

## Kontinuierliche Inhaltsstoffbestimmung im selbstfahrenden Feldhäcksler

### Ingredients Measurement on Self Propelled Forage Harvesters

Dipl.-Ing. **G. Kormann**, John Deere Werke, Zweibrücken; Prof. Dr.

**H. Auernhammer**, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan

Die Begriffe Qualität und Qualitätskontrolle sind heute im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion immer öfter zu finden. Nicht zuletzt die Skandale in der Lebensmittel- und Futtermittelerzeugung lassen die Forderung nach einer lückenlosen Überwachung der Erzeugnisse stärker werden. Diese sollen aber nicht nur garantiert qualitativ hochwertig sondern auch zu konkurrenzfähigen Preisen erzeugt sein. Diese Anforderung macht neue Werkzeuge notwendig, die es ermöglichen, schlagkräftig zu produzieren und auf einfache Weise Informationen über diesen Herstellungsprozeß zu gewinnen. Das heißt: an welchem Ort, wird zu welcher Zeit, welches Produkt in welcher Menge mit welcher Qualität hergestellt. Diese Daten müssen zudem analysiert und visualisiert werden.

Die heute im Bereich Precision Farming bekannten Ertragsmeßsysteme für Mähdre-  
scher, Feldhäcksler, Rübenroder, Kartoffelroder und Ballenpresse bilden mit der Er-  
fassung von Ort, Zeit, Fläche, Menge und Feuchte ein erstes Werkzeug zur Erfüllung  
dieser Aufgabenstellung. Für eine umfassende Qualitätskontrolle wäre allerdings die  
Kenntnis über wichtige Inhaltsstoffe wie Proteingehalt, Fasergehalt, Ölgehalt, Stärke  
usw. notwendig. Mit dem Wissen um diese Parameter ließen sich ebenfalls höhere  
Gewinne für die Produkte erzielen, da Futtermittel nach ihrem tatsächlichen Futter-  
wert und nicht nach Menge verkauft werden könnten.

## **Bekannte Meßsysteme für Feldhäcksler**

Eine heute gängige Maschine zur Futterbergung stellt der selbstfahrende Feldhäcksler dar, parallel zu dessen Arbeit die Dokumentation der Futterqualität notwendig ist. Die von AUERNHAMMER et al. [1] und BARNETT et al. [2] vorgestellten Ertragsmeßsysteme für den Feldhäcksler beinhalten nur Massenfluß- und Feuchtemessung. Lediglich im Bereich der Parzellenerntetechnik ist ein Ansatz von RODE et al. [4] bekannt. Rode setzt eine Parzellenerntemaschine von Haldrup ein, die mit einem Zeiss Corona 45 NIR Sensor zur Inhaltsstoffbestimmung ausgestattet ist. Dabei handelt es sich allerdings um ein absätziges Meßverfahren, da die Probe erst gestoppt, dann vorkomprimiert und anschließend gemessen wird.

Der zunehmende Bedarf an Qualitätskontrollsystemen für Erntemaschinen und die fehlende Erfahrung der Sensorhersteller im mobilen Einsatz der Sensoren auf Fahrzeugen waren die Auslöser einer Untersuchung über die Integrierbarkeit kontinuierlich arbeitender Inhaltstoffsensoren basierend auf Nah-Infrarot-Technologie im selbstfahrenden Feldhäcksler.

## **Eingesetzte Technik**

Basierend auf den Erfahrungen am Institut für Landtechnik der TU München [1][3] kam ein selbstfahrender Feldhäcksler Typ John Deere 6950 zum Einsatz. Dieser war mit Systemen zur Datenerfassung, Positionsbestimmung, Flächenermittlung und Durchflußbestimmung ausgestattet (Abbildung 1). An die Position der austauschbaren Sensoreinheit wurde ein Perten DA7000 montiert. Dieses Nahinfrarot-Reflexions-Analysesystem arbeitet in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1700 nm, ist ursprünglich für den Laboreinsatz entwickelt und arbeitet mit Diodenarrays. Der Sensor erfaßte kontinuierlich Vollspektren, aus denen aufgrund einer Kalibrierung Meßwerte für die einzelnen Qualitätsparameter errechnet wurden.

Für den gleichen Meßkopf wurde vom Sensorhersteller ein Laboraufbau mitgeliefert, der die Möglichkeit bot, statische Messungen mit der gleichen Meßgeometrie wie auf dem Feldhäcksler durchzuführen. Somit konnte die grundsätzliche Machbarkeit der Messungen auch im Labor getestet werden. Die Referenzanalysen für die Messungen wurden in einem Labor der TU München durchgeführt. Mitarbeiter der Firma Perten erarbeiteten die Kalibrierungen.

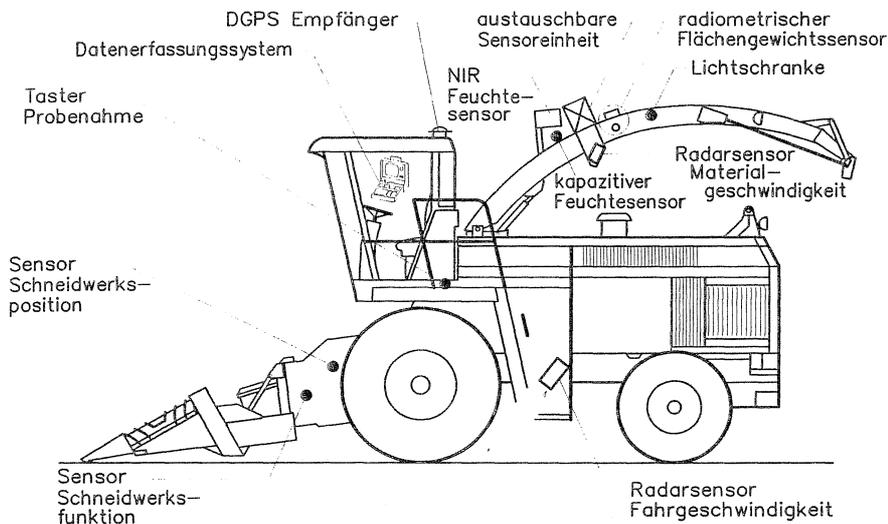


Abbildung 1: Versuchsaufbau am selbstfahrenden Feldhäcksler.

Figure 1: Experimental setup on a self-propelled forage harvester.

## Versuchsprogramm und Ergebnisse der Systemtests

Aufgrund des engen Zeitrahmens wurde 1998 direkt mit Feldversuchen während der Maisernte begonnen. Auf einer Versuchsfläche mit drei unterschiedlichen Maissorten wurden 82 Anhänger Silomais mit einem Gewicht von jeweils ca. 800 kg geerntet. Während dieser Zeit sammelte das Perten DA7000 kontinuierlich Spektren. Anhand einer Mischprobe von jeder einzelnen Ladung konnten nach einer Trocknung bei 60 °C im Labor die Inhaltsstoffe ermittelt werden. Diese Ergebnisse zeigen, daß die Bestimmung von Wassergehalt, Rohprotein und Stärke auf jeden Fall möglich sein sollten (Tabelle 1). Dabei bleibt zu berücksichtigen, daß bei Probennahme von einem Anhänger die Repräsentativität der Probe aufgrund der großen Erntemenge eingeschränkt ist. Diesem Problem kann nur durch eine sehr große Anzahl an Referenzmessungen entgegengewirkt werden.

Tabelle 1: Ergebnisse der Inhaltsstoffbestimmung mit Perten DA7000 ( $n = 82$ ).

Parameter	Bereich [%]	R <sup>2</sup>	SECV [%]	Faktoren
Wasser	57,4 – 68,6	0,774	1,39	13
Stärke	28,0 – 41,2	0,608	1,62	13
Elos	63,8 – 75,9	0,449	1,69	16
Rohfaser	12,4 – 21,4	0,423	1,39	13
Rohprotein	6,5 – 8,9	0,706	0,28	12
Asche	3,5 – 4,8	0,303	0,25	11
ME [MJ/kg]	10,0 – 11,5	0,348	0,23	9
NEL [MJ/kg]	5,9 – 7,0	0,360	0,17	9

Nach dieser ersten Versuchsreihe folgten einige statische Versuche mit Gras im Labor (Abbildung 2).

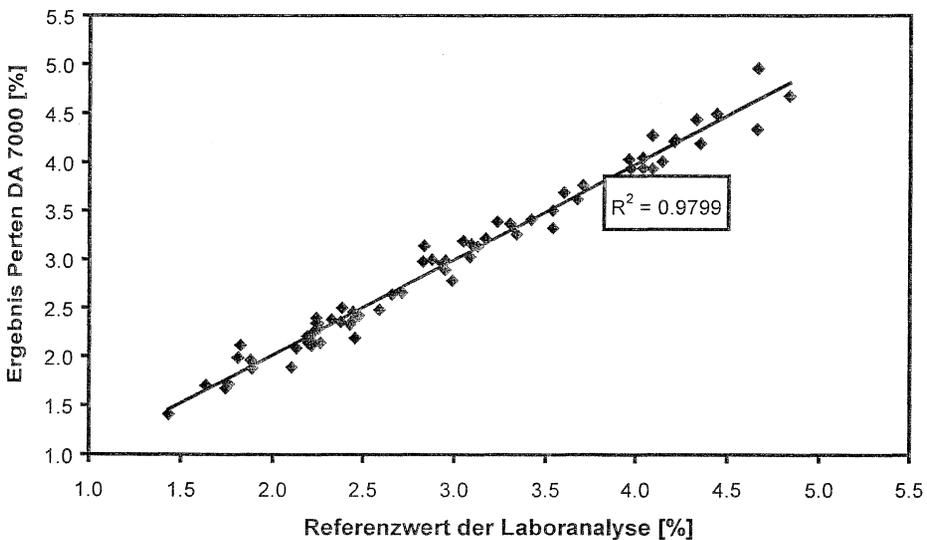
Abbildung 2: Ergebnis der Laboranalyse von Stickstoff (N) in Gras ( $n = 69$ ).

Figure 2: Results from nitrogen analysis in the laboratory ( $n = 69$ ).

Eine Untersuchung hinsichtlich des Stickstoffgehalts (N) zeigte eine relative Genauigkeit von  $\pm 4.53$  %, was einer absoluten Genauigkeit von  $\pm 0.124$  % entspricht. Auch das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von 0.9899 erlaubt die Aussage, daß das Modell der Kalibrierung sehr gut mit der Realität übereinstimmt.

Untersuchungen über die Integrierbarkeit der Inhaltsstoffmessung in bestehende Ertragsmeßsysteme führten zu der Erkenntnis, daß aufgrund der je nach Erntegut variierenden Anzahl an Qualitätsparametern die Monitoranzeige sehr flexibel gestaltet werden müßte.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Bereits die ersten Ergebnisse machten deutlich, daß eine kontinuierliche Erfassung bestimmter Inhaltsstoffe auf dem selbstfahrenden Feldhäcksler theoretisch möglich aber durch eine Vielzahl an Proben weiter abzusichern ist. Weitere Untersuchungen sind zudem auch für die qualitätsrelevanten Inhaltsstoffe anderer Erntegüter durchzuführen. Weiter ist einiger Aufwand notwendig, einen für Laborbereiche entwickelten Sensor für den rauen Einsatz auf Landmaschinen umzukonstruieren.

Parallel zu diesen Untersuchungen trat als ein weitreichendes Problem die Behandlung der Referenzproben auf. Soll eine Referenzprobe auf Ihre Inhaltsstoffe hin untersucht werden, ist zunächst darauf zu achten, daß diese schnellstmöglich gekühlt oder besser gleich getrocknet wird, bevor Umwandlungsprozesse im Material auftreten können. Wird die gleiche Probe anschließend vermahlen, geteilt und an verschiedene Laboratorien zur Untersuchung geschickt, weisen die Ergebnisse teilweise gravierende Unterschiede auf. Somit muß zunächst eine Standardisierung der Probenahme und -analyse erfolgen, um Ergebnisse vergleichbar zu machen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die kontinuierliche Inhaltsstoffbestimmung in Zukunft eine wichtige Rolle in der Qualitätskontrolle von Erntegütern spielen wird. Die heutige Meßtechnik stellt – wenn auch zu sehr hohen Preisen – Sensoren für den mobilen Einsatz zur Verfügung, die in der Lage sind, Inhaltsstoffe von Erntegütern mit einer bestimmten Genauigkeit zu bestimmen. Das größte Problem stellt heute allerdings die Referenzierbarkeit und somit die Akzeptanz der Meßwerte beim Anwender dar. Um dieses Problem zu lösen, wäre eine zumindest landesweite Standardisierung über Probenahme und anschließende Labormethoden notwendig. Des weiteren müßten sich die Anbieter von Inhaltsstoffmeßsystemen auf

einheitliche geometrische und sensortechnische Aufbauten einigen, um die notwendigen Kalibrierungen übertragbar zu machen.

## Literatur

- [1] **Auernhammer, H., Demmel, M. and Pirro, P.J.M.:** Yield measurements on self propelled forage harvesters. ASAE Paper No. 95 1757, ASAE, St. Joseph, MI, USA 1995
- [2] **Barnett, N.G. und K.J. Shinnors:** Analysis of systems to measure mass-flow-rate and moisture on a forage harvester. ASAE Paper No. 98 1118, ASAE, St. Joseph, MI, USA 1998
- [3] **Kormann, G.:** Auswahl geeigneter Meßsensorik für die Feuchtemessung in Futtererntegütern. Diplomarbeit: Institut für Maschinenwesen Clausthal 1997
- [4] **Rode M. und C. Paul:** Qualitätsmessungen in der Pflanzenzüchtung. – In: Innovation 7 (1999), S. 10-11

## Summary

The effort to integrate a continuously working ingredients measurement systems into a self-propelled forage harvester showed the feasibility of using NIR sensor systems on mobile machines. The Perten DA7000 diode array sensor system showed good results during the first tests. The main problem today is sample taking, sample handling and the referencing of the results. To solve this basic problem, a nationwide standardization is necessary. This should be driven by ag-machinery producers, sensor producers, breeding companies and ag-consulting groups.