

Der ideale Typ

Biogasproduzenten sind auf der Suche nach der optimalen Maissorte.

Versuche zeigen, dass der Kolbenanteil für die Methanausbeute keine große Rolle spielt.

Von **Barbara Eder, Michael Mukengele, Christine Papst, Birte Darnhofer, Hans Oechsner und Joachim Eder**

Silomais wird in großem Umfang als Substrat für die Methanfermentation eingesetzt. Dabei stellt sich die Frage, ob auch spätreife oder massenwüchsige Typen mit einem geringen Kolbenanteil für diese Produktionsrichtung geeignet sind. Dazu wurden in einem Feldversuch Silomaisorten mit Reifezahlen zwischen 250 und über 370 bei gestaffelten Ernteterminen geprüft. Zielgröße war die Methanausbeute, die mit dem Hohenheimer Biogastest bestimmt wurde.

Es hat sich gezeigt, dass der Einfluss des Kolbenanteils und damit des Stärkegehaltes in dem für eine optimale Silagebereitung relevanten Bereich der Trockensubstanzgehalte für die Methanausbeute unbedeutend war. Spätreife Sorten erzielten trotz niedriger Kolbenanteile und Stärkegehalte dieselben Methanausbeuten wie frühe Sorten.

Sie erreichten dies durch eine bessere Qualität der Restpflanze und ein günstigeres Abreifeverhalten im Vergleich zu frühreifen Sorten. Für die Sortenwahl ist demnach das Ertragspotenzial der Sorte bei einem silierfähigen TS-Gehalt das entscheidende Auswahlkriterium.

Als Rohstoff für die Biogasanlage kommen grundsätzlich Kulturarten in Frage, die folgende Kriterien erfüllen:

- gute Lagerfähigkeit, denn Biogasanlagen müssen über das Jahr hinweg mit einer konstanten Substratmenge und -zusammensetzung betrieben werden,
- hohe Gasausbeute (Liter Methan pro Kilogramm organischer Trockenmasse) und hoher Ertrag an Trockenmasse pro Hektar,
- geringe Kosten für Erzeugung und Vergärung.

Da Silomais diese Anforderungen gut erfüllt, wird er heute bereits in großem Umfang für die Nutzung in Biogasanlagen angebaut. Die wichtigsten Kriterien für die Wahl einer Silomaisorte zur Biogasproduktion müssen neben den allgemeinen pflanzenbaulichen Aspekten der Trockenmasseertrag pro Hektar und die Höhe der Methanausbeute bezogen auf die organische Trockenmasse (oTS) sein. Die Höhe der theoretisch möglichen Methanausbeute eines Substrats ist eine Funktion der Substratzusammensetzung, die sich anhand der Formel nach Buswell (1936) berechnen lässt (Tabelle 1).

Atome bestimmen Methanertrag

Demnach bestimmen die Anzahl der Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome die erzielbare Methanmenge. Kohlenhydrate mit ihrem einfachen Strukturaufbau liefern im Vergleich zu Fetten und Proteinen nach diesem Berechnungsschema eine relativ niedrige Menge von etwa 400 Normliter (Nl) pro Kilogramm organische Trockensubstanz (kg oTS), falls ein vollständiger Abbau stattfindet.

Mais ist im Wesentlichen ein Kohlenhydratprodukt. Die Kohlenhydratzusammensetzung der Maispflanze verändert sich aber während des Wachstums und der Reife. Da in der vegetativen Phase vor allem der Aufbau des Wurzelsystems und des Blattapparates im Vordergrund stehen, findet sich in dieser Phase ein hoher Gehalt an Rohfaser und wasserlöslichen Kohlenhydraten (Zucker) in der Pflanze.

Geht die Pflanze in die generative Phase über, so wird aus dem Zucker in der Restpflanze vermehrt Stärke gebildet und in den Kolben eingelagert. Dadurch steigt der Stär-

kegehalt stetig an, während die anderen Kohlenhydratbestandteile (relativ zur Stärke) abnehmen. Folglich haben spätreife Sorten im Vergleich zu frühreifen Sorten zum gleichen Erntetermin weniger Stärke, mehr Zucker und einen höheren Gehalt an faserigen Bestandteilen.

Mit zunehmender Abreife nimmt auch die Lignifizierung bei den Pflanzen zu. Da Lignin für die anaeroben Bakterien nicht abbaubar ist, mindert es die mögliche Methanausbeute. Ungeklärt ist für die Silomaisbewertung zur Biogaserzeugung bisher, inwieweit das Verhältnis der Inhaltsstoffe aus der Fraktion der Kohlenhydrate wie Stärke, Zucker, Zellulose und Hemizellulose einen relevanten Einfluss auf die Methanausbeute hat.

Relevanz des Kolbenanteils untersucht

Für die Entwicklung von Maissorten für die Biogaserzeugung und die Beratung der landwirtschaftlichen Praxis ist es aber von entscheidender Bedeutung, die Wirkung dieser Komponenten auf die Gasausbeute zu kennen. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang der Einfluss des Kolbens auf die Gasbildung, da durch einen Verzicht auf hohe Kolbenanteile züchterisch ein großer Zuwachs in der Ertragsleistung an Gesamttrockenmasse pro Hektar zu realisieren wäre. Ziel der vorliegenden Untersuchung war, zu klären, ob spätere Sorten mit einem geringeren Kolbenanteil vergleichbare Methanausbeuten wie frühe Sorten mit einem hohen Kolbenanteil erzielen.

In den Jahren 2003 bis 2006 wurden an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Versuche mit ausgewählten Silomaisorten unterschiedlicher Reife und gestaffelten Ernteterminen vorgenommen. Exemplarisch für drei weitere Versuchsstandorte, werden hier die Ergebnisse des Standortes Forstwiesen/Ingolstadt aus dem Jahr 2004 dargestellt.

Es kamen vier Sorten aus verschiedenen Reifegruppen und Herkünften zum Einsatz: Sorte 1 (Reifezahl 280), Sorte 2, Sorte 3 (Reifezahl ca. 400). Als Vergleichssorte diente in allen Versuchen Gavott (250). ▶

Tabelle 1: Methanausbeuten und Methangehalt verschiedener Stofffraktionen

Stofffraktion	Methanausbeute l/kg oTS	Methangehalt im Biogas %
Kohlenhydrate	350-456	45-55
Rohfett	860-1400	67-75
Rohproteine	440-520	62-75

Methanausbeuten berechnet nach der Formel von Buswell (1936) (Linke et al. 2003 sowie im diskontinuierlichen Ansatz gemessene Werte von Czepuck et al. 2006).



Blumen fürs Image – Blühstreifen beim Energiepflanzenanbau

Aufgrund seiner Wuchshöhe und Dichte wird der Mais häufig als unschönes Landschaftselement angesehen. Doch gerade der Mais ist derzeit für den Einsatz in Biogasanlagen vor dem Hintergrund steigender Agrarpreise und knapper werdender Anbauflächen unentbehrlich. In Anbetracht der wachsenden Imageprobleme beim Energiepflanzenanbau und dem Vorwurf von Maismonokulturen sind öffentlichkeitswirksame Maßnahmen notwendig. Eine Möglichkeit ist der Anbau von Blühstreifen. Blühstreifen können Ackerränder oder Bereiche im Vorgewende sein, die mit blühenden Kulturpflanzen als Deckfrucht und ausgewählten gebietsheimischen Wildkräutern oder Bienenwiesen eingesät werden. Die bunten Randstreifen nehmen der Maisfläche ihren kompakten Eindruck, werfen das Landschaftsbild auf und bieten Lebensraum sowie Rückzugsgebiet für viele Tierarten. In einigen Bundesländern und Gemeinden gibt es spezielle Förderprogramme für die Blühstreifen. Bei Interesse nehmen Sie bitte Kontakt mit der zuständigen Landwirtschaftskammer oder den Landwirtschaftsämtern auf.

Um deutliche Unterschiede in der Ertragsleistung und den Qualitätseigenschaften der Prüfglieder zu erhalten, wurden vier Erntetermine in etwa dreiwöchigen Abständen festgelegt, beginnend mit einer sehr frühen Ernte Ende August. Die letzte Ernte wurde Ende Oktober/Anfang November vorgenommen. Dadurch konnte im Versuch ein breites Reife- und Qualitätsspektrum abgedeckt werden. Die Qualitätsparameter aller Prüfglieder wurden durch Nahinfrarot-Reflektions-Spektroskopie (NIRS) analysiert. Die Analyse der Methanausbeute erfolgte nach der Methode des Hohenheimer Biogasertragstests an der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen der Universität Hohenheim. Das Ergebnis wurde nach Normierung auf die Umgebungstemperatur, den Luftdruck und den Wasserdampfdruck in Normliter je kg organischer Trockensubstanz (Nl/kg oTS) angegeben.

Methanerträge gleichauf

In der Tabelle 2 sind die Ergebnisse des Versuchs dargestellt. Im Verlauf der Erntetermine waren ein signifikant steigender Stärkegehalt (zum Teil bis zu 50 Prozent Steigerung) und ein abnehmender Zuckergehalt in

der Rest- und Ganzpflanze zu beobachten. Gleichzeitig nahm der Gehalt an neutral löslicher Faser in der Restpflanze (NDFR) mit späterem Erntetermin zu und die Restpflanzenverdaulichkeit (IVDOMR) sowie die Verdaulichkeit der Zellwand (DNDFR) ab. Die Methanausbeute lag jedoch bei allen Terminen bei etwa 330 Nl/kg oTS. Eine signifikante Auswirkung des Erntetermins auf die Methanausbeute konnte nicht festgestellt werden.

Hinsichtlich der Qualitätsparameter unterschieden sich die Sorten deutlich. Die früh- und die spätreife Sortengruppe hoben sich von einander ab. Aufgrund der späten Kolbenabreife der beiden Sorten 2 und 3 waren auch zum dritten und vierten Erntetermin noch niedrige Stärkewerte und ein erhöhter Zuckergehalt zu beobachten. Gleichzeitig war die Restpflanzenverdaulichkeit dieser beiden Sorten im Vergleich zu den frühreiferen Sorten (Gavott und Sorte 1) deutlich erhöht. Gavott zeigte im Sortenvergleich die schlechteste Verdaulichkeit.

Trotzdem führten diese deutlichen Inhaltsstoffunterschiede nicht zu signifikant unterschiedlichen Methanausbeuten. Die Unterschiede zwischen den Sorten bei den jeweiligen Ernteterminen waren relativ gering

und mit Ausnahme vom ersten Erntetermin nicht signifikant (Abbildung 1). Zum ersten Erntetermin waren höhere Sortendifferenzen (bis zu etwa 30 Nl/kg oTS) zu beobachten, die bis zum vierten Erntetermin kontinuierlich auf einen Unterschied von nur 5 Nl/kg oTS abnahmen. Die Sorten erreichten insgesamt trotz des weit gestreuten Reifebereichs von 250 bis über 370 eine vergleichbare Methanausbeute.

Erntetermine ohne Einfluss auf Methanausbeuten

Die Ergebnisse der Ernteterminversuche ließen trotz großer Unterschiede in den untersuchten Qualitätsmerkmalen keinen Einfluss des Erntetermins auf die Höhe der Methanausbeuten erkennen. Weder die stark unterschiedlichen TS-Gehalte, noch Zellinhaltsstoffe (Stärke, Zucker, Rohprotein) und Zellwandbestandteile (ADF, NDF) und die gemessenen Verdaulichkeitsparameter (IVDOM, ELOS, DNDF) zeigten eine Beziehung zur Höhe der Methanausbeute.

Ähnliche Ergebnisse zum Einfluss des Erntetermins und der Sorte fanden Schuhmacher et al. (2006), die kaum Unterschiede in den Methanausbeuten zwischen verschiedenen Ernteterminen und Sorten unter-

schiedlicher Reife feststellen konnten. Tendenziell fanden sie zwar eine Abnahme der Methanausbeute mit dem Erntetermin. Die Abnahme bei den ersten drei Ernteterminen war allerdings mit weniger als 10 Nl/kg oTS sehr gering.

Auch Amon et al. (2003) fanden keinen Zusammenhang zwischen der Höhe des Kolbenanteils und der Gasausbeute. Sie wiesen die höchsten Methanausbeuten bei TS-Gehalten unter 28 Prozent, also noch vor beziehungsweise zur beginnenden Milchreife nach. Allerdings stellten sie mit zunehmender Abreife von Silomais eine Abnahme der Gasausbeuten fest. Auch bei Kaiser et al. (2004) waren die Methanausbeuten bei manchen Sorten bei später Ernte niedriger. Ursachen für die Abnahme gaben aber beide nicht an.

Abweichende Methangehalte

Ganz anders liegen die Ergebnisse von Heiermann & Plöchl (2004), Hertwig & Heiermann (2006) und Linke et al. (2003). Sie fanden einen positiven Zusammenhang zwischen Stärkegehalt und Methanausbeute, wengleich die Methanausbeuten sich nicht immer mit dem Stärkegehalt erklären ließen. Auffallend in ihren Untersuchungen ►

waren die für Mais ungewöhnlich hohen Methangehalte im Gas von über 64 bis 69 Prozent. In anderen Untersuchungen sowie in der vorliegenden Studie konnten demgegenüber nur Methangehalte von etwa 50 Prozent gemessen werden.

Wie sind diese unterschiedlichen Erkenntnisse zum Einfluss des Erntetermins auf die Höhe der Gasausbeute zu interpretieren? Zwei mögliche Ursachen können für die Unterschiedlichkeit der Ergebnisse benannt werden:

1. Die Aufbereitung der Probe – die Konservierungsart und
2. die Qualität der silierten Probe.

Wird frisch geerntetes Material zur Silage weiter verarbeitet, so kommt es durch den Siliervorgang zum Teil zu stofflichen Veränderungen des Ursprungsmaterials. Diese Veränderung führt in der Regel zu einer Beeinflussung der Gasausbeute (Kaiser et al., 2004, Mukengele & Oechsner, 2007), Amon et al., 2006). Möglicherweise lagen die unterschiedlichen Ergebnisse an der Konser-

vierungsart des Probenmaterials, denn die genannten Autoren arbeiteten im Gegensatz zu den vorliegenden Untersuchungen mit siliertem Material.

Zusätzlich ist auch ein Einfluss der Silagequalität auf die Methanausbeute nicht auszuschließen. Bei TS-Gehalten unter 28 und über 35 Prozent, die in den Ernteterminversuchen erreicht wurden, ist eine optimale Silagebereitung nur eingeschränkt möglich. Untersuchungen von Maciejczyk (2000) und Schmack (2005) zeigten, dass die Qualität der Silage einen starken Einfluss auf die Höhe der Methanausbeute hat.

Deshalb ist anzunehmen, dass gerade in den TS-Bereichen, die für die optimale Silagebereitung als ungünstig bezeichnet werden (bei sehr früher und sehr später Ernte), ein Einfluss der Konservierung auf die Höhe der Methanausbeute vorhanden ist. Eine mögliche Ursache für die Abnahme der Gasausbeute bei höheren TS-Gehalten könnte also in der schlechteren Silagequalität liegen.

Sorteneffekte: Die Wahl des Genotyps hat-

te nur beim ersten Erntetermin einen signifikanten Einfluss auf die Methanausbeute. Im Vergleich zu der Sorte Gavott zeigten die späteren Sorten bei jedem Erntetermin signifikant niedrigere Stärkegehalte, höhere Gehalte an Zucker in der Ganzpflanze und tendenziell höhere Gehalte in der Restpflanze. Auch lagen die Verdaulichkeit der organischen Substanz (IVDOMR) und der Zellwand der Restpflanze (DNDFR) bei den späten Sorten überwiegend signifikant höher.

Zudem zeigten die späten Sorten einen schwächeren Qualitätsrückgang im Verlauf der Abreife als die Vergleichssorte Gavott, die deutlich stärker in ihrer Restpflanzqualität verlor. Trotz der deutlichen Sortenunterschiede ergaben sich ab dem zweiten Erntetermin keine signifikanten Unterschiede in den Methanausbeuten mehr. Möglicherweise konnten die niedrigen Stärkegehalte bei den späten Sorten durch höhere Gehalte an Zucker und besser verdaulichen Gerüstsubstanzen ausgeglichen werden.

Dies deutet darauf hin, dass auch andere Kohlenhydratquellen, wie NDF und Zucker, die überwiegend in der Restpflanze zu finden sind, einen ebenso wichtigen Beitrag zur Methanausbeute liefern konnten wie Stärke. Offenbar war es für die am Abbauprozess beteiligte Bakterienflora nahezu unerheblich, welche Kohlenhydratquelle zur Verfügung stand. Aktuelle Ergebnisse von Kaiser (2008) zeigten zwar einen Zusammenhang zwischen der Höhe der Gasausbeute und verschiedenen Inhaltsstoffen. Große Unterschiede konnten aber nur über die Kulturarten hinweg festgestellt werden. Innerhalb der Spezies Mais ließen sich auch mit der von Kaiser entwickelten Formel kaum Unterschiede in den Gasausbeuten feststellen. Auch Amon et al. (2006) fanden nur einen unbedeutenden Einfluss des Kolbenanteils beziehungsweise der Stärkegehalte auf die Methanausbeute. Sie fanden die höchsten Ausbeuten noch vor der Kolbenbildung bei TS-Gehalten unter 22 Prozent.

Stärkegehalt nicht entscheidend für Methanausbeute

Anhand der vorliegenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass der Stärkegehalt als Maß für den Kolbenanteil für die Methanausbeute kaum von Bedeutung ist. Die untersuchten Sorten erreichten trotz unterschiedlicher Reifebereiche und deutlich unterschiedliche Stärkegehalte ähnliche Methanausbeuten.

Die Konsequenz für die Sortenwahl bei Silomais ist somit klar: Auf die Trockenmas-

Abbildung 1: Entwicklung der Methanausbeuten verschiedener Silomaisgenotypen unterschiedlicher Reife in Abhängigkeit vom Erntetermin

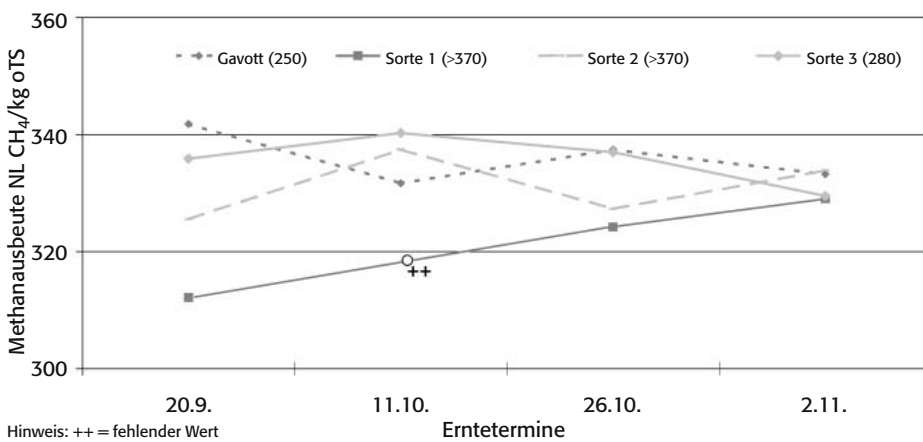


Abbildung 2: Landessortenversuch Bayern, 2007, Mittelwert über 9 Orte. Trockenmasseerträge und Ernte TS

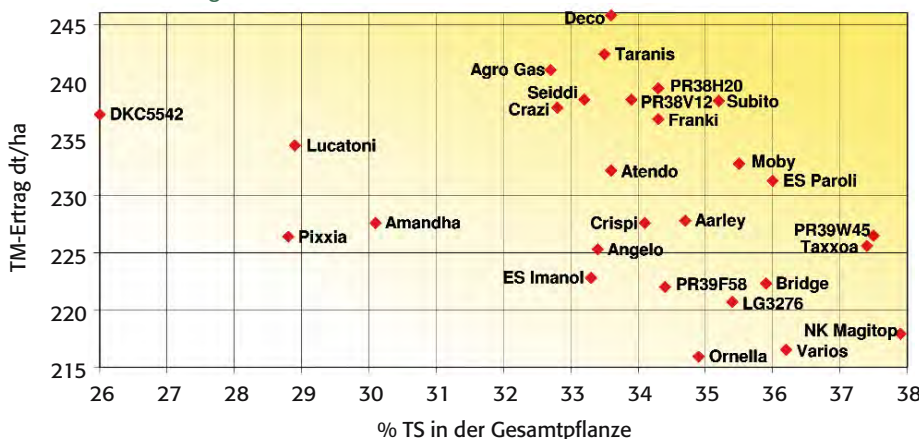


Tabelle 2: Qualitätsmerkmale unterschiedlicher Silomaissorten in Abhängigkeit vom Erntetermin

Erntetermin	Sorte	Reifezahl	Qualitätsmerkmale [†]															
			MA NI/kg oTS		Stärke		Zucker ^R		RP		NDF ^R		IVDOM		IVDOM ^R		DNDF ^R	
			% der TS															
I	Gavott	250	342	a ^{††}	27.4	a	18.4	a	8.1	a	57.6	a	75.6	a	70.7	b	53.9	a
I	Sorte 1	280	336	ab	10.8	b	26.3	a	7.2	a	51.2	a	76.3	a	76.5	bc	57.5	ab
I	Sorte 2	> 370	326	cb	2.1	b	21.9	a	7.7	a	54.2	a	70.2	b	75.5	ba	59.9	b
I	Sorte 3	> 370	312	cb	6.5	b	24.3	a	8.0	a	50.9	a	73.0	ab	78.7	ac	61.4	b
II	Gavott	250	332	a	26.9	a	15.1	a	8.0	ab	62.1	a	74.2	a	66.3	b	50.1	b
II	Sorte 1	280	340	a	27.1	a	22.8	a	7.4	b	55.6	a	77.1	a	72.9	a	55.5	ab
II	Sorte 2	> 370	337	a	7.1	b	23.1	a	8.5	ab	54.4	a	73.1	a	72.6	a	54.0	bc
II	Sorte 3	> 370	n.b.		15.0	b	19.4	a	7.5	a	57.2	a	73.6	a	74.0	a	58.8	ac
III	Gavott	250	337	a	31.6	a	12.7	a	8.6	ab	67.0	a	71.3	a	64.5	b	50.9	a
III	Sorte 1	280	337	a	31.4	a	20.1	a	7.6	b	57.6	ab	73.6	ab	71.2	a	53.8	a
III	Sorte 2	> 370	327	a	10.7	b	21.5	a	8.6	ab	53.7	bc	66.5	c	72.3	a	52.8	a
III	Sorte 3	> 370	324	a	12.0	b	16.8	a	8.7	a	57.5	ac	68.2	ac	72.7	a	56.3	a
IV	Gavott	250	333	a	30.5	a	11.4	a	9.0	a	71.5	a	70.8	a	58.8	b	44.8	a
IV	Sorte 1	280	330	a	24.6	a	20.5	a	7.8	b	59.2	b	73.7	a	67.4	a	47.3	a
IV	Sorte 2	> 370	334	a	10.9	b	17.1	a	8.1	ab	60.0	b	67.6	b	67.8	a	49.7	ab
IV	Sorte 3	> 370	329	a	17.5	b	19.0	a	8.1	ab	57.2	b	72.3	a	71.2	a	52.9	b
Korrelationskoeffizient zu MA						0.2 ^{ns}		-0.1 ^{ns}		-0.3 ^{ns}		0.1 ^{ns}		0.3 ^{ns}		-0.1 ^{ns}		0.1 ^{ns}

† MA = Methanausbeute, R = Merkmal der Restpflanze, RP = Rohprotein, NDF = neutral lösliche Faser, IVDOM = In vitro-Verdaulichkeit der organischen Masse, DNDF = Verdaulichkeit der neutral löslichen Faser, TS = Trockensubstanz

ns nicht signifikant

†† verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten mit p = 0,05

se-Leistung der Sorte kommt es an! Das Ziel muss also sein, Sorten auszuwählen, die pro Hektar möglichst viel organische Biomasse produzieren, egal ob mit hohem oder niedrigem Kolbenanteil. Hierzu eignen sich vor allem spätreifere, lang wachsende, also restpflanzbetonte Maissorten. Der Verschiebung der Reife sind allerdings Grenzen gesetzt.

Sehr spät reifende Maissorten bringen hierzulande keinen gesicherten Mehrertrag und erreichen die für eine erfolgreiche Konservierung erforderlichen Trockensubstanzgehalte in der Regel nicht. Zudem belasten sie die Wirtschaftlichkeit durch hohe Transportkosten der nassen Ware. Mindestens 28 Prozent TS sollten bei der Ernte erreicht sein, um eine gute Silierung ohne Sickersaftbildung sicherzustellen.

Bei sehr hohen Siloanlagen – bei einzelnen Biogasanlagen wurden in den letzten Jahren Silohöhen von bis zu acht Metern angelegt – ist es besser, eine noch trockenere Ware anzustreben, etwa im Bereich von 30 bis 33 Prozent TS-Gehalt.

Die LfL führt bereits seit mehreren Jahren in Zusammenarbeit mit den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten spezielle Sortenversuche für Biogasmais durch. 2007 wurden

28 Sorten an neun Standorten in Bayern getestet. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 2 ersichtlich. Die Ergebnisse der Sorten an den einzelnen Orten sind in Internet unter www.LfL.Bayern.de abzurufen.

In weiten Teilen Bayerns wurden die besten Ergebnisse bislang mit Sorten erzielt, die im Reifebereich zwischen S 250 und S 280 liegen. Auf der Basis der mehrjährigen Ergebnisse lässt sich daraus die Empfehlung ableiten, dass für die Biogasproduktion Sorten angebaut werden sollten, die durchaus etwas spätreifer als der übliche Silomais sein können. Eine Grenze liegt in etwa im Bereich „übliche Reifezahl + 40“. Ausnahmen sind kühlere Lagen und Mittelgebirge, wo auch frühere Sorten (S 210 bis S 240) für diesen Zweck empfohlen werden.

Schlussbemerkung: Eine Vielzahl widersprüchlicher Ergebnisse anderer Autoren erschweren endgültige Aussagen über den Einfluss von Erntetermin, Qualitätsparametern und Sorteneffekten für die Biogasproduktion aus Mais.

Hinsichtlich der Konservierung (getrocknet, frisch, siliert, gefroren), der Aufbereitung (gemahlen oder gehäckselt) sowie sonstiger Randbedingungen (Sickersaftbehandlung, Silagequalität uvm.) fehlt eine verbindliche

Vorschrift. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch der Einfluss des Inokulums, der bislang bei allen Untersuchungen unbeachtet blieb.

Um die dargestellten und diskutierten Ergebnisse abschließend bewerten zu können, scheint eine Überprüfung der Vergleichbarkeit der zugelassenen Methoden zur Bestimmung der Methanausbeute dringend erforderlich. ◀

Autoren

Barbara Eder (1)

M. Mukengele (2)

Dr. Christine Papst (1)

Dr. Birte Darnhofer (1)

Dr. Hans Oechsner (2)

Dr. Joachim Eder (1)

1 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan

2 Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen der Universität Hohenheim