

Georg Kormann, Zweibrücken, und Hermann Auernhammer, Freising

Kontinuierliche Feuchtemessung im selbstfahrenden Feldhäcksler

Basierend auf bekannten physikalischen Verfahren zur Feuchtemessung wurde versucht, auf dem Markt verfügbare Sensoren für die Feuchtemessung an Futtererntegütern in einen selbstfahrenden Feldhäcksler zu integrieren. Neben grundlegenden Laboruntersuchungen zur Eignung der Sensoren zur Feuchtebestimmung an organischen Materialien wurden zusätzlich Feldversuche durchgeführt, die es erlaubten, verschiedene Systeme im direkten Vergleich zu untersuchen.

Dr. Georg Kormann arbeitet in der Abteilung Ag Management Solutions der John Deere Werke Zweibrücken und ist für die Entwicklung eines Ertragsmesssystems für selbstfahrende Feldhäcksler zuständig; John Deere Werke Zweibrücken, Homburger Str. 117, 66482 Zweibrücken; e-mail: KormannGeorg@JohnDeere.com
 Prof. Dr. Hermann Auernhammer ist Leiter des Fachgebiets Technik im Pflanzenbau der Technischen Universität München, Am Staudengarten 2, 85350 Freising-Weihenstephan; e-mail: Auernhammer@tec.agrar.tu-muenchen.de

Schlüsselwörter

Präziser Ackerbau, Feuchtemessung, Inhaltsstoffbestimmung, Feldhäcksler

Keywords

Precision farming, moisture measurement, ingredients measurement, forage harvester

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 02523 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Um dem steigenden Qualitätsbewusstsein der Verbraucher und den Bestrebungen der Europäischen Union nach einer garantierten Lebensmittelsicherheit gerecht zu werden, sind leistungsfähige Dokumentationssysteme notwendig. Diese sollen den gesamten Produktionsprozess landwirtschaftlicher Produkte lückenlos aufzeichnen. Ertragsmesssysteme in Erntemaschinen können einen wesentlichen Teil zu dieser Informationserfassung beitragen. Die kontinuierliche Feuchte- beziehungsweise Inhaltsstoffbestimmung stellt dabei wiederum eine Schlüsseltechnologie innerhalb der Ertragsmessung auf dem Feldhäcksler dar.

Während die auf dem Markt verfügbaren Ertragsmesssysteme auf Mähdreschern heute mit einem Feuchtesensor ausgestattet sind, ist die Feuchtemessung auf Feldhäckslern nur aus Forschungsberichten bekannt [2, 3]. Die hohe Materialgeschwindigkeit sowie die Inhomogenität des zu erntenden Materials stellen jedoch sehr hohe Anforderungen an die Sensorik. Da die Feuchte zudem maßgeblich die Dichte von Futtererntegütern be-

einflusst, würde die Kenntnis dieser Größe die Genauigkeit der volumetrischen Massenflussmesssysteme für Feldhäcksler verbessern.

Grundlagen

Unter Berücksichtigung der Beschreibung der Feuchtemessprinzipien durch Kupfer [4] und Lück [5] und der grundlegenden Untersuchungen von Ahlgrimm [1] kommen theoretisch die in *Tabelle 1* aufgelisteten Möglichkeiten zur kontinuierlichen Feuchtemessung auf dem Feldhäcksler in Betracht. Dabei bleibt zu beachten, welche Faktoren das jeweilige Messprinzip beeinflussen.

Material und Methoden

Im Rahmen einer Kooperation von John Deere und dem Fachgebiet Technik im Pflanzenbau der TU München wurden verschiedene Feuchtemessprinzipien hinsichtlich ihrer Eignung zur Feuchtemessung in Futtererntegütern untersucht. Anschließend

Tab. 1: Einflussfaktoren auf die technisch relevanten Feuchtemessverfahren

Table 1: Influential factors in the suitable moisture measurement methods

Messverfahren	Leitfähigkeitsmessung			Mikrowellenmessverfahren				Infrarotmessverfahren		Kernstrahlungsverfahren	
	Leitfähigkeitsmessung	Dielektrische Messung	Kapazitiv. Messverfahren	Transmission	Reflexion	Resonator	Zeitreichsreflektom.	Transmission	Reflexion	Kernresonanzverfahren	Kernstrahlungsverfahren
Einflussfaktor											
Materialtemperatur	2	2	2	2	2	2	2	1	1	4	4
Materialdichte	2	1	1	2	2	2	2	1	4	3	2
Schichtdicke	2	2	2	2	4	2	2	1	4	3	2
Korngröße	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
Sensorandruck	2	2	2	4	4	4	4	3	3	2	4
Materialhomogenität	1	1	2	3	1	3	3	3	3	3	2
Elektrolytgehalt	1	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4
Materialfarbe	4	4	4	4	4	4	4	2	2	4	4
Fremdlicht	4	4	4	4	4	4	4	1	1	4	4
Messgut	3	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
elektromagn. Strahlung	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2	3
Materialgeschwindigkeit	3	3	3	2	2	0	0	3	3	2	3

Bewertung der Kriterien nach VDI Richtlinie 2225: 0 = unbefriedigend bis 4 = optimal

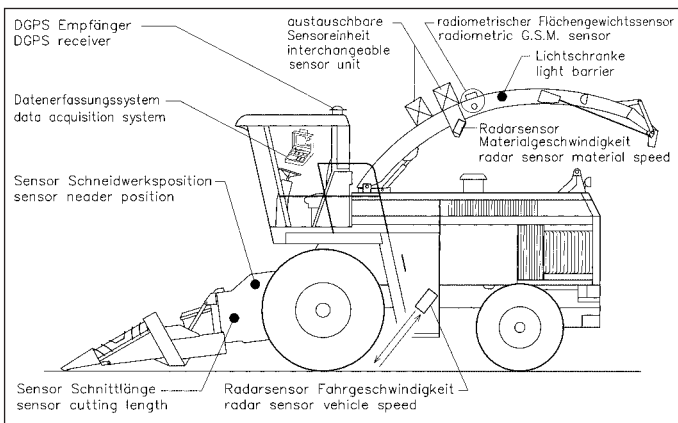


Bild 1: Versuchsaufbau am selbstfahrenden Feldhäckslers

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

erfolgte die Integration der geeigneten Feuchtesensoren in einen selbstfahrenden Feldhäckslers, um unterschiedliche Messprinzipien im direkten Vergleich fahren zu können.

Die Zusammenstellung der möglichen Erntegüter von Stroh über Gras und Mais ergibt, dass ein Feuchtebereich zwischen 8% und 85% erfasst werden muss. Je nach Schnittlänge, Struktur und Feuchte schwankt die Dichte der Erntegüter zwischen 0,05 kg/dm³ und 0,5 kg/dm³. Der Materialfluss im Feldhäckslers weist eine Schichthöhe von 0 mm bis 60 mm bei einer Materialgeschwindigkeit von 20 bis 35 m/s auf. Die mit diesen Informationen durchgeführte theoretische Untersuchung der Eignung der Feuchtemessverfahren für den Einsatz auf dem Feldhäckslers ergab, dass sich das Nahinfrarotreflexionsverfahren am besten eignen müsste, gefolgt vom Mikrowellenreflexionsverfahren.

Innerhalb von vier Jahren wurden Mikrowellenreflexionssysteme der Firmen Franz Ludwig, Hydronix und Strandberg Engineering, zwei Mikrowellentransmissionssysteme der Firmen Berthold und pro/M/tec, zwei kapazitive Systeme der Firmen Liebherr und Arnold und vier Nahinfrarotreflexionssysteme (NIR-Systeme) der Firmen Mesa, Perten, Zeiss und Rütter für grundlegende Untersuchungen bereitgestellt. Bei Laborversuchen konnten diese Sensoren unter den vom Hersteller vorgegebenen Messgeometrien mit Material beaufschlagt werden. Dabei kamen unterschiedliche Erntegüter, Schichtdicken, Dichten und Feuchtegehalte zum Einsatz. Die Referenzmessung des Feuchtegehaltes erfolgte durch Trocknen der Probe im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz.

Für die Feldversuche stand ein selbstfahrender Feldhäckslers Typ 6950 von John Deere zur Verfügung. Diese Maschine war mit einem radiometrischen Durchflussmesssystem einschließlich Radarsensor für die Materialgeschwindigkeit, einem DGPS-Empfänger, einer Lichtschranke, einem Schneidwerkssensor, einem Schnittlängensensor, einem Radarsensor für die Fahrgeschwindigkeit und einem Datenerfassungssystem der Firma Caesar ausgestattet. Der Auswurfkamin enthielt zusätzlich zwei austauschbare

re Sensormodule, die es erlaubten, je nach Bedarf schnell unterschiedliche Feuchtesensoren zu montieren (Bild 1).

Während bei den Laborversuchen immer das gesamte Probenmaterial mit der Trockenschrankmethode auf Feuchte untersucht wird, stellt die Entnahme einer repräsentativen Probe und deren Handhabung bei den Feldversuchen bis heute ein Problem dar.

Ergebnisse

Die Laboruntersuchungen zeigten bereits deutlich, welche Messsysteme mit welcher Genauigkeit betrieben werden können und welche Faktoren die Ergebnisse beeinflussen. Die Messungen mit Mikrowellenreflexionssystemen und kapazitiven Systemen, die eine Eindringtiefe von 60 mm bis 100 mm haben, sind unterhalb dieses Limits sehr stark schichtdickenabhängig und zudem noch dichteabhängig. Diese Einflussfaktoren lassen sich auch nicht rechnerisch kompensieren. Die Mikrowellentransmissionssysteme lieferten keine stabilen Messergebnisse und sind laut Herstellerangabe nicht in der Lage, bei Materialgeschwindigkeiten über 6 m/s Feuchte zu messen.

Dagegen sind die Laborergebnisse der NIR-Feuchtesensoren mit Standardabweichungen von weniger als 3% und Bestimmtheitsmaßen über 0,9 sehr gut. Dieses Messprinzip erlaubt zudem die Erfassung weiterer Inhaltsstoffe wie beispielsweise Protein, Stärke oder Ölgehalt. Ein Labortest mit 69 Proben trockenem Gras zeigte, dass das Perten DA 7000 System in der Lage ist, Protein mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,979 und einer Standardabweichung von 4,53% zu bestimmen, was einer absoluten Abweichung von ±0,123% entspricht.

Alle Sensoren zeigen bei den Feldversuchen ein ähnliches Verhalten wie bei den La-

borversuchen. Die Ergebnisse der kapazitiven Sensoren sind wiederum sehr stark beeinflusst von Schichtdicke und Dichte. Zudem hängt der Messwert von der Neigung des Auswurfkamins ab, da der Andruck des Materials zunimmt, je flacher der Kamin steht. Unter diesen Bedingungen schwankten die Werte in Bereichen von ± 10% und mehr bei Standardabweichungen unter 0,3. Eine Kompensation der Einflussfaktoren ist nicht möglich.

Die NIR Systeme zeigen auch im mobilen Einsatz auf dem Feldhäckslers, dass diese Oberflächenmessung mit einer maximalen Eindringtiefe von 1mm sehr gute Ergebnisse liefern kann, wenn ein repräsentativer Materialausschnitt erfasst wird. Das Perten DA7000 liefert für Wasser, Stärke und Protein akzeptable Werte (Tab. 2). Sollten weitere Inhaltsstoffe exakt bestimmt werden, wären ausführlichere Feldversuche nötig.

Auch das Zeiss Corona 45 NIR und das Mesa MM710 NIR Messsystem liefern vergleichbare Resultate.

Diskussion und Schlussfolgerung

Die Untersuchungen haben eindeutig gezeigt, dass nur das NIR-Feuchtemessverfahren für den Einsatz auf dem selbstfahrenden Feldhäckslers einsetzbar ist. Wichtige Voraussetzung einer aussagefähigen Messung ist das Erfassen eines repräsentativen Ausschnittes des Materialstromes. Um die Anforderungen von Seiten der Qualitätskontrolle zu erfüllen, ist die Entwicklung einer automatischen Probennahmeverrichtung notwendig. Erst dann wird die Entwicklung robuster Kalibrierungen möglich.

Aufgrund des mit 10000 bis 40000 € hohen Preises für NIR-Sensoren können diese nur wirtschaftlich eingesetzt werden, wenn neben der Feuchte noch andere Inhaltsstoffe bestimmt werden. Eine genaue Untersuchung der ökonomischen Aspekte dieser Messtechnik muss noch erfolgen.

Diese Inhaltsstoffbestimmung kann auch nur dann erfolgreich eingeführt werden, wenn die erzeugten Messwerte allgemein akzeptiert werden. Dazu wäre beispielsweise die Entwicklung und Verteilung durch eine unabhängige zentrale Stelle notwendig, wie dies heute im Deutschen Maismessnetz der Fall ist.

Tab. 2: Ergebnisse der Inhaltsstoffbestimmung mit dem Perten DA7000 System

Table 2: Results from ingredients measurement with the Perten DA7000 system

Inhaltsstoff	Bereich [%]	R ²	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