biomasserträge, hohes spezifisches Methanbildungspotential, gute Silierfähigkeit sowie pflanzenbaulich-technologische Eignung müssen in modernen Energiepflanzenarten vereint sein. Die Bewertung des substratspezifischen Biogasbildungspotentials, möglichst durch Schnellmethoden, ist Voraussetzung für die effektive Gestaltung des Zuchtprozesses. Der Einsatz innovativer Sensortechnik spielt hierbei eine zentrale Rolle, insbesondere bei online-Applikationen, bei denen diese Schnellmethoden bereits im Ernteprozess wirksam werden.

Die dargestellten Arbeiten und Ergebnisse sind auf die Markteinführung eines modernen Sensorsystems gerichtet, wobei die Interessen der Zuchtunternehmen, der Sensorhersteller und der Hersteller der Versuchserntemaschinen zu bündeln sind.

Mittelfristig wird dem züchterischen Versuchswesen ein Instrument bereitgestellt, das den Entscheidungsträgern über ihre Erfahrung und ihr theoretisches Wissen hinaus

Informationen bereitstellt, die es ihnen ermöglichen den Zuchtprozess von Energiepflanzen effektiver zu gestalten.

2.3 Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten

Der praktische Nutzen der Ergebnisse lässt sich in drei Stufen umsetzen, die sich an der zu erzielenden Ergebnissicherheit festmachen. Die größte Ergebnissicherheit ist zurzeit mit der Berechnung des Methanbildungspotentials zu erreichen, wobei die Eingangsgrößen laboranalytisch bzw. über Labor-NIRS ermittelt werden können. In einer zweiten Stufe kann das berechnete Methanbildungspotentials mit den NIR-Spektren der trockenen und vermahlene Proben und in einer dritten Stufe selbiges mit den NIR-Spektren der frischen Proben kalibriert werden. Zunehmende ökonomische Effizienz der genannten Schnellmethoden wird dabei mit abnehmender statistischer Effizienz erkauft (Abbildung 6). Ein Einsatz der Methoden in der Energiepflanzenzüchtung ist dennoch bereits absehbar, weil sich durch die schnellere Informationsgewinnung Zuchtprogramme effektiver gestalten lassen.

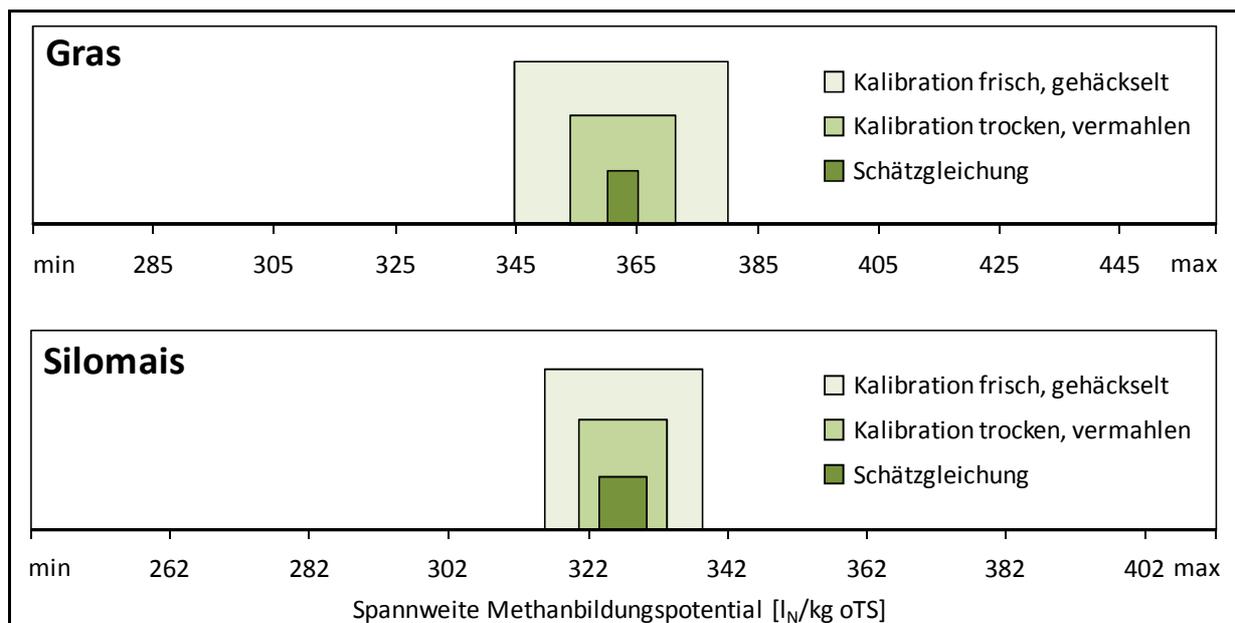


Abb. 6: Erreichte Methodenabhängige Toleranzen der Ergebnissicherheit bei der Schätzung des Methanbildungspotentials

Die bisher erreichten Ergebnisse bestätigen, dass die Konfiguration des Messstandes der richtig gewählte Weg hin zu einem online-tauglichen System war. Der für das Projekt geschaffene Prototyp diente als Muster für einen nunmehr von der Fa Polytec GmbH produzierten Serientyp, der als Feldrandstation im züchterischen Versuchswesen einsetzbar ist und als Einstieg in den Technologietransfer betrachtet werden kann (Abbildung 7).



Abb. 7: Atline NIRS- Messstand Serienmodell PSS-A-T01 Fa. Polytec GmbH

Inwieweit sich die Ergebnisse, die mit einer atline-Messeinrichtung an frischem Pflanzenmaterial erzielt wurden, auf eine online-Methode übertragen lassen, werden künftige Untersuchungen zeigen müssen, die im Rahmen einer beantragten und zwischenzeitlich bewilligten Projektverlängerung durchgeführt werden. Die verwendete Konfiguration der Messeinrichtung ist auf diese Aufgabe abgestimmt, so dass auch die Datenbasis/Datenbank weiter ergänzt werden kann.

3 Veröffentlichungen

Ausgewählte Ergebnisse wurden unter folgenden Titeln veröffentlicht:

Pfützner, C., Kaiser, S., Schilf, J., Greef, J.-M., 2009: Entwicklung von NIRS-Kalibrationen unter online-Bedingungen zur Bewertung von frischem Pflanzenmaterial für die Biogaserzeugung. In: Messner et al.: Bewertung nachwachsender Rohstoffe zur Biogaserzeugung. Mais 36, 100-101.

Pfützner, C., Rühl, G. and Greef, J.-M., 2009: Calibration of a near infrared-diode array system for biogas production potential in fresh forages. Proceedings of the 14th International Conference on NIR Spectroscopy

Pfützner, C., Greef, J.-M., 2010: Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaros) mit der Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS). Journal für Kulturpflanzen, im Druck

4 Literaturverzeichnis

Amon, T., 2007a: „Methanertragspotential verschiedener Energiepflanzen– Aktueller Stand“; Vortrag im Rahmen des 2. Einbecker Energiepflanzen-Kolloquiums; Einbeck 2007

Amon, T., Machmüller, A., Kryvoruchko, V., Milovanovic, D., Hrbek, R., Eder, M. W., Stürmer, B., 2007b: Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Forschungsbericht Nr. 1421, BMLFUW, GZ LE.1.3.2./0050-II/1/2005, FA13B-80.26-1/04-G2, 2007

Baetzel, R., 2009: Entwicklung von NIRS-Kalibrationen an getrockneten Material – Umsetzung der NIRS-Untersuchungen unter praktischen Bedingungen. In: MESSNER et al.: Bewertung nachwachsender Rohstoffe zur Biogaserzeugung. Mais 36, 99-100.

Baserga, U., 1998: Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen – Biogas aus organischen Reststoffen und Energiegras. FAT-Berichte Nr. 512, 1998, S. 1-11

Banemann, D., Nelles, M., Fritz, T., Mayrhuber, E., Kramer, W., Mathies, E., Ramhold, D., 2007.: „Fermentation gas yield determination in accordance with VDI recommendation 4630 – results and experiences from the practice“; Vortrag und Beitrag im Tagungsband zum 2. International Energy Farming Congress; Papenburg 2007

Darnhofer, B., Eder, J., Oechsner, H., Mukengele, M., 2009: Entwicklung einer NIRS Kalibration zur Bestimmung der Biogasausbeute von Mais. In: Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009, Band 2, S. 345-355

Eder, B., Eder, J., Papst, C., Darnhofer, B., Mukengele, M., Heuwinkel, H., Oechsner, H., 2009: Welcher Maissortentyp zur Biogaserzeugung? In: Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009, Band 1, S. 57-72

Fearn, T., 2002: Assessing calibration: SEP, RPD, RER and R². In: NIR news Vol. 13 no. 6 (2002)

Fritz, Th., 2008: Entwicklung, Implementierung und Validierung eines praxisnahen Verfahrens zur Bestimmung von Biogas- bzw. Methanerträgen. Diss., Universität Rostock Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Helfrich, D., Oechsner, H., 2003: Hohenheimer Biogasertragstest. Agrartechnische Forschung 3, 27-30

Heuwinkel, H., Gronauer, A., 2009: Die Aussagekraft der Batchmethode zur Messung des Gasertragspotentials von Substraten. 121. VDLUFA Kongress, Karlsruhe 15.-18. September 2009, Kurzfassung der Referate, S.92

Kaiser, F. L., 2007: Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Dissertation, TU München, 2007

Keymer, U., Schilcher, A., 1999: Überlegungen zur theoretischer Gasausbeuten vergärbare Substrate in Biogasanlagen. Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising, 1999

Plesch, R., 1982: Der Korrelationskoeffizient – Prüfgröße der Analytik? GIT Fachz. Lab. 11/82

Schittenhelm, S., 2008: Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. European Journal of Agronomy 29 (2008), S.72-79

Schuster, M., Nast, D., Petersen, H. W., List, N., 2007: Qualitätsbestimmung von Biomasse über die NIR-Methode. Vortrag Biogas Fortbildungsseminar 2007, Bayreuth

Weiland, P., 2007: Erneuerbare Energien in Nusbaum-Freilingen. Abschlussbericht, Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig, 2007

Weißbach, F., 2008: Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen. Landtechnik 63 (2008), H. 6, S. 356-358

Weißbach, F., 2009: Das Gasbildungspotential von Halm- und Körnerfrüchten bei der Biogasgewinnung. Landtechnik 5.2009, S. 317-321

Williams, P. C., Sobering, D. C., 1996: How do we do it: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations. In: Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves, NIR Publications, Chichester, 185-188

Winzen, R., Faber, K., 2004: „Falsche Fehler“ in der NIR-Spektroskopie. LABO, November 2004

Wulf, S., Döhler, H., 2009 a: Ringversuch zur Messung von Biogaserträgen. In: MESSNER et al.: Bewertung nachwachsender Rohstoffe zur Biogaserzeugung. Mais 36, 98-99

Wulf S., Döhler H., 2009 b: Messung von Biogaserträgen - Methoden und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen. In: Schwarz F.J., Meyer M. (Hrsg.): Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten, Landbauforschung Sonderheft 331, S.75-85

VDI-Richtlinie 4630 „Vergärung organischer Stoffe“. VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf, 2006, ICS 13.030.30; 27.190