



Vereinigung der Pflanzzüchter  
und Saatgutkaufleute Österreichs

**Tagungsband**

## **54. Tagung**

**25. - 27. November 2003**

**HYBRIDMAIS, ZÜCHTUNG UND VERWERTUNG**

**(MAIZE BREEDING AND UTILISATION)**



Gumpenstein

Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft

# Biogaserzeugung aus Mais - Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh- bis spätreifen Maissorten

TH. AMON, V. KRYVORUCHKO, B. AMON, W. ZOLLITSCH, K. MAYER, S. BUGA und A. AMID

## 1. Einleitung und Problemstellung

Die Biogaserzeugung aus Biomasse landwirtschaftlicher Herkunft gewinnt zunehmend an Bedeutung. Als Substrate dienen vielfältige Energiepflanzen und -sorten von Mais, Wiesengras, Klee gras, Sudangras, Futterrüben u.v.a.m. und die verschiedenen Formen von Wirtschaftsdüngern landwirtschaftlicher Nutztiere. Mais hat als C<sub>4</sub>-Pflanze eine hohe Ertragsfähigkeit und ist deshalb für die Biogaserzeugung besonders gut geeignet.

Für den wirtschaftlichen Erfolg der Biogaserzeugung sind neben den Kosten für Investitionen und Betrieb der Anlagen vor allem das Biogas- und Methanbildungsvermögen des eingesetzten Maises und der energetische Wirkungsgrad der anaeroben Gärung von wesentlicher Bedeutung. Kenntnisse über das Gasbildungsvermögen und die erforderlichen Abbauezeiten im Fermenter sind für die optimale Anpassung der Verfahrenstechnik von Biogasanlagen und für die richtige Dimensionierung der baulich-technischen Bereiche essentiell.

Das Biogas- und Methanbildungsvermögen von Energiemais wird hauptsächlich vom Gehalt methanogener Substanzen wie z.B. Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Stärke und Zucker und deren mikrobieller Verfügbarkeit geprägt. Für die Biogaserzeugung wichtige Qualitätsmerkmale von Energiemais lassen sich darauf zurückführen. Einflüsse auf die Qualität von Energiemais für die Biogaserzeugung wirken in verschiedenen Phasen entlang der Erzeugungs- und Nutzungskette (Abbildung 1).

Die Qualität von Energiemais zur Biogasnutzung wird bereits auf dem Feld (Phase I) wesentlich geprägt. Neben Standortfaktoren bestimmen vor allem pflanzenbauliche Maßnahmen, wie Sortenwahl, Kulturführung und Anbauverfahren und die Reifeentwicklung der Pflanzen zum Zeitpunkt der Ernte den Gehalt und die Verfügbarkeit methanogener Substanzen in den Pflanzen. Im Bereich der Ernte, Konservierung und Biomassebereitstellung (Phase II) beeinflussen das eingesetzte Ernte- und Konservierungsverfahren, die Gärgutaufbereitung und evtl. verwendete Zusätze die Gärroh-

stoffqualität. Bei der Methangärung (Phase III) findet die Transformation der Energie im Gärgut in Methanenergie des Biogases statt. Hier wirken Milieubedingungen der anaeroben Gärung wie Temperatur, pH-Wert oder möglicherweise auftretende Hemmstoffe und der Gehalt an methanogen verfügbaren Substanzen im Gärgut auf den Verlauf der Gärung. Aus allen Einflussgruppen der Phasen I bis III resultieren Menge und Qualität des Biogases, sowie der Gehalt an Pflanzennährstoffen im Gärrückstand (Phase IV).

## 2. Ziele

Untersuchungen werden durchgeführt, um Energiemais für die Biogaserzeugung optimal einsetzen zu können. Hierzu werden folgende Teilziele verfolgt:

- Der Methanertrag pro Hektar soll möglichst hoch sein. Im Verlauf der Vegetation werden wesentliche Ertragsfaktoren bestimmt.
- TS- und oTS- Ertrag pro Hektar von 13 früh- bis spätreifen Maissorten (FAO 240 - 600) werden bestimmt. Die Ernte erfolgt jeweils zum Reifestadium der Milch-, Teig- und Vollreife.
- Das spezifische Methanbildungsvermögen und die Biogasqualität der gewonnenen Gärrohstoffe werden untersucht.
- Der Methanhektarertrag der verschiedenen Sorten zum jeweiligen Erntezeitpunkt wird bestimmt, um den Einfluss der Reifeentwicklung von früh- bis spätreifen Maissorten auf den flächenbezogenen Methanertrag zu ermitteln.
- Für die Ernte von Mais sollen Zeitspannen gefunden werden, bei denen ein maximaler Methanhektarertrag erreicht wird.

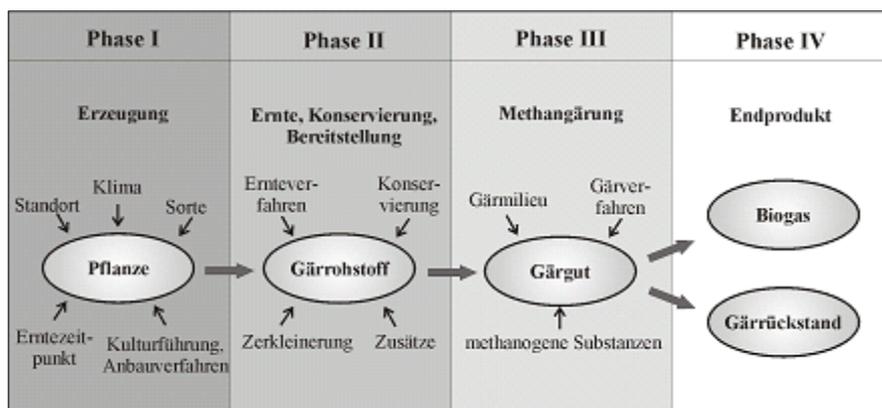


Abbildung 1: Einflüsse auf die Qualität der Pflanzenbiomasse, den Gärrohstoff und das Gärgut bei der Nutzung von Energiemais in der Biogaserzeugungskette

**Autoren:** Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas AMON, Vitaly KRYVORUCHKO, B. AMON, S. BUGA, A. AMID, Institut für Landtechnik im Department Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Str. 82, A-1190 WIEN; W. ZOLLITSCH, Institut für Nutztierwissenschaften im Department Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Str. 82, A-1190 WIEN und Dipl.-Ing. Dr. Karl MAYER, Landeskommission für Land- und Forstwirtschaft Steiermark, Hamerlinggasse 3, A-8011 GRAZ



② Die Ertragsleistung verschiedener Ernteverfahren wird untersucht.

Hierzu werden Methanhektarerträge verschiedener Ernteverfahren miteinander verglichen: Ganzpflanzen-, Körner- und CCM-Verfahren.

③ Der Einfluss der Silagebereitung von Mais auf das Methanbildungsvermögen wird untersucht. Dazu wird das Methanbildungsvermögen von siliertem Mais einer Sorte mit Grünmais derselben Sorte verglichen.

④ Aus den bislang vorliegenden Untersuchungsergebnissen werden erste Empfehlungen und Vorschläge abgeleitet:

- Qualitätskriterien von Energiemais für die Biogasfermentation,
  - Sorteneignung und erzielbare Methanhektarerträge,
  - anzustrebende Erntezeitspannen,
  - geeignete Ernteverfahren,
  - erforderliche Verweilzeiten für einen weitgehenden Abbau des Gärgutes im Fermenter.
- ⑤ Das Methanbildungsvermögen von Mais soll anhand der Inhaltsstoffe berechnet werden können. Für die praktische Kalkulation des Methanbildungsvermögens wird auf der Basis der bislang

vorliegenden Daten zu den Inhaltsstoffen und zum anaeroben Stoff- und Energieumsatz von Mais ein weiterentwickeltes Berechnungsverfahren (Methanenergiebewertungssystem) vorgeschlagen.

### 3. Material und Methode

Die Untersuchungen wurden mit folgenden Maissorten durchgeführt:

- Sortenversuche des Jahres 2002 der LLK Steiermark, Standort Ludersdorf, einem Gunststandort für den Maisanbau mit den Sorten: Benicia (FAO 300), Ribera (FAO 390), Phönix (FAO 290), Atalante (FAO 290), Saxxo (FAO 380)



Abbildung 2: Maisbestand des Standortes Ludersdorf (Steiermark) zu drei Erntezeitpunkten und Zerkleinerungsgrad des Silomaises (nach AMON et al., 2003A)

- Maissorten von Sortenversuchen des selben Standortes des Jahres 2003: Tonale, X1078F, Tixxus, LZM (alle FAO 600)
- Mais von Sortenversuchen des Jahres 2001 der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf in Niederösterreich, einem Trockenstandort: PR39G12 (FAO 240), Sandrina (FAO 270), Clarica (FAO 310), Monalisa (FAO 360), Ribera (FAO 390)

Ernte- und Ertragsermittlungen der Gärrohstoffe erfolgten im Verlauf der Vegetation jeweils zu drei verschiedenen Erntezeitpunkten meist in der Milch-, Teig- und Vollreife der Pflanzen (*Abbildung 2*).

Genaue Beschreibungen zum Anbau, zur Kulturführung, zur Ernte und zur Gewinnung von Mais und zur Aufbereitung der Gärrohstoffe finden sich in AMON et al. (2002, 2003A).

Untersuchungen des Stoff- und Energiewechsels der Methangärung von Mais wurden in einer Eudiometeranlage mit 11 Batch-Fermentern (60 Fermenter) bei einer Temperatur von 38 °C nach DIN-Norm 38414 in zwei bis vierfacher Wiederholung durchgeführt. Genaue Beschreibungen der methodischen Grundlagen dieses Teils der Untersuchungen und der Versuchsbedingungen, des Versuchsaufbaus, der Versuchsdurchführung und der Grundlagen zur energetischen Bewertung von Gärrohstoffen für die Methanbildung (Methanenergiewert) finden sich in AMON et al. (2002, 2003A).

Die Aussaat der spätreifen Maissorten des Standortes Ludersdorf, Steiermark, erfolgte am 25. April 2003. Die erste Ernte wurde am 31. Juli (97 Tage), die zweite Ernte am 25. August (122 Tage) und die dritte Ernte am 23. September (151 Tage) durchgeführt.

Die Aussaat der früh- und mittelfrührefen Sorten desselben Standortes erfolgte am 30. April 2002. Die erste Ernte wurde am 8. August (100 Tage), die zweite Ernte am 12. September (143 Tage) und die dritte Ernte am 29. Oktober (190 Tage) durchgeführt.

Die Parzellengröße betrug jeweils 14 m<sup>2</sup>. Der Reihenabstand war 70 cm mit 17 cm Abstand in der Reihe. Der Anbau erfolgte in dreifacher Wiederholung.

Auf dem Standort Groß-Enzersdorf, Niederösterreich, wurden die Maissorten am 26. April 2001 ausgesät. Aus dem Rei-

henabstand von 75 cm und dem Abstand in der Reihe von 15,7 cm ergab sich eine Kornzahl von 85.000/ha. Die Maisernten fanden am 21. August 2001 (1. Ernte, 118 Tage nach der Saat) am 03. September (2. Ernte, 131 Tage nach der Saat) und am 19. September (3. Ernte, 147 Tage nach der Saat) statt.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend werden der Einfluss der Silagebereitung auf das spezifische Methanbildungsvermögen und der Einfluss des Erntezeitpunktes auf den Maisertrag, auf das spezifische Methanbildungsvermögen und auf den Methanhektarertrag der verschiedenen Maissorten gezeigt. Daran anschließend wird der Einfluss des Ernteverfahrens auf den Methanhektarertrag dargestellt. Eine weiterentwickelte Gleichung zur Berechnung des Methanbildungsvermögens von Energiemais wird dargestellt und die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse diskutiert.

### 4.1 Einfluss der Silagebereitung auf das spezifische Methanbildungsvermögen

Untersuchungen zum Einfluss der Silagebereitung auf das spezifische Methanbildungsvermögen von Mais wurden mit der Sorte Ribera (FAO 390) durchgeführt. Das spezifische Methanbildungsvermögen von siliertem Mais lag bei 289 Nl CH<sub>4</sub> pro kg oTS. Im Vergleich dazu lag das spezifische Methanbildungsvermögen von grünem, nicht siliertem Mais bei 225 Nl CH<sub>4</sub> pro kg oTS, also um 25 % niedriger. Es ist wahrscheinlich, dass durch die Milchsäuregärung für die Methanogenese wichtige Vorläufersubstanzen wie z.B. Milchsäure (Lactat), Essigsäure (Acetat) und verschiedene weitere Nährsubstrate wie Methanol, Alkohole, Ameisensäure (Formiat), H<sup>+</sup> und CO<sub>2</sub> bereits gebildet werden und in der Silage vorliegen. Es kann auch sein, dass durch den Siliervorgang die Rohfaserfraktion im Gärrohstoff teilweise voraufgeschlossen wird und sich dadurch die Verfügbarkeit der Nährstoffe für den methanogenen Stoffwechsel verbessert. Bei Klee gras wurde ebenfalls ein positiver Effekt der Silierung auf das Methanbildungsvermögen festgestellt (AMON et al., 2002).

### 4.2 Einfluss des Erntezeitpunktes auf den Maisertrag, auf das spezifische Methanbildungsvermögen und auf den Methanhektarertrag von Mais

Die Untersuchungsergebnisse werden für früh- bis mittelfrührefe Sorten (FAO 240 bis 390) und spätreife Sorten (FAO 600) getrennt dargestellt.

#### 4.2.1 Früh- bis mittelfrührefe Sorten

*Tabelle 1* zeigt den oTS-Ertrag, das spezifische Gasbildungsvermögen (Biogas und Methan) und den Methanhektarertrag im Verlaufe der Vegetation der frühen bis mittelfrührefen Sorten der Anbaujahre 2001/2002 der Standorte Groß-Enzersdorf und Ludersdorf.

Der Versuchsstandort Ludersdorf gehört zu den ausgesprochenen Gunstlagen für den Maisanbau. Die höchsten oTS-Erträge wurden meist beim zweiten Erntetermin nach 143 Wuchstagen im Vegetationsstadium Teigreife der Körner erreicht. Die Sorten Benicia und Saxxo hatten beim zweiten Erntetermin mit 34,4 bzw. 34,2 t oTS pro ha von allen Sorten die höchsten oTS-Erträge. Die Sorten Ribera, Phönix und Atalante erreichten beim zweiten Erntetermin oTS-Erträge von 26,9, 25,0 bzw. 25,7 t oTS pro ha. Bei diesen Sorten führte die Ernte vollreifer Pflanzen zu keinen nennenswerten Ertragszuwächsen mehr. Bei den Sorten Benicia und Saxxo nahmen die oTS-Erträge vollreifer Pflanzen aufgrund von Bruch- oder Atmungsverlusten wieder ab.

Im Vergleich dazu war das Ertragsniveau von Mais vom Trockenstandort Groß-Enzersdorf deutlich niedriger. Höchste Erträge wurden auf diesem Standort von der Sorte PR39G12 (20,2 t oTS pro ha) im Vegetationsstadium "Ende Teigreife der Körner" (1. Ernte) und von der Sorte Ribera (21,1 t oTS pro ha) im Vegetationsstadium "Beginn physiologische Reife" (2. Ernte) erreicht. Bis zur physiologischen Reife ging der oTS Ertrag der Sorten leicht zurück. Eine Ausnahme stellt die Sorte Clarica dar.

Wie *Tabelle 1* weiterhin zeigt, nahm im Verlaufe der Vegetation das spezifische Methanbildungsvermögen der Sorten beider Standorte kontinuierlich ab. Das spezifische Methanbildungsvermögen der Maissorten vom Standort Ludersdorf

**Tabelle 1: oTS-Ertrag, spezifisches Gasbildungsvermögen (Biogas, Methan) und Methanhektarertrag früh- und mittel-frühreifer Maissorten der Anbaujahre 2001/2002.**

Sorte/Ernte	oTS-Ertrag [t oTS/ha]	spez. Gasbildungsvermögen [Nm <sup>3</sup> / t oTS]		Methanhektarertrag [m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha]
		Biogas	Methan	
Standort Ludersdorf, Anbaujahr 2002 <sup>1)</sup>				
<b>Benicia 1. Ernte FAO 300</b>	27,7	512	284	7.861
Benicia 2. Ernte	34,4	440	247	<b>8.529</b>
Benicia 3. Ernte	28,6	456	241	6.890
<b>Ribera 1. Ernte FAO 390</b>	24,7	496	261	<b>6.451</b>
Ribera 2. Ernte	26,9	454	237	6.385
Ribera 3. Ernte	27,3	398	205	5.592
<b>Phönix 1. Ernte FAO 290</b>	20,8	545	286	<b>5.946</b>
Phönix 2. Ernte	25,0	426	224	5.586
Phönix 3. Ernte	24,4	426	208	5.071
<b>Atalante 1. Ernte FAO 290</b>	17,9	410	210	3.743
Atalante 2. Ernte	25,7	413	206	<b>5.288</b>
Atalante 3. Ernte	26,3	387	195	5.126
<b>Saxxo 1. Ernte FAO 380</b>	23,9	500	256	6.116
Saxxo 2. Ernte	34,2	440	232	<b>7.927</b>
Saxxo 3. Ernte	27,0	420	216	5.827
Standort Groß-Enzersdorf, Anbaujahr 2001 <sup>1)</sup>				
<b>PR39G12, 1. Ernte FAO 240</b>	20,2	454	293	<b>5.916</b>
PR39G12 2. Ernte	16,9	408	272	4.615
PR39G12 3. Ernte	16,2	403	258	4.173
<b>Sandrina 1. Ernte FAO 270</b>	14,2	535	375	<b>5.314</b>
Sandrina 2. Ernte	14,5	537	362	5.237
Sandrina 3. Ernte	11,9	467	299	3.553
<b>Clarica 1. Ernte FAO 310</b>	16,4	490	332	5.434
Clarica 2. Ernte	16,7	488	322	5.374
Clarica 3. Ernte	18,2	493	335	<b>6.095</b>
<b>Monalisa 1. Ernte FAO 36</b>	13,8	422	275	3.802
Monalisa, 2. Ernte	16,6	420	285	<b>4.717</b>
Monalisa 3. Ernte	12,4	393	247	3.064
<b>Ribera 1. Ernte FAO 390</b>	19,1	463	289	5.523
Ribera 2. Ernte	21,1	488	311	<b>6.571</b>
Ribera 3. Ernte	17,1	432	280	4.770

<sup>1)</sup> Ernte nach 100 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "in der Milchreife der Körner"; <sup>2)</sup> Ernte nach 143 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "in der Teigreife der Körner"; <sup>3)</sup> Ernte nach 190 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "Physiologische Reife" der Pflanzen; <sup>1\*)</sup> Ernte nach 118 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "Teigreife/Ende Teigreife der Körner"; <sup>2\*)</sup> Ernte nach 131 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "Ende Teigreife/Beginn physiologische Reife"; <sup>3\*)</sup> Ernte nach 147 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "Physiologische Reife der Pflanzen"

lag zum ersten frühen Erntetermin im Durchschnitt bei 259 NI CH<sub>4</sub> pro kg oTS. Im Vergleich dazu lag das spezifische Methanbildungsvermögen von Sorten des Standortes Groß-Enzersdorf zum ersten, frühen Erntetermin bei 313 NI CH<sub>4</sub> pro kg oTS.

Untersuchungen von ÖCHSNER et al. (2003) zum Methanbildungsvermögen verschiedener früh- bis sehr spätreifen Maissorten zeigen, dass bei Maissorten, die weitgehend reif mit einem Trockensubstanzgehalt von 30 und 42 % geerntet wurden, der durchschnittliche Normmethanertrag bei 375 NI CH<sub>4</sub> pro kg oTS liegt. Sorten, die vor der Teigreife geerntet wurden und einen Trockensubstanzgehalt von 22,2 und 19,8 % hatten, brachten im Versuch einen um 6,5 bis 17,3 % niedrigeren substratspezifischen Methanertrag in Höhe von 310 bis 350 NI

CH<sub>4</sub> pro kg oTS. Die Untersuchungen wurden in diskontinuierlichen Fermentern nach dem "Hohenheimer Biogasertragstest" über eine Dauer von 36 Tagen bei 37 °C durchgeführt.

Wie *Tabelle 1* zeigt, ist neben dem Biomasseertrag (t oTS/ha) auch der Methanhektarertrag beider Standorte z.T. deutlich unterschiedlich. Der optimale Erntetermin von Energiemais war auch sortenspezifisch unterschiedlich. Während die Sorten Benicia (FAO 300) mit 8.529 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha, Saxxo (FAO 380) mit 7.927 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha und Atalante mit 5.288 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha zur zweiten Ernte nach 143 Wachstumstagen im Vegetationsstadium Teigreife der Körner den höchsten Methanhektarertrag erreichten (Standort Ludersdorf), zeigten die Sorten Ribera (FAO 390) mit 6.451 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha und Phönix (FAO 290) mit 5.946 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha den höchsten

Methanertrag schon zum Zeitpunkt der ersten Ernte nach 100 Wachstumstagen im Vegetationsstadium Milchreife der Körner. Ertragsminderungen von 668 (7,8 %) bis 1.811 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha (22,8 %) können im Falle der Sorten Benicia und Saxxo durch eine zu frühe Ernte entstehen. In diesem Falle ist das Biomassebildungspotential der Sorten nicht ausgeschöpft. Ertragseinbußen können aber auch durch Minderung der spezifischen Methanausbeute und Bruch- oder Atmungsverluste der Pflanzen entstehen, wenn die Ernte zu spät erfolgt. Eine zu späte Ernte führt vor allem bei Sorten mit hohem Methanertragspotential zu deutlichen Mindererträgen von bis zu 1.639 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha (19,2 %, Benicia) bzw. 2.055 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha (25,9 %, Saxxo).

Auf dem Standort Groß-Enzersdorf wurden zur ersten Ernte im Vegetationssta-

dium "Teigreife der Körner" die höchsten Methanhektarerträge von den frühen Sorten PR39G12 (5.916 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha) und Sandrina (5.314 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha) erreicht. Zu diesem Zeitpunkt lag der Trockensubstanzgehalt in der Pflanzenfrischmasse bei 35 % bzw. 31 %. Die Sorten Monalisa und Ribera erreichten zum Vegetationsstadium "Beginn physiologische Reife" das Ertragsmaximum von 4.717 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha bzw. 6.571 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha. Der Trockensubstanzgehalt in der Pflanzenfrischmasse lag bei 44 % bzw. 47 %. Die Sorte Clarica erreichte das Ertragsmaximum von 6.095 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha zur "Physiologischen Reife der Pflanzen" bei einem TS Gehalt von 48 %.

#### 4.2.2 Spätreife Sorten des Anbaujahres 2003

Abbildung 3 zeigt die oTS-Biomasseentwicklung der spätreifen Maissorten des Standortes Ludersdorf im Vegetationsverlauf. Ertragszuwächse waren bei allen spätreifen Sorten im Gegensatz zu den

früh- und mittelfrühere Sorten bis zum Stadium der physiologischen Reife der Pflanzen zu beobachten.

Im Vegetationsstadium der Milchreife (97 Wachstumstage) erreichte Tonale einen Biomasseertrag von 17,7 t oTS /ha, von X1078F wurden 18,4 t oTS/ha geerntet, Tixxus erbrachte einen Ertrag von 18,3 t oTS /ha und LZM 600 einen Ertrag von 20,2 t oTS /ha. Bis zum Vegetationsstadium der Teigreife (122 Wachstumstage) stieg der Biomasseertrag der Sorten auf 21,9 bis 26,7 t oTS pro Hektar. Bis zur physiologischen Reife der Pflanzen (151 Wachstumstage) wurde von den Sorten 26,9 bis 31,4 t oTS Biomasse pro Hektar gebildet.

Für die Bestimmung des spezifischen Methanbildungsvermögens der Gärrohstoffe muss neben der Biogasmenge auch der Methangehalt im Biogas bekannt sein. Aus technischer und umweltbezogener Sicht sind der Schwefelwasserstoff- und der Ammoniakgehalt des Bio-

gases weitere wichtige Qualitätsparameter. Tabelle 2 zeigt beispielhaft Mittelwerte der Messungen (MW) und die Standardabweichung (s) der Mittelwerte der genannten Inhaltsstoffe im Biogas bei der Vergärung spätreifer Maissorten.

Der Methangehalt im Biogas lag zwischen 55 und 62 Vol. %. Wie bei der Vergärung von Silomais zu erwarten ist, waren der Schwefelwasserstoff- und der Ammoniakgehalt im Biogas vergleichsweise gering.

In weiterer Folge werden die Einflüsse auf den Methanhektarertrag der spätreifen Maissorten dargestellt.

Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des Methanhektarertrages im Vegetationsverlauf. Dargestellt ist auch das spezifische Methanbildungsvermögen im jeweiligen Vegetationsstadium.

Wie zu erkennen ist, nimmt im Verlauf der Vegetation das spezifische Methanbildungsvermögen ab, während der Methanhektarertrag der Sorten bis zur physiologischen Reife der Pflanzen zunimmt.

Bei den Sorten PR 34G13 und LZM 600 waren die Zuwächse des flächenbezogenen Methanertrages beim Übergang von der Milch- zur Teigreife der Pflanzen besonders groß. Diese Sorten zeigten bis zur physiologischen Reife der Pflanzen keine nennenswerten Zuwächse des Methanhektarertrages mehr.

Die Sorte Tonale zeigte den stärksten Ertragszuwachs beim Übergang von der Teigreife zur physiologischen Reife der Pflanzen. Der Methanhektarertrag der Sorten war im Stadium der physiologischen Reife der Pflanzen mit 7.100 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha bis 9.000 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha am höchsten.

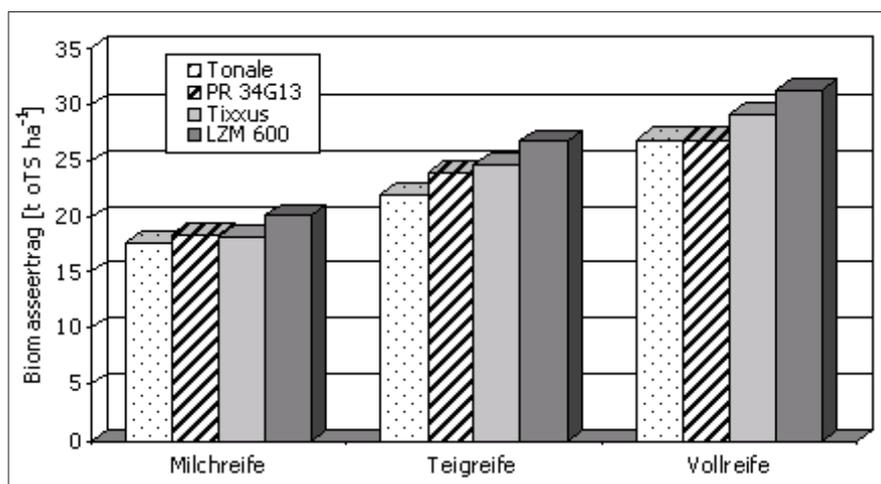


Abbildung 3: Entwicklung des Biomasseertrages (oTS-Ertrag) von spätreifen Maissorten (FAO 600) im Vegetationsverlauf.

Tabelle 2: Methan-, Schwefelwasserstoff- und Ammoniakgehalt im Biogas aus Silomaisilage spätreifer Sorten

Variante	CH <sub>4</sub> - Gehalt in Vol. %			H <sub>2</sub> S - Gehalt in ppm			NH <sub>3</sub> - Gehalt in ppm		
	MW	N	± s	MW	n	± s	MW	n	± s
Tonale 1E.	59	10	1,6	89	6	21,1	23,5	3	0,7
Tonale 2E.	59	10	2,4	160	7	52,6	29,0	3	5,3
Tonale 3E.	61	10	4,5	154	6	69,2	31,7	3	2,9
X1078F 1E.	60	10	2,2	142	7	56,8	21,7	3	2,9
X1078F 2E.	62	10	2,7	204	7	50,6	23,3	3	2,9
X1078F 3E.	57	10	5,0	127	7	49,6	14,3	3	4,6
Tixxus 2E.	57	10	12,3	121	7	57,0	17,3	3	6,8
LZM 1E.	54	10	11,7	77	7	28,7	15,0	2	7,1
LZM 2E.	61	10	8,3	127	7	45,6	16,0	2	5,7
LZM 3E.	55	10	13,3	205	7	125,9	15,5	2	17,7

1 E. = 1. Erntetermin nach 97 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "in der Milchreife der Körner"; 2 E. = 2. Erntetermin nach 122 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "in der Teigreife der Körner"; 3 E. = 3. Erntetermin nach 151 Wachstumstagen im Vegetationsstadium "Physiologische Reife der Pflanzen"

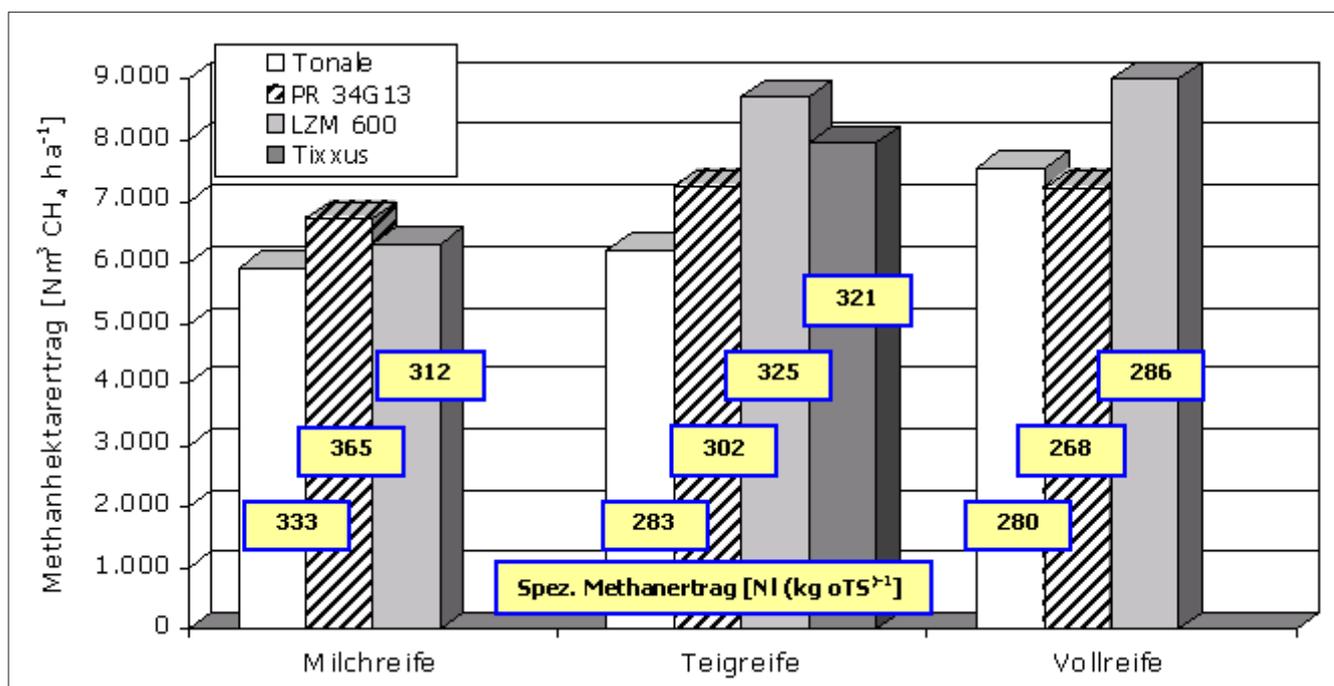


Abbildung 4: Entwicklung des spezifischen Methanertrages und des Methanhektarertrages spätreifer Maissorten im Verlauf der Vegetation.

Die Untersuchungen zeigen, dass sich im Verlauf der Vegetation die Ertragsfaktoren für den Methanhektarertrag von Energiemais

- ① oTS - Biomasseertrag pro Hektar und
  - ② spezifisches Methanbildungsvermögen
- gegenläufig entwickeln.

Neben der Sorte und dem Standort kommt damit dem Zeitpunkt der Ernte die dominierende Rolle für den Methanhektarertrag zu. Der richtige Zeitpunkt für die Ernte von Energiemais ist dann gegeben, wenn in der Kombination aus oTS-Ertrag pro Hektar und dem spezifischen Methanbildungsvermögen der maximale Methanhektarertrag erreicht wird. Nach den bislang vorliegenden Untersuchungsergebnissen ist dies bei früh- und mittelspätreifen Sorten (FAO 240 bis 390) in der Regel im Vegetationsstadium Ende Teigreife der Fall. Der TS-Gehalt der Ganzpflanzen liegt dann etwa zwischen 35 und 39 % TS in der Frischmasse. Wie die bislang vorliegenden Untersuchungen der spätreifen Sorten (FAO 600) zeigen, ist es wahrscheinlich, dass bei der vorherrschenden Ertragslage (TS-Biomasse) der spätreifen Sorten der optimale Erntetermin weiter in Richtung der physiologischen Reife der Pflanzen liegt. Der TS-Gehalt der Ganzpflanzen liegt in diesem Fall bei über 44 % TS in der Frischmasse.

Weiterhin kann gesagt werden, dass auf guten bis sehr guten Maisstandorten späte Sorten besser geeignet sind als frühe, weil sie dort ihr Biomassebildungsvermögen besser ausnutzen können als frühreife Sorten.

Nach 39 - 42 Gärtagen waren 95 % der maximal erreichbaren Methanmenge aus den Silomaisanlagen gebildet worden. Daraus ergibt sich für die Praxis unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlages von 10 % eine erforderliche hydraulische Verweilzeit von 41 - 44 Gärtagen, bei einer Gärtemperatur von 38°C. Dieser Wert muss auf praktischen Biogasanlagen validiert werden.

#### 4.3 Einfluss des Ernteverfahrens auf den Methanhektarertrag

Für die Maisernte steht eine Reihe von Ernteverfahren zur Verfügung, die prinzipiell auch für die Ernte und Gärgutgewinnung von Energiemais zur Biogaserzeugung eingesetzt werden können. Im Wesentlichen sind es Verfahren:

- ① zur Silomaisgewinnung (Ganzpflanzensilage)
- ② zur Körnergewinnung (Trockenkörner oder Maiskörnsilage)
- ③ zur Kolbengewinnung (CCM-Silage)

Welches der Verfahren sich zur Gärrohstoffgewinnung von Mais für die Biogaserzeugung bevorzugt eignet, wird primär

vom Methanertrag pro Hektar bestimmt, den das jeweilige Verfahren erreicht. Durch das eingesetzte Verfahren wird festgelegt, welcher TS-Ertrag pro Hektar festgelegt, welcher TS-Ertrag pro Hektar geerntet werden kann. Das Erntegut (Ganzpflanzensilage, Körner oder CCM) bestimmt die spezifische Methanausbeute.

Abbildung 5 zeigt den Verlauf des spezifischen Methanertrages von Maisganzpflanzensilage und von Silagen der Körner, von CCM und von der Restpflanze. Die Silagen wurden von Mais der Sorte Benicia (FAO 300) gewonnen. Die Ernte erfolgte in der Milchrife bei einem TS-Gehalt der Ganzpflanzen von 22,3 %. Weitere Erntetermine folgten in der Teigreife (TS-Gehalt 36,5 %) und in der Vollreife (TS-Gehalt 48,4 %).

Nach 60 Gärtagen wurden aus der Ganzpflanzensilage 326 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS gebildet. CCM-Silage erreichte ein spezifisches Methanbildungsvermögen von 316 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS. Aus den Körnern wurden 309 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS gebildet. Silage der Restpflanze bildete 274 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS. Der Bruttoenergiegehalt der Ganzpflanzensilage lag bei 19,2 MJ/kg oTS. Der von Restpflanzensilage lag bei 18,2 MJ/kg oTS. CCM Silage wies einen Bruttoenergiegehalt von 17,3 MJ/kg oTS, Körnersilage von 16,7 MJ/kg oTS auf. Analysen des Rohprotein-, Rohfett-, Stärke-, Cellulose-, Hemizellulose- und Lig-

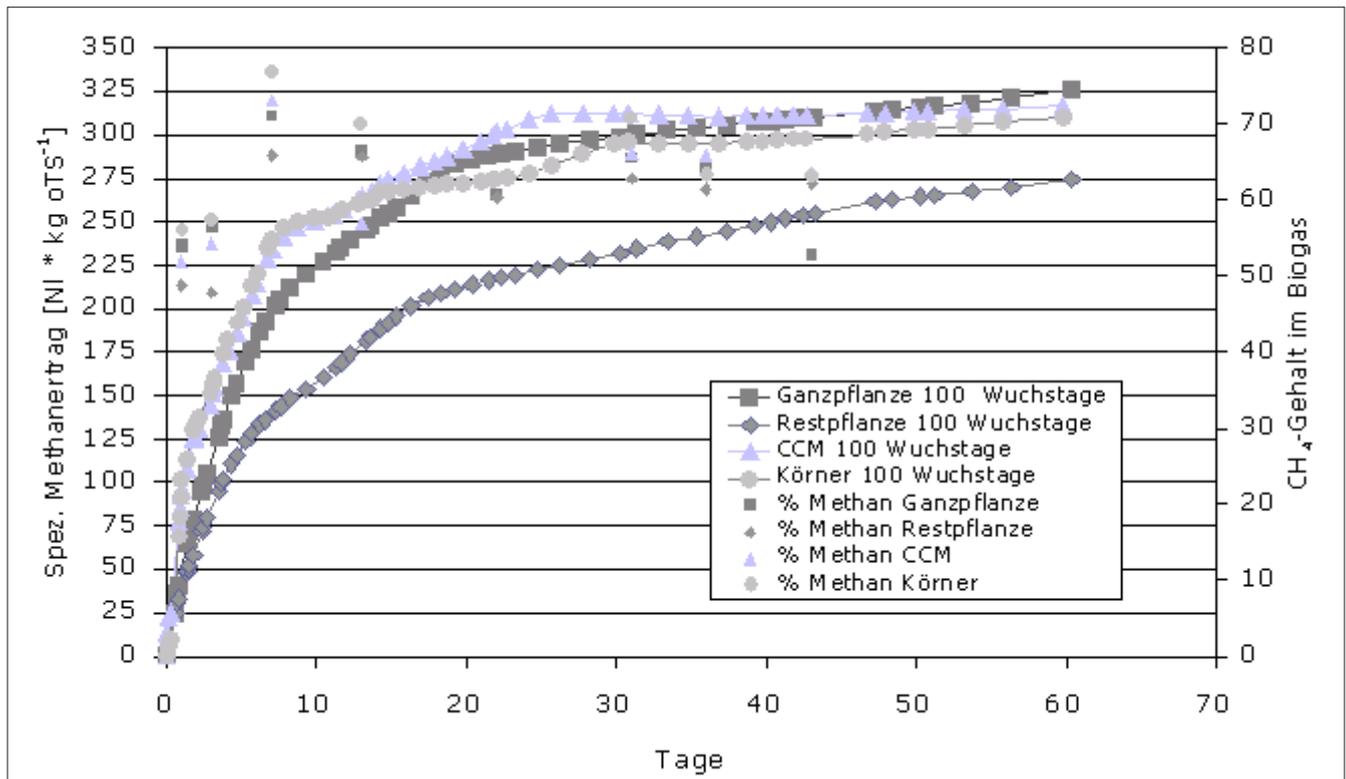


Abbildung 5: Kumulative Methanbildung aus Silagen der Ganzpflanze, der Restpflanze (Pflanze ohne Kolben), des Kolbens und der Körner von Mais der Sorte Benicia (FAO 300).

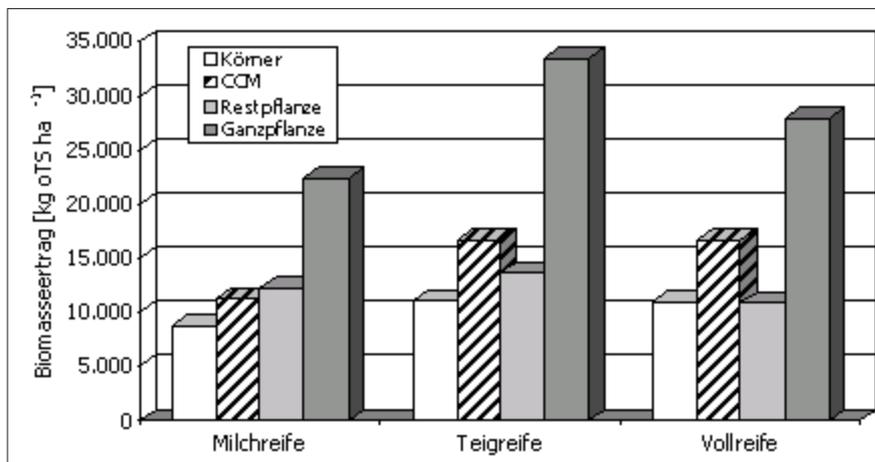


Abbildung 6: Biomassehektarertrag von Silagen der Ganzpflanze, der Restpflanze (Pflanze ohne Kolben), des Kolbens und der Körner von Mais der Sorte Benicia (FAO 300) bei verschiedenen Erntezeitpunkten

ningehaltes der Silagen zeigen, dass Ganzpflanzensilage insgesamt ein höheres methanogenes Potential aufweist als CCM- und Körnersilage. Im Verlauf der Vegetation nahm das methanogene Potential der Silagen ab. Der Biomasseertrag der Ganzpflanzen und der Maispflanzenteile wurde zu jedem Erntetermin ermittelt und der Methanhektarertrag errechnet (Abbildung 6, 7).

Wie Abbildung 7 zeigt, lag der Methanhektarertrag von Ganzpflanzensilage

deutlich über dem der Pflanzenteile. Im Stadium der Teigreife wurden die höchsten Methanhektarerträge erreicht. Zu diesem optimalen Erntezeitpunkt wurden von der Ganzpflanzensilage 8.954 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha gebildet. Die CCM-Variante erzielte 5.069 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha, die Restpflanzen erzeugten 3.291 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha und die Körnervariante erreichte 2.625 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha. Im Vergleich zur Ganzpflanzensilage bedeutet dies einen Energieanteil von lediglich ca. 30 %. Aus energetischer Sicht sind

demnach für die Vergärung von Mais die Ganzpflanzenlinien der Körner- und CCM-Linie deutlich überlegen. Der Flächenbedarf für die Erzeugung gleicher Energiemengen ist bei Ganzpflanzenlinien entsprechend geringer.

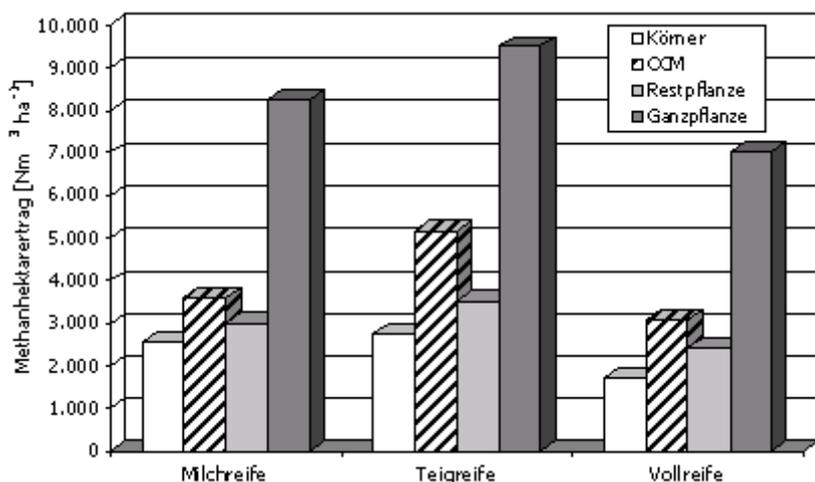
#### 4.4 Methanenergiewertsystem

Nachfolgend wird der weiterentwickelte Ansatz zur praktischen Kalkulation des spezifischen Methanbildungsvermögens von Energiemais anhand von Inhaltsstoffen dargestellt.

Der Methanenergiewert (MEW) drückt das spezifische Methanbildungsvermögen einzelner Rohnährstoffe von Mais-silage bei der Biogaszeugung aus.

Der Schätzggleichung zur praktischen Kalkulation des Methanenergiewertes (MEW) von Energiemaissilage liegt ein multiples, lineares Regressionsmodell folgender allgemeiner Form zugrunde:

$$\begin{aligned} \text{MEW [l CH}_4\text{/kg oTS]} = & \\ & x1 * \text{Rohprotein (XP) (Gehalt \% i.d. TS)} \\ & + x2 * \text{Rohfett (XL)} \\ & + x3 * \text{Cellulose (Cell)} \\ & + x4 * \text{Hemicellulose (H.-Cell)} \end{aligned}$$



**Abbildung 7: Methanhektarertrag von Silagen der Ganzpflanze, der Restpflanze (Pflanze ohne Kolben), des Kolbens und der Körner von Mais der Sorte Benicia (FAO 300) bei verschiedenen Erntezeitpunkten**

Auf der Basis der methanogen wirksamen Roh Nährstoffgehalte: Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Cellulose (Cell) und Hemicellulose (H-Cell) (in % der TS) wird das spezifische Methanbildungsvermögen von Mais - sein Methanenergiewert - berechnet. Der Methanenergiewert (MEW) wird in  $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{kg oTS}$  angegeben.

Aus dem Spektrum untersuchter Inhaltsstoffe (Tabelle 3) werden die Parameter mit signifikanter Wirkung auf das Methanbildungsvermögen in die Regressionsgleichung aufgenommen. Für die Schätzung der Regressionskoeffizienten werden sämtliche bislang vorliegende Untersuchungsergebnisse (AMON et al., 2002; AMON et al., 2003A/B; AMON et al., 2004) zum Methanbildungsvermögen von Maissilage verwendet. Auf die-

se Weise wird das schon bestehende Kalkulationsmodell (AMON et al., 2003A) auf größerer Datenbasis mit höherer Berechnungsgenauigkeit weiterentwickelt. Für die Berechnung der Regressionsparameter der neuen Schätzgleichung werden alle Untersuchungen mit Silomaissilage herangezogen, deren spezifisches Methanbildungsvermögen zwischen 250 und 375  $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{kg oTS}$  liegt.

Tabelle 3 zeigt beispielhaft das Spektrum der untersuchten Inhaltsstoffe mit dem spezifischen Methanbildungsvermögen von Silomais der spätreifen Sorten des Anbaujahres 2003 vom Standort Ludersdorf.

Neben den Inhaltsstoffen Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA), N-freie Extraktstoffe (NfE), Lignin (ADL), Zellulose (Cell), Hemizel-

lulose (H-Cell) und Kohlenstoff (C), sind die Gehalte an Trockensubstanz (TS) und an organischer Trockensubstanz (oTS) angegeben. Zudem ist die spezifische Methanausbeute in  $\text{Nm}^3 \text{CH}_4$  pro  $\text{kg oTS}$  aus der Silomaissilage gezeigt.

Die Maissorten zeigten ein charakteristisches, spezifisches Methanbildungsvermögen das vom Gehalt methanogener Substanzen im Gärrohstoff abhängig war. Der Gehalt wurde am stärksten vom Stadium der Vegetationsentwicklung zum Erntezeitpunkt beeinflusst. So nahmen beispielsweise Rohprotein, Rohfaser, Cellulose und Hemicellulose im Verlaufe der Vegetationsentwicklung der Pflanzen ab, während v.a. der Stärkegehalt deutlich zunahm. Mit fortschreitender Vegetationsentwicklung der Pflanzen wird das C/N-Verhältnis von ca. 24 auf > 42 deutlich erweitert. Für die Methangärung ist ein ausgewogenes C/N-Verhältnis wichtig. Für einen ungestörten Prozessablauf soll das C/N-Verhältnis im Bereich von 10 - 30 liegen (SCHATTAUER & WEILAND, 2004). Das C/N-Verhältnis der Maissilagen der frühen Ernten lag demnach im optimalen Bereich. Im Stadium der Vollreife der Pflanzen lag das C/N-Verhältnis deutlich außerhalb des optimalen Bereiches. Bei zu weitem C/N-Verhältnis kann der vorhandene Kohlenstoff nicht vollständig in Methan umgesetzt werden und bleibt deshalb ungenutzt.

Gleichzeitig wird das C/N-Verhältnis der Gärrohstoffe deutlich weiter.

Darüber hinaus zeigten dieselben Sorten auf verschiedenen Standorten teilweise unterschiedliche Konzentrationen methanogener Inhaltsstoffe im Gärrohstoff

**Tabelle 3: Inhaltsstoffe der eingesetzten Gärrohstoffe von Silagen spätreifer Maissorten**

Varianten	XP	XL	XF	XA	NfE	ADL	CELL	H-CELL	C	Stärke	Zucker	C/N	TS	oTS	spez. $\text{CH}_4$ - Ertrag
	% TM	% FM	% FM	$\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ * $\text{kg oTS}^{-1}$											
Tonale 1.Ernte	10,1	1,4	34,5	5,3	48,8	6,4	36,2	25,3	49,6	1,20	0,3	24,2	19,4	18,4	334
Tonale 2.Ernte	7,9	2,1	26,2	4,8	59,0	5,3	28,6	38,0	49,9	20,2	1,0	39,6	29,8	28,3	283
Tonale 3.Ernte	6,9	1,5	20,3	2,9	68,3	4,8	22,2	30,4	50,1	32,1	2,9	45,1	43,1	41,8	280
X1078F 1.Ernte	9,2	1,2	30,8	4,1	54,7	8,6	33,8	25,4	50,6	4,1	1,5	24,9	18,0	17,2	366
X1078F 2.Ernte	7,8	2,5	23,8	4,5	61,4	5,5	26,1	32,7	50,5	27,4	0,8	33,5	28,2	26,9	302
X1078F 3.Ernte	7,2	2,2	26,3	3,5	60,7	6,7	28,9	35,9	50,9	25,5	2,4	46,2	43,0	41,4	268
Tixxus 1.Ernte	7,9	1,2	34,9	4,9	51,1	5,3	37,1	26,4	50,3	2,9	0,3	37,0	19,4	18,4	n.gem.
Tixxus 2.Ernte	6,9	2,3	24,7	5,2	61,0	4,5	25,0	35,5	50,3	25,5	1,1	44,1	30,2	28,6	322
Tixxus 3.Ernte	5,9	2,6	23,4	4,2	63,9	4,6	23,8	36,2	51,0	30,9	4,8	52,1	52,9	50,7	n.gem.
LZM 1.Ernte	7,8	1,3	35,6	4,1	51,2	7,5	37,3	26,1	50,4	1,2	0,5	43,5	18,1	17,4	313
LZM 2.Ernte	6,7	2,4	27,2	5,3	58,4	6,1	27,5	33,7	49,6	22,6	0,4	42,1	29,0	27,5	326
LZM 3.Ernte	6,7	2,4	18,7	2,8	69,4	4,3	19,3	34,2	49,3	44,6	0,3	42,2	48,0	46,7	287

n. gem. = nicht gemessen

**Tabelle 4: Regressionskoeffizienten mit Standardfehler und Signifikanzniveau der Gleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes von Maissilage anhand methanogener Rohrnährstoffe; n = 34**

Inhaltsstoff	Regressionskoeffizient (x <sub>n</sub> )	Standardfehler (r) von x <sub>n</sub>	Inhaltsstoffe in in	Signifikanzniveau (p)
Rohprotein (XP)	19,05	2,95	% TS	0,000
Rohfett (XL)	27,73	7,09	% TS	0,000
Cellulose (Cell)	1,8	0,40	% TS	0,000
Hemicellulose (H.-Cell)	1,7	0,40	% TS	0,000

**Tabelle 5: Gemessenes und berechnetes Methanbildungsvermögen spätreifer Maissorten in NI CH<sub>4</sub> \* kg oTS<sup>-1</sup> mit Differenz absolut und relativ zum Messwert**

Sorten	Spez. CH <sub>4</sub> - Bildungsvermögen <b>gemessen</b> [NI CH <sub>4</sub> * kg oTS <sup>-1</sup> ]	Spez. CH <sub>4</sub> - Bildungsvermögen <b>berechnet</b> [NI CH <sub>4</sub> * kg oTS <sup>-1</sup> ]	Differenz	
			[NI CH <sub>4</sub> * kg oTS <sup>-1</sup> ]	[%]
Tonale 1E.	333,7	339,04	- 5,34	-1,6
Tonale 2E.	283,2	324,83	- 41,63	- 14,7
Tonale 3E.	280,4	266,03	14,37	5,1
X1078F 1E.	365,9	313,63	52,27	14,3
X1078F 2E.	302,1	320,73	-18,63	-6,2
X1078F 3E.	268,2	311,35	-43,15	-16,1
Tixxus 1E.	321,7	295,08	26,62	8,3
Tixxus 2E.	312,8	299,74	13,06	4,2
Tixxus 3E.	326,4	288,80	37,6	11,5
LZM 1E.	312,6	296,36	16,24	5,2
LZM 2E.	325,6	300,55	25,05	7,7
LZM 3E.	286,8	286,97	-0,17	- 0,1
Summe der Abweichungen			76	

(AMON et al., 2004). Es ist deshalb wahrscheinlich, dass das spezifische Methanbildungsvermögen von Mais einer Standort-Sorten-Interaktion unterliegt.

Tabelle 4 zeigt die Regressionskoeffizienten der Gleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes von Maissilage. Neben den Regressionskoeffizienten für die Methanbildung der Rohrnährstoffe sind deren Standardfehler und das Signifikanzniveau angegeben.

Wie Tabelle 4 zeigt, sind die Regressionskoeffizienten der Schätzgleichung zur praktischen Kalkulation des Methanenergiewertes hoch signifikant (p < 0,000). Die Regressionskoeffizienten der Gleichung geben den Beitrag der einzelnen Rohrnährstoffkomponenten zur Methanbildung an. Zum Beispiel zeigt Rohfett (XP) mit dem Regressionskoeffizienten 27,73 von allen signifikanten methanogenen Rohrnährstoffgruppen den größten Beitrag zum spezifischen Methanbildungsvermögen von Maissilage.

Nachfolgend werden am Beispiel der spätreifen Energiemaissorten gemessene und mit dem Methanenergiewertsystem berechnete Werte des spezifischen Methanbildungsvermögens vergleichend dargestellt. Abweichungen zwischen Mess-

wert und berechnetem Wert sind als absoluter Differenzwert und relativ zum Messwert angegeben.

Wie Tabelle 5 zeigt, liegen die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten zwischen 0,17 NI CH<sub>4</sub> \* kg oTS<sup>-1</sup> (0,1 %) und 52 NI CH<sub>4</sub> \* kg oTS<sup>-1</sup> (14,3 %) vom Messwert.

Weiterführende Untersuchungen sind erforderlich, um die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse weiter zu erhöhen. Vor allem ist die Rolle der Stärke als Ertragsfaktor für die Methanbildung noch eingehender zu beleuchten.

## 5. Zusammenfassung

**Problemstellung:** Energiemais gewinnt für die Biogaszeugung zunehmend an Bedeutung. Der wirtschaftliche Erfolg der Biogaszeugung aus Energiemais ist von dessen Biogas- und Methanbildungsvermögen abhängig. Es wird vom Gehalt und von der Verfügbarkeit methanogener Substanzen festgelegt. Die Qualität des Gärrohstoffes wird bereits auf dem Feld durch die Sortenwahl, das Anbauverfahren und den Erntezeitpunkt geprägt. Das eingesetzte Ernte- und Konservierungsverfahren, die Gärrohstoffaufbereitung und Milieubedingungen

der Gärung beeinflussen die Methanausbeute ebenfalls.

**Ziel** ist es, Mais als Gärrohstoff für die Biogaszeugung optimal einzusetzen und hohe Methanhektarerträge zu erreichen. Der Methanhektarertrag wird von 13 früh (FAO 240) bis spätreifen Maissorten (FAO 600) zu drei verschiedenen Erntezeitpunkten auf verschiedenen Standorten ermittelt und der optimale Erntetermin der Sorten bestimmt. Der Einfluss der Ernteverfahren Ganzpflanz-, Körner- und CCM-Linie wird untersucht. Die Wirkung der Silagebereitung wird gemessen. Für die praktische Kalkulation des spezifischen Methanbildungsvermögens von Mais anhand der Inhaltsstoffe wird ein weiter entwickeltes Regressionsmodell (Methanenergiewertsystem) vorgeschlagen.

**Ergebnisse:** Maissilage ist als Gärrohstoff für die Biogaszeugung gut geeignet. Die Silagebereitung begünstigt das Methanbildungsvermögen von Energiemais. Für den Methanhektarertrag haben Sortenwahl und Erntezeitpunkt eine dominierende Bedeutung.

Spätreife Maissorten (FAO > 600) nutzen im Vergleich zu frühen (FAO 240 bis 300) und mittelfrühen Sorten (FAO 300

bis 600) die Vegetationszeit für die Ertragsbildung besser aus. Sie können unter den Standort- und Wachstumsbedingungen Niederösterreichs und der Steiermark höhere Erträge von über 30 t oTS/ha erreichen, wenn zur Hauptwachstumsphase entsprechend Wasser vorhanden ist.

Im Verlauf der Vegetation entwickeln sich die Ertragsfaktoren für die flächenbezogene Methanbildung von Mais

- ① oTS - Ertrag pro Hektar und
- ② spezifisches Methanbildungsvermögen gegenläufig.

Mit zunehmender Vegetationsentwicklung der Pflanzen nimmt das spezifische Methanbildungsvermögen ab, während die Biomasseentwicklung zunimmt. Gleichzeitig wird das C/N-Verhältnis im Mais deutlich erweitert.

Neben der Sorte und dem Standort kommt dem Zeitpunkt der Ernte die dominierende Rolle für den erzielbaren Methanhektarertrag zu. Der richtige Zeitpunkt für die Ernte von Energiemais ist dann gegeben, wenn in der Kombination aus oTS- Ertrag pro Hektar und dem spezifischen Methanbildungsvermögen der maximale Methanhektarertrag erreicht wird. Bei früh- und mittelspätreifen Sorten liegt der optimale Erntetermin im Vegetationsstadium "Ende Teigreife der Körner". Bei spätreifen Sorten (FAO 600) liegt der optimale Erntetermin weiter in Richtung der physiologischen Reife der Pflanzen. Auf guten bis sehr guten Maisstandorten eignen sich späte Sorten besser als frühe, weil sie ihr Biomassebildungsvermögen besser ausnutzen.

Dem optimalen Erntezeitpunkt kommt man unter Praxisbedingungen dann am nächsten, wenn der Bestand geerntet wird, sobald der Trockenmasseertrag des

Maisbestandes sein maximales Niveau erreicht hat.

Verfahren der Ganzpflanzenernte erzielen im Vergleich zum Körner- oder CCM-Verfahren um 70 % bzw. 43 % mehr Methanenergie pro Hektar. Ernteverfahren zur Gewinnung von Ganzpflanzen sind demnach denen zur Gewinnung von Pflanzenteilen deutlich überlegen. Der zur Energiemaisproduktion erforderliche Flächenbedarf ist bei Verfahren der Ganzpflanzenernte entsprechend geringer.

Auf der Basis der methanogen wirksamen Roh Nährstoffgehalte von Mais: Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Cellulose (Cell) und Hemicellulose (H.-Cell) kann das Methanbildungsvermögen - sein Methanenergiewert - nach folgender weiterentwickelter Gleichung berechnet werden:

$$\begin{aligned} \text{MEW [l CH}_4\text{/kg oTS]} = & \\ & 19,05 * \text{Rohprotein (XP) (Gehalt} \\ & \quad \text{\% i.d. TS)} \\ + & 27,73 * \text{Rohfett (XL)} \\ + & 1,80 * \text{Cellulose (Cell)} \\ + & 1,70 * \text{Hemicellulose (H.-Cell)} \end{aligned}$$

Die Regressionskoeffizienten der Gleichung geben den Beitrag der einzelnen Roh Nährstoffkomponenten zur Gesamt-Methanbildung an. Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten liegen zwischen 0,17 l CH<sub>4</sub> \* kg oTS<sup>-1</sup> (0,1 %) und 52 l CH<sub>4</sub> \* kg oTS<sup>-1</sup> (14,3 %). Um die Genauigkeit des Berechnungsergebnisses noch weiter zu erhöhen, sind weiterführende Untersuchungen erforderlich.

## 6. Literatur

AMON, TH., V. KRYVORUCHKO, B. AMON, G. MOITZI, D. LYSON, E. HACKL, D. JEREMIC, W. ZOLLITSCH, E. PÖTSCH, K. MAYER und J. PLANK, 2002: Methanbildungsvermögen von Mais - Einfluss der Sorte, der Konservierung und des Erntezeitpunktes. Endbericht Oktober 2002. Im Auf-

trag von Pioneer Saaten Ges.m.b.H. Parndorf (Austria).

AMON, TH., V. KRYVORUCHKO, B. AMON, G. MOITZI, D. LYSON, E. HACKL, D. JEREMIC, W. ZOLLITSCH und E. PÖTSCH, 2003A: Optimierung der Biogasproduktion aus den Energiepflanzen Mais und Kleegras. Endbericht Juli 2003. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Forschungsprojekt Nr. 1249 GZ 24.002/59-IIA1/01.

AMON, TH., V. KRYVORUCHKO, B. AMON, S. BUGA, A. AMIN, W. ZOLLITSCH, K. MAYER und E. PÖTSCH, 2003B: Biogasenergie aus landwirtschaftlichen Gärsubstraten. In: BAL-Bericht über das 10. Alpenländische Expertenforum zum Thema Biogasproduktion - Alternative Biomassenutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft am 18./19. März 2004. S. 21 -26, ISBN 3-901980-72-5.

AMON, TH., V. KRYVORUCHKO, B. AMON, G. REINHOLD, H. OECHSNER, M. SCHWAB, P. WEILAND und B. LINKE, 2004: Biogasenergie von Energiepflanzen und Wirtschaftsdüngern - Laborversuchsergebnisse. In: Die Landwirtschaft als Energieerzeuger. KTBL-Tagung vom 30. bis 31. März 2004 in Osnabrück. S. 46 - 61, ISBN 3-7843-2162-3.

OECHSNER, H., A. LEMMER und C. NEUBERG, 2003: Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen. In: Landtechnik, H. 3, 2003, S. 146-147.

SCHATTAUER, A. und P. WEILAND, 2004: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Endbericht. Förderkennzeichen 22027200. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow.

## Danksagung

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW), der Fa. Pioneer Saaten Ges.m.b.H Parndorf (Austria), Raiffeisen Ware Austria AG, KWS Austria Saatzucht GmbH und dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) im Rahmen der Programmlinie "Energiesysteme der Zukunft" finanziell unterstützt.