

energytech.at

[energy technology austria]

*Die Internet-Plattform für
innovative Energietechnologien
in den Bereichen
Erneuerbare Energieträger
und Energieeffizienz*

<http://energytech.at>

energytech.at

Biogaserzeugung aus Energiepflanzen



bmvit
Bundesministerium für
Verkehr, Innovation und
Technologie

Biogaserzeugung aus Energiepflanzen

Thomas Amon¹, Vitaliy Kryvoruchko¹, Katharina Hopfner-Sixt¹, Barbara Amon¹, Vitomir Bodiroza¹, Marion Ramusch¹, Regina Hrbek², Jürgen K. Friedel², Werner Zollitsch³, Josef Boxberger¹

¹Institut für Landtechnik, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien; E-Mail: thomas.amon@boku.ac.at

²Institut für ökologischen Landbau Gregor-Mendel-Strasse 33, A-1180 Wien

³Institut für Nutztierwissenschaften, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Strasse 33, A-1180 Wien

1. Prinzip der nachhaltigen Biogaserzeugung und Potentiale

Wir stehen vor der Herausforderung, Strategien zu finden, mit deren Hilfe wir unseren Energiebedarf langfristig und nachhaltig decken können. Eine sehr viel versprechende Schlüsseltechnologie ist die Energie-Erzeugung aus Biogas. Österreich nimmt im EU-Raum eine führende Rolle im Bereich der Biomasse-Nutzung mit Biogas ein.

Der Biomasse-Aktions-Plan (BAP) der Europäischen Kommission zielt darauf ab, eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger am Primär-Energieverbrauch von derzeit rund 6 % auf 12% bis 2010 zu erreichen. Österreich tritt dafür ein, dass der Anteil erneuerbarer Rohstoffe bei Wärme, Elektrizität und bei Treibstoffen steigt. Weiters soll im Rahmen der Ratspräsidentschaft erreicht werden, dass EU-weit höhere Beimischungssätze von alternativen Kraftstoffen eingeführt werden. Das gilt beispielsweise für aufbereitetes Biogas, welches sich in der chemischen Zusammensetzung nicht von Erdgas unterscheidet. Im Vergleich zum derzeitigen Erdgas Bedarf von 7.222.699 t ROE (Rohöleinheiten) kann mit Biogas aus integrierten Systemen 4.782.924 t ROE erreicht werden. Unsere neuesten Untersuchungsergebnisse zum Einsatz von Biogas im Verkehrssektor zeigen, dass Biogas aus Rohstoffen der Landwirtschaft das Potential hat, die Treibhausgasemissionen des gesamten Verkehrssektors, bezogen auf den derzeitigen Verbrauch, um bis zu 66 % zu reduzieren.

Die Biogaserzeugung aus Rohstoffen der Landwirtschaft gewinnt derzeit in Europa stark an Bedeutung. Richtig angewendet trägt sie in besonderer Weise zu einer nachhaltigen Stoff- und Energienutzung bei. Schon jetzt wird Biomasse von Äckern und Wiesen erfolgreich eingesetzt. Am meisten Verwendung finden derzeit die Energiepflanzen Mais, Sonnenblumen, Wiesengras und Sudangräser. Vielfältige andere Pflanzen können ebenfalls zur Biogaserzeugung genutzt werden.

Kulturarten, die derzeit zunehmend zur Biogaserzeugung genutzt werden, wurden bislang vorwiegend für die menschliche Ernährung und die Tierernährung gezüchtet. Die Biogaserzeugung stellt andere Anforderungen an Qualität und Zusammensetzung der Pflanzen. Um eine optimale Methanproduktion zu erreichen, müssen diejenigen Genotypen von Kulturpflanzenarten gefunden werden, die eine hohe Methan-ernte pro Hektar erbringen.

Gleichzeitig müssen aber einseitige Fruchtfolgen vermieden werden. Ein möglichst breites Spektrum an Pflanzenarten muss für die Biogaserzeugung genutzt werden. Aus diesem Grund werden am Institut für Landtechnik (ILT) im Department für Nachhaltige Agrarsysteme der Universität für Bodenkultur Wien umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt. Sie gehen der Frage nach, wie Kulturpflanzen aus ökologisch optimierten Fruchtfolgesystemen am besten als Energiepflanzen für die Biogaserzeugung eingesetzt werden können. Alle Anbauformen der Vor-, Haupt-, Zwischen- und Nachfruchtnutzung spielen dabei eine Rolle.

Darüber hinaus entstehen bei der Weiterverarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe Nebenprodukte, die ebenfalls für die Biogaserzeugung genutzt werden können. Das ILT erstellt aus den vielfältigen Rohstoffen ausgewogene Gärrohstoffrationen, die einen sicheren Gärverlauf und hohe Methanausbeuten gewährleisten. Ein Schwerpunkt ist derzeit die Entwicklung nachhaltiger Fruchtfolgesysteme, die auf drei wichtigen Säulen fußen:

- die Versorgung mit Nahrungs- und Futtermitteln,
- die Erzeugung von Stoffen (organische Dünger, Rohstoffe wie Öle, Fette, etc.) und Energie (Biogas, RME)
- die Erhaltung, Förderung und Nutzung abwechslungsreicher Kulturlandschaften.

Die Biogaserzeugung stellt auch in dieser Hinsicht eine Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Nutzung agrarischer Ressourcen dar. Die verschiedenen Ziele können mit Hilfe der Biogastechnologie miteinander gut verknüpft werden und es können dadurch u.U. sogar zusätzliche Energiemengen (Cofermentationseffekte) erzeugt werden.

Angestrebt werden hohe Biomasseerträge in standortangepassten, vielfältigen und gesunden Fruchtfolgesystemen, deren Nährstoffkreislauf weitgehend geschlossen ist. Integrierte Fruchtfolgesysteme ermöglichen die Erzeugung von Biomasse zur menschlichen und tierischen Ernährung und zur Rohstoff- und Energiegewinnung. Eine hohe Lebensmittel-, Stoff- und Energieproduktion pro Flächeneinheit kann erreicht werden. Folgende Strategien stehen dafür zur Verfügung und werden untersucht:

Wechsel von Kulturarten zur Erzeugung von Lebensmitteln, Stoffen und Energie: „Food-Non-Food-Switch“ gekoppelte Nutzung vegetativer und generativer Teile von ein- und derselben Pflanze: „Kaskadennutzung“ z.B. Nutzung von Maiskörnern zur Stärkegewinnung und Verwendung der Restpflanze für die Biogaserzeugung; die Primärnutzung von Sonnenblumenkernen zur Ölgewinnung und Verwendung der Restpflanze und des Presskuchens zur sekundären Biogasnutzung; die Verwendung von Misch- und Mehrkulturanbausystemen wie z.B. von Gemischen aus Sonnenblumen, Mais und Sudangras oder dem Anbau von Winterroggen vor Mais. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Auswahl geeigneter Arten und Sorten. Genotypen für die Biogaserzeugung müssen viel Biomasse bilden können und Inhaltsstoffe im richtigen Verhältnis enthalten. Es müssen daher verschiedene Arten von Energiepflanzen untersucht und die besten Genotypen identifiziert werden. Auch die Wahl des optimalen Erntezeitpunktes hat einen entscheidenden Einfluss auf den Energieertrag pro Flächeneinheit.

Tabelle 1 zeigt wichtige Kennzahlen der Leistungsfähigkeit sog. „integrierter“ und „spezialisierter“ Biogaserzeugungssysteme in energetischer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht. Das sog. „spezialisierte“ Erzeugungssystem unterstellt, dass Fruchtfolgesysteme vorwiegend der Erzeugung von Biomasse für die Biogaserzeugung dienen. Es können ca. 20 % der landwirtschaftlichen Fläche für die Energiepflanzenerzeugung genutzt werden. Ein durchschnittlicher Methanhektarertrag von $6.500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ist erreichbar. Spezialisierte Systeme charakterisieren sich dadurch, dass nur Teile von Ackerflächen ausschließlich für die Biogaserzeugung genutzt werden. Grünlandflächen, sowie Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung werden zumeist nicht berücksichtigt.

Im sog. „integrierten System“ dienen Fruchtfolgesysteme gleichermaßen der Nahrungs- und Futtermittelherzeugung, der Erzeugung von Stoffen (organische Dünger u.a. Rohstoffe wie Öle, Fette etc. und Energie (RME, Bioethanol, Biogas). Zusätzlich werden die nutzbaren Stoffströme zur Biogaserzeugung eingesetzt und damit insgesamt 3.500 m^3 Biogas pro ha Fläche erzeugt. Neben den Ackerflächen werden im integrierten Szenario auch Teile von Grünlandflächen, sowie von Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung als Rohstoffe für die Biogaserzeugung eingesetzt. Dieses Nutzungssystem trägt zudem aktiv zur Erhaltung, Förderung und Nutzung vielfältiger Kulturlandschaften bei.

Tabelle 1. Energiekennzahlen der Biogaserzeugung in spezialisierten und integrierten Systemen

	Einheit	Spezialisiert	Integriert
Ackerfläche	ha	1.375.822	1.375.822
davon 20 %	ha	275.164	-
MHE	$\text{m}^3\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1}$	6.500	3.500
Energie Äcker	t ROE a⁻¹*	1.537.892	4.140.478
Grünlandfläche	ha	-	1.810.387
Wirtschaftsgrünland	ha		909.407
davon 20 %	ha		181.881
extensives Grünland	ha		900.980
davon 60 %	ha		540.588
MHE	$\text{m}^3\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1}$		3.000
Energie Grünland	t ROE a⁻¹	-	469.169
Tierhaltung			
Rinder	Stück		2.050.991
Schweine	Stück		3.125.361
Energie Tierhaltung	t ROE a⁻¹	-	173.276
Energie insgesamt	t ROE a⁻¹	1.537.892	4.782.924

* 1 kg ROE (Rohöleinheiten) = 11,63 kWh

Wie Tabelle 1 zeigt, kann die österreichische Landwirtschaft mit „spezialisierten“ Erzeugungssystemen eine jährliche Energiemenge vom Ackerland erzeugen, die 1,5 Mio. t ROE (Rohöleinheiten) entspricht. Mit integrierten Erzeugungssystemen, von denen unterstellt wird, dass alle Ackerflächen im Sinne des

„Drei-Säulen-Modells“ d.h. bei gleichzeitiger Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln, Stoffen und Energie genutzt werden und gleichzeitig Biomasse (z.B. als Vorrüchte, Nebenfrüchte, Hauptfrüchte, oder Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung wie z.B. Zuckerrübenschnitte als Rohstoffe für die Biogaserzeugung genutzt wird, können 4,1 Mio. t ROE vom Ackerland erzeugt werden. Es wird unterstellt, dass in einem solchen Modell 3.500 m³ Methan pro Hektar erzeugt werden können. Unterstellt man weiterhin, dass Wirtschaftsgrünland zu 20 % und extensives Grünland zu 60 % für die Biogaserzeugung genutzt wird und auch die Wirtschaftsdünger von Rindern und Schweinen zur Biogaserzeugung eingesetzt werden, dann ergibt sich eine Energiemenge von 4,8 Mio. t ROE pro Jahr. Diese Energiemenge entspricht 66 % vom Energieverbrauch des Verkehrssektors (7,3 Mio. t ROE).

2. Wirkung der Biogaserzeugung im ländlichen Raum

Die Wirkungen der Biogaserzeugung im ländlichen Raum wird nachfolgend anhand wichtiger Kriterien: jährliche Investitionen, Beschäftigungswirkung, und CO₂ Einsparung dargestellt. Bei der CO₂ Entlastung wird unterstellt, dass Biogas fossile Treibstoffe im Verkehrssektor ersetzt.

2.1 Investitionen durch die Errichtung von Biogasanlagen

Im Szenario „spezialisierte Fruchtfolgesysteme“ ergibt sich bei 8.000 Betriebsstunden pro Jahr ein real umsetzbares Leistungspotential von 2.236 MW (Tabelle 2). Im Szenario „integrierte Fruchtfolgesysteme“ ergibt sich ein Leistungspotential von 6.953 MW. Unterstellt man eine durchschnittliche Investition von 1,2 k€ bei 1 MW (Walla & Schneeberger 2003) installierter Gesamtleistung für eine Anlage, dann ergibt sich ein Investitionsvolumen von 2,7 Mrd. € bzw. 8,3 Mrd. €. Unterstellt man einen 20 jährigen Umsetzungszeitraum, ergibt sich ein jährliches Investitionsvolumen in ländlichen Regionen Österreichs von 134 bzw. 417 Mio. €.

Tabelle 2. Volkswirtschaftliche Kennzahlen in spezialisierten und integrierten Biogaserzeugungssystemen

	Einheit	Biogaserzeugungssysteme	
		Spezialisiert	Integriert
Energie insgesamt ¹	t ROE a ⁻¹	1.537.892	4.782.924
	Mio. kWh a ⁻¹	17.885,7	55.625,4
	Mio. m ³ CH ₄ a ⁻¹	1.556,1	4.839,4
Leistungspotential ²	MW	2.236	6.953
Gesamtinvestition ³	Mio. € a ⁻¹	134	417
CO ₂ -Einsparung ⁴	Mio. t CO ₂ a ⁻¹	5,2	16,1
Kosten der CO ₂ -Einsparung	€ (t CO ₂) ⁻¹	25,9	25,9

¹ 1 kg ROE (Rohöleinheiten) = 11,63 kWh; 1 kWh = 0,087 m³ CH₄

² bei 8000 Betriebsstunden pro Jahr

³ Kosten der Biogasanlage: 1,2 k€ bei 1 MW Gesamtleistung nach Walla & Schneeberger 2003; Umsetzungszeitraum 20 Jahre

⁴ bei Substitution von Treibstoff im Verkehrssektor; Emissionsfaktor 0,29 kg CO₂ kWh⁻¹

Die aus den beiden Systemen berechnete Energiemenge 1,5 Mio. t ROE aus spezialisierten Systemen bzw. 4,8 Mio. t ROE aus integrierten Systemen können fossile Energieträger z.B. des Transportsektors ersetzen. Unterstellt man einen Emissionsfaktor von 0,29 kg CO₂ kWh⁻¹, ergibt sich eine CO₂ Einsparungsmenge von 5,2 bzw. 16,1 Mio. t CO₂. Im Vergleich dazu liegt der jährliche CO₂-Ausstoß des Transportsektors bei 22,7 Mio. t CO₂. Integrierte Systeme der Biogaserzeugung haben demnach die Möglichkeit, rd. 71 % des bestehenden CO₂ Ausstoßes des Transportsektors zu reduzieren. Bezieht man die jährlich erforderlichen Investitionen für die Errichtung von Biogasanlagen, auf die dadurch mögliche CO₂ Einsparung, ergeben sich spezifische Investitionskosten pro t eingespartem CO₂ in Höhe von ca. 26 € (t CO₂)⁻¹. Im CO₂-Emissionshandel im Zuge des Kyoto Protokolls lagen die Kosten pro t CO₂ im Sommer 2005 bei 14 - 18 €, stiegen aber Anfang 2006 bedingt durch jüngste Turbulenzen an den Gasmärkten sowie dem starken Frost auf 28 € (t CO₂)⁻¹ an. Mit Anfang der 2. Handelsperiode 2008 werden jedoch wesentlich höhere Preise im CO₂ Emissionshandel erwartet (www.CO2-Handel.de, Stand 02/2006).

2.2 Beschäftigungswirkung durch den Betrieb von Biogasanlagen

Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der Beschäftigungswirkung spezialisierter und integrierter Biogaserzeugungssysteme. Bei einem Jahresarbeitszeitbedarf von 2.000 h für den Betrieb einer Biogasanlage (1 MW Gesamtleistung 1) ergibt sich für die spezialisierten und integrierten Biogaserzeugungssysteme eine Ge-

samtstundenanzahl von 4,47 bzw. 13,91 Mio. Arbeitsstunden pro Jahr. Das entspricht einem Arbeitsplatzäquivalent von 2.677 bzw. 8.327 Arbeitskräften für den Betrieb der Biogasanlagen. Für die Rohstoffherzeugung sind 884 bzw. 4.705 Arbeitsplätze notwendig. Für die Düngung 283 bzw. 1.506 Arbeitsplätze. Daraus ergibt sich insgesamt ein Bedarf an Arbeitsplätzen in den ländlichen Regionen Österreichs von 3.844 im spezialisierten Biogaserzeugungssystem bzw. von 14.538 im integrierten System. Jede im spezialisierten Biogaserzeugungssystem beschäftigte Person würde eine jährliche CO₂-Einsparung von 1.349 t ermöglichen. Im integrierten Biogaserzeugungssystem würde jede beschäftigte Person eine Einsparung von 1.110 t CO₂ a⁻¹ ermöglichen. Im Vergleich dazu liegen die derzeitigen Emissionen in Österreich bei 8,6 t CO₂ pro Einwohner und Jahr.

Tabelle 3 Beschäftigungswirkung spezialisierter und integrierter Biogaserzeugungsbetriebe

Arbeitsplätze	Biogaserzeugungssysteme	
	Spezialisiert	Integriert
Biogasanlagenbetrieb ¹	2.677	8.327
Rohstoffherzeugung ²	884	4.705
Düngung ³	283	1.506
Arbeitsplätze insgesamt	3.844	14.538

¹ 2000 h a⁻¹ bei 1 MW Gesamtleistung

² Selbstfahrer Maishäcksler 4-reihig (Transport und Schnellentleerung 65 dt pro Wagen) 1,4 A kh Häckseln + 3,6 A kh Transport und Einsilieren pro ha; Flächenbedarf spezialisiert 132 ha; integriert 226 ha

³ Gülle-Feldentfernung 2 km, Fassungsvermögen 7 m³ = 1,6 A kh pro ha

3. Biogaserzeugung aus Getreide und Mais

3.1 Getreide

Feld-Sorten-Versuche mit verschiedenen Getreidearten wurden an folgenden Standorten durchgeführt: Loimersdorf (Niederösterreich), Schwanenstadt, Schörfling am Attersee und Lenzing (Oberösterreich). Tabelle 4 zeigt wichtige Kennwerte der Standorte und wesentliche Kennwerte zur Kulturführung. Die Schlaggröße jeder Sorte betrug 1000 bis 2000 m². Sämtliche Feldversuche wurden im Verlauf der Vegetation zu fünf verschiedenen Entwicklungsstadien der Pflanzenbestände beprobt.

Tabelle 4. Übersicht wichtiger Daten zu Standorten, Kulturführung und Düngung von Feldsortenversuchen mit Getreide

Sorte	Standort	Niederschlag Temperatur	Bodentyp	Vorfrucht	Anbau	Körner /m ²	Herbizid	Fungizid	Düngung
Weizen									
Capo Edison	Loimersdorf	530 mm 9,3 °C	Braunerde	Sommerdurum	13.10.03	330	2,5l Andiamo	kein	116 kg N
Levendis Tulsa	Schwanenstadt	810 mm 8,2°C	Schwarzerde/Lehm	Mais	10.10.03	350	180 g Concert	0,8 l Juwel Top	175 kg N
Roggen									
Beskyd	Schörfling am Attersee	1200 mm 7,6°C	Toniger Lehm	Körnermais	03.10.03	300	Attribut, Harmony extra	Stratego	66kgN, 50kg P ₂ O ₅ , 120 kg K ₂ O
Triticale									
Tremplin Talentro	Lenzing	1200 mm 7,6°C	Sandiger Lehm	Silomais	27.09.03	300	Art. 0,8l, H.Super 120 g	Stratego 0,8 l	141kgN, 84 kg P ₂ O ₅ , 120 kg K ₂ O

Weizen der Sorte Capo zum Beispiel wurde am 13.05.2004 das erste Mal geerntet. Zu diesem Zeitpunkt hatte der Bestand das ECA-Stadium 33-39 (4-Knotenstadium der Pflanzen) erreicht. Das Alter des Bestandes betrug 213 Tage. Die fünfte und letzte Ernte dieser Sorte wurde am 01.08.2004 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt war der Bestand bis zur Druschreife (Totreife der Pflanzen) völlig ausgereift.

3.1.1 Biomasse

Für die Bestimmung des Methanhektarertrages und um den optimalen Erntetermin für die verschiedenen Energiepflanzenarten und -sorten ableiten zu können, muss die Ertragsentwicklung der Bestände im Verlaufe der Vegetation bekannt sein. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Ertragsentwicklung aller Getreidearten und -sorten. Dargestellt ist der Trockenmasseertrag je Hektar in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt in der Frischmasse der Ganzpflanzen. Alle Getreidesorten erreichen bei einem TS-Gehalt von 30 % einen Trockenmasseertrag von rund 15 t TM ha⁻¹. Im weiteren Verlauf der Vegetation und mit weiterer Zunahme des TS-Gehaltes nimmt der Trockenmasseertrag nur mehr gering zu. Gleichzeitig verschlechtert sich ab einem TS-Gehalt von 35 % die Silierfähigkeit der Getreidepflanzen.

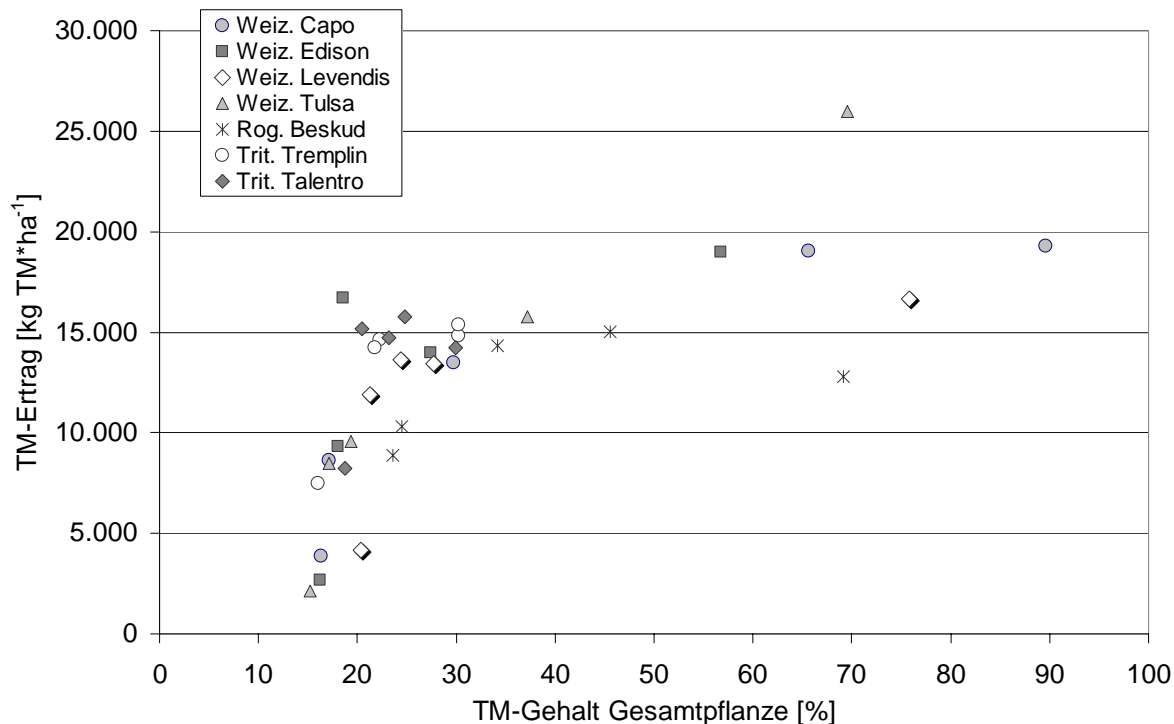


Abbildung 1. Trockenmasseertrag in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt in der Frischmasse unterschiedlicher Getreidearten.

Tabelle 5 zeigt Frischmasseertrag, Trockensubstanzgehalt, Rohaschegehalt und Trockenmasseertrag von Winterweizen, Winterroggen und Triticale zum jeweiligen Erntezeitpunkt. Das Ertragsniveau der Sorten war auf gleichen oder ähnlichen Standorten bis zur maximalen Ertragsbildung der Bestände ähnlich hoch. Maximale Trockensubstanzerträge wurden durchwegs bei allen Getreidearten zum Wachstumsstadium der „Teigreife der Körner“ (ECA 84 – 85) erreicht. Dieses Entwicklungsstadium ist aus der Sicht der Ertragsbildung und der Silierfähigkeit der Biomasse als günstig für die Ernte zur Biogasfermentation einzustufen.

Die Weizensorte Capo zeigte vom Stadium „Teigreife“ bis zur „Totreife“ einen geringen Ertragszuwachs von 0,3 t TM ha⁻¹. Bei der Sorte Leventis war der TM-Ertragszuwachs mit 3,3 t TM ha⁻¹ deutlich höher. Bei den Triticalesorten Tremplin und Talentro lag der Ertragszuwachs von der Teigreife zur Vollreife der Pflanzen bei 0,6 bis 0,9 t TM ha⁻¹. Bei den anderen Sorten und bei Winterroggen nahmen die TM-Erträge der Ganzpflanzen im selben Vegetationszeitraum sogar wieder etwas ab. Bruch- und Atmungsverluste der Pflanzen können Ursachen dafür sein. Im Vegetationsstadium „Teigreife“ lag bei den Winterweizensorten das Ertragsniveau zwischen 13,5 t TM ha⁻¹ und 19,0 t TM ha⁻¹. Roggen erreichte einen Ertrag von 15,0 t TM ha⁻¹ im Vegetationsstadium „Teigreife“. Die Triticalesorten hatten einen Trockenmasseertrag von 14,2 t TM ha⁻¹ bis 14,8 t TM ha⁻¹.

Wie aus der Übersicht zur Ertragsentwicklung der Getreidearten und -sorten hervorgeht, entwickelten sich Winterweizen, Winterroggen und Triticale unterschiedlich schnell. Während Triticale und Roggen in der Jugendentwicklung mehr Biomasse bildeten als die Weizensorten, zeigte Weizen gegen Ende der Vegetation höhere Erträge. Winterroggen und Triticale eignen sich aufgrund ihrer besonderen Eigenschaft des hohen Biomassebildungsvermögens in der Jugendentwicklung der Pflanzen zusätzlich besonders gut zum Anbau als Vorfrucht vor Mais oder anderen Sommergetreidearten.

Tabelle 5. Frischmasseertrag, Trockensubstanzgehalt, Rohaschegehalt und Trockenmasseertrag von Winterweizen, Winterroggen und Triticale zum jeweiligen Erntezeitpunkt.

Kultur	Weizen				Roggen	Triticale	
Sorte	Capo	Edison	Levendis	Tulsa	Beskud	Tremplin	Talentro
1 Ernte	4-Knoten	3-Knoten	3-4 Knoten	3-4 Knoten	4 Knoten	3-4 Knoten	3-4 Knoten
FM [$t \cdot ha^{-1}$]	23,75	16,5	20,5	14	37,5	46,5	44
% TS i.d.FM	16,32	16,22	20,41	15,25	23,63	16,07	18,71
Rohasche [% TM] ¹⁾							
TM [$t \cdot ha^{-1}$] ¹⁾	3,88	2,68	4,18	2,14	8,86	7,47	8,23
2 Ernte	Ähre-Rispe	Ähre-Rispe	Ähre-Rispe	Ähre-Rispe	Ähre-Rispe	Ähre-Rispe	Ähre-Rispe
FM [$t \cdot ha^{-1}$]	50,5	51,5	56	49,5	42	65,5	63,5
% TS i.d.FM	17,13	18,06	21,24	17,12	24,5	22,32	23,17
Rohasche [% TM]	10,11	8,22	10,26	11,84	8,11	9,35	8,47
TM [$t \cdot ha^{-1}$]	8,65	9,30	11,89	8,47	10,29	14,62	14,71
3 Ernte	Milchreife	Milchreife	Milchreife	Milchreife	Milchreife	Milchreife	Milchreife
FM [$t \cdot ha^{-1}$]	45,5	51	56	49,5	42	65,5	63,5
% TS i.d.FM	29,69	27,42	24,39	19,36	34,14	21,74	24,84
Rohasche [% TM]	5,89	7,22	8,55	8,53	5,15	6,81	5,65
TM [$t \cdot ha^{-1}$]	13,51	13,98	13,66	9,58	14,34	14,24	15,77
4 Ernte	Teigreife	Teigreife	Teigreife	Teigreife	Teigreife	Teigreife	Teigreife
FM [$t \cdot ha^{-1}$]	29	33,5	48,5	42,5	33	49	47,5
% TS i.d.FM	65,65	56,71	27,73	37,16	45,56	30,26	29,93
Rohasche [% TM]	4,28	5,02	5,34	5,77	4,28	5,11	5,15
TM [$t \cdot ha^{-1}$]	19,04	19,00	13,45	15,79	15,03	14,83	14,22
5 Ernte	Totreife	Totreife	Totreife	Totreife	Totreife	Totreife	Totreife
FM [$t \cdot ha^{-1}$]	21,5	18,5	22	26	18,5	21,5	20,5
% TS i.d.FM	89,65	90,26	75,81	77,8	69,14	71,6	73,88
Rohasche [% TM]	6,05	4,9	4,41	4,99	3,9	4,75	4,96
TM [$t \cdot ha^{-1}$]	19,27	16,70	16,68	20,2	12,79	15,39	15,15

1) Analysen werden derzeit durchgeführt

3.1.2 Spezifischer Methanertrag und Methanhektarertrag

Abbildung 2 zeigt beispielhaft die spezifischen Methanerträge und die Methanhektarerträge von Roggen (Beskud), Triticale (Tremplin, Talentro) und Weizen (Capo, Levendis) im Vegetationsverlauf. Die spezifischen Methanerträge der Gärrohstoffe waren in den Vegetationsstadien „Ährenschieben“ (ECA 57 – 59) bis „Milchreife“ (ECA 74 – 75) am höchsten. Der TM-Gehalt der Gärrohstoffe lag zwischen 22 und 34 %. Im weiteren Verlauf der Vegetation nahmen die spezifischen Methanerträge ab. Ab dem Vegetationsstadium „Teigreife“ (ECA 84 – 85) hatten die Gärrohstoffe i.d.R. einen Trockenmassegehalt von mehr als 35 – 40 %. Bei Biomasse mit mehr als 40 % TM nimmt die Silierfähigkeit ab.

Bei Roggen und Triticale wurden maximale Methanhektarerträge schon in den Entwicklungsstadien „Ährenschieben“ (ECA 57 – 59) bzw. „Milchreife“ (ECA 74 – 75) erreicht. Das Ertragsniveau von Roggen und Triticale war ähnlich hoch. Triticale der Sorte Tremplin erreichte den maximalen Methanhektarertrag von $3.581 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$ Ende Juni im Stadium der „Milchreife“ (ECA 74 – 75), während auf demselben Standort die Sorte Talentro den maximalen Methanhektarertrag von $3.686 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$ schon Anfang Juni im Vegetationsstadium „Ährenschieben“ (ECA 57 – 59) erreichte.

Roggen und Triticale erreichten maximale Methanhektarerträge früher in der Vegetation als Weizen. Weizen erreichte höchste Methanhektarerträge erst gegen Ende der Vegetation. Je nach Sorte wurden zwischen 4.002 und $4.415 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \cdot \text{ha}^{-1}$ erzielt. Beim Weizen zeigte die Sorte Capo im Vergleich zur Sorte Levendis in der Jugendentwicklung niedrigere Biomassezuwächse. Mit Beginn der generativen Phase der Bestände bildete die Sorte Capo deutlich mehr Biomasse als die Sorte Levendis. Entsprechend waren Verlauf und Höhe der Biomasse- und Methanhektarerträge der beiden Weizensorten unterschiedlich ausgeprägt.

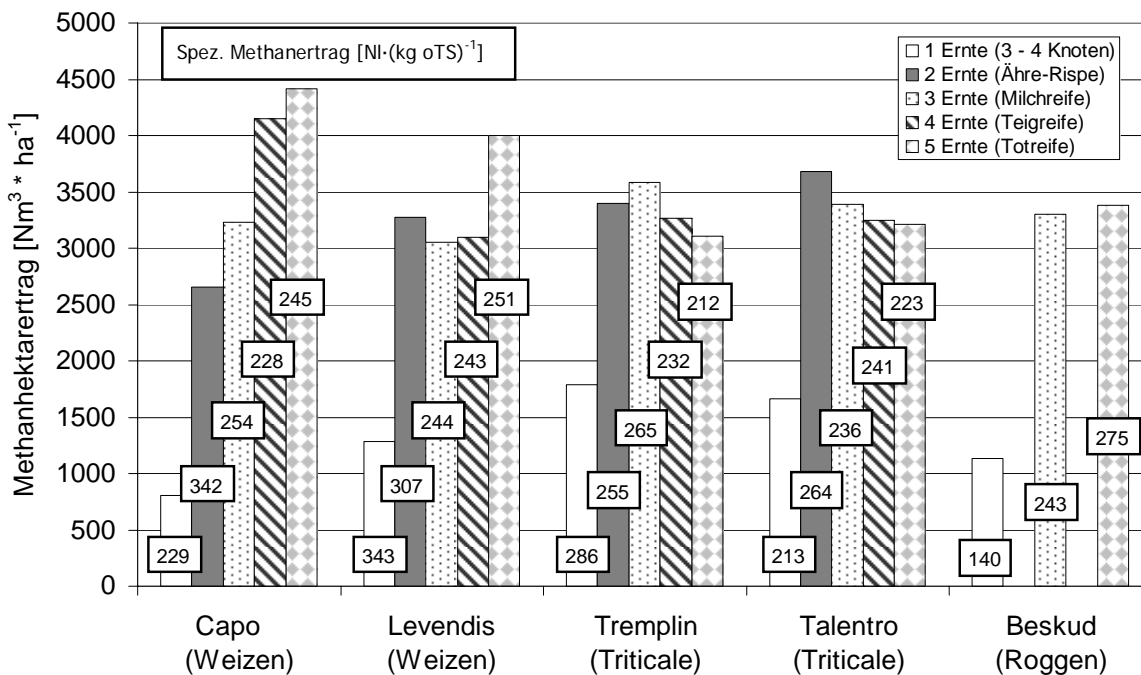


Abbildung 2. Spezifischer Methan- und Methanhektarertrag von Roggen, Triticale und Weizen im Vegetationsverlauf. Standort: Loimersdorf, Niederösterreich

Aus den Versuchen lassen sich folgende Schlussfolgerungen für die Praxis ableiten: Für die Biogasproduktion aus Getreide-Ganzpflanzen sind vor allem solche Sortentypen geeignet, die als Winterungen angebaut werden und im zeitigen Frühjahr ein hohes Biomassebildungsvermögen der Gesamtpflanze aufweisen. Ertragszuwächse sind bis zu einem Trockensubstanzgehalt von rund 30 % zu erwarten. Höhere TS-Gehalte führen zu einer Verminderung der spezifischen Gasausbeute, weil die Pflanzen zunehmend verholzen und der höhere Stärkegehalt in den Körnern auf Kosten anderer methanogener Inhaltsstoffe gebildet wird. Für die Biogasproduktion eignen sich vor allem solche Sortentypen, die einen hohen Biomasseertrag primär über die gesamte Pflanze erbringen und nicht nur über die Körner. Für Mehrkulturanbausysteme eignen sich Winterroggen und Triticale besonders gut, weil sie eine ganzjährige Bodenbedeckung ermöglichen und bereits zu einem frühen Wachstumsstadium hohe Biomasseerträge erbringen.

3.2 Mais

Für die Biogasproduktion aus Energiepflanzen hat Mais als Rohstoff die größte Bedeutung. Zum einen besitzt er als C4-Pflanze von allen bei uns heimischen Kulturpflanzenarten das höchste Ertragspotential. Zum anderen sind Anbau-, Ernte-, Konservierungs-, Entnahme- und Beschickungssysteme für Mais differenziert entwickelt und verfahrenstechnisch weitgehend optimiert. Derzeit wird die Frage intensiv diskutiert, wie der optimale Energiemais für die Biogasproduktion aussehen soll. Das heißt, welche Eigenschaften Energiemaishybriden haben sollen, damit sie für die Biogasproduktion optimal geeignet sind.

Bei der Nutzenanwendung von Mais als Energiemais lassen sich drei Nutzungsformen unterscheiden:

- Energiemais wird als einzige Hauptkultur im Vegetationsjahr angebaut und genutzt.
- Energiemais wird als Hauptkultur nach einer Vorfrucht wie z.B. Winterroggen angebaut.
- Energiemais wird in Kombination mit anderen Kulturpflanzenarten wie z.B. Sonnenblumen angebaut. Ziel des kombinierten Anbaus ist es, die Silierfähigkeit durch die gemeinsame Ernte beider Kulturpflanzenarten zu verbessern und gleichzeitig das Nährstoffmuster komplementär zu ergänzen und damit insgesamt höhere spezifische Methanerträge und Methanhektarerträge zu erreichen.

Nachfolgende Ausführungen beziehen sich auf die ersten beiden Nutzungsrichtungen.

Für Energiemais gelten neue Zuchtziele. Energiemais soll möglichst viel Biomasse über die Gesamtpflanze bilden und dabei ein hohes spezifisches Methanbildungsvermögen aus der Biomasse erreichen.

Darüber hinaus sollen die Maispflanzen bis zur Ernte einen Trockensubstanzgehalt von mindestens 28 % erreichen, um einen sicheren Silierprozess ohne Sickersaftbildung zu ermöglichen. Intensiv diskutiert wird dabei, durch welche Züchtungswege die genannten Zuchtziele am effektivsten erreicht werden können. Zwei Züchtungswege stehen zur Diskussion:

- Strategie 1: Neue Züchtungswege.

Hier wird auf der Basis bewährter Silomaislinien angestrebt, leistungsstärkere Hybriden zu entwickeln. Seit einigen Jahren verfolgen verschiedene züchterische Ansätze das Ziel, die Biomasse- und Methanertragsleistung von Mais zu steigern. Nach Schmidt (2005) werden folgende züchterische Ansätze verfolgt:

- 1) Verlängerung der vegetativen Wachstumsphase durch Einkreuzung spätreifer Linien
- 2) Züchterische Kombination von Spätreife und Kältetoleranz
- 3) Integration von Kurztagsgenen aus exotischen Populationen
- 4) Verbesserung der Trockenstresstoleranz
- 5) Adaptation von Mais an eine C3/C4-Energiepflanzenfruchtfolge
- 6) Adaptation von Energiemais an die Bedingungen des ökologischen Landbaus.

Dem Ansatz 1 liegt die Hypothese zu Grunde, dass spätreife Energiemaissorten später in die generative Phase eintreten als konventionelle Futtermaissorten. Dadurch bleibt den Pflanzen mehr Zeit, ihre Assimilationsleistung in die Bildung vegetativer Blattbiomasse (Photosyntheseflächen) zu investieren und weniger in die Stärkebildung im Kolben.

- Strategie 2: Der herkömmliche Züchtungsweg.

Die konventionelle Züchtungsstrategie geht davon aus, dass aus klimatischen Gründen (Spätfröste im Frühjahr, Fröste im Frühherbst, Photosyntheseperiode, Tagesdurchschnittstemperatur) das Reifespektrum für die Silomaisnutzung bereits weitgehend ausgeschöpft wird (Degenhardt 2005). Die Nutzung geringfügig späterer Sorten erscheint möglich. Diese Züchtungsstrategie zielt auch darauf ab, dass neben hohen Biomasseerträgen auch das Spektrum der Inhaltsstoffe für die Methangärung angepasst wird. Das heißt, dass durch züchterische Methoden vor allem die derzeit im Minimum vorhandenen Inhaltsstoffe wie Proteine und Fette angehoben werden und damit die Gasausbeute verbessert wird.

Zum Anbau sollten Sorten kommen, die nur geringfügig später abreifen als die ortsüblich für die Futtergewinnung angebauten Sorten. Sehr spätreife Sorten würden das Anbaurisiko erhöhen, ohne signifikante Vorteile für den Methanertrag zu bringen.

Es stellt sich also derzeit die Frage, mit welcher der beiden angeführten Strategien der Züchtungserfolg am größten ist und adaptierte Energiemaissorten am effektivsten entwickelt werden können. Angestrebt werden

- 1) eine hohe Ertragsfähigkeit und ein hohes Biomassebildungsvermögen
- 2) eine optimale Qualität für die anaerobe Vergärung
- 3) eine optimale Silierfähigkeit
- 4) möglichst hohe Methanhektarerträge bei gleichzeitig möglichst hoher Ertragssicherheit
- 5) die Vermeidung von Bodenverdichtungen durch die Ernte und Pflugfurche des Bodens im Herbst.

In der exponentiellen Wachstumsphase benötigen die Maispflanzen vor allem Wasser, damit sie ihr genetisches Potential auch tatsächlich in Ertrag umsetzen können. Der spätere Eintritt von der vegetativen in die generative Wachstumsphase darf nicht dazu führen, dass die Pflanzen im Herbst nicht mehr zur Erntereife ausreifen können. Sie müssen mindestens einen Trockensubstanzgehalt von 28 % erreichen. Eine gute Silierfähigkeit (Milchsäuregärung) ohne Sickersaftbildung (Geruchsbelästigung) wird angestrebt. Das spezifische Methanbildungsvermögen der Biomasse soll möglichst hoch sein, um maximale Methanmengen pro Hektar zu erreichen.

3.2.1 Biomasse

In umfangreichen Versuchen des ILT wurden das Wachstumsvermögen und die Methanhektarerträge verschiedener Maissorten geprüft. Abbildung 3 zeigt die Biomasseentwicklung von 18 spätreifen Maissorten, die in einem Sortenversuch der Landwirtschaftskammer Niederösterreich in Haidershofen angebaut wurden. Haidershofen ist ein Standort, der für den Maisanbau eine Gunstlage darstellt. Auffallend ist, dass der Maximalertrag der spätreifen Sorten Alisun und Doge niedriger als der aller anderen Sorten lag. Die Wachstumsgeschwindigkeit ist bei den untersuchten Sortentypen unterschiedlich ausgeprägt. Während z.B. die Sorte KWS 1393 den maximalen Biomasseertrag schon am zweiten Erntetermin (15.09.04) erreichte, bildete die Sorte Wexxil im Laufe der Vegetation zunehmend mehr Biomasse. Die Sorte Baxter hatte am 15.09.04 den höchsten Ertrag von allen Sorten erreicht. Die Kombination der Eigenschaften „Wachstumsgeschwindigkeit“ und „Ertragspotential“ kann zukünftig für die Anwendung in Mehrkultursystemen Bedeutung besitzen. Die Biomasseerträge des 3. Erntezeitpunktes am 5.10. sind unverhältnismäßig niedrig im Vergleich zu der gemessenen Biomassemenge der anderen Erntezeitpunkte. Dies ist vermutlich auf Einflüsse in der Art und Weise der Probenahme in diesem Erntezeitpunkt zurückzuführen.

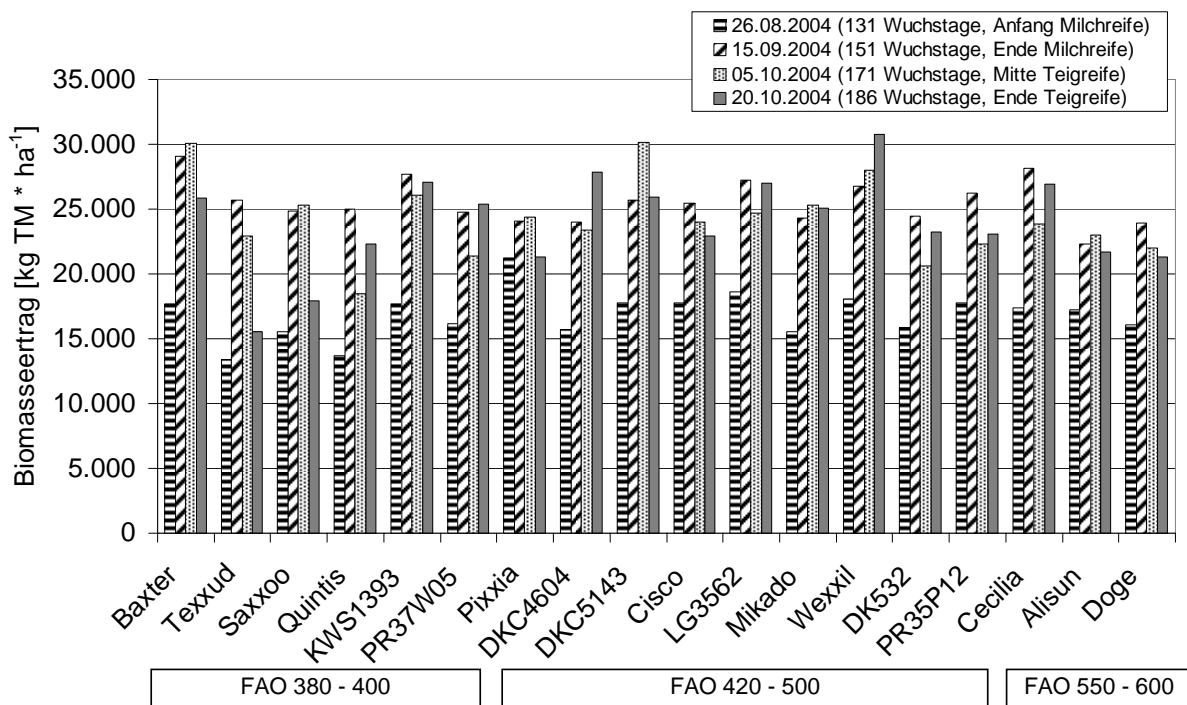


Abbildung 3. Biomasseentwicklung von 18 spätreifen Maissorten; Standort: Haidershofen, Niederösterreich.

Abbildung 4 zeigt den Zusammenhang zwischen Trockenmassegehalt der Gesamtpflanze und dem Trockenmasseertrag pro ha. Dargestellt sind die Daten aller Sorten und Erntezeitpunkt des Sortenversuches Haidershofen/NÖ 2004 und 2005, Ludersdorf 2005, Hatzendorf 2005, Ruden 2005. Wie die Abbildung zeigt bestehen deutliche Ertragsunterschiede zwischen den Standorten und teilweise auch zwischen den Jahren. Es besteht eine ausgeprägte Interaktion zwischen dem jeweiligen Standort, der Sorten und der Witterung. Die Abbildung zeigt weiters, dass im Mittel der bislang durchgeführten Biogas-Mais-Versuche ein Trockenmasse-Ertrag von 25.000 kg bei einem Trockensubstanzgehalt bis 35 % in der Ganzpflanze erreicht werden kann. Oberhalb dieses Trockensubstanzgehaltes werden die Ertragszuwächse zunehmend geringer. Die Silierfähigkeit nimmt ab. Es sind demnach solche Sortentypen als Energie-Mais geeignet, die bis zu einem Trockensubstanzgehalt von 35 % ihr Ertragsmaximum über die Gesamtpflanze erreichen. In der Gruppe der sehr spät reifenden Maissorten erreichten die Pflanzen lediglich einen maximalen TS-Gehalt von 28 %. Bei einem TS-Gehalt von 30 % -33 % in der Gesamtpflanze ist die Methanbildung noch gut bei gleichzeitig hohem Biomasseertrag und guter Silierfähigkeit. Anforderungen an Energie-Mais-Sorten konnten bislang von denjenigen Hybriden am besten erreicht werden, die auch gute Futtermaishybriden sind. Gegebenenfalls kann die Reifegruppe von Energiemaishybriden im Vergleich zu Futtermaishybriden um 30 bis 50 FAO Punkte höher liegen.

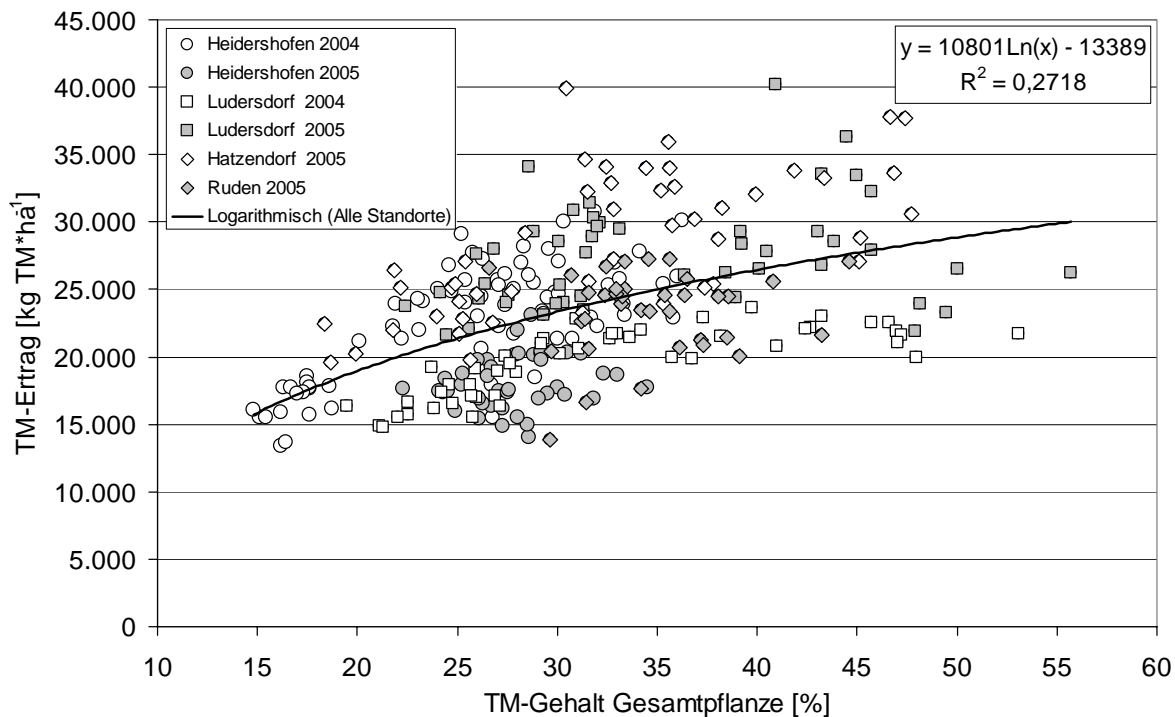


Abbildung 4. Trockenmasseertrag in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt in der Frischmasse

3.2.1 Methanenergiewertmodell für Mais

Mit dem Methanenergiewertmodell kann das spezifische Methanbildungsvermögen einzelner Rohnährstoffe von Maissilage bei der Biogaserzeugung bestimmt werden. Es wird eine energetische Bewertung in Bezug auf das Methanbildungsvermögen von Energiemaissilage durchgeführt. Die dargestellte Schätzgleichung ist die bis dato aktuelle Form, welche auf der Basis von 95 Datensätzen (Tabelle 6) zum Energiegehalt, den Rohnährstoffen von Maissilagen und dessen spezifischer Methanausbeute berechnet wurde. Der Schätzgleichung zur Kalkulation des Methanenergiewertes von Energiemais liegt ein multiples und lineares Regressionsmodell folgender allgemeiner Form zugrunde:

$$\text{MEW}[\text{l CH}_4 (\text{kg oTS})^{-1}] =$$

$$x_1 * \text{Rohprotein (XP) (Gehalt in \% in der TS)}$$

$$+ x_2 * \text{Rohfett (XL)}$$

$$+ x_3 * \text{Rohfaser (XF)}$$

$$+ x_4 * \text{N-freie Extraktstoffe (XX)}$$

Der Methanenergiewert wird in $\text{NI CH}_4 (\text{kg oTS})^{-1}$ angegeben.

Tabelle 6 zeigt die Regressionskoeffizienten der Schätzgleichung zur praktischen Kalkulation des Methanenergiewertes mit dem ermittelten Signifikanzniveau für die Regressionskoeffizienten. Die Regressionskoeffizienten geben den Beitrag der einzelnen Rohnährstoffkomponenten zur Methanbildung aus Maissilage an.

Tabelle 6. Parameter der Regressionsgleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes von Maissilage anhand der Rohnährstoffe

Inhaltsstoff	Regressionskoeffizient	Signifikanz
Rohprotein (XP)	15,27	0,000
Rohfett (XL)	28,38	0,001
Rohfaser (XF)	4,54	0,000
N-freie Extraktstoffe (XX)	1,12	0,008
Qualitätsparameter der Gesamtgleichung:		
$R^2 = 0,968$; F-Wert = 1583,027; Durbin-Watson-Wert = 1,176; Signifikanzniveau = 0,000; n = 95		

Das spezielle Modell mit seinen Regressionskoeffizienten wird nun dazu verwendet um das spezifische Methanbildungsvermögen von Silomais-Silage anhand von Rohnährstoffen, die in den DLG-

Futterwerttabellen für Wiederkäuer tabelliert sind berechnet. Abbildung 6 zeigt den berechneten spezifischen Methanertrag verschiedener Maissilagen, abhängig vom Trockensubstanzgehalt und den enthaltenen Rohnährstoffen.

Wie das Berechnungsergebnis zeigt, ist das spezifische Methanbildungsvermögen von „unreifer“ Maissilage (Trockensubstanzgehalt unter 20 %) höher als das von silierreifer Maissilage (Trockensubstanzgehalt 30 – 33 %). Offensichtlich nimmt mit zunehmender Reife der Pflanzen das spezifische Methanbildungsvermögen ab. Mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt (TS >22 %) bewegt sich das Methanbildungsvermögen auf einem Niveau von ca. 370 NI (kg oTS)⁻¹. Mit zunehmender Abreife von Ganzpflanzen über einem Trockensubstanzgehalt von 35 % nimmt die spezifische Methanausbeute deutlich ab. Mit einem Trockensubstanzgehalt von 30 % ist Mais optimal silierfähig. Die spezifische Methanausbeute hat zwischen 30 und 35 % TM ihr Optimum. Offensichtlich hat Maissilage im Vegetationsstadium „Beginn der Kolbenbildung“ ein für die Methanbildung günstigeres Verhältnis der Inhaltsstoffe Rohprotein, Rohfett, Rohfaserkomponenten (Cellulose, Hemicellulose, Lignin), sowie Stärke und Zucker, als Maissilage von Pflanzen im Vegetationsstadium „Ende Teigreife“ bei einem Kolbenanteil der Pflanzen von > 55 % und einem Trockensubstanzgehalt von > 38 %. Günstig für die Methanbildung ist das Nährstoffmuster von silierfähigen Maispflanzen im Bereich von 31 – 34 % TM. Eine Ernte unter 25 % Gehalt TM der Gesamtpflanze ist nicht erstrebenswert, weil die Maissilage Sickersaft bildet und zur Geruchsbildung neigt und in den meisten Fällen die Biomassebildung noch zunimmt.

3.2.3 Spezifischer Methanertrag und Methanhektarertrag

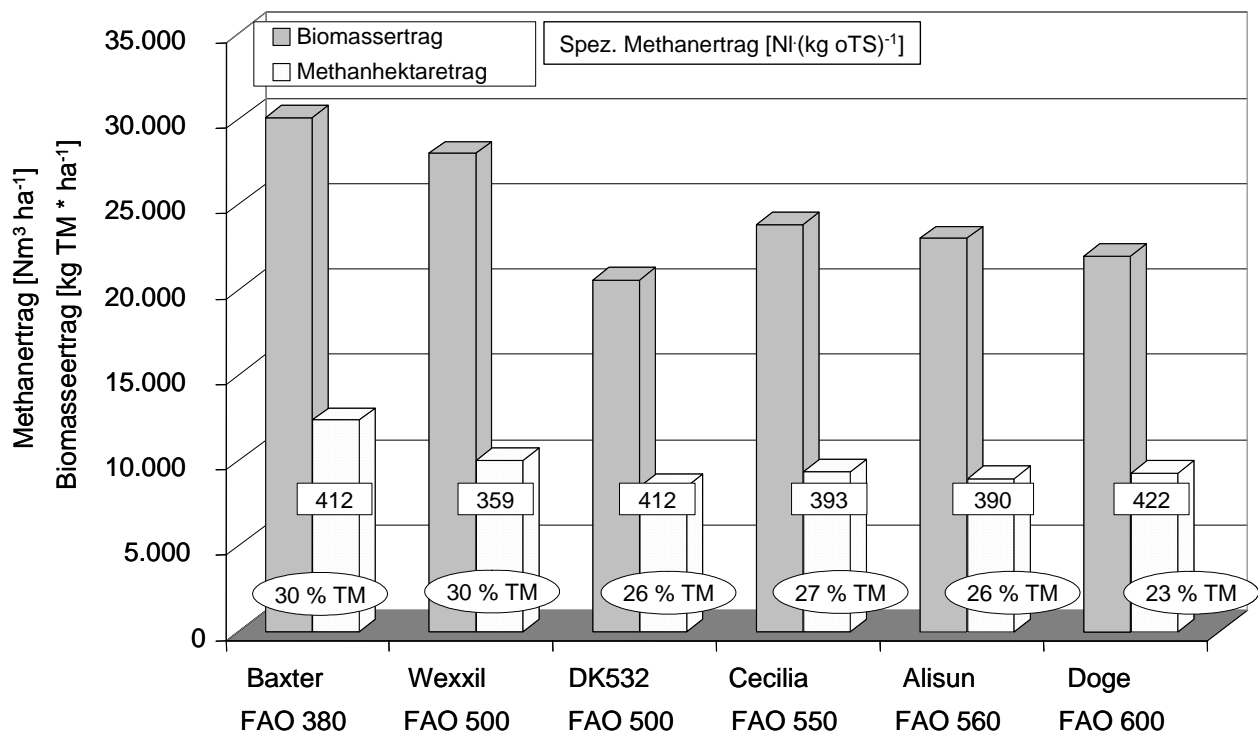


Abbildung 5. Biomasseertrag und Methanhektarertrag, spezifisches Methanbildungsvermögen und Trockenmassegehalt der Pflanzen zum Zeitpunkt der Ernte am 05.10.2004.

Bei spätreifenden Maissorten (FAO 380 bis FAO 600) wurden Biomasse- und Methanhektarertrag vom Reifegrad der Maissorten beeinflusst. Abbildung 5 zeigt den Biomasseertrag, den Methanhektarertrag, das spezifische Methanbildungsvermögen und den Trockenmassegehalt der Pflanzen von ausgewählten Sorten des Vergleichsversuches in Haidershofen zum Zeitpunkt der Ernte am 05.10.2004.

Die mittelspäte Sorte Baxter erbrachte einen Biomasseertrag von 30 t TM pro Hektar bei einem Trockensubstanzgehalt von 30 % in der Gesamtpflanze und einem spezifischen Methanbildungsvermögen von 412 NI CH₄ (kg oTS)⁻¹. Je spätreifer die Sorten waren, umso weniger Biomasse bildeten sie, umso geringer war der Methanhektarertrag und umso weiter waren die Sorten zum Zeitpunkt der Ernte von der Silierreife entfernt. Aus den Versuchen zeigt sich die ertragliche Überlegenheit mittelspäter Maissorten im Vergleich zu den sehr spät reifenden Maissorten.

Aus unseren Untersuchungsergebnissen zur Sortenfrage und der Wahl geeigneter Zuchtstrategien kann folgendes festgehalten werden:

- 1) Zuchtziele und Eigenschaften von Energiemais sollen der Nutzung angepasst sein.
- 2) Drei Alternativen der Nutzung sind bislang erkennbar:
 - Energiemais als alleinige Hauptfrucht
 - Energiemais als Hauptkultur nach einer Vorfrucht
 - Energiemais in Kombination mit anderen Kulturpflanzenarten.
- 3) Für die Sortenwahl spielt der jeweilige Standort eine maßgebliche Rolle.

Wie unsere Erfahrungen zum Energiemaisanbau zeigen, waren angepasste Zuchtstrategien für spezialisierten Energiemais, die auf die Verwendung eher spätreifer Futtermaissorten basieren relativ erfolgreich. Konventionelle Sorten mit leicht erhöhtem Reifegrad zeigten bislang die höchsten Methanhektarerträge bei gleichzeitig guter Silierfähigkeit der Biomasse und hoher Ertragssicherheit. Die Sorteneigenschaften des anzubauenden Energiemaisses richten sich vor allem danach, welche der drei oben dargelegten Nutzungsalternative angestrebt wird und nach der Ertragskraft des jeweiligen Standortes.

Es stellt sich nun die Frage nach dem optimalen Erntetermin von Energiemais. Die Sorten sollten ihren maximalen Methanhektarertrag erreicht haben, wenn sie optimal silierfähig sind, also einen TS-Gehalt von rund 30 % haben. Abbildung 6 zeigt den Methanhektarertrag aller Sorten für die Biomasse-Erträge bestimmt worden (vergleiche Abbildung 4). Das spezifische Methanbildungsvermögen wurde mit Hilfe des MEWM anhand der Inhaltsstoffe der Silagen rechnerisch ermittelt. Wie die Abbildung zeigt entspricht die Variabilität des Methanhektarertrages in etwa auch der Variabilität der gemessenen Biomasse-Erträge. Die Inhaltsstoffe der Maissilageproben waren hauptsächlich vom Erntezeitpunkt geprägt und weniger von der Sorte bzw. dem Standort. Wie die Abbildung weiterhin zeigt wurde im Mittel aller Versuche das Methanhektar-Ertragsmaximum im Bereich von 33 % TS-Gehalt in der Ganzpflanze erreicht. Demnach stimmen die beiden wichtigen Kriterien: Hohes Methanbildungsvermögen pro Hektar und Optimale Silierfähigkeit der Pflanzenbiomasse des Energiemaisses der verwendeten Hybriden zu diesem Erntezeitpunkt gut überein.

Von zentraler Bedeutung wird es zukünftig sein, solche Hybriden zu finden, die bei ca. 30 – 33 % TS-Gehalt in der Ganzpflanze ihr maximales Methanbildungsvermögen haben.

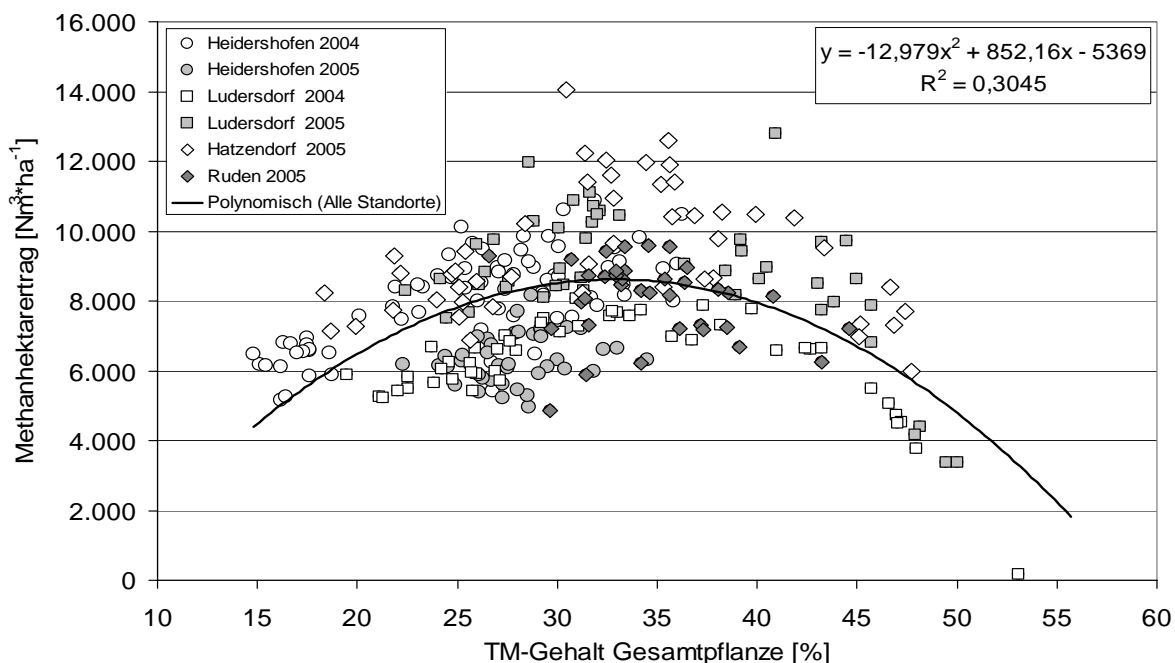


Abbildung 6. Errechneter nach MEWM und gemessener (Versuchsreihe 2004) Methanhektarertrag aller Sorten

Abbildung 7 zeigt am Beispiel der Sorte KWS 1393 den Biomasse- und Methanhektarertrag, sowie die spezifische Methanbildung und den TS-Gehalt im Vegetationsverlauf. Diese Sorte hatte schon bei einem TS-Gehalt von 26 % den höchsten Biomasseertrag erreicht. Der Methanhektarertrag war aber bereits am dritten Erntezeitpunkt, nach 144 Wachstumstagen, maximal. Die spezifische Methanausbeute lag dabei

nahe am Maximum. Am Ende der Vegetationsperiode erreichte die Sorte einen TS-Gehalt von 29 %. Unter den gegebenen Standort-Sorten-Bedingungen konnte Silierreife und maximales Methanbildungsvermögen nur teilweise erreicht werden. Zum Zeitpunkt der letzten Ernte waren das spezifische Methanbildungsvermögen und der Methanhektarertrag im Vergleich zum dritten und vierten Erntetermin deutlich reduziert. Das Beispiel zeigt, dass die beiden Zuchtziele „hoher Methanhektarertrag“ und „optimale Silierfähigkeit“ mit spätreifen Maissorten auf kühleren Standorten derzeit noch schwer in Deckung zu bringen sind.

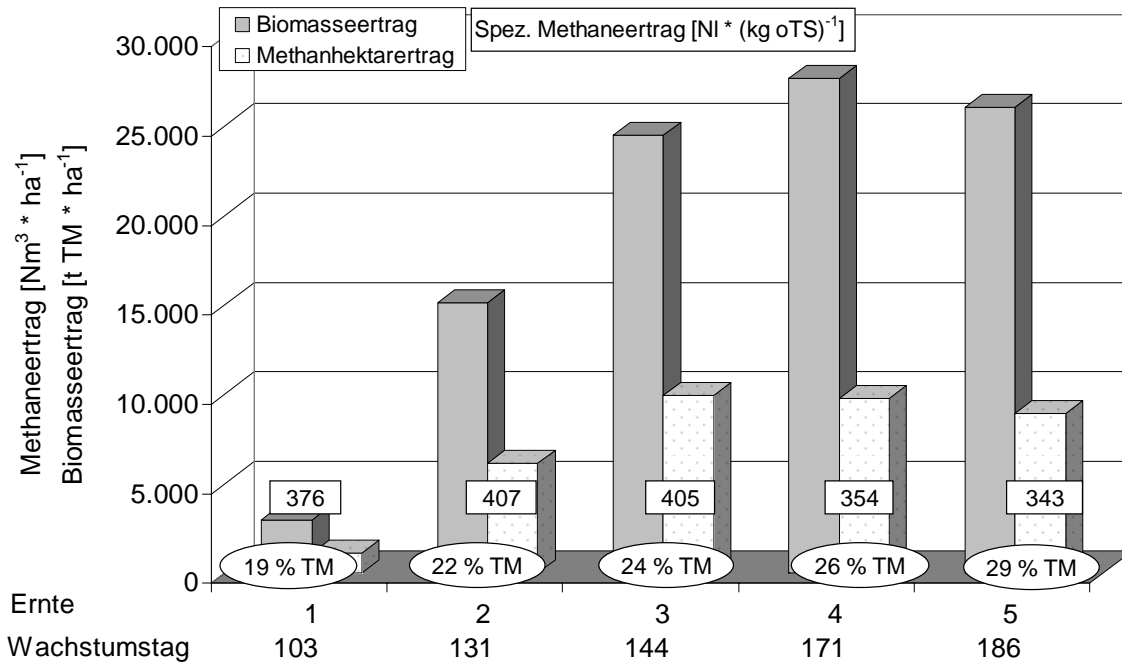


Abbildung 7. Biomasse- und Methanhektarertrag sowie spezifische Methanbildung und TS-Gehalt der Sorte KWS 1393 im Vegetationsverlauf.

4. Durchschnittliche Biomasse- und Methanhektarerträge wichtiger Energiepflanzenarten

In Tabelle 7 und 8 sind die durchschnittlichen Ertragsdaten wichtiger Energiepflanzen dargestellt. Die Ertragsdaten für Getreide wurden in Praxisversuchen auf den Standorten Loimersdorf, Lenzing bzw. Schörfing am Attersee gewonnen. Die Erträge der Gäser wurde von der HBLFA Gumpenstein in Praxisversuchen ermittelt. Die Ertragsdaten für Mais stammen von mehrjährigen Versuchen auf den Standorten Groß Enzersdorf, Haidershofen, Ruden und Ludersdorf. Die Erträge der Sonnenblumen wurden auf be-regneten Flächen in Gr. Enzersdorf ermittelt. Die Ertragsdaten der Sudangräser wurden von RWA und der landwirtschaftlichen Fachschule Tulln zur Verfügung gestellt.

Die spezifischen Methanerträge wurden immer aus einer dreifachen Wiederholung pro Versuchsvariante ermittelt. Die Standardabweichung ergibt sich aus den Mittelwerten (MW) der angegeben (n) Versuchsvarianten. Die Ertragsdaten sind als Mittelwerte mit den zugehörigen Standardabweichungen dargestellt.

Wie in Tabelle 7 und 8 ersichtlich, sind die Parameter Frischmasse (FM [t*ha⁻¹]), der Trockensubstanzgehalt in der Frischmasse in % (TS i.d.FM [%]) und der Rohaschegehalt in % der Trockenmasse (% TM) dargestellt. Aus der Biomasse wurde das Methanbildungsvermögen bestimmt. Dargestellt ist die Methan-konzentration im Biogas (CH₄ im Biogas [%]) und das spezifische Methanbildungsvermögen aus den Gärrohstoffen (CH₄ [NI *(kg oTS)⁻¹]). Der daraus resultierende Methanhektarertrag (CH₄ [Nm³*ha⁻¹]) wurde mit den Parametern Trockenmasseertrag und spezifischen Methanbildungsvermögen errechnet.

Tabelle 7: Durchschnittliche Ertragsdaten verschiedener Getreidearten und Wiesengras in zwei Nutzungsintensitäten

Kultur	Weizen		Roggen	Triticale		Gras extensiv 1 bis 3 Schnitte		Gras intensiv 3 bis 4 Schnitte	
	Teigreife		Teigreife	Teigreife		Schossen-Ähren		Schossen-Ähren	
	MW n=4	Stabw	n=1-3	MW n=2	Stabw	MW n=3	Stabw	MW n=3	Stabw
FM [t*ha ⁻¹]	38,4	8,8	33,0	48,3	1,1	31,9	4,6	65,2	2,28
TS i.d.FM [%]	46,8	17,4	45,56	30,1	0,2	16,8	2,7	15,9	2,25
Rohasche [% TM]	5,1	0,6	4,28	5,1	0,0	14,3	2,54	10,2	0,48
TM [t*ha ⁻¹]	16,8	2,7	15,03	14,5	0,4	5,5	1,12	10,7	0,6
CH ₄ im Biogas [%]	50,5	2,9	45,2	51,0	1,7	44,5	6,9	49,2	4,9
CH ₄ [NI *(kg oTS) ⁻¹]	269	44,7	219	242,0	24,4	165	31,2	282	70,4
CH ₄ [Nm ³ *ha ⁻¹]	4.290	121	3.151	3.335	11	778	34	2.710	42

Stabw = Standardabweichung, MW = Mittelwert

Aus den bisherigen Versuchen zeigte sich, dass im Mittel 4.290 CH₄ [Nm³*ha⁻¹] Weizen erzeugt werden kann (siehe Tabelle 7). Roggen erreichte einen Methanhektarertrag von 3.151 m³ CH₄ [Nm³*ha⁻¹]. Bei Triticale lag der Wert bei 3.335 CH₄ [Nm³*ha⁻¹]. Wiesengrasbestände von Berglagen mit einer ein- bis dreischnittigen Nutzung erreichen ca. 800 CH₄ [Nm³*ha⁻¹]. Wiesengrasbestände in Tallagen mit angepasster Schnittnutzungsintensität von drei- bis vier Schnitten erreichen im Durchschnitt einen kumulierten Methanhektarertrag von 2.710 CH₄ [Nm³*ha⁻¹].

Tabelle 8: Durchschnittliche Ertragsdaten von Mais, Sonnenblume und Hirsen

Kultur	Mais		Sonnenblume		Sudangras		Faserhirse	
	Teigreife		BBCH 85		< BBCH 70		BBCH 79	
	MW n=94	Stabw	MW n=3	Stabw	MW n=10	Stabw	MW n=2	Stabw
FM [t*ha ⁻¹]	59,3	11,8	69,7	4,3	61,9	15,1	81,2	0,3
TS i.d.FM [%]	35,9	6,4	23,1	0,8	29,6	3,3	34,0	1,7
Rohasche [% TM]	3,8	0,5	11,8	1,3	9,9	1,47	7,3	1,5
TM [t*ha ⁻¹]	21,3	3,3	16,1	0,4	18,3	4,7	27,6	1,2
CH ₄ im Biogas [%]	51,7	7,3	57,6	3,9	54,6	2,7	51,2	2,4
CH ₄ [NI *(kg oTS) ⁻¹]	322	58,9	212	82,0	320	20,0	263	15
CH ₄ [Nm ³ *ha ⁻¹]	6.859	193	3.010	35	5.277	93	6.729	18

Stabw = Standardabweichung, MW = Mittelwert

Bei Mais konnten im Durchschnitt der Versuche auf den verschiedenen Standorten und Anbaujahren im Mittel 6.859 m³ Methan pro Hektar geerntet werden (siehe Tabelle 8), bei der Standardabweichung von 193 CH₄ [Nm³*ha⁻¹]. Die mittlere spezifische Methanausbeute lag bei 322 CH₄ [NI *(kg oTS)⁻¹], bei einer Standardabweichung von 58,9 CH₄ [NI *(kg oTS)⁻¹]. Bei Sonnenblumen konnten durchschnittlich 3.010 CH₄ [Nm³*ha⁻¹] ermittelt werden. Sudangras zeigte mit 5.277 CH₄ [Nm³*ha⁻¹], bei einer spezifischen Methanausbeute von 320 CH₄ [NI *(kg oTS)⁻¹] ein Ertragsniveau das deutlich über den von Getreide und Wiesengrasbeständen liegt. Die Faserhirse liefert mit 6.729 CH₄ [Nm³*ha⁻¹] ähnlich hohe Ertragswerte wie Mais.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Durch die Biogaserzeugung kann erneuerbare Energie mit hohem ökologischem Wirkungsgrad erzeugt werden. Für die Vergärung eignet sich eine Vielzahl an Stoffen: Wirtschaftsdünger, Energiepflanzen, Restpflanzen, Nebenprodukte der Lebensmittel- und Rohstoffherstellung etc. Die Biomasse muss in standortangepassten nachhaltigen und vielfältigen Fruchtfolgesystemen erzeugt werden. Untersuchungen des ILT erbrachten umfangreiche praktische Empfehlungen zur Optimierung der Biogaserzeugung aus Grünland, Getreide und Mais. Derzeit werden verstärkt Fragen zur Fruchtfolgegestaltung, Genotypenauswahl und Biogastechnologie bearbeitet.

Die Biogaspotentiale sind größer als bislang angenommen, da sich neue Möglichkeiten der Biomasseerzeugung in vielfältigen Fruchtfolgesystemen, der Kofermentation mit Wirtschaftsdüngern und hochwertigen organischen Stoffen aus den der Landwirtschaft vor- und nachgelagerten Bereichen bieten. Zu wel-

chem Anteil und in welchem Zeitraum die dargestellten Potentiale tatsächlich in die Praxis umgesetzt werden können, hängt im Wesentlichen von den herrschenden politischen Rahmenbedingungen ab.

Für den deutschsprachigen Raum wurde von einer Expertengruppe aus Deutschland und Österreich umfangreiches Datenmaterial zur Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zusammengetragen (KTBL 2005). Es werden Mittelwerte für Biogas- und Methanerträge aus Laborversuchen für verschiedenste Gärsubstrate angegeben. Die vorliegende Datenbasis gibt damit wertvolle Richtwerte, die in Zukunft laufend aktualisiert werden sollten. Eine Weiterentwicklung sollte in Hinblick der Darstellung von standortsspezifischen Unterschieden erfolgen. Nur so können bestehende Ertragsreserven, regionalspezifisch und möglichst vollständig ausgeschöpft werden.

6. Danksagung

Die Untersuchungen werden im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ – einer Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) – durchgeführt. Finanzierungspartner sind: Raiffeisen Ware Austria AG, Pioneer Saaten GmbH, Monsanto Agrar Deutschland, Limagrain Nickerson GmbH, IPUS GmbH, GE Jenbacher AG, SEEG Reg. Gen.m.b.H, Nawaros GmbH, Schmack Biogas AG.

7. Literatur

Literatur zum Thema ist bei den Autoren erhältlich.

Amon, Th., Kryvoruchko, V., Amon, B., Zollitsch, W., Mayer, K., Buga, S., Amid, A. (2004). Biogaserzeugung aus Mais – Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh- bis spätreifen Maissorten, In: Bericht über die 54. Tagung 2003 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft am 25.- 27. November 2003. S. 59 – 68.

Amon Th. in Energy – Zeitschrift der österreichischen Energieagentur. (2005) Biogaserzeugung aus Rohstoffen der Landwirtschaft, Praxisrelevante Neuigkeiten. S. 29
Anderl, M.; Freudenschuß, A.; Halper, D.; Kurzweil, A.; Poupá, St.; Wappel, D.; Wieser, M. (2005): Austrias National Inventory Report 2005. Hrsg: Umweltbundesamt

Degenhardt, H. (2005). Optimierung des Biogasertrages durch angepasste Maissorten und richtiges Anbaumanagement, Feldberater 1/2005, PIONEER Hi-Bred Northern Europe Sales Division GmbH Apenser Strasse 198 21614 Buxtehude; www.pioneer.com.

Gugele, B.; Rigler, E.; Ritter, M. (2005): Kyoto-Fortschrittsbericht Österreich 1990-2003 (Datenstand 2005). Hrsg.: Umweltbundesamt.

KTBL- Taschenbuch (1992/93): Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft, 16. Auflage.

KTBL (2005): Gasausbeuten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Münster, Landwirtschaftsverlag. 24 S.

Schmidt, W. (2005). Maiszüchtung für die Energieerzeugung, KWS SAAT AG, Grimsehlstraße 31, 37574 Einbeck, Vortrag anlässlich der Wissenschaftlichen Tagung des Dachverbandes Agrarforschung (DAF) e.V. Braunschweig am 26. und 27.10.2005.

Walla, Ch.; Schneeberger, W. (2003): Analyse der Investitionskosten und des Arbeitszeitbedarfs landwirtschaftlicher Biogasanlagen in Österreich. Berichte über Landwirtschaft, 81, 4, 527-535.