

Sonderheft 331
Special Issue

Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten

Frieder Jörg Schwarz (Hrsg.)
Ulrich Meyer (Hrsg.)

**Bibliografische Information
der Deutschen Bibliothek**

*Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese
Publikation in der Deutschen Nationalbiblio-
grafie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://www.d-nb.de/>
abrufbar.*



2009

Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für
Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI)
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig,
Germany

Die Verantwortung für die Inhalte liegt
bei den jeweiligen Verfassern bzw.
Verfasserinnen.

landbauforschung@vti.bund.de
www.vti.bund.de

Preis 12 €

ISSN 0376-0723
ISBN 978-3-86576-057-9

Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Sonderheft 331
Special Issue

Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten

Frieder Jörg Schwarz¹ (Hrsg.)
Ulrich Meyer² (Hrsg.)

¹ Department für Tierwissenschaften, Fachgebiet Tierernährung,
Technische Universität München, Hochfeldweg 6,
85350 Freising-Weihenstephan

² Institut für Tierernährung, Friedrich-Loeffler-Institut (FLI),
Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Bundesallee 50,
38116 Braunschweig



Deutsches Maiskomitee e. V.

FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT

FLI

Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
Federal Research Institute for Animal Health

Vorwort

Der Ausschuss für Futterkonservierung und Fütterung des Deutschen Maiskomitees hat u.a. die Aufgabe, Versuchsergebnisse zur optimalen Verwertung von Mais und Maisprodukten zu bündeln, darzustellen und einem breiten Kreis von Interessierten – Wissenschaftlern, Fütterungsexperten und landwirtschaftlichen Beratern, Pflanzenzüchtern sowie praktischen Landwirten – zu vermitteln. Gleichzeitig bietet der Ausschuss die Möglichkeit einer intensiven Diskussion zu allen Fragen der Konservierung und Verfütterung von Mais. Dazu dient die jährlich stattfindende öffentliche Sitzung des Ausschusses.

Die Veranstaltung 2009 (17./18.03.) fand im Forum des Johann Heinrich von Thünen-Institutes, Braunschweig zur Thematik „Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten – Wissensstand und Perspektiven“ statt. Ziel dieser Sitzung war, die zu verschiedenen Forschungsbereichen in den vergangenen Jahren geleistete Arbeit zusammenzufassen, aber auch neue Fragestellungen aufzugreifen. Somit waren zunächst Themen von Bedeutung, die den Futterwert unmittelbar von Seiten der Inhaltsstoffe, z.B. Kohlenhydratzusammensetzung, Proteinwert, Energiegehalt, durch Mykotoxinbelastung oder durch technische Bearbeitung (z.B. Häcksellänge von Silomais) beeinflussen. Aber auch zukunftsorientierte Forschungsschwerpunkte wie z.B. Biogas und Fragen zur optimalen Methanausbeute bei Maiseinsatz oder auch Auswirkungen des Klimawandels auf die Qualität von Mais und dessen relative Vorzüglichkeit gegenüber Gras wurden behandelt. Letztlich wurden auch neueste Versuchsergebnisse zur Sicherheit von GMO-Mais bei langfristiger Verfütterung an Milchkühe vorgestellt. Die Erkenntnisse zur Optimierung des Maises für seine Verwendung sind die Herausforderung für den Maiszüchter, an züchterischen Verbesserungen der Maisqualität zu arbeiten. Auch dazu liegt ein Beitrag vor.

Aufgrund des Wunsches vieler Tagungsteilnehmer und der interdisziplinären Ausrichtung der Veranstaltung wurde beschlossen, die Tagungsbeiträge zu veröffentlichen. Der vorliegende Tagungsband wurde in enger Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Maiskomitee und dem Institut für Tierernährung des Friedrich-Loeffler-Instituts erstellt. Für die technische Bearbeitung soll insbesondere Frau Herweg, FLI, und Frau Dr. Kraume, DMK, gedankt werden.

Weihenstephan, August 2009

F.J. Schwarz,
Vorsitzender
des Ausschusses für
Futterkonservierung und
Fütterung des Deutschen
Maiskomitees e.V.

Inhaltsverzeichnis

Kohlenhydratzusammensetzung von Maisrestpflanzen und deren Futterwert <i>Carbohydrate composition of maize stover and its feed value</i>	5
<i>Friederike Zeller, Diane Dobberstein, Mirko Bunzel, Frieder J. Schwarz</i>	
Mais und Maisnebenprodukte und ihre Bedeutung für die Protein- und Aminosäurenversorgung von Wiederkäuern und Nicht-Wiederkäuern <i>Maize and maize by-products – relevance for protein and amino acid supply to ruminants and non-ruminants</i>	19
<i>Karl-Heinz Südekum</i>	
Ertrag von Silomais und energetischer Futterwert von Maissilage im regionalen und im Jahresvergleich <i>The yield of silo maize and the energetic value of corn silage – a regional and annual comparison</i>	29
<i>Franz-Peter Engling, Michael Egert, Hartwig Wellmann</i>	
Mykotoxine in Lebens- und Futtermittel: Entwicklung verbesserter Testmethoden <i>Mycotoxins in food and feed: Developments of improved analytical methods</i>	39
<i>Kurt Brunner, Maria Paula Kovalsky Paris, Robert L. Mach</i>	
Häcksellänge und Strukturwert von Silomais <i>Chopping length and structure value of silage maize</i>	47
<i>Hubert Spiekers, Thomas Ettle, Wolfgang Preißinger, Martin Pries</i>	
Sicherheit von GMO Mais MON810 nach langfristigem Einsatz bei Milchkühen <i>Safety of GMO maize MON810 after long-term feeding of dairy cows</i>	63
<i>Patrick Gürtler, Vijay Paul, Kerstin Steinke, Steffi Wiedemann, Wolfgang Preißinger, Christiane Albrecht, Hubert Spiekers, Frieder J. Schwarz, Heinrich H.D. Meyer</i>	
Messung von Biogaserträgen – Methoden und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen – <i>Measurements of biogas yields – methods and transfer into practical use</i>	75
<i>Sebastian Wulf, Helmut Döhler</i>	
Einfluss von Trockenmassegehalt (Abreife), Häcksellänge und Silierung auf die Biogasausbeute von Mais <i>Effect of dry matter content, chopping length and ensiling process on biogas yield of maize</i>	87
<i>Christiane Herrmann, Monika Heiermann, Christine Idler, Frank Hertwig</i>	

Ernährungsphysiologische Bewertung von „Mais 2050“ 107
Nutritional value of „maize 2050“

Ulrich Meyer, Liane Hüther, Remy Manderscheid, Hans-Joachim Weigel, Malte Lohölter, Anke Schenderlein

Relative Vorzüglichkeit von Mais und Gras unter Berücksichtigung von Klimawandel 115

Relative benefit of maize and grass under conditions of climatic change

Friedhelm Taube, Antje Herrmann

Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung der Silomaisqualität 127
Breeding improvements of silage maize quality

Christoph Mainka

Kohlenhydratzusammensetzung von Maisrestpflanzen und deren Futterwert

Carbohydrate composition of maize stover and its feed value

Friederike Zeller¹, Diane Dobberstein², Mirko Bunzel³ und Frieder J. Schwarz¹

¹Department für Tierwissenschaften, Lehrstuhl für Tierernährung, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München (TUM)

²Institut für Biochemie und Lebensmittelchemie, Universität Hamburg

³Department of Food Science and Nutrition, Endowed Land Grant Chair in Cereal Chemistry and Technology, University of Minnesota, St. Paul, USA

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Kohlenhydratzusammensetzung und dem Futterwert von Maisrestpflanzen. Vorrangig wurde die Frage überprüft, inwieweit die Genetik (hier: Abreifeverhalten verschiedener Maissorten) und die physiologische Reife (hier: verschiedene Erntezeitpunkte) die chemische Zusammensetzung, die *in vitro*-Verdaulichkeit sowie die ruminale Abbaubarkeit der TS und der NDF in der Maisrestpflanze beeinflussen. Hierfür wurden Restpflanzen verschiedener Genotypen nach ihrer Siloreifezahl in drei Reifegruppen eingeteilt und zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (bestimmt nach dem Trockensubstanzgehalt der Körner) beprobt. Die Reifegruppen teilten sich in Reifegruppe I (S210-S220), Reifegruppe II (S 230- S 250) und Reifegruppe III (S260-S280) auf. Aus den Daten geht hervor, dass die untersuchten Sorten der Reifegruppe I bei gleichem physiologischem Reifestatus geringere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen und damit einhergehend eine höhere ruminale Abbaubarkeit der TS sowie der *in vitro*-Verdaulichkeiten aufwies als die Reifegruppen II und III. Dies lässt bei dem geprüften Sortenkollektiv auf einen Vorteil der frühen Sorten schließen, da hier das Erntefenster weiter gefasst werden kann als in den später abreifenden Sorten. Außerdem wurden die Unterschiede in den Inhaltsstoffen mit fortschreitender Abreife der Restpflanze deutlicher. Der Gehalt an NDF in der Restpflanze zeigte eine eng negative Korrelation ($r = -0.81$) zur ruminale Abbaubarkeit der TS, während die ruminale Abbaubarkeit der NDF keine Beziehung zum NDF-Gehalt aufwies. Zwischen Ligningehalten und ruminale Abbaubarkeit der TS und der NDF konnten keine deutlichen Beziehungen festgestellt werden.

Schlüsselwörter: Maisrestpflanze, Kohlenhydratzusammensetzung, ruminale Abbaubarkeit, *in vitro*-Verdaulichkeit, Maissiloreife

Abstract

The aim of the present study was to investigate the feeding value of maize stover in relation to its carbohydrate composition. The major question was the influence of genotypic variations (here: different maturity groups) and of physiological maturity (here: different harvest dates) on chemical composition, *in vitro* digestibility and ruminal DM and NDF degradability.

For the investigation plant stovers of different maize genotypes were assigned into three maturity groups and harvested at four different harvest dates (depending on the dry matter content of the kernels). Early maturing varieties were allotted into maturity group I (S210-S220), mid-early maturing varieties to group II (S230-S250) and mid-late varieties to group III (S260-S280).

From the obtained data, we observe that the evaluated maize varieties of maturity group I had lower cell wall contents and thus higher ruminal DM degradability as well as higher *in vitro* digestibility than maturity groups II and III at the same stage of physiological maturity. This indicates for all varieties of the present investigation, a benefit for the early varieties due to a longer period of harvest in comparison to the later maturing varieties. The differences in cell wall contents did not become apparent with later stages of physiological maturity (later harvest dates). There was a strong negative interaction between NDF content and ruminal DM degradability of the plants stover ($r=-0.81$) whereas no interaction was found between NDF content and ruminal NDF degradability. Also, no significant relationship between lignin contents and ruminal degradability of DM and NDF could be investigated.

Key words: Maize stover, carbohydrate composition, ruminal degradability, *in vitro* digestibility, maize silage maturity

Einleitung

Maissilage gehört zu den wichtigsten Grundfuttermitteln in der Wiederkäuerernährung. So wurden zum Beispiel im Jahr 2007 laut Statistik des DMK (2008) in Deutschland knapp 70 Mio. t Silomais produziert. Die damit einhergehende Anbaufläche betrug fast 1,5 Mio. ha (DMK, 2008). Silomais erfüllt zwei wichtige Kriterien, die an ein hochwertiges Futter für Wiederkäuer gestellt werden. Durch den Kolben bzw. die Maiskörner liefert die Pflanze in der Ration Energie in Form von Stärke. Durch die Restpflanze, die zum Zeitpunkt der Siloreife etwa 40 – 50 % der Gesamt-Trockenmasse ausmacht (Irlbeck et al., 1993; Valentin et al., 1999), wird außerdem ein wichtiger Beitrag zur Faserversorgung und damit zur Wiederkäuergerechtigkeit der Ration geleistet.

Mit der immer größeren Bedeutung von Mais in der Fütterung wächst auch die Notwendigkeit, die Inhaltsstoffe und ihre Dynamik im Verdauungstrakt des Wiederkäuers genauer zu kennen, um eine richtige, rationsorientierte Einschätzung des Futterwertes vorzunehmen. Der Restpflanze von Mais kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu. Allerdings wurde sie in den letzten Jahren züchterisch kaum bearbeitet (Givens und Deaville, 2001). Damit könnte über die Restpflanze – die immerhin mit bis zu 35 % an der Energielieferung aus Silomais beteiligt ist – der Futterwert zunehmend positiv beeinflusst werden.

Die vorliegende Untersuchung soll einen Beitrag zur Klärung der Frage leisten, ob die Genetik (z.B. das Abreifeverhalten verschiedener Sorten) und die physiologische Reife (z.B. verschiedene Erntezeitpunkte) einen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung, die *in vitro*-Verdaulichkeit sowie die ruminale Abbaubarkeit der Trockensubstanz (TS) und der pflanzlichen Gerüstsubstanzen (NDF) in der Maisrestpflanze und somit auf ihren Futterwert haben.

Material und Methodik

Pflanzenmaterial und Aufbereitung

Silomais von 14 verschiedenen Sorten (Herkunft eines Zuchtunternehmens) wurde unter vergleichbaren Bedingungen (Saatzeit, Saattiefe, Düngung, Unkrautbekämpfung) auf der Versuchsstation Hirschau der Technischen Universität München angebaut. Davon wurden zwölf Sorten in zwei oder drei Erntejahren (2004, 2005 und 2006) in Folge gesät. Die Pflanzen wurden zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (EZP) (bestimmt nach dem TS-Gehalt der Körner) beprobt. Der Erntezeitraum erstreckte sich von Ende August/Anfang September bis Mitte/Ende Oktober. Die Ernte (nur bei regenfreiem Wetter) erfolgte zu jedem EZP an drei separaten repräsentativen Probenahmestellen. Dazu wurden von jeder Sorte jeweils 10 Maispflanzen in Reihe in ca. 10-15 cm Höhe abgeschnitten. Daraufhin wurden von allen Pflanzen die Kolben entfernt, entliescht und gehäckselt. Die Lieschen wurden der Restpflanze zugeordnet. Anschließend erfolgten die Gefriertrocknung der Proben und eine Vermahlung des gesamten gefriergetrockneten Probenmaterials in einer Schlagkreuzmühle mit Segmentsieb (Nelles & Co., Braunschweig) auf eine Partikelgröße von 3 mm. Dieses Probenmaterial diente sowohl für die *in situ*-Abbaubarkeitsversuche als auch zur späteren Analytik (hier erfolgte eine Weitervermahlung des Materials auf 1 mm). Die angestrebten TS-Gehalte im Korn für die jeweiligen EZP betragen für EZP 1 48 – 52 %, für EZP 2 54 – 58 %, für EZP 3 60 – 64 % und für EZP 4 65 – 70 %.

Die Restpflanzen wurden nach ihrer Siloreifezahl drei verschiedenen Reifegruppen zugeordnet. Die Reifegruppen teilten sich wie folgt auf: Reifegruppe I (RG I; S 210 - S 220; n= 4 Sorten), Reifegruppe II (RG II; S 230 - S 250; n= 5 Sorten) und Reifegruppe III (RG III; S 260 - S280; n= 5 Sorten). Die TS-Gehalte der Restpflanzen zu den einzelnen Erntezeitpunkten sind in Tabelle 1 für die einzelnen Reifegruppen dargestellt.

Tabelle 1: TS-Gehalte der Restpflanze (%) der verschiedenen Reifegruppen im Reifeverlauf

	EZP 1	EZP 2	EZP 3	EZP 4
RG I	20,5	20,4	23,3	28,5
RG II	19,7	20,8	22,8	28,6
RG III	19,7	20,3	23,6	27,2

Mit späterem EZP erhöhten sich die mittleren TS-Gehalte von 20 % bis auf 28 %. Allerdings ergaben sich zwischen den Reifegruppen zu keinem EZP signifikante Unterschiede im TS-Gehalt.

Untersuchungsparameter

Zur Erfassung der Veränderungen der Inhaltsstoffe wurde die Restpflanze (RPfl) auf ihre chemische Zusammensetzung untersucht. Die Bestimmung der Rohnährstoffe (XA, XP, XL, XF) erfolgte nach dem Weender Analysenverfahren. Pflanzliche Gerüstsubstanzen und

Zellwandkohlenhydrate wurden für alle Sorten mit Hilfe der Detergentienanalyse (NDF, ADF, ADL) (Van Soest und Wine, 1966) unter Benutzung der ANKOM-Messapparatur (Komarek, 1993) quantifiziert. Aus den erhaltenen Werten über die NDF-, ADF- und ADL-Gehalte der Sorten konnten mittels Differenzrechnung die Gehalte an Hemicellulose (HemCel) und Cellulose (Cel) dargestellt werden. Diese werden wie folgt berechnet (Jeroch et al., 2008):

$$\text{Hemicellulose (\%)} = \text{NDF (\%)} - \text{ADF (\%)}$$

$$\text{Cellulose (\%)} = \text{ADF (\%)} - \text{ADL (\%)}$$

Anhand ausgewählter Sorten (n= 10) und Erntezeitpunkte (EZP 1 und EZP 3) wurden des Weiteren die Kohlenhydratfraktionen der Zellwandpolysaccharide in Form ihrer Monomere (Glucose (Glc), Xylose (Xyl), Arabinose (Ara)) sowie die Uronsäuren (UrA) und die freie Glucose (FGlc) näher bestimmt. Außerdem wurden neben ADL zwei weitere Lignin-Bestimmungen als Acetylbromid lösliches Lignin (ABSL) und KlasonLignin (KL) durchgeführt (Dobberstein, 2009).

Die *in situ*-Abbaubarkeit der TS (siehe Zeller, 2009) wurde bei allen Proben untersucht. Die *in situ*-Abbaubarkeitsmessungen erfolgten in Anlehnung an Flachowsky et al. (1988) sowie Madsen und Hvelplund (1994). Hierfür wurden Beutel aus weißem Polyestermonofilament (BG 1020, Bar Diamond, Inc.; Idaho) mit einer Größe von 10×20 cm und einer Porengröße von 50 ± 15 µm zunächst im Trockenschrank (Memmert) bei 60°C 48 Stunden getrocknet und anschließend im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt. In jeden Beutel wurde nach Ermittlung des Leergewichts 4,0 ± 0,1 g Probenmaterial eingewogen, was nach dem Verschließen der Beutel (mit Kabelbindern) in etwa 10 – 15 mg Substanz pro cm² Beuteloberfläche entsprach. Die fertigen Beutel wurden zur Inkubation paarweise zu jeweils 16-18 Stück an elastischen Stäben mit einer Länge von 55 cm angebracht. Zur Inkubation wurde der Stab an einer ca. 50 cm langen Nylonschnur an der Innenseite des Fistelverschlusses befestigt. Es wurde mit sechs Tieren gearbeitet. Die Inkubation begann stets mit Beginn der Morgenfütterung um 7.00 Uhr. Die Entnahme erfolgte den Zeitphasen entsprechend nach 2, 4, 8, 16, 24, 48, 72 und 96 Stunden. Nähere Details sind vorausgehenden Arbeiten zu entnehmen (Flaßhoff et al., 2007).

Die Verrechnung der Trockenmasseverluste erfolgte auf Basis eines exponentiellen Modells von Ørskov und McDonald (1979). Des Weiteren wurde die effektive ruminale Abbaubarkeit der TS (EDM6) bei einer angenommenen Passagerate von 6 % h⁻¹ berechnet (Flaßhoff et al., 2007).

Die effektive Abbaubarkeit (P) ergibt sich aus folgender Gleichung (McDonald, 1981, modifiziert):

$$P = a + [(b \times c) / (c + k)] \times e^{-k \times t_0}$$

wobei:

a = schnell abbaubare oder lösliche Fraktion [%]

b = nicht lösliche aber abbaubare Fraktion [%]

c = Abbaurrate von b

t = Inkubationszeit [h]

t₀ = Verzögerungszeit (lag time) [h] bis ein mikrobieller Abbau im Pansen beginnt

k = Passagerate [% pro Stunde]

Die *in situ*-Abbaubarkeit der NDF wurde exemplarisch an einem Teil der Proben vorgenommen. Hierfür wurden die NDF-Gehalte in den Proben-Residuen der *in situ*-Abbaubarkeitsmessungen bestimmt und mit den gewonnenen Daten der Abbau der NDF im Material berechnet. Außerdem kann anhand der NDF-Verluste über die Inkubationszeiten die effektive Abbaubarkeit der NDF (EDNDF₆) entsprechend der effektiven Abbaubarkeit der TS bei einer Passagerate von 6 % h⁻¹ berechnet werden.

Des Weiteren wurde auch die *in vitro*-Verdaulichkeit in Form der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) entsprechend der LUFA-Bestimmungen (Naumann et al., 1997) in den Proben bestimmt. Ebenso wurde die *in vitro*-Verdaulichkeit durch die Bestimmung des Gasbildungsvermögens (Gb) mittels Hohenheimer Futterwerttest nach der Methode von Menke et al. (1979) sowie Steingass und Menke (1986) charakterisiert.

Ergebnisse und Diskussion

Inhaltsstoffe in der Restpflanze der verschiedenen Reifegruppen im Verlauf der Abreife

Da die Abreife eine sortenspezifische Eigenschaft ist, wird im Folgenden der Reifestatus der Pflanzen in Abhängigkeit der Reifegruppe dargestellt. Im Mittel aller Proben ergaben sich dabei TS-Gehalte von 23,3 % für RG I (20,1 - 29,7 %), 23,0 % (19,1 - 31,1 %) für RG II und 22,8 % (18,2 - 28,9 %) in RG III (siehe Tabelle 1). Tabelle 2 beschreibt die Gehalte an Rohfaser (XF) und NDF in den Reifegruppen in Abhängigkeit vom Reifestatus der Pflanzen.

Tabelle 2: Rohfaser- und NDF-Gehalte (% der TS) in der Restpflanze der Reifegruppen im Reifeverlauf

		EZP 1	EZP 2	EZP 3	EZP 4
RG I	XF	32,2	33,8	33,8 ^b	34,3 ^b
	NDF	54,8	57,1	58,7	60,7 ^b
RG II	XF	33,4	34,5	36,2 ^{ab}	37,6 ^a
	NDF	56,0	58,3	61,3	64,4 ^a
RG III	XF	34,3	35,2	36,4 ^a	37,5 ^a
	NDF	57,1	58,7	62,0	63,7 ^{ab}

Es wird deutlich, dass sowohl die Rohfaser- als auch die NDF-Gehalte in der Restpflanze aller drei Reifegruppen im Verlauf der Abreife deutlich anstiegen. RG I zeigte außerdem einen durchgehend niedrigeren Gehalt an pflanzlichen Gerüstsubstanzen als RG II und III. Einen ähnlichen Effekt zwischen Sorten mit unterschiedlichem Abreifeverhalten konnten auch Schwarz et al. (1996) in einer Arbeit mit Sorten verschiedener Reifezahl beobachten. Ebenso fanden Méchin et al. (2000) in einer Studie mit 16 Mais-Linien bei gleichem physiologischen Reifestatus einen signifikanten Einfluss des Genotyps auf die Gehalte an NDF in der Restpflanze. Diese Unterschiede in den pflanzlichen Gerüstsubstanzen der vorliegenden Arbeit konnten jedoch erst in den späteren Reifestadien (EZP 3 und 4) statistisch abgesichert werden. Daraus lässt sich schließen, dass mit fortschreitender Abreife der Pflanze (EZP 3 entspricht in etwa der Siloreife) die quantitativen Unterschiede im Abreifeverhalten zwischen den Reifegruppen deutlicher wurden.

Die Ergebnisse aus der Analyse der Kohlenhydratmonomere sowie der Lignin-Bestimmungen sind in Abbildung 1 gemittelt über die untersuchten Erntezeitpunkte dargestellt.

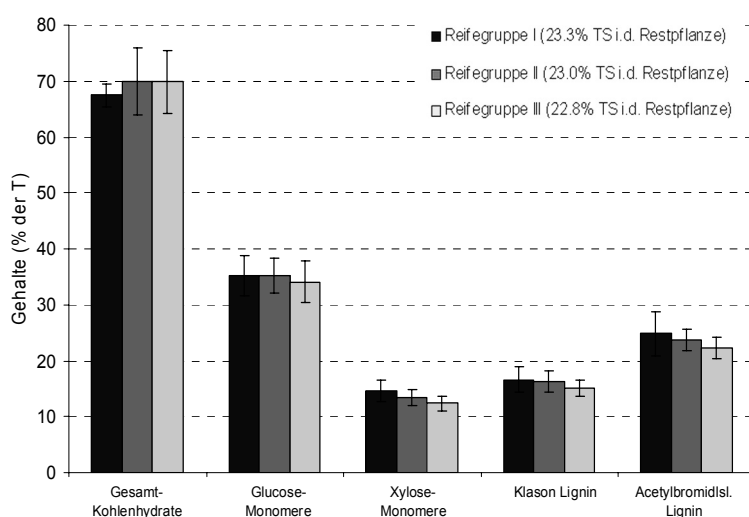


Abbildung 1: Kohlenhydratmonomere und Lignin (% der TS) der Reifegruppen im Mittel über EZP 1 und EZP 3

Die Glucosegehalte zeigten sich in RG I und II höher als in RG III, was auf einen erhöhten Cellulosegehalt hinweist. Im Reifeverlauf ergab sich jedoch kein eindeutiger Anstieg der Glucosegehalte in den einzelnen Reifegruppen. Die Xylose-, Arabinose- und Uronsäuregehalte waren in RG I tendenziell am höchsten. Dies lässt auf einen höheren Gehalt an Hemicellulose in RG I schließen. Auch im Reifeverlauf stiegen die genannten Monomere in allen drei Reifegruppen deutlich an. Klason- und acetylbromidlösliches Lignin waren in RG I etwas erhöht im Vergleich zu RG II und RG III. Im Reifeverlauf zeigte sich jedoch keine deutliche Veränderung der Ligningehalte nach beiden Bestimmungsmethoden. Der ADL-Gehalt hingegen zeigte die gleiche Tendenz wie die Rohfaser- und NDF-Gehalte. So

war er in RG I etwas niedriger als in den Reifegruppen II und III. Dem Ligningehalt in Form von ADL dürfte ein etwas geringerer Aussagewert hinsichtlich des physiologischen Reifestatus zukommen als dem Gehalt an Rohfaser oder NDF. Gleiches konnten auch Schwarz und Etle (2000) feststellen.

In situ-Abbaubarkeit und in vitro-Verdaulichkeiten in der Restpflanze der verschiedenen Reifegruppen im Verlauf der Abreife

Tabelle 3 zeigt die effektive Abbaubarkeit der Trockensubstanz und die *in vitro*-Verdaulichkeiten der Reifegruppen über den Verlauf der Abreife. Dabei war die effektive Abbaubarkeit der Trockensubstanz entsprechend der geringeren Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen (siehe Tabelle 2) in Reifegruppe I über den Verlauf der Abreife tendenziell höher als in den beiden späteren Reifegruppen. Allerdings erniedrigt sich in allen RG die ruminale Abbaubarkeit mit zunehmender physiologischer Reife, ausgedrückt anhand EZP 1 – 4. Letztlich ergeben sich auch für die mittleren Messwerte der *in vitro*-Verdaulichkeit ähnlich gerichtete Ergebnisse.

Tabelle 3: EDM6 (%), ELOS (% der TS) und Gasbildungspotential (Gb) (ml/200 mg TS) der Restpflanzen der Reifegruppen im Reifeverlauf

		EZP 1	EZP 2	EZP 3	EZP 4
RG I	EDM6	49,6	46,3	45,2	43,1
	ELOS	49,6	45,9	45,0 ^a	43,4 ^a
	Gb	44,9	44,5	43,2 ^a	41,8 ^a
RG II	EDM6	48,6	46,0	42,6	39,4
	ELOS	46,9	44,6	41,6 ^b	38,4 ^b
	Gb	41,6	41,7	37,9 ^b	37,5 ^b
RG III	EDM6	47,3	47,1	44,2	41,9
	ELOS	46,1	45,0	41,8 ^{ab}	40,7 ^{ab}
	Gb	43,7	42,7	41,3 ^{ab}	39,5 ^{ab}

Demgegenüber zeigte die effektive ruminale Abbaubarkeit der NDF keine gerichtete Veränderung im Reifeverlauf und lag zwischen 37,1 und 31,8 % d. NDF (siehe Abbildung 2). Hier ließen sich auch keine Unterschiede zwischen den Reifegruppen ausmachen. Die EDNDF6 betrug gemittelt über alle Erntezeitpunkte für RG I 33,5, für RG II 35,7 und für RG III 33,7 % d. NDF. Abbildung 2 gibt den Verlauf der EDNDF6 der Reifegruppen und die Veränderungen in den Gehalten an NDF wieder.

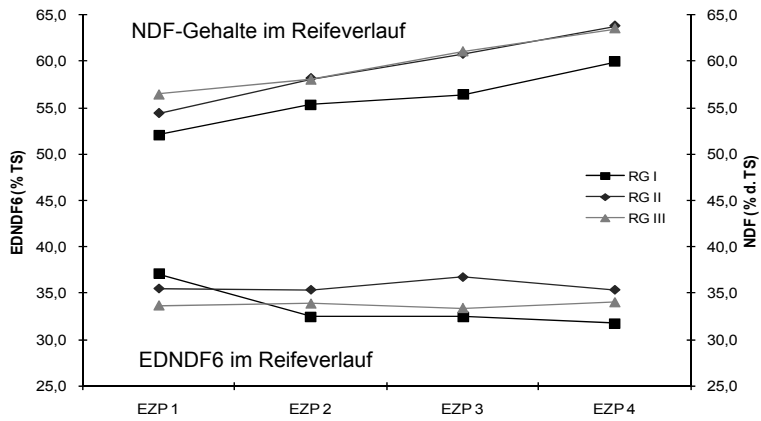


Abbildung 2: Effektive Abbaubarkeit der NDF (% der NDF) und NDF-Gehalte (% d. TS) der Reifegruppen im Reifeverlauf

Beziehung zwischen der in situ-Abbaubarkeit und den NDF-Gehalten der Reifegruppen

In den Abbildungen 3 und 4 sind anhand von regressionsanalytischen Auswertungen die Beziehungen zwischen effektiver Abbaubarkeit der TS bzw. der NDF und den NDF-Gehalten der Reifegruppen aufgeführt.

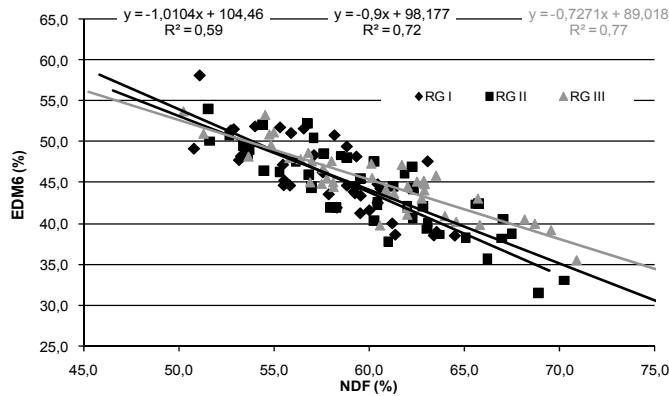


Abbildung 3: Beziehung zwischen NDF-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit der TS in den verschiedenen Reifegruppen

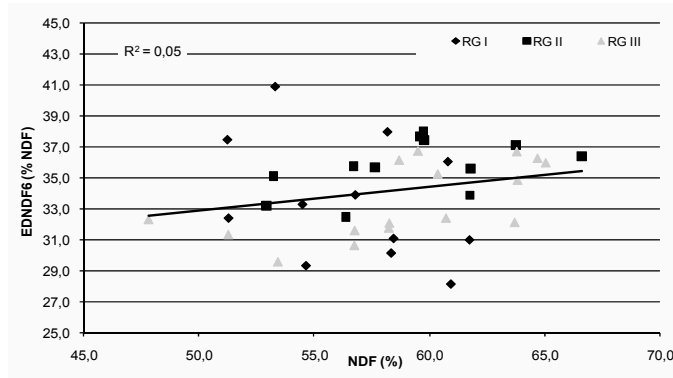


Abbildung 4: Beziehung zwischen NDF-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit der NDF in den verschiedenen Reifegruppen

Aus den Daten geht eine deutlich negative Beziehung von $r = -0,81$ ($p < 0,0001$) zwischen dem NDF-Gehalt und der effektiven Abbaubarkeit der TS hervor. Dieser Zusammenhang konnte auch in verschiedenen anderen Arbeiten bereits bestätigt werden (Köhler et al., 1989; Flachowsky et al., 1993; Verbič et al., 1995; Tovar-Gómez et al., 1997; Tolera et al., 1999; Parys et al., 2000; Höhner, 2001). Für die einzelnen Reifegruppen ergaben sich etwas differenzierte Werte, was das Verhältnis zwischen EDM6 und NDF betrifft. So zeigte Reifegruppe I die am stärksten negative Beziehung, während RG III die am wenigsten stark negative Beziehung aufwies. Zein (2007) konnte bei einem Vergleich von 40 Hybriden ebenfalls signifikante Differenzen zwischen den NDF-Gehalten der Sorten und – negativ damit korreliert – der *in vitro*-Abbaubarkeit der organischen Substanz (IVDOM) messen.

Aus Abbildung 4 geht allerdings hervor, dass kein gerichteter Zusammenhang zwischen der effektiven Abbaubarkeit der NDF und den NDF-Gehalten in der Restpflanze festzustellen war. Die Angaben in der Literatur sind hierzu widersprüchlich. So konnten Méchin et al. (2000) einen Korrelationskoeffizienten von $-0,50$ zwischen NDF-Gehalt und NDF-Abbaubarkeit *in vitro* (IVNDFD) feststellen. Auch wurden viele Arbeiten zur Beziehung zwischen NDF-Gehalt und NDF-Verfügbarkeit nur *in vitro* durchgeführt, was unter Umständen zu einer eingeschränkten Vergleichbarkeit der Daten mit den vorliegenden Ergebnissen führen kann. *In situ*-Studien zur NDF-Abbaubarkeit sind selten, da sie mit einem enormen analytischen Aufwand verbunden sind. Zein (2007) konnte für die Beziehung zwischen DNDF *in vitro* und NDF-Gehalt eine signifikante negative Korrelation von $-0,32$ zeigen. Für die Beziehung zwischen IVDOM und NDF ermittelte er einen Korrelationskoeffizienten von $-0,75$. In dieser Arbeit wird ebenso wie aus den vorliegenden Daten deutlich, dass die TS-Abbaubarkeit wesentlich stärker durch den NDF-Gehalt beeinflusst wird als die NDF-Abbaubarkeit. Ebenso konnten Schwarz et al. (1996) keinen Zusammenhang zwischen der Rohfaserverdaulichkeit und der Höhe des Rohfasergehaltes in verschiedenen Maissorten ermitteln. Shi et al. (2007) fanden zwar bei einem Vergleich von Sorten hoher Restpflanzenqualität mit Sorten niedriger Restpflanzenqualität eine Differenz von durchschnittlich 10 % niedrigerer NDF-Verdaulichkeit bei den Sorten mit niedriger Qualität, was aber in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden konnte.

Beziehung zwischen der in situ-Abbaubarkeit und den Lignin- bzw. pCumarsäure-Gehalten der Reifegruppen

Sowohl über Lignin als auch über die Hydroxycimtsäuren (hier: *para*-Cumarsäure) wurde berichtet, dass sie die Zellwandverdaulichkeit vermindern, indem sie den Zugang zu den Zellwandstrukturen für Enzyme oder Mikroorganismen erschweren (Jung und Deetz, 1993; Besle et al., 1994). Oft wird der Ligningehalt als primär begrenzender Faktor für die Abbaubarkeit von Zellwänden betrachtet (Hatfield et al., 1994; Jung, 1997; Méchin et al., 2000; Barrière et al., 2003; Méchin et al., 2005; Grabber, 2005). Wolf et al. (1993) fanden in Untersuchungen an Mais-Restpflanzenmaterial negative Korrelationen zwischen IVNDFD und Ligningehalt von -0,86, -0,64 und -0,37 je nach Genotyp. Auch Jung und Casler (2006) fanden einen sehr hohen Korrelationskoeffizienten zwischen IVNDFD und Klason-Lignin-Gehalt von -0,87. Méchin et al. (1998) konnten in einer Untersuchung mit den Restpflanzen von 18 normalen Mais-Linien eine genetisch bedingte Korrelation der ADL-Gehalte mit der IVNDFD von -0,51 beobachten. In der vorliegenden Arbeit erwies sich der Lignin-Gehalt als wenig unterschiedlich zwischen den Reifegruppen. Im ADL-Gehalt waren keine Unterschiede zwischen den Reifegruppen feststellbar und die beiden Bestimmungsmethoden KL und ABSL zeigten tendenziell höhere Lignin-Gehalte in den frühen Sorten (RG I). Eine Beziehung zwischen Ligningehalten und effektiver Abbaubarkeit konnte weder für die EDM6 noch für die EDNDF6 gefunden werden.

Ähnliches zeigte sich auch für die Beziehung zwischen der effektiven Abbaubarkeit der TS bzw. der NDF und den Gehalten an *p*Cumarsäure in den verschiedenen Reifegruppen. Zwischen EDM6 und *p*CA-Gehalten konnte zwar eine nicht signifikante Beziehung von $r = -0,63$ ermittelt werden, während EDNDF mit einem Bestimmtheitsmaß nahe Null ($R^2 = 0,03$) keinen Zusammenhang zu den Gehalten an *p*Cumarsäure zeigte. Auch hier konnten von anderen Autoren deutlichere Zusammenhänge festgestellt werden (Marvin et al., 1999; Méchin et al., 2000).

Schlussfolgerungen

Die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Daten zeigen, dass der Genotyp (hier in Form der Reifegruppe der Pflanzen) den Futterwert der Restpflanze unter den Bedingungen eines gleichen physiologischen Reifestatus deutlich beeinflusst. Dies trifft sowohl für die chemische Zusammensetzung der Restpflanzen (besonders für die Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen) als auch für die ruminale Abbaubarkeit und die *in vitro*-Verdaulichkeit zu. So zeigten die früh abreifenden Sorten in Reifegruppe I signifikant geringere Gehalte an Zellwandbestandteilen als die später abreifenden Sorten aus den Reifegruppen II und III ($p < 0,05$). Dies spiegelte sich in einem positiven Effekt auf die ruminale Abbaubarkeit, die Gehalte an enzymlöslicher organischer Substanz und das Gasbildungspotential der Restpflanzen aus Reifegruppe I wider. Daraus lässt sich schließen, dass die früher abreifenden Sorten dieser Untersuchung ein breiteres Erntefenster aufweisen, da die Gesamtpflanze im Vergleich zu den später reifen Sorten länger abreifen kann, ohne dass die Restpflanze in ihrer Verfügbarkeit für den Wiederkäuer wesentlich beeinflusst wird. Außerdem

wurden die Unterschiede mit zunehmender Abreife der Pflanzen (EZP 3 und 4) deutlicher. Dies weist darauf hin, dass der Vorteil der frühen Sorten des getesteten Sortenpools deutlicher wird, je länger die Pflanzen abreifen. In der vorliegenden Untersuchung konnte auch gezeigt werden, dass zwar die absolute Höhe der NDF-Gehalte im Material von Bedeutung für die ruminale Abbaubarkeit der TS beim Wiederkäuer ist. Somit hat der Reifestatus einen wesentlichen Einfluss auf die Verfügbarkeit der Restpflanze für den Wiederkäuer. Die Abbaubarkeit der NDF wird jedoch nicht vom absoluten Gehalt an NDF im Material beeinflusst. So konnte keine Beziehung zwischen NDF-Gehalten und NDF-Abbaubarkeit ermittelt werden. Gleiches trifft für die Beziehungen zwischen Lignin- bzw. *p*Cumarsäure-Gehalten und ruminale Abbaubarkeit der Restpflanze zu.

Literatur

- Barrière, Y., Guillet, C., Goffner, D., Pichon, M. (2003): Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. A review. *Anim. Res.* 52:193-228
- Besle, J.M., Cornu, A., Jouany, J.P. (1994): Roles of structural phenyl propanoids in forage cell wall digestion. *J. Sci. Food Agric.* 64:171-190
- Dobberstein, D. (2009): Charakterisierung der Zellwandstrukturkomponenten von Maisrestpflanzen als mögliche Einflussfaktoren der ruminale Zellwandabbaubarkeit. Dissertation, Universität Hamburg
- Flachowsky, G., Peyker, W., Schneider, A., Henkel, K. (1993): Fibre analyses and in sacco degradability of plant fractions of two varieties harvested at various times. *Anim. Feed Sci. Technol.* 43:41-50
- Flachowsky, G., Schneider, M., Ochrimenko, W.I., Richter, G.H., Löhnert, H.-J. (1988): Methodische Hinweise zur Anwendung der Nylonbeutel-Technik beim Wiederkäuer. Schriftenreihe der Lehrgangseinrichtung für Fütterungsberatung Jena-Jemderoda 11, 20-26
- Fleißhoff, F., Dobberstein, D., Bunzel, M., Steinhart, H., Schwarz, F.J. (2007): Cell wall composition and ruminal degradability of maize stover. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 16:95
- Givens, D.I., Deaville, E.R. (2001): Comparison of major carbohydrate fractions and cell wall digestibility in silages made from older and newer maize genotypes grown in the UK. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89:69-82
- Grabber, J. (2005): How do lignin composition, structure and cross-linking affect degradability? A Review of cell wall model studies. *Crop Sci.* 45:820-831
- Hatfield, R., Jung, H., Ralph, J., Buxton, D., Weimer, R. (1994): A comparison of the insoluble residues produced by the klason lignin and the acid detergent lignin. *J. Sci. Food Agric.* 65:51-58
- Höner, K. (2001): Einfluss von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt von Milchkühen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover
- Jeroch, H., Drochner, W., Simon, O. (2008): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere; Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung, 2. überarbeitete Auflage. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart
- Jung, H.G. (1997): Analysis of forage fibre and cell walls in ruminant nutrition. *J. Nutr.* 127:810-813
- Jung, H.G., Deetz, D.A. (1993): Cell wall lignification and degradability. In: H.G. Jung et al. (Eds.) Forage cell wall structure and digestibility. *Americ. Soc. of Agron., Madison, WI, USA:* 315-346

- Jung, H.G., Casler, M.D. (2006): Maize stem tissues: Impact of development on cell wall degradability. *Crop Sci.* 46:1801-1809
- Köhler, R., Leuroth, A., Jeroch, H. (1989): Untersuchungen zum Gehalt und zur Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen in Restpflanzen verschiedener Maishybriden. *Arch. Anim. Nutr.* 39:187-192
- Madsen, J., Hvelplund, T. (1994): Prediction of *in situ* protein degradability in the rumen. Results of an european ringtest. *Livest. Prod. Sci.* 39:201-212
- Marvin, H.J.P., Krechting, C.F., van Loo, E.N., Snijders, C.H.A., Lommen, A., Dolstra, O. (1999): Relationship between phenolic acids formed during rumen degradation of maize samples and *in vitro* digestibility. *J. Sci. Food Agric.* 71:111-118
- McDonald, I. (1981): A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci., Camb.* 96:251-252
- Méchin, V., Argillier, O., Barriere, Y., Menanteau, V. (1998): Genetic variation in stems of normal and brown-midrib3 maize inbred lines. Towards similarity for *in vitro* digestibility and cell wall composition. *Maydica* 43:205-210
- Méchin, V., Argillier, O., Menanteau, V., Barriere, Y., Mila, I., Pollet, B., Lapiere, C. (2000): Relationship of cell wall composition to *in vitro* cell wall digestibility of maize inbred line stems. *J. Sci. Food Agric.* 80:574-580
- Méchin, V., Argillier, O., Rocher, F., Hébert, Y., Mila, I., Pollet, B., Barriere, Y., Lapière, Y. (2005): In search of a maize ideotype for cell wall enzymatic degradability using histological and biochemical lignin characterization. *J. Agric. Food Chem.* 53:5872-5881
- Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., Schneider, W. (1979): The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *J. Agric. Sci. Camb.* 93:217-222
- Naumann, C., Bassler, R., Seibold, R., Barth, C. (1997): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch, Bd. III, 4. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- Ørskov, E.R., McDonald, I. (1979): The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92:499-503
- Parys, C., Matthé, A., Lebzien, P., Flachowsky, G. (2000): Einfluss der Tierart und der Rationsgestaltung auf die *in sacco* Abbaubarkeit von Weizen und Mais im Pansen. 112. VDLUFA-Kongress vom 18. bis 22. September 2000. VDLUFA-Schriftenreihe 55/III:76-83
- Schwarz, F.J., Pex, E.J., Kirchgessner, M. (1996): Zum Sorteneinfluss von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. *Das wirtschaftseigene Futter* 42:161-172
- Schwarz, F.J., Ettle, T. (2000): Erntezeitpunkt, Sorte und deren Einfluss auf Inhaltsstoffe, Verdaulichkeit und *in situ*-Abbaubarkeit der Stärke von Silomais. *Landbauforsch. Völknerode* 217:102-115
- Shi, C; Uzarowska, A.; Ouzunova, M., Landbeck, M., Wenzel, G., Lübberstedt, T. (2007): Identification of candidate genes associated with cell wall digestibility and eQTL expression quantitative trait loci: analysis in a Flint × Flint maize recombinant inbred line population. *BMC Genomics* 8:22
- Steingass, H., Menke, K.H. (1986): Schätzung des energetischen Futterwerts aus der *in vitro* mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. I. Untersuchungen zur Methode. *Übers. Tierernährg.* 14:251-270

- Tolera, A., Berg, T., Sundstøl, F. (1999): The effect of variety on maize grain and crop residue yield and nutritive value of the stover. *Anim. Feed Sci. Technol.* 79:165-177
- Tovar-Gomez, M.R., Emile, J.C., Michalet-Doreau, B., Barriere Y. (1997): In situ degradation kinetics of maize hybrid stalks. *Anim. Feed Sci. Technol.* 68:77-88
- Van Soest, P.J., Wine, R.H. (1966): Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 50:50-55
- Verbič, J., Stekar, J.M.A., Resnik-Čepon, M. (1995): Rumen degradation characteristics and fibre composition of various morphological parts of different maize hybrids and possible consequences for breeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 54:133-148
- Wolf, D.P., Coors, J.G., Albrecht, K.A., Undersander, D.J., Carter, P.R. (1993): Forage quality of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Sci.* 33:1353-1359
- Zein, I. (2007): Diversity and association analysis of candidate genes for forage quality and flowering time in maize (*Zea mays* L.). Dissertation, Technische Universität München
- Zeller, F. (2009): Zum Einfluss von Genotyp und physiologischer Reife von Mais auf die chemische Zusammensetzung und ruminale Abbaubarkeit der Restpflanze. Dissertation, Technische Universität München

Mais und Maisnebenprodukte und ihre Bedeutung für die Protein- und Aminosäuren-versorgung von Wiederkäuern und Nicht-Wiederkäuern

Maize and maize by-products – relevance for protein and amino acid supply to ruminants and non-ruminants

Karl-Heinz Südekum

Institut für Tierwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Endenicher Allee 15,
53115 Bonn

Zusammenfassung

Maisfuttermittel für landwirtschaftliche Nutztiere werden primär durch Energiegehalte und spezifische Verdauungscharakteristika der wesentlichen energieliefernden Verbindungen definiert. Beim Wiederkäuer weisen diese Merkmale eine enge Beziehung zur Protein- und Aminosäurenversorgung auf, da der Umfang der mikrobiellen Proteinsynthese direkt von der Menge der in den Vormägen fermentierten organischen Masse abhängt. Die mikrobielle Synthese von (Roh-)Protein ist dort am höchsten, wo ein hoher Anteil der insgesamt verdaulichen Nährstoffe aus Maisprodukten in den Vormägen umgesetzt wird. Beim Nicht-Wiederkäuer hängt das Aminosäurenlieferungsvermögen von Maisfuttermitteln vom Aminosäurenmuster des Futterproteins und der praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit ab. Weniger klar ist, in welchem Umfang Maisproteine selbst zur Aminosäurenversorgung des Wiederkäuers beitragen. Kenntnisse zum Anteil an pansenstabilem Rohprotein und dessen Aminosäurenmuster bei unterschiedlichen Verweildauern des Futters in den Vormägen sowie Daten zur Geschwindigkeit des ruminale Rohproteinabbaus helfen, die am besten geeignete Rohproteinergänzung festzulegen, um die bei den meisten Maisfuttermitteln ausgeprägt negative ruminale N-Bilanz auszugleichen.

Der Beitrag gibt gleichfalls Hinweise zu weiterem Forschungsbedarf mit dem Ziel einer noch weiter verbesserten Futterwertermittlung von Mais und Maisnebenprodukten.

Schlüsselwörter: Mais, Futtermittel, Protein

Abstract

The feeding value for farm animals of maize and its by-products is largely determined by means of energy concentration and specific digestive characteristics of the energy-yielding compounds. In ruminants, these characteristics are closely related to protein and amino acid supplies, because microbial crude protein synthesis depends on the amount of ruminally fermented organic matter. Microbial crude protein synthesis will be greatest when the rumen constitutes the major site of digestion of nutrients of maize products. The amino acid supply for non-ruminants from maize products is largely determined by the amino acid pattern of the feed protein and the praecaecal amino acid digestibility.

How much maize proteins can contribute to amino acid supply of ruminants, is less clear. Improved knowledge on the proportion of ruminally undegraded feed protein and its amino acid pattern at varying ruminal residence times, and data on the rate of ruminal crude protein degradation may aid in optimizing the protein supplementation to maize grain- and maize silage-based diets, which typically are deficient in ruminally degradable nitrogen sources. The paper also considers research requirements to further improve the feed evaluation of maize and maize by-products.

Key words: Maize, feedstuffs, protein

Einleitung

Mais wird in Form verschiedener Futtermittel in Rationen landwirtschaftlicher Nutztiere verwendet. Neben unterschiedlich technisch aufbereiteten Maiskörnern und kornbetonten Futtermitteln wie Korn-Spindel-Gemisch (corn-cob-mix, CCM) oder seltener Lieschkolbenschrotsilage werden Mais-Ganzpflanzensilagen (synonym Maissilagen) genutzt, die bei beachtlichen Stärkegehalten auch erhebliche Anteile pflanzlicher Gerüstsubstanzen (Cellulose, Hemicellulosen und Lignin) mit variablen Verdaulichkeiten enthalten. Des Weiteren spielen Maiskleberfutter sowie (in Europa relativ selten) Maisschlempen und Maiskleber eine Rolle, die wegen des teilweisen (Maiskleberfutter) bis nahezu vollständigen (Maiskleber) Entzuges der Stärke als mäßig bis sehr proteinreiche Futtermittel verwendet werden. Je mehr der Rohproteingehalt zu Lasten des Stärkegehaltes zunimmt, desto bedeutsamer wird auch der Beitrag von Maisfuttermitteln zur Protein- und Aminosäurenversorgung des Nutztieres. Im Nachfolgenden werden vorliegende Befunde beleuchtet und – vor allem – Lücken aufgezeigt, wobei der Schwerpunkt auf den Wiederkäuer gelegt wird und Nicht-Wiederkäuer am Beispiel Schwein nur mit einem kurzen Abschnitt gewürdigt werden.

Nicht-Wiederkäuer

Beim Nicht-Wiederkäuer hängen das Protein- und damit auch das Aminosäurenlieferungsvermögen von Maisfuttermitteln vom Aminosäurenmuster des Futterrohproteins und der praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit ab. Je zuverlässigere Werte hierfür vorliegen, desto besser kann der erforderliche Ergänzungsbedarf an Protein und insbesondere an leistungsbegrenzenden Aminosäuren spezifiziert und in der Rationsgestaltung berücksichtigt werden. Angesichts der großen Bedeutung, die Mais und Maisnebenprodukte in der Schweinefütterung haben, ist es überraschend, dass für Maisfuttermittel insgesamt nur wenige Befunde zur (standardisierten) praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit vorliegen (GfE, 2005), dem vor wenigen Jahren publizierten Bewertungsmaßstab für die Aminosäurenversorgung von Schweinen (GfE, 2006). Am günstigsten sieht die Situation noch für Körnermais aus, wo zwischen 12 (für Tryptophan) und 28 Datensätze vorliegen. Jedoch ist auch hier anzumerken, dass die zugrunde liegenden Publikationen vorwiegend aus den 90er-Jahren des vorigen Jahrhunderts stammen und die neuesten Arbeiten aus dem Jahre 2002, so dass mögliche Veränderungen in der Proteinqualität von Körnermais für Schweine, die z. B. durch züchterische Maßnahmen

bedingt sein könnten, im vorhandenen Datensatz keinesfalls zu erkennen sind. Für Maiskleberfutter und Maiskleber ist nur je ein Versuchsergebnis aufgeführt.

Noch auffälliger ist aber, dass es keine Angaben zur praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit von CCM gibt, obwohl in vielen Regionen Deutschlands CCM-basierte Rationen in der (Mast-)Schweinefütterung eine bedeutende Rolle spielen und darüber hinaus Unterschiede in der Art und Qualität der Konservierung von CCM auch Auswirkungen auf die Proteinqualität für Schweine haben könnten. Da jedoch mit CCM-basierten Rationen regelmäßig und gut wiederholbar sehr gute Leistungen in der Schweinemast erzielt werden, liegt die Vermutung nahe, dass die Protein- und Aminosäureergänzungen zu diesen Rationen so hoch liegen, dass die mögliche Variation in der Proteinqualität von CCM keine negativen Auswirkungen zeigt. Es kann allerdings auch nicht ausgeschlossen werden, dass die Varianz der Proteinqualitäten weniger ausgeprägt ist als hier unterstellt wurde.

Im Hinblick auf eine noch effizientere und damit gleichzeitig ressourcenschonende Nährstoffverwertung sollte jedoch angestrebt werden, den Kenntnisstand über die praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeiten von Maisfuttermitteln deutlich zu verbessern.

Wiederkäuer

Weil in den – an der verwendeten Menge gemessenen – bedeutendsten Maisfuttermitteln (Maissilage, Körnermais) Kohlenhydrate in Form von Stärke und Zellwandkohlenhydraten den größten Anteil an der Trockenmasse des Futtermittels ausmachen, werden Maisfuttermittel typischerweise vor allem anhand von Energiegehalten sowie spezifischen Verdauungscharakteristika der wesentlichen energieliefernden Verbindungen, insbesondere von Stärke, in den verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes der Wiederkäuer definiert. Hierzu sei exemplarisch auf umfangreiche experimentelle Studien im Rahmen einer Kooperation von Arbeitsgruppen an der damaligen Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig und an der TU München in Weihenstephan (z. B. Ettle et al., 2002; Höner et al., 2002) sowie auf eine ausführliche Übersicht zur Bedeutung pansenstabiler Stärke für die Glucoseversorgung hochleistender Milchkühe (Matthé et al., 2000) verwiesen. In diesen und anderen Arbeitsgruppen weltweit wurden die Verdauungscharakteristika von Stärke und Zellwandverbindungen intensiv in Hinblick auf Einflussgrößen wie Sorte(ntyp), Entwicklungsstadien und Standort geprüft.

Umsetzungen in den Vormägen – energieabhängige mikrobielle Synthese

Die im vorhergehenden Absatz bereits erwähnten Energiegehalte sowie spezifischen Verdauungscharakteristika von Stärke und Zellwandkohlenhydraten (Cellulose, Hemicellulosen) in den verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes weisen beim Wiederkäuer eine enge Beziehung zur Protein- und Aminosäurenversorgung auf. Der Umfang der mikrobiellen Aminosäuren- und Proteinsynthese hängt direkt von der Menge der in den Vormägen fermentierten organischen Masse ab. Deshalb ist generell die mikrobielle Synthese von (Roh-)Protein dort am höchsten, wo – bei gleichzeitig hoher Nährstoffverdaulichkeit der Maisprodukte im Gesamttrakt – ein hoher Anteil der verdaulichen Nährstoffe in den Vormägen umgesetzt wird. Somit kann der Beitrag der in Mikrobenmasse gebundenen Aminosäuren zur

Versorgung des Wiederkäuers nach üblicher Vorgehensweise je nach verwendetem Bewertungssystem und den darin vorgesehenen Bezugsgrößen aus den Gehalten in den Futtermitteln an fermentierter oder umsetzbarer Energie oder den Verdaulichkeiten (ruminal oder im Gesamttrakt) abgeleitet werden.

Umsetzungen in den Vormägen – ruminaler Rohproteinabbau

Nachfolgend werden ausgewählte Aspekte zu Umfang und Geschwindigkeit des ruminalen Rohproteinabbaus von Maisfuttermitteln skizziert. Es mag zunächst fraglich erscheinen, ob eine explizite Beschäftigung mit diesem Thema überhaupt lohnt, weil viele Maisprodukte wie Körnermais und Maissilage durch niedrige Rohproteingehalte gekennzeichnet sind. Bei maisbetonten Rationen für Wiederkäuer stammt jedoch ein erheblicher Teil des gesamten Futterrohproteins aus Mais, so dass Art und Umfang des ruminalen Abbaus sowohl die Bereitstellung von N-Verbindungen für die mikrobielle Synthese in den Vormägen als auch die Menge und Zusammensetzung des pansenstabilen Futterrohproteins (undegraded dietary protein, UDP) beeinflussen.

Cooper et al. (2002) untersuchten an Mastrindern bei Rationen mit 90 % Konzentratanteil, wie sich das Quetschen von trockenem Körnermais oder Feuchtmals verglichen mit Dampfflockieren („steam-flaking“) auf das Geschehen im Verdauungstrakt auswirkt. Feuchtmalsfütterung führte bei annähernd isonitrogenen Rationen gegenüber den beiden anderen Varianten zu mittleren Ammoniak-Gehalten in der Pansenflüssigkeit und einem höheren bakteriellen Rohproteinfluss in den Dünndarm. Diese Befunde geben den deutlichen Hinweis, dass Futterbehandlungsmaßnahmen wie das Quetschen von Maiskörnern unterschiedlicher Feuchtegehalte oder das Dampfflockieren, die primär Geschwindigkeit und Umfang der Stärkeverdauung beeinflussen, auch den Proteinwert dieser Futtermittel verändern können.

Michalet-Doreau und Doreau (1999) haben aus einer umfangreichen Literaturlauswertung abgeleitet, dass eine bestimmte Fraktion des Maisproteins, nämlich die (α , β , δ)-Zeine, eine enge Beziehung zum ruminalen Stärkeabbau aufweist. Die Gehalte an Zeinen relativ zum Stärkegehalt (g Zeine/kg Stärke) sind bei Hartmaistypen häufig höher als bei Zahnmaistypen, aber innerhalb dieser Maistypen gibt es ebenfalls eine erhebliche Variation der Werte (siehe Michalet-Doreau und Doreau, 1999). Je höher nun der Anteil an (α , β , δ)-Zeinen relativ zum Stärkegehalt bei Körnermais war, desto geringer war der Umfang des ruminalen Stärkeabbaus (Michalet-Doreau und Doreau, 1999). Verursacht wurde dieser Effekt vermutlich dadurch, dass der langsame und unvollständige Abbau der Matrixproteine – und insbesondere der Zeine – auch den Stärkeabbau verzögerte. Dass dieser postulierte Zusammenhang nicht nur im Körnermais, sondern auch in Maissilagen von Bedeutung sein könnte, zeigt eine Studie an Schafen von Verbic und Babnik (1998). Die Autoren untersuchten den Nährstoffabbau in den Vormägen sowie im postruminalen Verdauungstrakt von Silagen des Zahn- oder Hartmaistyps und stellten fest, dass der Umfang des ruminalen Stärke- und Rohproteinabbaus für den Hartmaistyp geringer ausfiel als für den Zahnmaistyp (Tabelle 1).

Dieser Befund ist für das Rohprotein bemerkenswert, weil offensichtlich der mit dem Siliervorgang grundsätzlich verbundene partielle Abbau von Proteinen diese „Schutzwirkung“ nicht oder nicht nennenswert beeinflusste.

Ob dieser zumindest für Maissilagen bisher nur auf den zitierten Einzelbefunden beruhende Gleichklang zwischen ruminalem Stärke- und Rohproteinabbau verallgemeinerungsfähig ist, sollte geprüft werden. Dies bedeutet zunächst, dass überall dort, wo vergleichend für mehrere Sorten, Hybriden oder Sortentypen der ruminale Stärkeabbau ermittelt wird, auch der Rohproteinabbau geschätzt werden sollte. Bei hinreichender Übereinstimmung in den beiden Merkmalen ließe sich dann später möglicherweise der ruminale Rohproteinabbau aus dem Stärkeabbau schätzen, so dass sowohl die Stickstoff-Versorgung der Mikroorganismen als auch der UDP-Anteil am Rohprotein damit beschrieben werden könnten.

Tabelle 1: Stärke- und Rohproteinabbau in den Vormägen sowie im postruminalen Verdauungstrakt von Silagen des Zahn- oder Hartmaistyps bei Schafen (Verbic und Babnik, 1998)

Merkmal	Zahnmais	Hartmais	Signifikanz
Rohprotein			
Ruminaler Abbau (%)	77	70	p < 0,001
Postruminale Verdaulichkeit (% des UDP)	70	80	NS
Mikrobielle Rohproteinsynthese (g/kg TM)	99	114	p < 0,05
Stärke			
Ruminaler Abbau (%)	92	75	p < 0,001
Postruminale Verdaulichkeit (% der beständigen Stärke)	96	94	NS

NS: Nicht signifikant (p > 0,05); TM: Trockenmasse; UDP: pansenstabiles Futterrohprotein (undegraded dietary protein)

Bei höheren UDP-Anteilen, wie sie bisher vor allem für Maiskleberfutter und insbesondere Maiskleber berichtet wurden, wird auch für den Wiederkäuer das Aminosäuremuster des Futterproteins bzw. des UDP sowie die Verdaulichkeit des UDP im Dünndarm eine Größe, die – analog der Vorgehensweise beim Schwein – nicht unbeachtet bleiben sollte. Für Maissilagen gibt es bisher zu diesem Komplex nur vereinzelte Befunde aus europäischen Nachbarländern (Niederlande: van Straalen et al., 1997; Dänemark: Hvelplund et al., 2001; Schweiz: Kröber et al., 2000; Kröber et al., 2001), die noch keine hinreichende Datenbasis bilden.

In einer kanadischen Studie an Mais- und Grassilagen sowie Gras- und Luzerneheu aus der Praxis wurde der Frage nachgegangen, wie variabel der Umfang des ruminale Rohproteinabbaus ist (von Keyserlingk et al., 1996). Mittels einer *in situ*-Methode wurde gezeigt, dass sowohl unterschiedliche Rohproteinfraktionen (A: löslich; B: unlöslich, aber ruminal abbaubar) als auch der effektive Abbau bei einer unterstellten Passagerate von 6 %/h eine erhebliche Streuung mit teils signifikanten Differenzen zwischen einigen der Silagen aufwiesen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Variation des ruminalen Rohproteinabbaus von Maissilagen (n = 12; von Keyserlingk et al., 1996)

Kenngroße	Minimum	Maximum	Mittelwert
Fraktion A (%)	44	75	63**
Fraktion B (%)	11	45	24**
c (%/h)	2,9	11,1	6,3
LAG (h)	0	21,3	4,4**
Effektiver ruminaler Abbau (%; Passagerate 6 %/h)	63	80	73**

** : Signifikante Differenzen ($p < 0,01$) zwischen mindestens zwei der geprüften Silagen

Wird der Mittelwert des effektiven ruminalen Rohproteinabbaus der 12 Silagen (73 %) zur Abschätzung des UDP-Anteils am Rohprotein verwendet (100 - 73), so stimmt dieser Wert (27 %) gut mit dem in den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle, 1997) für Maissilagen ausgewiesenen Wert überein.

Kruczyńska et al. (2001) untersuchten an Maissilagen aus sechs verschiedenen Sorten den Einfluss unterschiedlicher Schnitthöhe bei der Ernte (10 - 12 cm gegenüber 50 cm) auf den ruminalen Nährstoffabbau (Tabelle 3).

Für den effektiven ruminalen Abbau des Rohproteins und der Stärke waren die Sortenunterschiede geringer ausgeprägt als die Schnitthöheneffekte. Bei größerer Stoppellänge waren bei den meisten Sorten (dargestellt sind in Tabelle 3 zwei typische Sorten) sowohl der ruminale Stärke- als auch der Rohproteinabbau gleichgerichtet um 2 bis 6 Prozentpunkte geringer. Diese Ergebnisse unterstützen erneut die schon weiter oben angesprochene Beobachtung, dass der Umfang der Verdauung von Stärke und Rohprotein in den Vormägen positiv korreliert sind.

Tabelle 3: Effektiver Stärke-, Rohprotein- und Zellwandabbau (in %) in den Vormägen von Maissilagen unterschiedlicher Sorten bei variiertem Schnitthöhe (Kruczyńska et al., 2001)

Variable	Sorte				
	Rasant		...	Magister	
	10-12 cm	50 cm		10-12 cm	50 cm
Stärke	87	81	84	79	
Rohprotein	87	81	84	80	
NDF	65		68		

NDF: Neutral-Detergenzienfaser

In einer neueren slowakischen Arbeit wurde vergleichend an den Körnern von Mais, Weizen und Gerste der Einfluss unterschiedlicher Partikelgrößen (Angaben in mm: < 1,4; 1,5 - 2,5; 2,6 - 3; > 3,0) auf den *in situ*-Rohproteinabbau im Pansen untersucht (Kopčková et al., 2008).

Der effektive ruminale Rohproteinabbau für den Körnermais betrug 28 (> 3,0 mm) bis 59 % (< 1,4). Diese Ergebnisse unterstreichen, dass nicht nur die Stärke-, sondern auch die Rohproteinverdauung in den Vormägen durch die Partikelgröße der Körner erheblich beeinflusst werden kann und deshalb der Partikelgröße oder Partikelgrößenverteilung bei allen Maisfuttermitteln größeres Augenmerk als bisher zukommen sollte.

Umsetzungen in den Vormägen – Ausblick

Wenn die bisherigen Einzelbefunde zum Umfang und zur Geschwindigkeit des Rohproteinabbaus in den Vormägen durch systematische Studien sinnvoll ergänzt werden, dann ist zu hoffen, dass in Zukunft auch für Maisfuttermittel, und hier insbesondere die Maissilagen, die Variationen der Nährstoff-Freisetzung im Pansen im Tagesverlauf berücksichtigt werden können. Dies könnte dann dazu führen, die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese in den Vormägen durch synchrone, d. h. gleichzeitige, Bereitstellung energie- und stickstoffliefernder Verbindungen für die Mikroorganismen so zu steigern, dass eine noch effizientere, damit gleichzeitig ressourcenschonende Nährstoffverwertung auch für Maisprodukte beim Wiederkäuer ermöglicht wird, analog den für das Schwein angestellten Überlegungen.

Das Konzept des Synchronismus beruht darauf, dass Informationen hinsichtlich Menge und zeitlichem Verlauf des Kohlenhydrat- und Rohproteinabbaus im Pansen so aufeinander abgestimmt („synchronisiert“) werden, dass eine maximale Effizienz der mikrobiellen Synthese erreicht wird. Dieses Konzept, das bisher vor allem an Futtergräsern in frischer und silierter Form (siehe Tamminga und Südekum, 2000) sowie Grassilage-basierten Rationen ausgearbeitet und geprüft wurde, ist in Abbildung 1 exemplarisch für Frischgras und Grassilage dargestellt. Die Datenlage für Maisganzpflanzen in unsilierter und silierter Form erlaubt eine gleichermaßen abstrahierende Darstellung (bisher noch) nicht.

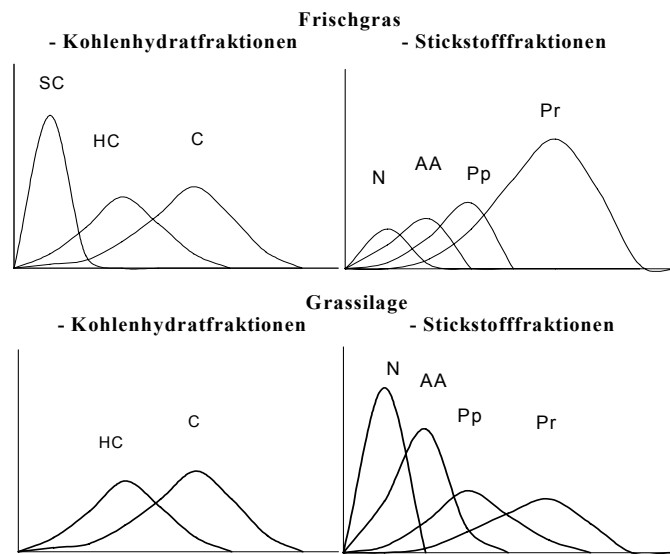


Abbildung 1: Theoretische Betrachtung der ruminalen Freisetzung von Kohlenhydraten und Stickstoff nach einmaliger Fütterung von Futterpflanzen in frischer oder siliierter Form (Beever, 1993). Die x-Achse ist die Zeitachse nach Fütterung, auf der y-Achse ist eine Massenangabe (z. B. Gramm oder Kilogramm) zu wählen. SC = lösliche Kohlenhydrate, HC = Hemicellulosen, C = Cellulose, N = Nicht-Amino-N-Verbindungen, AA = Aminosäuren, Pp = Peptide, Pr = Reinprotein.

Schlussfolgerungen

Zur Bedeutung von Mais und Maisnebenprodukten für die Protein- und Aminosäurenversorgung von Schweinen und Wiederkäuern kann festgehalten werden, dass

- (1) eine erhebliche Variation in den Verdauungscharakteristika vorhanden ist;
- (2) die Quantifizierung der Variation und der potenziellen Effekte systematische experimentelle Studien erfordert und
- (3) die Verdauung von Stärke, Zellwandfraktionen und (Roh-)Protein in identischen Futtermitteln untersucht werden sollte, um belastbare Ergebnisse erarbeiten zu können.

Literatur

- Beever, D.E. (1993): Rumen function. In: Forbes, J.M., France, J. (eds) Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. CAB International, Wallingford. pp 187-218
- Cooper, R.J., Milton, C.T., Klopfenstein, T.J., Scott, T.L., Wilson, C.B., Mass, R.A. (2002): Effect of corn processing on starch digestion and bacterial crude protein flow in finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 80:797-804
- Ettle, T., Schwarz, F.J., Lebzien, P., Flachowsky, G. (2002): Futterwert von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden und ihr Einfluss auf Leistungskriterien von Milchkühen. *Landbauforsch. Völkenrode* 52:157-165
- GfE (2005): Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology. Standardised praecaecal digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs – methods and concepts. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 14:185-205

- GfE (2006): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- Höner, K., Lebzien, P., Ettle, T., Schwarz, F.J., Flachowsky, G. (2002): Einfluss von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt von Kühen. *Landbauforsch. Völkenrode* 52:149-156
- Hvelplund, T., Misciatelli, L., Weisbjerg, M.R. (2001): Supply of the dairy cow with amino acids from dietary protein. *J. Anim. Feed. Sci.* 10 (Suppl 1):69-85
- Kopčėková, J., Čerešňáková, Z., Šimko, M., Flak, P., Mlyneková, Z. (2008): Effect of physical processing of cereals on rumen crude protein degradability. *Slovak. J. Anim. Sci.* 41:160-165
- Kröber, T.F., Kreuzer, M., Senn, M., Langhans, W., Sutter, F. (2000): Lactational and metabolic effects in cows of lysine and methionine added to a ration deficient according to the I.N.R.A. method. *Arch. Anim. Nutr.* 53:375-394
- Kröber, T.F., Sutter, F., Senn, M., Langhans, W., Kreuzer, M. (2001): Effects of supplying leucine and methionine to early-lactating cows fed silage-concentrate based diets with a calculated deficiency in leucine and methionine. *Anim. Res.* 50:5-20
- Kruczyńska, H., Darul, K., Nowak, W., Kowalik, I. (2001): The chemical composition and ruminal degradability of maize silages depending on the cultivar and mowing height at harvest. *J. Anim. Feed Sci.* 10 (Suppl 2):331-337
- Matthé, A., Lebzien, P., Flachowsky, G. (2000): Zur Bedeutung von Bypass-Stärke für die Glucoseversorgung von hochleistenden Milchkühen. *Übers. Tierernährg* 28:1-64
- Michalet-Doreau, B., Doreau, M. (1999) : Maize genotype and ruminant nutrition. *Sci. Aliments* 19:349-365
- Tamminga, S., Südekum, K.-H. (2000): Optimize feeding value of forage protein. In: Søgaard, K., Ohlsson, C., Sehested, J., Hutchings, N.J., Kristensen, T. (eds) *Grassland farming. Balancing environmental and economic demands. Grassland Science in Europe Vol. 5.* pp143-156.
- Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle (Hrsg.) (1997): DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- van Straalen, W.M., Odinga, J.J., Mostert, W. (1997): Digestion of feed amino acids in the rumen and small intestine of dairy cows measured with nylon-bag techniques. *Br. J. Nutr.* 77:83-97
- Verbic, J., Babnik, D. (1998): Physiological investigations of the feed value of forage maize. Bericht 25. Viehwirtschaftliche Fachtagung der BAL Gumpenstein, Irdning, 19.-20. Mai 1998. pp 67-71
- von Keyserlingk, M.A.G., Swift, M.L., Puchala, R., Shelford, J.A. (1996): Degradability characteristics of dry matter and crude protein of forages in ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57:291-311

Ertrag von Silomais und energetischer Futterwert von Maissilage im regionalen und im Jahresvergleich

The yield of silo maize and the energetic value of corn silage - a regional and annual comparison

Franz-Peter Engling, Michael Egert, Hartwig Wellmann

LUFA Nord-West, Jägerstraße 23 - 27, 26121 Oldenburg

Zusammenfassung

Die Nutzung als Silomais stellt in Deutschland bei der Gesamtanbaufläche von Mais mit einem Anteil von etwa dreiviertel die bedeutsamste Verwertung dar. Der überwiegende Anteil davon wird in der Rinderfütterung eingesetzt.

Hinsichtlich der Ertragsleistung kann festgestellt werden, dass die Trockenmasseerträge bei Silomais in den letzten Jahrzehnten angestiegen sind, wobei in den letzten 10 Jahren die Steigerung geringer ausgefallen ist.

Der Futterwert ist im Mittel der Jahre relativ stabil, wobei die Schwankungen innerhalb der einzelnen Jahre zwischen den verschiedenen Silostöcken wesentlich höher sind.

Eine erkennbare züchterische Verbesserung des Futterwertes lässt sich aufgrund der Analyseergebnisse nicht ableiten.

Regional betrachtet zeigen sich Unterschiede in den Stärke- und Energiegehalten, wobei höhere Gehalte in klimatisch günstigeren Zonen zu finden sind.

Schlüsselwörter: Maissilage, Futterwert, Rinderfütterung, Trockensubstanz, Rohprotein, Rohfaser, Stärke, ME-Rind, NEL

Abstract

In Germany silo maize represents with nearly 75 % the main part of the whole cultivation surface of maize. Most of it is used as cattle feed.

Concerning the yield has to be concluded, that during the last decades the dry mass yields of silo maize have risen. Although in the last 10 years the increase has been somewhat lower than in the previous decades.

The average of the feed value is during the years relatively stable. The variations are substantially higher between the individual silos of one year.

A recognizable breeding improvement of the feed value cannot be derived on account of the analytical results.

On the regional level there are differences concerning the starch and energy contents with higher levels in more favourable climate zones.

Key words: Maize silage, feed value, cattle feeding, dry matter, crude protein, crude fibre, starch, ME cattle, NEL

Die Nutzung als Silomais stellt bei der Gesamtanbaufläche von Mais mit einem Anteil von etwa dreiviertel die bedeutsamste Verwertung dar. Der überwiegende Anteil davon wird in der Rinderfütterung eingesetzt.

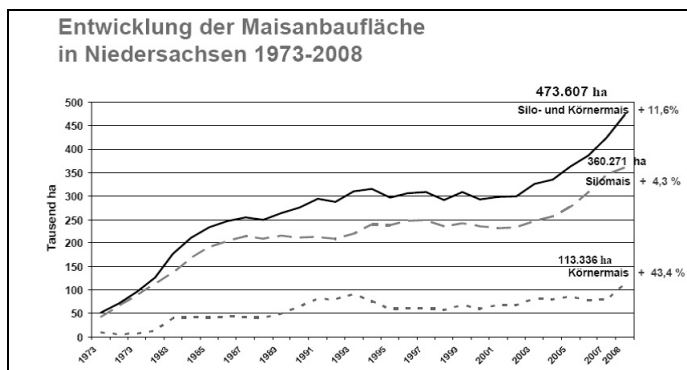


Abbildung 1: Entwicklung der Maisanbaufläche in Niedersachsen 1973-2008

So zeigt Abbildung 1, dass von 1973 bis 2008 die Gesamtmaisbaufläche in Niedersachsen von ca. 50.000 ha auf über 473.000 ha angestiegen ist (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2008). Dabei nimmt der Anteil an Silomais 76 % ein, der von Körnermais 24 %. Deutschlandweit betrug die Gesamtmaisbaufläche etwa 2 Mio. ha im Jahr 2008.

Ertragsentwicklung

In den vergangenen Jahrzehnten hat in Deutschland nicht nur die Anbaufläche von Mais zugenommen, sondern Mais ist auch intensiv züchterisch bearbeitet worden. So ist ein erheblicher Anstieg der Gesamttrockenmasseerträge zu verzeichnen, wobei der Maisanbau immer weiter nach Norden in klimatisch ungünstigere Regionen vorgedrungen ist. Außerdem wurden neben der Ertragsleistung auch andere für den Anbau wichtige Eigenschaften wie Frühreife, Standfestigkeit und Jugendentwicklung verbessert.

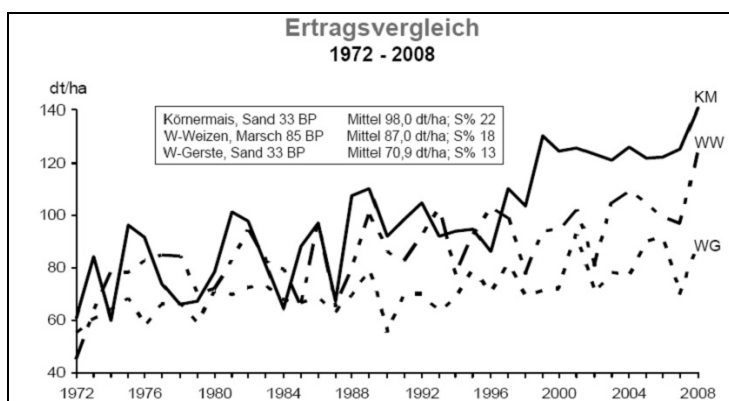


Abbildung 2: Ertragsvergleich 1972-2008

Am Beispiel des Körnermaises wird in Abbildung 2 deutlich, dass die Ertragssteigerungen von 1972 bis 2008 im Vergleich zu Wintergerste und Winterweizen in Sortenversuchen in Niedersachsen am höchsten ausfielen (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2008). Dabei sind bei Körnermais besonders die erheblichen Ertragsschwankungen in den 70er und 80er Jahren auffällig. Der Ertragsanstieg hat sich in den letzten 10 Jahren erheblich verlangsamt.

Futterwert

Silomais stellt in vielen rindviehhaltenden Betrieben neben Grassilage das wichtigste Grundfutter für die Winterfütterung dar. Entscheidend ist dabei der Futterwert der eingesetzten Maissilage. Zur Beurteilung des Futterwertes sind die wertgebenden Inhaltsstoffe und der Energiegehalt sehr wichtige Parameter.

Tabelle 1: Maissilage 2008 – Niedersachsen (n = 4091)

	Mittelwert	Minimum	Maximum
Trockensubstanz (T) in %	35,0	14,8	60,7
Rohprotein (% der T, N x 6,25)	7,7	3,9	16,9
Rohfaser (% der T)	20,1	12,6	27,6
Rohasche (% der T)	3,9	1,0	9,6
Stärke (% der T)	28,9	n.n.	42,8
ME-Rind (MJ/kg T)	10,9	8,4	11,9
NEL (MJ/kg T)	6,6	4,8	7,3

Die Tabelle 1 zeigt die wertgebenden Inhaltsstoffe und den Energiegehalt von Maissilage aus dem Jahr 2008 in Niedersachsen.

Im Mittel der untersuchten ca. 4.100 Maissilageproben aus der Ernte 2008 in Niedersachsen lag der Trockensubstanzgehalt bei 35 % mit einer erheblichen Schwankungsbreite (14,8 - 60,7 %). Der optimale Trockensubstanzgehalt liegt für Maissilage in etwa zwischen 28 - 35 % (Spiekers 2006).

In diesem Bereich haben die Körner in der Regel das Ende der Teigreife erreicht, und es lassen sich dann die höchsten Nährstoffträge erzielen. Zu hohe Trockensubstanzgehalte (über 35 %) sollten vermieden werden, da es hier durch mangelnde Verdichtung des Silostockes sehr leicht zu Fehl- bzw. Nachgärungen kommen kann. Schon geringe Restsauerstoffmengen im Silagestock begünstigen die Entwicklung von Schimmelpilzen, wie z. B. die des Pilzes *Penicillium roqueforti*, der zu den bekannten blaugrünen „Tennisbällen“ in

der Silage führt. Weiterhin gibt es bei Trockensubstanzgehalten über 35 % kaum noch zusätzliche Stärkeeinlagerungen im Kolben.

Nährstoffgehalte

Die Rohproteingehalte lagen im Durchschnitt bei 7,7 % mit erheblichen Schwankungen. Sie sollten unter 9 % liegen (Spiekers 2006).

Der Rohfasergehalt ist eine wesentliche Kenngröße für den Restpflanzenanteil an der Gesamtpflanze. Der durchschnittliche Rohfasergehalt lag bei den niedersächsischen Maissilagen der Ernte 2008 bei 20,1 %.

Die Stärkegehalte lagen im Durchschnitt bei den 2008er Maissilagen bei 28,9 % in der Trockenmasse. Die enorme Streubreite von nicht nachweisbar bis 42,8 % in der Trockenmasse zeigt, dass der Mittelwert für eine Rationsberechnung nicht zu gebrauchen ist. Für eine optimale Maissilage sollte der Stärkegehalt über 30 % liegen (Spiekers 2006).

Energiegehalte

Bei der bedarfsgerechten Fütterung spielt der Energiegehalt der Silagen eine entscheidende Rolle. Zur aktuellen Grundfuttersaison 2008/2009 wurde erstmals die optimierte, vom Ausschuss für Bedarfsnomen der GfE (2008) aus über 100 Verdauungsversuchen abgeleitete, neue Schätzgleichung zur Energiebewertung von Maisprodukten angewandt.

Die neue Formel für die Energiebewertung von Maissilage beinhaltet die Parameter Rohfett, ELOS (Enzymlösliche organische Substanz) und NDF_{org} (organische Neutrale-Detergenzien-Faser).

Energiebewertung Maissilage (GfE 2008)	
ME (MJ/kg T) =	7,15 + 0,0580 x % ELOS der T - 0,0283 x % NDF_{org} der T + 0,3522 x % Rohfett der T
Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,83$	
Die NEL errechnet sich aus der ME gemäß folgender Regressionsformel:	
NEL (MJ/kg T) =	ME x (0,45 + 13,40 x ME/(1000 – (% Rohasche) x 10))

Abbildung 3: Energiebewertung Maissilage (GfE 2008)

Vorteil dieser neuen Formel ist, dass sie sowohl für Maissilage als auch für Silomaisproben in Sortenversuchen und für Lieschkolben-Silage verwendet werden kann. Darüber hinaus besitzt sie, u. a. aufgrund der Einbeziehung des *in vitro* Parameters (ELOS), eine bessere Schätzgenauigkeit und kann auch bei extremen, z.B. stärkearmen Silagen, verwendet werden.

Die durchschnittlichen Energiegehalte lagen bei den Maissilagen der aktuellen Saison bei 6,6 MJ NEL bzw. 10,9 MJ ME-Rind pro kg Trockenmasse. Dabei dürfen jedoch auch hier nicht die großen Unterschiede von 4,8 - 7,3 MJ NEL bzw. 8,4 - 11,9 MJ ME-Rind pro kg Trockenmasse unbeachtet bleiben.

Durch die für das Maiswachstum optimalen Witterungsbedingungen sind die einzelnen Maispflanzen vom Jahr 2008 besonders groß geworden. Dies führte einerseits zu einem hohen Ernteertrag, aber auf der anderen Seite auch zu einem proportional geringeren Kolbenanteil. Dieser Umstand drückt sich in dem nur mittelmäßigen Stärkegehalt, verglichen mit einigen besseren Vorjahren, aus.

Obwohl der Stärkegehalt nicht direkt in die Energieberechnung der Maissilage eingeht, ist ein hoher Kolbenanteil wünschenswert und für eine energiereiche Maissilage wichtig. Etwa 50 Prozent der Gesamttrockenmasse von in der Teigreife geerntetem Maissiliergut entfallen auf den Kolben, der die stärkereichen Maiskörner enthält. Hat die Silage einen hohen Kolbenanteil, verringert sich tendenziell der Anteil der rohfaserreichen Restpflanze. Der Energiegehalt einer Maissilage nimmt jedoch mit steigendem Rohfasergehalt ab, oder anders ausgedrückt, der Energiegehalt steigt mit zunehmendem Kolbenanteil an.

Mengenelement- und Spurenelementgehalte

Insgesamt sind die Gehalte an Mineralstoffen im Mittel sehr niedrig. Es ist zu beachten, dass bei Maissilage oft die Mengenelement- und Spurenelementgehalte wesentlich niedriger sind als bei Grassilage. Wichtig ist, dass Maissilage etwas weniger Calcium als Phosphor und fast kein Natrium enthält.

Tabelle 2: Maissilage 2008 – Niedersachsen Mineralstoff- und Spurenelementgehalte

	Mittelwert	Minimum	Maximum
Calcium (% der T)	0,20	0,11	0,66
Phosphor (% der T)	0,23	0,11	0,39
Natrium (% der T)	0,02	0,01	0,33
Magnesium (% der T)	0,14	0,07	0,39
Kalium (% der T)	1,14	0,55	2,02
Kupfer (mg/kg T)	6,0	1,9	18,1
Zink (mg/kg T)	34	11	224
Mangan (mg/kg T)	31	6	237
Eisen (mg/kg T)	99	25	1450

Im Mittel enthielten die niedersächsischen Maissilagen der Ernte 2008 6,0 mg Kupfer, 34 mg Zink, 31 mg Mangan und 99 mg Eisen je kg Trockensubstanz (Tabelle 2). Zwischen den einzelnen Maissilageproben sind große Unterschiede in den Gehalten offensichtlich. Dabei zeigt sich, dass die festgestellten Gehalte an Kupfer, Zink und Mangan in der Maissilage im Mittel erheblich unter den Versorgungsempfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie liegen (GfE 2001). Dieses muss in der Futtermittelration beachtet und entsprechend ergänzt werden.

Die Beurteilung der Gärqualität von Maissilagen ist das Maß für den Siliererfolg. Im Allgemeinen war die Gärqualität im Jahr 2008 in Ordnung. Dies zeigen auch die Untersuchungsergebnisse (Tabelle 3).

Tabelle 3: Maissilage 2008 - Niedersachsen Gärqualität

	Mittelwert	Minimum	Maximum
pH-Wert	4,0	3,5	6,6
Milchsäure (% der T)	4,4	0,1	11,1
Essigsäure (% der T)	1,3	< 0,01	7,3
Buttersäure (% der T)	0,01	< 0,01	1,3
DLG-Punkte (nach DLG- Gärfutterschlüssel)	97,7	45	100

Niedriger pH-Wert, Milchsäure, etwas Essigsäure und keine Buttersäure sind die Kennzeichen einer guten Gärqualität. Im Ergebnis wird dies zusammengefasst in den DLG-Punkten nach dem DLG-Gärfutterschlüssel aus dem Jahr 2006 (DLG, 2006). Im Mittel wurden 97,7 von möglichen 100 DLG-Punkten erreicht. Die große Schwankungsbreite bei den einzelnen Parametern der Gärqualität zeigt jedoch auch, dass es durchaus nicht optimal silierte Maissilage mit Gärverlaufsfehlern gibt.

Die Tabelle 4 zeigt die überregionalen Analysenergebnisse von Maissilage des Jahres 2008 aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands. Dabei weisen die Gehalte an Trockensubstanz, Rohprotein und Rohasche keine signifikanten regionalen Unterschiede auf. Bei den Rohfaser- und Stärkegehalten hingegen zeigen sich regionale Unterschiede. Geringere Rohfasergehalte weisen auf einen geringeren Restpflanzenanteil, einen höheren Kolbenanteil und damit auf höhere Stärkegehalte hin. Höhere Stärkegehalte sind in klimatisch günstigeren Zonen zu finden. Aus höheren Stärkegehalten resultieren entsprechend höhere Energiegehalte sowohl an ME-Rind als auch an NEL.

Tabelle 4: Maissilage 2008 - Futterwert untergliedert nach Regionen in Deutschland

Region	Ost	Süd	West	Nord
Quelle	Sächs. Landesanstalt	LfL	LUFA NRW	LUFA Nord-West
Probenanzahl	n = 1569	n = 3425	n = 482	n = 4091
Trockensubstanz (T) in %	33,5	34,5	34,5	35,0 (14,8 – 60,7)
Rohprotein (% der T, N x 6,25)	7,9	8,1	7,1	7,7 (3,9 – 16,9)
nXP (% der T)	13,3	13,2	13,3	13,2 (10,7 – 15,4)
RNB (g/kg T)	-9,0	-8,3	-9,8	-8,7 (-13,6 – 3,7)
Rohfaser (% der T)	18,3	19,5	18,2	20,1 (12,6 – 27,6)
Asche (% der T)	3,9	3,6	3,3	3,9 (1 – 9,6)
Stärke (% der T)	32,4	29,8	36,2	28,9 (0 – 42,8)
NEL (MJ/kg T)	6,72	6,58	6,75	6,6 (4,8 – 7,3)
ME-Rind (MJ/kg T)		10,9	11,2	10,9 (8,4 – 11,9)

Entwicklung des Futterwertes im Laufe der Zeit

Die Entwicklung der Trockensubstanzgehalte bei Maissilage von 1989 bis 2008 wird in Abbildung 4 dargestellt.

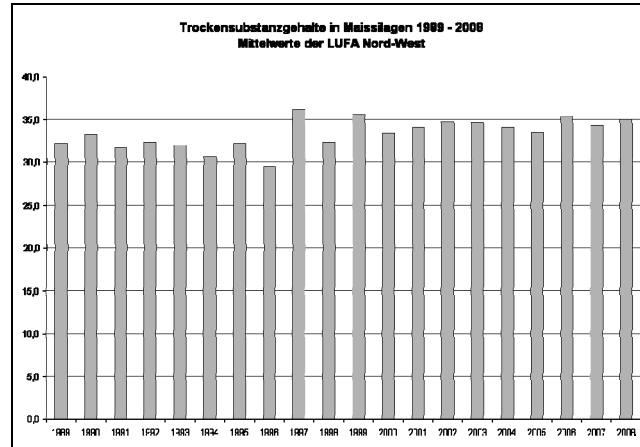


Abbildung 4: Trockensubstanzgehalte in Maissilagen 1989 – 2008 Mittelwerte der LUFA Nord-West

Es zeigt sich, dass in der ersten Hälfte des Betrachtungszeitraumes die Trockensubstanzgehalte etwas niedriger lagen als in der zweiten Hälfte. Die empfohlene obere Grenze von 35 % wurde in 3 von 20 Jahren beim Durchschnittswert leicht überschritten.

Die mittleren Jahresgehalte an Rohprotein zeigt Abbildung 5.

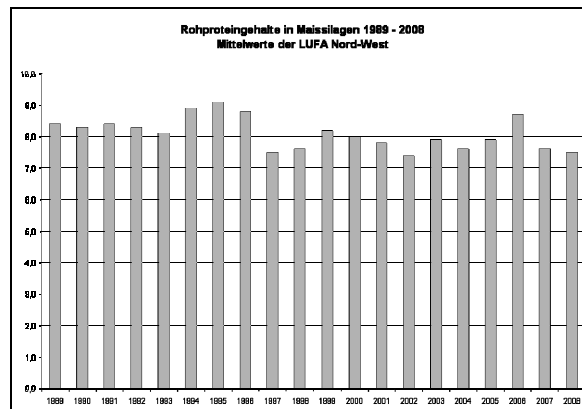


Abbildung 5: Rohproteingehalte in Maissilagen 1989 – 2008 Mittelwerte der LUFA Nord-West

Insgesamt wies die Maissilage niedrigere Rohproteingehalte mit einer Schwankungsbreite zwischen den Jahren von 7,7 bis 9,1 % in der Trockenmasse auf.

Bei den Stärkegehalten zeigt Abbildung 6 einen sehr deutlichen Jahreseinfluss.

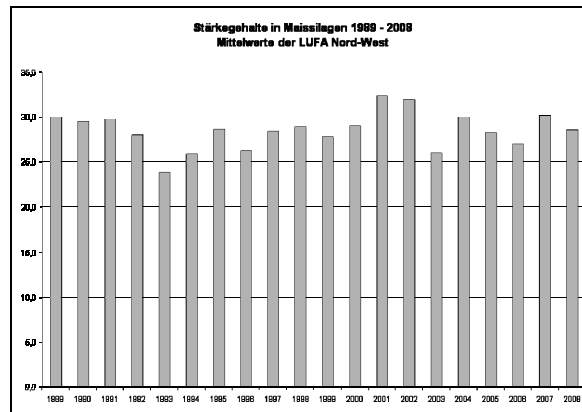


Abbildung 6: Stärkegehalte in Maissilagen 1989 – 2008 Mittelwerte der LUFA Nord-West

Die Schwankungen im Stärkegehalt, bedingt durch die jahreswitterungsabhängige Kolbenausbildung und entsprechender Stärkeeinlagerung im Kolben, zeigen keinen einheitlichen Trend im Verlauf der Jahre.

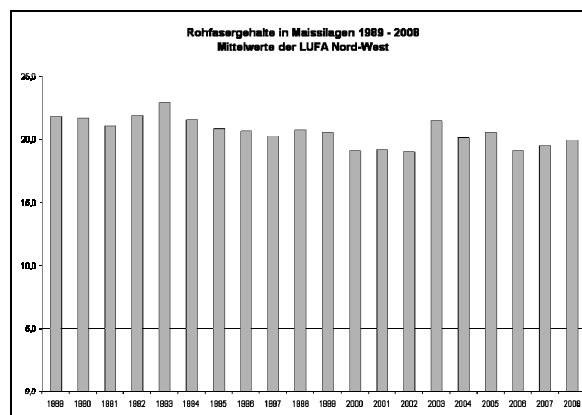


Abbildung 7: Rohfasergehalte in Maissilagen 1989 – 2008 Mittelwerte der LUFA Nord-West

Der Rohfasergehalt verläuft in der Regel gegenläufig zum Stärkegehalt. Ein hoher Kolbenanteil der Maispflanze führt zu einem hohen Stärkegehalt und einem niedrigeren Rohfasergehalt. Bei einem niedrigeren Kolbenanteil ist die Situation entsprechend umgekehrt.

Der Verlauf der Energiegehalte bei Maissilage von 1989 bis 2008 weist bei den Jahresmittelwerten nur sehr geringe Schwankungen auf.

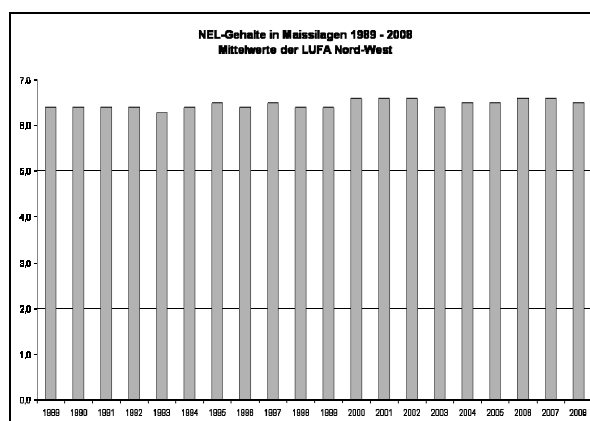


Abbildung 8: NEL-Gehalte in Maissilagen 1989 – 2008 Mittelwerte der LUFA Nord-West

Ein Trend oder eine Entwicklung ist nicht zu erkennen. Die Jahresmittelwerte sind auch unbeeinflusst durch die Aktualisierungen der Regressionsformeln zur Ableitung der Energie in den Jahren 1997 und 2008.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Trockenmasseerträge bei Silomais in den letzten Jahrzehnten angestiegen sind, wobei in den letzten 10 Jahren die Steigerung geringer ausgefallen ist. Der Futterwert ist im Mittel der Jahre relativ stabil, wobei die Schwankungen innerhalb der einzelnen Jahre zwischen den verschiedenen Silostöcken wesentlich höher sind. Eine erkennbare züchterische Verbesserung des Futterwertes lässt sich aufgrund der Analysenergebnisse nicht ableiten. Regional betrachtet zeigen sich Unterschiede in den Stärke- und Energiegehalten, wobei höhere Gehalte in klimatisch günstigeren Zonen zu finden sind.

Literatur

- GfE (2001): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- GfE (2008): Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology, New Equations for Predicting Metabolisable Energy of Grass and Maize Products for Ruminants, Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17:191-198
- DLG (2006): DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchung, Praxishandbuch Futterkonservierung, 7. Auflage, DLG-Verlag, 45-48
- Spiekers, H. (2006): Einleitung und Zielgrößen, Praxishandbuch Futterkonservierung, 7. Auflage 2006, DLG-Verlag, 7-10
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2008): Versuchsbericht Mais – Ergebnisse von Prüfungen und Feldversuchen mit Mais

Mykotoxine in Lebens- und Futtermittel: Entwicklung verbesserter Testmethoden

Mycotoxins in food and feed: Developments of improved analytical methods

Kurt Brunner, Maria Paula Kovalsky Paris und Robert L. Mach

Technische Universität Wien, IFA-Tulln, Analytikzentrum, Konrad Lorenz Str. 20, 3430 Tulln, Österreich

Zusammenfassung

Im Laufe des letzten Jahrzehntes machten sämtliche Analysemethoden für Mykotoxine große Fortschritte. Die Referenzanalytik (HPLC, MS) erreicht immer niedrigere Nachweisgrenzen. Noch wichtiger aber ist, dass durch diese Methoden immer neue Mykotoxine identifiziert werden. Dies können einerseits chemisch veränderte Varianten bekannter Toxine sein, die vom Pilz selbst gebildet werden, andererseits haben aber auch Pflanzen das Potential, die Struktur der Mykotoxine zu modifizieren. Bedingt durch das Auffinden immer neuer Substanzen, unterliegt das Wissen über toxische Metaboliten in Lebens- und Futtermittel einem ständigen Wandel. Neu identifizierte Substanzen geben auch die Richtung vor, in die sich Schnelltests künftig entwickeln können. Denn Schnellmethoden können immer nur zur Analyse bereits bekannter Substanzklassen eingesetzt werden. Die antikörper-basierten Tests oder Tests zur Messung der Pilzmenge dienen lediglich einer mehr oder weniger genauen Abschätzung des Mykotoxingehaltes in Proben. Für wirklich präzise Ergebnisse muss nach wie vor auf Referenzmethoden zurückgegriffen werden.

Schlüsselwörter: Fusarium, Mykotoxine, ELISA, LFD, PCR

Abstract

The plant pathogenic fungus *Fusarium* infects most cultivable plants worldwide. The quality of infected grain is heavily impaired due to reduced kernel size and the accumulated fungal toxins. In recent years plant breeders made great progress in breeding *Fusarium* tolerant crops. However, total resistance to the pathogenic fungi has not yet been achieved as the resistance genes are located on several distinct genetic regions. Since 2006 the control of cereals for mycotoxins is obligatory in the EU. However, due to the huge amounts of agricultural products two different approaches have to be chosen: i) fast screening methods that allow a high sample-throughput and ii) reference methods with high accuracy to finally control mycotoxin containing samples pre-evaluated by screening methods. During the last decade numerous rapid screening methods have been developed that either measure toxins directly like ELISA or LFDs or more indirect methods like spectroscopic approaches or DNA based methods.

Key words: *Fusarium*, mycotoxins, ELISA, LFD, PCR

Einleitung

Der pflanzenpathogene Pilz *Fusarium* befällt Getreide und Mais und verursacht dadurch erhebliche Ertragseinbußen. Vermindertes Korngewicht und vor allem die Belastung des Korns mit toxischen Substanzen (Mykotoxinen) reduzieren die Qualität drastisch. Die am häufigsten gefundenen Mykotoxine sind Deoxynivalenol, Zearalenon und Fumonisin, die bei der Verfütterung des mit *Fusarium* befallenen Mais zu Vergiftungserscheinungen und Fruchtbarkeitsstörungen führen können. Seit 2006 gelten in der Europäischen Union verbindliche Grenzwerte für diese Toxine in Lebensmitteln. Mittlerweile wurden auch Richtwerte für deren Gehalt in Futtermitteln veröffentlicht.

Zur Infektion werden ein Temperaturbereich von ca. 18 - 20 ° C und feuchte Witterungsverhältnisse benötigt. Nach der Infektion wächst der Pilz aber auch bei höheren oder niedrigeren Temperaturen weiter. Eine Infektion und der Befall des Stängels können bereits mit der Saat beginnen und werden durch Verletzungen z. B. durch den Maiszünsler weiter begünstigt. Die Kolbenfusariose ist aber nicht immer auf den Stängelbefall zurückzuführen, sondern kann unabhängig davon über die Narbenfäden oder die Kolbenspitze beziehungsweise durch mechanische Verletzung der Lieschenblätter erfolgen. Der Pilz verbreitet sich innerhalb des Kolbens hauptsächlich über die Spindel und befällt von dort aus die Körner. Die Kolbenfusariose ist für das Auge oft erst sehr spät und nur schwer zu erkennen. Einerseits umschließen die Lieschenblätter den Kolben und verdecken somit das durch *Fusarium* hervorgerufene Krankheitsbild, andererseits ist das Pilzmyzel auf den Körnern mitunter nicht so deutlich sichtbar, obwohl die Spindel bereits massiv befallen sein kann. Bedingt durch dieses Infektions- und Wachstumsverhaltens sind die verschiedenen Teile der Maispflanze sehr unterschiedlich stark befallen und zeigen auch große Differenzen im Mykotoxingehalt. Abgesehen von der Witterung spielen auch andere Faktoren eine entscheidende Rolle für die Infektion. Ein verstärkter Einsatz von *Fusarium* Wirtspflanzen in der Fruchtfolge kann den Infektionsdruck auf einem Feld förmlich nach oben schrauben. Besonders der Wechsel von Mais und Weizen/Durum führt zur Anreicherung von *Fusarium* im Boden und bei passender Witterung zu besonders großen Folgeschäden. Auch die Art der Bodenbearbeitung wirkt sich auf den Infektionsgrad durch *Fusarium* aus. Reduzierte Bodenbearbeitung oder Direktsaat mit einem hohen Anteil an oberflächlich liegenden Pflanzenresten der Vorfrucht bietet besonders gute Wachstumsverhältnisse für *Fusarium*. Diese pilzdurchsetzten Pflanzenreste stellen eine geradezu optimale Quelle für Infektionen dar.

Die Notwendigkeit von hoher Feuchtigkeit und mittleren Temperaturen für eine erfolgreiche Infektion führt dazu, dass die durchschnittliche Belastung der Ernte mit Mykotoxinen von Jahr zu Jahr sehr stark variiert. So kann es vorkommen, dass in trocken-heißen Jahren der Befall mit *Fusarium* und in Folge auftretenden Mykotoxine kein Problem darstellen, in mäßig warmen und sehr feuchten Jahren aber großräumig starke Belastungen beobachtet werden. So war in den Jahren 2002 und 2006 im gesamten mitteleuropäischen Bereich der Befall von Mais mit *Fusarium* besonders stark. 2006 wies in einigen Regionen mehr als 50% des Körnermaises Deoxynivalenolgehalte auf, die über dem EU Grenzwert für Lebensmittel von 1750 µg/kg lagen.

Besonders diese jahresabhängige Ungleichverteilung des Mykotoxingehaltes mit dem Auftreten von besonders starken Befallsjahren macht strenge Kontrollen unabdingbar. Die Mykotoxanalytik erzielte in den letzten Jahren große Fortschritte. Es wurde sowohl die Nachweisgrenze kontinuierlich nach unten geschoben, aber auch das Portfolio an nachweisbaren Toxinen diverser Tests verbessert. Nach dem derzeitigen Stand können ca. 180 verschiedene toxische Pilzmetaboliten in nur einer einzigen Messung quantifiziert werden. Mittlerweile teilt sich die Toxanalytik in zwei große Bereiche auf: Referenzanalytik und Schnellmethoden.

Referenzverfahren

Als präzise Verfahren für den Nachweis von Mykotoxinen sind die auf HPLC und Massenspektrometrie (MS) basierten Verfahren. Diese Methoden erreichen sehr hohe Präzision und zeichnen sich durch die niedrige Nachweisgrenze aus. Bedingt durch die hohe analytische Genauigkeit sind HPLC und MS die Verfahren der Wahl, wenn EU-Grenzwerte zu kontrollieren sind. In der Praxis jedoch zeigt sich, dass Referenzverfahren zwar sehr genau, jedoch enorm zeit- und kostenaufwändig sind. Eine flächendeckende Kontrolle der Ernte ist mit diesen Verfahren kaum zu bewältigen. Daher müssen andere Methoden, die wesentlich schneller und billiger sind, für ein pre-screening eingesetzt werden. Da die Problematik der Mykotoxine im letzten Jahrzehnt immer deutlicher erkannt wurde und seit der Einführung von EU weit gültigen Grenz- und Richtwerten die Kontrolle der Erntequalität immer wichtiger wird, schritt die Entwicklung und Optimierung verschiedener Arten von schnellen Nachweissystemen zügig voran. Zwei unterschiedliche Strategien kristallisierten sich im Laufe der Zeit heraus: direkte und indirekte Nachweismethoden.

Direkte Schnellmethoden

Direkte Schnellmethoden zeichnen sich durch die direkte Messung der Menge eines bestimmten Mykotoxins in einer Probe aus. All diese Methoden basieren auf Antikörpern, die das Mykotoxin selektiv binden. Der Nachweis erfolgt meist über eine gekoppelte enzymatische Reaktion. Die großen Vorteile dieser Tests sind ihre Schnelligkeit und die relativ einfache Handhabung. Speziell ausgebildetes Personal ist grundsätzlich nicht notwendig. Limitierend wirken sich unter Umständen eine hohe analytische Streuung und die begrenzte Empfindlichkeit mancher Tests aus, die nur qualitative oder semi-quantitative Aussagen zulassen. Antikörper basierte Tests sind derzeit für die Fusarium Toxine DON, ZON, Fumonisin und außerdem für Aflatoxin, Patulin, Citrinin und Ochratoxin kommerziell erhältlich. Drei verschiedene Arten der Anwendung sind für diese Art der Nachweise in Umlauf. Sogenante ELISA (Enzyme Linked Immunosorbant Assays) Tests werden normalerweise in Mikrotiterplatten durchgeführt, was einen sehr hohen Probendurchsatz ermöglicht. Der Aufwand für die Probenvorbereitung ist bei ELISAs als eher gering einzustufen und die Inkubationszeit liegt meist nur bei etwa 20 min. Die quantitative Auswertung erfolgt über einen Reader. Wesentlich einfacher in der Handhabung sind Lateral Flow Devices (LFDs), einfache Teststreifen, die in den Extrakt einer Probe getaucht werden. Der Aufwand für die Probenvorbereitung ist für diese Methode minimal und die Inkubationszeit

beträgt lediglich etwa fünf Minuten. Auf dem Teststreifen befinden sich eine positiv-Kontrolle, die anzeigt ob die Analyse gültig ist, und die Testlinie. Das Erscheinen oder nicht-Erscheinen der Testlinie zeigt an, ob das getestete Toxin in der Probe enthalten ist. Diese Art des Nachweises wird vorwiegend semi-quantitativ eingesetzt, d.h. es wird nur bestimmt, ob die Mykotoxinkonzentration unter einem bestimmten Schwellenwert liegt. Mittlerweile sind auch für LFDs spezielle Reader erhältlich, die auch eine quantitative Auswertung erlauben. Auch ein direkter Nachweis von Mykotoxinen in der extrahierten Flüssigphase kann erfolgen. Der quantitative Nachweis wird in diesem Fall mit einem Photometer über die Detektion von Fluoreszenzfarbstoffen durchgeführt.

Antikörper basierte Methoden werden grundsätzlich zum Nachweis eines einzigen Mykotoxins eingesetzt, in Sonderfällen können auch Substanzklassen (z.B. alle Trichothecene) bestimmt werden. Die Kreuzreaktion von Antikörpern mit Substanzen, die sehr strukturähnlich zu den Toxinen sind, kann sich bei Nachweisen nachteilig auswirken. Manche Fusarium-Arten produzieren beispielsweise acetylierte Formen des DON (3Ac-DON, 15Ac-DON), die zu einer Überschätzung des DON-Wertes einer Probe und somit zu falsch positiven Aussagen führen können. Außerdem ist seit kurzem bekannt, dass die Pflanze selbst sich gegen die Wirkung der Fusariumtoxine wehrt, indem sie sie entgiftet. Pflanzen können ein Glukosemolekül an DON hängen und DON-3-glukosid bilden (Berthiller et al. 2005). Dieses ist zwar für die Pflanze weniger giftig, im Magen-Darmtrakt von Säugetieren wird die Glukose jedoch abgespalten und das ursprüngliche Toxin mit seiner Giftigkeit liegt wieder vor. Es zeigte sich, dass diese Entgiftungsmöglichkeit der Pflanze ein Ziel der Züchtung zum Erhalt resistenter Sorten ist. Je resistenter neue Weizen- und Maissorten gegen Fusarium sind, desto mehr DON wird zu DON-3-glukosid konvertiert. Bisher sind kaum Daten zugänglich, wie weit dieses "maskierte Mykotoxin" durch Antikörper basierte Testsysteme erfasst wird.

Indirekte Schnellmethoden

Indirekte Verfahren bestimmen eigentlich die Menge des Pilzes in einer Probe. Der Vorteil dieses Ansatzes ist es, dass man eine Vorinformation über die Anwesenheit von Toxinen erhält. Zahlreiche Studien belegen eine gute Korrelation zwischen der Pilzmenge und der Menge an gefundenen Toxinen. Der Nachteil von indirekten Methoden ist allerdings, dass sich nur eine Aussage über die Gesamtmenge an Mykotoxinen ableiten lässt. Eine konkrete Aussage ob eine einzelne Substanz (z.B. DON) den EU-Grenzwert überschreitet oder nicht, ist durch diese Art der Analytik nicht möglich.

Die Infrarot - Spektroskopie ersetzt bzw. automatisiert das übliche manuelle Auszählen der "Fusariumkörner". Im Infrarot-Spektrum wird die Pilzmenge in einer Probe bestimmt. Diese Methode erlaubt einen sehr hohen Probendurchsatz. Es ist praktisch keine spezielle Aufbereitung der Probe nötig. Aufgrund der geringen Genauigkeit dieser Analysen sind Anwendungen in der Praxis bisher nur selten. Aufgrund der Einfachheit und des möglichen hohen Durchsatzes hat die Infrarot Spektroskopie jedoch beträchtliches Potential als künftige Screeningmethode.

Ein weiterer Ansatz zur Bestimmung der Pilzmenge in einer Probe erfolgt über den Nachweis der DNA. Die DNA von Toxinproduzenten kann mittels real-time PCR (Polymerase Kettenreaktion) quantitativ bestimmt werden und gibt Auskunft über die Pilz-Biomasse, die ursprünglich sich im Zuge der Infektion gebildet hat. Die quantitative PCR (qPCR) erlaubt

auch Aussagen über die Art der Toxine, die in einer Probe gefunden werden können. So gibt es spezifische Nachweismethoden für Trichothecen-produzierende Fusarium-Arten (Schnerr et al., 2001; Schnerr et al., 2002; Strausbaugh et al., 2005) oder Tests für Fumonisin-produzierende Arten (Bluhm et al., 2004). Die qPCR hat eine enorm niedrige Nachweisgrenze, selbst sehr kleine Pilzmengen können zuverlässig nachgewiesen werden. Außerdem wurde bereits in einigen Studien die ausgezeichnete Korrelation zwischen der Pilzmenge und den gefundenen Toxinen (Abbildung 1) demonstriert (Schnerr et al., 2002; Waalwijk et al., 2004).

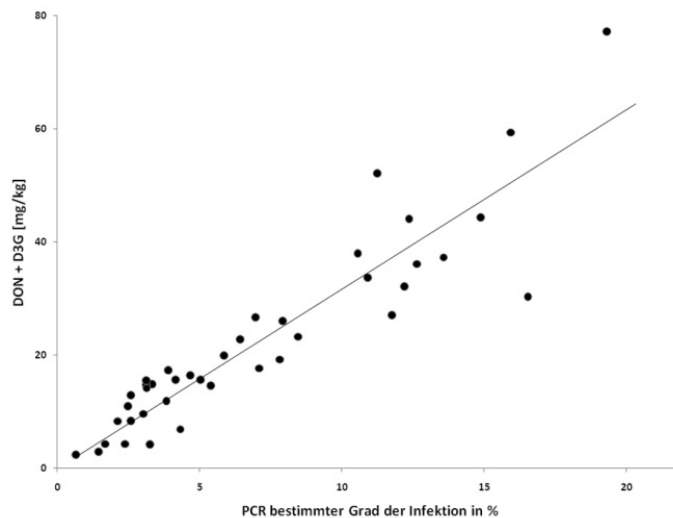


Abbildung 1: Korrelation zwischen dem mit qPCR bestimmten Grad der Fusarium-Infektion und den Toxinwerten

Da die qPCR an sich noch eine sehr junge Technologie ist, hat sie auch erst sehr spät ihren Einzug in den Agro-Biotech-Bereich gefunden. Alle bisher präsentierten Studien sind nur schwer miteinander vergleichbar, da weder einheitliche Probenvorbereitungen gemacht wurden, noch kommerziell erwerbbar, einheitliche analytische DNA-Standardlösungen zur Verfügung stehen. Um dieses Manko zu umgehen, wurde an der TU Wien in Anlehnung an ein Protokoll der Europäischen Referenzlaboratorien (CRL) ein Referenzgensystem für Fusarium-Messungen etabliert. Hierbei wird die ko-extrahierte pflanzliche DNA mitgemessen und aus dem Verhältnis Pilz-DNA zu Pflanzen-DNA ein Grad der Infektion in Prozent bestimmt. Dieses System kompensiert weitgehend jene Unregelmäßigkeiten, die während der Probenvorbereitung auftreten (Abbildung 2).

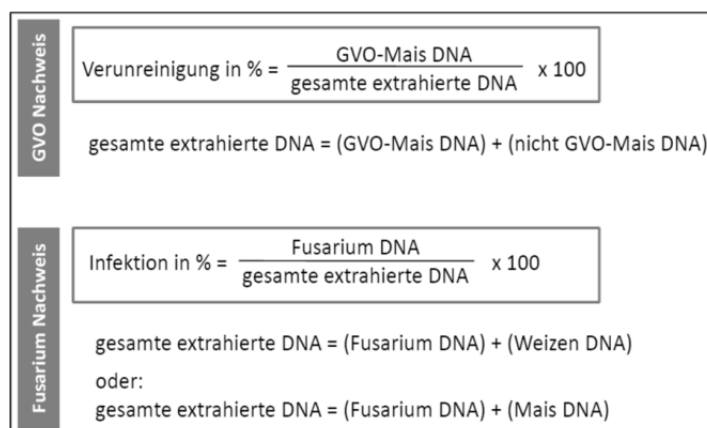


Abbildung 2: Oben: CRL Methode zur PCR basierten Bestimmung des prozentuellen Anteils an gentechnisch verändertem Mais in einer Probe. Unten: Anwendung desselben Prinzips auf die prozentuelle Bestimmung der Fusariuminfektion in Pflanzen

Alle hier angeführten Methoden zu Bestimmung oder Abschätzung des Toxingehaltes in Proben dienen zwar der Kontrolle der Qualität einer Ernte, können jedoch nur das Ausmaß von bereits erfolgten Schäden aufzeigen.

Um künftig die Infektionen durch Fusarium zu verringern oder zu verhindern, gilt es einerseits ackerbauliche Maßnahmen wie Fruchtfolge oder Bodenbearbeitungsmethode zu berücksichtigen. Andererseits ist aber vor allem die Pflanzenzüchtung gefragt, möglichst hochwertige Genotypen zur Verfügung zu stellen. Sowohl für Weizen als auch für Mais wurden bereits mehrere Bereiche im Genom identifiziert, die alle mehr oder weniger große Anteile an der beobachteten Resistenz gegen Fusarium-Befall haben (Quantitative trait loci - QTLs). Das erklärte Ziel ist es, in einer neuen Züchtung möglichst viele dieser QTLs wiederzufinden, ohne dabei aber andere, nachteilige Eigenschaften zu verstärken beziehungsweise erwünschte Eigenschaften zu verlieren. Das Wissen um die genetischen Grundlagen der Resistenz erlaubt heute eine gezielte Überprüfung des Züchtungserfolges in einem sehr frühen Stadium der Pflanze mit molekularen Markern. Dennoch muss letztendlich die Widerstandsfähigkeit der Pflanze im Feldversuch durch natürliche und/oder künstliche Infektion demonstriert werden. Hierzu wird meist auf eine visuelle Bonitur der Ähren oder Kolben zurückgegriffen. Je resistenter die neuen Sorten jedoch werden, desto schwieriger wird es, zuverlässige Aussagen durch Bonitur zu erhalten.

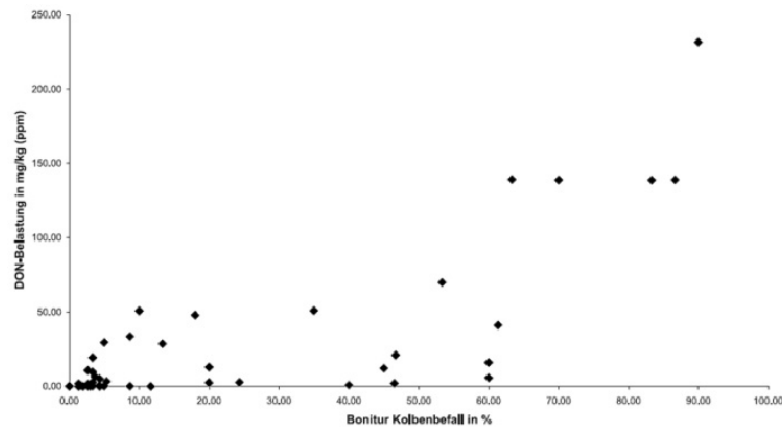


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen visueller Bonitur und der DON-Belastung bei Mais (Papst et al., 2007)

In Abbildung 3 ist deutlich zu erkennen, dass erst ab einem Infektionsgrad von 60% die DON-Menge stark zunimmt, jene Kolben zwischen 10% und 60% können sowohl frei von Mykotoxinen sein, als auch sehr stark belastet (bis zu 40facher Überschreitung des EU Grenzwertes für Lebensmittel!). Da die qPCR eine sehr genaue Bestimmung der Pilzmenge erlaubt, die ursprünglich zur Infektion des Kolbens führte, ergeben sich neue Möglichkeiten zur präzisen Klassifizierung von neuen Genotypen.

Literatur

- Berthiller, F., dall'Asta, C., Schuhmacher, R., Lemmens, M., Adam, G., Krska, R. (2005): Masked Mycotoxins: Determination of a Deoxynivalenol Glucoside in Artificially and Naturally Contaminated Wheat by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3421-3425
- Bluhm, B.H., Cousin, M.A. and Woloshuk, C.P. (2004): Multiplex real-time PCR detection of fumonisin-producing and trichothecene-producing groups of *Fusarium* species. *J. Food Prot.* 67(3):536-543
- Papst, C., Zellner, J., Venkataratnam, S., Eder, J. (2007): *Fusarium* – Problematik bei Körnermais (*Zea Mays* L.). *Gesunde Pflanzen* 59:7–16
- Schnerr, H., Niessen, L., Vogel, R.F. (2001): Real-time detection of the *tri5* gene in *Fusarium* by LightCycler-PCR using SYBR Green I for continuous fluorescence monitoring. *Int. J. Food Microbiol.* 71: 53-61
- Schnerr, H., Vogel, R.F., Niessen, L. (2002): Correlation between DNA of trichothecene-producing *Fusarium* species and deoxynivalenol concentrations in wheat samples. *Letters Appl. Microbiol.* 35:121-125
- Strausbaugh, C.A., Overturf, K., Koehn, A.C. (2005): Pathogenicity and real-time PCR detection of *Fusarium* spp. in wheat and barley roots. *Can. J. Plant Pathol.* 27: 430-438
- Waalwijk, C., van der Heide, R., de Vries, I., van der Lee, T., Schoen, C., Corainville, G.C., Häusler-Hahn, I., Kastelein, P., Köhl, J., Lonnet, P., Demarquet, T. and Kema, G.H.J. (2004): Quantitative detection of *Fusarium* in wheat using TaqMan. *Europ. J. Plant Pathol.* 110:481-494

Waalwijk, C., Koch, S.H., Ncube, E., Allwood, J., Flett, B., de Vries, I., Kema, G.H.J. (2008): Quantitative detection of *Fusarium* spp. and its correlation with fumonisin content in maize from South African subsistence farmers. *World Mycotox. J.* 1:39-47

Häcksellänge und Strukturwert von Silomais

Chopping length and structure value of silage maize

Hubert Spiekers¹, Thomas Ettle¹, Wolfgang Preißinger¹ und Martin Pries²

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub

²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster

Zusammenfassung

Die Ernte der Maisganzpflanze erfolgt zur Gewinnung von Silomais in der Regel mit dem Feldhäcksler. Das Erntegut wird dabei mit einer theoretischen Häcksellänge von 4 bis 40 mm gehäckselt und mit einem Cracker oder Prozessor mit einer Spaltweite von 1 bis 16 mm zur Aufbereitung der Körner nachzerkleinert. Durch die Zerkleinerung entsteht ein Erntegut, das sich gut verarbeiten und verdichten lässt und eine große Oberfläche für eine rasche Silierung bietet.

Mit kürzerem Häckselgut ist allerdings eine Abnahme der physikalischen Strukturwirkung verbunden. Aus diesem Grund werden längere Partikelgrößen für energiereiche und strukturarme Futtermischungen diskutiert. In der Rationsplanung lassen sich diese Effekte über verschiedene Systeme zur Strukturbewertung erfassen.

Um die Effekte einer längeren Häcksellänge zu prüfen, wurden von Arbeitsgruppen der Universität Hohenheim, der LWK Schleswig-Holstein sowie den Autoren dieses Beitrags Versuche an Milchkühen und in Grub ergänzend an Mastbullen durchgeführt, die in vorliegendem Beitrag vorgestellt und diskutiert werden. In Abhängigkeit des Strukturwertes der Ration ergeben sich teils unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der Effekte der Häcksellänge auf Futteraufnahme und Milchleistungsparameter. Dementsprechend lassen sich aus den Literaturdaten für unterschiedliche Strukturwerte der Ration unterschiedliche Empfehlungen zur theoretischen Häcksellänge bei Silomais ableiten.

Schlüsselwörter: Theoretische Häcksellänge, Strukturwirkung, Maissilage, Milchleistung

Abstract

Commonly harvesting of maize plants for preparation of maize silage is done by using a field chopper. After chopping harvested plants to a theoretical length of cut of about 4 to 40 mm, a cracker or processor will be used especially to further process and damage maize kernels. These harvesting techniques will result in maize plant particles providing best conditions for further treatment and the ensiling process.

On the other hand, shorter maize plant particles will bear the risk of a reduction of physical structure of the maize silage. Therefore, for ruminant rations with a high energy concentration and a low structure value, a larger particle size is discussed. For calculation of rations for ruminants, those effects can be described by different evaluation systems for (physical) structure.

In order to determine effects of varying chopping lengths, different German working groups have done feeding trials in dairy cows and also in fattening bulls, the results of which will be described and discussed in the present paper. Depending on the structure value of the ration, effects of chopping length on feed intake and performance of dairy cows were different among trials. Therefore, from those literature data different recommendations for optimum theoretical chopping length can be derived in relation to the structure value of the ration.

Key words: Theoretical chopping length, physical structure, maize silage, milk yield

Einführung

Der Futterwert der Ration umfasst neben der Energie und den Nährstoffen auch die Strukturwirkung. Es ist die Strukturwirkung der Ration im Vormagen zu gewährleisten. Die Strukturwirkung beim Silomais wird durch dessen Zusammensetzung (z.B. Kornanteil), die Abreife sowie die Teilchengröße determiniert. Auf die Teilchengröße hat die theoretische Häcksellänge (tHL) einen erheblichen Einfluss. In dem nachstehenden Beitrag sollen die Zusammenhänge zwischen Häcksellänge und Strukturwirkung thematisiert und Empfehlungen für die Praxis abgeleitet werden.

Wesentliche Grundlage für die Betrachtung sind die zu dieser Frage angestellten Versuche in Hohenheim, Futterkamp und Haus Riswick an Milchkühen bzw. in Grub an Mastbullen und Milchkühen. In den Versuchen wurden theoretische Häcksellängen von 5 bis 21 mm geprüft, so dass die für die deutsche Praxis relevante Bandbreite erfasst wurde. Neben der Frage der Strukturwirkung am Tier wurden begleitend auch Fragen zur Verdichtbarkeit und den Siliereigenschaften in Abhängigkeit von der Häcksellänge geprüft (Mahlkow und Thaysen, 2005; Richter et al., 2005; Leurs, 2006).

Weshalb Häckseln?

Die Ernte der Maisganzpflanze erfolgt zur Gewinnung von Silomais in der Regel mit dem Feldhäcksler. Das Erntegut wird dabei mit einer tHL von 4 bis 40 mm gehäckselt und mit einem Cracker oder Prozessor mit einer Spaltweite von 1 bis 16 mm zur Aufbereitung der Körner nachzerkleinert. In Deutschland ist eine Häcksellänge von 5 bis 10 mm bei Spaltweiten von 1 bis 2 mm üblich. Durch die Zerkleinerung entsteht ein Erntegut, das sich gut verarbeiten und verdichten lässt und eine große Oberfläche für eine rasche Silierung bietet.

Gründe für das Häckseln und die Nachzerkleinerung sind somit Transportwürdigkeit, Homogenität, Verdichtbarkeit, Verbesserung der Siliereigenschaften und Gewährleistung der Verdaulichkeit insbesondere der Körner. Grenzen in der Zerkleinerung sind in der Strukturwirksamkeit, z.B. über verringerten Speichelfluss, und den Maschinenkosten, insbesondere den Verbrauch an Diesel, zu sehen.

Mit steigender tHL verschlechtert sich die Verdichtbarkeit der Maissilage und erhöht sich der Sauerstoffeintritt an der geöffneten Silage, was der Nacherwärmung Vorschub leistet (Leurs, 2006). Die Siliereigenschaften werden auf Grund der vergrößerten Oberfläche bei reduzierter Häcksellänge verbessert (Richter et al., 2005). Von untergeordneter Bedeutung ist die reduzierte Sauerstoffmenge im Silostock auf Grund der besseren Verdichtung, wenn

unmittelbar nach Beendigung der Silierung die Abdeckung erfolgt. Ansonsten kann auf Grund der ungenügenden Verdichtung ein „CO₂-Spüleffekt“ resultieren.

Tabelle 1: Angaben zur Ernte beim Silomais - Bayern 06/07 (Richter et al., 2009)

Region	Rosenheim	Schwandorf	Roth	LVFZ's**
Betriebe*	15	15	15	4
Schnitthöhe, cm	36 ± 11	28 ± 9	24 ± 8	30 ± 11
thr. Häcksellänge, mm	9 ± 5	10 ± 6	10 ± 4	8 ± 3

* 2 bis 3 Silos je Betrieb

** Lehr-, Fach- und Versuchszentren der LfL Bayern

Die tHL ist in der Praxis recht unterschiedlich. Deutlich wird dies an den Angaben in Tabelle 1. In einem Forschungsvorhaben an Praxissilos von Richter et al. (2009) wurden auch die Angaben zur Ernte erfasst. Insgesamt liegt das mittlere Niveau in der angegebenen tHL mit 8 bis 10 mm je nach Region und Betriebstyp eher höher als von den Fachgremien empfohlen (DLG, 2006).

Historische Entwicklung der Maiszerkleinerung in den letzten 50 Jahren

Die optimale Häcksellänge bzw. Zerkleinerung von Maissilage in der Wiederkäuerfütterung ist bereits seit den 1960-er Jahren Gegenstand der Forschung verschiedener Arbeitsgruppen (Buck et al., 1969; Miller et al., 1969). Untersucht wurden die Einflüsse der Häcksellänge bzw. Körnernachzerkleinerung auf das Fress- und Wiederkauverhalten (Okamoto et al., 1979; Rohr et al., 1983, 1986; De Boever et al., 1993; Weigand et al., 1993), auf pansenphysiologische Kennwerte (Miller et al., 1969; Geasler und Henderson, 1970; Sudweeks et al., 1979; Rohr et al., 1983, 1986; Rojas-Bourrillion et al., 1987), auf die Verdaulichkeit der organischen Substanz und der Rohnährstoffe (Miller et al., 1969; Sudweeks et al., 1979; Boucque et al., 1982; De Brabander et al., 1982; Schwarz und Kirchgeßner, 1982; Rohr et al., 1983, 1986; Heimbeck et al., 1988, Schwarz et al., 1997), auf die Futteraufnahme (Buck et al., 1969, De Brabander et al., 1982; Schwarz und Kirchgeßner, 1982; De Boever et al., 1993; Weigand et al., 1993; Preißinger et al., 1998) sowie auf Milchleistung und Milchinhaltstoffe (Buck et al., 1969; Miller et al., 1969; De Brabander et al., 1982; Schwarz und Kirchgeßner, 1982; Preißinger et al., 1998).

In den 1970er und 1980er-Jahren war das Standardverfahren der Silomaisernte der 1- bzw. 2-reihige Anbaufeldhäcksler. Diese Häcksler hatten entweder keine Vorrichtung bzw. nur einen Reibboden zur Kornaufbereitung (Honig und Rohr, 1982). Die Körnernachzerkleinerung mittels Reibboden war jedoch z.T. sehr unbefriedigend. Um den Anteil ganzer Körner in der Silage und letztendlich auch im Kot zu reduzieren, bewegten sich die untersuchten tHL vornehmlich im Bereich zwischen 4 und 8 mm (Buck et al., 1969; Schwarz und Kirchgeßner, 1982; Rohr et al. 1983, 1986; Heimbeck et al., 1988) bzw. es wurde mehrmals gehäckselt (Miller et al., 1969) oder zusätzlich gemust (Rohr et al., 1983, 1986). Die in der Tendenz verbesserte Verdaulichkeit der organischen Substanz durch eine verbesserte Verdaulichkeit

der NfE-Fraktion bzw. der Stärke bei zunehmender Zerkleinerung wurde in den meisten Untersuchungen jedoch von einer verminderten Verdaulichkeit der Rohfaser begleitet (Rohr et al., 1983, 1986; Rojas-Bourillion et al., 1987; Heimbeck et al., 1988; Schwarz et al., 1988 a, b). Darüber hinaus wurden in diesen Jahren von verschiedenen Arbeitsgruppen auch Experimente mit bis zu 20 mm tHL durchgeführt. Im Vergleich zur kurzen Häcksellänge war aber die Verdaulichkeit der NfE-Fraktion deutlich (Sudweeks et al., 1979) bzw. in der Tendenz (Boucque et al., 1982; De Brabander et al., 1982; Schwarz und Kirchgeßner, 1982; De Boever et al., 1993) vermindert. Da auch für die Silierung eher eine kurze Häcksellänge sprach (Dernedde und Honig, 1977; Zimmer und Honig, 1979), wurde eine tHL von 4 bis 7 mm als optimal erachtet. Insgesamt ist allerdings zu beachten, ob die Verdaulichkeit am Hammel oder am Rind gemessen wurde, da ein unterschiedliches Kauvermögen besteht (Van Es et al., 1976; Thomas und Campling, 1977; Deswysen et al., 1984).

Ab Ende der 1980-er Jahre wurden zunehmend selbstfahrende Feldhäcksler eingesetzt, die mit entsprechenden Einrichtungen zur Körnernachzerkleinerung, sog. Korncrackern bzw. Crackerwalzen, ausgestattet waren. Bei diesen Maschinen konnte sowohl die Häcksellänge als auch der Abstand der Crackerwalzen stufenlos eingestellt werden. Neben dem technischen machte auch der züchterische Fortschritt nicht halt. Es kamen sog. „stay green“ Maissorten mit früh abreifendem Kolben und spät abreifender Restpflanze auf den Markt. Diese neuen Maissorten stellten differenzierte Anforderungen an Häcksellänge und Körnernachzerkleinerung. Darüber hinaus wurde aufgrund der höheren Leistungen der Tiere mehr Krafftutter eingesetzt, so dass der Strukturwirksamkeit der eingesetzten Maissilage mehr Aufmerksamkeit beigemessen wurde. Dies alles führte dazu, dass neben der tHL auch die Körnernachzerkleinerung bzw. die Häckseltechnik vermehrt in die Diskussion einbezogen wurde (De Boever et al., 1993; Weigand et al., 1993; Schwarz et al., 1997; Preißinger et al., 1998). Ziel war es, die Körner durch entsprechende Vorrichtungen zu zerkleinern, ohne die Restpflanze in ihrer Strukturwirksamkeit zu beeinträchtigen. Dies führte ab 1999 zu zahlreichen Studien mit theoretischen Häcksellängen bis zu 40 mm.

Strukturbewertung von Maissilage

In den Empfehlungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie für Milchkühe und Aufzuchttrinder (GfE, 2001) wird das Thema Versorgung mit „strukturiertem“ Grundfutter besprochen. Am Beispiel der strukturwirksamen Rohfaser (Piatkowski et al., 1977, 1990) sowie des Strukturwerts nach De Brabander et al. (1999) werden die Möglichkeiten behandelt. Konkrete Empfehlungen werden nicht gegeben.

Die strukturwirksame Rohfaser wurde von Piatkowski et al. (1977, 1990) vornehmlich in Rostock erarbeitet. Maßstab für die Zuordnung von Faktoren zur Bewertung der Rohfaser hinsichtlich ihrer Strukturwirksamkeit ist die Kauzeit. Wiesenheu mit 28 bis 30 % Rohfaser dient als Vergleichsgröße mit dem Faktor 1.

Der Strukturwert (SW) wurde von einer Arbeitsgruppe um De Brabander (De Brabander et al., 1999) in Belgien erarbeitet. Jedem Futtermittel wird ein Strukturwert konkret zugeordnet. Basis sind Versuche an Milchkühen zur Kauzeit und zum kritischen Grobfutteranteil. Der kritische Grobfutteranteil beschreibt die kritische Relation von Grob- zu Krafftutter in der Ration. Hierzu wird der Krafftutteranteil in 5 %-Schritten gesteigert bis erste Erscheinungen der Acidose auftreten. Für die Grobfutter resultieren Strukturwerte von ca. 1,5 (kornreiche

Maissilage) bis 4,3 (Stroh). Die energiereichen Saftfutter liegen zwischen 0,5 und 1 (s. Tabelle 2). Bei den Kraffutterkomponenten resultieren je nach Abbauverhalten der Kohlenhydrate leicht positive bzw. negative Werte.

Tabelle 2: Vergleich der Strukturbewertung nach Piatkowski et al. (1977, 1990) über die strukturwirksame Rohfaser mit dem Strukturwert (SW) nach De Brabander et al. (1999)

Futtermittel	XF, g/kg TM	strukturwirksame XF, g/kg TM	Strukturwert (SW) /kg TM
Stroh	430	645	4,30
Heu	280	280	3,50
Grassilage	250	225	2,93
Maissilage	200	200	1,70*
Weidegras	200	140	1,60
Biertrebersilage	190	(76)**	1,00
Kartoffeln	27	-	0,70
Sojaschalen	380	0	0,64
Mais	26	0	0,22
Weizen	29	0	- 0,15

* bei 6 mm Häcksellänge; **Strukturfaktor: 0,4

Eine Gegenüberstellung der Werte für die strukturwirksame Rohfaser und den Strukturwert ist aus der Tabelle 2 ersichtlich. Für die üblichen Grobfutter können Schätzungsgleichungen zur Ableitung des Strukturwerts genutzt werden. Auf Basis Rohfaser ist die Gleichung beim Silomais wie folgt:

$$SW = (0,0090 \times \text{Rohfaser (g/kg TM)}) - 0,1$$

Die Gleichung gilt für eine tHL von 6 mm. Je mm mehr oder weniger ändert sich der Strukturwert um 2 %. Für theoretische Häcksellängen von 6 bis 20 mm wirkt sich dies wie in Tabelle 3 beschrieben aus.

Tabelle 3: Strukturwert von Maissilage in Abhängigkeit von Rohfasergehalt (XF) und Häcksellänge (nach DLG, 2001)

Qualität	gut	mittel	mäßig
XF, g/kg TM	185	210	235
tHL	Strukturwert (SW)		
6 mm	1,57	1,79	2,02
13 mm	1,78	2,04	2,30
20 mm	2,00	2,29	2,58

Die Anwendung des Strukturwerts in der Rationsplanung wird vom DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung empfohlen (DLG, 2001). Aus der Tabelle 4 sind die Empfehlungen zu dem

Strukturwert, der mindestens realisiert werden sollte, zu entnehmen. Mit steigender Leistung und abnehmendem Milchfettgehalt nimmt dieser Wert zu. Für hochleistende Milchkühe über 40 kg Milch/Tag ist daher ein Wert von 1,2 erforderlich. Zusätzlich ist ein Wert von De Campeneere et al. (2004) für die Endmast von Mastbullen der Rasse Blau/Weiße-Belgier mit 0,6 aufgeführt.

Mit kürzerem Häckselgut ist eine Abnahme der physikalischen Strukturwirkung verbunden. Aus diesem Grund werden längere Partikelgrößen für energiereiche und strukturarme Futterrationen diskutiert. In der Rationsplanung lassen sich die Effekte über den Strukturwert (SW) nach De Brabander erfassen. Nach den Maßgaben der DLG (DLG, 2001) steigt der SW bei Maissilage um 28 % bei Erhöhung der tHL von 6 mm auf 20 mm. Eine weitere Möglichkeit zur Erfassung der Struktureffekte der Häcksellänge bietet das System der effektiven NDF (peNDF) aus den USA. Näheres ist hierzu einer Übersichtsarbeit von Zebeli et al. (2008) zu entnehmen. Im vorliegenden Beitrag wird hierauf nicht näher eingegangen, da dieses System bisher in Deutschland nicht eingeführt ist und die entsprechenden Daten für die im nächsten Kapitel beschriebenen Versuche nicht durchgängig vorliegen. In weiteren Arbeiten wäre eine vergleichende Beurteilung mit diesem System jedoch zu empfehlen.

Tabelle 4: Empfehlung zur Strukturversorgung (Mindest-SW) in der Gesamtration (nach DLG, 2001 und De Campeneere et al., 2004*)

Kategorie:	Milchkuh	
Milchleistung, kg/Tag	35	45
Fettgehalt:	Strukturwert (SW)	
3,6 %	1,14	1,24
4,0 %	1,12	1,22
4,4 %	1,10	1,20
Kategorie:	Bulle (Blau/Weiß, Endmast)	
	Strukturwert (SW)	
	0,6*	

Vorliegende Fütterungsversuche

Um die Effekte einer längeren Häcksellänge zu prüfen, wurden von Arbeitsgruppen der Universität Hohenheim, der LWK Schleswig-Holstein sowie den Autoren dieses Beitrags Versuche an Milchkühen und in Grub ergänzend an Mastbullen durchgeführt. Die wesentlichen Daten zur Methodik und den Ergebnissen sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Versuchsanstellung und Ergebnisse der Fütterungsversuche mit Milchkühen bei unterschiedlicher theoretischer Häcksellänge des eingesetzten Silomaises

Einrichtung:	Futterkamp LWK Schleswig- Holstein		Grub LfL Bayern		Meiereihof Uni Hohenheim			Haus Riswick LWK Nordrhein- Westfalen	
Autoren:	Mahlkow et al. (2005) Mahlkow und Thaysen (2005)		Preißinger et al. (2006a) Schimmel et al. (2006)		Junck et al. (2005) Tafaj et al. (2005)			Staufenbiel et al. (2006) Pries et al. (2006)	
Häcksellänge, mm	7	22	5	19	5,5	8,1	14	5	21
Rationsgestaltung	TMR		Mischration*		TMR			TMR	
Anteil Maissilage, % TM	42		48*		40			52	
NEL, MJ/kg TM	7,0		6,8*		7,0			7,2	
Tierzahl, n	2 x 36, mit Wechsel		2 x 22		3 x 12			30 und 29	
Versuchsdauer, d	210		100		23 (Periodenversuch)			140	
Futtermaufnahme, kg TM/d	21,6 ^a	20,6 ^b	18,5	17,7	21,4	21,0	20,6	20,3	20,2
Milch, kg/d	36,4 ^a	34,8 ^b	28,9	29,2	33,0 ^{**}	32,7 ^{**}	32,0 ^{**}	35,9	35,9
Fett, %	4,28	4,27	3,45	3,52	3,88 ^a	3,66 ^b	3,69 ^b	3,70 ^a	3,96 ^b
Eiweiß, %	3,23	3,31	3,38	3,39	3,40 ^{ab}	3,41 ^a	3,31 ^b	3,26	3,31

*Mischration für 22 kg Milch, höhere Milchleistungen wurden durch Krafffutter mit unterschiedlichem Strukturwert am Abrufautomat abgedeckt

** ECM

^{a, b} Werte mit unterschiedlichen Hochbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede an

In Futterkamp, Hohenheim und Haus Riswick wurde eine TMR gefüttert. Die Anteile Silomais bewegten sich in der TMR zwischen 40 und 52 % der Trockenmasse. In Grub wurde eine Mischration für Erhaltung plus 22 kg Milch eingesetzt. Höhere Milchleistungen wurden durch Krafffutter am Abrufautomat abgedeckt. Zu den einzelnen Versuchen ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Futterkamp

Die Häcksellängen wurden beim Silomais auf 7 und 22 mm eingestellt. Im Silo wurde durch eine entsprechend stärkere Verdichtungsarbeit bei längerer Häcksellänge eine gleiche Verdichtung im Silo angestrebt. In der Fütterung zeigt sich eine höhere Futtermaufnahme bei kürzerer Häcksellänge. Einher geht dies mit einer um 1,6 kg höheren Milchmenge je Tag. Ergänzend wurde die Stoffwechselsituation erfasst. Aus der Tabelle 6 sind die Gehalte an NSBA, β -Hydroxybutyrat, Bilirubin und Aceton ersichtlich. Zwischen den Gruppen zeigen sich keine relevanten Unterschiede.

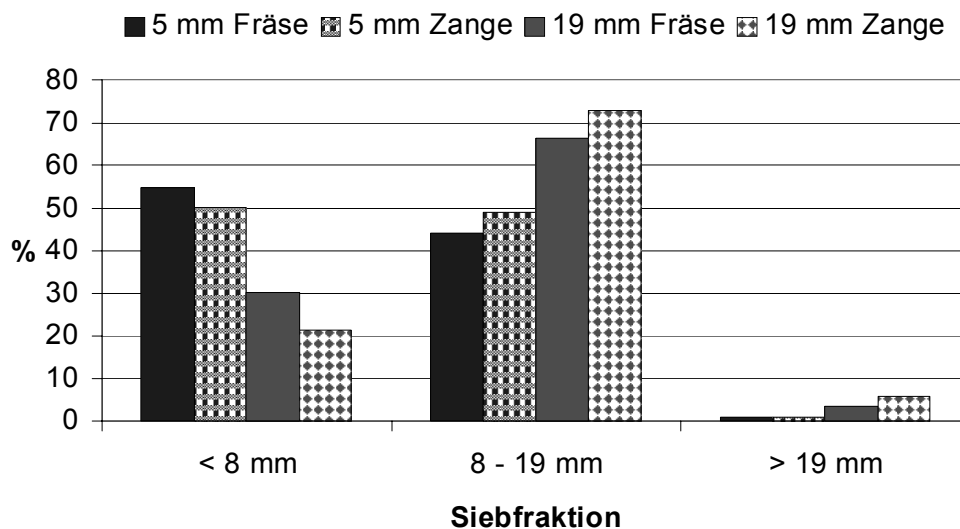
Tabelle 6: Versuch Futterkamp – Ergebnisse zur Stoffwechsellage (Mittelwert und abweichende Tiere) (Mahlkow et al., 2005)

	7 mm	22 mm	„Normwert“	% der Tiere außerhalb Normwert	
				7 mm	22 mm
NSBA (mmol/l Harn)	134	116	83-215	15	25
BHB (mmol/l Serum)	0,70	0,72	≤ 1,0	8	7
Bilirubin (μmol/l Serum)	3,29	3,17	≤ 5,0	0	2
Aceton (mg/l Milch)	2,5	1,8	< 14,5	1	0

Für den Versuch bleibt somit festzuhalten, dass die längere Häcksellänge die Futteraufnahme verringert hat, was sich auf die Milchmenge entsprechend auswirkte. Ein Problem in der Strukturwirksamkeit war auch in der Gruppe mit kurzer Häcksellänge von 7 mm nicht ersichtlich.

- Grub

Die in Grub verwendete Maissilage wurde mit 5 und 19 mm Häcksellänge geerntet. Die Einsilierung erfolgte mit gleicher Verdichtungsarbeit. Neben der Mischration wurden unterschiedliche Milchleistungsfutter über den Abrufautomat eingesetzt. Die Strukturwerte der Milchleistungsfutter variierten durch unterschiedliche Kohlenhydratträger mit 0,04 und 0,26, um eine weitere Abstufung in der Strukturwirksamkeit der Ration zu erzielen.

**Abbildung 1:** Partikellängenverteilung der Maissilagen in Grub bei unterschiedlicher Entnahmetechnik (Penn-State-Schüttelbox, n=4)

Bei der Entnahme der Maissilage zeigte sich, dass die Entnahme mit Fräse oder Zange erheblichen Einfluss auf Siebfractionen ausübt. Zu ersehen ist dies in der Abbildung 1. Im

Versuch wurde daraufhin die Maissilage mit der Zange entnommen, um eine weitere Nachzerkleinerung zu vermeiden.

Im Fütterungsversuch zeigte sich eine etwas geringere Futteraufnahme in der Gruppe mit längerer Häcksellänge. Ein Einfluss auf die Milchleistung war nicht ersichtlich. Bei der Differenzierung der Gruppen nach Häcksellänge und Strukturwert war für die Gruppe mit 19 mm tHL und hohem Strukturwert im Kraftfutter die geringere Aufnahme an Mischration statistisch zu sichern.

Unterschiede in der Strukturwirkung waren zwischen den Rationen nicht ersichtlich. Die Wiederkauzeiten je kg Trockenmasse waren gleich (Schimmel et al., 2006).

- Hohenheim

In Hohenheim erfolgten die Versuche mit Periodenwechsel, um den Tiereffekt auszuschalten. In der Mischration war neben 40 % Maissilage 10 % Heu und 50 % Kraftfutter enthalten. Wie in den bereits dargestellten Versuchen fallen mit zunehmender Häcksellänge in der Tendenz die Futteraufnahme und gleichzeitig die Milchleistung. Ein Teil der Tiere war pansenfistuliert, so dass ergänzende Messungen erfolgen konnten.

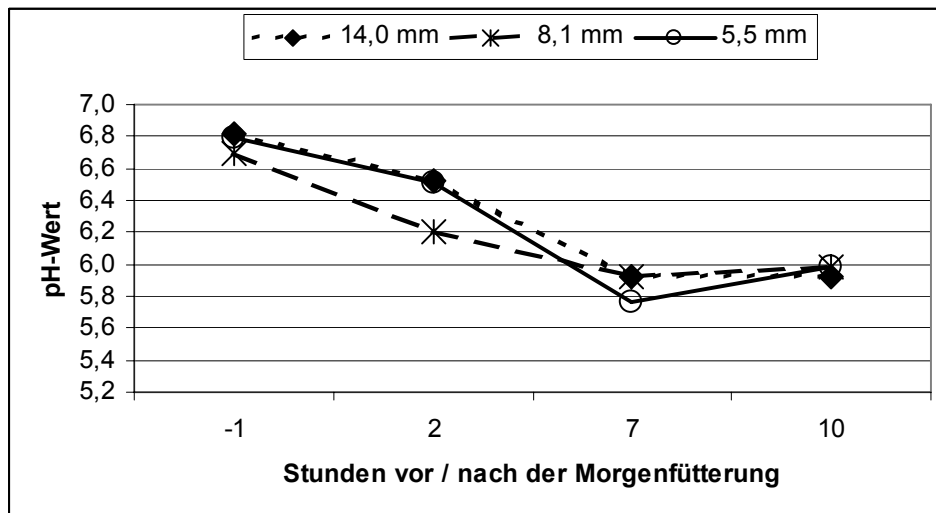


Abbildung 2: Versuch Hohenheim: Zeitlicher Verlauf des pH-Wertes des flüssigen Panseninhaltes bei unterschiedlichen tHL der Maissilage in der TMR (nach Tafaj et al., 2005)

Aus der Abbildung 2 sind die pH-Werte im flüssigen Panseninhalt ersichtlich. Im Verlauf des Tages zeigen sich erhebliche Unterschiede. Die niedrigsten Werte resultieren bei der Messung 7 h nach der Morgenfütterung. Hierbei unterschreiten die Tiere der Gruppe mit 5,5 mm tHL den Wert von pH 5,8. Insgesamt führt der Versuch zu vergleichbaren Aussagen wie die zwei zuvor erläuterten Versuche.

- Haus Riswick

In Haus Riswick wurde der Mais mit 5 und 21 mm Häcksellänge geerntet. In der eingesetzten TMR waren neben 52,4 % Maissilage 9,3 % Grassilage und 38,3 % Kraftfutter auf Basis Trockenmasse enthalten. Der Versuch wurde mit frischmelkenden Kühen bzw. ab Kalbung durchgeführt. Auf Grund der guten Silomaisqualität resultierte ein Energiegehalt in der TMR

von 7,2 MJ NEL/kg TM bei 15 % Rohfaser. Es errechneten sich Strukturwerte von 1,08 für die kurze tHL und 1,32 für die längere tHL.

In der Futteraufnahme waren keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen ersichtlich. Das gilt auch für die Milchmenge. Ein erheblicher Unterschied zeigte sich jedoch im Milchfettgehalt. Dies gilt insbesondere für die ersten 8 Versuchswochen. In dieser Laktationsphase liegen die Tiere mit der niedrigen tHL von 5 mm im Bereich von 3,4 %, was auf Acidose hinweist. Durch den insgesamt signifikant verringerten Milchfettgehalt ergab sich auch in der ECM mit 33,8 kg zu 35,2 kg je Tag ein signifikanter Unterschied.

Neben dem Milchfettgehalt zeigten auch die registrierten Erkrankungen und die Harn- und Blutparameter Stoffwechselprobleme auf Grund ungenügender Strukturwirkung der Ration mit niedriger tHL auf. In der Gruppe „kurz“ waren 6 und in der Gruppe „lang“ 1 Fall von Labmagenverlagerung zu verzeichnen. Die Ergebnisse zu den Harn- und Blutparametern sind aus der Tabelle 7 ersichtlich.

Bei den aufgeführten Kenngrößen zeigt sich jeweils ein signifikanter Effekt der Häcksellänge. Insgesamt weisen die Daten auf eine ungenügende Strukturwirksamkeit hin.

Tabelle 7: Harn- und Blutparameter, Versuch zur Häcksellänge Haus Riswick (Bandilla, 2009)

Harnparameter	Referenzbereich	Gruppe kurz	Gruppe lang
pH-Wert	7,8 – 8,4	8,06	8,18*
NSBA, mmol/l	107 – 193	101	116*
Säuren, mmol/l	50 – 100	66	58*
Ammonium, mmol/l	< 10	11	16*
Magnesium, mmol/l	3,7 – 16	13,2	9,3*
Blutparameter			
AST, U/L Serum	< 105	104	85*

*signifikanter Unterschied, $p < 0,05$

- Versuch zur Bullenmast in Grub

In Grub wurde in Ergänzung zu dem Versuch mit Milchkühen ein Versuch an Mastbullen der Rasse Fleckvieh durchgeführt (Preißinger et al., 2006 b). Die Bullen erhielten eine TMR mit 62,5 % Maissilage auf Basis TM. Es errechneten sich Strukturwerte von 0,97 bzw. 1,17 bei 21 mm tHL. In der Futteraufnahme zeigten sich höhere Werte für die Tiere mit der kürzeren Häcksellänge (s. Tabelle 8). Die Tageszunahmen waren tendenziell höher.

Tabelle 8: Ergebnisse zum Bullenmastversuch in Grub, n = 21 je Gruppe (Preißinger et al., 2006b)

	TMR mit Maissilage	
	tHL kurz	tHL lang
Strukturwert (SW)	0,97	1,17
TM-Aufnahme (kg/Tag)	8,1 ^a ± 1,3	7,8 ^b ± 1,2
Energieaufnahme (MJ ME/Tag)	92 ^a ± 15	88 ^b ± 14
Lebendmasse Beginn (kg)	247 ± 22	247 ± 21
Lebendmasse Ende (kg)	476 ± 34	467 ± 33
Tägliche Zunahmen (g)	1.781 ± 173	1.709 ± 130

^{a, b} Werte mit unterschiedlichen Hochbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede an

Um das Selektionsverhalten der Tiere zu beurteilen, wurden ergänzend die Gehalte an Rohnährstoffen in Ein- und Rückwaage ermittelt. Für die Gruppe mit höherer tHL ergab sich eine Anreicherung an Rohfaser und ein stärkerer Abfall beim Rohprotein (s. Tabelle 9). Es war somit eindeutig eine stärkere Selektion mit zunehmender Häcksellänge zu verzeichnen.

Tabelle 9: Bullenmastversuch Grub, Messung zur Selektion der TMR zwischen Ein- und Rückwaage (Preißinger et al., 2006b)

Gruppe	tHL kurz	tHL lang
	Veränderung Vorlage zu Futterrest	
Rohfaser, g/kg TM	+ 10	+ 48
Rohprotein, g/kg TM	- 6	- 36

Schlussfolgerungen

Ein einheitliches Bild zeigen die Versuche aus Hohenheim, Futterkamp und Grub an Milchkühen. Das kürzere Häckseln führt zu einer höheren Futteraufnahme und in der Tendenz zu höheren Milchleistungen. Ein negativer Einfluss auf die Pansenfermentation ist nicht ersichtlich (s. Tabelle 10). Erklären lässt sich die höhere Futteraufnahme durch eine schnellere Passage des kürzer gehäckselten Materials.

Gegenläufig ist das Ergebnis aus Haus Riswick. Das kürzere Häckseln bewirkte zu Beginn der Laktation bzw. des Versuchs einen starken Abfall des Fettgehaltes und Acidoseerscheinungen sowie verstärkte Labmagenverlagerungen. Erklären lässt sich das unterschiedliche Ergebnis durch das Niveau des Strukturwerts. Nur in Haus Riswick wurde der Wert von 1,2, der einen Mangel an Strukturwirkung in der Ration für Kühe mit Milchleistungen über 40 kg Milch erwarten lässt, merklich unterschritten. Aus den Ergebnissen wird geschlossen, dass bei Unterschreitung der Vorgaben für den Strukturwert die Häcksellänge zu beachten ist, um die Strukturwirksamkeit der Ration zu gewährleisten. Von Interesse ist dies insbesondere bei hohen Milchleistungen und sehr hohen Anteilen

Maissilage in der Ration. Probleme in der Strukturwirksamkeit zeigen sich im Milchfettgehalt sowie in den klassischen Acidoseparametern und der Labmagenverlagerung.

Tabelle 10: Auswirkungen einer kurzen Häcksellänge bei Milchkühen in den vorliegenden Fütterungsversuchen

Versuchseinrichtung	Hohenheim	Futterkamp	Grub	Riswick
Häcksellängen, mm	5,5 / 14	7 / 22	5 / 19	5 / 21
Maissilage, % des Grobfutters	75	70	65	85
Strukturwert , kurz	> 1,2	1,27	1,35	1,08
Futteraufnahme, kg TM/Tier, Tag	↑	↑	↑	⇒
ECM, kg	↑	↑	⇒	↓
Fett, %	↑	⇒	⇒	↓
Acidoseparameter	⇒	⇒	n.b.	↑
Labmagenverlagerung	⇒	⇒	n.b.	↑

n.b.: nicht bestimmt

Empfehlungen für die Beratung

Die Festlegung der tHL sollte an den Maßgaben des Einzelbetriebs orientiert sein. Aus der Abbildung 3 sind die vier Blöcke Maispflanze, Rationsgestaltung, Siliertechnik und Fütterungstechnik ersichtlich. Weiter von Bedeutung ist die Qualität der Silage. In der Regel empfehlen sich Häcksellängen zwischen 5 und 8 mm. Nur in Ausnahmesituationen ist eine längere Häcksellänge beim Silomais zur Verbesserung der Strukturwirkung der Ration zu empfehlen.

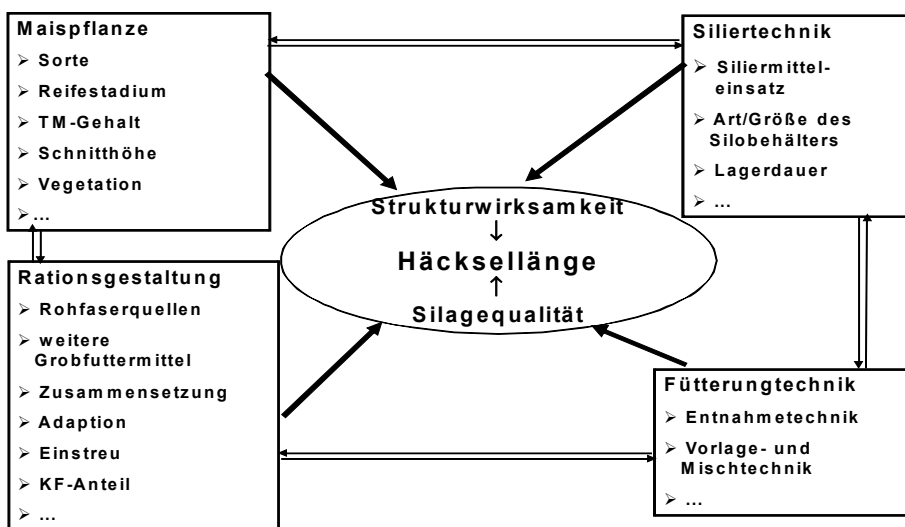


Abbildung 3: Schema zur Festlegung der Häcksellänge (ergänzt nach Staufenbiel et al., 2006)

Aus den Ergebnissen leitet sich zur Gewährleistung der Strukturwirkung folgende Empfehlung für die tHL bei Milchkühen ab:

- **Strukturwert der Ration > 1,2 : 5 – 8 mm**
- **Strukturwert der Ration < 1,2 : > 15 mm**

Die längere Häcksellänge empfiehlt sich daher nur für extreme Maisrationen. Zu beachten ist die stärkere Selektion bei höheren Häcksellängen. Generell zu beachten ist die Problematik der eventuellen Nachzerkleinerung bei der Entnahme. Maßgebend für die Strukturwirkung ist die Häcksellänge im Trog. In der Bullenmast sind geringere Strukturwerte in der Ration als bei Milchkühen möglich. Die Erarbeitung entsprechender Empfehlungen für deutsche Fütterungsbedingungen steht aus.

Literatur

- Bandilla, S. (2009): Der Einfluss der Häcksellänge von Maissilage auf den Säuren-Basen- Haushalt von Milchkühen. Vet. Dissertation Freie Universität Berlin 2009
- Boucqué, C.V., Fiems, L.O., Cottyn, B. G., Buysse, F. X., Moermans, R. J. (1982): Influence de la finesse de hachage de l'ensilage de maïs sur les performances de taureaux de boucherie. *Revue de l'agriculture* 35:2961–2970
- Buck, G.R., Merrill, W.G., Coppock, C.E., Slack, S.T. (1969): Effect of recutting and plant maturity on kernel passage and feeding value of corn silage, *J. Dairy Sci.* 52:1617-1623
- De Boever, J.L., De Brabander, D.L., De Smet, A.M., Vanacker, J.M., Boucqué, C. V. (1993): Evaluation of physical structure. 2. Maize silage, *J. Dairy Sci.* 76:1624–1634
- De Brabander, J.L., Aerts, J.V., Boucque, C.V., Buysse, F. X. (1982): Influence de la longueur de hachage de l'ensilage de maïs sur l'ingestion et les performances de la vache laitière. *Revue de l'agriculture* 35:3181-3193
- De Brabander, D.L., De Boever, J.L., De Smeet, A.M., Vanacker, J. M., Boucoue, Ch. V. (1999): Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition in: *Recent advances in animal nutrition*, by P.C. Gansworthy and J. Wiseman (Ed.) Nottingham Univ. Press, 111-145
- De Campeneere, S., Fiems, L.O., De Brabander, D. L. (2004): Determination of a Standard of physical structure requirements for Belgian Blue bulls, *J. Anim. Feed Sci.* 13, Suppl. 1:623-626
- Dernedde, W., Honig, H. (1977): Auswirkungen der Häcksellänge auf das Silomaisverfahren. *Landbauforsch. Völkenrode* 27:60-66
- Deswysen, A.G., Bruyer, D.C., Vanbelle, M. (1984): Circadian rumination quality and voluntary silage intake in sheep and cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 64 (Suppl.):341-342
- DLG (2001): Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh, DLG-Information 2/2001 des DLG-Arbeitskreises Futter und Fütterung, DLG Frankfurt a.M.
- DLG (2006): Praxishandbuch Futterkonservierung, 7. Auflage 2006, DLG-Verlag, Frankfurt
- Geasler, M.R., Henderson, H.E. (1970): Corn silage maturity, fineness of chop and metabolic parameters. *J. Anim. Sci.*, 31:242

- GfE (2001): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 8, DLG-Verlag, Frankfurt a. M.
- Heimbeck, W.K., Schwarz, F.J., Kirchgessner, M. (1988): Auswirkungen unterschiedlicher Häcksellängen und einem nachfolgenden Quetschen der Mais-Gesamtpflanze auf die Nährstoffverdaulichkeit. 1. Mitteilung zum Einfluss unterschiedlicher Aufbereitung von Maissilage auf die Nährstoffverdaulichkeit bei Kalbinnen und Hammeln. *Das wirtschaftseigene Futter* 34:15–26
- Honig, H., Rohr, K. (1982): Zur Bedeutung des Zerkleinerungsgrades von Silomais. 1. Mitteilung Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf die Verluste durch unverdaut ausgeschiedene Körner und Kornbruchstücke. *Das wirtschaftseigene Futter* 28:182-192
- Junck, B., Tafaj, M., Zebeli, Q., Drochner, W. (2005): Die Strukturwirkung der Maissilage in einer TMR bei Variation der Partikelgröße und deren Auswirkungen auf Futteraufnahme und Milchleistung bei Hochleistungskühen, in: Tagungsband DMK – Oldenburg 03/2005, 9/10
- Leurs, K. (2006): Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais. Dissertation agr. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Forschungsbericht Agrartechnik 438
- Mahlkow, K., Thaysen, J., Thomsen, J. (2005): Auswirkungen unterschiedlicher Häcksellängen beim Silomais auf die Strukturversorgung der Milchkuh, in: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2005, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 70–74
- Mahlkow, K., Thaysen, J. (2005): Effect of two different chopping lengths of maize silage on silage quality and dairy performance, Proceedings of the XIVth International Silage Conference, July 2005, Belfast
- Miller, C.N., Polan, E., Sandy, R.A., Huber, J.T. (1969): Effect of altering the physical form of corn silage on utilization by dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 52:1955–1960
- Okamoto, M., Deoka, K., Bando, T. (1979): Effects of cut lengths of corn silage on ruminating behavior of cows. *Bull. Hokkaido Prefectural Shintoku Anim. Husb. Exp. Station* 10:33-36 Zit. In: *Nutr. Abstr. Rev.* 50B (1980), 2623
- Piatkowski, B., Nagel, S., Bergner, E. (1977): Das Wiederkauverhalten bei Kühen bei unterschiedlicher Trockensubstanzaufnahme und verschiedener physikalischer Form von Grasheu. *Arch. Tierern.* 27:563-569
- Piatkowski, B., Gürtler, H., Voigt, J. (1990): Grundzüge der Wiederkäuerernährung. Gustav-Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart
- Preißinger, W., Schwarz, F.J., Kirchgessner, M. (1998): Zum Einfluss der Zerkleinerung von Maissilage auf Futteraufnahme, Milchleistung und Milchzusammensetzung von Kühen. *Arch. Anim. Nutr.* 51: 327–339
- Preißinger, W., Obermaier, A., Spiekers, H. (2006a): Auswirkung gestaffelter Strukturwerte (Häcksellänge von Maissilage, Krafffutterzusammensetzung) bei der Milchkuh, in: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2006, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 35–41
- Preißinger, W., Spiekers, H., Hitzelsperger, L., Obermaier, A., Moosmeyer, M. (2006b): Einsatz von Maissilage unterschiedlicher Häcksellänge in der intensiven Bullenmast. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2006, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 42–46

- Pries, M., Bandilla, S., van de Sand, H., Menke, A., Staufenbiel, R. (2006): Einfluss der Häcksellänge auf Leistung und Acidoseparameter bei Milchkühen 118. VDLUFA-Kongress, Bonn, Kurzfassung, 99
- Richter, W., Spiekers, H., Zehner, M. (2005): Gärqualität unterschiedlicher Häcksellängen bei Silomais, in: 117. VDLUFA-Kongress in Bonn, Kongressband
- Richter, W., Abriel, M., Bauer, J., Kölln-Höllriegl, K.H., Meyer, D., Ostertag, J., Schuster, M., Spiekers, H., Zimmermann, N. (2009): Hygiene bayerischer Silagen: Validierung einer Checkliste zum Controlling am Silo. Forschungsbericht der LfL für das Bayerische Staatsministerium
- Rohr, K., Honig, H., Daenicke, R. (1983): Zur Bedeutung des Zerkleinerungsgrades von Silomais. 2. Mitteilung: Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf Wiederkauaktivität, Pansenfermentation und Verdaulichkeit der Rohnährstoffe. *Das wirtschaftseigene Futter* 29:73-86
- Rohr, K., Lebzien, P., Schafft, H., Honig, H. (1986): Zum Einfluss einer intensiven Nachzerkleinerung von Maissilage auf die Stoffumsetzung in den Vormägen der Milchkühe. *Z. Tierphysiol., Tierernähr., Futtermittelkunde* 55:121-128
- Rojas-Bourrillion, A., Russell, J.R., Trenkle, A., McGilliard, A.D. (1987): Effects of rolling on the composition and utilization by growing steers of whole-plant corn silage. *J. Anim. Sci.* 64:303-311
- Schimmel, P., Preißinger, W., Spiekers, H., Moosmeyer, M. (2006): Wiederkauprofil in Abhängigkeit vom Strukturwert der Milchkuhration, in: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2006, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 47–51
- Schwarz, F.J., Kirchgessner, M. (1982): Häcksellänge von Maissilage und ihr Einfluss auf Futteraufnahme und Milchleistung. *Das wirtschaftseigene Futter* 28:97-106
- Schwarz, F.J., Heimbeck, W.K., Kirchgessner, M. (1988a): Auswirkungen eines Quetschens von Mais-Gesamtpflanzen auf die Nährstoffverdaulichkeit. 2. Mitteilung zum Einfluss unterschiedlicher Aufbereitung von Maissilage auf die Nährstoffverdaulichkeit bei Kalbinnen und Hammeln. *Das wirtschaftseigene Futter* 34:27–37
- Schwarz, F.J., Heimbeck, W.K., Kirchgessner, M. (1988b): Einfluss des Fütterungsniveaus auf die Nährstoffverdaulichkeit unterschiedlich zerkleinerter Maissilage bei Rind und Schaf. *Landwirtsch. Forschung* 41:177–187
- Schwarz, F.J., Preissinger, W., Kirchgessner, M. (1997): Verdaulichkeit und Energiegehalt von unterschiedlich zerkleinerter Maissilage bei Rindern und Schafen. *Agribiol. Res.* 50:225-236
- Staufenbiel, R., Bandilla, S., van de Sand, H., Pries, M. (2006): Einfluss der Häcksellänge auf Leistung und Acidoseparameter bei Milchkühen, in: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2006, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 52–55
- Sudweeks, E.M., Ely, L.O., Sisk, L.R. (1979): Effect of particle size of corn silage on digestibility and rumen fermentation. *J. Dairy Sci.* 62:292-296
- Tafaj, M., Junck, B., Zebeli, Q., Drochner, W. (2005): Zur Bedeutung der Partikellänge der Maissilage aus der Sicht der wiederkäuergerechten Fütterung von Hochleistungskühen, in: Tagungsband DMK – Oldenburg 03/2005, 5/6
- Thomas, S., Campling, R.C. (1977): Comparison of some factors affecting digestibility in sheep and cows. *J. Br. Grassld. Soc.* 32:33-41
- Van Es, A.J.S., Van der Honing, Y., Boekholt, H.A. (1976): The nutritive value (energy) of maize silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1:481-484

Weigand, E., Meyer, U., Guth, N. (1993): Intake, chewing activity and carbohydrate digestibility by lactating dairy cows fed maize silage with a different physical structure. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 69:120–132

Zebeli, Q., Tafaj, M., Junck, B., Ölschläger, V., Ametaj, B.N., Drochner, W. (2008): Evaluation of the response of ruminal fermentation and activities of nonstarch polysaccharide-degrading enzymes to particle length of corn silage in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:2388-2398

Zimmer, E., Honig, H. (1979): Die richtige Häcksellänge bei Silomais, *Mais*, 4/79:8–10

Sicherheit von GMO Mais MON810 nach langfristigem Einsatz bei Milchkühen

Safety of GMO maize MON 810 after long-term feeding of dairy cows

Patrick Gürtler¹, Vijay Paul¹, Kerstin Steinke^{2,3}, Steffi Wiedemann¹, Wolfgang Preißinger²,
Christiane Albrecht^{1,4}, Hubert Spiekers², Frieder J. Schwarz³, Heinrich H.D. Meyer¹

¹ Lehrstuhl für Physiologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, TUM

² Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Bayr. Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Grub

³ Lehrstuhl für Tierernährung, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, TUM

⁴ aktuelle Adresse: Institut für Biochemie und Molekulare Medizin, Universität Bern

Zusammenfassung

Der Einsatz von gentechnisch verändertem Mais (MON810) beim Nutztier wurde bereits in verschiedenen Kurzzeitstudien untersucht. Allerdings fehlten bisher Untersuchungen bezüglich potentieller Effekte einer Langzeitfütterung von MON810. Aus diesem Grund wurden 36 laktierende Kühe der Rasse Fleckvieh in zwei Gruppen mit je 18 Tieren eingeteilt und über 25 Monate entweder mit gentechnisch verändertem Mais (MON810) oder der isogenen Vergleichssorte gefüttert. Ziel der Studie war es, mögliche Auswirkungen einer langfristigen Fütterung mit MON810 auf Milchkühe zu untersuchen. Dazu wurden Milchleistungsparameter, der Stoffwechsel und die Tiergesundheit erfasst. Zusätzlich wurde eine hoch-sensitive Analytik für die Erfassung der Metabolisierung der rekombinanten DNA und des Cry1Ab-Proteins entwickelt und gemäß der EU-Richtlinie 2002/657/EC validiert. Die beiden Versuchsgruppen zeigten keine Unterschiede bezüglich der Futteraufnahme, der Milchleistung, der Lebendmasse und der Körperkondition. Ein Effekt von MON810 auf den Stoffwechsel, die Gesundheit und die Fruchtbarkeit der Tiere konnte nicht gezeigt werden. Die Analyse von *cry1Ab*-DNA und Cry1Ab-Protein ergab keine Hinweise auf einen Transfer der rekombinanten Komponenten in den Organismus der Kuh. Das Cry1Ab-Protein unterliegt außerdem einem schnelleren Abbau im Verdauungssystem der Kuh im Vergleich zu anderen Proteinen. Ein besonderer Schwerpunkt wurde auf die Analytik der Milch gelegt, jedoch konnte auch hier kein Übergang von rekombinanten Komponenten in die Milch nachgewiesen werden. Milch von Kühen, die mit gentechnisch verändertem Mais gefüttert wurden, unterscheidet sich daher nicht von Milch von Kühen, die mit nicht-gentechnisch verändertem Mais gefüttert wurden.

Schlüsselwörter: MON810, Milchkuh, Cry1Ab, Langzeitfütterung

Abstract

Potential effects of feeding genetically modified maize (MON810) have thoroughly been investigated in several short-term studies. However, no long-term studies have been accomplished so far. Therefore, 36 lactating Fleckvieh cows were separated into two groups (18 cows each) and fed on rations containing either genetically modified maize (MON810) or

the non-transgenic counterpart. Aim of this study was to investigate potential long-term effects of feeding MON810 on feed intake, milk yield, metabolism and animal health. Furthermore, highly sensitive detection methods were developed and validated according to the EU commission decision 2002/657/EC to analyse the metabolism of *cry1Ab*-DNA and Cry1Ab-protein. An effect of MON810 on the metabolism, animal health and fertility was not observed. A transfer of recombinant DNA and the Cry1Ab-protein during the metabolism of the cow was not detected. This is underlined by the finding that the Cry1Ab-protein is underlying a faster degradation in the gastrointestinal tract of the cow in comparison to other proteins. One main emphasis was put on milk analysis. Neither the recombinant DNA, nor the Cry1Ab-protein were detected in whole milk, considering milk from cows fed genetically modified maize not different to milk from cows fed non-transgenic maize.

Key words: MON810, dairy cow, Cry1Ab, long-term feeding

Einleitung und Ausgangssituation

Bis 2004 waren in der wissenschaftlichen Primärliteratur nur Kurzzeitstudien über wenige Wochen bzw. wenige Monate zum Einsatz von gentechnisch verändertem Mais MON810 bekannt (Tabelle 1). Es bestand grundsätzlicher Klärungsbedarf, ob bei einer langfristigen Fütterung Auswirkungen bei Lebensmittel liefernden Tieren auftreten können.

Die vergleichenden Studien, die als Originalarbeiten in referierten Journalen publiziert waren, bezogen sich vorrangig auf die Prüfung der Nährstoffäquivalenz und auf Leistungsdaten, wie Milchproduktion oder Wachstum, sowie auf die Tiergesundheit (Flachowsky et al., 2005; Reuter et al., 2002a; Reuter et al., 2002b). Bezüglich des Abbaus transgener Komponenten stand die rekombinante DNA im Vordergrund, und es zeigte sich, dass beim Abbau nicht transgener DNA-Bereiche und rekombinanter DNA keine Unterschiede bestehen (Nemeth et al., 2004; Phipps et al., 2003; Phipps et al., 2005). Demgegenüber existierten weniger solide Daten zum Abbau des Cry1Ab-Proteins, dem Protein, das als Fraßschutz gegen den Maiszünsler in den Zellen des transgenen Mais direkt produziert wird. Mais der Sorte MON810 ist resistent gegen den Maiszünsler. Dies wurde durch die Integration des *cry1Ab*-Gens in das Maisgenom erreicht, was die Maispflanze dazu befähigt, das selektiv insektizid wirkende Cry1Ab-Protein zu produzieren (de Maagd et al., 2001; Höfte und Whiteley, 1989).

Tabelle 1: Versuche mit Bt-Maissilage an Milchkühen

Autoren	Bt-Mais % der TM	Kuhzahl je Gruppe	Dauer [Tage]
Rutzmoser et al. (1999)	42	12	70
Faust (2000, 2002)	k.A.	10	28
Folmer et al. (2000a, 2000b, 2002)	68	4	21
Barriere et al. (2001)	70	24	91
Calsamiglia et al. (2003)	45	4	28
Yonemochi et al. (2003)	35	4	35
Donkin et al. (2003)	76	6	21
Calsamiglia et al. (2007)	45	8	28

Das aktive Cry1Ab-Protein bindet an Rezeptoren auf dem Mikrovillisaum des Darmepithels der Maiszünslerlarven. Es perforiert die Epithelmembran und infolge eines erhöhten Kationenaustausches zwischen Darminhalt und Epithelzellen kommt es zu einem gestörten elektrischen Potential und einer Beeinträchtigung des Ionen- und pH-Gradienten. Die Epithelzellen quellen bis zum Platzen durch den erhöhten osmotischen Druck. Der Darminhalt gelangt in die Hämolymphe und die Larve verendet nach wenigen Stunden.

In Maiszünsler-Befallsregionen, zu denen auch einige Maisanbaugebiete Bayerns gehören, kann der Anbau von Mais der Sorte MON810 den Einsatz klassischer Insektizide vermeiden.

Ziele der Studie

- Anbau, Produktion und Konservierung von isogenem und transgenem Mais mit äquivalenter Qualität
- Untersuchungen zu den langfristigen Auswirkungen des Einsatzes von gentechnisch verändertem Mais in der Milchviehfütterung
- Erfassung von Milchleistungsparametern, Stoffwechsel und Tiergesundheit
- Aufbau einer validen hoch-sensitiven Analytik für alle transgenen Komponenten gemäß der Kriterien der EU-Kommissions-Richtlinie 2002/657/EC (European Commission, 2002)
- Erfassung der Metabolisierung der „rekombinanten DNA“ und des „Cry1Ab-Proteins“
- Vergleichende Bewertung der produzierten Milch

Ein besonderer Schwerpunkt der Analytik sollte auf die Verbesserung der Nachweisgrenze aller rekombinanten Komponenten sowie auf die Zuverlässigkeit der Methodik gelegt werden.

Maisanbau und –konservierung

Der Anbau der isogenen Maislinie sowie der korrespondierenden transgenen Maislinie und die Futterkonservierung – mit der gesamten dazugehörigen Qualitätssicherung – erfolgte unter der Leitung der fachkundigen Wissenschaftler der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) an verschiedenen Standorten in Bayern. Dabei wurde beachtet, dass die Bedingungen für die Pflanzenentwicklung, wie Aussaat, Boden, Nährstoffversorgung, Erntezeitpunkt etc, für beide Maislinien jeweils äquivalent waren, um Ernten und Futter gleicher Qualität zu erhalten. Die Belastungen mit Mykotoxinen lagen unter den empfohlenen Orientierungswerten. Die Konservierung erfolgte als Silage, Maiskobs und Körnermais.

Die eingesetzten Maisprodukte unterschieden sich ausschließlich im Vorhandensein bzw. Fehlen von Cry1Ab-Protein und der *cry1Ab*-DNA. Während der Silierung wurden Cry1Ab-Protein und *cry1Ab*-DNA stark abgebaut (Hupfer et al., 1999; Lutz et al., 2006) und der Eintrag transgener Komponenten in das Futter erfolgte zu einem wesentlichen Teil über Maiskobs.

25-monatige Fütterungsstudie mit Milchkühen

Die Studie wurde mit 36 Milchkühen der Rasse Fleckvieh an der LfL Versuchsstation Grub durchgeführt. Die Einteilung in zwei Gruppen erfolgte unter Berücksichtigung gleichen Alters, gleicher Milchleistung und guter Gesundheit.

Im Versuch wurden im Prinzip 2 Betriebe mit je 18 Kühen verglichen – das experimentelle Prozedere erfolgte unter gleichen Bedingungen, nur der Genotyp des Mais (iso- bzw. transgen) war unterschiedlich. Wegen Krankheit oder Unfruchtbarkeit abgehende Tiere wurden durch Jungkühe ersetzt. In beiden Gruppen wurden je 9 Tiere in den 25 Monaten ausgetauscht. In der Gesamtauswertung wurden jedoch alle Tiere und alle Datensätze berücksichtigt (Steinke et al., 2009a; Steinke et al., 2009b).

Fütterung und Nährstoffäquivalenz

Beginnend im Mai 2005 wurden die 36 Kühe mit Rationen mit maximal sinnvollem Anteil maisbasierter Futtermittel bedarfsgemäß gefüttert. Neben Strukturträgern (Grassilage, Stroh), Eiweißträgern plus Mineralfutter in gleicher Weise für alle Tiere, erhielten 18 Tiere ausschließlich isogenen Mais in Form von Körnermais, Maiskobs und Maissilage, und 18 Tiere erhielten nur transgenen Mais (Körnermais, Maiskobs, Maissilage) des Typs MON810 (Tabelle 2). In Abhängigkeit vom Laktationsstadium wurden die Rationen bedarfsgemäß zusammengestellt. Der Maisanteil des Futters lieferte im Mittel etwa 2/3 der Gesamtenergie. Es wurde sichergestellt, dass beide Gruppen mit Futter gleicher Energie sowie auch sonst gleicher Qualität und Zusammensetzung versorgt wurden. Die Überprüfung von rekombinanter DNA und Cry1Ab-Protein in den Ausgangsfuttermitteln sowie in den Mischrationen bestätigte durchgehend die korrekte Handhabung der Futtermittel, und gewährleistete, dass nach allen Vermahlungen und Mischungserstellungen die jeweiligen Gruppen auch mit dem vorgesehenen Futter versorgt wurden.

Während der Fütterungsperiode von insgesamt 25 Monaten wurden monatlich Proben von Blut, Milch und Exkreten sowie vom jeweiligen Futter genommen (Guertler et al., 2009b). Von den gemerzten Tieren, so wie am Ende der Studie von den geschlachteten Kühen, wurden zusätzlich Proben vom Magen-Darm-Trakt und von den inneren Organen gezogen.

Tabelle 2: Tägliche Futterrationen der isogen gefütterten Tiere und der transgen gefütterten Tiere (Milchkühe bis 22 kg Milch täglich)

Futtermittel	Isogen gefütterte Gruppe	Transgen gefütterte Gruppe
Maissilage (kg TM)	7,1	7,1
Maiskobs (kg TM)	3,6	3,6
Grassilage (kg TM)	1,9	1,9
Stroh	1,0	1,0
Melasse	0,2	0,2
Ausgleichskraftfutter	3,2 kg ¹	3,2 kg ²
Kraftfuttermischung	nach Leistung ab 22 kg Milch	

¹ mit 41% nicht-gentechnisch verändertem Körnermais

² mit 41% gentechnisch verändertem Körnermais

Milchleistung

Über die gesamte Versuchszeit betrug die Milchleistung ohne die nicht erfasste Biestmilch 7.420 kg Milch je Kuh und Jahr in der isogen gefütterten Gruppe und 7.460 kg in der mit transgenen Maisprodukten gefütterten Gruppe. In Zusammenschau mit der aufgeführten wissenschaftlichen Literatur (Tabelle 1) ist festzuhalten, dass der Einsatz von Bt-Mais bei Gewährleistung gleicher Maisqualitäten zu keinen Differenzen in der Futteraufnahme und der tierischen Leistung führt. Die angenommene substanzielle Äquivalenz ist aus dieser Sicht somit als gegeben zu erachten. Dies zeigte sich neben der Futteraufnahme und Milchleistung auch in den Daten zur Lebendmasse und zur Körperkondition. Niveau und Entwicklung waren vergleichbar für beide Tiergruppen. Die Tiere hatten eine für Fleckviehkühe passende Körperkondition und Rückenfettdicke. Insgesamt waren die Tiere beider Gruppen energetisch gut versorgt (Steinke et al., 2009a).

Stoffwechselfparameter, Tiergesundheit und Fruchtbarkeit

Im Versuch lag ein Hauptaugenmerk auf der Erfassung eventueller Beeinträchtigungen von Gesundheit und Fruchtbarkeit durch die Verfütterung von Bt-Mais. Neben der Erfassung von Krankheitsdaten erfolgte daher eine intensive Untersuchung des Stoffwechselgeschehens über Untersuchungen in Blutplasma und Harn. Zur Beurteilung der Fruchtbarkeit wurden ergänzend die Gehalte an Progesteron in der Milch ermittelt.

Die zu prüfende Ausgangshypothese des Versuchs war, dass Bt-Mais über das Cry1Ab-Protein auf das Stoffwechselgeschehen und die Gesundheit einwirken kann. Unter den im Versuch vorliegenden Bedingungen war eine Beeinträchtigung von Stoffwechselgeschehen, Gesundheit und Fruchtbarkeit nicht ersichtlich. Es bestehen keine Hinweise auf Änderungen der Funktionen wesentlicher Organe, wie Magen-Darm-Trakt, Leber, Niere, Milchdrüse etc. Bezüglich der Häufigkeit von Einzelerkrankungen und der Fruchtbarkeit ergaben sich keine signifikanten Veränderungen; hier ist die beschränkte Aussage auf Grund der Tierzahlen zu beachten (Steinke et al., 2009a). Die Versorgung mit Makro- und Mikronährstoffen war bei beiden Tiergruppen als gut balanciert zu erachten.

Fazit der 25-monatigen Fütterungsstudie mit Milchkühen

Mit dem vorliegenden Fütterungsversuch ist es gelungen, langfristig hohe Mengen an Bt-Mais unter vergleichbaren Bedingungen an gut leistende Milchkühe einzusetzen. Durch den Einsatz von Maiskobs und Maiskörnern in Ergänzung zur Maissilage war eine hohe Aufnahme an Cry1Ab-Protein und *cry1Ab*-DNA gewährleistet. Etwaige Beeinträchtigungen im Bereich der Futteraufnahme, der Milchleistung, des Stoffwechselgeschehens, der Gesundheit und der Fruchtbarkeit hätten sich somit zeigen können. Trotz der relativ hohen Aufnahme an Cry1Ab-Protein waren Veränderungen in der Bt-Maisgruppe unter den gewählten Bedingungen nicht ersichtlich (Tabelle 3).

Die Tiere zeigten insgesamt eine gute Leistung, waren energetisch ausgefüttert und stoffwechselstabil. Auf Grund der beschränkten Tieranzahl und dem erforderlichen Tieraustausch über die gewählte lange Versuchsdauer ergeben sich teils Unterschiede in den

Leistungsdaten, die aus den kaum vermeidbaren Unterschieden zwischen Tiergruppen und der normalen Streuung im Versuch erklärbar sind. Für die eigentliche Versuchsfrage der Beeinträchtigung von Leistung, Gesundheit und Stoffwechsel sind diese jedoch von geringer Relevanz.

Der Versuch liefert einen guten Ansatz zur Beurteilung eines eventuellen Übergangs von Cry1Ab-Protein und *cry1Ab*-DNA in Milch sowie den Exkrementen, da über lange Zeit hohe Mengen mit dem Bt-Mais verfüttert werden konnten. Die Tiere wurden im Versuch gezielt nach Empfehlung versorgt. Wie sich eventuelle Stresssituationen, die über die aufgetretenen Erkrankungen hinausgehen oder sich durch massive Fehlversorgung ergeben, auswirken würden, kann anhand der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden.

Insgesamt passen sich die Daten gut in die bisherige Literatur ein. Für Bt-Mais MON810 wird die Hypothese der substanziellen Äquivalenz bestätigt. Nach umfangreicher Datenanalyse ergeben sich bislang keine Hinweise auf maßgebliche Unterschiede in Futterverwertung, Milchleistung und Tiergesundheit (Steinke et al., 2009a; Steinke et al., 2009b).

Tabelle 3: Auswertung über den gesamten Versuch

	Isogen gefütterte Gruppe	Transgen gefütterte Gruppe
Milchmenge, kg/Kuh & Jahr	7.420	7.460
Fett %	3,9	4,1
Eiweiß%	3,6	3,7
Harnstoff, mg/100ml	16,7	18,0
Futterverbrauch:		
Grundration (kg TM/Tag)	16,1	16,2
Leistungskraftfutter (kg/Kuh & Jahr)	660	630

Neue Entwicklungen in der Analytik

In früheren Fütterungsstudien lag der Schwerpunkt der Analytik auf der Erfassung der rekombinanten DNA. Ergänzend sollte in dieser Studie die Analytik für das Cry1Ab-Protein aufgebaut werden. Weitere Schwerpunkte sollten auf die Validierung der Quantifizierungen sowie auf die Verbesserung der Nachweisgrenze und die Zuverlässigkeit der Methodik gelegt werden.

Entwicklung und Validierung sensitiver Verfahren für cry1Ab-DANN

Für Futtermittel, Blut, Exkrete und Milch wurden spezielle DNA-Extraktionsverfahren entwickelt (Guertler et al., 2009b). Hier ist zu betonen, dass die DNA-Isolierung jeweils aus dem Gesamtmaterial – also auch aus Vollmilch – erfolgte, um Verluste bei einer Vorfraktionierung zu vermeiden. Die quantitative Bestimmung der *cry1Ab*-DNA wurde mittels hoch-spezifischer sensitiver real-time qPCR durchgeführt. Die Gehaltsbestimmung erfolgte anhand von Eichkurven, die regelmäßige Identifizierung der Amplifikate über deren

Schmelzkurven. Die Spezifität wurde weiterhin durch Gel-Elektrophorese und Resequenzierung der Amplicons gezeigt. Für Milch wurde eine zuverlässige Bestimmungsgrenze von 100 Kopien pro Mikroliter erreicht (Guertler et al., 2009a). Aus der bisherigen Literatur sind uns derart sensitive Bestimmungsgrenzen nicht bekannt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Nachweisvermögen der DNA-Analytik für die Matrices Futter, Kot, Blutplasma, Harn und Milch (Guertler et al., 2009b)

Matrix	LOD¹
Futter	37 Kopien g ⁻¹
Kot	17.000 Kopien g ⁻¹
Blut	10.000 Kopien mL ⁻¹
Harn	23.000 Kopien mL ⁻¹
Milch	100 Kopien µL ⁻¹

¹ LOD = limit of detection

Entwicklung und Validierung sensitiver Verfahren für Cry1Ab-Protein

Vor Beginn dieser Studie war uns aus der Literatur kein Immunoassay zur Detektion immunoaktiver Fragmente des Cry1Ab-Proteins in tierischen Geweben oder Flüssigkeiten bekannt, der nach den Kriterien der EU-Kommissions-Richtlinie 2002/657/EC validiert war. Da gegenwärtig mit Immunoassays die besten Sensitivitäten für einzelne Proteine erreicht werden können, wurde ein sensitiver ELISA für die Detektion von Cry1Ab-Protein entwickelt und gemäß der Richtlinie validiert (Guertler et al., 2009a; Paul et al., 2008). Ein spezifischer Antikörper gegen das Cry1Ab-Protein wurde in Kaninchen generiert und maturiert. Mittels einer eigens entwickelten Immuno-Affinitäts-Chromatographie konnte nach Vorreinigung bei hoher Stringenz ein hoch-affiner, sehr spezifischer Antikörper isoliert werden – als wesentliches Schlüsselreagenz für einen neuen ELISA mit einer absoluten Nachweisgrenze von 16 Attomol Cry1Ab-Protein.

Der unterste Messbereich dieses Assays in komplexen Matrices liegt bei Futtermitteln, Exkreten und Blut im unteren ppb-Bereich (Nanogramm pro Gramm) und für Milch war der Test noch um eine Größenordnung sensitiver mit Werten unterhalb des ppb-Bereiches. Der CC α betrug 0,25 ng/mL und der CC β lag bei 0,4 ng/mL Milch (Tabelle 5). Die Wiederfindungsrate für Cry1Ab-Protein betrug durchschnittlich 97%.

Definitionen gemäß EU-Kommissions-Richtlinie 2002/657/EC:

CC α = decision limit = Entscheidungsgrenze

CC β = detection capability = Nachweisvermögen (Bestimmungsgrenze)

Tabelle 5: Entscheidungsgrenze und Nachweisvermögen des Sandwich-ELISA für die Matrices Futter, Kot, Blutplasma, Harn und Milch

Matrix	CCα [ng/ml]	CCβ [ng/ml]
Futter	1,3	2,1
Kot	1,2	2,0
Blutplasma	1,5	2,3
Harn	0,3	0,4
Milch	0,25	0,4

Dosierung transgener Komponenten

Die Versuchsanordnung und Rationsgestaltung gewährleistete sowohl eine praxisrelevante als auch wissenschaftliche Beurteilung der potentiellen Wirkung sowie des Abbaus von *cry1Ab*-DNA und Bt-Protein. *cry1Ab*-DNA und Bt-Protein haben in Maiskobs die höchste Konzentration (Tabelle 6), da während der Trocknung die molekularen Strukturen erhalten bleiben (Paul et al., 2009). Die Berechnungen ergaben, dass allein aus der Grundration täglich 5,3 mg Bt-Protein aufgenommen wurden. Hinzu kamen kleinere Mengen aus dem bedarfsgemäß gefütterten Leistungsfutter, sodass sich im Mittel eine Aufnahme von 6,1 mg Bt-Protein pro Tag ergab – eine Menge, die wahrscheinlich bislang in kaum einer Studie erreicht wurde. Die früheren Kurzzeitstudien geben zur Dosierung kaum Auskunft.

Tabelle 6: Detektion des Cry1Ab-Proteins in den verschiedenen Futterkomponenten

Futterkomponente	Cry1Ab-Protein nicht-transgen [ng g⁻¹ TM]	Cry1Ab-Protein transgen [ng g⁻¹ TM]	Cry1Ab Protein CCα [ng g⁻¹ TM]	Cry1Ab-Protein CCβ [ng g⁻¹ TM]
Maiskörner	< CC α ^a	155-379	1,35	2,03
Maiskobs	< CC α	226-1020	1,32	1,65
Maissilage	< CC α	91-390	4,60	5,61
pTMR	< CC α	210-452	8,18	12,26

^a Zwei Proben waren geringfügig über dem CC β , was auf eine Kontamination während oder nach der Probenahme schließen lässt

Metabolisierung von rekombinanter DNA und Cry1Ab-Protein in der Milchkuh

In allen Futtermittelproben der mit transgenem Mais erstellten Rationen wurde *cry1Ab*-DNA und Cry1Ab-Protein nachgewiesen und in geringerer Konzentration in den entsprechenden Fäcesproben. Untersuchungen mittels „western-blot“ von Proben des Darminhalts geschlachteter Kühe sowie von Fäcesproben zeigten, dass beim Abbau von Cry1Ab-Protein ein Fragment etwa des halben Molekulargewichtes als Zwischenprodukt auftritt.

Nach Verfütterung von MON810-Mais ergaben sich aus der Analyse von keiner der insgesamt 900 Blutproben Hinweise auf den Transfer von *cry1Ab*-DNA oder Cry1Ab-Protein in das Blut bzw. in den Organismus der Kuh.

In fast allen Urinproben waren *cry1Ab*-DNA und Cry1Ab-Protein ebenfalls nicht nachweisbar; einige wenige schwach positive Befunde im Urin sind durch Kontamination mit Kot bei der Probennahme erklärbar.

Befunde zum Lebensmittel Milch

Aus der Untersuchung der insgesamt 900 Milchproben beider Gruppen ergaben sich keine Hinweise auf den Transfer von *cry1Ab*-DNA oder Cry1Ab-Protein in die Milch. Milch von Kühen nach Verfütterung von isogenem Mais oder transgenem Mais ist zu keinem Zeitpunkt unterscheidbar – auch nicht mit der gegenwärtig besten Technologie.

Für die DNA-Analytik wurde ein Nachweisverfahren mittels quantitativer real-time PCR entwickelt. Das Detektionslimit dieses Nachweisverfahrens lag bei 100 Kopien des transgenen *cry1Ab*-Gens μL^{-1} . Weder in den Milchproben der transgen gefütterten Gruppe, noch in den Milchproben der nicht-transgen gefütterten Gruppe konnte das Transgen nachgewiesen werden. Ein sensitiver ELISA wurde für die Protein-Analytik entwickelt und gemäß der Richtlinie validiert (Guertler et al., 2009a). Ein $\text{CC}\alpha$ -Wert von $0,25 \text{ ng mL}^{-1}$ und ein $\text{CC}\beta$ -Wert von $0,4 \text{ ng mL}^{-1}$ Milch wurden dabei ermittelt. Auch hier wurde das Cry1Ab-Protein in keiner Probe detektiert. Folglich konnten in Bezug auf das rekombinante Gen und das Cry1Ab-Protein keine Unterschiede zwischen der Milch nicht-transgen gefütterter Kühe und der Milch transgen gefütterter Kühe festgestellt werden.

Geschwindigkeit des Cry1Ab-Protein Abbaus bei der Verdauung in der Milchkuh

In einer weiteren Studie wurde die Konzentration bzw. die Verdaulichkeit des Cry1Ab-Proteins im Vergleich zum Gesamtprotein erfasst. Die Untersuchungen zeigten, dass der Anteil des Cry1Ab-Proteins im Futter am höchsten (9,4 Mikrogramm Cry1Ab-Protein pro Gramm Gesamtprotein der Mischration) und in den Fäcesproben der Anteil etwa halbiert war (4,2 Mikrogramm Cry1Ab-Protein pro Gramm unverdautes Gesamtprotein).

Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurden von den 36 Tieren insgesamt ca. 30 000 Einzelbefunde zu den Themenkomplexen Fütterung, Nährstoffäquivalenz, Milchleistung, Stoffwechsel, Tiergesundheit und Fruchtbarkeit erhoben. Hinzu kommen ca. 8 000 Einzelbefunde zu den

Themenkomplexen Metabolisierung von *cry1Ab*-DNA und Cry1Ab-Protein. Die Bewertungen von MON810 basieren somit auf der Gegenüberstellung von jeweils ca. 19 000 Einzelbefunden, die pro Fütterungsgruppe erhoben wurden.

Die Analytik zur Metabolisierung von *cry1Ab*-DNA und Cry1Ab-Protein wurde wesentlich verbessert bzw. völlig neu entwickelt und in hochrangigen, streng referierten wissenschaftlichen Journalen publiziert. Die Qualität der Daten ist damit als außerordentlich solide zu erachten.

Nach 25-monatigem Einsatz in der Milchviehfütterung ergibt sich eine Äquivalenz des Futterwertes von isogenem Mais und transgenem Mais des Typs MON810. Stoffwechsel, Tiergesundheit und Leistung sind nicht beeinflusst.

Die Bewertungen der Cry1Ab-Protein Metabolisierung kennzeichnen keine spezifische Persistenz sondern eine schnelle Abbaubarkeit im Verdauungssystem analog zu anderen Proteinen. Der Anteil an unverdaulichem Gesamtprotein ist eher höher als der Anteil an unverdaulichem Cry1Ab-Protein.

Auch bei hoher Beprobungsintensität und extrem sensitiver Nachweisgrenze bis in den ppt-Bereich (Picogramm pro Milliliter) existieren keinerlei Hinweise auf einen Transfer transgener Komponenten in das Lebensmittel Milch. Milch von Kühen nach Verfütterung von isogenem Mais oder transgenem Mais ist zu keinem Zeitpunkt unterscheidbar.

Acknowledgement

Gefördert wurde das Vorhaben durch die Bayerische Milchwirtschaft und das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Literatur

- Barriere, Y., Verite, R., Brunschwig, P., Surault, F., Emile, J.C. (2001): Feeding value of corn silage estimated with sheep and dairy cows is not altered by genetic incorporation of Bt176 resistance to *Ostrinia nubilalis*. *J. Dairy Sci.* 84:1863-1871
- Calsamiglia, S., Hernandez, B., Hartnell, G.F., Phipps, R. (2003): Effects of feeding corn silage produced from corn containing MON810 and GA21 genes on feed intake, milk production and composition in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86 (Suppl. 1): 62 (Abstr. 247)
- Calsamiglia, S., Hernandez, B., Hartnell, G.F., Phipps, R. (2007): Effects of corn silage derived from a genetically modified variety containing two transgenes on feed intake, milk production, and composition, and the absence of detectable transgenic deoxyribonucleic acid in milk in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:4718-4723
- de Maagd, R.A., Bravo, A., Crickmore, N. (2001): How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. *Trends Genet.* 17:193-199
- Donkin, S.S., Velez, J.C., Totten, A.K., Stanisiewski, E.P., Hartnell, G.F. (2003): Effects of feeding silage and grain from glyphosate-tolerant or insect-protected corn hybrids on feed intake, ruminal digestion, and milk production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:1780-1788
- European Commission (2002): Commission Decision of 12. August 2002 implementing the Council Directive 96/23/EC concerning the performance of analytical methods and the interpretation of results (2002/657/EC). *Official Journal of the European Communities* L221(8)
- Faust, M.A. (2000): Livestock products – composition and detection of transgenic DNA/proteins. *Proc. Symp. Agri. Biotech. Market ADSA-ASAS ed Baltimore, MD. USA: 29pp.*

- Faust, M.A. (2002): New feeds from genetically modified plants: The US approach to safety for animals and food chain. *Livest. Prod. Sci.* 74:239-254
- Flachowsky, G., Cheeson, A., Aulrich, K. (2005): Animal nutrition with feeds from genetically modified plants. *Arch. Anim. Nutr.* 59:1-40
- Folmer, J.D., Erickson, G.E., Milton, C.T., Klopfenstein, J., Beck, J.F. (2000a): Utilisation of Bt corn residue and corn silage for growing beef steers. *J. Anim. Sci.* 78 (Suppl. 2): 85 (Abstr. 271)
- Folmer, J.D., Grant, R.J., Milton, C.T., Beck, J. (2000b): Effect of Bt corn silage on short term lactational performance and ruminal fermentation in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:1182 (Abstr. 272)
- Folmer, J.D., Grant, R.J., Milton, C.T., Beck, J. (2002): Utilisation of Bt corn residues by grazing beef steers and Bt corn silage and grain by growing beef cattle and lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 80:1352-1361
- Guertler, P., Paul, V., Albrecht, C., Meyer, H.H.D. (2009a): Sensitive and highly specific quantitative real-time PCR and ELISA for recording a potential transfer of novel DNA and Cry1Ab protein from feed into bovine milk. *Anal. Bioanal. Chem.* 393:1629-1638
- Guertler, P., Paul, V., Steinke, K., Wiedemann, S., Preißinger, W., Albrecht, C., Spiekens, H., Schwarz, F.J., Meyer, H.H.D. (2009b): Long-term feeding of genetically modified maize (MON810) – fate of *cry1Ab* DNA and novel protein during the metabolism of the dairy cow. *Livest. Sci.* Submitted
- Höfte, H., Whiteley, H.R. (1989): Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53:242-255
- Hupfer, C., Mayer, J., Hotzel, H., Sachse, K., Engel, K.-H. (1999): The effect of ensiling on PCR-based detection of genetically modified Bt maize. *Eur. Food Res. Technol.* 209:301-304
- Lutz, B., Wiedemann, S., Albrecht, C. (2006): Degradation of transgenic Cry1Ab DNA and protein in Bt-176 maize during the ensiling process. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 90:116-123
- Nemeth, A., Wurz, A., Artim, L., Charlton, S., Dana, G., Glenn, K., Hunst, P., Jennings, J., Shilito, R., Song, P. (2004): Sensitive PCR analysis of animal tissue samples for fragments of endogeneous and transgenic plant DNA. *J. Agric. Food Chem.* 52:6129-6135
- Paul, V., Guertler, P., Wiedemann, S., Meyer, H.H.D. (2009): Degradation of Cry1Ab protein from genetically modified maize (MON810) in relation to total dietary feed proteins in dairy cow digestion. *Transgenic Res.* Submitted
- Paul, V., Steinke, K., Meyer, H.H.D. (2008): Development and validation of a sensitive enzyme immunoassay for surveillance of Cry1Ab toxin in bovine blood plasma of cows fed Bt-maize (MON810). *Anal. Chim. Acta* 607:106-113
- Phipps, R.H., Deaville, E.R., Maddison, B.C. (2003): Detection of transgenic and endogeneous plant DNA in rumen fluid, duodenal digesta, milk, blood, and feces of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:4070-4078
- Phipps, R.H., Jones, A.K., Tingey, A.P., Abeyasekera, S. (2005): Effect of corn silage from an herbicide-tolerant genetically modified variety on milk production and absence of transgenic DNA in milk. *J. Dairy Sci.* 88:2870-2878
- Reuter, T., Aulrich, K., Berk, A. (2002a): Investigations on genetically modified maize (Bt-maize) in pig nutrition: fattening performance and slaughtering results. *Arch. Tierernähr.* 56:319-326
- Reuter, T., Aulrich, K., Berk, A., Flachowsky, G. (2002b): Investigations on genetically modified maize (Bt-maize) in pig nutrition: chemical composition and nutritional evaluation. *Arch. Tierernähr.* 56:23-31
- Rutzmoser, K., Mayer, K., Obermaier, A. (1999): Verfütterung von Silomais der Sorten Pactol und Pactol CB (gentechnisch veränderte Bt-Hybride) an Milchkühe. *Schriftenreihe der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau* 3:25-34
- Steinke, K., Paul, V., Gürtler, P., Preißinger, W., Wiedemann, S., Albrecht, C., Spiekens, H., Meyer, H.H.D., Schwarz, F.J. (2009a): Effects of long-term feeding of genetically modified maize (Bt-maize,

MON810) to dairy cows on performance and metabolic parameters. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 18:110

Steinke, K., Guertler, P., Paul, V., Wiedemann, S., Preißinger, W., Albrecht, C., Meyer, H.H.D., Spiekens, H., Schwarz, F.J. (2009b): Effects of long-term feeding of genetically modified corn (event MON810) on the performance of lactating dairy cows. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. Submitted

Yonemochi, C., Ikeda, T., Harada, C., Kusama, T., Hanazumi, M. (2003): Influence of transgenic corn (CBH 351, named Starlink) on health condition of dairy cows and transfer of Cry9C protein and *cry9C* gene to milk, blood, liver and muscle. J. Anim. Sci. 84:81-88

Messung von Biogaserträgen - Methoden und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen -

Measurements of biogas yields – methods and transfer into practical use

Sebastian Wulf und Helmut Döhler

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt

Zusammenfassung

Die Gaserträge von Substraten sind eine wichtige Kenngröße für die Planung von Biogasanlagen sowie die Selektion geeigneter Sorten in der Pflanzenzüchtung. Um die Ursachen für zum Teil große Unterschiede in den Messergebnissen verschiedener Labore für ähnliche Substrate festzustellen, wurde ein Ringversuch durchgeführt, an dessen drei Durchgängen zuletzt 30 Labore teilnahmen. Die Variationskoeffizienten in den gemessenen Gaserträgen für Cellulose nahmen dabei von 16 % auf 8 % ab. Unterschiede in den Gaserträgen konnten nicht auf Art und Größe des Versuchsansatzes zurückgeführt werden. Größeren Einfluss schienen notwendige Auswertungs- und Korrekturschritte in der Berechnung der Gaserträge gehabt zu haben. Es wurde daher eine VDLUFA-Methodenvorschrift entworfen, die diese Aspekte berücksichtigt.

Richtwerte zum Gasertrag von Substraten, die aus einer Vielzahl von Einzelmessungen abgeleitet wurden, können für die Vorplanungen von Biogasanlagen verwendet werden. Dies zeigen Vergleiche mit Erhebungen zu Gaserträgen auf Biogasanlagen. Durch Optimierungen im Anlagenbetrieb sind jedoch auch Erträge erzielbar, die deutlich über den Richtwerten liegen. Das KTBL erarbeitet derzeit neue Richtwerte, aufbauend auf aktuellen Messungen und den Erkenntnisse des Ringversuchs.

Schlüsselwörter: Gaserträge, Richtwerte, Ringversuch

Abstract

The gas yield of substrates for biogas production is an important parameter for planning biogas plants and for selection purposes in plant breeding. In order to assess the reasons of existing differences in the results of gas yield tests conducted by different laboratories, three ring tests were conducted with 30 participating laboratories. The coefficients of variability decreased from 16 % in the first to 8 % in the last ring test. Differences in the reported gas yields could not be traced back to type and size of the experimental setup. Major influence could be assigned to the methods of calculation, especially to the correction of gas yield for temperature and water vapour. A method description for conducting batch gas yield tests was drafted considering these findings.

Standard values for the gas yield of substrates deducted from a variety of individual data sets can be used for the pre-planning of biogas plants. This could be shown by comparing measured gas yield data from biogas plants with gas yields calculated from standard-values.

Optimising biogas plants can result in substantially higher gas yields than given by standard values. New standard values are elaborated by KTBL from recent experimental data sets taking into consideration the ring test results.

Keywords: Gas yield, standard values, ring test

Einleitung

Die Gaserträge von Substraten zur Biogaserzeugung, insbesondere die Methanerträge, sind eine wichtige Größe zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen, der Anlagenauslegung und des Anlagenmanagements. Die Kosten für Substrate zur Biogaserzeugung machen zwischen 40% und 60% der jährlichen Kosten einer Biogasanlage aus. Betrachtet man eine Anlage mit einer Leistung von 250 kW_{el} führen 10% Differenz in den Substratkosten bereits zu einem Gewinn oder Verlust von 15.000 €/Jahr. In der Auslegung von Biogasanlagen wird das Verhältnis von Fermentergröße und Raumbelastung zur angestrebten BHKW-Leistung, im Anlagenmanagement die tägliche Substratzufuhr durch die verwendeten Substrate und deren Gaserträge bestimmt. Auch für die Pflanzenzüchtung ist die Kenntnis von Gaserträgen, die in der Regel in Gärversuchen ermittelt werden, für die Selektion geeigneter Sorten unabdingbar.

Unsicherheiten, die sich aus der Durchführung von Gärversuchen sowie deren Auswertung und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen ergeben, haben somit große Auswirkungen auf alle genannten Faktoren der Biogaserzeugung. In diesem Beitrag sollen mögliche Ursachen für Variabilitäten in den Ergebnissen von Gärversuchen aufgezeigt und Möglichkeiten zur Absicherung von Gasertragsmessung diskutiert werden.

Methoden der Gasertragsmessung

Biogaserträge können in so genannten batch- oder kontinuierlichen Versuchen bestimmt werden.

(Quasi)kontinuierlicher Versuchsansatz

In kontinuierlichen Versuchsansätzen wird versucht das Management von Biogasanlagen möglichst realistisch nachzubilden. Es handelt sich um voll durchmischte, temperierte Fermenter (Abbildung 1).

In der Regel wird mindestens 1 x täglich Substrat zugeführt und Gärrückstand entnommen. Über ein Rührwerk kann kontinuierlich oder in Intervallen der Fermenterinhalt durchmischt werden. Das entstehende Biogas wird in Gassammelsäcken erfasst oder über kontinuierliche Messsysteme bestimmt (vgl. 2.2). Je nach Fragestellung kann das Management von kontinuierlichen Versuchsansätzen z.B. in Temperatur, Durchmischungshäufigkeit, Belastungsstufen und Substrateigenschaften variiert werden. Da sich die mikrobielle Populationen und die Abbauprozesse nach Versuchsstart erst einstellen müssen, sind gesicherte Informationen zur Gasausbeute von Substraten erst nach einer Verweilzeit möglich. Wegen des hohen technischen Aufwands und täglichen Arbeitsaufwandes zur

Substratzufuhr und –entnahme werden kontinuierliche Versuchsansätze meist nur für Prozessstudien verwendet.



Abbildung 1: Apparatur zur Durchführung (quasi)kontinuierlicher Gärversuche. Zu Erkennen sind die Schläuche zur Entnahme von Gärückstand am Fermenterboden, die Stützen zur Substratzufuhr an der Seite der Fermenter, die Motoren zum Betreiben der Rührwerke und die Gassammelsäcke. (Foto: INRES-PE, Universität Bonn)

Batch-Gärtests

Hierbei wird das Material mit einem Impfschlamm versetzt und bei einer definierten Temperatur (35-38°C) ohne Materialaustausch so lange inkubiert, bis keine relevante Gasbildung mehr stattfindet. Es ergeben sich Versuchsdauern von 30-35 Tagen. Das entstehende Gas wird auf Volumen und CH₄-Gehalt analysiert. Das Gärvolumen der Versuchsapparaturen variiert von 100 ml bis >15 Liter (Abbildung 2). Die Gaserfassung kann mit Gassammelbeuteln, Mikrogaszählern oder Eudiometern erfolgen. Die Bestimmung der Gasqualität bzw. des CH₄-Gehaltes wird meist mit Infrarot-Messgeräten durchgeführt.



Abbildung 2: Apparaturen unterschiedlicher Größe zur Durchführung von Batch-Gärtests. Links: 5 Liter Gefäße mit Gassammelbeuteln, rechts: Hohenheimer Biogasertrags Test (HBT) mit einem Volumen von 100 ml.

(Fotos: links: INRES-PE, Universität Bonn, rechts: Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Universität Hohenheim)

Auswertung von Gasertragsmessungen

Der Gas- oder CH₄-Ertrag wird in der Regel auf die zugeführte organische Trockensubstanz (oTS) bezogen und auf Normbedingungen (0°C und Atmosphärendruck) umgerechnet. Die so ausgewerteten Gasertragsmessungen werden häufig als Summenkurven dargestellt, die den Verlauf der Gasbildung verdeutlichen (Abbildung 3). Verzögerungen und Unregelmäßigkeiten in der Gasbildung, die auf einen gestörten oder gehemmten Abbau des Substrates hinweisen, können so erkannt werden.

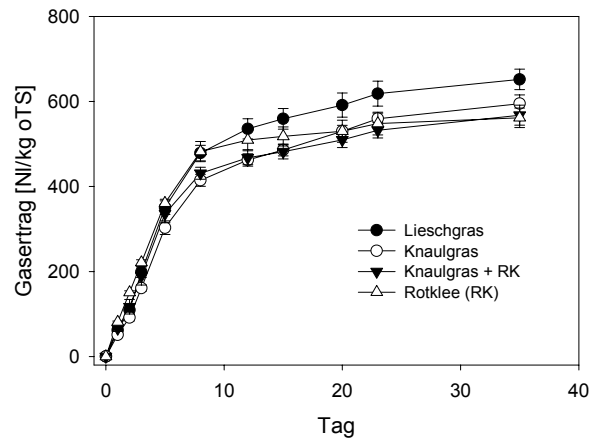


Abbildung 3: Verlauf der Gasbildung während eines batch-Gärttests mit Gräsern, Klee und einer Klee-Grasmischung (Lütke Entrup et al., 2007)

Versuche aus Gasertragsmessungen geben Informationen zu den potenziell erzielbaren Gaserträgen der jeweils getesteten Substrate. Die Eigenschaften der Substrate können sich je nach Sorte, Erntezeitpunkt, Lagerung und Anbaujahr voneinander unterscheiden. Für die Vorplanung von Biogasanlagen muss daher auf Richtwerte zurückgegriffen werden, die repräsentativ für die jeweilige Substratgruppe sein sollten. Hierzu hat das KTBL im Jahr 2005 statistische Auswertungen vorgenommen und mit einer Expertengruppe in batch-Versuchen durchgeführte Gasertragsmessungen der bis dahin praktizierenden Labore ausgewertet. Für mittlere oTS-Gehalte der Substrate wurden die Biogaserträge und CH₄-Gehalte berechnet. Diese sind auszugsweise für einzelne Substratgruppen in Tabelle 1 dargestellt. Die Variabilität (Variationskoeffizient) der Messungen war für einige Substrate mit über 30 % sehr hoch. Für andere Substrate lagen nur wenige Messwerte vor. In diesen Fällen war eine statistische Auswertung nicht möglich.

Tabelle 1: Statistische Auswertung und Ableitung von Richtwerten aus Messungen des Gasertrags ausgewählter Substrate (KTBL, 2005)

Substrat	Substrat- eigenschaften	Anzahl d. Versuche	TS	oTS	Biogas- ertrag	Variations- koeffizient	CH ₄ - gehalt
	(Substrat- zustand, Behandlung)						
		[n]	[%]	[%]	[L _N /kg oTS]	[%]	[%]
Wirtschaftsdünger							
Rindergülle		14	8,5	81,4	345	31,7	58,0
Schweinegülle		12	4,7	71,9	447	33,9	60,8
Hühnermist	trocken	1	86,4	69,3	385	-	51,4
Nachwachsende Rohstoffe							
Mais	Silage, milchreif	7	21,9	95,7	578	14,6	51,9
Mais	Silage, Beginn teigreif	9	27,8	94,8	651	9,3	51,9
Mais	Silage, teigreif	17	32,6	94,7	642	17,4	54,0
Mais	Silage, vollreif	29	40,1	96,3	593	15,3	54,0
Gras	frisch	17	21,1	89,7	596	22,7	55,4
Gras	Silage	19	28,3	89,0	627	22,2	52,9

Solche Unterschiede in den Ergebnissen von Gasertragsmessungen ähnlicher Substrate machen die Ableitung von Richtwerten unsicher. Hieraus wurde der Bedarf für einen Ringversuch abgeleitet.

Ringversuch Biogaserträge

Arbeitshypothese für die Durchführung des Ringversuches war, dass die hohen Variationskoeffizienten in den Gaserträgen für Substrate einer Gruppe nicht nur auf die Substrateigenschaften zurückzuführen sind, sondern auch in der Durchführung und Auswertung der Gasertragsmessungen Fehlerquellen liegen. Hierzu führte das KTBL in einem von BMELV über die FNR geförderten Vorhaben gemeinsam mit der VDLUFA-NIRS-GmbH und begleitet von einer Expertengruppe einen Ringversuch durch, an dem zuletzt 30 Labore teilgenommen haben. In drei Durchgängen wurden steigende Anforderungen an die Messung gestellt. Identisches Probenmaterial wurde an die Labore verschickt und von diesen vergoren. Im ersten Durchgang waren dies Cellulose und geschrotetes Getreide, im zweiten Durchgang getrocknete Silagen und im dritten Durchgang frische Silagen. Somit waren zuletzt auch Einflüsse der Probenlagerung und der Probenhomogenisierung zu erwarten.

Alle teilnehmenden Labore gaben an, die Gasertragsmessung in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4630 durchzuführen. Trotzdem wurden im ersten Durchgang für die Cellulose, ein sehr homogenes Substrat, mit einem Variationskoeffizienten von 16 % vergleichsweise hohe Abweichungen in den Ergebnissen zwischen den Laboren festgestellt (Abbildung 4).

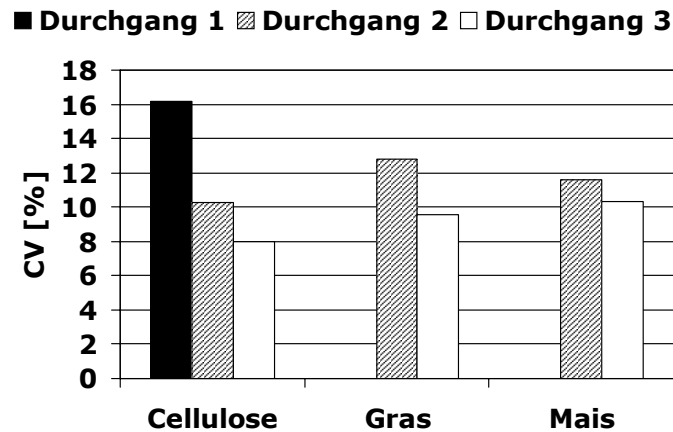


Abbildung 4: Variationskoeffizienten (CV) für die Ergebnisse im CH₄-Ertrag zwischen den am Ringversuch teilnehmenden Laboren für Cellulose, Gras und Mais. Die Eigenschaften der Proben von Gras und Mais unterscheiden sich für die beiden dargestellten Durchgänge.

Die Abweichungen in den Ergebnissen konnten nicht auf Unterschiede in Art und Größe des Versuchsaufbaus zurückgeführt werden. Deutlich war jedoch, dass in den folgenden zwei Durchgängen des Ringversuchs die Variationskoeffizienten stark abnahmen und somit die Vergleichbarkeit zwischen den Laboren deutlich zunahm. Das gleiche gilt für die Ergebnisse bei der Vergärung von Gras- und Maisproben, obwohl mit den frischen Silagen im dritten Durchgang deutlich schwerer zu handhabendes Material eingesetzt wurde, als mit den getrockneten und gemahlten Substraten im zweiten Durchgang. Es kann also davon ausgegangen werden, dass allein die Teilnahme an dem Ringversuch und die gemeinsame Analyse der Ergebnisse und Methoden, bei vielen Laboren zu einer deutlichen Annäherung der Ergebnisse führte.

In vielen Fällen war weniger die Messtechnik, als das Auswertungsverfahren Ursache für Abweichungen. Fehlerquellen waren die Umrechnung in Normliter, die Berechnung des CH₄-Ertrags aus CH₄-Konzentrationen und Biogaserträgen, sowie die Korrektur der Messwerte um den im Gas enthaltenen Wasserdampf und das Kopfraumvolumen der Versuchsgefäße. Da der Wasserdampf in 40°C warmem Gas einen Volumenanteil von 6 % haben kann und der Temperaturunterschied zwischen 0°C und 40°C zu einer Volumendifferenz von bis zu 15 % führt, sind im Extremfall Abweichungen von bis zu 20 % möglich, die allein durch eine fehlende Korrektur auf Standardbedingungen erklärbar sind.

Die VDI-Richtlinie 4630 beschreibt ein korrektes Vorgehen zur Berechnung der Gasvolumina und Konzentrationen. Offensichtlich ist die Richtlinie jedoch zu komplex aufgebaut, um eine Umsetzung im Laboralltag zu gewährleisten. Daher erarbeitete die projektbegleitende KTBL-Arbeitsgruppe aus den Erfahrungen des Ringversuchs einen Entwurf für eine VDLUFA-Methodenvorschrift zur Durchführung von batch-Gärversuchen. Dieser basiert auf der VDI-Richtlinie, stellt jedoch eine einfache „Schritt für Schritt“-Anleitung dar.

Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf Praxisanlagen

Mehrmals wurde aus der Praxis von Gaserträgen berichtet, die deutlich über den bisher vom KTBL (2005) herausgegebenen Richtwerten liegen. Dies kann an der in Kapitel 2.3 genannten

Unsicherheit der Datenlage liegen. Allerdings wurden bewusst konservative Annahmen für die Gaserträge getroffen. Es sollte vermieden werden, dass bei der Auslegungsplanung der Anlagen zu optimistische Gaserträge zu Grunde gelegt werden.

Das KTBL führt derzeit, gefördert durch die FNR, neue Erhebungen zu Ergebnissen aus Gasertragsmessungen durch. Zur Bewertung und Auswertung der herangezogenen Versuchsergebnisse werden auch die Erfahrungen des Ringversuchs herangezogen.

Eine weitere Ursache für mögliche Abweichungen in den Gaserträgen zwischen Labor und Praxis sind die prinzipiellen Unterschiede in den Gärbedingungen (Tabelle 2). Sowohl in den Gärvolumina, als auch dem Ablauf der biologischen Prozesse unterscheiden sich die beiden Systeme.

Einfluss des Gärvolumens

Im Vergleich zu Gärversuchen kann das um Größenordnungen höhere Volumen von Biogasanlagen zu einer geringeren Durchmischbarkeit des Fermenterinhalt führen. Allerdings werden batch-Fermenter im Gegensatz zu Biogasanlagen häufig nur einmal täglich durchmischt.

Tabelle 2: Unterschiede in den Parametern von Gärversuchen und Praxis-Biogasanlagen

	Batchversuch	Biogasanlage
Gärvolumen	100ml – 15 Liter	500 m ³
Betriebsweise	kein Austausch von Material	täglicher Austausch von Material
biol. Prozess	Stufen des Prozesses laufen nacheinander ab	Stufen laufen gleichzeitig ab
Belastung	bis zu 50 g oTS/l zu Beginn des Versuchs	2-5 g oTS/l d
Verweilzeit	35 Tage	bis > 100 Tage
Substrate	in der Regel Einzelsubstrat	meist Substratmischung

Versuche zum Einfluss des Gärvolumens auf den Biogasertrag wurden bisher nur mit geringem Erfolg durchgeführt. In einem Kooperationsprojekt der FH Soest, der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, der Universität Bonn und der FH Köln (Lütke Entrup et al., 2007) wurde parallel in Fermentern von 5 Liter, 100 Liter und 50 m³ Volumen identisches Substrat vergoren. Allerdings traten vor allem in den Fermentern mit größeren Volumina technische Probleme auf, die einen stabilen Betrieb und somit einen Vergleich der erzielten Gaserträge nicht möglich machten. Auch in Versuchen von Gronauer und Kaiser (2007), die Gaserträge aus batch-Fermentern von 2 Liter und 36 Liter Volumen miteinander verglichen, erschwerten vor allem technische Probleme in den größeren Versuchsfermentern

die Aussage. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gaserträgen der verschiedenen Fermentergrößen festgestellt werden.

Einfluss der Betriebsweise

Im Gegensatz zu batch-Gärversuchen werden Biogasanlagen in der Regel kontinuierlich betrieben. Dies bedeutet, dass täglich Substrat zugeführt wird und die Stufen des Abbaus von organischer Substanz (Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanbildung) im Gleichgewicht nebeneinander ablaufen. Im Batch-Reaktor hingegen wird nur einmal eine größere Menge Substrat zugeführt. Zunächst muss also eine Hydrolyse und Säurebildung einsetzen, bevor die Methanbildung beginnen kann. Eine Beeinträchtigung des Gärprozesses durch Zwischenprodukte ist daher nicht ausgeschlossen. Allerdings werden die Gärversuche in der Regel so lange durchgeführt, bis die CH₄-Bildung weitgehend abgeschlossen und somit das Gaspotential ausgeschöpft ist.

Tabelle 3: Vergleich der Biogaserträge von Grassilage aus batch- und kontinuierlichen Gärversuchen (Lütke Entrup et al., 2007)

[NI/kg oTS]	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
kontinuierlich	687	744	669
Batch	645	765	644
Faktor	0,94	1,03	0,96

In einem an der Universität Bonn durchgeführten Vergleich zwischen batch- und kontinuierlich betriebenen Fermentern, die mit einer täglichen Substratzufuhr (Raumbelastung) von 2g oTS/Liter Fermentervolumen betrieben wurden, konnten keine signifikanten Unterschiede in den Gaserträgen festgestellt werden (Tab. 3). Mit steigenden Raumbelastungen ist in kontinuierlichen Gärversuchen allerdings mit einer Abnahme der Gaserträge zu rechnen, wie Linke und Mähnert (2005) zeigen konnten (Abb. 5).

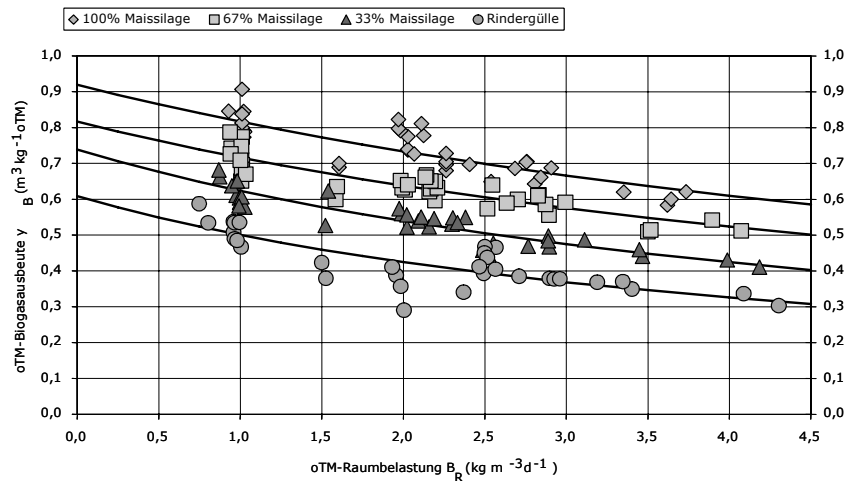


Abbildung 5: Einfluss der Raumbelastung auf die Gasausbeute je zugeführter Menge an oTS (Linke und Mähnert, 2005)

Vergleich mit Praxisanlagen

Im Rahmen des für das BMELV durchgeführten „Bundeswettbewerb Biogas“ wurden durch das KTBL auch Daten zur Menge und Art der eingesetzten Substrate sowie der Gasausbeute bzw. der Menge an eingespeistem Strom erhoben (Döhler et al., 2009). Aus diesen Angaben konnte die Substratausbeute berechnet und den nach KTBL-Richtwerten (KTBL, 2005) berechneten Gaserträgen gegenübergestellt werden (Abb. 6). Es zeigte sich, dass die so ermittelten Substratausnutzungen häufig deutlich über den Richtwerten lagen. Allerdings stammen die erfassten Daten nur von solchen Biogasanlagen, die an dem Wettbewerb teilnahmen und somit wahrscheinlich in Anlagenmanagement und technischer Ausstattung überdurchschnittlich waren.

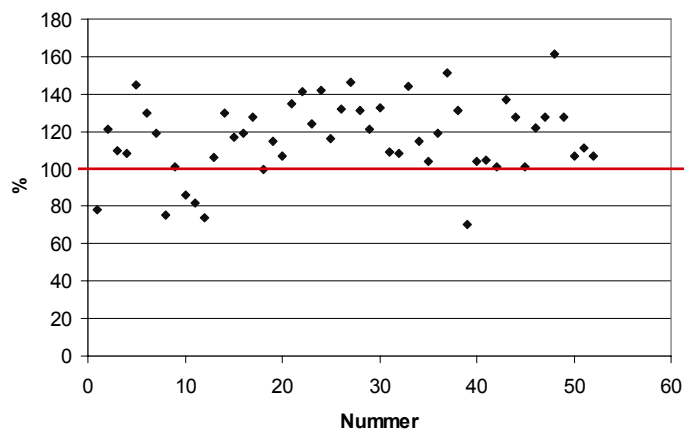


Abbildung 6: Relative Substratausnutzung von 53 Biogasanlagen, ausgedrückt in % der nach KTBL-Richtwerten berechneten Gaserträge (Döhler et al., 2009)

Eine ähnliche Erhebung der Substratausnutzung hat die Fa. Bioreact bei 1150 Biogasanlagen durchgeführt, die eine große Anzahl an Anlagenhersteller, Anlagengrößen und Jahren der

Inbetriebnahme umfasste (Abb. 7). Bei diesem repräsentativen Überblick über bestehende Biogasanlagen entsprach die mittlere erzielte Substratausbeute nahezu den aus Richtwerten berechneten Gasausbeuten.

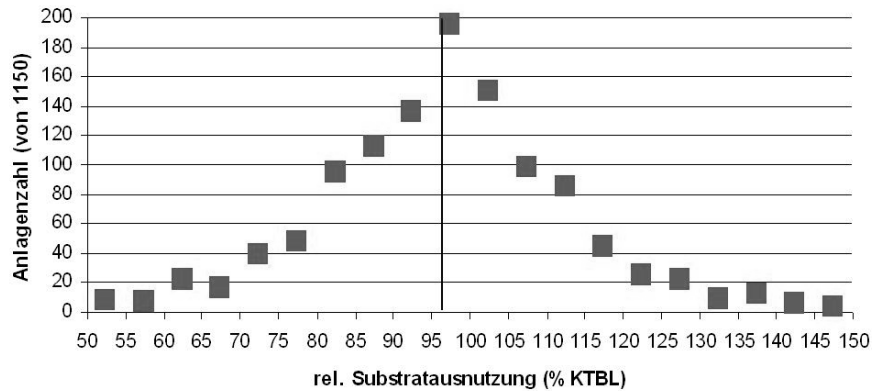


Abbildung 7: Relative Substratausnutzung von 1150 Biogasanlagen bezogen auf KTBL-Richtwerte (Bioreact, 2009)

Alle diese Untersuchungen beziehen sich auf Angaben der Betreiber. Hiermit sind einige Unsicherheiten verbunden, da nicht immer sichergestellt ist, dass der Gasertrag korrekt auf Normliter umgerechnet wurde und die Möglichkeiten zur Erfassung genauer Daten des Substratinputs über Wägung und TS-Bestimmung häufig begrenzt sind.

Ausblick

- Vergleiche mit Erhebungen zu Gaserträgen auf Biogasanlagen zeigen, dass Richtwerte zu Gasausbeuten, die aus batch-Laborversuchen abgeleitet werden für die Auslegung und die wirtschaftliche Vorplanungen von Biogasanlagen geeignet sind. Durch Optimierungen im Anlagenbetrieb sind jedoch Erträge erzielbar, die deutlich über den Richtwerten liegen.
- Das KTBL arbeitet derzeit an einer neuen Zusammenstellung von Gasertragsdaten, mit dem Ziel Richtwerte abzuleiten. Zur qualitativen Absicherung dieser Ergebnisse werden Erfahrungen aus dem Ringversuch in der Auswertung berücksichtigt.
- Wissenschaftliche Untersuchungen zur Messung der Substratausbeute auf Biogasanlagen sind notwendig. Hierzu müssen alle relevanten Daten zu Substratinput und Gasertrag mit geeigneter Messtechnik erfasst werden.

Literatur

Döhler, S., Hauptmann, A., Döhler, H. (2009): Fortschrittlich gelöst – Musterlösungen zukunftsorientierter Biogasanlagen. *Joule* 1, 2009:34-37.

Gronauer, A., Kaiser, F. (2006): Evaluierung der Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen als Grundlage für ein EDV-gestütztes Expertensystem für Beratung und Praxis. Endbericht an das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten.

Bioreact (2009): pers. Mitteilung Hölker, U. und <http://www.biogaswissen.de/>

KTBL (2005): Gasausbeute in Landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL Heft 50. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.

Linke, B., Mähner, P. (2005): Einfluss von Raumbelastung und Verweilzeit auf die Gasausbeute bei der Vergärung von Rindergülle und NawaRos, Tagungsband 14. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. 11.-14. Januar 2005, Nürnberg

Lütke Entrup, N., Gröblichhoff, F.-F., Block, K., Berendonck, C., Clemens, J., Wulf, S., Spoth, K., Rieker, C. (2007): Entwicklung von Anbaufolgen zur Erzeugung von Biomasse für die Biogaserzeugung. Abschlussbericht an das MUNLV-Nordrhein Westfalen.

Einfluss von Trockenmassegehalt (Abreife), Häcksellänge und Silierung auf die Biogasausbeute von Mais

Effect of dry matter content, chopping length and ensiling proces on biogas yield of maize

Christiane Herrmann¹, Monika Heiermann¹, Christine Idler², Frank Hertwig³

¹Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Germany

²Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Abteilung Bioverfahrenstechnik, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Germany

³Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, 14641 Paulinenaue, Gutshof 7, Germany

Zusammenfassung

Im Rahmen von Laboruntersuchungen zum Einfluss der Maissorte unter Variation von Erntetermin und Häcksellänge auf Silagequalität und Methanbildung wurden von frischem und siliertem Mais Häcksellängen mittels Siebanalyse, die chemische Zusammensetzung sowie das Methanbildungspotenzial und die Geschwindigkeit der Methanbildung in Batch-Gärtests bestimmt. Die Ergebnisse der Siebanalysen zeigen deutliche Unterschiede in der Häcksellängenverteilung der untersuchten Zerkleinerungsvarianten. Das Erntegut der untersuchten Maissorten und Erntetermine unterschieden sich hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung nur geringfügig, wobei die größten Differenzen bei den Faserbestandteilen ermittelt wurden. Bei „feiner“ Häckselung des Gutes konnten unter Berücksichtigung der Silierverluste im Mittel 8% höhere Methanausbeuten aus den Silagen erzielt werden als bei „grober“ Zerkleinerung. Die Unterschiede in den Methanausbeuten zwischen den Maissorten und Ernteterminen waren verhältnismäßig gering. Die Geschwindigkeit der Methanbildung wurde sowohl durch den Zerkleinerungsgrad als auch durch die Silierung beeinflusst.

Schlüsselworte: Mais, Anaerobe Vergärung, Methanertrag, Erntetermin, Silierung

Abstract

In Germany, maize is the preferred crop cultivated as feedstock for anaerobic digestion. Apart from feedstock characteristics also procedural factors and management measures have a significant effect on yield potential and profit. Within this study extensive laboratory work was conducted to evaluate the impact of maize (*Zea mays*) variety and the process steps harvest and ensiling. Emphasis was placed on growing stage and harvest time, respectively as well as chopping length and whole crop silage preparation. Moreover, interactions between parameters affecting ensiling and biomethanisation process were considered.

Results of particle size analysis show clear differences in the distribution pattern of particle lengths of chopping variants investigated. The chemical composition of maize varieties and harvest times investigated only differs marginally within variants tested, whereas most remarkable differences have been determined for the fibrous ingredients. Considering losses

during ensiling process, the reduction of chopping length leads to an average increase of methane yield of approx. 8 %, which could be achieved during laboratory experiments presented. Differences in methane yield within maize varieties and harvest times investigated were marginally but the methanisation rate was clearly influenced by the degree of comminution and the ensiling process.

Key words: Maize, anaerobic digestion, methane yield, harvest time, ensiling

Einleitung

Als Substrat für die Biogasproduktion in Deutschland nimmt Mais einen herausragenden Platz ein. Das resultiert nicht nur aus hohen Methanhektarerträgen, sondern auch aus der sehr gut etablierten Anbau- und Erntetechnik sowie bewährten Konservierungsverfahren. Qualitativ hochwertige Biomasse für die anaerobe Vergärung ist reich an Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen und zeichnet sich durch einen geringen Gehalt an nicht verwertbaren Bestandteilen wie Lignin bzw. komplexen Lignin-Cellulose-Verbindungen und Mineralstoffen bzw. Rohasche aus. Bei Mais sind die entscheidenden Voraussetzungen zur Realisierung höchster Qualitätsparameter ein hoher Kolbenanteil sowie eine optimale Ausreife der Körner. Neben einer Vielzahl anderer Faktoren hat die Auswahl der für den jeweiligen Standort und die geplante Nutzungsrichtung am besten geeigneten Sorte eine entscheidende Bedeutung. Zudem hat der Erntezeitpunkt einen bestimmenden Einfluss. Eine Erhöhung des Trockenmassegehaltes des Siliergutes über ein Optimum hinaus führt zu Problemen bei der Verdichtung und damit zu einem erhöhten Risiko zur Nacherwärmung der Silage. Ein Kompromiss hinsichtlich Pflanzenertrag, Trockenmassegehalt und Pflanzenqualität ist deshalb notwendig. Weiterhin bedarf es zur Gewährleistung guter Silier-, Verdicht- und Mischbarkeit kurzer Häcksellängen für das Biogassubstrat. Zugleich stellt das Zerkleinern des Pflanzenmaterials eine mechanische Aufbereitung dar. Neben der Vergrößerung der Partikeloberflächen werden Zellstrukturen aufgebrochen und dadurch extrazelluläre Substanzen freigesetzt. Dies führt zu einer erhöhten Verfügbarkeit von Nährstoffen und damit zu einer verbesserten Vergärbarkeit und letztendlich zur Erhöhung der Energieausbeute (Sharma et al., 1988; Weiß und Brückner, 2008).

Prinzipiell sind bei der Konservierung und Lagerung von Substraten für die Biogaserzeugung die gleichen siliertechnischen Grundlagen zur Sicherung von Qualität und Stabilität wie für die tierische Ernährung anzuwenden. Abweichungen ergeben sich allerdings bei der Bewertung der Gärqualität. Während hohe Essigsäuregehalte in Fütterungssilagen unerwünscht sind, da sie zu einer verminderten Futterraufnahme führen, stellt Essigsäure bei der Biomethanisierung ein direktes Ausgangssubstrat für die Methanbakterien dar (Weiland, 2001).

Zum Einfluss von Pflanzenart, Sorte und Erntezeitpunkt auf die Biogas- bzw. Methanausbeute wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Untersuchungen durchgeführt (z.B. Lethomäki, 2006; Amon et al., 2005; Gunaseelan, 1997). Dabei fanden jedoch die Wechselwirkungen der genannten Parameter mit der Silierung im Hinblick auf die Biogasproduktion bzw. die Methanbildung bisher kaum Beachtung. Verluste bei der Silierung werden auch in der Praxis häufig nicht erfasst und daher vernachlässigt.

In Kooperation mit dem Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg (LVLf), Referat Ackerbau und Grünland in Paulinenaue wurden am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) Laboruntersuchungen zum Einfluss der Maissorte unter Variation von Erntetermin und Häcksellänge auf die Silagequalität und die Methanbildung durchgeführt. Hierbei bildeten die Aspekte Lignifizierungsgrad (Reifegruppen, Erntetermine) sowie Zerkleinerungsgrad hinsichtlich ihres Einflusses auf die Höhe der Methanausbeute sowie die Geschwindigkeit der Methanbildung die Schwerpunkte der Studie. Die ermittelten Daten bilden die Grundlage für eine Bewertung der Wechselwirkungen der genannten Parameter auf die Methanisierung zwecks Optimierung der Biogasproduktion aus pflanzlicher Biomasse.

Material und Methoden

Versuchsdesign

Die dargestellten Ergebnisse wurden durch Untersuchungen an einer frühen, mittelfrühen und mittelspäten Silomaisorte ermittelt, die im Rahmen einer Sortenprüfung in Paulinenaue auf einem sickerwasserbeeinflussten humosen Sandstandort (Ackerzahl 30) im Jahr 2006 angebaut wurden. Die Maissorten sollten als Ganzpflanze jeweils zu drei Terminen, entsprechend den nachfolgend genannten Trockenmassegehalten (TM), mit jeweils drei verschiedenen Längeneinstellungen (Tab. 1) geerntet werden. Die Ernte erfolgte mit Hilfe von einem Feldhäcksler der Fa. Fortschritt (E 281-C) und einem Parzellenmaisernter der Fa. Haldrup (Kemper-Schneidwerk Champion 1200).

Häcksellängenbestimmung

Die Bestimmung der Häcksellängen erfolgte siebanalytisch über Teilung des Erntegutes in 14 Fraktionen mittels Analysen-Siebmaschine AS 200 digit mit Rundlochsieben (Fa. RETSCH) und anschließender Wägung der Gewichtsanteile der Fraktionen. Die Sieblochböden wiesen Durchgangsweiten von 1 mm bis 80 mm auf. Die Siebanalyse wurde in dreifacher Wiederholung mit ca. 150 g Erntegut je Siebung bei einer Siebdauer von 3 Minuten durchgeführt. Die mittlere Partikelgröße wurde über die Massenverteilungssumme als die Partikellänge bei 50% Siebdurchgang bestimmt. Als Feinanteil wurde der Massenanteil ≤ 4 mm, als Grobfraktion der Massenanteil ≥ 20 mm definiert. Die Berechnung der Kennwerte erfolgte mit Hilfe der Auswertesoftware EasySieve (Fa. RETSCH).

Tabelle 1: Untersuchte Maissorten und variierte Einflussgrößen

Parameter	Variationen
Maissorte	Früh: Oldham (S220) Mittelfrüh: LG327 (S250) Mittelspät: Benicia (S280)
Erntetermin (Angestrebter TM-Gehalt)	24.08.2006 (25%) 07.09.2006 (30%) 21.09.2006 (35%)
Häcksellänge	fein, mittel, grob

Chemische Analysen

Die chemischen Analysen sowie Ermittlung der Methanausbeuten und der Methanbildungsgeschwindigkeiten wurden sowohl von frischem als auch von siliertem Material durchgeführt. Das Erntegut bzw. das silierte Pflanzenmaterial wurde unmittelbar nach der Ernte bzw. Auslagerung aus den Laborsilos bei -18 °C für die spätere chemische Analyse (Herrmann et al., 2007) und Biomethanisierung eingefroren. Aus den Analysenparametern Rohasche, Rohfaser, Rohfett, Gesamtstickstoff, ADF, NDF und ADL wurden die Gehalte an stickstofffreien Extraktstoffen (NfE), Rohprotein und organischer Trockenmasse (oTM) sowie Cellulose und Hemicellulose errechnet (Herrmann et al., 2007).

Die Gärprodukte Ethanol, Propanol sowie ein Säurespektrum bestehend aus Essig-, Propion-, Butter-, iso-Butter-, Valerian-, iso-Valerian- und Capronsäure wurden mittels Gaschromatographie (Fa. FISIONS) gemessen. Die Bestimmung von Milchsäure erfolgte mittels HPLC (Fa. DIONEX). Die Trockenmassegehalte der Silagen wurden in Abhängigkeit vom pH-Wert nach Weissbach und Kuhla (1995) korrigiert.

Modellsilierung

Der Mais wurde in 1,5 Liter WECK-Gläser ohne Siliermittel einsiliert und manuell verdichtet. Die Laborsilos wurden 90 Tage bei 25 °C gelagert.

Die Bewertung der Gärqualität der Silagen erfolgte anhand der Gehalte an organischen Säuren, der pH-Werte sowie der Trockenmassegehalte im konservierten Material (DLG, 2006).

Batch-Gärtests

Um die Methanbildung aus den verschiedenen Proben bewerten zu können, wurden Batch-Gärtests nach VDI-Richtlinie 4630 (VDI 2006) durchgeführt. Dazu wurden in dreifacher

Wiederholung 50 g des zu untersuchenden Materials zu 1,5 Litern Impfmateriale (Gärrest aus vorherigen Batch-Versuchen mit Biogaspflanzen) gegeben und unter mesophilen Bedingungen über einen festgelegten Zeitraum von 30 Tagen inkubiert. Das entstehende Biogas wurde in kalibrierten Nassgasometern aufgefangen und täglich analysiert. Die gemessenen Volumina wurden auf trockenes Gas, eine Temperatur von $T_0 = 273,15$ K und einem Druck von $p_0 = 1013,25$ hPa normiert. Für die Bewertung der Methangehalte im Biogas wurde eine Kopfraumkorrektur entsprechend VDI 4630 durchgeführt.

Für die Darstellung der Methanausbeute wurden die summierten Methanmengen, die in dem 30tägigen Versuchszeitraum aus den Silagen gebildet wurden, auf zwei unterschiedliche Parameter bezogen: Die Methanausbeute ohne Berücksichtigung der durch die Silierung entstandenen Gärverluste entspricht der üblicherweise ermittelten Methanausbeute bezogen auf ein Kilogramm organischer Trockenmasse (oTM) der Silage. Die Menge an oTM eines Erntegutes nimmt jedoch bei der Silierung durch entstehende Verluste ab. Wird die gebildete Methanmenge auf ein Kilogramm der vor der Silierung vorhandenen oTM bezogen („oTM_{orig}“), so erhält man entsprechend niedrigere Methanausbeuten, die die Verluste bei der Silierung berücksichtigen. Aufgrund der gewählten Versuchsdurchführung sind deshalb in den dargestellten Werten Gärverluste (Verluste durch Restatmung und Fermentation bei der Silierung) berücksichtigt, jedoch keine Verluste durch Sickersaftbildung oder aerobe Umsetzungsvorgänge nach Siloöffnung.

Zur Bewertung der Geschwindigkeit der Methanbildung wurden über Anpassung einer Reaktionsgleichung 1. Ordnung (Gl. 1) an den zeitlichen Verlauf der Methanausbeute Geschwindigkeitskonstanten k berechnet.

$$Y(t) = y_{max} * (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

$Y(t)$ = gemessene Methanausbeute zum Zeitpunkt t [$l_N \cdot kg^{-1}$ oTM]

y_{max} = maximal mögliche Methanausbeute
[$l_N \cdot kg^{-1}$ oTM]

k = Geschwindigkeitskonstante [d^{-1}]

t = Zeit [d]

Ergebnisse und Diskussion

Chemische Zusammensetzung

In Tab. 2 sind für die frühe, mittelfrühe und mittelspäte Silomaisorte die Entwicklungsstadien (BBCH; Meier, 2001) sowie die Gehalte an Trockenmasse und organischer Trockenmasse des Erntegutes zum jeweiligen Erntetermin dargestellt. Es wird deutlich, dass die geplanten Gehalte an Trockenmasse von 25-35% für die drei Erntetermine mit ca. 23 bzw. 27% sowie 35% im Mittel der drei Sorten sehr gut getroffen wurden. Die Trockenmassegehalte zeigten insbesondere bei später Ernte sehr deutlich die unterschiedliche Abreife der einzelnen Maisorten. So lag z.B. der Trockenmassegehalt beim dritten Erntetermin für die frühe bzw. die

mittelfrühe Sorte Oldham und LG3237 schon bei 36,2% und für die mittelspäte Sorte Benicia erst bei 32,9%.

Tabelle 2: Charakterisierung des Erntegutes zu den jeweiligen Ernteterminen

Maissorte	Ernte	Entwicklungsstadium zur Ernte (BBCH)	TM-Gehalt [%]	oTM-Gehalt [% TM]
Oldham	1. Ernte	Späte Milchreife (78)	23,8	95,3
	2. Ernte	Teigreife = Siloreife (85)	27,9	95,3
	3. Ernte	Physiologische Reife (87)	36,2	95,1
LG3237	1. Ernte	Milchreife (75)	24,0	95,4
	2. Ernte	Teigreife = Siloreife (85)	28,0	95,6
	3. Ernte	Physiologische Reife (87)	36,2	94,9
Benicia	1. Ernte	Milchreife (75)	22,2	95,5
	2. Ernte	Frühe Teigreife (83)	25,8	96,5
	3. Ernte	Teigreife = Siloreife (85)	32,9	95,6

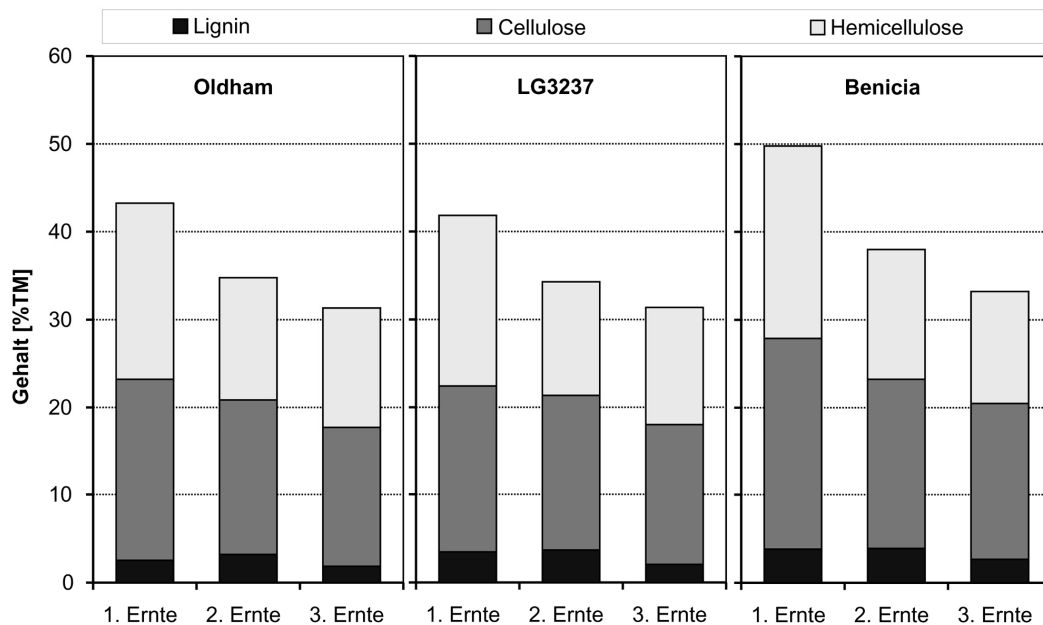
Bei der Nutzungsrichtung „Biogaserzeugung“ wird zur Erzielung hoher Gasausbeuten eine schnelle und weitgehende Vergärbarkeit der organischen Substanz angestrebt. Während Proteine, Fette, lösliche Kohlenhydrate und Stärke leicht verdaulich sind, gelten Ligninanteile und Lignin-Cellulose-Komplexe als im Biogasprozess sehr schwer oder nicht abbaubar und mindern die Methanausbeute (Weiland, 2001).

Das Erntegut der untersuchten Maissorten zu verschiedenen Ernteterminen unterschied sich hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung nur geringfügig (Tab. 3). Der Rohfettgehalt nahm mit 2 bis 3% TM den geringsten Anteil an der Trockenmasse ein. Die Rohaschegehalte lagen zwischen 4 und 5% TM, die Rohproteingehalte zwischen 7 und 9% TM und der Anteil stickstofffreier Extraktstoffe bei 60 bis 67% TM. Der größte Unterschied zwischen den Varianten wurde im Rohfasergehalt mit einer Spanne von 18 bis 25% TM ermittelt. Insgesamt wurde eine „typische“ Substratzusammensetzung von Silomais analysiert (Schumacher, 2008).

Die größten Differenzen wurden bei den Faserbestandteilen analysiert, wobei die mittelspäte Sorte Benicia zu allen 3 Ernteterminen die höchsten Faseranteile aufwies. Mit späterer Ernte nahmen in den Silagen (Abb. 1) die Gehalte an Hemicellulosen um 6,0 bis 10,2% TM, die Cellulosegehalte um 4,2 bis 6,0% TM und die Ligningehalte um 0,3 bis 0,8% TM ab. Diese Abnahme der Faserbestandteile im Ganzpflanzenmaterial ist durch die Kolbenbildung und dem damit verbundenen starken Massezuwachs von Pflanzenteilen mit geringen Rohfasergehalten zu erklären (Giardini et al., 1976). Damit spiegelt sich die zunehmende Lignifizierung des Stängels der Maispflanzen durch deren Abreife nicht in den analysierten Ligningehalten der Ganzpflanzen wieder.

Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung des Erntegutes (Mittelwerte von 3 Wiederholungen; Frischmasse)

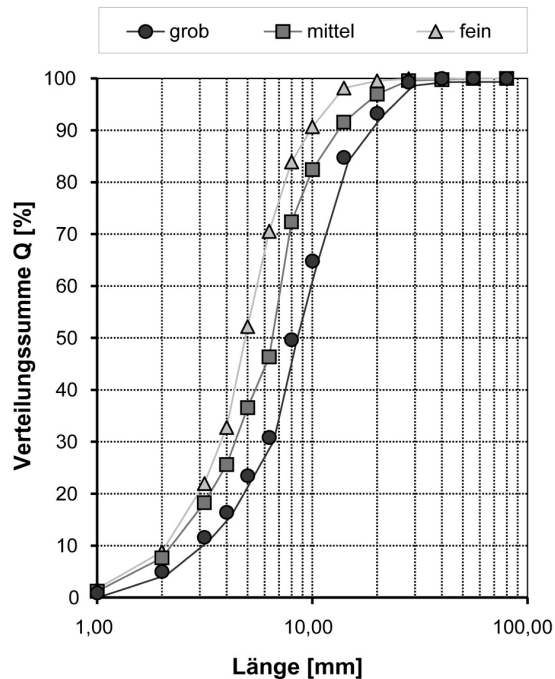
Maissorte	Erntetermin	Rohasche [% TM]	Rohprotein [% TM]	Rohfett [% TM]	Rohfaser [% TM]	NfE [% TM]
Oldham	1. Ernte	4,8	9,0	2,6	20,7	62,9
	2. Ernte	4,8	8,4	2,7	19,1	65,1
	3. Ernte	4,9	8,1	2,6	18,0	66,4
LG3237	1. Ernte	4,6	8,4	2,3	20,3	64,4
	2. Ernte	4,4	8,0	3,0	18,3	66,4
	3. Ernte	5,1	7,4	2,7	17,8	66,9
Benicia	1. Ernte	4,5	8,4	2,1	24,6	60,3
	2. Ernte	3,5	8,4	2,8	19,5	65,7
	3. Ernte	4,4	8,1	2,4	19,8	65,2

**Abb. 1:** Lignin-, Cellulose- und Hemicellulosegehalte der Silagen

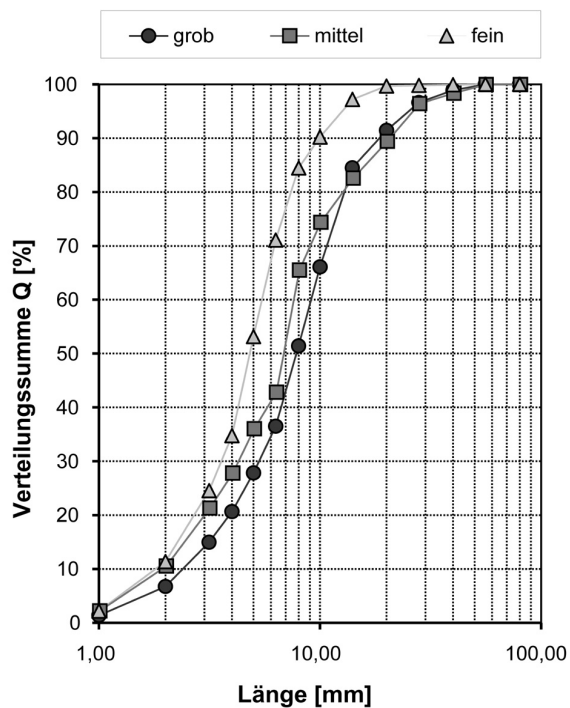
Häcksellängen

Die Ergebnisse der Siebanalysen zeigen deutliche Unterschiede in der Häcksellängenverteilung der untersuchten Zerkleinerungsvarianten. Die mittlere Häcksellänge bzw. Partikelgröße lag bei den „groben“ Varianten im Bereich von 7,9 bis 9,9 mm, bei den „mittleren“ Varianten zwischen 6,3 bis 8,4 mm und bei den „feinen“ Varianten in der Spanne von 4,7 bis 5,4 mm (Abb. 2a, b, c, Tab. 4). Mittlere Häcksellängen in der Größenordnung der „groben“ Varianten wurden auch bei Feldhäckslern mit theoretischen Häcksellängen von 9,5 mm bzw. 13 mm gemessen (Bal et al., 2000; Schwab et al., 2002). Den mittleren

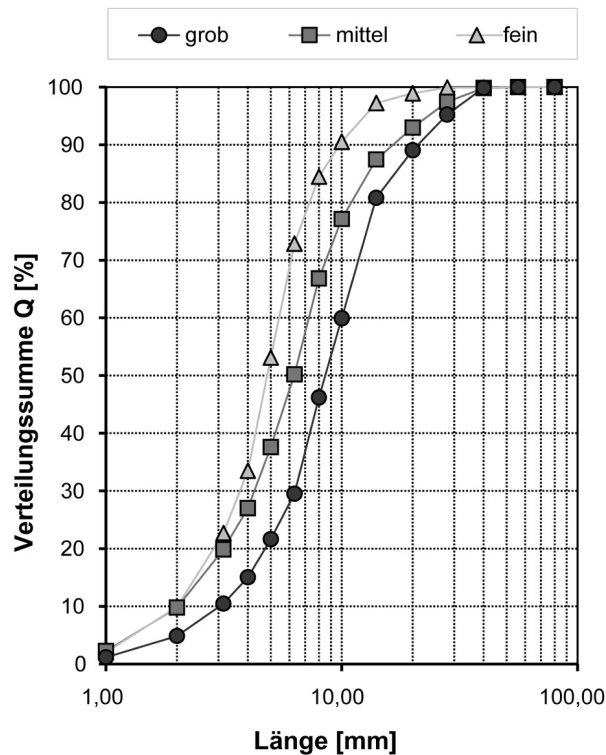
Häcksellängen der „feinen“ Varianten entsprechen Ergebnisse von mit 5,5 mm theoretischer Häcksellänge zerkleinertem Mais (Wagner et al., 2004).



a) Sorte Oldham



b) Sorte LG3237



c) Sorte Benicia

Abbildung 2a, b, c: Mittels Siebanalyse bestimmte Verteilungssumme der Häcksellängen am Beispiel des Erntegutes (FM) der Sorten Oldham (a), LG3237 (b) und Benicia (c) der ersten Ernte

Die Ergebnisse der Siebanalysen bestätigen weiterhin generell bei den untersuchten Maissorten und Ernteterminen eine deutliche Abnahme des Grobanteils (≥ 20 mm) mit kleinerer Häcksellänge und eine deutliche Zunahme der Feianteile (≤ 4 mm) mit stärkerer Zerkleinerung (Abb. 2a, b, c; Tab. 4). Nach Honig und Rohr (1982) führt der Häckselgutanteil > 20 mm zu Schwierigkeiten bei der Silierung durch Entmischungen und schlechte Verdichtbarkeit. Wagner et al. (2004) ermittelten bei mit theoretischer Häcksellänge 5,5 mm zerkleinertem Mais einen mit den „feinen“ Varianten vergleichbaren Masseanteil > 25 mm von 0,77%. Bei einer theoretischen Häcksellänge von 21 mm wurde ein Grobanteil von 7,03% mittels Siebanalyse bestimmt (Wagner et al., 2004). Dieser Vergleich lässt darauf schließen, dass die in den vorliegenden Untersuchungen geprüften „grogen“ und „mittleren“ Varianten einen verhältnismäßig hohen Anteil an Überlängen aufweisen.

Mit späterer Ernte nahm der Grobanteil der untersuchten Varianten tendenziell zu. Steigende Grobanteile mit Zunahme des TM-Gehaltes wurden auch von Leurs (2005) beobachtet. Entsprechend den Ergebnissen zu mittleren Häcksellängen sowie Grob- und Feianteilen ist davon auszugehen, dass bei den durchgeführten Untersuchungen mit stärkerer Zerkleinerung ein verbesserter mechanischer Aufschluss und eine erhöhte Partikeloberfläche erfolgreich erzielt wurden.

Tabelle 4: Mittlere Partikelgröße, Fein- und Grobanteile des Erntegutes (Frischmasse) der Sorten Oldham, LG3237 und Benicia zu drei Ernteterminen

Maissorte	Ernte-termin		Mittlere Partikelgröße [mm]	Feinanteil ≤ 4 mm [%]	Grobanteil ≥ 20 mm [%]
Oldham	1. Ernte	grob	8,04	16,4	6,7
		mittel	6,51	25,6	3,0
		fein	4,89	32,8	0,5
	2. Ernte	grob	8,57	13,7	10,6
		mittel	6,71	25,4	8,2
		fein	4,70	37,1	1,6
	3. Ernte	grob	8,71	14,8	9,7
		mittel	7,28	22,7	8,8
		fein	5,17	34,0	2,4
LG3237	1. Ernte	grob	7,88	20,6	8,6
		mittel	6,85	27,8	10,6
		fein	4,83	34,8	0,3
	2. Ernte	grob	8,25	18,1	11,0
		mittel	6,44	30,5	7,4
		fein	4,68	37,3	0,2
	3. Ernte	grob	9,06	17,0	11,1
		mittel	8,40	19,7	8,8
		fein	5,38	32,6	0,8
Benicia	1. Ernte	grob	8,59	15,0	10,9
		mittel	6,28	27,0	7,0
		fein	4,85	33,5	1,1
	2. Ernte	grob	8,60	14,3	10,8
		mittel	6,48	27,8	4,6
		fein	4,87	33,8	0,6
	3. Ernte	grob	9,93	10,5	14,4
		mittel	7,44	21,4	7,2
		fein	4,94	35,0	0,7

Gärqualität der Silagen

Die bereiteten Modellsilagen wiesen durchgängig sehr gute Gärqualitäten auf. Buttersäure wurde nur in sehr geringen Konzentrationen bis maximal 0,3% nachgewiesen. Mit späterer Ernte nahmen die Anteile der Gärsäuren und die Fermentationsverluste bei der Silierung tendenziell ab (Tab. 5).

Auffällig sind die relativ hohen Alkoholgehalte bei den „feinen“ Varianten, die als Folge einer verzögerten Einlagerung des Probenmaterials zu werten sind. Ein positiver Effekt der kurzen Häcksellänge auf die Silierung, wie er von anderen Autoren angegeben wird (z.B. Wagner et al., 2004; Müller und Fübbecker, 1997), konnte bei den vorliegenden Untersuchungen nicht nachgewiesen werden.

Tabelle 5: Gärprodukte und Gärverluste (Mittelwerte von 3 Wiederholungen) ermittelt aus Silagen der Maissorten Oldham, LG3237 und Benicia zu jeweils drei Ernteterminen und drei Häcksellängen

Maissorte	Ernte-termin	Häcksellänge	Verluste [%]	Milchsäure [% TM]	Essigsäure ¹⁾ [% TM]	Buttersäure ²⁾ [% TM]	einw. Alkohole ³⁾ [% TM]
Oldham	1. Ernte	grob	2,6	5,9	1,3	0,1	1,5
		mittel	2,4	6,7	1,3	0,1	0,5
		fein	3,7	6,6	1,8	n.n.	2,8
	2. Ernte	grob	1,0	6,4	1,5	0,2	0,4
		mittel	1,2	6,5	1,4	0,1	0,3
		fein	2,0	6,2	1,9	n.n.	2,6
	3. Ernte	grob	0,8	4,6	1,0	n.n.	1,3
		mittel	0,7	5,3	1,2	n.n.	0,9
		fein	0,8	5,0	1,0	n.n.	1,3
LG3237	1. Ernte	grob	2,3	6,5	1,6	0,1	0,4
		mittel	2,1	6,5	1,3	0,1	0,4
		fein	5,9	6,3	2,0	n.n.	2,7
	2. Ernte	grob	0,7	6,1	1,0	n.n.	0,6
		mittel	0,2	5,6	0,9	0,1	0,2
		fein	3,3	6,3	1,7	n.n.	2,3
	3. Ernte	grob	0,6	5,3	1,2	n.n.	0,6
		mittel	0,5	4,9	1,2	n.n.	0,5
		fein	1,1	5,1	1,0	n.n.	1,6
Benicia	1. Ernte	grob	3,1	7,1	1,5	0,1	0,7
		mittel	1,9	7,3	1,6	n.n.	0,5
		fein	4,7	6,6	1,9	n.n.	2,3
	2. Ernte	grob	1,1	6,5	1,2	n.n.	0,4
		mittel	1,4	6,2	1,1	0,1	0,2
		fein	3,3	5,9	2,1	n.n.	1,8
	3. Ernte	grob	0,4	5,0	1,2	n.n.	0,4
		mittel	0,5	4,5	1,0	0,3	0,5
		fein	1,4	5,2	1,2	n.n.	1,7

¹⁾Summe aus Essig- und Propionsäure; ²⁾Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und Capronsäure; ³⁾Summe aus Ethanol und Propanol; n.n. ... nicht nachweisbar

Methanausbeuten

Die nach 30 Tagen im Batch-Gärttest ermittelten Methanausbeuten des Erntegutes wiesen eine Spannbreite von 297 bis 363 l_N * kg⁻¹ oTM auf und differierten damit um maximal 18% (Abb. 3). Die Unterschiede in den Methanausbeuten zwischen den Maissorten und Ernteterminen waren verhältnismäßig gering. Die Untersuchungsergebnisse der Sorte LG3237 zeigen leicht (um maximal 8%) höhere Methanausbeuten als die Sorten Oldham und Benicia. Von der frühen Sorte Oldham wurden im Mittel die geringsten Methanausbeuten analysiert.

Mit zunehmendem Trockenmassegehalt, d.h. späterer Ernte, nahm die Methanausbeute des Erntegutes (Bezugsbasis oTM) tendenziell ab. Zur 3. Ernte wurden im Mittel um 6%, maximal bis zu 10% geringere Methanausbeuten gemessen verglichen mit dem 1. bzw. 2. Erntetermin.

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Faseranteilen in den Substraten und der Methanausbeute war nicht gegeben.

Schumacher et al. (2006) stellten bei Untersuchungen von mittelfrühen bis spätreifen Silomaissorten mit jeweils 4 verschiedenen Ernteterminen ebenfalls relativ geringe Unterschiede in der Methanausbeute fest. Die Unterschiede innerhalb einer Sorte bei verschiedenen Ernteterminen lagen bei 3 bis 9%. Mit steigender Reifezahl und späterer Ernte nahmen die Methanausbeuten tendenziell ab, nur bei den extrem spätreifen Maissorten wurde eine Zunahme der Methanausbeute mit späterem Erntetermin beobachtet (Schumacher et al., 2006). Einen stärkeren Effekt des Erntetermins auf die Methanausbeute ermittelten Amon et al. (2003) bei Untersuchungen von 13 verschiedenen früh- bis spätreifen Maissorten. Von der Milchreife zur Vollreife nahmen in dieser Studie die Methanausbeuten um 7 bis 27% ab.

Die eigenen Ergebnisse (Abb. 3) zeigen weiterhin einen einheitlichen Trend (Ausnahme Benicia, 1. Ernte) der Zunahme der Methanausbeute des Erntegutes mit höherem Zerkleinerungsgrad. Dabei wurden bei den „feinen“ Varianten um 3 bis 13% höhere Methanausbeuten gemessen verglichen mit den jeweiligen „groben“ Varianten. Die Unterschiede in der Methanausbeute zwischen den Häcksellängenvarianten stiegen mit zunehmender Reife und abnehmender Siloreifezahl an. Entsprechend lag die Differenz zwischen „grober“ und „feiner“ Variante zur frühen Ernte im Mittel bei 7%, zur späten Ernte im Mittel bei 12%. Hendriks und Zeeman (2009) fassen in einem Literaturüberblick zur Vorbehandlung organischer Materialien für die Biogasnutzung zusammen, dass durch mechanische Aufbereitung in den meisten Fällen eine Erhöhung der Methanausbeute um 5 bis 25%, abhängig von der Art der Biomasse und Aufbereitung, erzielt wird. Als Ursache hierfür wird die Freilegung von vor der Zerkleinerung unzugänglichen Bereichen des Substrates und damit die Erhöhung der Verfügbarkeit von vor der Zerkleinerung nicht bioverfügbaren Substratanteilen gesehen (Palmowski, 2000). Dabei steigt der Effekt der Zerkleinerung auf die Methanausbeute mit zunehmender Lignifizierung (Palmowski, 2000; Badger et al., 1979).

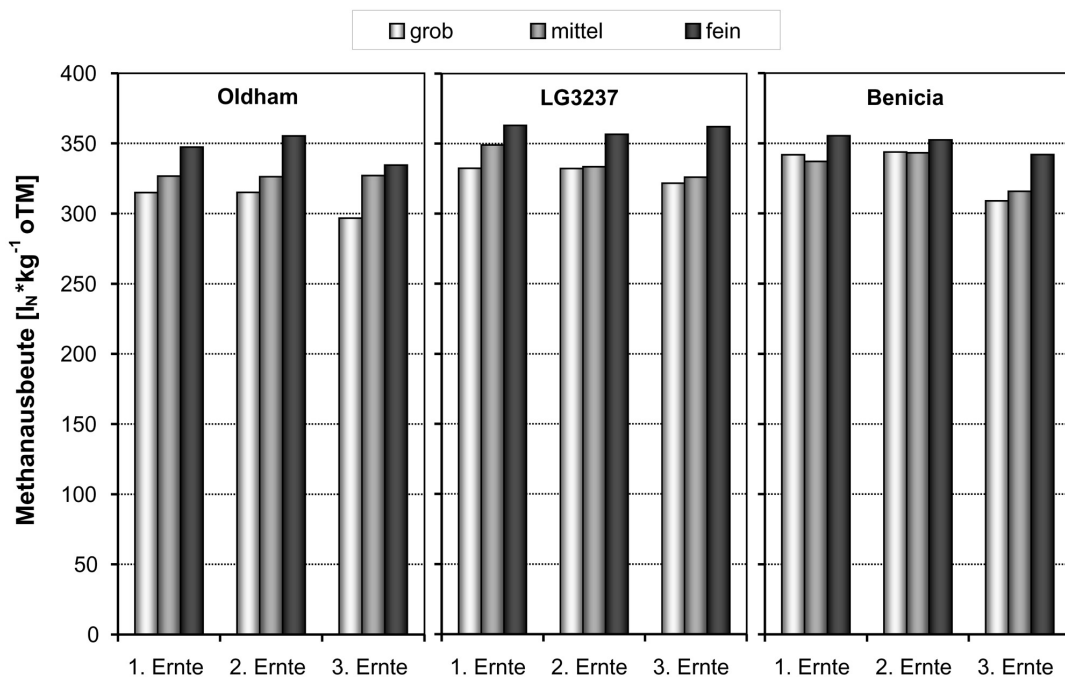


Abbildung 3: Methanausbeuten (Bezugsbasis oTM) nach 30 Tagen Versuchsdauer im Batch-Gärtest ermittelt aus Erntegut der Maissorten Oldham, LG3237 und Benicia zu jeweils drei Ernteterminen und drei Häcksellängen

Von den Maissilagen wurden Methanausbeuten von 327 bis 388 $I_N \cdot kg^{-1} \cdot oTM$ bestimmt. Generell bestätigten sich hier die bereits bei dem Erntegut ermittelten Trends zum Einfluss von Sorte, Erntetermin und Häcksellänge auf die Methanausbeute (Abb. 4). Auch bei den Silagen wurden die höchsten Methanausbeuten von der mittelfrühen Maissorte erzielt. Mit zunehmendem Trockenmassegehalt, d.h. späterer Ernte, nahm die Methanausbeute der Silagen (Bezugsbasis oTM_{orig}) im Mittel um 3% ab, dies war jedoch nicht bei allen Varianten eindeutig. Generell war zur späteren Ernte ein Zuwachs an Trockenmasse gegeben. Daher nahm die Methanausbeute mit Bezugsbasis FM mit späterer Ernte deutlich zu (Abb. 5). Damit ist die Menge an organischer Trockenmasse eines Erntegutes bei der Wahl des Erntetermins der entscheidende Aspekt für den erzielbaren Methanhektarertrag. Dieser dominierende Einfluss der verfügbaren Trockenmasse bzw. des Trockenmasseertrages bei der Wahl des Erntetermins wird auch von anderen Autoren hervorgehoben (Kaiser et al., 2004; Schumacher et al., 2006).

Die Varianten mit kürzerer Häcksellänge wiesen bei den untersuchten Silagen ebenso wie bei dem Erntegut einen Anstieg der Methanausbeute (Bezugsbasis oTM_{orig}) vor. Die Methanausbeute der „feinen“ Variante lag um 1 bis 13% über der Methanausbeute der „grogen“ Variante (Abb. 4). Damit wurden unter Beachtung der Gärverluste bei der Silierung Differenzen zwischen den Zerkleinerungsvarianten bei den Silagen in gleicher Größenordnung ermittelt wie bei den Frischmassen.

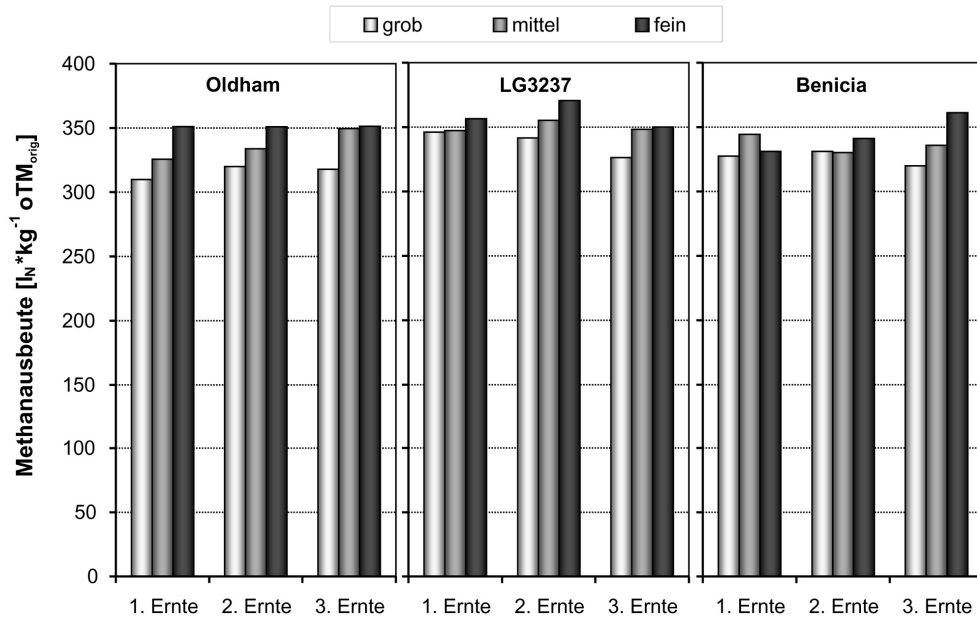


Abbildung 4: Methanausbeuten (Bezugsbasis oTM_{orig}) nach 30 Tagen Versuchsdauer im Batch-Gärtetest ermittelt aus Silagen der Maissorten Oldham, LG3237 und Benicia zu jeweils drei Ernteterminen und drei Häcksellängen unter Berücksichtigung von Gärverlusten während der Silierung

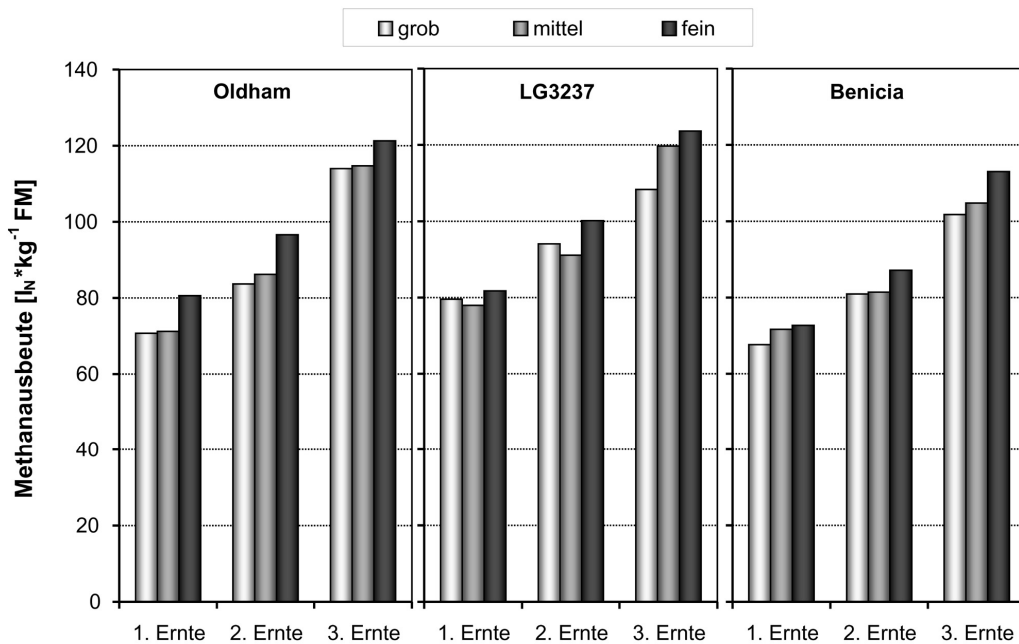


Abbildung 5: Methanausbeuten (Bezugsbasis FM) nach 30 Tagen Versuchsdauer im Batch-Gärtetest ermittelt aus Silagen der Maissorten Oldham, LG3237 und Benicia zu jeweils drei Ernteterminen und drei Häcksellängen unter Berücksichtigung von Gärverlusten während der Silierung

Geschwindigkeit der Methanbildung

Die Geschwindigkeit der Methanbildung wurde sowohl durch den Zerkleinerungsgrad als auch durch die Silierung beeinflusst. Bei den Frischmassen wurde eine deutliche Zunahme der Geschwindigkeit der Methanbildung mit kürzerer Häcksellänge nachgewiesen (Abb. 6a). Allerdings war diese Tendenz bei den untersuchten Silagen nicht eindeutig. Die Unterschiede in der Geschwindigkeitskonstante zwischen den Häcksellängenvarianten der Silagen waren zudem geringer als bei den Frischmassen (Abb. 6b). Durch die Silierung wurde die Geschwindigkeit der Methanbildung jedoch allgemein erhöht. Dies war wiederum insbesondere bei der „groben“ Häcksellänge erkennbar. Es ist daher von einer Überlagerung der positiven Effekte von Häcksellänge und Silierung auf die Geschwindigkeit der Methanbildung auszugehen.

Hinweise auf die Erhöhung der Geschwindigkeit der Methanbildung durch mechanischen Aufschluss (Oechsner und Lemmer, 2009) und durch die Silierung sind auch in der Literatur zu finden. Nach Palmowski (2000) erfolgt durch die Zerkleinerung sowohl ein Zellaufschluss als auch die Schaffung neuer Oberflächen. Dadurch werden Lösungsvorgänge unterstützt und die Angriffsflächen für Mikroorganismen und Enzyme erhöht, was zu einem rascheren Abbau des organischen Materials führt.

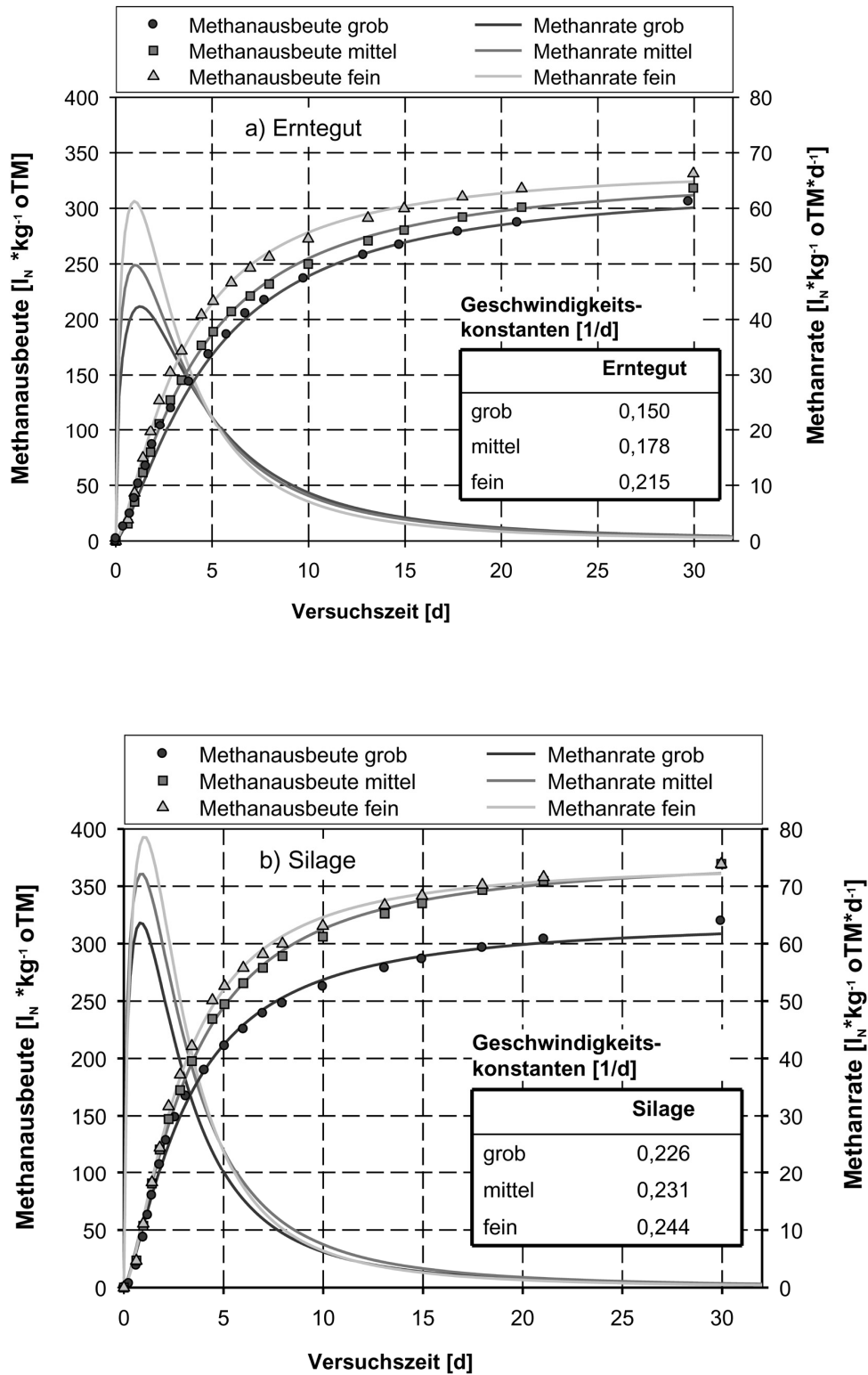


Abbildung 6a, b: Methanausbeuten und Methanraten im Versuchszeitraum von 30 Tagen im Batch-Gärtest ermittelt aus Erntegut (a) und Silage (b) am Beispiel der Maissorte Benicia des dritten Erntetermins und jeweils drei Häcksellängen sowie die berechneten Geschwindigkeitskonstanten der Methanbildung

Schlussfolgerungen

Bei der Bereitstellung von Energiepflanzen für die Biogasproduktion beeinflusst eine Reihe von Faktoren die Höhe der erzielbaren Methanausbeute des Substrates. Die Wahl der Pflanzenart - und insbesondere bei Mais die Auswahl von standortangepassten, sicher abreifenden Sorten - hat einen bedeutenden Einfluss auf das Ertragspotenzial und den betrieblichen Erfolg. Für die Nutzungsrichtung „Biogaserzeugung“ erfolgt die Ernte der Ganzpflanze häufig früher, um eine zunehmende Lignifizierung des Pflanzenmaterials zu verhindern oder eine Zweitkulturnutzung zu ermöglichen. Hierbei ist zu beachten, dass im Ernte- bzw. Häckselgut der optimale Trockenmassegehalt zur Sicherung von Qualität und Stabilität der zu bereitenden Silagen einzuhalten ist. Bei Ernte vor der Teigreife kann zudem ein noch möglicher Zuwachs des Methanhektarertrages des Mais nicht genutzt werden. Aus Sicht der Silierung und Biomethanisierung sind möglichst kurze Häcksellängen zu empfehlen. Allerdings können in der Praxis minimale Häcksellängen aufgrund der Häckslerkapazität z.T. zur Leistungsminderung bei der Ernte führen. Weiterhin ist zu beachten, dass eine Reduzierung der Häcksellängen den Dieserverbrauch erhöht. In kontinuierlich betriebenen Praxisanlagen kann eine erhöhte Geschwindigkeit der Methanbildung die erzielte Methanausbeute positiv beeinflussen und damit zur Optimierung der Biogasproduktion aus pflanzlicher Biomasse beitragen. Insbesondere bei begrenzten Verweilzeiten ist eine positive Wirkung auf die Methanausbeute denkbar.

Literaturverzeichnis

- Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Zollitsch, W., Mayer, K., Buga, S., Amid, A. (2003): Biogaserzeugung aus Mais – Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh- bis spätreifen Maissorten. In: BAL Gumpenstein (Hrsg.). Bericht über die 54. Tagung 2003 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 25.-27.11.2003: S. 1-10
- Amon, T., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Amon, B. (2005): Methane production from cereals, grass and sunflowers: effect of harvesting time and pre-treatment on the methane yield. KTBL: 7. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der Nutztierhaltung, Braunschweig, Germany, Proceedings, S. 343-348
- Badger, D.M., Bogue, M.J., Stewart, D.J. (1979): Biogas production from crops and organic wastes. New Zealand J. of Sci. 22:11-20
- Bal, M.A., Shaver, R.D., Jirovec, A.G., Shinnors, K.J., Coors, J.G. (2000): Crop processing and chop length of corn silage: Effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. J. of Dairy Sci. 83:1264-1273.
- DLG-Ausschuss für Futterkonservierung (2006): Grobfutterbewertung. Teil B: DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchung. DLG e.V. (Hrsg.): DLG-Information 2/2006, 5 S.
- Giardini, A., Gaspari, F., Vecchietini, M., Schenoni, P. (1976): Effect of maize silage harvest stage on yield, plant composition and fermentation losses. Anim. Feed Sci. and Techn. 1:313-326
- Gunaseelan, V.N. (1997): Anaerobic digestion of biomass for methane production: A Review. Biomass and Bioenergy, 13 Nos.1/2, 83-114

- Hendriks, A.T.W.M., Zeemann, G. (2009): Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 100:10-18
- Herrmann, C., Heiermann, M., Idler, C., Scholz, V. (2007): Parameters influencing substrate quality and biogas yield. In: Maniatis, K. et al. (eds.): *Proceedings, 15th European Biomass Conference & Exhibition "From Research to Market Deployment"*, 7-11 May 2007, Berlin, Germany, S. 809-819
- Honig, H., Rohr, K. (1982): Zur Bedeutung des Zerkleinerungsgrades von Silomais. 1. Mitteilung: Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf die Verluste durch unverdaut ausgeschiedene Körner und Körnerbruchstücke. *Das wirtschaftseigene Futter*, 28:182-192
- Kaiser, F., Diepolder, M., Eder, J., Hartmann, S., Prestele, H., Gerlach, R., Ziehfrennd, G., Gronauer A. (2004): Biogas yields from various renewable raw materials. *Landtechnik* 59:224-225
- Lehtomäki, A. (2006): Biogas production from energy crops and crop residues, Dissertation (2006) 91, verfügbar unter <http://dissertations.jyu.fi/studbiol/9513925595.pdf>, Zugang am 07.05.2007
- Leurs, K. (2005): Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais. Dissertation, Hohe Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, 159 S
- Meier, U. (Hrsg.) (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen, BBCH Monografie. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants, BBCH Monograph, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 2. Edition (2001), verfügbar unter <http://www.bba.de/veroeff/bbch/bbcheng.pdf>, Zugang am 24.03.2007
- Müller, J., Fübbecker, A. (1997): Mit 74 Messern dem Häcksler Konkurrenz machen? *top agrar* 7/97, 70-73
- Oechsner, H., Lemmer, A. (2009): Wie lässt sich die Effizienz einer Biogasanlage steigern? 18. Jahrestagung Fachverband Biogas e.V. „Biogas: dezentral erzeugen, regional profitieren, international gewinnen“, 03.-05.02.2009, Hannover, 105-112
- Palmowski, L. (2000): Zerkleinerungs- und Abbauverhalten organischer Materialien, Dissertation, Göttingen, 144 S
- Schumacher, B. (2008): Untersuchungen zur Aufbereitung und Umwandlung von Energiepflanzen in Biogas und Bioethanol. Dissertation, Universität Hohenheim, 204 S
- Schumacher, B., Böhmel, C., Oechsner, H. (2006): Welchen Energiemais wann ernten für die Biogasgewinnung? *Landtechnik* 61 Heft 2/2006, 84-85
- Schwab, E.C., Shaver, R.D., Shinnors, K.J., Lauer, J.G., Coors, J.G. (2002): Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. of Dairy Sci.* 85:613-623
- Sharma, S.K., Mishra, I.M., Sharma, M.P., Saini, J.S. (1988): Effect of particle size on biogas generation from biomass residues. *Biomass* 17:251-263
- VDI Fachausschuss Regenerative Energien (2006): Vergärung organischer Stoffe. Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 4630, Beuth Verlag Berlin, 92 S
- Wagner, A., Leurs, K., Büscher, W. (2004): Einfluss der Häcksellänge auf Verdichtbarkeit, Silierung und Nacherwärmung von Silomais. *Agrartechn. Forschung* 10, Heft 4, S. 54-61

- Weiland, P. (2001): Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate. In: VDI (Hrsg.): Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven. Tagung vom 19.06.2001 in Hannover, VDI-Berichte Nr. 1620, S. 19-32
- Weiß, D., Brückner, C. (2008): Aufbereitung landwirtschaftlicher Biomasse für den Vergärungsprozess. SLL (Hrsg.): Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 19/2008, 100 S
- Weissbach, F., Kuhla, S. (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter. Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übersicht Tierernährung 23:189-214

Ernährungsphysiologische Bewertung von „Mais 2050“

Nutritional value of „maize 2050“

Ulrich Meyer¹, Liane Hüther¹, Remy Manderscheid², Hans-Joachim Weigel²,
Malte Lohölter¹, Anke Schenderlein¹

¹Institut für Tierernährung, Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Bundesforschungsinstitut für
Tiergesundheit, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

²Institut für Biodiversität, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut
für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung des ernährungsphysiologischen Werts von Mais für Nutztiere unter dem Einfluss steigender atmosphärischer CO₂-Konzentration (380 ppm verglichen mit 550 ppm) hervorgerufen durch eine CO₂-Anreicherung unter Feldbedingungen (FACE) und dem Einfluss einer Variation der Wasserversorgung während des Pflanzenwachstums. Hierzu wurden der Roh Nährstoff-, der Faser- und der Stärkegehalt von Maispflanzen aus zwei Anbaujahren bestimmt. Zusätzlich fand für Maissilagen von drei aufeinander folgenden Ernteterminen (Ende August bis Ende September) eine Bestimmung des *in sacco*-Abbaus der Trockenmasse an Milchkühen statt. Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen werden vorgestellt.

Schlüsselwörter: Mais, ernährungsphysiologischer Wert, FACE (CO₂-Anreicherung unter Feldbedingungen), Wiederkäuer, *in sacco* Abbaubarkeit

Abstract

The aim of the present study was to assess the influence of different levels of atmospheric CO₂ concentrations (380 ppm and 550 ppm) caused by Free Air Carbon Dioxide Enrichment (FACE) and controlled summer drought on the nutritional value of corn for livestock. The crude nutrient, fiber and starch content of corn plants of two crop years were analysed. In addition the ruminal degradability of dry matter in cows (*in sacco*) of corn silages from three different harvesting dates from late August to late September was determined. First experimental results are briefly presented.

Key words: Corn, nutritional value, FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment), ruminants, *in sacco* degradability

Einleitung

Mais hat als wichtiges Nahrungsmittel global einen hohen Stellenwert. Weiterhin ist Mais sowohl im mitteleuropäischen Raum als auch in anderen Regionen der Welt ein bedeutendes

betriebseigenes Futtermittel und ein Mischfutterbestandteil. Maisprodukte wie Silomais als Ganzpflanzensilage, Corn-Cob-Mix (CCM)-Silage und Körnermais finden in der Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, hauptsächlich von Wiederkäuern, Schweinen und Geflügel Verwendung. Nebenprodukte aus der industriellen Maisverarbeitung (z.B. der Stärke- und Alkoholherstellung) werden zumeist als Komponenten in der Mischfutterherstellung verwendet.

Durch den Anstieg der Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid (CO₂) und weiteren Treibhausgasen wie z.B. Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) in der Atmosphäre werden für die Zukunft mit regional unterschiedlicher Ausprägung teilweise erhebliche Veränderungen des Klimas prognostiziert. Die Veränderungen von Klimawerten wie die steigende atmosphärische CO₂-Konzentration, erhöhte Umgebungstemperaturen und Änderungen der Niederschlagsverhältnisse verbunden mit extremen Wetterereignissen wie Dürreperioden oder starken Regenfällen lassen Auswirkungen unter Anderem auf die Zusammensetzung verschiedener wichtiger Futterpflanzen erwarten (Weigel und Manderscheid, 2005). Somit sind auch Änderungen des ernährungsphysiologischen Werts von Mais denkbar.

Freilanduntersuchungen zu den Effekten einer erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentrationen in Maisbeständen

Zur Untersuchung der Auswirkungen des Anstiegs der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf das Wachstum und die Qualität verschiedener Kulturpflanzen werden vom Institut für Biodiversität in Braunschweig Freiland-CO₂-Anreicherungsversuche durchgeführt. Dazu wird auf dem Versuchsfeld ein kammerloses Feldbegasungssystem (Free Air Carbon dioxide Enrichment, FACE) betrieben, das die Möglichkeit zum Vergleich der aktuellen Bedingungen (atmosphärische CO₂-Konzentration von ca. 380 ppm) mit dem für die Mitte dieses Jahrhunderts erwarteten Wert (ungefähr 550 ppm) bietet. Als zusätzlicher Faktor findet die Wasserversorgung während des Pflanzenwachstums (ausreichend bzw. Trockenstress) Berücksichtigung. Das im Rahmen der Maisversuche gewonnene Erntegut bildet die Basis für die am Institut für Tierernährung vorgenommenen weiterführenden Untersuchungen zur ernährungsphysiologischen Bewertung.

Möglichkeiten zur ernährungsphysiologischen Bewertung von Mais

Die Bewertung des Futtermittels Mais kann zunächst durch chemisch-analytische Untersuchungen vorgenommen werden. Hierzu dienen die Ergebnisse der Weender Futtermittelanalyse (Naumann und Bassler, 1993), die durch eine differenzierte Analytik der Kohlenhydrate (Stärke, Zucker, NDF, ADF u.a.) sowie beispielsweise auch durch die Bestimmung von Mengenelementen, Spurenelementen, Aminosäuren, Vitaminen und Fettsäuren ergänzt werden kann. Weitere Kennzahlen z.B. zur energetischen Futtermittelbewertung oder zur Abbaubarkeit von Nährstoffen im Verdauungstrakt sind durch Untersuchungen am Tier zu ermitteln.

Erste Ergebnisse der ernährungsphysiologischen Untersuchung der im Braunschweiger FACE-Versuch geernteten Maispflanzen werden nachfolgend vorgestellt.

Rohnährstoffgehalt der Ganzpflanzen und der Maissilagen

Der Rohnährstoff- und der Stärkegehalt sowie die verschiedenen Faserfraktionen der Maisganzpflanzen aus zwei Versuchsjahren sind für die einzelnen Behandlungen (mit und ohne CO₂-Anreicherung bzw. Trockenstress) in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Gehalt der Maispflanzen an Trockensubstanz (T), Rohasche (XA), Rohfett (XL), Rohprotein (XP), Stärke (XX), Rohfaser (XF), Saurer Detergenzienfaser (ADF) und Neutraler Detergenzienfaser (NDF) Mittel von Versuchsjahr I und II

	Jahr		550 ppm CO ₂	550 ppm CO ₂	380 ppm CO ₂	380 ppm CO ₂	Differenzen innerhalb Jahr (p<0,05)		
			bewässert	Trockenstress	bewässert	Trockenstress	CO ₂	Wasser	CO ₂ *Wasser
T	%	I	27,7	28,1	28,1	28,6			
		II	35,8	40,5	36,4	39,1		*	
XA	%i.d.T	I	4,9	4,3	5,1	4,2		*	
		II	4,1	3,6	3,9	4,1			*
XL	%i.d.T	I	2,9	3,2	3,1	3,3			
		II	3,4	3,2	3,6	2,7		*	
XP	%i.d.T	I	6,0	5,7	6,0	5,6			
		II	5,8	5,4	5,8	6,2			
XX	%i.d.T	I	31,0	31,6	31,0	31,4			
		II	35,0	33,6	36,2	(23,8)			
XF	%i.d.T	I	21,4	19,3	21,0	19,4		*	
		II	19,3	20,7	19,0	21,9		*	
ADF	%i.d.T	I	23,5	22,3	23,5	21,7			
		II	22,4	23,8	21,9	25,9		*	
NDF	%i.d.T	I	51,9	49,4	52,7	49,0		*	
		II	43,4	46,6	43,1	50,0		*	

Die für die verschiedenen Untersuchungsparameter ermittelten Ergebnisse bewegen sich im Rahmen üblicher Werte für Maisganzpflanzen. Teilweise festgestellte Differenzen zwischen den Werten, insbesondere beim Fasergehalt, sind auf die unterschiedliche Wasserversorgung der Pflanzen während der Wachstumsperiode zurückzuführen.

Tabelle 2 zeigt die Zusammensetzung der in der Untersuchung zur Ermittlung des Trockenmasseabbaus an Milchkühen verwendeten Maissilagen. Diese stammen von drei Erntezeitpunkten (Ende August, Mitte September, Ende September) des zweiten Anbaujahres und umfassen wieder die einzelnen Behandlungen mit und ohne CO₂-Anreicherung sowie mit und ohne Trockenstress.

Tabelle 2: Gehalt der Maissilagen an Trockensubstanz (T), Rohasche (XA), Rohfett (XL), Rohprotein (XP), Stärke (XX), Rohfaser (XF), Saurer Detergenzienfaser (ADF) und Neutraler Detergenzienfaser (NDF) bei unterschiedlichen Erntezeitpunkten

Erntezeitpunkt		T	XA	XL	XP	XX	XF	ADF	NDF
		%				%i.d.T			
1	550 ppm CO ₂ bewässert	26,1	4,5	1,8	5,8	21,7	23,4	26,7	51,3
	550 ppm CO ₂ Trockenstress	27,0	4,3	2,0	5,8	17,4	23,7	26,2	51,3
	380 ppm CO ₂ bewässert	25,1	4,1	1,9	5,9	18,6	22,6	25,8	49,4
	380 ppm CO ₂ Trockenstress	27,8	4,1	1,8	6,3	15,2	23,6	26,1	52,1
2	550 ppm CO ₂ bewässert	30,8	3,9	2,7	6,0	30,0	21,4	24,6	44,4
	550 ppm CO ₂ Trockenstress	32,6	3,8	2,5	5,6	26,6	21,8	24,0	47,2
	380 ppm CO ₂ bewässert	31,5	3,8	2,4	5,1	28,3	22,4	25,0	48,4
	380 ppm CO ₂ Trockenstress	33,9	3,6	2,4	5,5	27,3	21,4	24,1	48,6
3	550 ppm CO ₂ bewässert	34,7	4,2	2,5	5,1	32,6	20,1	22,8	42,9
	550 ppm CO ₂ Trockenstress	40,6	3,7	2,5	5,1	31,9	20,0	23,3	45,3
	380 ppm CO ₂ bewässert	36,3	3,9	2,4	5,0	35,7	18,5	20,9	40,9
	380 ppm CO ₂ Trockenstress	39,0	4,1	2,1	6,3	26,7	20,4	23,4	47,3

Die Behandlungen mit ausreichender Bewässerung wiesen in Vergleich mit den Trockenstressvarianten zu allen Erntezeitpunkten einen geringeren Trockenmassegehalt auf (Erntezeitpunkt 1: 25,6 % bzw. 27,4 % T, 2: 31,2 % bzw. 33,3 % T, 3: 35,5 % bzw. 39,8 % T), wobei die Differenzen im Zeitverlauf stiegen (1,8; 2,1 und 4,3 %-Punkte).

Mit späterem Erntezeitpunkt zeigte sich bei der Untersuchung der Maissilagen ebenfalls die erwartete Abnahme des Gehalts an Gerüstsubstanzen sowie die Zunahme des Stärkegehalts. Die mit 550 ppm CO₂ behandelte Variante wies bei Trockenstress einen geringeren NDF-Gehalt auf als die Kontrolle mit 380 ppm CO₂. Der Unterschied vergrößerte sich mit fortschreitender Abreife von 0,8 über 1,4 auf 2,0 %-Punkte.

Der Vergleich der mit zunehmender Abreife steigenden Stärkegehalte zwischen den Behandlungen zeigt ein uneinheitliches Bild. Unter den Bedingungen einer knappen Wasserversorgung deuten sich Vorteile für die mit 550 ppm CO₂ behandelten Varianten an.

Die Gehalte an Rohasche, Rohfett und Rohprotein variierten zwischen den drei Erntezeitpunkten nur geringfügig, wobei Beziehungen zur CO₂-Konzentration oder zum Bewässerungsregime nicht erkennbar sind.

Ermittlung des Trockenmasse-*in sacco*-Abbaus der Maissilagen an Milchkühen

Die Bestimmung des *in sacco*-Abbaus der Trockenmasse der Maissilagen wurde in Anlehnung an die von Flachowsky et al. (1988) beschriebene Methodik vorgenommen. Hierzu kamen sechs am Pansen fistulierte nicht laktierende Kühe der Rasse Deutsche Holstein mit einer mittleren Lebendmasse von 663 ± 69 kg zum Einsatz.

Die Tiere befanden sich während des Versuchs ohne Einstreu in Anbindehaltung und erhielten täglich 4,1 kg Trockenmasse (T) einer Mischung aus 60 % Mais- und 40% Grassilage (auf T-Basis) und 2 kg einer Kraffuttermischung. Die zu inkubierenden Proben der Maissilagen wurden gefriergetrocknet und über ein 3 mm Sieb mit einer Zentrifugalmühle vermahlen. Von den so vorbehandelten Proben wurden jeweils 4 g in Nylonbeutel mit einer Größe von 10 x 20 cm und einer mittleren Porengröße von 53 ± 10 µm (Hersteller: Bar Diamond Inc., Parma, Idaho, USA) eingewogen. Die Inkubation der Proben erfolgte für jedes Tier über einen Zeitraum von 2, 4, 8, 16, 24, 48 und 96 Stunden. Nach der Inkubation wurden die Nylonbeutel gewaschen, getrocknet und gewogen. Vom Ausgangsmaterial und von den Inkubationsrückständen wurde der T-Gehalt bestimmt (Naumann und Bassler, 1993) und es wurden die potenziellen und effektiven Abbaubarkeiten der Trockenmasse ermittelt (Ørskov und McDonald, 1979).

Die potenzielle Abbaubarkeit der Trockenmasse und die effektive Abbaubarkeit (Passagerate von 4% pro Stunde) von Maissilagen aus drei Erntezeitpunkten mit und ohne CO₂-Anreicherung sowie mit und ohne Trockenstress sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Potenzielle und effektive Abbaubarkeit der Trockenmasse von Maissilagen bei unterschiedlichen Erntezeitpunkten

Ernte-zeitpunkt		Potenzielle Abbaubarkeit	Effektive Abbaubarkeit (Passagerate 4%/Stunde)
		%	%
1	550 ppm CO ₂ bewässert	68,0	50,9
	550 ppm CO ₂ Trockenstress	67,3	50,0
	380 ppm CO ₂ bewässert	69,6	51,6
	380 ppm CO ₂ Trockenstress	68,3	50,4
2	550 ppm CO ₂ bewässert	72,3	51,7
	550 ppm CO ₂ Trockenstress	72,3	49,8
	380 ppm CO ₂ bewässert	72,5	49,7
	380 ppm CO ₂ Trockenstress	72,4	50,3
3	550 ppm CO ₂ bewässert	73,4	51,6
	550 ppm CO ₂ Trockenstress	76,3	48,7
	380 ppm CO ₂ bewässert	74,8	51,3
	380 ppm CO ₂ Trockenstress	73,0	45,9

Die mittlere potenzielle Abbaubarkeit der Trockensubstanz nahm mit späterer Ernte zu (Erntezeitpunkte 1 bis 3: 68,3; 72,4 und 74,4%) und differierte zwischen dem höchsten und dem geringsten Wert um 9%-Punkte. Der höchste Wert wurde für die mit 550 ppm CO₂ behandelte Variante bei Trockenstress gemessen. Die effektive Abbaubarkeit der Trockensubstanz bei einer Passagerate von 4% je Stunde lag bei 50,2% und zeigte nur geringe Abweichungen zwischen den drei Erntezeitpunkten. (Erntezeitpunkte 1 bis 3: 50,7; 50,4 und 49,4%). Insgesamt zeigten sich nur geringfügige Effekte der CO₂-Anreicherung auf die Abbaubarkeit der Trockensubstanz von Maissilagen, so dass von keiner nennenswerten Veränderung des Futterwertes auszugehen ist.

Literatur

Flachowsky, G., Schneider, M., Ochrimenko, W. I., Richter, G. H., Löhnert, H.-J. (1988): Methodische Hinweise zur Anwendung der Nylonbeutel-Technik beim Wiederkäuer. Schriftenreihe der Lehrgangseinrichtung für Fütterungsberatung Jena-Remderoda 11:20-26

Naumann, C., Bassler, R. (1993): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Ørskov, E.R., McDonald, I. (1979): Estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. 92:499-503

Weigel, H.J., Manderscheid, R. (2005): CO₂ enrichment effects on forage and grain nitrogen concentration of pasture and cereal plant species. J. Crop Improvement 13:73-89

Relative Vorzüglichkeit von Mais und Gras unter Berücksichtigung von Klimawandel

Relative benefit of maize and grass under conditions of climatic change

Friedhelm Taube und Antje Herrmann

Christian-Albrechts-Universität, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abt. Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, Hermann-Rodewald Str. 9, 24118 Kiel, ftaube@email.uni-kiel.de

Zusammenfassung

Der in den letzten Jahren zu beobachtende betriebliche und regionale Strukturwandel der Milchproduktion hat eine drastische Änderung der Flächennutzung in intensiven Futterbauregionen zur Folge, mit einer Zunahme des Maisanbaus und einem Rückgang der Dauergrünlandnutzung. Dies wird noch verstärkt durch die Entwicklung auf dem Biogassektor, welche in einigen Regionen zu einer weiteren Verdrängung und Umbruch von Dauergrünland geführt hat. Es ist somit zu hinterfragen, ob die vielerorts eingefahrene Strategie „Mais statt Gras“ langfristig tragbar ist. Konfliktpotential besteht insbesondere im Hinblick auf die Umsetzung verschiedener EU-Umweltschutzziele. So ist das im Vergleich zu schnittgenutztem Grünland höhere N-Auswaschungspotential von Silomais kritisch zu sehen bezüglich der EU-Wasserrahmenrichtlinie, und Maisanbau nach Grünlandumbruch steht aufgrund der resultierenden Treibhausgasemission im Widerspruch zu den EU-Klimaschutzziele. Die Vorzüglichkeit von Mais ist unter anderem bedingt durch den in den letzten Jahrzehnten erzielten größeren Zuchtfortschritt. Vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels ist für Mais nach bisherigem Wissensstand jedoch, aufgrund seiner C4-Physiologie, nicht unbedingt von einer Überlegenheit im Vergleich zu C3-Gräsern und Leguminosen auszugehen. Zukünftige Optimierungsstrategien sollten differenziert betrachtet werden. Während absolute Grünlandstandorte zur Wahrung der Ökosystemfunktionen zu schützen sind, stellen Mais-Gras-Fruchtfolgen eine Alternative zur vielerorts üblichen Maismonokultur auf Gunststandorten des Maisanbaus dar.

Schlüsselwörter: Dauergrünland, Silomais, Klimawandel, Umwelteffekte

Abstract

The changes in milk production structure on the farm and regional level caused in recent years a substantial land use change in areas of intensive forage production, with an increase in maize production associated with a decrease of permanent grassland area. This process is boosted by the development in the biogas sector, which in several regions has triggered additional displacement and ploughing of permanent grassland. Thus it has to be challenged if the paradigm ‘maize instead of grass’ is on the long run sustainable. Potential conflicts with the EU environmental protection policy seem immanent. Silage maize, for instance, is

characterized by a higher nitrogen leaching potential compared to cut grassland, which is crucial with respect to the EU water framework directive. Furthermore, maize production after ploughing of grassland will cause high emissions of greenhouse gases, which is contrary to the EU's climate protection policy. The preference for maize over grassland was mainly due to the higher yield progress achieved over the last decades. In view of the predicted climate change however, we may not assume this yield effect in favor of maize to last, especially if we take into account the C4 physiology of maize compared to grasses and legumes. Future optimization strategies need more refined and balanced approaches. Obligatory grassland sites must be protected in order to ensure the beneficial services they provide for the ecosystem. At the same time grass-maize rotations offer an alternative to the common practice of maize monoculture.

Key words: Permanent grassland, silage maize, change of climate, environmental effects

Einleitung

Die Erhaltung von Dauergrünland ist seit 2003 in Deutschland im Rahmen der cross-compliance Regelungen zur guten fachlichen Praxis gesetzlich geregelt. Danach dürfen die Dauergrünlandflächenanteile in den einzelnen Bundesländern gegenüber dem Basisjahr 2003 um nicht mehr als 5% absinken. Wird dieser Wert überschritten, sind die Bundesländer gefordert, Maßnahmen zur Erhaltung von Dauergrünland einzuleiten. Dieser Schwellenwert von 5% wurde in einigen Bundesländern überschritten mit der Folge, dass diese (z.B. Schleswig-Holstein) im Rahmen einer Verordnung ein absolutes Grünlandumbruchverbot ausgesprochen haben. Die Ursache für die erheblichen Verluste an Dauergrünlandflächen in Deutschland (154.000 ha seit 2003, Statistisches Bundesamt) sind im Wesentlichen auf zwei Umstände zurück zu führen. Zum einen steigt mit zunehmender Leistung der Milchkuh der Anspruch an hoch qualitatives Grobfutter, der mit Silomais einfacher zu realisieren ist als mit Gärsubstraten vom Grünland, zum anderen hat der Biogasboom in Deutschland zu einer erheblichen Zunahme des Maisanbaus als Gärsubstrat geführt, was insbesondere in den intensiven Futterbauregionen zu einer zusätzlichen Verdrängung von Dauergrünland geführt hat. In Extremfällen in einem Ausmaß, welches auch den Umbruch von absolutem Dauergrünland mit entsprechenden negativen ökologischen Konsequenzen zur Folge hat (SRU, 2007). Der folgende Beitrag soll Argumente aufzeigen, die das bisherige Paradigma „Mais statt Gras“ zugunsten eines neuen Leitbildes „Mais und Gras“ ablösen.

Rahmenbedingungen der Milch- und Biogasproduktion in Deutschland

Verschiedene Studien (z.B. ife, 2008) zeigen an Hand der Milchquoten- Handelstermine in den vergangenen zwei Jahren, dass eine Konzentration der Milchproduktion in den Gunstregionen Norddeutschlands zu beobachten ist, die sich in den kommenden Jahren noch verstärken dürfte. Die obige Studie hat für das Bundesland Schleswig-Holstein ein Wachstumspotential von +65 % Milcherzeugung postuliert, welches allein durch die Vorgaben der Düngeverordnung (170 kg N/ha aus organischen Düngern) limitiert ist. Dagegen wandern Milchquoten aus den typischen Grünlandregionen Süddeutschlands und der Mittelgebirge

weiter ab, was ebenfalls in Verbindung mit ungünstigen Standortverhältnissen für den Maisanbau zu begründen ist. Parallel dazu führt die Novellierung des EEG (Bundesregierung, 2008) mit einer überproportionalen Förderung kleinerer Anlagen und dem Güllebonus dazu, dass insbesondere vor dem Hintergrund niedriger Milcherzeugerpreise die relative Vorzüglichkeit der Biogasproduktion in diesen intensiven Milchvieh-Futterbauregionen weiter steigen wird. Diese strukturellen Rahmenbedingungen haben zu einer deutlichen Änderung der Flächennutzung in den intensiven Futterbauregionen zugunsten des Maisanbaus und zu Ungunsten der Dauergrünlandnutzung geführt.

Konfliktpotentiale Ausdehnung Maisanbau – negative Umwelteffekte

Die oben skizzierten Rahmenbedingungen induzieren einen vermehrten Grünlandumbruch zugunsten eines intensiven Maisanbaus zur Futter- und Energiepflanzenproduktion. Hieraus resultieren Konflikte im Hinblick auf verschiedene europäische Umweltschutzziele. So ist zu konstatieren, dass insbesondere die Ziele der EU Wasserrahmenrichtlinie, die einen „guten ökologischen Zustand“ der Gewässer bis zum Jahr 2015 ausweisen, durch diese Praxis konterkariert werden. Während intensiv durch Schnitt genutztes Dauergrünland geringste Nährstoffverluste je Flächeneinheit über den Pfad Sickerwasser aufweist (Wachendorf et al., 2004), steigen diese unter Mais auch bei bedarfsorientierter Düngung deutlich an (Büchter et al., 2003; Herrmann et al., 2005), wobei insbesondere organische Dünger (Rindergülle; Gärsubstrate) aufgrund verstärkter Mineralisationsprozesse in Zeiten geringer Nährstoffaufnahme durch den Mais (Spätsommer/Herbst) als problematisch einzustufen sind. Daneben ergeben sich Konflikte in Bezug auf die CO₂-Freisetzung aus dem Boden unter Dauergrünlandflächen nach einem Umbruch. In der internationalen Literatur werden hierzu je nach Humusgehalt unter Grünland Werte in einer Größenordnung von bis zu 1,7 t C pro ha und Jahr (Dawson and Smith, 2007) angegeben, für Deutschland liegen diesbezüglich vergleichsweise wenige belastbare Daten vor. Schließlich führt eine dem Dauergrünlandumbruch folgende Silomaismonokultur zu einem zusätzlich Abbau an organischer Bodensubstanz, da selbst eine Rückführung organischer Dünger in Form von Gülle bzw. Gärresten nicht ausreicht, um eine ausgeglichene Humusbilanz zu gewährleisten (Vertes et al., 2007). Damit werden neben den Zielen der EU-Wasserrahmenrichtlinie auch die nationalen Ziele zur Reduktion klimarelevanter Gase durch großflächigen Grünlandumbruch gefährdet. Gerade die staatlich geförderte Erzeugung nachwachsender Rohstoffe wie Biogas mit dem übergeordneten Ziel der Reduktion klimarelevanter Gase wird somit in der Kombination Grünlandumbruch – Maismonokultur geradezu zur Farce.

Zuchtfortschritte Mais und Gras

Die hohe relative Vorzüglichkeit des Maisanbaus wird immer wieder mit den Zuchtfortschritten für diese Kulturpflanze in den vergangenen Jahrzehnten in Verbindung gebracht. So weisen verschiedene Autoren für die vergangenen Dekaden den Mais als die Kulturpflanze mit den höchsten Ertragszuwächsen seit den 1950er Jahren aus. Eine genauere Analyse der zur Verfügung stehenden Literatur in Europa wie in den USA zeigt jedoch, dass eine deutliche Differenzierung des Zuchtfortschrittes im Hinblick auf Ertrag einerseits und Futterqualität

andererseits geboten ist. Arbeiten von Lauer et al. (2001) zeigen deutliche lineare Ertragsteigerungen beim Vergleich genetischen Materials, welches in den Dekaden seit den 1930er Jahren zugelassen wurde, dieser Ertragszuwachs ist jedoch nahezu ausschließlich über höhere Kolbenerträge zu erklären, während die Restpflanzenerträge nur marginal angestiegen sind. Die Futterqualität, ausgedrückt als in vitro Verdaulichkeit (DOM) der organischen Masse ist dagegen über einen Zeitraum von mehr als 60 Jahren nur um etwa 3 % absolut angestiegen. Barriere et al. (2003) zeigen für europäische Hybride ebenfalls nur einen sehr begrenzten Zuchtfortschritt für das Merkmal DOM und Kruse et al. (2008a, b) weisen ebenfalls für aktuelle Maishybriden gleicher Reifegruppe, aber verschiedenster morphologischer Ausprägung („stay green-“, „dry down-“, Körner-, Restpflanzentypen) keine relevanten Qualitätsunterschiede aus. Darüber hinaus ist zu konstatieren, dass die dokumentierten Ertragszuwächse in den letzten 25 Jahren in Deutschland bereits durch den laufenden Klimawandel beeinflusst werden. Insbesondere die steigenden Tagesdurchschnittstemperaturen in der Vegetationszeit des Maises bringen die C4-Pflanze Mais gegenüber C3-Pflanzen in einen Konkurrenzvorteil. So zeigen Modellsimulationen von Hermann et al. (2004), dass der Klimawandeleffekt der vergangenen 25 Jahre den tatsächlichen Zuchtfortschritt deutlich überlagert.

Die Erfassung des Zuchtfortschrittes bei Futtergräsern gestaltet sich deutlich schwieriger, entsprechend sind die Quellen hierzu begrenzter. Zurückzuführen ist dies vor allem auf die Tatsache, dass die Sortenprüfungen z.B. für die wichtigste Kulturart des Dauergrünlandes, das Deutsche Weidelgras, in den vergangenen Jahrzehnten mehrfach modifiziert wurden und damit hinsichtlich Nutzungszeitpunkt/-häufigkeit und N-Düngungsniveau dem Wandel in der landwirtschaftlichen Praxis Rechnung trugen. Entsprechend sind die in der Literatur dokumentierten Zuchtfortschritte für das Merkmal Ertrag vergleichsweise gering ausgeprägt. Je nach Autor variieren sie zwischen 2 und 6% je Dekade (Sodin, 1991; Wilkins and Humphreys, 2003; Wilkins and Lovatt, 2004). Hingegen wurden erhebliche Fortschritte bezüglich des sekundären Merkmals Krankheitsresistenz insbesondere im Bereich der Rostresistenz erreicht (Reheul and Ghesquière, 1996). Neuere Untersuchungen zur Ertragsentwicklung von Deutschem Weidelgras auf Basis der Daten des Bundessortenamtes zeigen jedoch, dass in Abhängigkeit von Ploidiestufe und Abreifetyp durchaus ein Zuchtfortschritt in den letzten 25 Jahren zu dokumentieren ist, der insbesondere die tetraploiden Sortentypen betrifft (Salama et al., *subm.*). Auch bezüglich des Merkmals Futterqualität (DOM) zeigt aktuelles Zuchtmaterial des Deutschen Weidelgrases eine erhebliche Variabilität, die allerdings auch innerhalb einer Reifegruppe maßgeblich durch die phänologische Entwicklung der Bestände im Primäraufwuchs gesteuert wird (Salama et al., 2009). Der Zuchtfortschritt bezüglich des energetischen Futterwertes wird darüber hinaus durch neue Entwicklungen zur Schätzung des energetischen Futterwertes maskiert. Während in Deutschland über Jahrzehnte die Weender Futtermittelanalyse die Basis für die Schätzung des energetischen Futterwertes von Mais- und Grassubstraten darstellte, beinhalten aktuelle Ansätze zur Schätzung des energetischen Futterwertes darüber hinaus Parameter der Detergentienanalyse nach van Soest (1967) und die Gasbildung nach dem Hohenheimer Futterwerttest bzw. die enzymlösliche organische Substanz (Hertwig et al., 2007; Losand et al., 2007). Insbesondere junge Grasaufwüchse werden mit diesen neuen Schätzformeln deutlich besser bewertet als auf Basis der vorhergehenden Ansätze mit der Konsequenz, dass hochwertige Grassilagen

des ersten Aufwuchses bei optimalem Schnitttermin durchaus einen energetischen Futterwert von über 6,6 MJ NEL/kg TM realisieren und damit einer guten Maissilage mehr als ebenbürtig sind.

Einfluss des Klimawandels auf Leistungsparameter von Mais und Gras

Die Klimamodelle für Deutschland gehen mit gewissen Unsicherheiten von einer deutlichen Steigerung der CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre, einer Zunahme von Starkregenereignissen, trockeneren Sommern, feuchteren und wärmeren Wintern und einer Verlängerung der Vegetationsperiode aus. Bisher gibt es keine angemessenen multifaktoriellen experimentellen Ansätze, die diese Vielfachwechselwirkungen auf Leistungsparameter von Futterpflanzen langfristig hinreichend genau untersucht hätten. Vielmehr dominieren in der Literatur sogenannte FACE-Experimente (free air CO₂ enrichment), die neben der CO₂-Konzentration einen oder zwei zusätzliche Faktoren variieren. Für Grünland liegt diesbezüglich eine größere Anzahl von Studien aus semi-intensiv bewirtschafteten Graslandökosystemen (Steppenökosysteme) vor (Körner et al., 2007; Morgan et al., 2007), die nur begrenzt auf europäisches Intensivgrünland übertragen werden können. Für Deutsch' Weidelgras-Weißklee Pflanzengesellschaften konnten Hebeisen et al. (1997) zeigen, dass eine Verdopplung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre zu einer erhöhten Biomasseproduktion und vor allem zu erhöhten Leguminosenanteilen und erhöhter N-Fixierungsleistung führten. Entsprechende Versuche für Reinbestände von Deutschem Weidelgras weisen eine positive Wechselwirkung für CO₂ x N-Düngung aus, d.h. dass die Kombination aus erhöhter CO₂-Konzentration in Verbindung mit hoher N-Düngungsintensität eine Ertragsteigerung um über 25% bewirkte (Daepf et al., 2001). Darüber hinaus können Nikolaus und Körner (2004) für Deutsches Weidelgras-Weißkleebestände zeigen, dass eine Verdopplung der CO₂-Konzentration insbesondere unter Trockenstress deutliche Ertragssteigerungen im Vergleich zu aktuellen CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre induzieren, die eine Größenordnung von über 30 Prozent ausmachen. Das bedeutet bei aller Prognoseunsicherheit, dass das Grasland von einer Erhöhung der CO₂-Konzentration selbst unter zunehmendem Trockenstress im Sommer im Ertrag profitieren dürfte und stützt damit die These von Morgan et al. (2004), wonach der Wasser sparende Effekt einer CO₂-Konzentrationserhöhung bedeutender ist als der direkte „Düngungseffekt“.

Bezüglich der Auswirkungen auf die Futterqualität liegen nur sehr wenige Daten vor, die gleichermaßen darauf hindeuten, dass keine Effekte auf Futterwert bestimmende Inhaltsstoffe wie DOM und wasserlösliche Kohlenhydrate zu erwarten sind (Hebeisen et al., 1997).

Für den Silomais zeigen neueste Daten von Weigel (siehe Beitrag in diesem Band), dass ebenfalls signifikante Wechselwirkungen CO₂-Steigerung x Trockenstress für das Merkmal Ertrag abzusichern sind. Allerdings ist davon auszugehen, dass die CO₂-Steigerungseffekte für die C4-Pflanze Mais nicht so stark ausgeprägt sind wie für C3-Gräser, da die aktuelle CO₂-Konzentration in der Atmosphäre bereits nahe am Optimum für C4-Gräser ist. Schließlich zeigen Modellsimulationen von Wienforth (2008), dass trotz der vergleichsweise hohen Wassernutzungseffizienz von Mais das Ertragspotential dieser Kulturart bereits heute erheblich durch Wassermangel in der Hauptwachstumsperiode (Juli/August) eingeschränkt ist.

Ob diese Trockenstress induzierte Begrenzung der Erträge zukünftig durch züchterische Maßnahmen kompensiert werden kann, bleibt abzuwarten.

Zusammenfassend ist somit zu schließen, dass der zu erwartende Klimawandel bei aller begrenzten Prognostizierbarkeit in der Tendenz nicht unbedingt eine eindeutige Überlegenheit des Mais erwarten lässt, da Grünlandgräser bzw. -leguminosen die zu erwartende Verlängerung der effektiven Vegetationsperiode vollständig nutzen können und sensitiver auf CO₂-Steigerungen reagieren.

Optimierungsstrategien

Bevor einzelne Optimierungsstrategien behandelt werden, ist zunächst eine grundsätzliche Einordnung des Dauergrünlandes in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten notwendig. In der deutschsprachigen wissenschaftlichen Grünlandliteratur wird zwischen „absoluten“ und „fakultativen“ Grünlandstandorten unterschieden (Klapp, 1971), eine Terminologie, die in der englischsprachigen Literatur nicht existiert. Absolute Grünlandstandorte sind gekennzeichnet durch nicht vertretbare ökologische und ökonomische Konsequenzen einer Ackernutzung z.B. aufgrund hoher Grundwasserstände, Überschwemmungsgefährdung (Flussniederungen), Bodenkohlenstoffabbau (Anmoor, Moor) und Erosionsgefährdung (Flächen mit entsprechender Hangneigung; Mittelgebirge). Demgegenüber stehen fakultative Grünlandstandorte, welche allein aufgrund einzelbetrieblicher Entscheidungen des Betriebsleiters als Grünland genutzt werden (z.B. hofnahe Weideflächen), jedoch ohne weiteres auch als Ackerland genutzt werden könnten. In diese Kategorie fallen beispielsweise viele Grünlandareale auf den norddeutschen Sanderflächen. Unseres Erachtens sollte die Schutzwürdigkeit von Grünlandflächen wesentlich stärker an dieser Systematik ausgerichtet werden, was derzeit im Rahmen von cross-compliance nicht der Fall ist. Während eine Erhaltung des Dauergrünlands auf absoluten Grünlandstandorten zur Wahrung der Ökosystemfunktionen unumstritten ist, konzentrieren sich Optimierungsstrategien mithin auf fakultative Grünlandstandorte, die intensiv bewirtschaftet werden. Auf diesen Standorten ist die relative Standortvorzüglichkeit im Hinblick auf Ertrag und Futterqualität von Mais und Gras maßgebend. So zeigen Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, die Gras- bzw. Kleeegrasmischungen und Mais auf Marsch- und Geeststandorten verglichen haben (Tabelle 1), dass der Mais auf den Sanderflächen eindeutig überlegen ist, während Gras- bzw. Kleeegrasmischungen auf Marschstandorten uneingeschränkt konkurrenzfähig sind.

Tabelle 1: Relative Standortvorzüglichkeit von Mais und Grünland im Mittel der Jahre 2006-2008 (Benke, 2009).

	Ertrag (t TM ha ⁻¹)	
	Mais	Grünland
Marsch	19,8	19,8
Geest	18,7	14,3

Diese Ertragsüberlegenheit des Mais auf Gunststandorten hat vielerorts zum Einsatz von Maismonokulturen geführt (Miehe, 2008). Dies ist aus mehreren Gründen kritisch zu beurteilen. Zum einen führt eine Maismonokultur trotz der Rückführung organischer Dünger aus der Tierhaltung (Gülle) in der Regel zu einer Abnahme der organischen Bodensubstanz. Eine langjährige Versuchsreihe von Vertes et al. (2007), die den Effekt unterschiedlicher Anteile von Mais und Gras in der Fruchtfolge auf den Gehalt an organischer Bodensubstanz untersucht hat (Abb. 1), zeigt eindeutig, dass nur mit signifikanten Anteilen von Gras in der Fruchtfolge die Bodenfruchtbarkeit im Sinne der Erhaltung der organischen Bodensubstanz zu erhalten ist, während dieser Wert bei Maismonokultur über einen Versuchszeitraum von 27 Jahren um etwa 30 Prozent absinkt. Zum anderen zeigen eigene Untersuchungen (Volkers et al., 2004), dass die Ertragsleistung, die N-Verwertungseffizienz und die N-Bilanz von Mais bei einem Anbau in Fruchtfolgen im Vergleich zum Monokulturanbau deutlich gesteigert werden (Abb. 2) und optimale Rohproteingehalte mit geringerem N-Düngereinsatz erzielt werden können (Herrmann und Taube, 2004, 2005). Dies sind eindeutige Befunde, die für eine gemeinsame Nutzung von Mais und Gras auf fakultativen Grünlandstandorten im Rahmen einer Fruchtfolge sprechen.

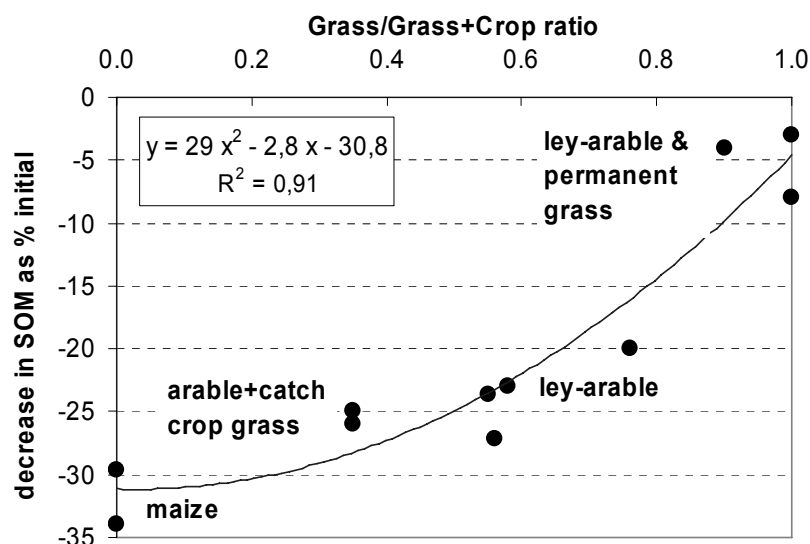


Abbildung 1: Beziehung zwischen organischer Masse des Bodens (SOM) und dem Anteil Gras in Ackergrasfruchtfolgen (Vertès et al., 2005).

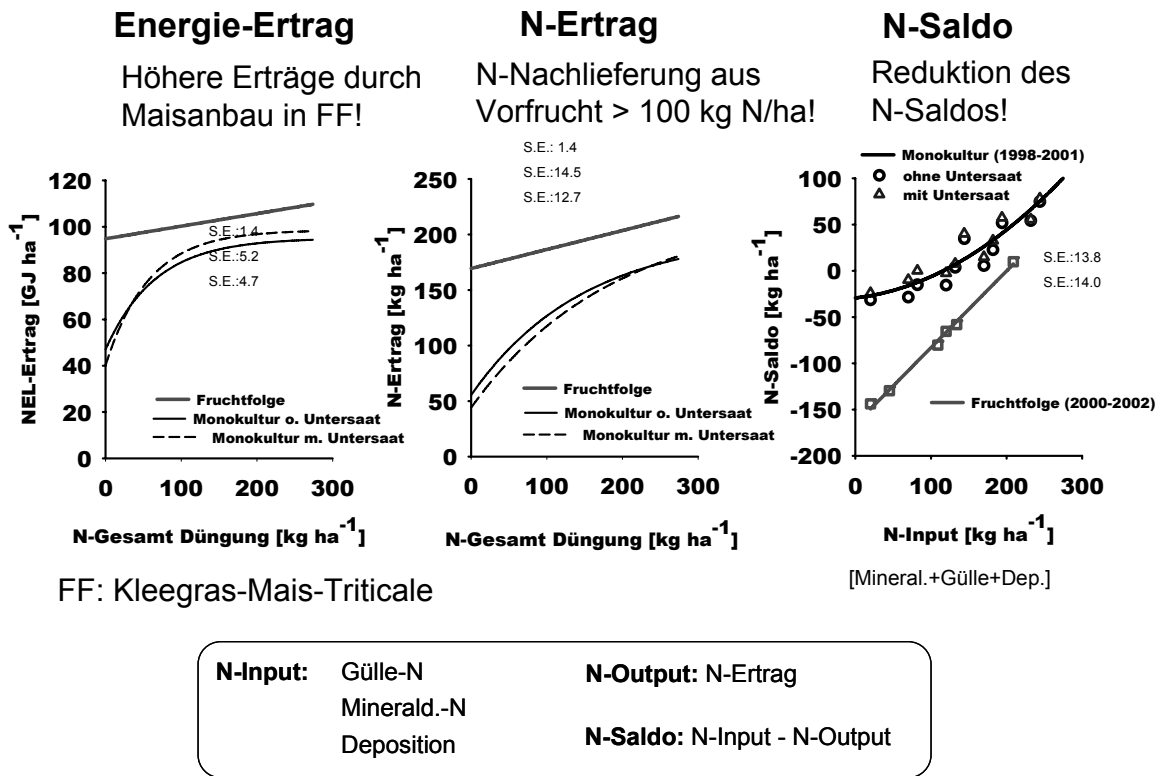


Abbildung 2: Vergleich Silomais in Fruchtfolge zu Maismonokultur (Volkers, 2004).

Forschungsbedarf

Futterqualität Gras und Mais

Die Ergebnisse in Abschnitt 3 haben gezeigt, dass der Zuchtfortschritt für das Merkmal Ertrag deutlich stärker ausgeprägt ist als für den Merkmalskomplex Futterqualität. Eine Ursache für diese Diskrepanz dürfte darin zu suchen sein, dass die Charakterisierung des Merkmals Futterqualität für den Pflanzenzüchter zumeist bei vergleichsweise einfachen Parametern wie dem ADF-Gehalt oder der in vitro Verdaulichkeit endet. Mit zunehmender Einzeltierleistung der Milchkuh spielt jedoch die Abbaukinetik im Hinblick auf die Kohlenhydrat- und Stickstoffverbindungen im Pansen und die daraus resultierende Nährstoffverfügbarkeit im Dünndarm eine zunehmende Rolle, welche mit den obigen Ansätzen nicht ausreichend genau abgebildet werden kann. Daraus ist abzuleiten, dass die Formulierung von Ideotypen von Futterpflanzen aus Sicht der Tierernährung einen Ansatz darstellt, um seitens des Futterbaus bzw. der Pflanzenzüchtung Selektionsmerkmale zu identifizieren, die diesen spezifischen Ansprüchen der Milchkuh bezüglich einer Erhöhung der Nährstoffeffizienz entsprechen. Auf dieser Basis ist die Prozesskette von der Pflanzenbauforschung (Morphologie Pflanze) über die Konservierung, die Futteraufnahme, bis zur Abbaukinetik abzubilden. Derartige integrierende Ansätze fehlen bisher.

Systemanalyse Milchproduktion

Die mit der Produktion einer Einheit Milch/Fleisch verbundenen Emissionen rücken zunehmend in den Mittelpunkt des Interesses (Umwelteffizienz). Die Erfassung des „carbon footprint“ bzw. „ökologischen Rucksacks“ je kg FCM in Abhängigkeit vom Futter- bzw. Milchproduktionssystem ist seit einigen Jahren Forschungsgegenstand mehrerer Gruppen weltweit (Kelm et al., 2004; Sedorovich et al., 2007; Basset-Mens et al., 2008; Dawn et al., 2009). Eine Studie aus dem Nordosten der USA, die intensive ganzjährige Stallhaltungssysteme auf der Grundfutterbasis Maissilage/Luzerne mit Weidegang auf Dauergrünland vergleicht, kommt zu dem Ergebnis, dass der „carbon footprint“ je kg Milch unter Berücksichtigung der Kohlenstoffakkumulation unter Dauergrünland für das System Weide deutlich günstiger zu beurteilen ist (Sedorovich et al., 2007). Derartige Studien fehlen in Deutschland für relevante Milchproduktionssysteme bisher vollständig, wären aber notwendig unter anderem, um den politischen Akteuren im Lande Hinweise auf umwelteffiziente Landnutzungssysteme zu geben.

Eine solche Analyse endet konsequenterweise in der Fragestellung, ob unter Berücksichtigung der Umwelteffizienz das derzeitige Paradigma der Milchproduktion in Deutschland „high input – high output“ mit der Ursache-Wirkungs-Kaskade - Maximierung der Einzeltierleistung > ganzjährige Stallhaltung > Probleme Tiergesundheit > hohe Remontierungsrate > hohe Maisanteile in der Ration > Verdrängung der Konkurrenzfähigkeit des Dauergrünlands für die Milchproduktion - in Frage zu stellen ist. So zeigen neueste Arbeiten von Susenbeth (2009), dass bezüglich der Nährstoffnutzungseffizienz maximale Einzeltierleistungen jenseits der 10.000 kg FCM nicht dem Optimum entsprechen, sondern dass dazu Leistungen von 8000-9000 kg FCM/Kuh/Jahr ausreichend sind, eine Größenordnung, die mit dem alleinigen Grundfutter Gras erreicht werden kann.

Schließlich ist bei der oben formulierten grundsätzlichen Fragestellung auch eine agrarische Komponente von Relevanz: Ist es vor dem Hintergrund der Maxime „Sicherung der Welternährung“ ethisch vertretbar, das Steppentier und den Wiederkäuer Milchrind zunehmend aus „seinem angestammten Agrarökosystem“, dem Dauergrünland, zu verdrängen und die originäre Nahrungsgrundlage Gras durch Futterkomponenten vom Acker, auf dem alternativ pflanzliche Nahrungsmittel für den Menschen erzeugt werden könnten, zu ersetzen? Damit wird die Milchkuh zum Nahrungsmittelkonkurrenten des Menschen, was bei low-input Milchproduktionssystemen auf absoluten Grünlandstandorten nicht der Fall ist. Wird zudem noch die Tatsache in die Überlegungen einbezogen, dass Einzeltierleistungen jenseits der 10.000 kg FCM einen überproportional zunehmenden Anspruch an hochwertigsten Proteinkomponenten wie Sojaschrot nach sich ziehen, so ist bei globaler Betrachtung ein direkter Zusammenhang zwischen dem Verlust von typischen Graslandökosystemen wie der Savanne und der Pampa in Südamerika zum Zwecke des Anbaus von Soja für den Export nach Europa und unserem aktuellen Paradigma der Milchproduktion herzustellen. All dies sind Fragen, die in transdisziplinären Ansätzen einer Bearbeitung und Bewertung bedürfen.

Schlussfolgerungen

Die dargelegten Ausführungen zeigen, dass nur Mais und Gras im System intensiver Futterbau/Milcherzeugung die Ansprüche an agronomische Leistungen und gleichermaßen an Ökosystemleistungen erfüllen können.

Literatur

- Barrière, Y., Guillet, C., Goffner, D., Pichon, M. (2003): Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. A review. *Animal Research* 52:193-228
- Basset-Mens, C., Ledgard, S., Boyes, M. (2008): Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *J. of Ecol. Econom.* 68:1615-1625
- Benke, M. (2009): persönliche Mitteilung
- Büchter, M., Wachendorf, M., Volkens, K., Taube, F. (2003): Silage maize production on sandy soils in northern Germany: impact of understorey, slurry and mineral N fertilizer on nitrate leaching. *Pflanzenbauwissenschaften* 2:64–74
- Bundesregierung (2008): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften. *Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil 1 Nr 49, ausgegeben zu Bonn am 31. Oktober 2008*
- Dawn, C., Rotz, C.A., Richard, T. (2009): Estimated greenhouse gas emissions from a representative Northeastern dairy farm. *J. of Environ. Quality* (in press)
- Dawson, J.J.C., Smith, P. (2007): Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. *Sci. of the Total Environ.* 382:165-190
- Hebeisen, T., Lüscher, A., Zanetti, S., Fischer, B.U., Hartwig, U.A., Frehner, M., Hendrey, G.R., Blum, H., Nösberger, J. (1997): Growth response of *Trifolium repens* L. and *Lolium perenne* L. as monocultures and bi-species mixture to free air CO₂ enrichment and management. *Global Change Biology* 3:149–160
- Herrmann, A., Kersebaum, K.C., Taube, F. (2005): Nitrogen fluxes in silage maize production: relationship between nitrogen content at silage maturity and nitrate concentration in soil leachate. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 73: 59-74
- Herrmann, A., Kornher, A., Taube, F. (2004): Ertragsentwicklung von Silomais und Deutschem Weidelgras – Zuchtfortschritt oder Klimawandel? *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 16:99-100
- Herrmann, A., Taube, F. (2004): The range of the critical Nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. *Agronomy Journal* 96:1131-1138.
- Herrmann, A., Taube, F. (2005): Nitrogen concentration at maturity – an indicator of nitrogen status in forage maize. *Agronomy Journal* 97:201-210.
- Hertwig, F., Greef, J., Jilg, T., Kaiser, E., Losand, B., Meyer, U., Pries, M., Rodehutschord, M., Schwarz, F.J., Spiekers, H., Südekum, K.-H., Weißbach, F. (2007): Schätzung des Energiegehaltes von Maisernteprodukten – Bericht zum Stand neuer Ableitungen. *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung* 28./29.03.2007: 110-111

- Informations- und Forschungszentrum der Ernährungswirtschaft, ife (2008): Milcherzeugungspotential in Schleswig-Holstein. ife Informations- und Forschungszentrum für Ernährungswirtschaft e.V. Kiel
- Kelm, M., Wachendorf, M., Trott, H., Volkens, K., Taube, F. (2004): Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. III. Energy efficiency in forage production from grassland and maize for silage. *Grass and Forage Science* 59:69-79
- Klapp, E. (1971): Wiesen und Weiden. 4. Auflage, Parey-Verlag, Berlin/Hamburg
- Körner, C., Morgan, J.A., Norby, R. (2007): CO₂ fertilization: When, where, and how much? In: Canadell, J.G., Pataki, D.E., Pitelka, L.F. (Eds) *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. The IGBP Series. pp 9-22. Springer, Berlin
- Kruse, S., Herrmann, A., Kornher, A., Taube, F. (2008): Evaluation of genotype and environmental variation in fibre content of silage maize using a model-assisted approach. *Europ. J. of Agronomy* 28:210-223
- Kruse, S., Herrmann, A., Kornher, A., Taube, F. (2008): Genotypic and environmental effects on the water-soluble carbohydrate content of forage maize. *Field Crops Research* 106:191-202
- Lauer, J.G., Coors, J.G., Flannery, P.J. (2001): Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. *Crop Science* 41:1449-1455
- Losand, B., Pries, M., Menke, A., Tholen, E., Gruber, L., Hertwig, F., Jilg, T., Kluth, H., Spiekers, H., Steingaß, H., Südekum, K.-H. (2007): Schätzung des Energiegehaltes in Grasprodukten – Bericht zum Stand neuer Ableitungen. *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung* 28./29.03.2007:105-109
- Miehe, A.K. (2008): Biogaserzeugung aus landwirtschaftlichen Rohstoffen – Monitoring des Substratanbaus und der Gärrestverwertung in Schleswig-Holstein. Masterarbeit, Inst. für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, CAU Kiel
- Morgan, J.A., Milchunas, D.G., LeCain, D.R., West, M.S., Mosier, A. (2007): Carbon dioxide enrichment alters plant community structure and accelerates shrub growth in the shortgrass steppe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:14724-14729
- Morgen, J.A., Pataki, D.E., Körner, C., Clark, H., Del Grosso, S.J., Grünzweig, J.M., Knapp, A.K., Mosier, A.R., Newton, P.C.D., Niklaus, P.A., Nippert, J.B., Nowak, R.S., Parton, W.J., Polley, H.W., Shaw, M.R. (2004): Water relations in grassland and desert ecosystems exposed to elevated atmospheric CO₂. *Oecologia* 140:11-25
- Reheul, D., Ghesquière, A. (1996): Breeding perennial ryegrass with better crown rust resistance. *Plant Breeding* 115:165-169
- Sachverständigenrat für Umweltfragen, SRU (2007): Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten. Erich Schmidt Verlag
- Salama, H., Lösche, M., Herrman, A., Gierus, M., Taube, F. (2009): Eine vereinfachte Methode zur Charakterisierung der phänologischen Entwicklung von Deutsch Weidelgrasbeständen und Quantifizierung der Beziehung zu Futterqualitätsparametern. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band 10* (im Druck)
- Salama, H., Lösche, M., Herrman, A., Gierus, M., Taube, F. (2009): Effect of ploidy level on yield and its progress of perennial grasses in Germany (submitted)
- Sedorovich, D.M., Rotz, C.A., Richard, T.L. (2007): Greenhouse gas emissions from dairy farms. *ASAE Annual Meeting* 074096

- Sodin, S. (1991): Achievements in fodder crops breeding in Nordic Europe. p. 7-12. In APM Den Nijs and A. Elgersma (Ed.) Proceedings of the 16th Meeting of the Fodder Crops Section of Eucarpia. Wageningen, the Netherlands, Pudoc
- Susenbeth, A. (2009): Effizientere Energie- und Nährstoffverwertung durch Tiere mit höherem genetischen Leistungspotential? Schriftenreihe zur 59. Öffentlichen Hochschultagung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der CAU Kiel (in Druck)
- Van Soest, P.J., Wine, R.H. (1967): The use of detergents in analysis of fibrous feeds: IV. Determination of plant cell wall constituents, J. of AOAC International 50:50–55
- Vertès, F., Hatch, D., Velthof, G., Taube, F., Laurent, F., Loiseau, P., Recous, S. (2007): Short-term and cumulative effects of grassland cultivation on nitrogen and carbon cycling in ley-arable rotations. Grassland Science in Europe 12:227-246
- Vertès, F., Menasseri, S., Morvan, T. (2005): Long term effect of the length of the grass period in ley-arable rotations on the quality of soil organic matter. In: J.J. Schröder and J.J. Neeteson (Eds) "14th N workshop" 116: 219-222. PRI, Maastricht, NL
- Volkers, K., Jovanovic, N., Wachendorf, M., Taube, F. (2002): Management of forage maize for reduced nitrogen surpluses – results from an integrated research project. Grassland Science in Europe 7: 744-745
- Volkers, K. (2004): Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Intensität auf Leistung und Stickstoff-Bilanz von Silomais in Monokultur sowie einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge auf sandigen Böden Norddeutschlands. Dissertation, CAU Kiel
- Wachendorf, M., Büchter, M., Trott, H., Taube, F. (2004): Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. Grass and Forage Science 59:56-68
- Wienforth, B. (2008): Standortgerechte Wahl von Energiepflanzen für die Biogasproduktion: Modellgestützte Analyse des Trockenstresseinflusses auf das Ertragspotenzial von Silomais. In: Kage et al. (Eds.) Modellierung des Systems Nutzpflanze-Boden – Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, 26.-27.2.2009, Kiel (in Druck)
- Wilkins, P.W., Humphrey, M.O. (2003): Progress in breeding perennial forage grasses for temperate agriculture. The J. of Agric. Sci. 140:129–150
- Wilkins, P., Lovatt, A. (2004): Recent gains from forage grass breeding. Iger Innovations. In: www.aber.ac.uk/en/media/04ch3.pdf

Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung der Silomaisqualität

Breeding improvements of silage maize quality

Christoph Mainka

Syngenta Seeds GmbH, Zum Knipkenbach 20, 32107 Bad Salzuflen

Zusammenfassung

Die Züchtung von hoch verdaulichen Maissorten ist ein vielseitiger Prozess. Da der Masseertrag eine größere genetische Variation hat als die Qualitätsparameter, ist er das wichtigste Merkmal zur Sortenzulassung in den nationalen Sortenämtern, die wiederum die Grundlage für jeden kommerziellen Erfolg ist. Auch fehlende Standfestigkeit und Anfälligkeit gegenüber Krankheiten kann die Zulassung verhindern. Darüber hinaus werden Biogas - Sorten ohne jeden (Futter-) Qualitätsanspruch als Massentypen akzeptiert.

Die Verbesserung der Futterqualität zielt auf die beiden Faktoren „Stärkeproduktion“ und „Restpflanzenverdaulichkeit“ ab. Letztere wird durch die Lignifizierung der der Strukturkohlenhydrate begrenzt. Es werden Verbesserungs-Strategien aufgezeigt, basierend auf klassischen Analysemethoden im Zuchtprozess sowie Marker-basierte Verfahren.

Schlüsselwörter: Silomais, Maiszüchtung, Futterwert

Abstract

Breeding for high digestible silage maize varieties is a complex task. As silage yield has the biggest genetic variation, it's the most important trait for variety registration, which is the basis for any commercial success. Also missing lodging resistance and disease tolerance can prevent registration. Biogas varieties are accepted to be only mass-yield oriented, without quality approach.

The improvement of feeding quality will target to the two factors "starch production" and "stover digestibility", which is determined by lignifications of the structural carbohydrates. Improvement-strategies are shown to obtain better feeding values, using classical analysis methods and marker approaches.

Key words: Silage maize, maize breeding, feeding quality

Einleitung

Die Züchtung von Maissorten zur Wiederkäuerfütterung ist eine vielseitige Aufgabe, die sich nicht auf die Futterwertparameter beschränken kann. Das deutsche wie auch das europäische Saatgutverkehrsgesetz fordert für die Zulassung eine Sortenprüfung. Dabei muss ein Sortenkandidat in wenigstens einem wertbestimmenden Merkmal allen bisherigen Sorten überlegen

sein. Die Sortenentscheidung hängt – zumindest nach dem ersten Prüfungsjahr – stark vom Ertrag ab, der meist in einem Indexwert das wichtigste wertbestimmende Merkmal darstellt. Andere Faktoren im Index sind Reife, Futterwert und Lagerneigung. Andere Merkmale können Ausschlußkriterien sein, wie die Anfälligkeit gegen Krankheiten und die Lagerneigung. Nur wenn sich in der Summe der Eigenschaften eine Verbesserung gegenüber bekannten Sorten ergibt, passiert der Kandidat die Zulassung und darf als Sorte vermarktet werden.

Das Saatgutverkehrsgesetz setzt für den Verkauf von Saatgut eine Sortenzulassung in einem europäischen Land voraus. Ohne diese Zulassung kommt die Sorte nicht beim Landwirt bzw. bei dessen Wiederkäuer an. Daher ist die Sortenzulassung letztlich Grundlage für die ökonomische Existenz einer Saatzuchtfirma. In den Zuchtprogrammen müssen also Strategien entwickelt werden, die zur Zulassung von Sorten führen.

Für die Vermarktung ist es wichtig, dass die Sorte zu akzeptablen Kosten produzierbar ist. Bei Einfachhybriden wird das kommerzielle Hybridsaatgut mit Inzuchtlinien produziert, mit allen bekannten Problemen: Saatgutpotential der Mutterlinien und Pollenpotential der Vaterlinien. Dreiweg-Hybriden erleichtern zwar die Produktion, da hier das Saatgut bereits auf Hybriden produziert wird. Allerdings ist es schwieriger, Dreiwegsorten mit Spitzenleistung zu finden, da diese nicht wie Einfachhybriden aus einem einheitlichen Genotyp bestehen.

Problemstellung

Die nachfolgend gezeigten Daten stammen aus einem Züchtungsexperiment, das 2008 im Syngenta Netzwerk in Frankreich, den Niederlanden, Deutschland und Polen geprüft wurde. Es wurde in 18 m² Parzellen angebaut. Die Verarbeitung der Proben erfolgte in der Station Wadersloh. Sie wurden analysiert auf Trockenmasse (Trockenschrank 70°C) und Futterwertparameter (NIRS, Kalibrierung der VDLUFA).

Für den Züchter, der unter dem Druck steht, Sorten zuzulassen, ist das Hauptargument nach wie vor der Ertrag einer Sorte. In Abb. 1 ist die Variation der Merkmale grafisch dargestellt.

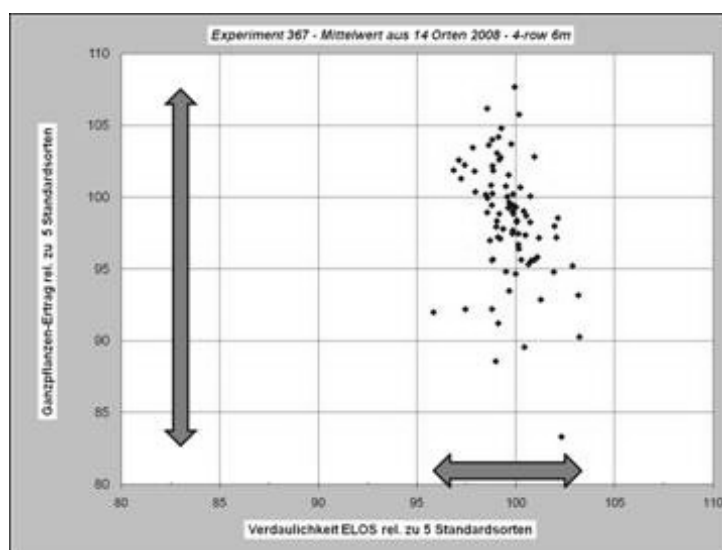


Abbildung 1: Genotypische Variation von Ganzpflanzenertrag und Verdaulichkeit (Exp. 367, 14 Orte 2008)

Dabei wurden die Ertrags- und Verdaulichkeitsdaten relativ zum Mittelwert der Standardsorten berechnet, um die Variation der Merkmale zu verdeutlichen. Im Versuch 367 zeigt der Tim-Ertrag deutlich höhere genotypische Variation als die Verdaulichkeit.

Wie aus Abb. 2 ersichtlich, ist die Konsequenz, daß die Merkmale „Trockenmassenertrag“ und „verdaulicher Ertrag“ hoch korreliert sind, in diesem Versuch mit $R^2=0,9$ (vgl Abb. 2). Ein Zuchtunternehmen hat demnach mit der Selektion auf Trockenmasseertrag bereits gute Aussichten auf Sortenzulassung.

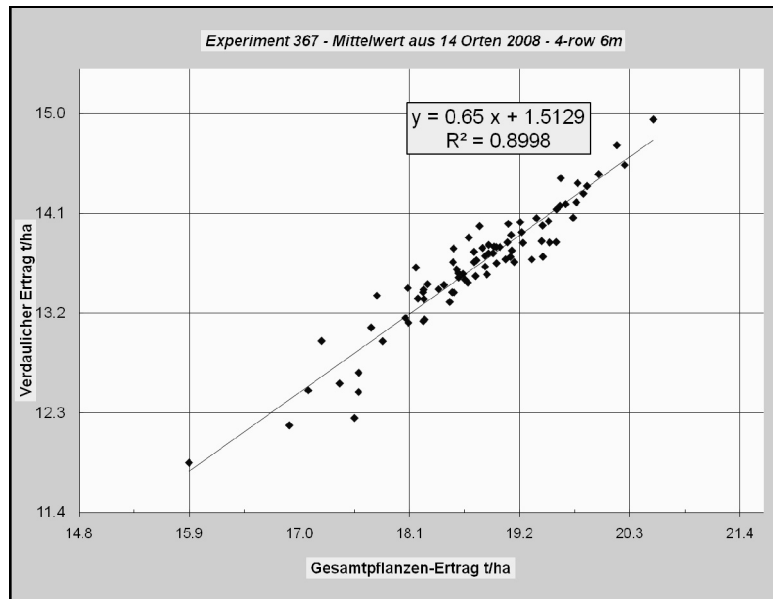


Abbildung 2: Ganzpflanzenertrag und Ertrag an verdaulicher Trockenmasse (Exp. 367, Mittelwert aus 14 Orten 2008)

Darüber hinaus hat auch der sprunghafte Anstieg der Biogas-Flächen in den vergangenen Jahren zu neuen Sortentypen geführt, die der längeren Verweildauer im Biogas-Reaktor entsprechend auf Massenertrag gezüchtet sind. Da der „landeskulturelle Wert“ anhand der Biogas-Nutzung nachgewiesen werden kann, läßt das Bundessortenamt diese Sorten trotz geringem Stärkegehalt zu, wie der Auszug aus der Beschreibenden Sortenliste zeigt.

Sortenbezeichnung	Kennnummer	Jahr der Zulassung	Reifegruppe	Siloreifezahl	Zeitpunkt weibliche Blüte	Pflanzenlänge	Kälteempfindlichkeit i.d. Jugend	Lagerneigung	Bestockung	Abreife grad der Blätter	Gesamt trockenmasse	Stärkegehalt	Verdaulichkeit
Agro Gas	10873	2007	s	280	7	9	4	4	2	3	9	1	4
Aletico	10304	2006	s	280	6	8	4	5	3	2	9	2	4
Fangio	9366	2004	s	280	7	8	5	3	3	2	7	2	4

Abbildung 3: Auszug aus der Beschreibenden Sortenliste (BSA, 2008)

Die Züchtung auf hohe Verdaulichkeit ist also keine vorrangige ökonomische Notwendigkeit, zu der eine Maiszuchtfirma gezwungen ist, um auf dem Markt bestehen zu können. Der Futterwert stellt vielmehr nach Ertrag und Standfestigkeit einen zusätzlichen Faktor dar.

Aus Sicht der Tierernährung ist das natürlich nicht der Fall – hier ist der Futterwert die zentrale Größe.

Züchterische Ansätze zur Verbesserung des Futterwertes

Die futterwertrelevanten physiologischen Abläufe in einer Maispflanze sind durch die beiden Prozesse Stärkebildung und Zellwandlignifizierung gekennzeichnet.

Abbildung 4 zeigt Trockenmasse- und Stärkegehalte einer Sorte bei Ernte an verschiedenen Versuchsstandorten. Die Sorte hat als „repeated check“ in allen Versuchen gestanden. Jeder Einzelpunkt stellt einen Mittelwert aus mehreren Wiederholungen innerhalb eines Versuchs dar. Die Zahlen an den Datenpunkten stehen für Versuchsstandorte.

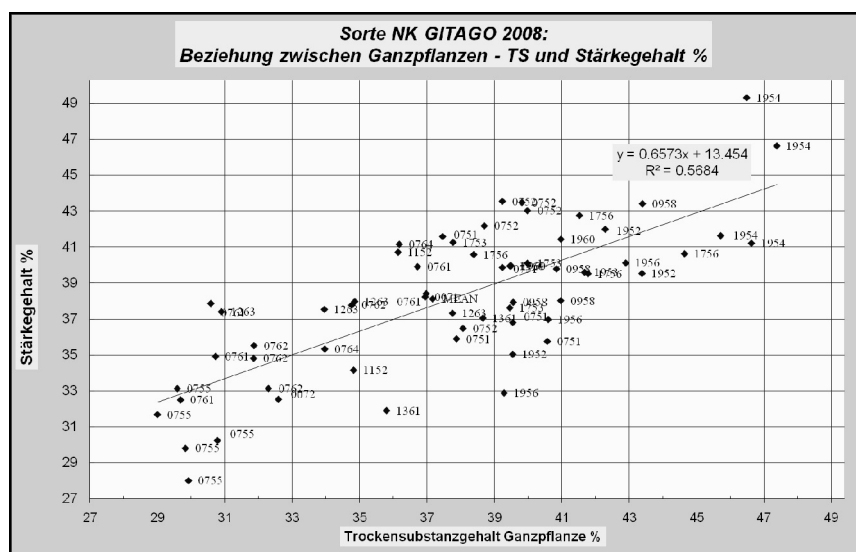


Abbildung 4: Trockensubstanzgehalte und Stärkegehalte einer Sorte über verschiedene Standorte und Experimente 2008

Der Zugewinn an Trockensubstanz wird in einem weiten Bereich von der Stärkeeinlagerung bestimmt ($R^2=0,57$). Der Effekt für die Tierernährung steht nicht in Frage: Stärke erhöht den Energiewert der Pflanzen.

Dem gegenüber steht jedoch wie bei allen Gräsern die zunehmende Lignifizierung der Restpflanze, und damit eine sich verringernde Verdaulichkeit bzw. geringerer Energiebeitrag aus der Restpflanze.

Lignin besteht im Wesentlichen aus drei Bausteinen, dem p-Cumarylalkohol, dem Conyferylalkohol und dem Sinapylalkohol. Diese Verbindungen sind in geringem Anteil in der Pflanze vorhanden. Sie schützen jedoch aufgrund ihrer Bindung an die Matrixkomponenten der Zellwand deren Struktur–Polysaccharide vor bakteriellem Abbau, vergleichbar mit einem Schutzanstrich. Diese Eigenschaft ist für die Krankheitstoleranz der lebenden Maispflanze von großer (positiver) Bedeutung, später in der Silage allerdings auch für die ruminale Abbaubarkeit (negativ). Aus diesem Spannungsfeld ergibt sich, dass einfache Reduzierung

des Ligningehaltes, wie bei der *bm3* Mutation, wenig Erfolg verspricht, da diesen Sorten agronomische Grenzen gesetzt sind. Es muss daher bei der züchterischen Verbesserung der Restpflanze auch darum gehen, die Struktur des Lignins zu verändern. Ziel muss sein, die Pflanzengesundheit und Verdaulichkeit in ein akzeptables Gleichgewicht zu bringen.

Nach Riboulet et al. (2009) erfolgt zur Zeit der Blüte zunächst die Hauptmassenzunahme des Ligningehaltes in der Maispflanze, anschließend eine weitere Vernetzung der Ligninstränge, was zur Reduzierung der Abbaubarkeit führt. Insbesondere der Struktur gebende *p*-Cumarylalkohol, obwohl nur 4% Anteil, und die Ferulate fördern die Bildung von persistenten Sekundärstrukturen.

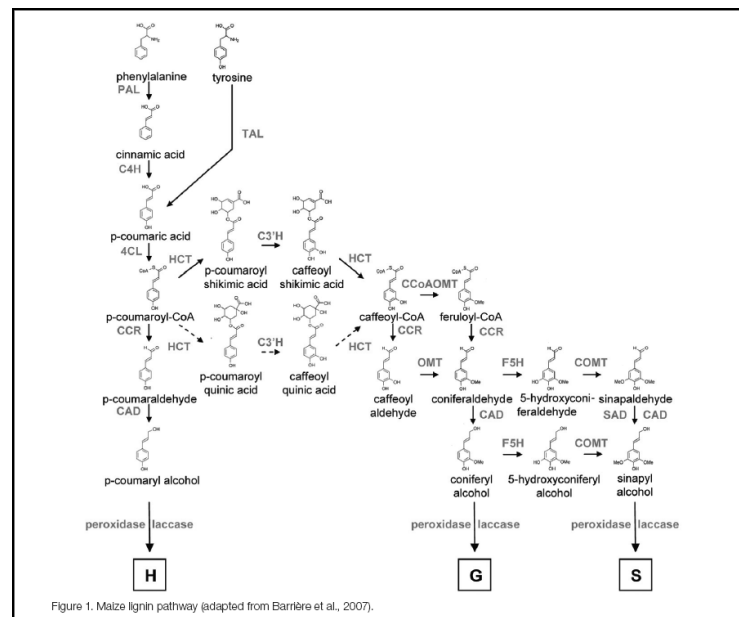


Abbildung 5: Mais-Lignin pathway (Riboulet et al., 2009)

Riboulet et al. (2009) führen aus, dass einzelne Gene zur Regulierung von Phenylpropanoid und deren Expression im Reifeablauf identifiziert wurden, die die Bildung und den Umbau der Ligninfraktionen steuern. Sie schließen daraus, dass diese Gene auch bedeutende Effekte auf den Futterwert haben.

Es ist jedoch schwierig, den Ferulasäuregehalt gezielt über die Aktivität einzelner Gene zu beeinflussen, da einerseits verschiedene Produktionspfade bestehen, andererseits auch die entsprechenden Gensequenzen im Genom mehrfach, also auf verschiedenen Chromosomen vorhanden sind.

Syngenta Seeds hat in einer mehrjährig fortgeführten Untersuchung die Abbaubarkeit von Restpflanzen verschiedener Maissorten an fistulierten Kühen *in sacco* untersuchen lassen. Diese Arbeiten wurden am Institut für Tierernährung der TU Weihenstephan durchgeführt. Der Versuchsaufbau umfasste sechs Sorten und Experimentalhybriden, die in Weihenstephan angebaut und deren Restpflanzen zu drei Ernteterminen (E1 = 15.9., E2 = 23.9. und E4 = 1.10. 2005) beprobt wurden. Die Proben wurden in Nylonbags in den Pansen eingebracht. Es wurden Werte für die ruminale Abbaubarkeit nach 2, 4, 8, 16, 24, 48, 72 und 96 Stunden festgestellt. In der Abbildung 6 sind als Beispiel die Werte einer Sorte wiedergegeben.

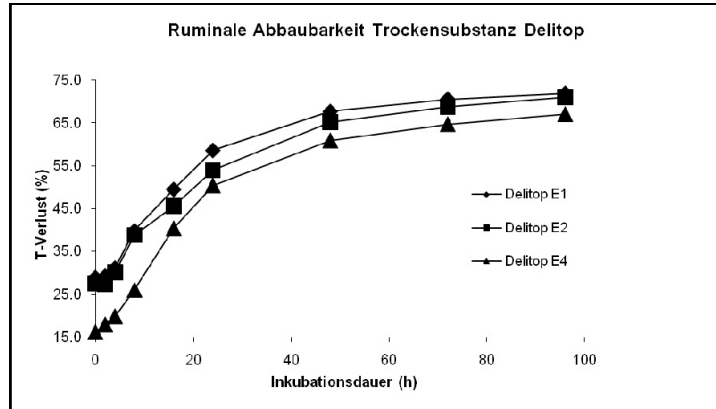


Abbildung 6: Ruminale Abbaubarkeit von Maisrestpflanzen in Abhängigkeit von Erntezeitpunkt und Inkubationszeit, in sacco Methode

Es wird deutlich, dass der ruminale Abbau von den Faktoren Inkubationszeit und Erntezeitpunkt abhängt. Für den hochleistenden Wiederkäuer sind allerdings die ersten 12 Stunden von ausschlaggebender Bedeutung. Hier wird der Einfluss des Erntezeitpunkts besonders deutlich, da die Abbaubarkeit des letzten Erntegutes (17. Oktober geschnitten) deutlich schlechter ist. Das ist auch bei längerer Inkubationszeit ersichtlich. Die Unterschiede bleiben bestehen.

Auch beim Vergleich von Sorteneffekten bleibt dieser Reifeffekt erhalten (vgl. Abb 7-9). Die später geernteten Restpflanzen sind generell schlechter abbaubar. Allerdings werden hier nun Sortenunterschiede deutlich.

Die Restpflanzen der beiden Experimentalhybriden NX1713 und NX1783 sind am ersten und zweiten Erntetermin deutlich besser abbaubar als NX0744. Beim dritten Erntetermin werden diese Unterschiede noch deutlicher. Während NX0744 stark verliert, behalten NX1713 und NX1783 nahezu ihr hohes Niveau. Auch NX0734 zeigte fast keinen Abfall der Abbaubarkeit und bleibt auch bei später Ernte auf gutem Niveau.

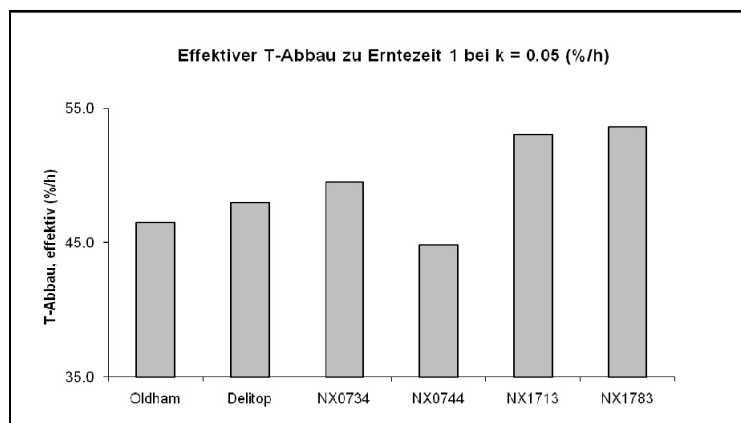


Abbildung 7: Effektiver Trockenmasse-Abbau verschiedenenr Hybriden zu Erntezeit 1 (15.9.2005)

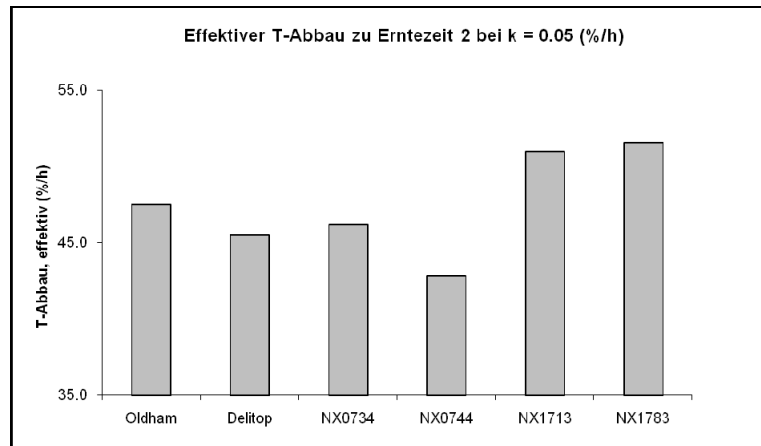


Abbildung 8: Effektiver Trockenmasse-Abbau verschiedener Hybriden zu Erntezeit E2 (23.9. 2005)

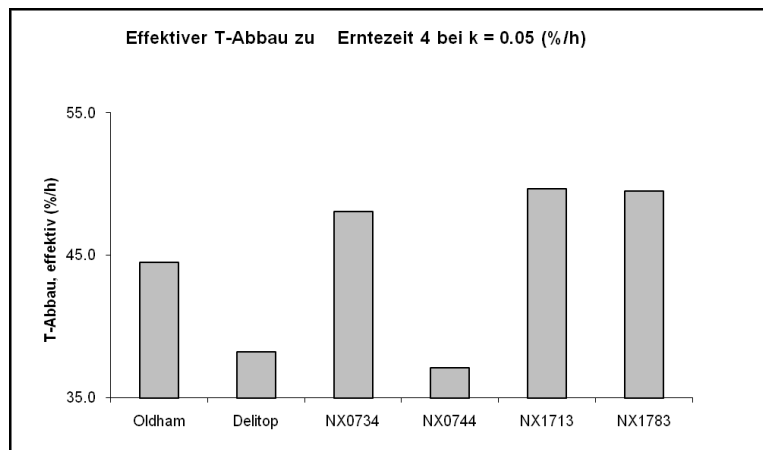


Abbildung 9: Effektiver Trockenmasse-Abbau verschiedener Hybriden zu Erntezeit E4 (1.10. 2005)

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, dass genetische Unterschiede in der Abbaubarkeit der Restpflanze bestehen, die auch während der Abreife der Restpflanzen erhalten bleiben. Diese beiden Prozesse, die während der Abreife der Maispflanze ablaufen, sind vereinfacht in Abb. 10 dargestellt. Der Zunahme von Stärke steht die Lignifizierung der Zellwand gegenüber. In der Summe muss die züchterische Verbesserung der Futterqualität also an den beiden Faktoren Stärkegehalt und Restpflanzenverdaulichkeit ansetzen.

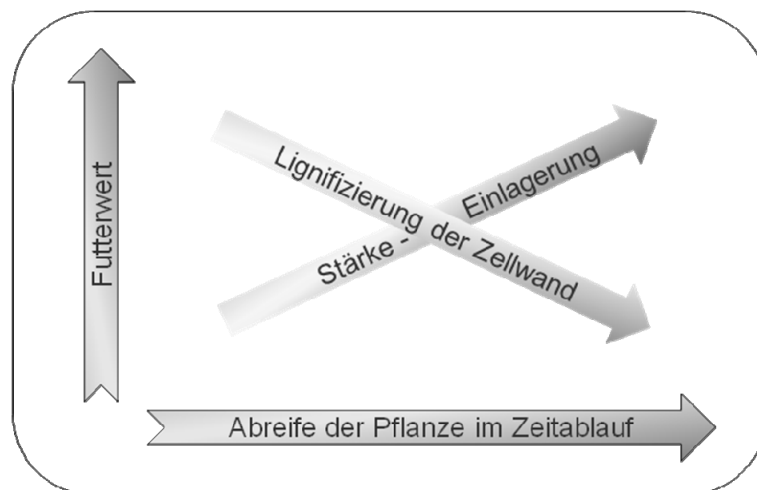


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Tendenz der Futterwert-Faktoren

In einem Zuchtprogramm gehen die Probenzahlen natürlich weit über den mit Fütterungsversuchen abzudeckenden Maßstab hinaus. Daher werden leistungsfähige Schnellmethoden mit hohem Durchsatz eingesetzt.

Drei Ansätze sind dafür denkbar:

- Bestimmung der Verdaulichkeit in den Ertragsversuchen: Um die größte Variation nicht zu verlieren, muss dieses Verfahren bereits in den ersten Topcross Generationen beginnen. Die NIRS-Analyse mit verschiedenen Kalibrationen ist dafür das Standardverfahren. Wie in Abb. 2 dargestellt, ist es aufgrund der größeren Variation des Ertrages notwendig, sowohl auf verdaulichen Ertrag zu selektieren, als auch die bestverdaulichen Genotypen zu identifizieren. Da die Ganzpflanzenverdaulichkeit das Resultat eines dynamischen Prozesses von Stärkebildung und Lignifizierung ist, besteht die Notwendigkeit, verschiedene Reifestadien z.B. über die Analyse unterschiedlicher Standorte abzudecken.
- Indirekte „duale“ Selektion: Körnermaisprüfung in den ersten Topcross-Generationen und separate Analyse der Restpflanzen von Inzuchtlinien aus dem Zuchtgarten: Dieses Verfahren erfasst die im Vergleich zur Ganzpflanze größere Variation der Restpflanze, da auf diese Weise der Einfluss der Stärke eliminiert wird. Allerdings verfälscht auch der große Reifeunterschied der Inzuchtlinien bei zeitgleicher Ernte das Ergebnis. Die Probenahme der Restpflanzen in Zuchtgarten wird darüberhinaus zumeist in Handarbeit erfolgen müssen.
- Die Verwendung molekularer Marker, zur Identifizierung von Genotypen mit Allelen für höheren Futterwert: Relevante Regionen im Genom müssen gefunden werden (QTL). Mit Markern können dann bekannte positive Gensequenzen in neuen Kombinationen erhalten werden. In speziell berechneten Kreuzungen wird dann versucht, die Allele für positive Eigenschaften anzureichern.

Die Entwicklung einer Methode zur Verwendung molekularer Marker soll in einer Kooperation der Syngenta mit der französischen INRA optimiert werden.

In der Station Wadersloh werden in der Zeit von Erntebeginn (Mitte September) bis zur Aussaat des Winterzuchtgartens (Mitte November) jährlich über 30.000 Silomaisproben im „klassischen“ NIRS-Labor analysiert. Die Daten werden neben der klassischen Selektion auch zur Berechnung von „Quantitative Trait Loci“ (QTL) herangezogen.

Eine besondere Herausforderung stellen die unterschiedlichen nationalen Futterbewertungssysteme dar. In Deutschland, Polen und Tschechien steht der Stärkegehalt im Vordergrund. Die Verfahren, die auf künstlichen Enzymen (Cellulase) basieren, bewerten tendenziell den Stärkegehalt besser. In den Niederlanden wird die Pansensaft – Methode verwendet. Die Ergebnisse sind weniger mit dem Stärkegehalt korreliert. Darüber hinaus wird auch die Zellwandverdaulichkeit in direkter Analyse bestimmt. In Dänemark und Großbritannien ist vor allem eine frühe Stärkeeinlagerung gefragt, um ausreichende TS-Gehalte zur Silagebereitung zu erreichen.

Die Verbesserung der Silomaisqualität ist nicht alleiniges Ziel eines Zuchtprogramms, sondern in den Rahmen anderer Anforderungen eingebunden. Die Tierernährung ist nach wie vor gefordert, die Ziele zur Verbesserung des Futterwertes zu definieren. Die Maiszüchtung wird dann im Rahmen der technischen Möglichkeiten weiterhin bemüht sein, diesen Anforderungen gerecht zu werden.

Literatur

Bundessortenamt: Beschreibende Sortenliste 2008. Online Veröffentlichung:
<http://www.bundessortenamt.de/internet30/index.php?id=23>

Riboulet, C., Guillaumie, S., Méchin, V., Bosio, M., Pichon, M., Goffner, D., Lapierre, C., Pollet, B., Lefevre, B., Martinant, J.P., Barriere, Y. (2009): Kinetics of phenylpropanoid gene expression in maize growing internodes: Relationship with cell wall deposition. *Crop Sci.* 49:211-223

Saatgutverkehrsgesetz (SaatG) vom 16. Juli 2004 (BGBl. I S. 1673), zuletzt geändert durch Artikel 192 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)

Lieferbare Sonderhefte / Special issues available

300	Analyse politischer Handlungsoptionen für den Milchmarkt (2006)	12,00 €
301	Hartmut Ramm (2006) Einfluß bodenchemischer Standortfaktoren auf Wachstum und pharmazeutische Qualität von Eichenmisteln (<i>Viscum album</i> auf <i>Quercus robur</i> und <i>petraea</i>)	11,00 €
302	Ute Knierim, Lars Schrader und Andreas Steiger (Hrsg.) (2006) Alternative Legehennenhaltung in der Praxis: Erfahrungen, Probleme, Lösungsansätze	12,00 €
303	Claus Mayer, Tanja Thio, Heike Schulze Westerath, Pete Ossent, Lorenz Gygax, Beat Wechsler und Katharina Friedli (2007) Vergleich von Betonspaltenböden, gummimodifizierten Spaltenböden und Buchten mit Einstreu in der Bullenmast unter dem Gesichtspunkt der Tiergerechtigkeit	8,00 €
304	Ulrich Dämmgen (Hrsg.) (2007) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2007 for 2005	16,00 €
[304]	Introduction, Methods and Data (GAS-EM)	
[304A]	Tables Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2007 für 2005	
[304]	Einführung, Methoden und Daten (GAS-EM)	
[304A]	Tabellen	
305	Joachim Brunotte (2007) Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide	14,00 €
306	Uwe Petersen, Sabine Kruse, Sven Dänicke und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2007) Meilensteine für die Futtermittelsicherheit	10,00 €
307	Bernhard Osterburg und Tania Runge (Hrsg.) (2007) Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie	15,00 €
308	Torsten Hinz and Karin Tamoschat-Depolt (eds.) (2007) Particulate Matter in and from Agriculture	12,00 €
309	Hans Marten Paulsen und Martin Schochow (Hrsg.) (2007) Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten	9,00 €
310	Hans-Joachim Weigel und Stefan Schrader (Hrsg.) (2007) Forschungsarbeiten zum Thema Biodiversität aus den Forschungseinrichtungen des BMELV	13,00 €
311	Mamdoh Sattouf (2007) Identifying the Origin of Rock Phosphates and Phosphorus Fertilisers Using Isotope Ratio Techniques and Heavy Metal Patterns	12,00 €
312	Fahmia Aljmli (2007) Classification of oilseed rape visiting insects in relation to the sulphur supply	15,00 €
313	Wilfried Brade und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2007) Rinderzucht und Rindfleischerzeugung – Empfehlungen für die Praxis	10,00 €
314	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2007) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, Schwerpunkt: Pflanze	12,00 €
315	Andreas Tietz (Hrsg.) (2007) Ländliche Entwicklungsprogramme 2007 bis 2013 in Deutschland im Vergleich – Finanzen, Schwerpunkte, Maßnahmen	12,00 €

316	Michaela Schaller und Hans-Joachim Weigel (2007) Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung	16,00 €
317	Jan-Gerd Krentler (2008) Vermeidung von Boden- und Grundwasserbelastungen beim Bau von Güllelagern Prevention of soil and groundwater contamination from animal waste storage facilities	12,00 €
318	Yelto Zimmer, Stefan Berenz, Helmut Döhler, Folkhard Isermeyer, Ludwig Leible, Norbert Schmitz, Jörg Schweinle, Thore Toews, Ulrich Tuch, Armin Vetter, Thomas de Witte (2008) Klima- und energiepolitische Analyse ausgewählter Bioenergie-Linien	14,00 €
319	Ludger Grünhage and Hans-Dieter Haenel (2008) Detailed documentation of the PLATIN (PLant-ATmosphere Interaction) model	10,00 €
320	Gerold Rahmann und Ulrich Schumacher (Hrsg.) (2008) Praxis trifft Forschung — Neues aus der Ökologischen Tierhaltung 2008	14,00 €
321	Bernd Degen (Editor) (2008) Proceedings of the international workshop “Fingerprinting methods for the identification of timber origins”, Bonn, October 8-9 2007	18,00 €
322	Wilfried Brade, Gerhard Flachowsky, Lars Schrader (Hrsg) (2008) Legehuhnzucht und Eierzeugung - Empfehlungen für die Praxis	12,00 €
323	Christian Dominik Ebmeyer (2008) Crop portfolio composition under shifting output price relations – Analyzed for selected locations in Canada and Germany –	14,00 €
324	Ulrich Dämmgen (Hrsg.) (2009) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2009 for 2007 Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007	8,00 €
324A	Tables Tabellen	8,00 €
325	Frank Offermann, Martina Brockmeier, Horst Gömann, Werner Kleinhanß, Peter Kreins, Oliver von Ledebur, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Petra Salamon (2009) vTI-Baseline 2008	8,00 €
326	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2009) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2008	8,00 €
327	Björn Seintsch, Matthias Dieter (Hrsg.) (2009) Waldstrategie 2020 Tagungsband zum Symposium des BMELV, 10.-11. Dez. 2008, Berlin	18,00 €
328	Walter Dirksmeyer, Heinz Sourell (Hrsg.) (2009) Wasser im Gartenbau Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Organisiert im Auftrag des BMELV	8,00 €
329	Janine Pelikan, Martina Brockmeier, Werner Kleinhanß, Andreas Tietz, Peter Weingarten (2009) Auswirkungen eines EU-Beitritts der Türkei	8,00 €
330	Walter Dirksmeyer (Hrsg.) (2009) Status quo und Perspektiven des deutschen Produktionsgartenbaus	14,00 €
331	Frieder Jörg Schwarz, Ulrich Meyer (2009) Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten	12,00 €



Johann Heinrich
von Thünen-Institut

Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Sonderheft 331
Special Issue

Preis / Price 12 €

ISBN 978-3-86576-057-9

