

André Heinrich, Andi Günther und Gerd Bernhardt, Dresden

Bestimmung der Inhaltsstoffe bei der Ernte mit dem Feldhäcksler

Robuste NIR-Sensoren ermöglichen den Einsatz dieser Technik auf Landmaschinen. Bislang wurden die Spektrometer für die jeweiligen Maschinen und Messbedingungen kalibriert. Für die Anwendung der NIRS in der Landtechnik sind alternative Methoden des Kalibrierens gefragt. Eine Möglichkeit ist, eine breite Varianz der Konzentration verschiedener Inhaltsstoffe zu generieren. Die Kalibrationen werden dann im Labor entwickelt. Zur Übertragung der Kalibrationen aus dem Labor auf den Feldhäcksler werden die Effekte der unterschiedlichen Probenpräsentation untersucht.

Dipl.-Ing. André Heinrich und Dipl.-Ing. Andi Günther sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. G. Bernhardt), Institut für Verarbeitungsmaschinen, Landmaschinen und Verarbeitungstechnik der TU Dresden, Bergstraße 120, 01069 Dresden; e-mail: heinrich@landmaschinen.tu-dresden.de

Schlüsselwörter

Nahinfrarot (NIR) - Spektroskopie, Qualitätskontrolle, teilflächenspezifische Landwirtschaft

Keywords

Near - infrared (NIR) spectroscopy, quality monitoring, site-specific farming

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05114 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Zunehmendes Qualitätsbewusstsein und der Wunsch nach besserer Prozesskontrolle erfordern neue Techniken in der landwirtschaftlichen Produktion. Die Einbeziehung der NIR- Online-Messung wertgebender Futter-Inhaltsstoffe in die Erfassung der Ertragsdaten des Feldhäckslers erweitert nicht nur die Kenntnisse für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, sondern bietet auch neue Möglichkeiten der Prozesssteuerung.

Die Nahinfrarotspektroskopie ist schon seit Jahren ein unerlässliches laboranalytisches Werkzeug für die schnelle und kostengünstige Qualitätsbewertung von Futtermitteln. Durch die Entwicklung robuster und erschütterungsunempfindlicher NIR-Sensoren liegen die technischen Voraussetzungen für den Einsatz auf Erntemaschinen vor.

Ob und wie die NIRS sinnvoll auf Feldhäckslern eingesetzt werden kann, ist Aufgabenstellung eines vom BMBF geförderten Forschungsprojektes, das gemeinsam von der TU Dresden, der FAL und der Fa. CLAAS bearbeitet wird.

Besonderheiten der NIR - Spektroskopie

Die Kalibrationen für NIR - Spektrometer sind empirisch ermittelte Regressionsmodelle und in der Regel spezifisch für Spektrometer, Produkt und die Probenpräsentation. In die entsprechenden Kalibrationsmodelle ist dafür sowohl die genotypische (sortenbedingte) als auch phänotypische (umweltbedingte) Variabilität der Futterpflanzen als auch die der Messbedingungen einzubauen. Die Kalibration muss dabei den gesamten erwarteten Bereich der Konzentration des jeweiligen Inhaltsstoffes gleichmäßig abdecken.

Durch Referenzprobenahme auf dem Feldhäcksler ist es jedoch für eine breite Anwendung des Verfahrens nahezu unmöglich, alle Einfluss nehmenden technischen, technologischen und biologischen Parameter für eine entsprechende Kalibration abzudecken.

Lösungsweg

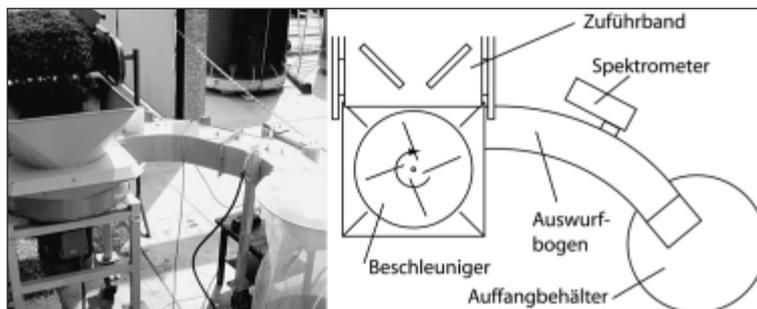
Als Spektroskopie kommt im Forschungsprojekt das Diodenarray - Spektrometer CORONA 45 VISNIR der Fa. Zeiss sowohl im Labor wie auf dem Feld zum Einsatz. Für die Integration des Spektrometers stehen zwei Prinzipien zur Auswahl, das Bypass-Prinzip und die direkte Messung am bewegten Gut, vorzugsweise am Auswurfbogen [1, 2, 3]. Bei der Entnahme eines Teilstromes im Sinne des Bypass-Prinzips stellt sich vor allem die Frage nach der Repräsentativität der Probe im Bezug zum Gesamtstrom. Die Messung am bewegten Gut wird deshalb in diesem Forschungsprojekt bevorzugt.

Eine effektive Kalibration wird durch definierte Bedingungen im kleintechnischen Maßstab (Technikum) mit minimiertem Aufwand sichergestellt. Das hat zum einen den Vorteil, dass die für die Kalibrationsentwicklung notwendige Variation der Futterpflanzen hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe und stofflichen Matrix (Sorten-, Düngungseffekte) ausreichend hoch ist.

Zum anderen lassen sich Faktoren, die die Probenpräsentation beeinflussen, im kleintechnischen Maßstab besser analysieren sowie kontrolliert variieren. Bei dieser Verfahrensweise ist natürlich die Übertragbarkeit der erstellten Kalibrationsmodelle auf die Landmaschine sicherzustellen. Das bedingt die Entwicklung geeigneter Übertragungsg-

Bild 1: Laboreinrichtung zum Kalibrieren

Fig. 1: Device for calibration of a NIR Sensor



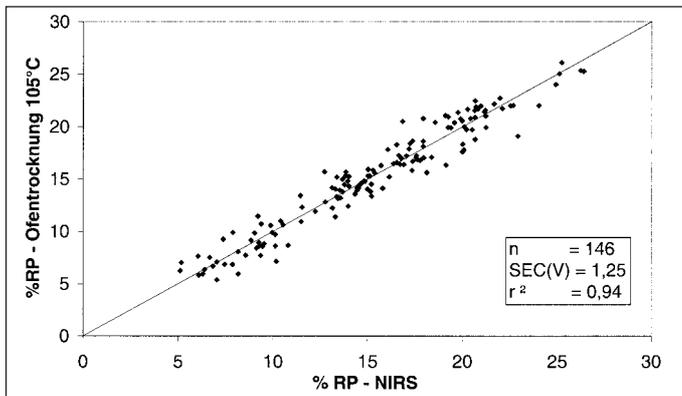


Bild 2: Ergebnis der Kalibrierung des Rohprotein in Anwelkgras

Fig. 2: Result of calibration on the protein content in wilted grass

methoden. Im Mittelpunkt der Untersuchungen dazu stehen die Bedingungen im Gutstrom und der Einfluss variierter Maschineneinstellungen und Erntebedingungen auf die Messergebnisse.

Kalibration im kleintechnischen Maßstab

In der FAL Braunschweig wurde ein Versuchsstand aufgebaut, mit dem gehäckseltes Erntegut beschleunigt und horizontal durch einen Auswurfbogen geleitet wird (Bild 1). Dieser Versuchsstand bildet die Messbedingungen im Auswurfbogen des Feldhäckslers im kleinen Maßstab nach. Die Schnittstelle zwischen Spektrometer und Häckselgut bildet ein standardisiertes Interface, welches sowohl beim Feldhäckslers als auch beim Beschleuniger die Messung unter vergleichbaren Bedingungen sicherstellt.

Die optimale Position des Spektrometers am Auswurfbogen des Beschleunigers wurde durch Aufnahmen des Gutstromes mit einer Highspeedkamera ermittelt. Diese Untersuchungen fanden auch am Feldhäckslers statt, um vergleichbare Messbedingungen sicherzustellen.

Grundvoraussetzung zur Kalibrierungserstellung ist die Generierung eines hinreichend großen, über den gesamten zu erwartenden Messbereich homogen verteilten Probensatzes. Die Anlage entsprechender Feldversuche mit unterschiedlichen Sorten der Futterpflanzen Gras, Klee, Rotklee, Luzerne und Silomais mit unterschiedlichen Düngungsstrategien in der FAL stellt dies sicher. Bei der Anwelksilageernte sind verschiedene Anwelkzustände möglich, da das Versuchsgut hier nach der Mahd geborgen und vor Regen geschützt stufenweise kontrolliert getrocknet wird. Anschließend wird es mit einem Exakthäckslers gehäckselte. Die Maispflanzen werden schon bei der Ernte gehäckselte und stationär gecrackt.

Die so jeweils vorbereiteten Proben werden nach dem Durchlauf durch den Beschleuniger in einem speziellen Behälter aufgefangen. Aus diesem Behälter werden jeweils drei Teilproben für die Referenzanalyse entnommen. Die Referenzanalysen erfolgen im Labor der FAL. Die bei der Kalibrierung erzielten Genauigkeiten sind am Bei-

spiel Protein in Bild 2 dargestellt.

Die Übertragung der Kalibrationsmodelle auf die Bedingungen des Feldhäckslers durch Bildung globaler Modelle, die mögliche Abweichungen der Geräte oder der Probenpräsentation berücksichtigen, ist aufwändig. Hier wird geprüft, ob sich Standardisierungsfunktionen als Methode zum Kalibrationstransfer eignen. Vergleichende Messungen hinsichtlich der eingesetzten Spektrometer als auch der Probenpräsentation im Labor und auf dem Feldhäckslers bilden die Grundlage dieser Untersuchungen.

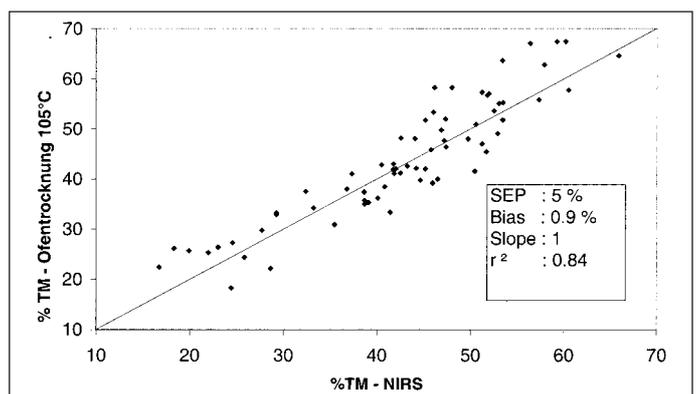
Eigenschaften des Gutstromes im Feldhäckslers

Die Eigenschaften des Gutstromes bilden den Schwerpunkt der Untersuchungen an einem Versuchsstand der TU Dresden, in dem die Bedingungen im Auswurfbogen eines Feldhäckslers hergestellt werden können.

Bei Inhaltsstoffmessung interessiert die Frage nach Entmischungsvorgängen im Gutstrom. Das Spektrometer erfasst das an der Oberfläche des Gutstromes reflektierte Licht in einem Messfleck von 20 mm Durchmesser. Durch die Gutbewegung entsteht so ein schmales Band als Teil des gesamten Gutstromes, welches durch das Spektrometer vermessen wird. Um die Frage nach der Repräsentativität zu beantworten, wird eine eigens dafür entwickelte Einrichtung eingesetzt, die den Gutstrom mit hydraulisch betätigten Klappen horizontal und vertikal zur Gutflussrichtung in Teilströme zerlegt. Der Auswurfbogen kann dabei wie beim Häckslers je nach untersuchter Eigenschaft nach hinten oder rechts geschwenkt werden.

Bild 3: Ergebnis der Schätzung der Trockenmasse anhand der Häckslers-Spektren mit dem Kalibrationsmodell des Laborversuchsstandes

Fig. 3: Prediction of DM-content from spectra of the forage harvester using the calibration from the laboratory



In den Versuchen wurde ein Modellgemisch aus Maissilage (40 bis 50 % TM-Gehalt) und Maiskörnern (87 % TM-Gehalt) eingesetzt. Der Durchsatz und das Mischungsverhältnis wurden variiert. Die Proben aus den Teilströmen werden im Trockenschrank getrocknet. Dieses Vorgehen gestattet die Beurteilung eventuell auftretender Fraktionierung des Massstromes hinsichtlich des Wassergehaltes und von Teilchen mit unterschiedlichem Wassergehalt. Die Teilströme werden dazu mit dem Gesamtstrom verglichen.

Eine Entmischung findet nur bei seitlich geschwenkten Auswurfbogen horizontal zum Gutstrom statt. Die geringen Abweichungen des mittleren Teilstromes von -0,4% rechtfertigen die Messmethode. Eine vertikale Entmischung (Schichtung) konnte nicht nachgewiesen werden. Eine Bestätigung der Ergebnisse in der Praxis fehlt noch.

Ergebnisse

Für die Gewinnung von Proben aus dem Gutstrom des Feldhäckslers, die mit der durch das Spektrometer erfassten Messstrecke identisch sind, wurde ein Probenahmesystem entwickelt. Eine Klappe leitet den gesamten Gutstrom nach dem Spektrometer kurzzeitig in einen Auffangbehälter. Klappen und Spektrometer werden vom Messrechner über den CAN-Bus des Fahrzeuges gesteuert, so dass eine exakte Zuordnung der Spektren zur Probe gewährleistet ist.

Die Anwendung der im Labor erstellten Kalibrierung auf die Spektren der Proben, die auf dem Feldhäckslers am Gras des ersten Schnittes 2004 gemessen wurden, ergab nach Korrektur systematischer Fehler zwar immer noch große Fehler (5% SEP) für den TM-Gehalt (Bild 3). Hier ist aber zu berücksichtigen, dass die Matrixvariation der zu schätzenden Proben noch nicht vom Kalibrationsmodell abgedeckt werden kann. Weitere Fehlerquellen sind die unterschiedlichen Spektrometer und die voneinander abweichenden Probenpräsentationen im Labor und auf dem Feldhäckslers. Die Minimierung dieser Fehler ist der Gegenstand laufender Untersuchungen.