

Martin Strobl, München, Matthias Rothmund und Markus Demmel, Freising

Qualitätserfassung an geschwadetem Futter

Prüfstandsuntersuchungen zur Bestimmung des Einflusses der Probenpräsentation

Georeferenzierte Qualitätsdaten bei der Grünfütterernte ermöglichen eine tiergerechte Rationsplanung, die Unterstützung zukünftiger teilflächenspezifischer Düngungs- und Pflegemaßnahmen sowie die Verringerung der Lagerverluste und Erhöhung der Futterqualität. Zur Qualitätsermittlung können Nahinfrarot-Reflektionsspektrometer eingesetzt werden. Im Gegensatz zur Probenpräsentation im Labor unterliegen die Umgebungsparameter auf dem Feld großen Schwankungen. Mit Prüfstandsversuchen wurde der Einfluss wechselnder Probenpräsentation auf die Spektren nachgewiesen.

Dipl.-Ing.agr. Martin Strobl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrarökonomie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Menzinger Str. 54, 80638 München.
Dipl.-Ing.agr. Matthias Rothmund ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Technik im Pflanzenbau der TUM, Am Staudengarten 2, 85354 Freising; e-mail: matthias.rothmund@vzw.tum.de
Dr. Markus Demmel ist Arbeitsgruppenleiter Verfahrenstechnik Pflanzenproduktion am Institut für Landtechnik der LfL.

Schlüsselwörter

Futterqualität, Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS), Probenpräsentation

Keywords

Forage quality, Near Infrared Spectroscopy (NIRS), sample presentation

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06216 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Zur teilflächenspezifischen Bestandsführung mit dem ökonomischen Ziel einer günstigeren Kosten-Nutzen-Relation und dem ökologischen Ziel einer besseren Umweltverträglichkeit [1], müssen unterschiedlichste Prozessparameter ermittelt werden. Zur Steigerung der Prozessqualität ist es nötig, Prozessparameter in Echtzeit zu erfassen und zu verarbeiten.

Auf Mähdreschern und Feldhäckslern wurden bereits Systeme zur Mengen- und Qualitätserfassung erprobt und teilweise eingeführt [2, 4]. In den bisherigen Arbeiten zur Qualitätserfassung bei der Grünfütterernte wurde der Einsatz von NIRS auf Parzellenerntemaschinen im Versuchsbetrieb untersucht [5]. Bei in der Praxis üblichen Mechanisierungsgliedern für Grünfutter fehlen bisher jedoch die Möglichkeiten, durch Sensorik Qualitätsinformationen teilflächenspezifisch bereit zu stellen. Und dies, obwohl die Verluste bei der Futterernte, -ernte und -lagerung auf zweistellige Prozentsätze (von 5% bei Grünfutter bis zu 30% bei Bodentrocknungsheu) geschätzt werden [7]. Durch gezielte Eingriffe in die Prozesssteuerung von der Bestandespflege über die Futterernte und -ernte bis hin zur Lagerung und Fütterung könnten diese Verluste minimiert und somit das Produktionsergebnis verbessert werden. Dies kann jedoch nur auf der Grundlage detaillierter Prozessinformation geschehen.

Zur Erfassung von Qualitätsdaten etabliert sich im Bereich der Laboranalysen zunehmend die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) [3]. Die NIRS kann bei geeigneter Bauweise der Sensoren auch in der Feldanalytik verwendet werden und wird bereits auf selbstfahrenden Erntemaschinen eingesetzt. Die Prozess- oder Feldanalytik lässt sich nach [6] als quasi-kontinuierliche Messung mit automatischer Probenzuführung beschreiben. Dabei verlagert sich hier die Analytik hin zum Messgut mit den Zielen, eine schnellere Verfügbarkeit der Messwerte und eine höhere Probenfrequenz erreichen zu können sowie Fehler bei der Probenahme und durch Probenalterung zu vermeiden.

Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) und Probenpräsentation

NIRS-Sensoren für den Feldeinsatz erfassen zunächst durch ein optoelektronisches Messverfahren das vom Probenmaterial diffus reflektierte Spektrum. Anhand eines mathematischen Modells können aus dieser Spektreninformation die qualitätsrelevanten Futterwertparameter des Probenmaterials abgeleitet werden. Die Qualität der Probenaufbereitung und -darbietung bei der Spektrenerfassung, die Probenpräsentation, erwies sich dabei als zentrale Einflussgröße auf die Schätzgenauigkeit des Modells und damit auf den Messfehler.

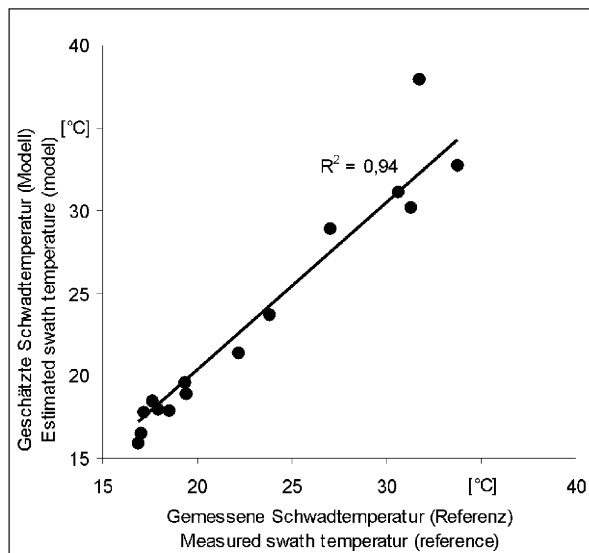
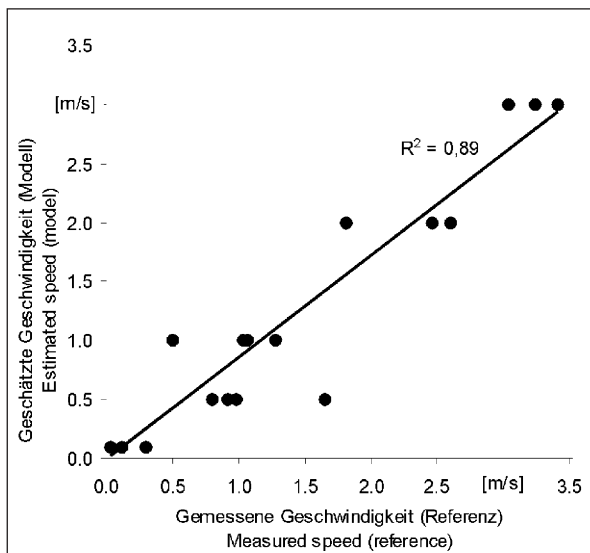
Im Labor erfolgt die Aufbereitung einer Probe nach definierten Messvorschriften. Somit erfolgt eine standardisierte Probenpräsentation. Unter Feldbedingungen kann jedoch eine Reinigung, Homogenisierung oder auch Trocknung des Probenmaterials in großer Menge und kurzer Zeit meist nicht oder nur unvollständig durchgeführt werden. Vielmehr ist der Messvorgang neuen zusätzlichen Einflussgrößen wie beispielsweise unterschiedlichen Licht-, Temperatur- und Luftfeuchteverhältnissen ausgesetzt. Alle diese Störgrößen müssen durch eine möglichst standardisierte Probenpräsentation (technischer Ansatz) oder durch ein Modell zur Eliminierung der Einflussgrößen (mathematischer Ansatz) ausgeglichen werden.

Bypass-Systeme in Erntemaschinen ermöglichen eine vorkonditionierte Probenpräsentation und lassen damit repräsentative Messergebnisse beim mobilen Einsatz von NIRS erwarten. Jedoch stellt dies einen starken Eingriff in die Prozesstechnik dar. Im Extremfall kann eine Störung im Bypass-System die Einsatzsicherheit der Erntemaschine gefährden.

Bei Verzicht auf ein Bypasssystem kann nur am Bestand oder direkt am Erntegutstrom gemessen werden. Mit Ausnahme des Wendens liegt bei allen Gliedern der Grünfüttererkette das Erntegut zum Schwad konditioniert vor. Eine Qualitätsdatenerfassung mit NIRS am Schwad ist damit vielseitig einsetzbar.

Bild 1: Gemessene Referenz- und aus den Spektren abgeleitete Schätzwerte der relativen Sensorgeschwindigkeit und der Schwadtemperatur

Fig. 1: Measured reference and estimated values from spectra of relative sensor speed and swath temperature



Vorgehensweise

Die Erstellung eines Prototyps zur lückenlosen und präzisen Erfassung georeferenzierter Qualitätsdaten mit NIRS bei der Grünfütterernte am geschwadeten Erntegut soll auf Basis eines vierstufigen Konzepts erfolgen:

1. Feststellung der grundsätzlichen Eignung der NIRS-Methode für die Qualitätserfassung bei Futtererntegütern
2. Überprüfung der Beeinflussung der Messergebnisse durch variierende Probenpräsentation bei der kontinuierlichen Messung am Schwad
3. Anpassung der Schätzmodelle zur Quantifizierung der Inhaltsstoffe von geschwadeten Erntegütern mit dem Ziel der Eliminierung der Umgebungseinflüsse
4. Technische und logische Integration der Messmethode „NIRS am Schwad“ in die Erntekette

Die grundsätzliche Eignung der NIRS-Methode für Qualitätserfassung bei Futtererntegütern (Stufe 1) kann dabei aufgrund der bereits stattgefundenen Etablierung im Bereich der Laboranalysen als gegeben angesehen werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen einer Migration von der Labor- in die Feldanalytik untersucht (Stufe 2). Vor allem der Einfluss der im Feldeinsatz stark schwankenden Probenpräsentation (Zustand des Gutes, relative Lage des Gutes zum Sensor, Licht, Temperatur, Luftfeuchte und Geschwindigkeit) auf den Messvorgang war zu klären. Die hierzu notwendige Datenbasis wurde in reproduzierbaren Prüfstandsversuchen gewonnen. Die Auswertung der Daten erfolgte auf der Basis bestehender Kalibriermodelle für Futtererntegüter.

Die gegebenenfalls notwendige Erstellung von neuen Schätzmodellen für den „mobilen NIRS-Einsatz am Schwad“ (Stufe 3), sowie auch die Implementierung eines Prototyp-Messsystems für den Feldeinsatz (Stufe 4) sind Bestandteil zukünftiger Arbeiten.

Ergebnisse

Um die Reproduzierbarkeit und auch die Präzision der Messungen unter simulierten Feldbedingungen zu gewährleisten, wurde zunächst ein geeigneter Prüfstand entwickelt, welcher die NIRS-Sensoreinheit (ZEISS CORONA 45 NIR) wiederholt unter Vorgabe der Geschwindigkeit und des Anpressdruckes über den selben Schwad führen kann. Der Schwad bestand zur Ermittlung des Einflusses der Umgebungsparameter aus Hochdruckballen, da diese, im Gegensatz zu einem Schwad aus losem Material, auch nach vielen Überfahrten die Form und die Oberflächentextur bewahren und keine starke Änderung der Inhaltsstoffzusammensetzung über die Zeit aufweisen.

In den Versuchen wurden parallel zu jeder Messung die folgenden sechs Parameter der Probenpräsentation (Umgebungsparameter) erfasst:

- Relative Geschwindigkeit der Sensoreinheit zum Probenmaterial
- Temperatur der Umgebungsluft
- Temperatur der Schwadoberfläche
- Luftfeuchte der Umgebungsluft
- Fremdlichteinstrahlung durch Sonnenlicht
- Materialart und Lagerungsform

Die Auswertung des Datenmaterials erfolgte mit der Software WinISI von InfraSoft International. Es wurden sechs Schätzmodelle erstellt, wobei jeweils die gemessenen Werte eines Parameters als Referenzwert sowie alle erfassten Spektren einfließen. Der signifikante Einfluss eines Parameters auf die Spektreninformation gilt dann als nachgewiesen, wenn sich durch das Schätzmodell aus dem NIR-Spektrum dessen qualitativer oder sogar quantitativer Einfluss voraussagen lässt. Zur Modellerstellung wurde dazu mittels multivariater Regression nach Zusammenhängen zwischen den gemessenen Parametern (beispielsweise Umgebungstemperatur) und den Spektreninformationen gesucht. Die gefundenen Zusammen-

hänge wurden daraufhin genutzt, um aus der Spektreninformation wiederum die Parameterwerte zu schätzen. Ein Vergleich der ursprünglich ins Modell eingebrachten gemessenen Werte mit den durch das Modell nachträglich geschätzten Werten der Parameter der Probenpräsentation zeigt, ob ein ausreichend gutes Modell erstellt werden konnte. Die Bewertung der Güte des Modells erfolgt mit dem Regressionskoeffizienten zwischen tatsächlichen und geschätzten Werten.

Beispielhaft zeigt *Bild 1* die Modellgüte der Parameter „relative Sensorgeschwindigkeit“ und „Schwadtemperatur“. Es wurde mit Ausnahme der relativen Geschwindigkeit (0,89) für alle Parameter der Probenpräsentation ein Korrelationskoeffizient größer als 0,94 ermittelt. Bei den Parametern Luftfeuchte, Umgebungs- und Schwadtemperatur lässt sich dabei die signifikante Spektrenbeeinflussung direkt über die dominanten Wasserbande erklären.

Fazit

Vor der Erstellung für den Feldeinsatz tauglicher Schätzmodelle muss nach dem nun nachgewiesenen signifikanten Spektreneinfluss noch dessen Relevanz getestet werden. Geklärt werden muss dabei, ob diese nachgewiesenen Spektreneinflüsse einen störenden Einfluss auf die Schätzgenauigkeit von Qualitätsparametern des erfassten Materials besitzen. Hierzu werden weitere Prüfstandsversuche durchgeführt, wobei neben der Messung der Umgebungsparameter, eine Bestimmung des Trockensubstanzgehalts und weiterer Inhaltsstoffe des Schwadmaterials erfolgen. Durch die ermittelten Referenzwerte kann getestet werden, ob eine Anpassung bestehender Kalibriermodelle für die Auswertung von Spektren, die unter den dynamischen Bedingungen der Erfassung am Schwad ermittelt wurden, notwendig ist.