

# Ertrag und Feuchte beim Silieren messen

Das Wissen über die geernteten Erträge liefert Vorteile bei der Futtermengenplanung, der Düngung und der Erfolgskontrolle von Grünlandverbesserungsmaßnahmen. Wie genau ist die Technik? An der LfL Bayern wurden die Systeme im Praxiseinsatz geprüft.



Stefan Thurner

Die Preise für Grund- und Kraftfutter sowie für Pachtflächen stiegen in den vergangenen Jahren stetig an. Milchviehbetriebe müssen mehr und mehr auf die Kosten der Grundfüttererzeugung blicken, gleichzeitig jedoch möglichst hohe Qualitäten und Flächenerträge erzielen. Ein wichtiges Hilfsmittel für die Kontrolle der Kosten ist dabei die Kenntnis der Erträge und Inhaltsstoffe, die von den einzelnen Schlägen geerntet werden (siehe Elite 5/13; Seite 34).

Mittlerweile gibt es technische Lösungen zur automatischen Ertrags- und Qualitätserfassung bei Feldhäckslern sowie zur Ertragserfassung bei Lade- und Abschiebewagen. Eine Auswahl der am Markt verfügbaren Messtechniken zur Ertrags- und Feuchteermittlung an Feldhäckslern sowie Ladewagen und Abschiebewagen wurden im Rahmen zweier, von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) initiierten Projekte auf ihre Messgenauigkeit und Praxistauglichkeit getestet.

Dazu wurden die Messsysteme zur Ertrags- und Feuchteermittlung am Feldhäcksler mit verschiedenen TM-Sensoren (Nahinfrarotspektroskopie sowie Messung der dielektrischen Leitfähigkeit und Temperatur) bei verschiedenen Erntegütern untersucht.

Die Datenerhebung an den Erntemaschinen wurde zu den Grobfütterernten an den rinderhaltenden Lehr-, Versuchs- und Fachzentren (LVFZ) sowie Versuchsbetrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Achselchwang, Almesbach, Grub, Kringell und Spitalhof) durchgeführt. Weiterhin wurden Daten auch bei einigen Praxisbetrieben erhoben.



Brigitte Köhler

## Häcksler immer wieder aufs Neue kalibrieren!

Die Erfassung des Frischmasse-Ertrags (FM) erfolgt bei allen Herstellern über Sensoren an den Vorpresswalzen am Einzug. Mithilfe der Auslenkung der Vorpresswalzen sowie deren Geschwindigkeit wird der Volumenstrom gemessen, von dem nach entsprechender Kalibrierung auf den FM-Ertrag geschlossen werden kann. Der Häckslerfahrer muss zur Kalibrierung beim Beladen eines Wagens am Bordrechner den Kalibriermodus einschalten. Anschließend muss der so gefüllte Wagen z. B. auf einer Fuhrwerkswaage



Dr. Hubert Spiekers

gewogen und nach Abzug des Leergewichts die geladene Menge an Erntegut ermittelt werden. Der Häckslerfahrer gibt den ermittelten Wert für die Frischmasse in den Bordrechner ein.

Um ausreichend genaue Ertragsdaten zu erhalten, sollte bei jedem Materialwechsel, spätestens jedoch bei einem Sorten- oder Schlagwechsel, neu kalibriert werden. Je nach den örtlichen Gegebenheiten kann jedoch auch ein Fuhrwerk aus der Erntekette ständig zum Kalibrieren verwendet werden. Idealerweise hat dieses Fuhrwerk eine Wiegeeinrichtung eingebaut, sodass der Häckslerfahrer sofort die angezeigte Lademenge in Kilo eingeben kann und die Fahrt zu einer Fuhrwerkswaage entfällt.

Für die Versuchsdurchführung an den LfL-Betrieben wurde ein Fuhrwerk aus der Erntekette ständig

### 1. Sensortechnik Ertrags- und Feuchteermittlung

Hersteller Auswahl	Online		TM-Ertrag Ertrags- kartierung
	Ertrags- erfassung	TM-Gehalts- erfassung	
Claas	Quantimeter	Leitfähigkeit (NIRS)	Ja
John Deere	HarvestLab	NIRS	Ja
Krone	CropControl	NIRS Leitfähigkeit	Ja

Die Systeme am Feldhäcksler basieren auf unterschiedlichen Systemen (NIRS sowie Messung der Leitfähigkeit).

zum Kalibrieren verwendet, wobei die Gewichtsermittlung auf einer geeichten Fuhrwerkswaage am Betrieb durchgeführt wurde. Bei Versuchen auf Praxisbetrieben wurde bei jedem Schlagwechsel mindestens eine neue Kalibrierung durchgeführt (Wiegung auf Fuhrwerkswaage).

Beim Vergleich des online ermittelten Frischmasse-Ertrags (FM) mit Volumenstrommessung beim Feldhäcksler zeigte sich, dass die ermittelten Werte umso exakter mit den tatsächlich geernteten Mengen übereinstimmen, je häufiger eine Kalibrierung durchgeführt wurde.

Die Ermittlung des Trockenmasse-Gehalts (TM) erfolgt herstellerabhängig mit verschiedenen Systemen



Neue technische Lösungen erlauben eine automatische Ertrags- und Qualitätserfassung bei Feldhäckslern.

Foto: Berning

am Auswurfkrümmer des Feldhäckslers. Eine sehr hohe Genauigkeit bietet die Feuchtemessung mithilfe der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS). Für einen Hersteller wurde dieser Sensor von der DLG zertifiziert und erreichte im Durchschnitt eine absolute Abweichung von weniger als 2% beim Vergleich des vom NIRS System ermittelten TM-Gehalts mit dem manuell ermittelten TM-Gehalt.

Ausreichend genaue TM-Gehalte ermittelt auch der Leitfähigkeitssensor, der bei mehreren Herstellern verwendet wird. Dieser misst die dielektrische Leitfähigkeit des Gutstromes und korrigiert die Werte entsprechend der zusätzlich gemessenen Temperatur des Ernteguts. Der TM-Ertrag wird wiederum bei allen Herstellern über eine Verrechnung des am Einzug gemessenen FM-Ertrags mit dem am Auswurfkrümmer erfassten TM-Gehalt ermittelt.

Die online bzw. mit den verschiedenen Wiegetechniken ermittelten Daten wurden den tatsächlichen Frischmassenmengen, gewogen an der geeichten Fuhrwerkswaage, gegenübergestellt. Für die Überprüfung der TM-Gehaltsmessung mittels verschiedener Sensoren wurden Proben am Silo von jedem Fuhrwerk gezogen und anschließend der TM-Gehalt im Trockenschrank bestimmt.

Zur Ermittlung der notwendigen Stichprobengröße wurde beim 2. Schnitt 2009 in Grub ein Exaktversuch für Gras-Anwelkgut durchgeführt, bei dem die Heterogenität des Erntematerials bestimmt

wurde, von der wiederum die Stichprobenanzahl bei einer gewünschten Genauigkeit der Ergebnisse abhängt. Ziel des Versuchs war es, die Heterogenität des TM-Gehalts von Gras-Anwelkgut innerhalb eines Fuhrwerks zu bestimmen, um daraus auf die notwendige Stichprobengröße für die Referenzmessung zu schließen.

### 13 Stichproben pro Schlag nötig

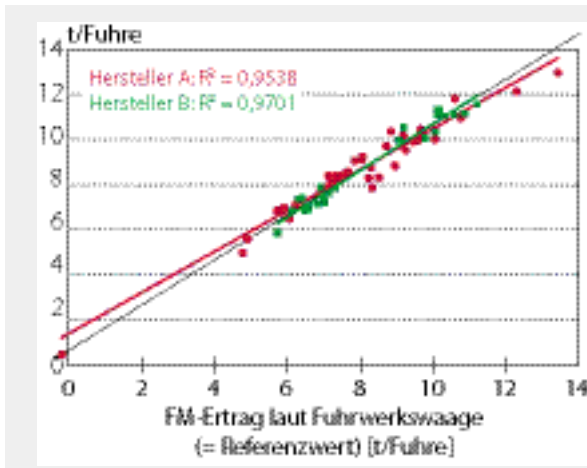
Ergebnis des Exaktversuchs war eine Standardabweichung von 2,76 beim TM-Gehalt für Gras-Anwelkgut über alle Proben vom gesamten

#### KOMPAKT

- Beim Feldhäckslern ist für Silomais und Grünland bei ausreichender Kalibrierung eine sehr gute Erfassung der FM-Erträge möglich.
- Auch Abschiebe- und Ladewagen mit Wiegeeinrichtungen bieten im Vergleich zur Fuhrwerkswaage sehr gute Übereinstimmungen.
- Die Genauigkeit der TM-Gehaltsermittlung ist insgesamt sehr zufriedenstellend. Zur Ertragsbestimmung sollten deshalb die neuen Online-systeme eingesetzt werden.

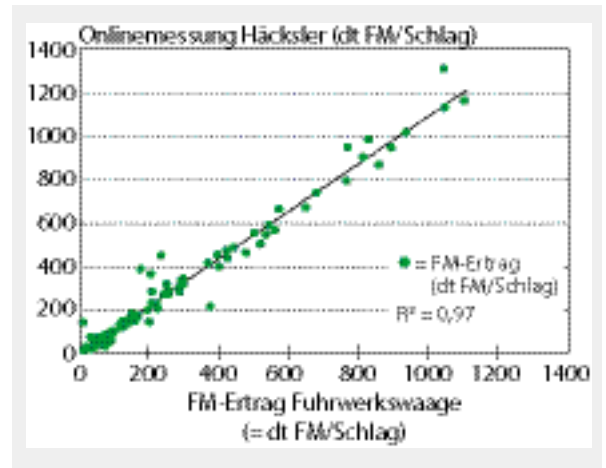


2. Silomais: Onlinemessung vs. Waage



Bei Feldhäckslern liefert die FM-Ertragsmessung via Volumenstrommessung sehr gute Ergebnisse.

3. Grassilage: Onlinemessung vs. Waage



Die Ertragserfassung via Volumenstrommessung bei Grassilage kommt den tatsächlichen Erntemengen sehr nahe.

Grafiken: M. Höner

Schlag (n=980). Bei einem Konfidenzniveau von 99% und einem Konfidenzintervall von  $\pm 2\%$  (d.h. mit 99%iger Wahrscheinlichkeit liegt der gemessene TM-Gehaltswert in einem Bereich zwischen 2% über und 2% unter dem tatsächlichen TM-Gehaltswert) ergibt sich daraus eine notwendige Stichprobengröße von acht Stichproben pro Fuhrwerk oder 13 Stichproben pro Schlag.

Die Übersicht 2 zeigt die Ermittlung der FM-Erträge auf Fuhrwerksebene für zwei Hersteller bei der Silomaisernte; Übersicht 3 zeigt die Gegenüberstellung der via Volumenstrommessung ermittelten Erntemengen von verschiedenen Schlägen bei der Grassilageernte mit den an der Fuhrwerkswaage erfassten Erntemengen. Die sehr hohen Bestimmtheitsmaße von über  $R^2 \geq 0,95$  zeigen, dass bei ausreichend häufiger Kalibrierung (ein Fuhrwerk in der Erntekette wurde ständig zum Kalibrieren verwendet) eine sehr exakte Ermittlung der FM-Erträge möglich ist.

### Ergebnisse TM-Gehalte am Feldhäckslern

Bei der automatischen Erfassung des Trockenmasse-Gehalts mit NIRS oder der dielektrischen Leitfähigkeit hängt die Genauigkeit ab von:

- Häckselgutmenge: Gute Messungen nur bei optimaler Maschinenauslastung (Schwadgröße!)
- Technik: NIRS liefert exaktere Werte als die Messung der dielektrischen Leitfähigkeit
- Kalibration: Abhängig vom Hersteller und Häckselgut
- Erntegut: Je homogener, also gleichmäßiger das Erntegut, umso genauer die Messung. Daraus ergibt sich folgende Reihenfolge bezüglich der Messgenauigkeit: Silomais > Luzerne > Klee gras > Grünland
- TM-Gehalt: Zu feuchtes (< 30%) oder zu trockenes Erntegut (> 40%) verursacht bei allen Systemen größere Abweichungen.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse zeigen ex-

emplarisch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Sensoren, den Kalibrationen bei verschiedenen Herstellern sowie dem Häckselgut (Stand der Technik und Kalibrationen bei den verschiedenen Herstellern 2009 bis 2011; d.h. derzeit am Markt angebotene Systeme können u.U. exaktere Messwerte erzielen).

Wie wichtig eine ständige Aktualisierung der TM-Sensor-Kalibrierung durch den Hersteller ist, konnte am Beispiel der TM-Gehaltsbestimmung bei Luzerne nachgewiesen werden. So konnte für die moderne Luzernesorte „Sanditi“ eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem online gemessenen TM-Gehalt (NIRS-Sensor) und manuell bestimmtem Referenzwert erzielt werden.

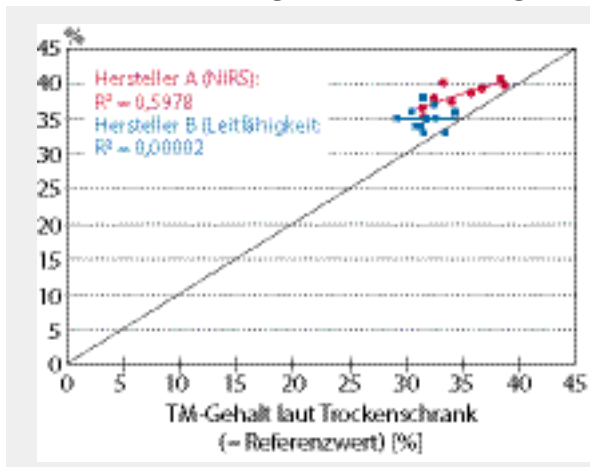
Bei der älteren Sorte „Franken Neu“ liegt das Bestimmtheitsmaß bei der Messung mittels NIRS-Sensor mit nur 0,15 dagegen in einem sehr niedrigen Bereich, da offensichtlich die Sorte „Franken Neu“ bei der Kalibrierung des NIRS-Sensors nicht berücksichtigt wurde. Ähnlich wie beim Silomais schneidet der NIRS-Sensor bei der TM-Gehaltsbestimmung bei Luzerne-Anwelkgut besser ab als der Leitfähigkeitssensor. Der Unterschied in der Genauigkeit kann bei homogenen Erntegütern festgestellt werden.

Für Gras-Anwelkgut zeigt sich dagegen kein großer Unterschied zwischen dem NIRS-Sensor und dem Leitfähigkeitssensor. Beide Techniken überschätzten den tatsächlichen TM-Gehalt. Dabei lagen die absoluten Unterschiede zwischen dem TM-Gehalt gemessen mit der Referenzmethode und dem TM-Gehalt gemessen online am Feldhäckslern für Hersteller A zwischen -0,97% und -6,81% und für Hersteller B zwischen +0,46% und -6,57% (Übersicht 4).

### Abschiebewagen und Ladewagen

Mit den Abschiebewagen und Ladewagen ist derzeit nur die Ermittlung der FM-Erträge möglich. Bei den Abschiebewagen kann eine Gewichtsermittlung mit Dehnungsmessstreifen oder mit extra

#### 4. TM: NIRS vs. Leitfähigkeit bei Grasanwelkgut



Bei Gras zeigt sich kein großer Unterschied zwischen dem NIRS- und dem Leitfähigkeitssensor.

Wiegerahmen ausgestattet, mit digitalen und mit analogen Wiegezellen, durchgeführt werden.

Bei den Ladewagen erfolgt die Gewichtsermittlung mittels Messbolzen oder Drucksensoren, die jeweils im Fahrwerk und in der Deichsel eingebaut sind. Im Rahmen der Messungen an den LfL-Betrieben und Praxisbetrieben wurde bei den Abschiebewagen und Ladewägen das Gewicht zweimal erfasst: einmal auf einer ebenen Fläche auf dem Schlag und ein weiteres Mal auf einer befestigten, ebenen Fläche (i. d. R. auf der Fuhrwerkswaage).

Beim Vergleich der online am Ladewagen bzw. Abschieber ermittelten FM-Erträge mit den an der geeichten Fuhrwerkswaage ermittelten Erntemengen zeigt sich ein leichter Unterschied zwischen der Messung auf unbefestigter Fläche und der Messung

auf befestigter Fläche. Generell sind die Bestimmtheitsmaße sehr hoch, und somit die FM-Ertragsermittlung sehr genau.

Bei den Ladewagen und Abschiebewagen steht bei vielen Herstellern die Entwicklung bezüglich der FM-Ertragserfassung noch am Anfang. Aus diesem Grund ist derzeit in der Regel noch keine spezielle Software, z. B. zur schlagbezogenen Ertragserfassung vorhanden.

Neben den dargestellten Techniken wurde auch die Ermittlung der FM-Erträge mithilfe von Dehnmessstreifen getestet. Diese Technik funktionierte jedoch nicht zuverlässig und zeigte sowohl auf unbefestigten Flächen als auch auf befestigten Flächen sehr große Abweichungen zum Referenzgewicht an der Fuhrwerkswaage und kann daher als ungeeignet für die Ertragserfassung angesehen werden.

### Empfehlung für die Praxis

■ Die ideale Kombination für die automatische Ertragserfassung ist eine Häckselkette mit Abschiebewagen oder Ladewagen, die über Wiegetechnik verfügen. So kann der Häckselfahrer bei der Kalibrierung der Volumenstrommessung die tatsächlich geerntete Futtermasse-Menge direkt nach dem Beladen des Fuhrwerks eingeben und es steht immer ein Fuhrwerk aus der Häckselkette für die Kalibrierung zur Verfügung. Dadurch ist eine sehr hohe Genauigkeit bei der Bestimmung des FM-Ertrags gegeben.

■ Der Trockenmasse-Gehalt kann mit hoher Genauigkeit mit den verschiedenen Online-Techniken am Feldhäcksel bestimmt werden. Somit ist es für jeden Praxisbetrieb heute möglich, die exakte TM-Erntemenge pro Schlag mit relativ geringem Aufwand zu messen.