

Trockenmassebestimmung bei Silomais

Einsatz hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Mit den Messgrößen kommerziell verfügbarer Hochfrequenzanlagen ist der Trockenmassegehalt [%] von Silomais verschiedener Herkünfte unter Laborbedingungen signifikant zu erklären. Eine zufriedenstellende Schätzung ohne Kenntnis der Probenmasse und -dichte ist mit der eingesetzten Anlage nicht realisierbar. Im Gegensatz dazu erscheint eine präzise Schätzung der Wassermasse [g] möglich. Die Korrelation zwischen der tatsächlichen und der geschätzten Wassermasse belief sich bei variierender Probenmasse und -dichte auf $r = 0.98$, wenn eine gegebene Regressionsgleichung auf unbekannte Proben angewendet wurde.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche vielversprechende Ansätze zur kontinuierlichen Bestimmung des Frischmasseertrages im Futterbau vorgestellt. Auch für die Ermittlung des Trockenmassegehaltes wurden verschiedene Systeme präsentiert, Berichte über zufriedenstellende Lösungen liegen jedoch nicht vor.

Unter den zahlreichen zur Verfügung stehenden Methoden zur Bestimmung des Trockenmassegehaltes kommen auf Grund der hohen Anforderungen bei einem Einsatz in der Futterernte nur wenige Verfahren in Betracht. Von besonderem Interesse sind solche Methoden, welche die sehr unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften von Wasser und organischer Masse nutzen.

Nachdem in begrenzten Vorversuchen mit Silomais und ausgedehnten Experimenten mit Grüngut [1] erfolgversprechende Resultate bei dem Einsatz einer kommerziell verfügbaren Hochfrequenzanlage ermittelt wurden, sollte im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit geprüft werden, ob diese Methode eine zufriedenstellende Schätzung des Trockenmassegehaltes von Silomais verschiedener Herkünfte ermöglicht.

Methodik

Während der Silomaisernte 2000 wurde gehäckselter Mais auf vier Flächen gewonnen. Die Felder 1 (Sorte Helix, KWS) und 2 (Carrera, KWS) sowie 3 (Palermo, KWS) und 4 (Palermo, KWS) gehörten zwei unterschiedlichen Betrieben und wurden mit verschiedenen Häckslern abgeerntet. Der Mais wurde sofort in das Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen gebracht und dort zur Trocknung unter einem 'Künstlichen Himmel' [2] ausgetrocknet.

Von diesem Material wurden in regelmäßigen Abständen Proben gewonnen und portioniert. Diese Portionen wurden im Applikationsraum einer unlängst vorgestellten [1] Hochfrequenzanlage des französischen Herstellers SAIREM (Lyon) positioniert. Dort wurde solange eine definierte Leistung appliziert bis, in Folge der gerätespezifischen Anpassung, keine Leistung mehr reflektiert wurde. In diesem Moment wurden die von der Hochfrequenzanlage automatisch erfassten Parameter U (Spannung zwischen den Kondensatorplatten), LP (Load Position) und TP (Tune Position) registriert. Die beiden letztgenannten Parameter sind gerätespezifische Größen, welche den Re-

Tab. 1: Schätzung des Trockenmassegehaltes von gehäckseltem Mais mit verschiedenen Regressionsgleichungen¹⁾

Table 1: Estimation of the DM content of chopped maize with various regression functions

	Messvariante						
	1	2	3	4	5	6	7
Probenmasse (g)	50	50	100	100	150	150	184
Probengefäß (mm) ²⁾	91,0	174,5	91,0	174,5	91,0	174,5	174,5
Probendichte (g/cm ³)	0,095	0,026	0,191	0,052	0,286	0,078	0,095
LP ³⁾	-0.01	0.15	0.04	0.03	0.31	0.05	0.24
TP	-0.01	-0.01	0.08	-0.02	0.01	0.15	0.26
U	-0.01	0.11	0.13	0.05	0.37	-0.01	-0.01
TP,U	0.00	0.12	0.39	0.07	0.42	0.21	0.26
LP, TP, U	-0.01	0.21	0.38	0.20	0.56	0.21	0.26
LP, TP, U, LP TP ⁻¹	0.15	0.23	0.39	0.24	0.59	0.21	0.28
TP, U (quadrat)	0.11	0.29	0.39	0.15	0.43	0.19	0.30
LP, TP, U (quadrat) ⁴⁾	0.33	0.46	0.39	0.23	0.57	0.33	0.29

Dr. Hinrich Snell ist wissenschaftlicher Assistent am Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems der Universität Göttingen, Universitätsstr. 7, D – 49377 Vechta, e-mail: hs-nell@gwdg.de.

Dipl.-Ing. agr. Christoph Oberndorfer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen, Gutenbergstr. 33, 37075 Göttingen.

Schlüsselwörter

Silomais, Ertragsmessung, Trockenmassegehalt, Hochfrequenz

Keywords

Maize, yield mapping, DM content, radio frequency

¹⁾ Bestimmtheitsmaße nach Anpassung an die Anzahl unabhängiger Variabler (R^2_{adj}). Je Variante wurden 32 Proben des Betriebes 1 und 28 Proben des Betriebes 2 untersucht.

²⁾ Innendurchmesser des Probengefäßes (Teflonröhre)

Beispiele für die betreffenden Regressionsgleichungen

³⁾ Trockenmassegehalt = $\beta_0 + \beta_1 LP$

⁴⁾ Trockenmassegehalt = $\beta_0 + \beta_1 LP + \beta_2 LP^2 + \beta_3 TP + \beta_4 TP^2 + \beta_5 U + \beta_6 U^2$

gelzustand des Anpassungsnetzwerks darstellen. Demnach werden mit dieser Anlage die dielektrischen Materialeigenschaften nicht gemessen, die gemessenen Größen stehen jedoch in unmittelbarer Beziehung dazu.

Der tatsächliche Trockenmassegehalt wurde durch Trocknung im Trockenschrank bei 105 °C ermittelt.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte im Wege der Regressionsanalyse. Dabei stand die Frage im Mittelpunkt, zu welchem Anteil die Varianz der Trockenmasse durch die genannten Messgrößen erklärt werden kann.

An dieser Stelle werden die Ergebnisse dargestellt, die bei einer applizierten Leistung von 50 W, mit sieben Messvarianten, innerhalb eines Trockenmassebereiches von 31,8 bis 51,8 % ermittelt wurden.

Ergebnisse

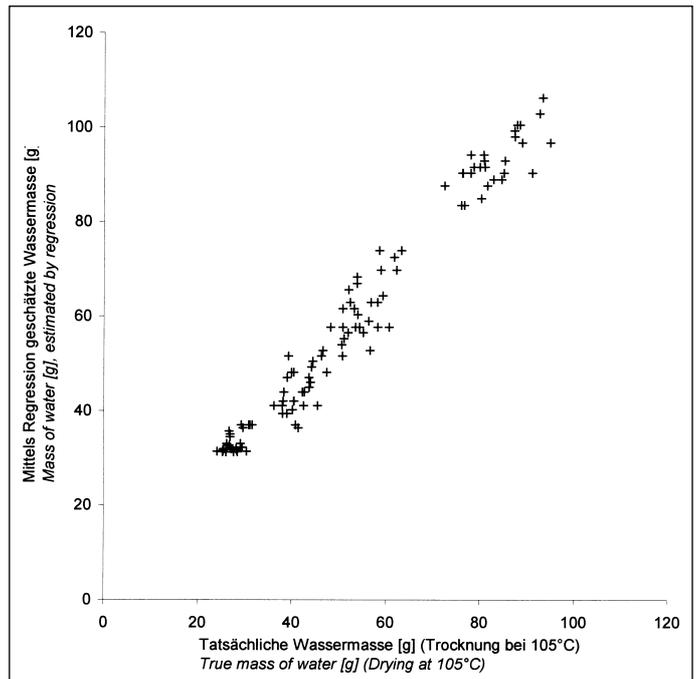
Aus den Ergebnissen der Regressionsanalysen (Tab. 1) wird deutlich, dass durch die Einbeziehung mehrerer unabhängiger Variabler die Trockenmasse besser erklärt werden kann als mit einfachen Regressionen. Eine weitere Verbesserung wird durch die Verwendung quadratischer Gleichungen erreicht. Verfahrenstechnisch ist bedeutsam, dass eine höhere Verdichtung zu einer verbesserten Schätzgenauigkeit führt. Diese Aussage ist jedoch nicht ohne Ausnahme gültig. Dabei ist zu beachten, dass ein Variantenvergleich innerhalb gleicher Probenmasse von der Größe der Kontaktfläche zwischen Elektrode und Mais (Gefäßdurchmesser) beeinflusst wird. Bei einem Variantenvergleich innerhalb gleicher Kontaktflächenfläche muss berücksichtigt werden, dass die Varianten im größeren Probengefäß alle nur geringfügig verdichtet waren.

Daneben bleibt aber festzuhalten, dass die ermittelten Korrelationen nicht den Anforderungen an ein zuverlässiges Messsystem entsprachen.

Die in Tabelle 1 vorgenommene Unterscheidung in verschiedene Messvarianten wäre im praktischen Ernteeinsatz nicht zu realisieren. Die Ermittlung des Trockenmassegehaltes muss unabhängig von der Materialdichte und -masse erfolgen. Bekannt sind lediglich die Sendeleistung sowie die Abmessungen des Applikationsbereiches. Aus diesem Grund wurden in einem weiteren Auswertungsschritt die Varianten 1, 3 und 5 sowie 2, 4 und 6 zusammengefasst. Unter diesen Bedingungen fallen die Bestimmtheitsmaße noch niedriger aus als die Angaben in Tabelle 1. Eine zufriedenstellende Schätzung des Trockenmassegehaltes erscheint mit der eingesetzten Hochfrequenzanlage unter diesen Bedingungen nicht realisierbar.

Bild 1: Schätzung der Wassermasse in Silomaisproben von Betrieb 2 mit Hilfe einer Regressionsgleichung auf Basis der Daten von Betrieb 1

Fig. 1: Estimating the water content of maize for silage samples from farm 2 using the regression function on the basis of data from farm 1



Eingangs wurde erwähnt, dass auch für den Futterbau über erfolversprechende Ansätze zur Ermittlung des Frischmasseertrages berichtet wurden. Wenn dieser tatsächlich bekannt wäre, käme die Kenntnis der Wassermasse [g] der Kenntnis des Trockenmassegehaltes [%] gleich. Die Verwendung der Wassermasse als abhängige Variable führt zu einer drastischen Steigerung der Bestimmtheitsmaße bei der beschriebenen variantenübergreifenden Berechnung. Auf dieser Kenntnis aufbauend sollte in einem letzten Auswertungsschritt geprüft werden, ob eine genaue Schätzung auch bei unbekanntem Proben möglich ist.

Zu diesem Zweck wurde das Datenmaterial zusammengefasst, welches mit den Messvarianten 1, 3 und 5 mit Mais des Betriebes 1 ermittelt wurde. Daraus wurde eine quadratische Regressionsgleichung berechnet, mit U als unabhängiger und der Wassermasse als abhängiger Variabler. Anschließend wurde mit dieser Regressionsgleichung die Wassermasse in Proben des Betriebes 2 geschätzt. Dabei wurden die Daten der Messvarianten 1, 3 und 5 sowie einer weiteren, hier nicht näher beschriebenen, Variante (75 g) verwendet. Das Ergebnis dieser Schätzung zeigt Bild 1. Mit $r = 0,98$ ist die Korrelation zwischen tatsächlicher und geschätzter Wassermasse außerordentlich hoch.

Fazit

Die Ergebnisse belegen, dass die Nutzung der dielektrischen Materialeigenschaften einen wertvollen Ansatz zur schnellen Feuchtebestimmung in der Silomaisernte bietet. Soll diese Messung unabhängig von der Dichte und Masse des Materials erfolgen,

führt die Verwendung der Wassermasse gegenüber dem Trockenmassegehalt als Mess- oder Schätzgröße zu einer deutlichen Steigerung der Genauigkeit.

Nach den vorliegenden Ergebnissen erscheint es mit der dargestellten Methode möglich, mit einer gegebenen Kalibrierung auch in unbekanntem Proben die Wassermasse hinreichend genau zu schätzen. Daraus ergibt sich erstens, dass im praktischen Ernteeinsatz mehrere Sensoren (Frischmasse, Wassermasse, Temperatur) zu kombinieren sind. Zweitens erscheint eine kontinuierliche Massenermittlung realisierbar, wenn der Trockenmassegehalt bekannt oder konstant ist.

Diese Aussagen werden vermutlich nicht von der Tatsache beeinflusst, dass eine aufwendige Hochfrequenzanlage mit vollautomatischem Anpassungssystem Verwendung fand. Vielmehr sollten auch bei einer nicht erfolgten Anpassung der Anlage an die Materialeigenschaften mathematisch wertvolle Größen gefunden werden, die eine Bestimmung des Feuchtegehaltes zulassen.

Literatur

- [1] Snell, H., B. Kulig, C. Oberndorfer, W. Lücke und H. Van den Weghe: Einsatz hochfrequenter elektromagnetischer Felder zur schnellen Feuchtebestimmung in Silomais und Gras. 58. Internationale Tagung Landtechnik, 10. bis 11. Oktober 2000, Münster
- [2] Snell, H.G.J., C. Oberndorfer, A. Kutz, W. Lücke und H. Van den Weghe: A system for testing plastic film for bunker silage preservation – Design and preliminary findings. Journal of Agricultural Engineering Research 79 (2001), pp. 37 - 45