

# Entwicklung eines Nah-Infrarot-Sensors für Landmaschinen

*Basierend auf bekannten Nahinfrarot-Spektroskopie- (NIRS-) Messsystemen für den Laboreinsatz wurde ein Sensor entwickelt, der auf Landmaschinen und zur Prozesskontrolle verwendet werden kann. Neben grundlegenden Laboruntersuchungen zur Eignung unterschiedlicher Detektoren hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit zur Inhaltsstoffbestimmung an organischen Materialien erfolgten Kalibrierungen und Validierungen für unterschiedliche Fruchtarten. Dabei wurden verschiedene chemometrische Verfahren getestet.*

Prof. Dr. Karl Wild ist Leiter der Arbeitsgruppe Landtechnik an der HTW Dresden, Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden; e-mail: [wild@pillnitz.htw-dresden.de](mailto:wild@pillnitz.htw-dresden.de)  
Dr. Georg Kormann arbeitet bei John Deere Intelligent Vehicle Systems und ist für die Weiterentwicklung Automatischer Lenksysteme zuständig. John Deere Intelligent Vehicle Systems, 4140 114th Street, Urbandale / IA/ USA

## Schlüsselwörter

Sensor, NIR, Inhaltsstoffbestimmung, Landmaschinen, Qualitätskontrolle

## Keywords

Sensor, NIR, constituent's measurement, agricultural machinery, quality control

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07SH19 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die erforderliche Optimierung und Automatisierung von Produktionsprozessen in der Landwirtschaft sowie die notwendige Qualitätsdokumentation von Agrarprodukten und Produktionsreststoffen erfordert eine kontinuierliche Erfassung der Inhaltsstoffe sowohl im stationären Betrieb als auch im mobilen Einsatz auf Landmaschinen. Bekannterweise bietet die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) zahlreiche Möglichkeiten zur Inhaltsstoffanalyse organischer Materialien. Die Problemstellung besteht darin, ein NIRS-System zu entwickeln, das den extremen Bedingungen auf Erntemaschinen standhält. Darüber hinaus zeigten Untersuchungen folgenden Bedarf [1, 2, 3, 4]:

- Auswahl des richtigen Detektors in Abhängigkeit der Genauigkeitsanforderung
- Mechanische und elektrische Schnittstellen für die Integration auf Landmaschinen (etwa in CAN-Netzwerk) und für einen stationären Einsatz im Büro/Labor oder in Fördersystemen
- Verschleißfeste Oberfläche des Messfensters für den Einbau im Materialstrom
- Anpassung an einen weiten Temperaturbereich
- Verringerung der Anzahl durchzuführender externer Schwarz-/Weiß-Referenzierung
- Entwicklung einer integrierten Auswertereinheit, um auf einen PC verzichten zu können
- Entwicklung robuster Kalibrierungen für unterschiedliche Fruchtarten und Sorten

Recherchen zeigten, dass kein Sensor verfügbar ist, der alle diese Anforderungen erfüllt. Deshalb war das Ziel einer Zusammenarbeit mit der Carl Zeiss MicroImaging GmbH einen Sensor zu entwickeln, der die gewünschten Eigenschaften aufweist.

## Material und Methoden

Zunächst wurden aus vorhandenen Komponenten Funktionsmuster hergestellt, die eine Entscheidung zugunsten eines Silizium-basierten Detektors oder eines Indium-Gallium-Arsenid- (InGaAs-) Detektors ermöglichen würden. Da derselbe Sensortyp für verschiedene organische Produkte eingesetzt werden sollte, wurde auf die Erfassung diffuser Reflexion zurückgegriffen. Der endgültige Testaufbau erlaubte es, die auf der Erntemaschine erfassten Proben auch im Labor zu scannen. Während auf der Erntemaschine eine Probe nur einmal gemessen werden konnte, wurde bei den Laborversuchen jede Probe fünfmal untersucht, wobei nach jeder Messung die Probe durchmischt wurde. Die während einer Messung (Dauer 5 s) erhobenen Spektren wurden gemittelt und als ein Spektrum für eine Probe abgespeichert. Da zunächst der Schwerpunkt auf der Bestimmung des Feuchtegehalts der Proben lag, erfolgte die Referenzanalyse mit Hilfe der Trockenschrankmethode, bei der die Proben 24 h lang mit 105°C getrocknet wurden.



Bild 1: „HarvestLabTM“-Sensor im Aufbau auf einem Feldhäcksler und als stationäre Einheit

Fig. 1: “HarvestLabTM”-sensor mounted on a forage harvester and in stationary set-up

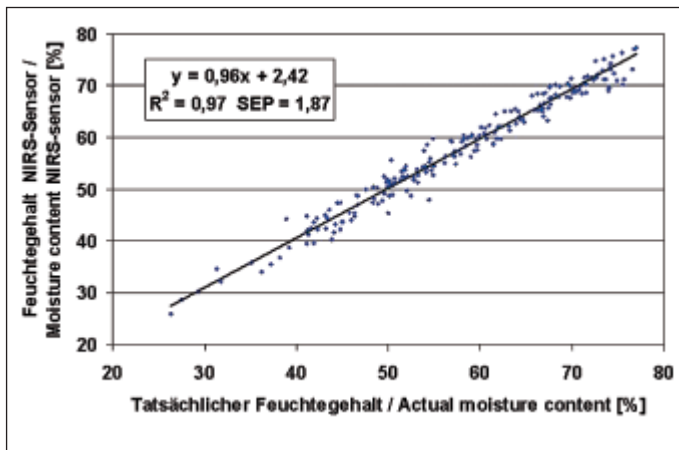


Bild 2: Ermittelte Feuchtigkeitsgehalte für Grasproben aus den Jahren 2005 und 2006 (stationäre Messung; n = 210)

Fig. 2: Determined moisture contents for grass samples in 2005 and 2006 (static measurement; n = 210)

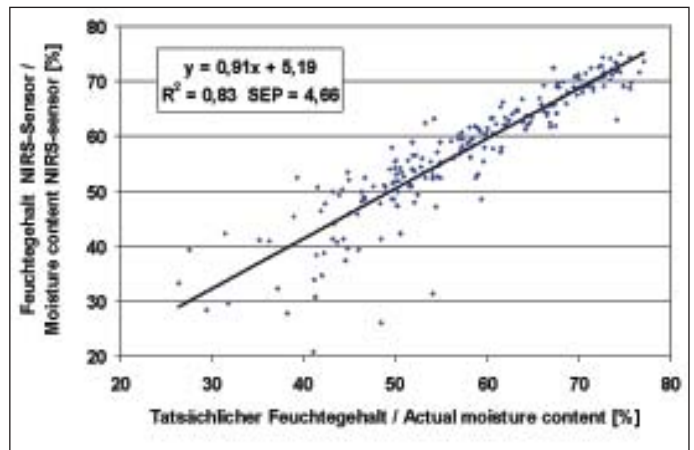


Bild 3: Ermittelte Feuchtigkeitsgehalte für Grasproben aus den Jahren 2005 und 2006 (mobile Messung auf dem Häcksler; n = 210)

Fig. 3: Determined moisture contents for grass samples in 2005 and 2006 (mobile measurement on forage harvester; n = 210)

Vor der Weiterverarbeitung der ermittelten Spektren wurden diese visuell begutachtet und abnormale Spektren, die sich zu sehr von den anderen Spektren unterschieden, entfernt. Der Anteil der gelöschten Spektren lag dabei unter 2%. Die Kalibrierungen und Validierungen wurden mit der Software „The Unscrambler“ (Firma CAMO, Trondheim, Norwegen) durchgeführt, wobei für die Erstellung der Kalibrierungsmodelle die Partial Least Squares (PLS) – Regression diente [5]. Ebenso erfolgten mit dem Programm die Datentransformationen und die mathematische Vorverarbeitung der Spektren, die notwendig waren, da es sich um die Analyse von Daten diffuser Reflexion handelte [6, 7]. Zur Beurteilung der Kalibrierungen und Validierungen wurden das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und der Standard Error of Cross Validation (SECV) oder der Standard Error of Prediction (SEP) herangezogen. Gleichzeitig wurde darauf geachtet, die Anzahl der PLS-Faktoren gering zu halten, um möglichst stabile Modelle zu erhalten.

## Ergebnisse

Die grundlegende stationäre Untersuchung zwischen Silizium-basierten Detektoren und InGaAs-Detektoren zeigte, dass die Messge-

nauigkeit des InGaAs-Typs deutlich besser ist als die des Silizium-Detektors (Tabelle 1).

Um die geforderte Genauigkeit zu erzielen, fiel die Wahl auf einen InGaAs-Detektor mit einem Wellenlängenbereich von 950 bis 1530 nm und einer Auflösung von 256 Pixel. Daraus wurde der „HarvestLabTM“-Sensor entwickelt, der eine automatische interne Schwarz-/Weiß-Referenzierung ermöglicht. Dadurch konnte die Anzahl externer Referenzierungen auf eine pro Jahr oder eine pro Serviceumbau beschränkt werden. Die Platine des Sensors enthält mit 64 MB genug Speicher, um Software und mehrere Kalibrierungen zu enthalten, und zudem einen Prozessor, der Rohspektren in Analysewerte umrechnet und auf dem CAN-Bus zur Verfügung stellt. Darüber hinaus bietet der Sensor einen Netzwerkanschluss für den stationären Einsatz und eine USB-Schnittstelle zum Datentransfer. Dieser Sensor kann sowohl auf Landmaschinen als auch als stationäre Einheit in Kombination mit einem Drehteller verwendet werden (Bild 1). Die geforderte Verschleißfestigkeit wurde durch den Einsatz eines gehärteten Stahls in Kombination mit einer Saphir-Glasscheibe erreicht.

Rückschlüsse über erzielbare Genauigkeiten bei der Feuchtebestimmung im prakti-

schon Einsatz ermöglicht Bild 2. Es zeigt das Ergebnis einer Validierung für den stationären Betrieb des Sensors.

Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,97 und einem SEP von 1,9% erfüllen diese Ergebnisse die gesetzten Anforderungen. Bei der Vorverarbeitung durchliefen diese Daten eine Kubelka-Munk-Transformation, eine Streulichtkorrektur (Standard Normal Variante) und eine 2. Ableitung. Unter den vielen getesteten Vorverarbeitungsvarianten führte diese Kombination häufig zu den besten Ergebnissen. Bleiben die Daten unbehandelt, so verschlechtert sich im obigen Beispiel  $R^2$  auf 0,89 und SEP auf 3,3%.

Trotz der wesentlich ungünstigeren Bedingungen für die Messungen im Häcksler bringt der Sensor auch im mobilen Einsatz gute Ergebnisse (Bild 3).

Werden die drei offensichtlichen Ausreißer aus dem Datenbestand entfernt, so verringert sich SEP von 4,7 auf 3,8%.

## Schlussfolgerung

Der HarvestLabTM-Sensor hat in den Tests und im ersten Jahr der Serienproduktion für den selbstfahrenden Feldhäcksler gezeigt, dass alle Anforderungen erfüllt werden. Eine Schlüsselkomponente für den Einsatz der NIRS-Technologie stellt das richtige chemometrische Verfahren für die Verarbeitung der Spektraldaten dar. Für eine robuste Kalibrierung ist es unabdingbar, dass genügend repräsentative Spektren von unterschiedlichen Sorten, aufgewachsen auf unterschiedlichen Böden mit verschiedenen Reifegraden gesammelt werden.

Fruchtart: Raps / Anzahl Proben: 390 / Feuchtebereich 6,4 - 21,0%				
Detektorart	Wellenlängenbereich [nm]	Anzahl PLS*-Faktoren	Bestimmtheitsmaß $R^2$	SECV** [%]
Silizium	850 - 1050	5	0,987	0,442
InGaAs	1100 - 1600	3	0,994	0,290
Fruchtart: Alfalfa frisch / Anzahl Proben: 755 / Feuchtebereich 5,0 - 81,9%				
Detektorart	Wellenlängenbereich [nm]	Anzahl PLS*-Faktoren	Bestimmtheitsmaß $R^2$	SECV** [%]
Silizium	800 - 1080	7	0,917	5,78
InGaAs	1000 - 1600	7	0,984	2,55

\* Partial Least Square; \*\* Standard Error of Cross Validation

Tab. 1: Ergebnisse der Feuchtemessung verschiedener Detektoren (stationäre Messung)

Table 1: Results from moisture measurements using different types of detectors (static measurement)