

# Magnetische Resonanz- und Nah-Infrarot-Sensorsysteme zur Online-Messung der Feuchte bei Erntegütern

Christoph-Frederik Kronsbein<sup>1</sup>, Frank Volke<sup>2</sup>, Daniel Schmitt<sup>2</sup>, Martin Benecke<sup>2</sup>, Bernd Schniederbruns<sup>3</sup>, Andre Berghaus<sup>3</sup>, Jaron Martinez<sup>1</sup>, Henrik Hufendiek<sup>1</sup>, Arno Ruckelshausen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Osnabrück  
Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik  
Albrechtstr. 30  
49076 Osnabrück  
c.kronsbein@hs-osnabrueck.de, a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

<sup>2</sup>Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik IBMT  
Ensheimer Str.48  
66386 St. Ingbert  
frank.volke@ibmt.fraunhofer.de

<sup>3</sup>Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH  
Heinrich Krone Straße 10  
48480 Spelle  
bernd.schniederbruns@krone.de

**Abstract:** Die Methoden der Magnetischen Resonanz (MR/NMR) und die Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIR) sind in der Lebensmittel- und Chemieindustrie etablierte Verfahren zur Analyse von Inhaltsstoffen in Substanzen oder Materialien. Im Gegensatz zum oberflächennahen Analyseverfahren der NIR-Spektroskopie bietet die NMR-Technologie Optionen für die Analyse innerhalb der zu untersuchenden Materialien. Für beide Verfahren wurden Sensoren für den Einsatz auf einer Erntemaschine entwickelt und in Labor- und Feldtest zur Feuchtigkeitsbestimmung am Beispiel von gehäckseltem Mais evaluiert.

## 1 Konzeption der Sensorsysteme zur Messung der Feuchte

### 1.1 NMR-Sensor

Für die NMR Bildgebung und Spektroskopie gilt prinzipiell, dass besonders freies Wasser und Wasser an Oberflächen der biologischen Objekte in den Proben (Maiskörner, Stängelstücke, Blätter u.a.m.) zu charakteristischen Signalen führen. Bei der NMR-Relaxometrie spielt für die Zuordnung von Komponenten des zeitabhängigen NMR-Signals insbesondere die Relaxationszeit T2 (Spin-Spin-Relaxation, hier ausschließlich

empfindliche  $^1\text{H}$ -Kerne/Spins) eine Rolle, wobei die Beweglichkeit der Wassermoleküle mit der Nähe zu biologischen Grenzflächen/Oberflächen abnimmt. Dies spiegelt sich in  $T_2$  Zeiten von  $<10$  ms von Wasser “gebunden“ an hydratisierbaren Biomolekülen und etwa 1000 ms bis 1500 ms für frei bewegliches Wasser (letzteres z.B. Leitungswasser) wider. Die NMR-Technologie des Instituts für Biomedizinische Technik der Fraunhofer Gesellschaft IBMT entwickelte für einen Labor- und Feldeinsatz ein NMR-System (Abb. 1) mit einer Resonanzfrequenz von 7.7 MHz. Verschiedene NMR-Verfahren wie Spin-Echo, Freier Induktionsfall FID und Relaxometrie wurden mit dem NMR-Sensor getestet. Die Methode der schnelle RF Impuls NMR (CPMG) zur Bestimmung der Relaxationszeiten  $T_2$  erwies sich als sehr brauchbar für die Kalibrierung von Proben unterschiedlicher Feuchte (Abb. 2). Die CPMG Sequenz besteht aus einer Impulsfolge, bei der nach einem  $90^\circ$  Anregungsimpuls zur Refokussierung eine Serie von  $180^\circ$  Impulsen folgen.



Abbildung 1: Realisierter NMR-Agro-Sensor bestehend aus Messspule und Kea<sup>®</sup>-Spektrometer. Die Proben werden in einem Probenröhrchen von 115 mm x 30 mm der Messspule zugeführt.

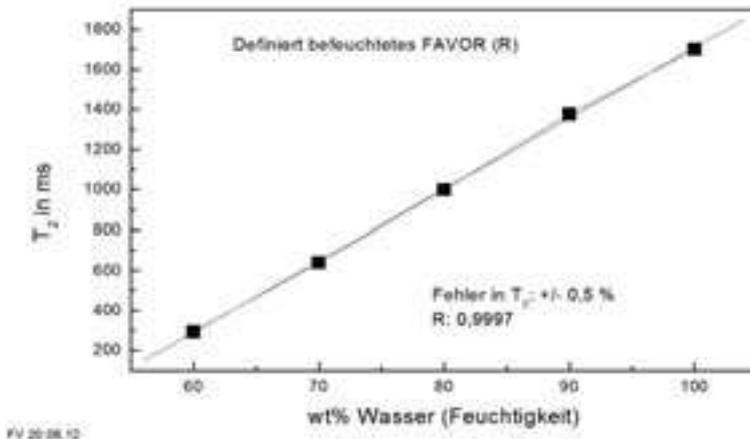


Abbildung 2: Linearität zwischen Relaxationszeit  $T_2$  und Prozentfeuchte – gemessen an definierten Proben aus FAVOR<sup>®</sup> mit dem NMR-Agro-Sensor im Labor.

## 1.2 NIR-Sensor

Zur Onlinefähigkeit eignen sich derzeit erste Nahinfrarot Systeme, jedoch messen diese nur oberflächlich verbunden mit einer sehr geringen Eindringtiefe. Im Bereich der NIR wurde nun ein Sensorkonzept auf Basis gepulster LEDs umgesetzt. Dieses Konzept stellt eine leistungsfähige kompakte und kostengünstigere Alternative gegenüber teuren und aufwendigeren Spektrometersystemen dar. Das Sensorkonzept auf Basis gepulster Wellenlängen unterscheidet sich von bisherigen allg. Ansätzen der Spektroskopie im diskreten Aufbau und Auswahl von Wellenlängen unter Verwendung von nur einem Detektor. Die Wellenlängenkombinationen wurden anhand der spektralen Signaturen zur Messung der Feuchtigkeit von Erntegütern am Beispiel von gehäckseltem Mais gezielt ausgewählt. Durch sequenzielles schnelles Pulsen im Mikrosekundenbereich wird der räumliche Versatz bei bewegtem Messgut für Geschwindigkeiten bis 60 m/s weitestgehend kompensiert. Im Detektor werden die Reflexionssignale der gepulsten LEDs detektiert. Abb. 3 zeigt schematisch die realisierte Anordnung.

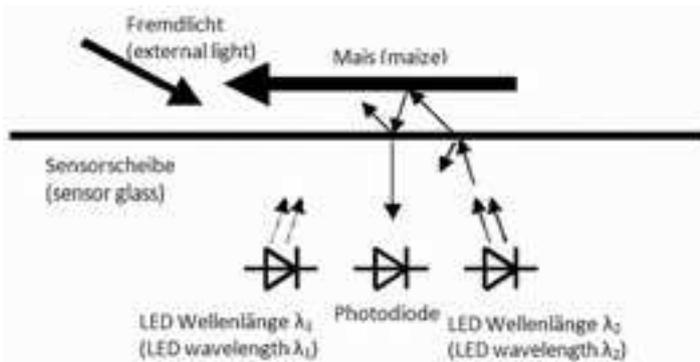


Abbildung 3: Schematische Anordnung des NIR-Sensorsystems auf Basis gepulster Beleuchtung (LEDs) [Egbers M. et al 2005].

## 2 Die Sensorsysteme im Vergleich

Grundsätzlich unterscheiden sich die Methode der NMR und NIR hinsichtlich der Komplexität und müssen im Vergleich differenziert betrachtet werden.

Im Projekt der NMR wurden wichtige Fragen zur Standardisierung von Feuchtemessungen in der Landwirtschaft erfasst und Lösungsansätze gezeigt und methodisch durch einen robusten, elektronisch und mechanisch stabilen und leichten NMR-Sensor für den Labor- und Feldeinsatz ergänzt. Für den Einsatz des NMR-Sensors zur quantitativen, sicheren Feuchtebestimmung sind die Kalibrierkurven für Mais-Häckselgut insbesondere im Bereich zwischen 60% und 80% Gewichtsanteil Wasser (wt % Wasser) noch mit deutlich mehr statistisch relevanten Messpunkten aufzufüllen. Während die Kalibriermessungen für das sehr quellfähige Polymer FAVOR® ab 60 wt% Wasser aufwärts ausgesprochen linear sind (mit Fehlern unter 1%), kann man bei Mais-Häckselgut nicht

zwangsläufig eine lineare Kalibrierkurve ab 60 wt% Wasser erwarten welches sich auch gezeigt hatte. Aufgrund der recht langen Relaxationszeiten in Verbindung mit der Onlinefähigkeit wurde vorgesehen, das NMR-System in einem Bypass zu integrieren. Für einen Feldhäcksler der Firma Maschinenfabrik Krone wurde ein Bypass entworfen und in Feldversuchen bereits erprobt. Die Systemintegration von NMR-Sensor und Bypass wurde bislang noch nicht vollständig durchgeführt, jedoch konnten die Komponenten für sich getestet und bewertet werden. Ein Vorteil der auf CPMG-Relaxation (T2) beruhenden Feuchtemessung mit dem NMR-Agro-Sensor gegenüber stationären, aufwändigeren und kostenintensiven NMR-Systemen ist das Wegfallen individueller Wägungen der Proben.

Das NIR-Sensorsystem konnte im Labor online auf einem Feldhäcksler der Firma Krone bei hohen Geschwindigkeiten erprobt werden. Hier liegen Online-Daten vor und zeigen im Mittel brauchbare Korrelation der Sensorfeuchte zur tatsächlichen Feuchte, die prinzipiell mit der in der Landwirtschaft anerkannten Methode der Ofentrocknung bestimmt wird. Die Produktfähigkeit zur Online-Messung des Parameters Feuchte von bewegten Messgütern wird bei der NIR-Technik zurzeit größer eingeschätzt als beim NMR-Sensor, da der mechanische Aufbau durch einen Bypass ergänzt sein muss.

Beide Methoden zeigen, dass für die Bestimmung der Feuchte (Wasser) von Erntegut, die klassische Methode der Ofentrocknung in zukünftigen Untersuchungen neu bewertet werden sollte, z.B. über selektive Bestimmung der Wasserfeuchte bei der Trocknung.

## **Literaturverzeichnis**

[EKR05] Egbers, M., Kronsbein, C., Ruckelshausen, A. (2005): „Online-Messung des Reifegrades von Maispflanzen zur Optimierung der Häckselqualität“, 63. Internationale Tagung Landtechnik; 2005, Hannover, VDI-Verlag, VDI-Berichte 1895, S. 337-341.

## **Acknowledgement**

Die Forschungsaktivitäten im Bereich der MR/NMR wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durch das Forschungsvorhaben „Applikation unilateraler NMR-Technologie in der Landwirtschaft zur Analyse von Biomasse (Kurzbezeichnung: NMR-Agro) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.