

Spectral Imaging basierte Feuchtigkeitsbestimmung von *Triticale* zur Biomassebestimmung in Feldversuchen

Erik Wunder, Marius Thiel, Kim Möller, Arno Ruckelshausen

Hochschule Osnabrück/ Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik,
Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück

Email: erik.wunder@hs-osnabrueck.de, ma.thiel@hs-osnabrueck.de,
k.moeller@hs-osnabrueck.de, a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

Zusammenfassung: Diese Arbeit beschäftigt sich mit der sensorischen Bestimmung der Pflanzenfeuchtigkeit von Triticale-Parzellen auf Versuchsfeldern mittels eines nah-infrarot Hyperspectral Imaging Systems. Dazu wurden Hyperspectral Imaging Daten von Feldversuchen mit verschiedenen Methoden analysiert. Die Ergebnisse der PLS-Analysemethode und die angewandten Vorverarbeitungsschritte werden im Rahmen dieser Arbeit näher beschrieben.

Durch die Versuchsdaten konnte gezeigt werden, dass die PLS-Regression ein geeignetes Verfahren zur Feuchtigkeitsbestimmung an Triticale im Feld mittels NIR-Hyperspectral Imaging Technologie darstellt. Es konnte eine genaue Kalibrierung der Spektraldaten zur Pflanzenfeuchtigkeit erreicht werden, die eine präzise Feuchtigkeitsbestimmung im Feldversuchswesen zur Optimierung von Biomassemodellen ermöglicht. Desweiteren konnte die Qualität der Methode und der Ergebnisse durch Überprüfung der „technischen Wiederholbarkeit“ überprüft werden.

Deskriptoren: Bildgebende NIR Spektralanalyse, Feuchtigkeitsmessung, Wassergehalt

Summary: *This paper deals with determination of plant moisture of Triticale plots using near-infrared hyperspectral imaging technology. Therefore spectral data has been analyzed by different methods. The results of the PLS Method combined with its data pre-processing are presented in detail.*

Analyzing the field data the PLS regression has been identified as a well promising way for Triticale moisture determination using NIR hyperspectral imaging data. A precise calibration could be realized for determination of plant plot moisture for further optimizations of existing or future biomass models. Moreover, the quality of the method and the results have been evaluated by measuring the “technical repeatability”.

Keywords: *NIR hyperspectral imaging, water detection, plant moisture*

1 Einleitung

Die globale Versorgung mit Energie und Nahrungsmitteln ist eine der wesentlichen Herausforderungen dieser Zeit. Zur Sicherung der Energieversorgung wird bereits verstärkt

die Energiegewinnung aus Pflanzenbiomasse vorangetrieben. Damit jedoch keine Nachteile für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion entstehen, soll eine sog. Kaskadennutzung sowie eine Steigerung der Erträge realisiert werden. Zusätzlich ist es das Ziel, bei der Nutzung von Biomasse als Energieträger die Energieaufwände für die Kultivierung der Pflanzen zu minimieren - dies bedeutet auch die Reduktion des Einsatzes von mineralischen Düngemitteln, die teils unter sehr hohem Energieaufwand produziert werden. Erreicht werden kann dieses durch die Züchtung von Pflanzenkulturen mit verbesserten Eigenschaften. Triticale (\times *Triticosecale* Wittmack), eine Kreuzung aus Weizen (*Triticum*) und Roggen (*Secale*), ist eine geeignete Kulturart für die Bioenergiegewinnung, da sie auch unter Low-Input-Bedingungen hohe Erträge erzielt (vgl. VORHABENSBE SCHREIBUNG BIOENERGIE 2021). Um die Züchtungsversuche weiter optimieren zu können, ist eine präzise und kontinuierliche Bonitur (Phänotypisierung) der Parzellen über die gesamte Wachstumsperiode der Pflanzen hinweg notwendig, welche jedoch in diesem Ausmaß nicht manuell durchzuführen ist.

Im Teilprojekt Phänotypisierung des Forschungsprojekts „Breed Vision“ arbeitet man daher daran, die derzeit noch kosten- und zeitintensive Phänotypisierung durch intelligente Sensorsysteme zu optimieren, wobei bereits umfangreiche Feldmessungen durchgeführt wurden (vgl. BUSEMEYER 2011). Über optische Sensoren ist beispielsweise eine zerstörungsfreie Bestimmung verschiedener agronomischer Merkmale über den gesamten Wachstumsverlauf von Pflanzen möglich. Ziel dieser Arbeiten ist dabei auch die nicht-invasive Bestimmung der Biomasse dieses Energiegetreides. Dazu wurde bereits ein Modell für die Biomassebestimmung entwickelt (vgl. BUSEMEYER 2011). Die Abhängigkeit des Biomasse-Modells von der Feuchtigkeit soll durch die im Rahmen dieser Arbeit beschriebenen zerstörungsfreien Messung der Pflanzenfeuchtigkeit durch die spektrale Reflexion im NIR-Band berücksichtigt werden.

Untersuchungen zur Bestimmung des Wassergehalts von Pflanzen haben bereits verschiedene Indizes und Methoden hervorgebracht, die - basierend auf der Reflexion der Pflanzen im Bereich von sogenannten Wasserabsorptionsbanden - eine Abschätzung des Wassergehalts ermöglichen. Dazu zählen unter anderem Arbeiten von GAO & GOETZ (1995) PEÑUELAS *et al.* (1993) ROBERTS *et al.* (1997) SERRANO *et al.* (2000) USTIN *et al.* (1998). Die Indizes basieren auf Verhältnissen oder normalisierten Verhältnissen der Reflexion von zwei oder mehr Wellenlängen.

Eigene Voruntersuchungen mit einem NIR-Miniaturspektrometer (Reflexionsmessung) haben dabei ebenfalls gezeigt, dass die Absorptionsbanden bzw. deren Oberschwingungen der Wassermoleküle im NIR-Band von den Pflanzenstrukturen auch bei Triticale stark ausgeprägt sind.

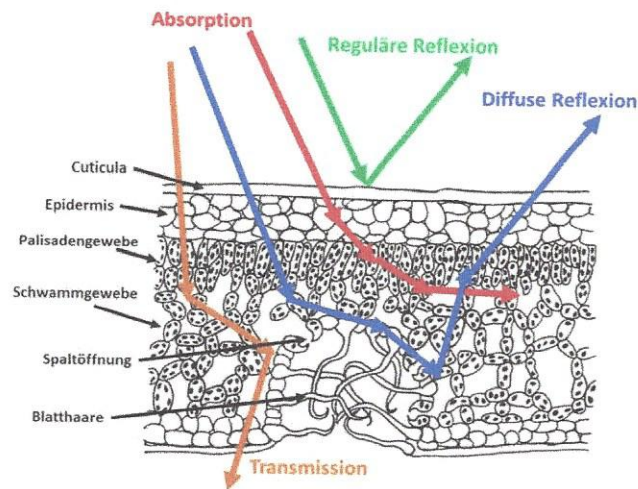


Bild 1: Lichtverlauf im Blattquerschnitt (Skizze)

2 Material und Methoden

Hyperspektral-Messsystem

Als Sensorsystem wird der Helios Core NIR der Firma EVK DI Kerschhagl GmbH eingesetzt. Dieses System verwendet einen NIR Spektrographen der Firma Specim (Bild 2) mit einer Eingangs-Spaltbreite von 100µm.

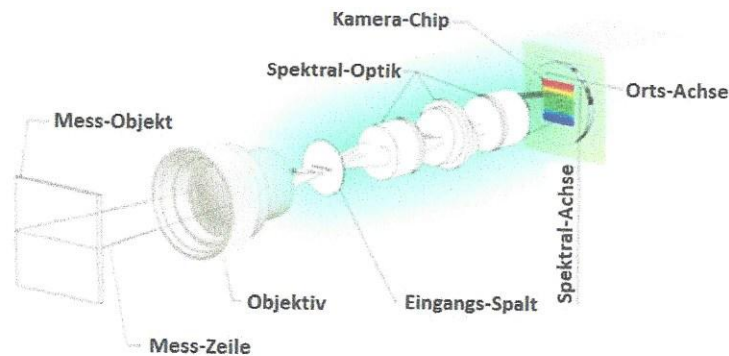


Bild 2: Funktionsweise des Spektrographen [geändert nach Specim.fi 2010]

Der eingesetzte Spektrograph weitet die einfallende elektromagnetische Strahlung in dem Wellenlängenbereich von 970 nm bis 1690 nm in seine Spektralbestandteile auf. Das ausgangsseitig resultierende 2D-Feld, bestehend aus der Orts-Achse der Mess-Zeile und der Spektral-Achse des aufgeweiteten Spektrums im NIR-Band, wird auf einem Kamera-Chip abgebildet. Dieser Spezial-Chip, basierend auf dem Halbleitermaterial InGaAs, wird zur Verbesserung der Signalqualität seitens des Herstellers Temperatur stabilisiert. Die räumliche und spektrale Auflösung wurde durch die Autoren in Hinblick auf die Eignung des Sensors zur bildgebenden Feuchtigkeitsanalyse untersucht THIEL *et al.* (2010).

Dieses Spektral-Messsystem wurde für Feldmessungen in die Phänotypisierungsplattform integriert (**Bild 3**). Bei dieser Plattform, handelt es sich um einen Anhänger mit Sensor modul, der von einem Schlepper über die Versuchspartzen gezogen wird.

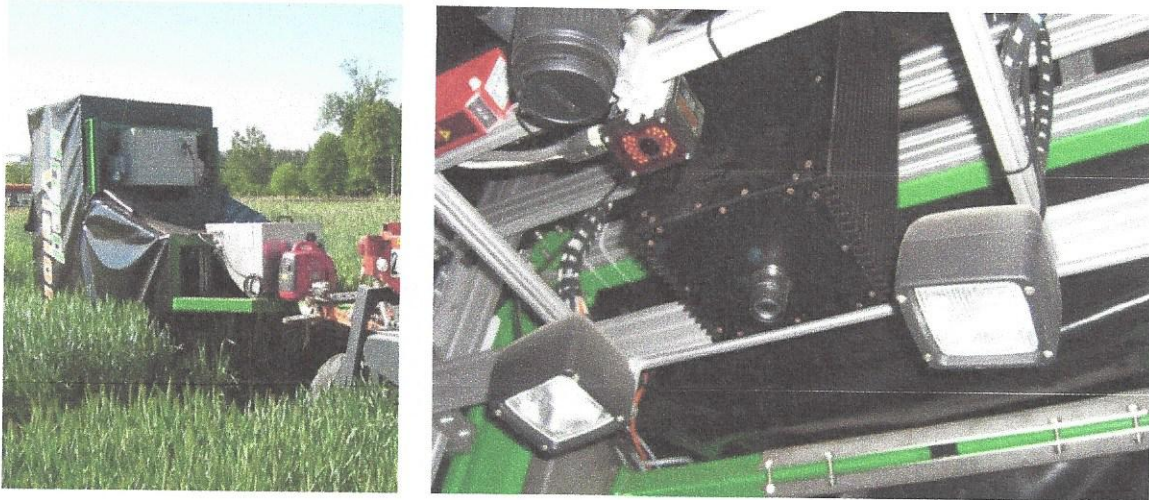


Bild 3: Phänotypisierungsplattform "Breed Vision" mit Lichtschutz (links), integriertes Spectral Imaging System (rechts)

Das Spectral Imaging System ist im Sensor modul an einer automatisch höhenverstellbaren Halterung montiert. Seitlich neben dem Messgerät sind jeweils Halogenscheinwerfer mit einer Leistung von je 65 Watt angebracht, die für eine aktive breitbandige Beleuchtung des Messbereichs sorgen. Das Sensorsystem misst von oben herab auf die Partzen. Dabei zeigt ein Aluminiumprofil den optimalen Abstand des Spectral Imaging Systems zur Partzenoberkante an, welcher durch die automatische Höhenverstellung für jede Partze eingestellt wird. Um die Messdatenaufnahme vor Fremdlicht zu schützen, ist der Sensoraufbau weitgehend mit einer Plane verkleidet, sodass das Gesamtsystem relativ unabhängig von den äußeren Lichtbedingungen ist.

Pflanzenmaterial

Im Rahmen des Projekts „BreedVision“ wurden im Jahr 2011 Feldmessungen mit der Phänotypisierungsplattform auf Versuchsfeldern mit Triticale (*×Triticosecale* Wittmack), durchgeführt. Unter anderem wurden dabei die für diese Feuchtigkeitskalibrierung wichtigen Kalibrierungssets vermessen. Die Kalibrierungssets bestanden aus 3 x 200 Triticale-Partzen. Der Standort der Partzen war der Versuchshof der Universität Hohenheim. An vier verschiedenen Terminen, an denen die Partzen unterschiedliche Wachstumsstadien erreicht hatten, wurden jeweils 200 der insgesamt 600 Kalibrierungsparzen mit der Phänotypisierungsplattform vermessen. Diese drei Termine sowie die entsprechenden Wachstumsstadien zu diesen Zeitpunkten sind in **Tabelle** aufgeführt.

Referenzmessung der Pflanzenfeuchtigkeit

Im Anschluss an die jeweiligen Messungen mit der Sensorplattform, wurden die Parzellen mit einem Parzellenhäcksler abgemäht. Dabei wurde von jeder Parzelle eine Probe von etwa 1000 Gramm der gehäckselten Biomasse mittels des thermogravimetrischen Feuchtigkeitsbestimmungsverfahrens auf ihren Feuchtigkeitsgehalt hin untersucht. Verwendet wurde dazu ein Trockenofen, in dem die Proben bei 80°C getrocknet wurden. Vor sowie nach der Trocknung wurden die Proben gewogen, um anhand der Differenz die ursprünglich in der Biomasse enthaltene Feuchtigkeit zu bestimmen. Diese Feuchtigkeitswerte stellen die Referenzgrößen für die Kalibrierung des Sensorsystems dar.

Tabelle 1: Termine der drei durchgeführten Messungen an den Kalibrierungssets

	Wachstumsstadium	Messtermin
Ernte 1	EC 50 – 60	18.05.2011
Ernte 2	EC 60 – 70	25.05.2011
Ernte 3	EC 75 – 80	20.06.2011

Datenauswertung

Es wurden verschiedene Wege der Datenanalyse zur Auswertung der NIR Hyperspectral Imaging Daten genutzt und die angewandten Methoden in Bezug auf ihre Genauigkeit zur Vorhersage der Pflanzenfeuchtigkeit von Versuchspartzen mit Triticale miteinander verglichen. Die verwendeten Methoden waren Feuchteindizes, SAM Klassifikation und PLS-Regression. Während der Spektralmessungen wurde jede Parzelle doppelt vermessen, um bei der Datenauswertung auch die technische Wiederholbarkeit des Sensorsystems in Kombination mit den jeweiligen Auswertungsalgorithmen bestimmen zu können. Da die PLS-Regression hierbei die besten Ergebnisse erzielt hat, wird im Weiteren ausschließlich auf die Durchführung dieses Verfahren und deren Vorverarbeitungsschritte näher eingegangen. Nach Anwendung verschiedener Vorverarbeitungsschritte (siehe folgender Abschnitt) auf die gesamten Spektraldaten wurde eine PLS-Regression mittels Spektraldaten und den gravimetrisch bestimmten Feuchtigkeitswerten der insgesamt 600 Parzellen durchgeführt. Die PLS-Regression wurde unter Anwendung der Kreuzvalidierung durchgeführt.

Dabei wurden zunächst 200 PLS-Komponenten verwendet, um die Anzahl der notwendigen Komponenten abschätzen zu können. Diese wurde Anhand der jeweils zugehörigen erklärten Varianz bestimmt. Nach der PLS-Regression wurde die Kalibrierfunktion zur Vorhersage auf die Validierdaten angewandt. Die vorhergesagten Feuchtigkeitswerte und die konventionell bestimmten Feuchtigkeitswerte werden korreliert und das Bestimmtheitsmaß (inkl. RMSE) ermittelt.

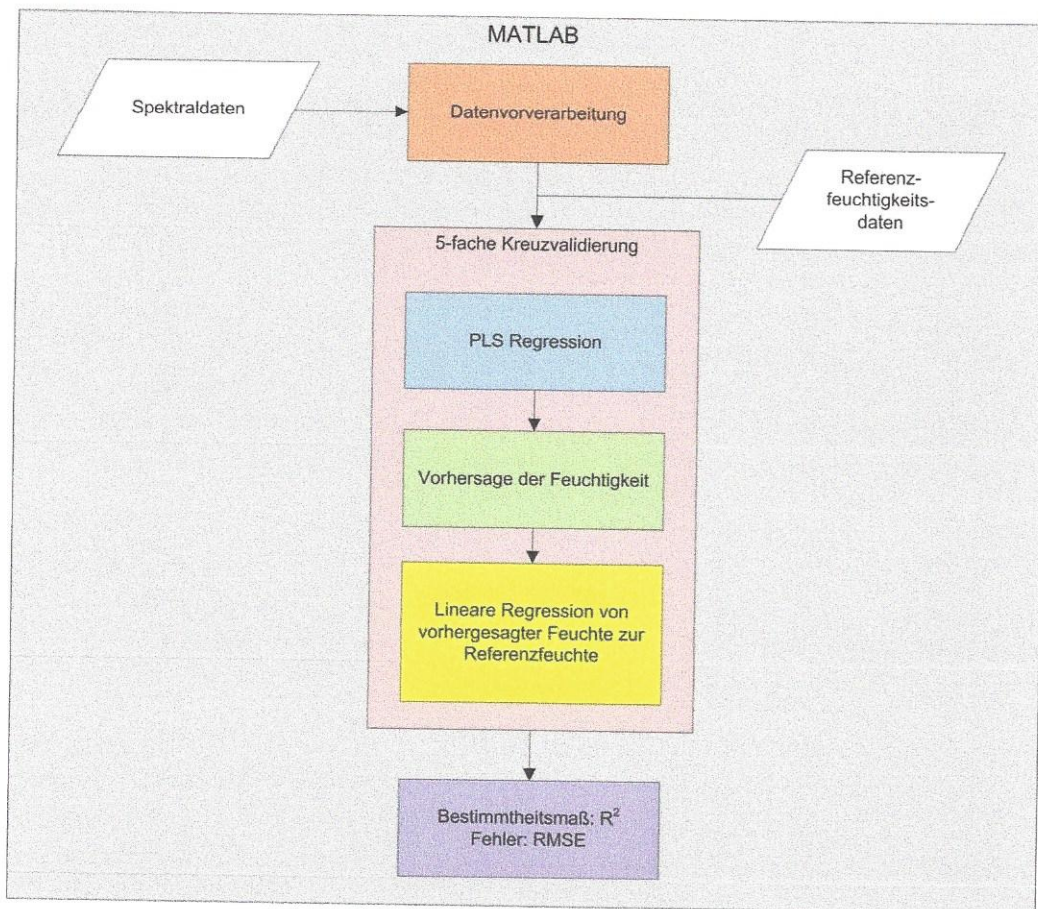


Bild 4: Datenanalyse zum NIR Hyperspectral Imaging

Vorverarbeitungsschritte

Im Folgenden werden die wichtigsten Vorverarbeitungsschritte der Spektraldaten beschrieben, die bei der anschließenden PLS-Regression zur Erhöhung der Genauigkeit geführt haben.

Gewichtung/Normierung: Die Spektraldaten wurden mit der Phänotypisierungsplattform aufgenommen und in eine Datenbank eingelagert. Diese Rohdaten sind daraufhin entsprechend eines Reflexionsnormals („Spectralon“) gewichtet worden, um Einflüsse der Beleuchtung und Sensorempfindlichkeiten auszugleichen.

Bei den Feldmessungen kam es in den Parzellen grundsätzlich an den Pflanzen zu unterschiedlichen Belichtungssituationen. Besonders Abschattung aufgrund von überlappenden Pflanzen trat häufig auf. Unter der Annahme, dass die tiefer hängenden, schlecht ausgeleuchteten, Blätter einen wichtigen Einfluss auf die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts der gesamten Pflanzen haben, erscheint es sinnvoll, die Intensitäten der gemessenen Spektren zu normieren, um den Einfluss jedes Spektrums auf die Datenauswertung zu nivellieren.

Für die Angleichung der Reflexionsintensitäten wurde eine Normierungswellenlänge gewählt. Diese sollte eine möglichst geringe Feuchtigkeitsinformation enthalten, die bei

der Normierung verloren gehen würde. Aus diesem Grund wurde die bereits in anderen Untersuchungen verwendete Wellenlänge 1050 nm ausgewählt (vgl. THIEL *et al.* 2012).

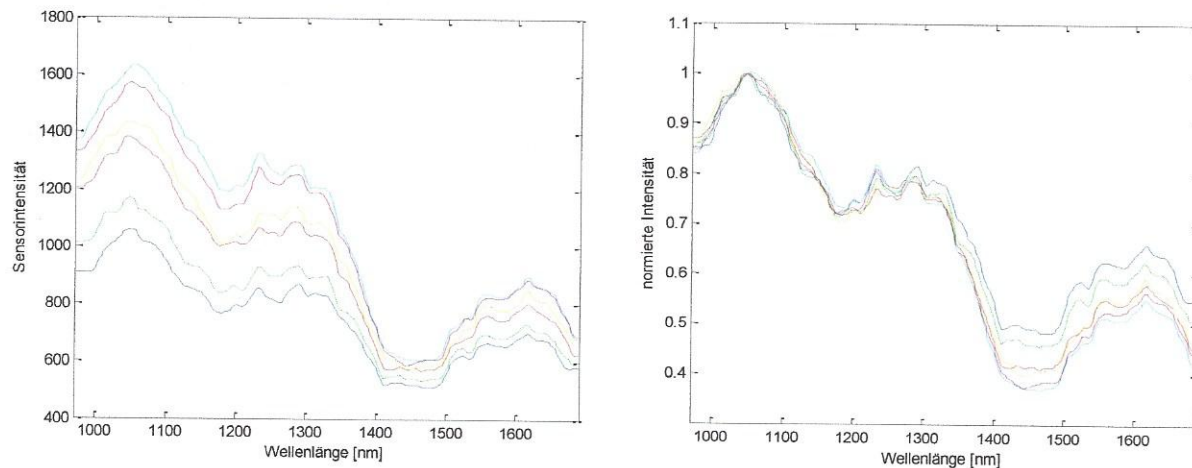


Bild 5: Gewichtete Ausgangsspektren (links), normierte Spektren (rechts)

Die Reflexion bei der Normierungswellenlänge wurde demnach auf den Wert 1 festgelegt und das gesamte Spektrum entsprechend skaliert. **Bild 5** zeigt die Normierung anhand von sechs ausgewählten Spektren aus den Messdaten der Parzelle 1. Das linke Diagramm zeigt die gemessene Intensität der sechs Originalspektren aufgetragen über der Wellenlänge. Das rechte Diagramm zeigt die normierten Spektren, in dem sich alle sechs Spektren bei der Wellenlänge 1050 nm in einem Punkt überlagern.

Boden/Pflanze-Trennung: Bei der Vermessung von Pflanzen mittels Hyperspectral Imaging Technologie werden neben den vielen Spektren, die von Pflanzen aufgenommen werden, zusätzlich auch sehr viele Spektren aufgenommen, die gar keine Reflexion von Pflanzen sondern vom Erdboden, von Steinen oder ähnlichem enthalten. Daher ist es sinnvoll, nur die Spektren zu berücksichtigen, die auch wirklich von Pflanzen aufgenommen wurden und die übrigen Spektren für diese Auswertung zu verwerfen. Aus diesem Grund wurde eine binäre Unterscheidung von Pflanzen- und Bodenspektren in der Vorverarbeitung durchgeführt (**Bild 6:** Parzelle 1: Intensitätsbild bei der Wellenlänge 1050 nm (oben), Binärmatrix zur Unterscheidung von Boden/Pflanze nach SAM (unten) **Bild 6**). Für dieses Verfahren stellte sich die Unterscheidung durch die SAM Klassifikation als bestes Verfahren heraus. Für die Klassifikation werden Referenzspektren für die beiden Klassen benötigt. Daher wurden manuell insgesamt 36 Spektren aus den Spektraldaten von drei verschiedenen Parzellen unterschiedlicher Wachstumsstadien in eine Matrix von Referenzspektren überführt. Diese Referenzmatrix besteht aus jeweils 18 Bodenspektren sowie 18 Pflanzenspektren, die für die Klassifikation genutzt werden.

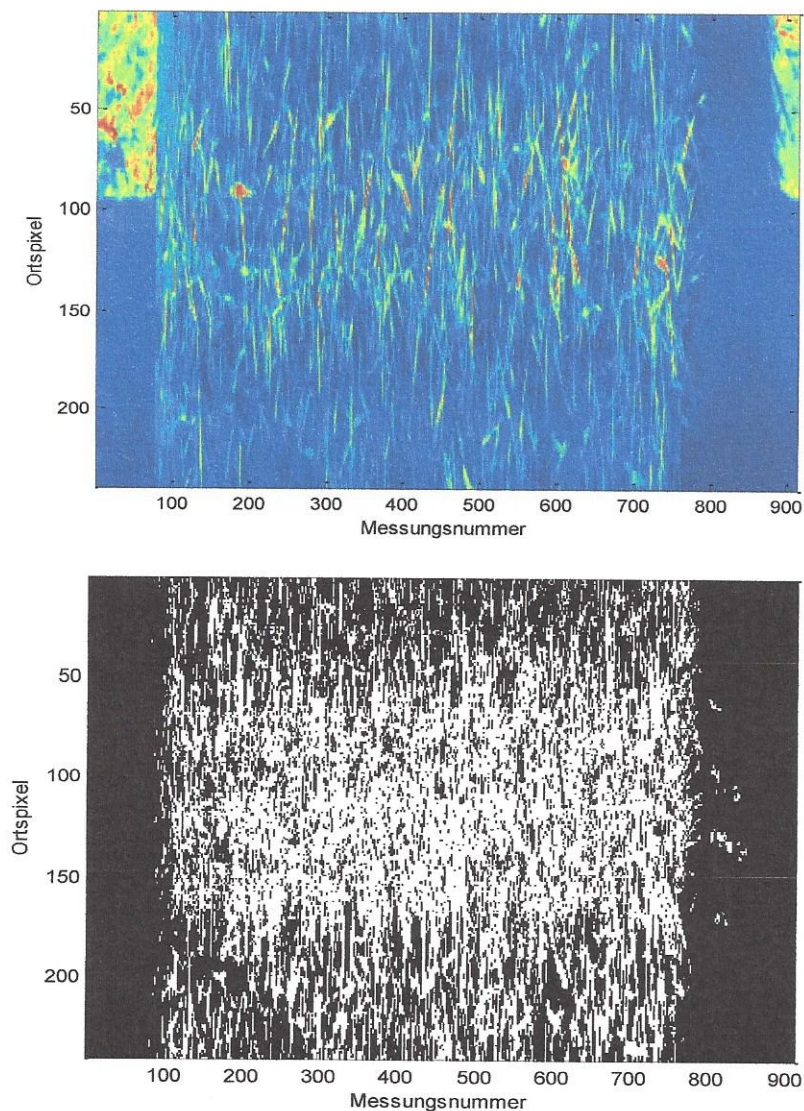


Bild 6: Parzelle 1: Intensitätsbild bei der Wellenlänge 1050 nm (oben), Binärmatrix zur Unterscheidung von Boden/Pflanze nach SAM (unten)

Basislinienkorrektur: Unter Basislinieneffekten versteht man systematische Abweichungen von der Grundlinie, die keine chemische Information enthalten. Auftreten können diese Effekte durch Verunreinigungen, Streuverluste oder systematische Fehler der Messapparatur (vgl. KESSLER 2007). Eine Korrektur dieser Effekte ist durch verschiedene Verfahren möglich, wobei in dieser Arbeit die Bildung der ersten Ableitung der Spektren verwendet wurde, da durch dieses sehr etablierte Verfahren am leistungsfähigsten Störungen aus Spektren beseitigt werden können. Zusätzlich wird dadurch die spektrale Auflösung verstärkt, indem überlagernde Banden hervorgehoben werden (vgl. KESSLER 2007).

Zur Bildung der Ableitung wurde die Differenzenquotienten-Methode verwendet, d.h. die erste Ableitung der Spektren wurde durch die einfache Differenz zweier benachbarter Datenwerte abgeschätzt.

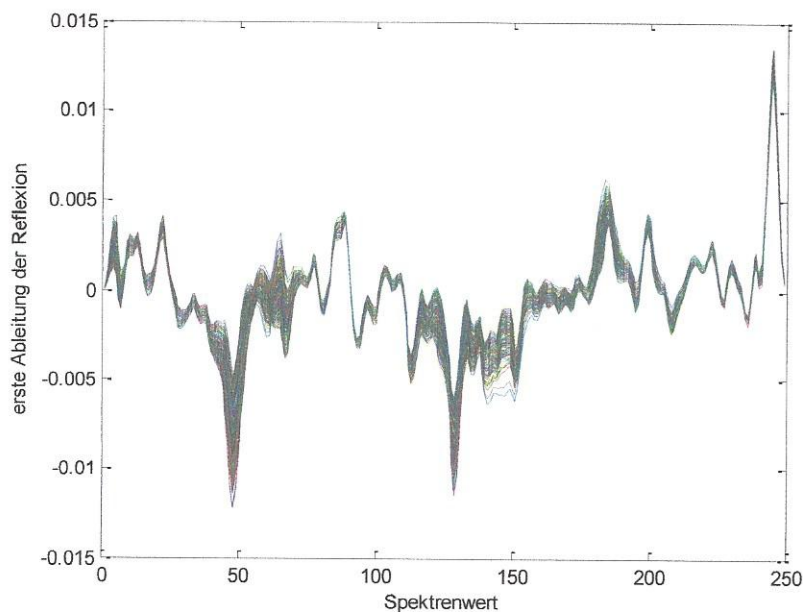


Bild 7: Basislinienkorrigierte gewichtete Mittelwertspektren

Bild 7 zeigt das Ergebnis der Basislinienkorrektur erster Ordnung durch Bildung der ersten Ableitung. Das Diagramm zeigt, dass die Spektren ihre ursprüngliche Form gänzlich verloren haben, wodurch eine visuelle Interpretation dieser Daten in Bezug auf Absorptionsbanden erschwert wird - der Einfluss der Basislinie der Originaldaten ist jedoch dadurch erfolgreich eliminiert worden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Bild 8 zeigt sowohl das Bestimmtheitsmaß der PLS-Regression für die Kalibrierdaten der verwendeten 200 Parzellen (blau), als auch das Bestimmtheitsmaß der Korrelation zwischen vorhergesagter Feuchte und der Referenzfeuchtigkeit. Es ist deutlich erkennbar, dass diese beiden Graphen mit zunehmender Anzahl an Hauptkomponenten mehr und mehr auseinander driften und die Korrelation zwischen vorhergesagter Feuchtigkeit und Referenzfeuchtigkeit wieder abnimmt.

Die Ergebnisse der Kreuzvalidierung für diese PLS-Regression sind in

Bild 9 dargestellt. Es lassen sich nur noch sehr wenige „Ausreißer“ erkennen, die einen maximalen Fehler von etwa 7 bis 8 Prozent aufweisen. Fast alle Datenpunkte befinden sich in einem schmalen Bereich auf der Diagonalen des Diagramms. Die Vorhersagegenauigkeit nimmt für niedrige Feuchtigkeitswerte etwas ab, hier ist die Streuung der Werte etwas größer als im oberen Feuchtigkeitsbereich. Die Korrelation ergab über alle Messpunkte ein Bestimmtheitsmaß von 95,9% mit einem Schätzfehlerwert RMSE von

0,659 Prozentpunkten Feuchtigkeit, welches die hohe Genauigkeit des Messverfahrens in Kombination mit der PLS-Methode widerspiegelt.

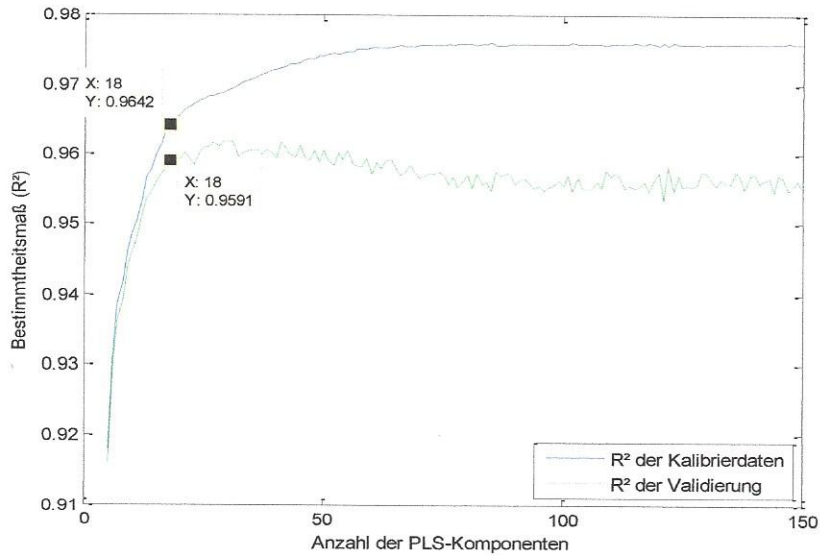


Bild 8: Bestimmtheitsmaß R^2 der Kalibrierung und der Validierung aufgetragen über der Anzahl der verwendeten PLS-Komponenten

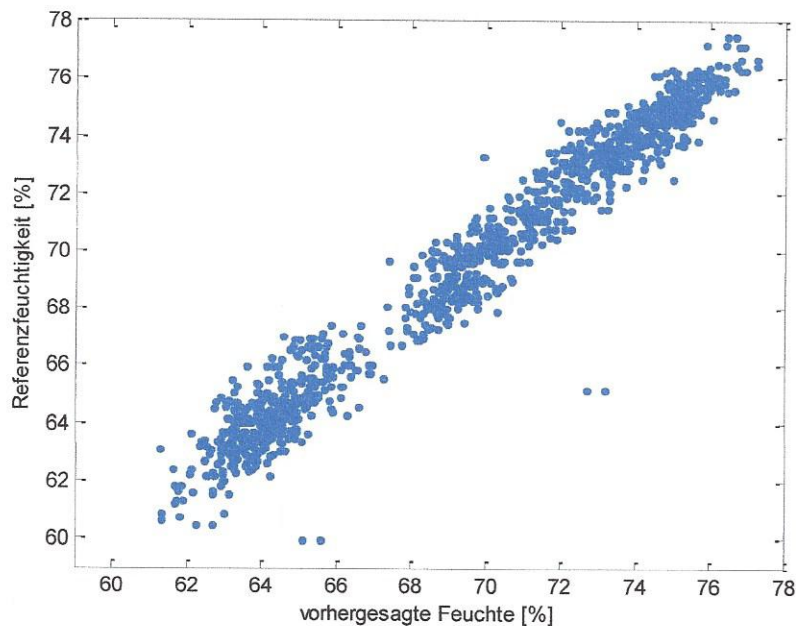


Bild 9: Korrelation zwischen vorhergesagter Feuchte in Prozent und der Referenzfeuchte in Prozent für die PLS-Regression

Technische Wiederholbarkeit

Anhand der zweifachen Messung jeder Kalibrierungs-Parzelle, besteht die Möglichkeit, die Qualität zu beurteilen, mit welcher die Feuchtigkeitswerte für die einzelnen Parzellen reproduziert werden konnten. Diese Reproduzierbarkeit der Feuchtigkeitsvorhersage

wurde in dieser Arbeit „technische Wiederholbarkeit“ genannt. Zusätzlich wurde der RMSE für die berechneten Feuchtigkeitswerte ermittelt.

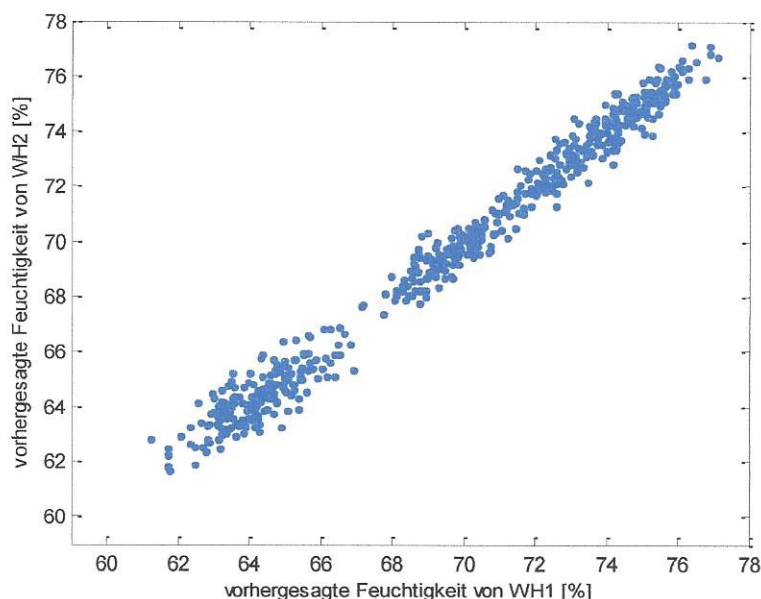


Bild 10: Gegenüberstellung der vorhergesagten Feuchtigkeitswerte der beiden gemessenen Wiederholungen für die PLS-Regression mit 18 PLS-Komponenten

Bild 10 zeigt die Gegenüberstellung der berechneten Feuchtigkeitswerte für die Parzellen des vollständigen Kalibrierungssets für die PLS-Regression mit 18 PLS-Komponenten. Erkennbar ist ein schmales Band mit geringer Streuung, das sich über den gesamten Feuchtigkeitsbereich verteilt. Die Streuung ist jedoch nicht ganz gleichmäßig. Sie nimmt im unteren etwas abgesetzten Feuchtigkeitsbereich zu, der die Feuchtigkeitswerte für die dritte Ernte beinhaltet. Die Lücke lässt sich darauf zurückführen, dass kaum Parzellen über Referenzwerte in diesem Feuchtigkeitsbereich verfügten. Die Kalibrierung anhand der PLS-Regression liefert ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 98,38$ Prozent und einem $RMSE = 0,4313$ Prozentpunkten Feuchtigkeit. Damit ist die technische Wiederholbarkeit sehr genau und liegt unter einem halben Prozentpunkt für die Feuchtigkeitsbestimmung.

4 Schlussfolgerungen

Die Fähigkeit die Feuchtigkeit von Pflanzen - in situ - mit einer so hohen Genauigkeit im Feld zerstörungsfrei durch NIR-Hyperspectral Imaging bestimmen zu können, stellt eine Innovation in der Phänotypisierung dar. Durch den mechanischen Aufbau der Phänotypisierungsplattform mit Höhenabpassung sowie der weitreichenden Abschattungsvorrichtung wurde die Aufnahme von qualitativ hochwertigen Spektraldaten auf Versuchspartellen erstmals überhaupt ermöglicht. Der Einsatz eines Hyperspectral Imaging ist besonders aufgrund der vielen Möglichkeiten der Datenvorverarbeitung sinnvoll - insbesondere durch die Möglichkeit der Selektion der wesentlichen örtlichen Bereiche, in die-

sem Fall der Pflanzenspektren. Die deutliche Verbesserung der Ergebnisse durch die Trennung von Pflanzen- und Bodenspektren hatte im Projekt bei der Evaluation gezeigt, dass für diese Anwendung ein Hyperspectral Imaging einem Punktspektrometer vorzuziehen ist.

Die PLS-Regression konnte neben anderen hier nicht näher beschriebenen Methoden, wie Indizes oder die SAM Klassifikation, die höchste Vorhersagegenauigkeit in Bezug auf die Pflanzenfeuchtigkeit in Triticale-Parzellen erreichen. Die sehr hohe Genauigkeit dieses Verfahrens konnte zudem durch eine wiederholte Vermessung aller Parzellen mit der Auswertung der technischen Wiederholbarkeit bestätigt werden.

Danksagung

Diese Untersuchung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Breed Vision“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Literaturverzeichnis

- BUSEMEYER L. (2011):** Masterarbeit - Entwicklung und Validierung eines sensorgestützten Verfahrens zur zerstörungsfreien Biomassebestimmung des Energiegetreides Triticale. Hochschule Osnabrück
- GAO B.-C., GOETZ A.F.H. (1995):** Retrieval of equivalent water thickness and information related to biochemical components of vegetation canopies from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment* 52: 155–162
- KESSLER W. (2007):** Multivariate Datenanalyse: für die Pharma-,Bio- und Prozessanalytik: Ein Lehrbuch, Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- PEÑUELAS J., FILELLA I., BIEL C., SERRANO L., SAVÉ R. (1993):** The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing* 14: 1887–1905
- ROBERTS D.A., GREEN R.O., ADAMS J.B. (1997):** Temporal and spatial patterns in vegetation and atmospheric properties from AVIRIS. *Remote Sensing of Environment* 62: 223–240
- SERRANO L., USTIN S.L., ROBERTS D.A., GAMON J.A., PEÑUELAS J. (2000):** Deriving water content of chaparral vegetation from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment* 74: 570–581
- THIEL M., RATH T., RUCKELSHAUSEN A. (2010):** Plant moisture measurement in field trials based on NIR spectral imaging – a feasibility study. CIGR Workshop on Image Analysis in Agriculture, Budapest, 26-27. August: 16-29
- THIEL M., RATH T., RUCKELSHAUSEN A. (2012):** Messung von Feuchtigkeitsvariationen bei Pflanzenblättern am Beispiel von Brokkoli auf Basis eines NIR Hyperspectral Imaging Systems. *Bornimer Agrartechnische Berichte* 78: 48-63
- USTIN S.L., ROBERTS D.A., JACQUEMOUD S., PINZÓN J., GARDNER M., SCHEER G., et al. (1998):** Estimating canopy water content of chaparral shrubs using optical methods. *Remote Sensing of Environment* 65: 280–291
- VORHABENS BESCHREIBUNG BIOENERGIE 2021:** Breeding by Design™ für eine Kaskadennutzung von Energiegetreide unter Low-Input-Bedingungen -BreedVision-