

### 3.2.3.15 Online Erfassung von Inhaltsstoffen mit der Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie

Y. Reckleben, E. Hartung\*

#### Allgemeine Methodenbeschreibung

Die Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie (NIRS) basiert auf einer Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie. Bei der Bestrahlung einer Probe mit Licht im Nahinfrarotbereich (960 – 1700 nm) erfolgt die Reflexion in verschiedenen Wellenlängenbereichen, die charakteristisch für die jeweilige Substanz sind. Dabei ist die Stärke der Reflexion abhängig von der Konzentration der Substanz in der Probe. Somit ist eine rasche und zerstörungsfreie Messung bestimmter Inhaltsstoffe möglich.

Für die Messung wird die Probe mit dem Licht einer Wolfram-Halogen-Lampe bestrahlt. Das reflektierte Licht wird durch ein optisches Gitter (Prisma) in einzelne Wellenlängen zerlegt. Die Intensität der einzelnen Spektren wird mit einem Dioden-Array-System erfasst und als Reflexionsspektrum durch die Messsoftware aufgezeichnet. Aus dem Reflexionsspektrum kann mit einer entsprechenden Kalibrierung die Konzentration des Inhaltsstoffes bestimmt werden.

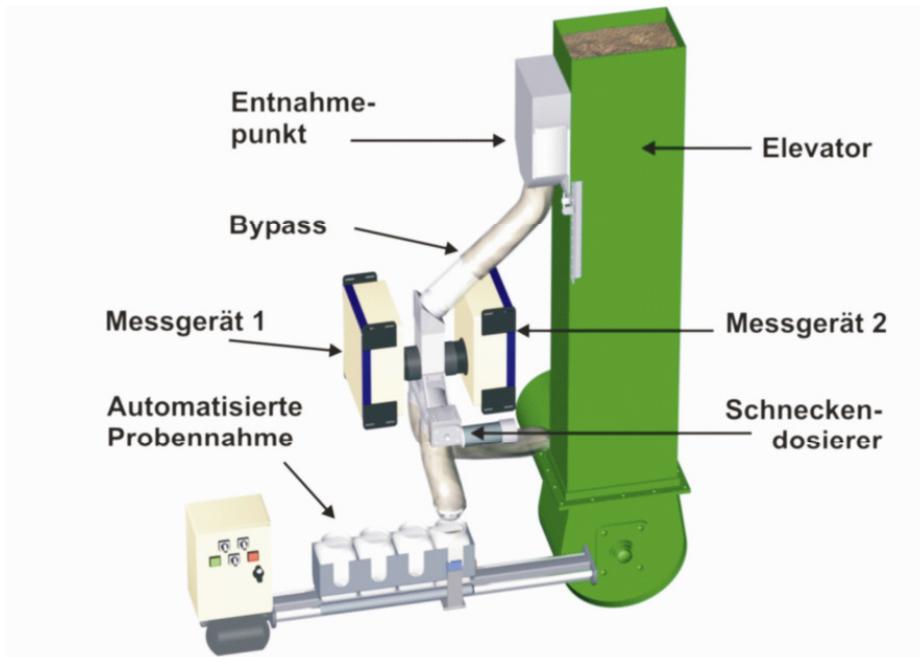
Für die Kalibrierung wird zunächst die Wellenlänge gesucht, an der der zu bestimmende Inhaltsstoff absorbiert. Für diese Wellenlänge wird der Absorptionskoeffizient berechnet, der den Anteil von reflektierten und absorbierten Licht kennzeichnet. Charakteristisch für Messungen im Bereich nahinfraroter Wellenlängen ist, dass die Absorptionsbanden sehr breit sind und sich zum Teil überlagern. Des Weiteren sind Streulichteffekte besonderes bei geschichteten Materialien möglich. Beides macht die Aufnahme von mehr als einer Wellenlänge in die Kalibriergleichung notwendig. Es müssen daher für jedes untersuchte Gut und jeden Inhaltsstoff zunächst Kalibriergleichungen erstellt werden. Diese werden mit Werten aus Laboranalysen geeicht.

#### Online-Erfassung am Mähdrescher

Die kontinuierliche Online-Erfassung des Proteingehaltes des Ernteguts im Mähdrescher bedingt verschiedene Ansprüche an das Messsystem. So können unter dem Gesichtspunkt der praxisnahen Anwendung während der Ernte folgende Ansprüche definiert werden:

- leichter Zugang zur Messtechnik
- kontinuierlicher Materialfluss („Gutstrom“)
- gereinigtes Erntematerial (ohne Nichtkornbestandteile – NKB)
- Entnahmemöglichkeit von Proben als Referenz zur NIR-Messung
- synchronisierte Datenerfassung mit GPS, Durchsatz und Feuchte

Aus all diesen Anforderungen erweist sich der Elevator als einzig möglicher Einbauort. Der Elevator transportiert bei allen Mähdreschern das gereinigte Druschgut zum Korntank und bietet auch den Ort für die Ertrags- und Feuchtemessung. Im Versuch erfassten zwei Messgeräte gleichzeitig das Druschgut, daher wurde ein Bypass (Abb. 3.2.3.15-1), an dem die Messgeräte gegenüberliegend montiert wurden, genutzt. Das Bypasssystem wird kontinuierlich mit einer Teilmenge aus dem Gutstrom beschickt. Ein Schneckendosierer, der hinter den Messgeräten montiert ist, fördert 220 g/s an den Messgeräten vorbei, dann zurück in den Elevator. Für die Eichung der Messgeräte werden nasschemische Analysen durchgeführt. Die dazu notwendigen Proben werden automatisch, durch Umkehr der Dosierlaufrichtung, entnommen.



**Abb. 3.2.3.15-1: Prinzipskizze der Bypass Anordnung (John Deere CTS-9780)**

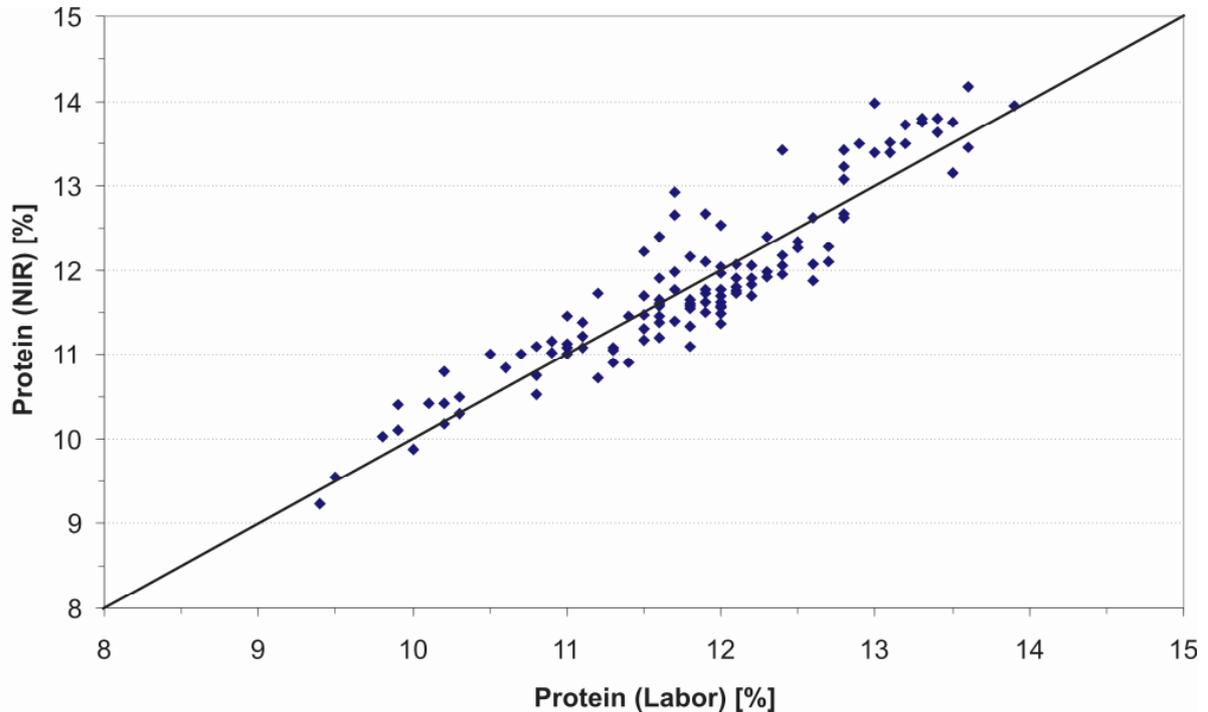
Für die, in Tab. 3.2.3.15-1 aufgelisteten Druschfrüchte wurden Kalibrierungen für die NIR-Messgeräte erstellt und mit Proben aus der folgenden Ernte validiert und erweitert.

**Tabelle 3.2.3.15-1: Entwickelte Kalibrierungen für Inhaltsstoffe von Druschfrüchten**

Fruchtart (Körner)	Gebrauchswert	Inhaltsstoff
W-Gerste	Futtermittel	Proteingehalt
		Feuchtegehalt
Raps	Ölgewinnung	Öl- und Proteingehalt
		Feuchtegehalt
S-Gerste	Braugerste	Proteingehalt
		Feuchtegehalt
Triticale	Futtermittel	Protein- und Stärkegehalt
		Feuchtegehalt
Weizen	Futtermittel	Protein- und Stärkegehalt
	Nahrungsmittel	Protein- und Stärkegehalt
		Feuchtegehalt
Körner-Mais	Nahrungsmittel	Stärke-, Fett- und Proteingehalt
		Feuchtegehalt

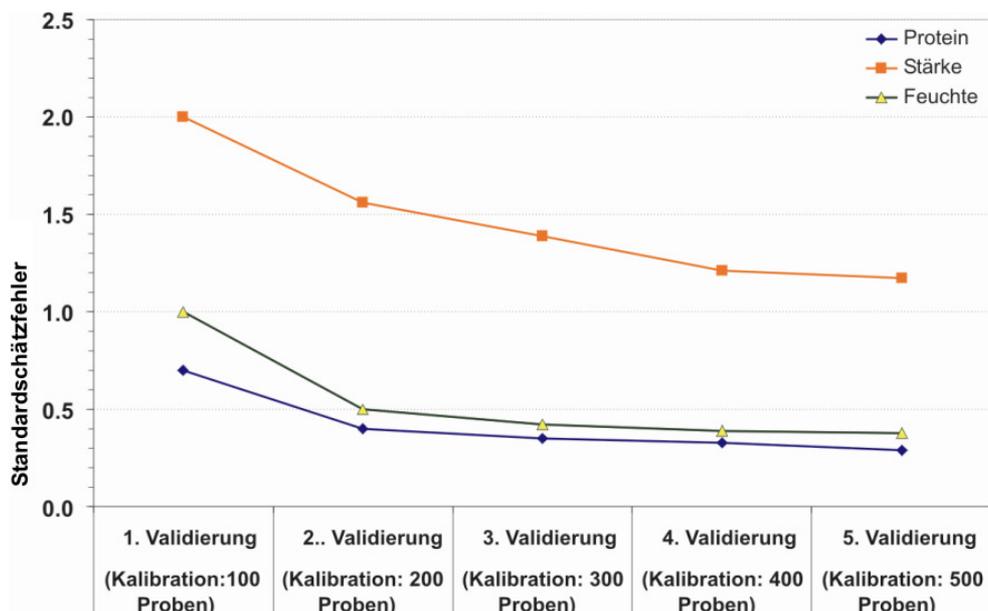
Die Qualität der Kalibrierungen hängt von verschiedenen Einflüssen ab. Natürlich bedingte

Einflüsse (z.B. Sorte, Reifegrad, Feuchte) können durch die kontinuierliche Erweiterung der Kalibrierung um neue Proben aus verschiedenen Jahren abgeschwächt werden. Zur Beurteilung der Qualität der Kalibrierung werden, die vom Messgerät geschätzten Konzentrationen mit den im Labor nasschemisch bestimmten gegenübergestellt. Dies wird am Beispiel von Winterweizen (Abb. 3.2.3.15-2) dargestellt.



**Abb. 3.2.3.15-2: Referenzwert (Labor) vs. Messwert am Mähdröschler (NIR), Kalibrierung aus 2000 und 2001, Validation 2002**

Die Kalibrationsentwicklung aus den Proben von 2 Druschjahren zeigt bereits eine hinreichende Genauigkeit (Abb. 3.2.3.15-2). Der Standardschätzfehler (SEP) beträgt 0.4. Indirekte Messmethoden sollten für eine hinreichende genaue Bestimmung der Konzentration nicht mehr als den doppelten Laborfehler aufweisen. Der Standard-Laborfehler (SEL) für die Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl beträgt 0.2. Die Entwicklung der Qualität der Kalibrierung mit jedem weiteren Druschjahr wird in Abb.3.2.3.15-3 gezeigt.



**Abb.3.2.3.15-3: Entwicklung der Kalibriergenauigkeit am Mähdrescher;  
Beispiel: Winterweizen, Perten DA-7000**

Die Qualitätsverbesserung wird durch neue Proben erreicht, die bislang unbekannte Ereignisse (Witterung, Bestandentwicklung) in die mathematische Beschreibung einbringen – nicht durch die Probenanzahl.

Seit 2001 wird die Kartierung des Proteingehaltes mit der beschriebenen Technik bei allen Druschfrüchten auf Praxisflächen in Schleswig-Holstein durchgeführt.

Eine Beeinflussung des Proteingehaltes durch gezielte Maßnahmen der Bestandesführung auf einzelnen Teilflächen des Schlages, kann mit der dargestellten Messtechnik zweifelhaft nachgewiesen werden. Seit 2002 wurden Großflächenversuche auf Praxisflächen mit betriebsüblicher Technik angelegt, um verschiedene produktionstechnische Niveaus in ihrer Wirkung auf Ertrag und Proteingehalt zu vergleichen. Dabei hat sich die Stickstoffdüngung bei Getreide als besonders geeignete Maßnahme zur Beeinflussung des Ertrags und der Qualität erwiesen – die Höhe der N-Düngung korreliert mit der Ertragsleistung.

**Weitere Entwicklung**

Zur Erstellung und Erweiterung der Kalibrierungen für die einzelnen Fruchtarten erscheint eine regelmäßige Probenentnahme am Mähdrescher notwendig und sinnvoll. Die hohe Qualität der Kalibrierungen veranlasst dazu eine Vielzahl von Praxisversuchen mit den Methoden des On-Farm-Research anzulegen, um so gezielt die unterschiedlichen Einflussgrößen auf die Heterogenität des Erntegutes zu erfassen (Boden, Pflanze und Nährstoffversorgung).

**Verfahrensart**

Online

**Informationsgrundlage für folgende Applikationen**

Aussaat, Düngung, Stickstoffdüngung, Pflanzenschutz, Wachstumsregler, alle Maßnahmen, die Ertrag und Qualität als Informationsgröße verwenden

**Zielgrößen**

Qualität und Qualitätsunterschiede innerhalb von Schlägen

**Administrative/organisatorische Kriterien**

- Kosten  
noch nicht bekannt
- Verfügbarkeit  
für alle Fruchtarten jedes Jahr neu zu erstellen (in Deutschland noch nicht auf dem Markt)
- Fruchtart  
für Mähdruschkulturen und für Feldhäcksler
- Flächenleistung  
abhängig von der Leistung des Mähdreschers (1- 3 ha/h)
- Auswertungszeit  
Datenauswertung hängt vom Landwirt bzw. Dienstleister ab
- Erhebungszeit  
während der Ernte

**Analytische/deskriptive Kriterien**

- Räumliche Auflösung  
9-50 m<sup>2</sup> abhängig von der Schnittwerksbreite und dem Messintervall in Fahrtrichtung,
- Zeitliche Stabilität  
gilt für den gemessenen Schlag und für das jeweilige Jahr

- Regionaler Bezug  
Qualität von Ertragskarten und erfassten Qualitätsparametern hängt vom Landwirt ab, weniger von der Region.
- Robustheit  
noch nicht bekannt
- Datenauswertung  
noch keine Standardsoftware
- Management Units  
Grundlage für Management-Zonen, basieren auf Qualitätsunterschieden

### Mathematische/statistische Kriterien

- Bezug Zielgröße  
Die Reflexion wird direkt gemessen, Inhaltsstoffe über Kalibrierungskurven bestimmt.
- Bezug Ertragspotenzial  
Die Qualitätsunterschiede innerhalb von Schlägen repräsentieren Zonen mit möglichen Ertragspotenzialunterschieden; zunehmende Klarheit wird durch wiederholte Qualitätsmessung über die Jahre erreicht.
- Absolute/relative Werte  
relative Werte

### Integrative Methodenbewertung

Die teilflächenspezifische Erfassung von Ertrag und Feuchte kann noch präziser werden, wenn zusätzlich auch die Qualität kontinuierlich erfasst wird. Die Kenntnis über die Inhaltsstoffe (Protein, Stärke und Öl) hat einen wesentlichen Einfluss auf die Verwendung des Erntegutes, als Futter-, Brot- oder Braugetreide. Die Einstufung in unterschiedliche Verwendungsformen (Qualitätsklassen) wirkt sich auf die zu erzielenden Erlöse aus. Wenn der Landwirt den Zusammenhang zwischen dem teilflächenspezifisch wechselnden Einfluss von Boden und Düngung auf den Proteingehalt kennt, kann er die Produktionstechnik gezielt auf Ertrag und Qualität ausrichten.

Tab. 3.2.3.15-2: Integrative Bewertung von ergänzenden Methoden

Methode	Beschreibung/Bewertung
Ertragskartierung	sehr wichtige Ergänzung um Beziehungen zwischen Ertrag und Qualität festzustellen
Hof-Bodenkarten	sehr wichtige Ergänzung zur Überprüfung der Ursächlichkeit von Ertrags- und Qualitätsunterschieden
Leitfähigkeit	sinnvolle Ergänzung in Kombination mit digitalen Hof-Bodenkarten
Fernerkundung	sehr wichtige Ergänzung zur Analyse von Zusammenhängen zwischen unterschiedlichen Vegetationsstadien und der Ertrags- und Qualitätsentwicklung

### Literatur

RECKLEBEN, Y. (2004): Innovative Echzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs. Forschungsbericht Nr. 424 des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik im VDI.

-----  
Prof. Dr. Reckleben, Fachhochschule Kiel, Fachbereich Landbau Am Kamp 11, D 24783 Osterrönnfeld  
Prof. Dr. Eberhard Hartung, Christian-Albrechts-Universität, Inst. für I.d.W. Verfahrenstechnik, Max-Eyth-Str. 6, 24098 Kiel