II. Eingehende Darstellung

1. Erzielte Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts umfassen die Wahl, Installation und Kalibrierung der Sensorik sowie die Erkenntnisse zur Heterogenität von Inhaltsstoffen in verschiedenen Getreidearten.

Als Einfluss und produktionstechnische Konsequenz werden Boden und N-Düngung herausgestellt. Dank der synchronen Messungen von Inhalt und Masse konnten neue Düngestrategien erarbeitet werden.

Dazu im Einzelnen:

1.1 Variabilität des Proteingehalts

Wesentlicher Ausgangspunkt des Projekts war, dass der Wert bestimmende Proteingehalt von Getreide starken Schwankungen ausgesetzt ist – für die Verwertung hingegen wären homogene Chargen sinnvoll. Das belegen Ansprüche und Grenzwerte des Marktes, so beispielsweise für Protein:

- 13,5% für A-Weizen (Backqualität)
- 10,5% für die Intervention
- 10-11% für Keksherstellung
- 11,5% für Braugerste

Also kommt es darauf an, gezielt homogene Partien zu erzeugen. Dazu sind die Ursachen der Variabilität etwa Boden, Düngung, Sorte zu erkunden. Dazu sind Messmethoden nötig, die während des Mähdrusches orts- und zeitgleich den Gehalt messen.

Damit galt es zunächst, die Spannweite auftretender Gehalte zu erfassen mit den Zielen:

- die Ist-Situation zu quantifizieren
- eine breite Basis für die Kalibrierung zu schaffen.

Also wurde gleich zu Beginn Getreide nach unterschiedlicher Produktionstechnik auf verschiedenen Standorten geerntet. Im Sinne dieser Variabilität waren Schläge von Praktikern sowie die eigenen Versuchsflächen zur Teilflächen-Bewirtschaftung und Bodenbearbeitung, zum Öko-Landbau sowie zu Sorten zu nutzen.

Folgende Fruchtarten wurden gedroschen:
Winterraps mit breitem Spektrum der Feuchte und 45 bis 55% Oel,
W.-Weizen mehrerer Sorten, konventionell, ökologisch oder teilflächenspezifisch bewirtschaftet mit Proteingehalten von 7 bis 16%,

W.-Gerste mit 10-18% Protein,
S.-Gerste mit 9-13% Protein.

Dieses Konzept wurde über die Jahre beibehalten, um die Kalibrierung zu stabilisieren sowie Einflussgrößen zu erkennen und auf sie zu reagieren.

1.2 Sensorik

Einen Schwerpunkt des Vorhabens bilden Auswahl, Einsatz und Kalibrierung von Geräten, die online am Mähdrescher die Inhaltsstoffe messen können.

1.2.1 Auswahl und Installation der Sensortechnik

Als Voraussetzung für eine Messtechnik gilt, dass sie kontinuierlich, zerstörungsfrei und ohne Aufbereitungsphase arbeitet. Als schnell zerstörungsfrei funktionierend hatten sich NIR-Geräte im Labor bewährt. Aus dem existenten Angebot konnten nur zwei Geräte recherchiert werden, bei denen zu erwarten war, dass sie den dynamischen Beanspruchungen auf dem Mährdrescher standhalten würden.

Das Zeiss Corona 45 NIR arbeitet auf Basis der Dioden-Array Technik. Es enthält keine beweglichen Teile. Als Referenz dient ein mehrmals täglich durchzuführenden hell/dunkel Abgleich. Das Gerät besitzt kompakte Abmessungen.

Das mit einem Winkel von O^0 eingestrahlte Licht wird von der Probe reflektiert. Der Focus des Lichtes liegt in 13 mm Entfernung. Das reflektierte Licht wird von 15 einzelnen Lichtleitern mit jeweils einem Winkel von 45^0 zur Probe wieder aufgefangen und an das Gitter geführt.

Die Optik wird nicht direkt in den Gutstrom eingebracht, sondern mittels einer Glasplatte getrennt. An die Glasplatte werden keine besonderen Anforderungen gestellt; sie sollte lediglich kratzfest sein und einen Durchmesser von 5 mm bis 10 mm haben. Die Größe der Scheibe ist relativ unbedeutend. Die Optik des Gerätes kann dann direkt an die Glasplatte gebracht werden. Dazu ist ein Gummiring in einem Spannring zu bauen, der sich dann auf die Optik setzen lässt und so ein Scheuern der Optik an der Glasplatte vermeiden soll.

Das Perten DA 7000 (DA = Dioden Array) erfordert einen eigenen Desktop-PC, da zwei Steckkartenplätze benötigt werden. Eine Steckkarte dient der Stromversorgung, die zweite Karte regelt den Austausch der Daten zwischen Computer und Instrument. Die Bedienung durch den Anwender erfolgt über eine Tastatur, zur Kontrolle der Eingabe dient ein Monitor. Bei einem Dioden-Array-Spektrometer wird das gesamte Spektrum mit einem (oder

mehreren) Diodenarrays im Ms-Bereich aufgezeichnet und anschließend ausgelesen. So können bis zu 100 Spektren pro s gemessen werden. Der Nachteil liegt in der hohen Empfindlichkeit der DA's gegenüber Wärmestrahlung, so dass diese gekühlt werden müssen.

1.2.2 Anordnung im Mähdrescher

Da die Dualmessung während des Drusches kontinuierlich erfolgen soll, wird die Messtechnik am Getreidefluss angeordnet. Die Position liegt hinter der Reinigung und vor dem Korntank. Damit erreicht nur gereinigtes Korn das Messgerät und zum Korntank bleibt genügend Förderweg bzw. Zeit, um die Steuerung für eine etwaige separate Erfassung in 2 Korntanks zu realisieren. Dagegen steht die größere Entfernung von der Trommel bzw. der Position, an der die Getreidehalme standen. Diese Durchlaufzeit des Korns, ausgehend vom Schneidwerk, ist mit der Zugabe gefärbten Korns gemessen.

Für den Versuch wie die spätere Praxis kommt es entscheidend darauf an, das Messgerät für Einbau- und Wartungsarbeiten an gut zugänglicher Stelle zu installieren. Ein solcher Freiraum steht am ehesten an dem außen liegenden Elevator zur Verfügung. Der Elevator transportiert bei allen Mähdrescherherstellern das gereinigte Druschgut zum Korntank und bietet auch den Ort für die Ertrags- und Feuchte-Messung.

Im Versuch sollten beide Geräte zugleich eingesetzt werden und das gleiche Getreide messen. Daher würden sie gegenüber zu beiden Seiten des fließenden Getreides angeordnet. Außerdem musste die Möglichkeit bestehen, Proben für das Labor zu ziehen.

Also wird aus dem Gutstrom, den der Elevator in den Korntank fördert, eine Teilmenge abgezweigt und im Bypass den Geräten zugeführt. Beide Geräte sollen im Rahmen der Versuche das gleiche Getreide messen. Damit sich die Optiken der Sensoren nicht direkt bestrahlen, wurde zwischen die Messfenster eine Blende montiert. Ein Schneckendosierer unter der Kornsäule übernimmt die Dosierung des Materials im Bypass. Er fördert das Getreide zurück in den Elevator oder – bei geänderter Drehrichtung – in den Probenbeutel, der – zunächst – manuell abgepackt wird. Es werden ca. 230 g/s. bzw. 0,89 t/h gefördert, bei einem Durchsatz von 28 t/h entspricht das 3 %.

Die Prinzipskizze der Bypasseinheit ist in der nachfolgenden Abbildung 1 dargestellt

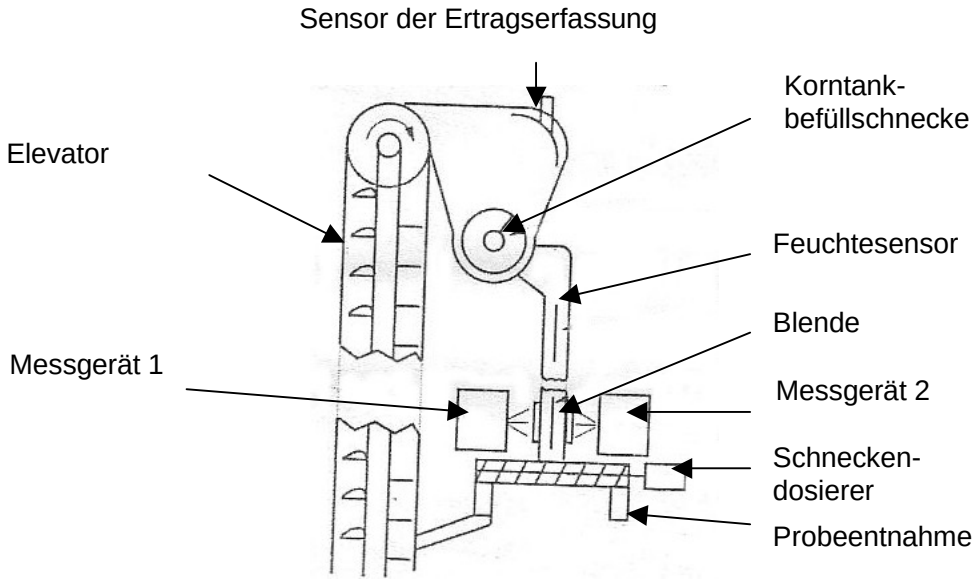


Abb. 1: Prinzip des Bypasssystems am John Deere 2264 (Rademacher, 2003)

Die Messgerätebedienung, Proben-Entnahme und Kennzeichnung erfolgte in den genannten Jahren manuell. Zu diesem Zweck war in Fahrtrichtung rechts zwischen Vorder- und Hinterrad eine Plattform montiert, auf der eine Bedienperson sowie die Proben Platz fanden.

Die Funktion des Bypass setzt voraus, dass vom Elevator genügend Material ausströmt. Das ändert sich mit der Konstruktion und Ausrichtung der Fördertechnik. Also wurde dazu ein eigenes Konzept erarbeitet, um Einfluss und Ergebnissystem darzustellen.

Die Überlegungen konnten an einem „Stand-Alone" Elevator in die Tat umgesetzt werden. Die Aufgabe bestand darin, die passende Lage und Abmessung des Ausschnitts im Elevator zu definieren: groß genug um über den gesamten Durchsatzbereich des Mähdreschers zu gewährleisten, dass genügend Druschgut ausläuft, aber nicht zu groß, um den Bypass nicht zu überfrachten. Also wird die Fließgeschwindigkeit, zum Beispiel von Raps, berücksichtigt. Des Weiteren war die Neigung des Elevators mit zu berücksichtigen, mit der im Einsatz zu rechnen ist. Also wurde der Elevator am Schlepper verstellbar angebaut. Er konnte in alle 4 Richtungen um 20^0 geneigt werden, um so die Geländeneigung zu simulieren.

Das Material wurde kontinuierlich im Kreis gefördert und es konnten verschiedene Durchsatzmengen simuliert werden (s. Abb.

2) sowie verschiedene Druschbedingungen (feucht, trocken) und mögliche Entnahmepunkte für Raps, Getreide und Mais hinsichtlich der entnehmbaren Menge überprüft werden. Die folgende Abbildung 2 zeigt exemplarisch für Raps die bei unterschiedlichen Durchsätzen und verschiedenen Öffnungen ermittelte Entnahmemenge.

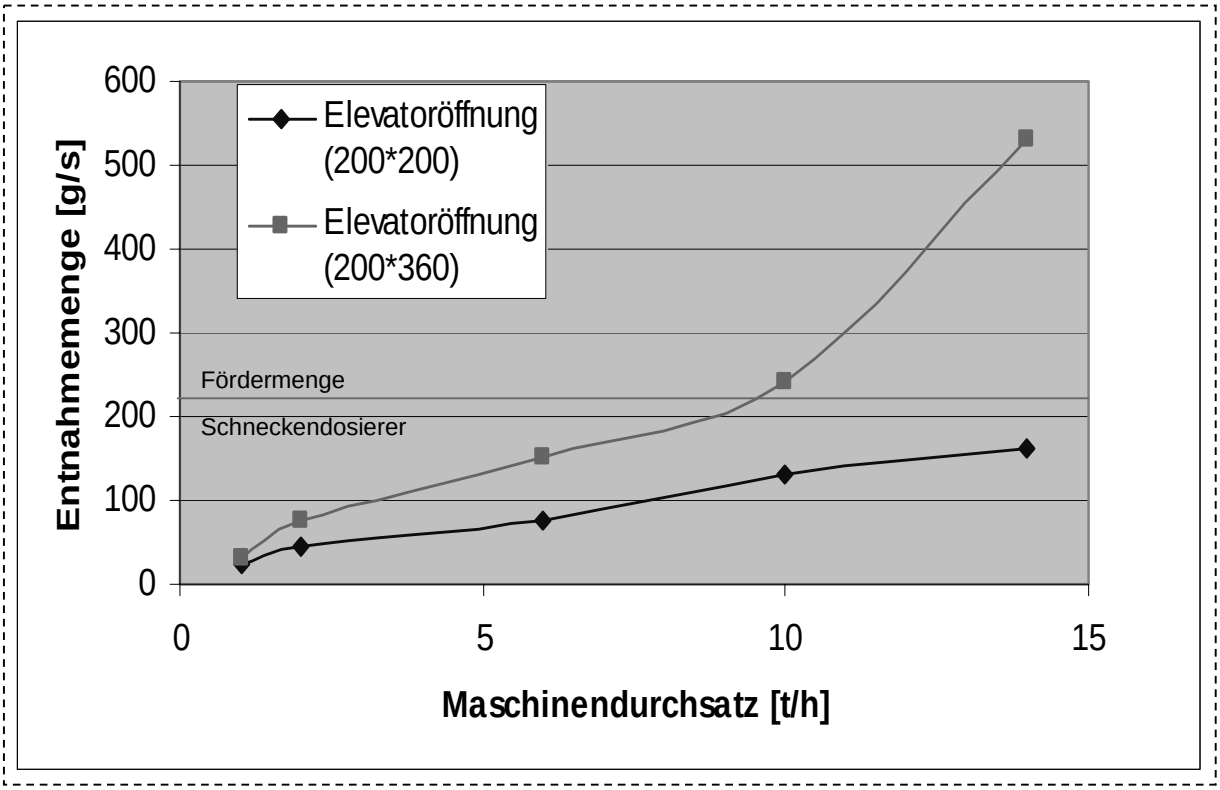


Abb. 2: Kontinuierliche Entnahmemenge für den Bypass aus dem Gutstrom des Elevators, Raps, 25% Feuchte, Grundstellung des Elevators (5%) rückwärts geneigt

Die Abbildung zeigt deutlich den Einfluss der Elevatoröffnung. Wird diese bei Raps mit der minimalen Öffnung von 200 * 200 mm gewählt, wie dies für Getreide vorgesehen ist, so ist die in den Bypass eingeführte Menge bei allen simulierten Durchsätzen zu gering.

Der Einfluss der Neigung auf die Entnahmemenge ist, im Vergleich zur in Abbildung 2 dargestellten Grundstellung des Elevators bei Raps, als gering einzustufen, da die runden Rapskörner durch die Vibrationen der Maschine optimale Lagerungsdichten auf den Förderpaddeln erreichen. Die Abweichung von den dargestellten Mengen bei bergab/bergauf-Fahrt – der Elevator nach vorn oder hinten geneigt – beträgt maximal ± 4%.

Die aus diesen Messungen abgeleitete Position und Größe der Öffnung bildet die Basis für die Anwendung am Mähdrescher. Die angewandte Methode ist übertragbar auf andere Typen und Fabrikate.

Die manuelle Probennahme war aus Gründen der Vorbereitungszeit zu vertreten, letztlich aber eine wenig zumutbare Belastung angesichts der ergonomisch ungünstigen Position und unangenehmen Staub- und Hitzebelastung. Daher wurde eine Automatisierung der Probenentnahme konzipiert mit dem Ziel, an gewünschter Position den Probebehälter genau zu füllen und zu kennzeichnen.

Die Automatisierung muss mehrere Aufgaben erfüllen:

- mehrere Probenbehälter als Kapazität,
- sichere Befüllung,
- Kennzeichnung der Probe,
- Registrieren der Orts- und Druschdaten
- Platzbedarf innerhalb der gegebenen Außenmaße
- Fernbedienung und Kontrolle von der Fahrerkabine aus.

Zur Realisierung sind die eigenen Überlegungen und Anforderungen durch Angebote der Industrie und Gespräche mit Herstellern ergänzt worden. Gemeinsam mit den Messtechnikern und der Werkstatt des Instituts wurde dann das neuartige Konzept konstruiert und realisiert.

Die technische Lösung besteht aus einem Schlitten, der Probenbehälter (PVC Laborflaschen) fassen kann und von einem Stellmotor horizontal vor- bzw. rückwärts bewegt wird. Ein Linear-Sensor an der Wegstrecke des Schlittens übermittelt ständig die genaue Position der Probenbehälter zum Zentralrechner. Die Zahl der Probenbehälter ist das Resultat aus der Überlegung, mindestens 2 Proben je Fahrgasse zu entnehmen und den Flaschenwechsel am Feldrand durchzuführen. Zusätzlich ergab sich aus den zur Verfügung stehenden Platzverhältnissen und dem Kolbenweg des Stellmotors, dass maximal 5 Probenflaschen möglich sind und realisiert wurden.

Die berührungslose, automatisierte Kennzeichnung der Probe erfolgt digital. Dafür sind am Boden jedes Behälter Transponder angebracht, auf denen die Identifizierung (ID, Position, Datum und Uhrzeit) gespeichert wird. Das Schreibmodul befindet sich unterhalb des Schlittens, so dass die Flasche mit Transponder zum Beschreiben darüber steht, während sie mit dem Probenmaterial befüllt wird.

Die Befüllung der Probenflaschen erfolgt über die Zeit. Die Zeitspanne der Befüllung ist vorab frei wählbar. Aus Überlegungen zur Kalibrierung sind jedoch mindestens 5 Sekunden (also 5 NIR-Spektren) für eine repräsentative Probe

notwendig. Daraus ergibt sich das Fassungsvermögen von 1,5 l. Zusätzlich ist noch ein Füllstandssensor an der Befüllposition installiert, um ein Überlaufen der Flaschen zu verhindern, was gerade beim Befüllen von fließfähigen (trockeneren) Druschgütern denkbar wäre.

Nach der Befüllung und dem Beschreiben des Transponders wird die nächste Probenflasche in die Befüllposition gebracht. Sind alle 5 Flaschen befüllt, wird der Schlitten automatisch in die Anfangsposition zurückgefahren, so dass die Flaschen entnommen, luftdicht verschlossen und durch neue, leere ersetzt werden können. Die Information auf dem Transponder kann dann am Feldrand oder im Labor ausgelesen, auf Etiketten gedruckt und zur weiteren Kennzeichnung genutzt werden. Die Transponder sind nach dem Auslesen wieder verwendbar und können beliebig oft mit neuen Informationen beschrieben werden.

Die gesamte PC-Technik (Abb.3) zur Datenerfassung und Bedienung der Messgeräte wurde in die Fahrerkabine verlagert. Das Auslösen der Probe erfolgt vom Bedienpersonal in der Kabine. Das könnte der Fahrer tun. Mit Blick auf den gesamten Umfang an Bedien- und Kontrollfunktion erscheint es sinnvoll, diese Aufgabe einem Versuchstechniker (Beifahrer) zu übertragen. Er kann die Befüllung nach verschiedenen, von der Versuchsfrage bestimmten Kriterien auslösen, ob zufällig oder gezielt an besonderen Teilflächen.

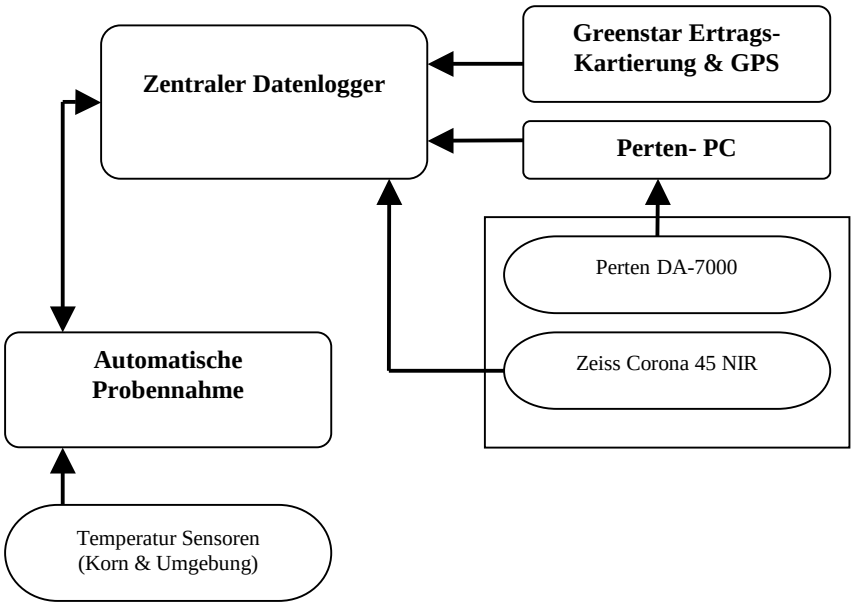


Abb.3 : Kommunikationswege zur Kartierung der inhalts-stoffliche Zusammensetzung beim Mähdrusch

Der zentrale Datenlogger fragt alle Schnittstellen in jeder Sekunde und erzeugt eine zeilenweise fortlaufende Log-Datei im ASCII-Format.

Damit ist ein Beprobungssystem geschaffen, das über das eigene Projekt hinaus zu verwerten ist, beispielsweise für die Kontrolle des Mykotoxin-Besatzes.

1.2.3 Kalibrierung

Ein Messgerät liefert zunächst nur Spektren; deren Verlauf ist mit Zielgrößen in Beziehung zu setzen, hier also dem Gehalt an Inhaltsstoffen. Eine derartige Kalibrierung war in den Messgeräten vorhanden, aber noch nicht spezifisch für die nun im Mähdrusch vorhersehenden Bedingungen. Dazu zählen

- Fließendes Gut statt ruhende Probe
- Besatz mit Nichtkornbestandteilen
- wechselnde Temperatur von Gut, Gerät und Umgebung
- Feuchtigkeit
- keine Aufbereitung der Proben

Also waren die Messergebnisse mit Referenzproben in Beziehung zu setzen, die während des Dreschens gezogen und von der LUFA analysiert wurden.

Für die einzelnen Kulturen ist eine ausreichend hohe Zahl und eine möglichst große Spannweite gemessener Gehalte nötig. Dabei wurden Erfahrungen anderer Autoren genutzt, die sich mit dem Messverfahren befassen, z.B. LUFA und FAL.

Die Auswahl der Proben erfolgte auf Basis der Mahalanobis-Distanz, einem statistischen Wert der Chemometrie. Auf diese Weise soll gewährleistet werden, eine möglichst große Streubreite an Proteingehalten in den Proben nachzuweisen, damit diese Streubreite zu einem breiten Kalibrationsbereich führt.

Während Drusch und Messung wurden aus dem Gutstrom manuell Proben gezogen. Dies geschah über den Acker bzw. die Zeit verteilt, und war damit der GPS-Position zuzuordnen. Während der Entnahme des Materials fand keine Unterbrechung des Gutstromes statt. Die Zuordnung der zu der jeweiligen Probe gehörenden Spektren geschah durch Ablesen der Probenziffer von einem der Monitore auf der Arbeitsplattform.

Das Probenmaterial wurde am Feldrand gesammelt und noch am Abend im Institutslabor in zwei Teile getrennt: Ein Teil von ca. 100 g wurde für die Trockensubstanzbestimmung bei 105°C 24 h im Trockenschrank getrocknet. Dieser Teil diente auch für

die spätere nasschemische Laboranalyse. Der zweite Teil, etwa 800 g, wurde schonend luftgetrocknet und für spätere Untersuchungen mit den NIR-Instrument in Druckverschlussbeuteln eingelagert. Damit soll verhindert werden, dass es im Korn zu stattlichen Veränderungen kommt. Für die Kalibration wurden aus allen aufgenommenen Spektren jeden Instrumentes (ca. 80.000) zunächst die Spektren ermittelt, die zu jeder während des Drusches gezogenen Probe gehören. Jede Probe ist durch vier bis fünf Spektren beschrieben (Abb.4). Diese Spektren wurden zu einem Spektrum gemittelt, so dass für jede Probe ein Spektrum existiert. Die Spektren weisen bei 1200 nm und 1450 nm ausgeprägte Maxima auf, ein geringeres liegt bei 1000 nm.

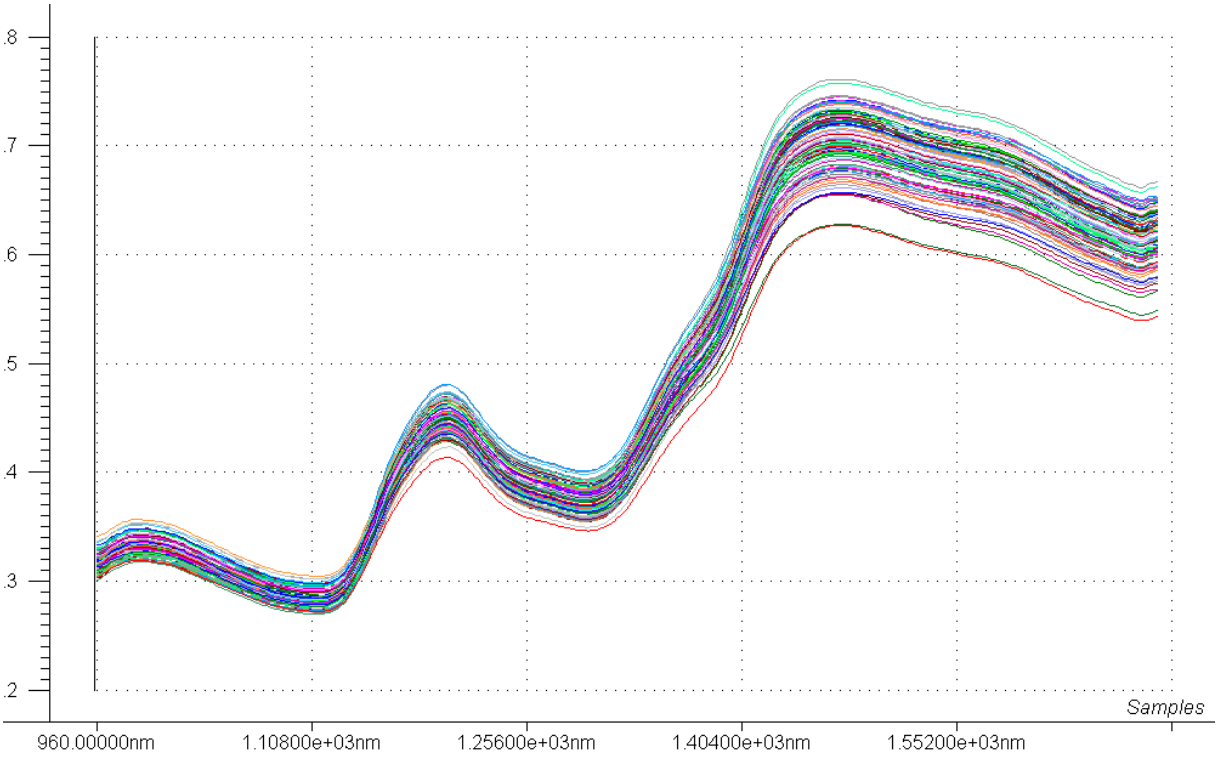


Abb 4: Reflexionsspektren von Weizen

Auf Grundlage einer PCA-Analyse wurden die Spektren der Proben strukturiert. Die Spektren werden in ihre PCA-Faktoren zerlegt und mit ihren Faktorwerten („Scores") in einem Vektorraum abgebildet. Aus dem sich so ergebenden Punkteschwarm werden mittels des so genannten H-Wertes Ausreißer erkannt und eliminiert. Mit Hilfe der PCA-Analyse ist es möglich, Proben für eine Auswertung zu selektieren. Diese Proben weisen dann charakteristische spektrale Informationen auf. Zweitens lassen sich andere Proben, deren spektrale Information fehlerbehaftet sind, eliminieren. Überflüssige Proben werden ohne

Informationsverlust eliminiert, wenn ihre spektralen Informationen denen der als charakteristisch markierten Proben ähnlich sind.

Mittels dieser Analyse wurden aus dem gesamten Probenumfang 100 Proben ausgewählt. Durch diese Vorauswahl wird erreicht, dass bei einer beschränkten Anzahl von Proben, die einer teuren und aufwendigen nasschemischen Analyse unterzogen werden, ein möglichst weites Spektrum an Inhaltsstoffkonzentrationen abgedeckt wird.

Beim Erstellen einer Kalibration werden die spektralen Informationen mit den Ergebnissen der Referenzanalyse in Verbindung gebracht. Dazu müssen die Informationen der Referenzanalyse den jeweiligen Spektrennummer in einem so genannten cfl-File (calibration file list) zugeordnet werden. Hier stehen in erster Spalte die Namen der Subfiles und den weiteren Spalten die Konzentrationswerte der Referenzanalyse.

An der Abszisse sind die Laborwerte abgetragen, an der Ordinate die geschätzten. Die Gerade durch den Ursprung kennzeichnet den Ort, an dem realer und geschätzter Wert identisch wären. Die Differenz zwischen wahren und geschätzten Proteingehalt beträgt weniger als 1%. Die Messungen basierten auf einer selbst entwickelten Kalibration mit 80 Proben Winterweizen. Mittels dieser Kalibrierung wurden die Spektren von 20 „fremden" Proben zu einem Ergebnis verrechnet (Validation).

Als ein erstes Beispiel für die Beziehung zwischen analytisch ermitteltem und messtechnisch geschätztem Proteinwert sei die Abb. 5 angeführt.

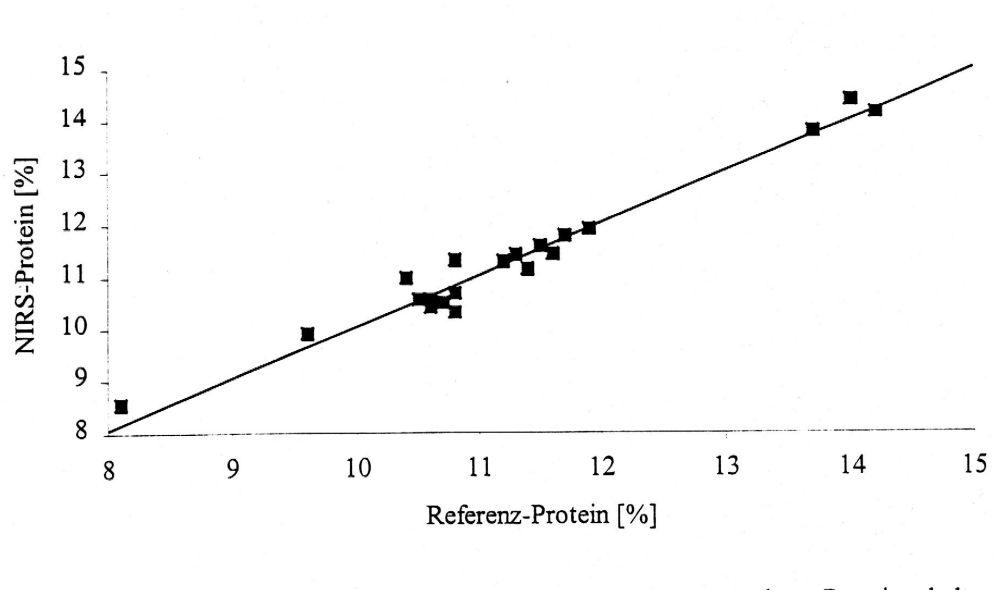


Abb. 5: Validation einer Kalibration zur Messung des Protein-Gehaltes Winterweizen

(Kalibrationssatz: 80 Proben, Validationssatz: 20 Proben; Perten DA 7000)

Der Anspruch an die Genauigkeit wird über die Referenzmethode vorgegeben. Danach darf der Standardfehler maximal das doppelte der Referenzanalyse betragen, als Beispiel sei hier der Standardfehler der nasschemischen Kjeldahl Methode für den Rohproteingehalt mit 0,2% genannt.

Damit ist die Basis gelegt, um für verschiedene Kulturen und Jahreseffekte die Kalibrierung fortzuentwickeln, also für S.- und W.-Gerste, Weizen, Triticale, Raps und K.-Mais. Dafür wurden 180 bis 250 ha/Jahr geerntet und bis 1000 Proben/Jahr gezogen. Zur Witterung brachte der lange, trockene Sommer in 2003 eine wertvolle Erweiterung der Faktoren, die als ehemalige Störgrößen in die Kalibrierung eingebunden werden.

Der Kalibrierbedarf ist besonders bei Wintergerste und Raps sehr hoch, da hier besonders der Anteil der Nicht-Korn-Bestandteile in einer Probe je nach Sorte und Jahr schwankt und daher die Kalibrierung hier noch nicht innerhalb der Toleranzgrenzen liegen.

Allgemein gilt: Je mehr Referenzproben eine Kalibrierung aufgenommen werden, desto genauer wird diese.

Das an dem Beispiel Inhaltsstoffe des Weizens veranschaulicht. Der Fehler (SEP) geht im Laufe der Zeit und damit der Probenzahl deutlich zurück (Abb. 6). Mit zwei Validationen wurde die Vorgabe für die Kalibrierung erreicht – maximal den 2-fachen Wert der Standardlabormethode zu unterschreiten. Der SEL (Standard Error of Laboratory) beträgt bei der Kjeldahl-Methode 0,2%, für die eigenen Kalibrierungen sind das also max. 0,4% Schätzfehler – die bereits im zweiten Jahr erreicht wurden.

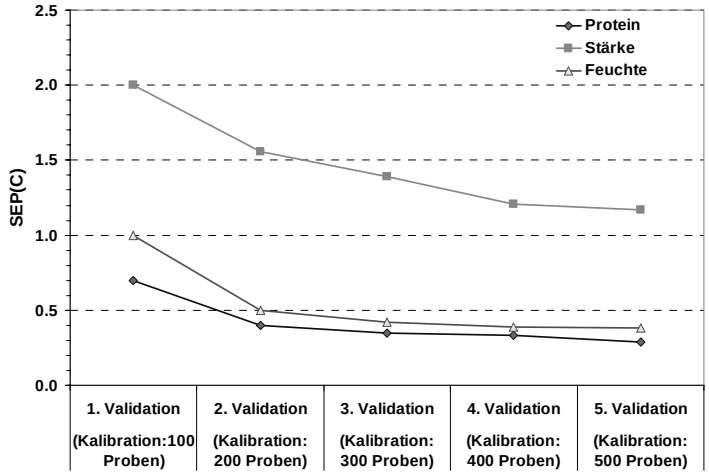


Abb. 6: Entwicklung der Kalibrierung für Weizen mit jedem weiteren Erntejahr

Stand der Kalibration: Raps	SEP(C)
Protein	0.47
Feuchtigkeit	0.38
Ölgehalt	0.62
Stand der Kalibration: Winterweizen	SEP(C)
Protein	0.35
Feuchtigkeit	0.45
Stärkegehalt	0.81
Stand der Kalibration: Wintergerste	SEP(C)
Protein	0.42
Feuchtigkeit	0.53
Stärkegehalt	-
Stand der Kalibration: Körnermais	SEP(C)
Protein	0.9
Feuchtigkeit	0.93
Stärkegehalt	-

Abb. 7: Stand der Kalibrationsgleichungen zum Projektende

1.2.4 Erfahrungen im Einsatz

Im Einsatz ergeben sich Eindrücke zum Gutstrom und zur Funktion der Geräte.

Unter feuchten Bedingungen leidet das Fließverhalten im Bypass. Besondere Schwierigkeiten bereitet feucht-klebriges Material. Im Raps verschmierte die ölige Oberfläche der Körner die Optik der Sensoren. Sie wurden des Öfteren mit Propanol gereinigt.

Im Öko-Weizen nahm das Schneidwerk zwangläufig die hochgewachsene Untersaat mit auf. Die Feuchte und Blätter des Klees beeinträchtigen das Fließverhalten, außerdem die Messung, da die Blätter einen hohen Eiweißgehalt aufweisen.

Die Verschmutzung der Scheibe beeinträchtigt die Messung. In welchem Ausmaß dies geschieht, geht aus der Mahalonibis-Distanz hervor, für die unter Feldbedingungen die Toleranz zu wählen ist. Je kleiner die Mahlonibis-Distanz (<3=optimal) ist, desto größer ist die Übereinstimmung zwischen gemessenem Spektrum und dem mittleren Spektrum der Kalibrierung.

Angesichts des Aufwands für die Reinigung, Unterbrechen des Mähdruschs, besteht das Ziel, die Putzintervalle zu erweitern.

Hierzu wurden in der Nacherntesaison 2004 Versuche durchgeführt, die Sensoroptik mit Folien unterschiedlicher

Stärke (12 – 100µm)und Qualität zu schützen. Später hätte die Optik mit einem Rollfilm automatisch sauber gehalten werden können. Es zeigte sich, dass sich der Einfluss der Folie in einem bestimmten Bereich (Folienstärke > 50µm) sehr gut durch die Kalibrierung eliminieren lässt, die dünnere Folie hat durch Grenzschichtreflexionen einen zu starken Einfluss auf das Spektrum. Leider zeigte sich aber auch, das sich die spektralen Eigenschaften des Folienmaterials schon über den Zeitraum von zwei Monaten unter ungünstigen Bedingungen, durch Alterung des Folienmaterials, so stark ändern können, dass sie die Messung bedeutend verfälschen. Der gewonnene Nutzen (Zeitersparnis – Arbeitserleichterung) wäre durch möglicherweise verfälschte Spektraldaten nicht zu rechtfertigen. Dieser Ansatz musste leider verworfen werden.

Außerdem ist der Schwarz-Weiß-Abgleich (beim Zeiss-Gerät) als Referenzierung nötig. Die Ungenauigkeit der Messung hängt von zwei Faktoren ab:

- vom Messgerät, da speziell an der Diodenzeile durch eine Temperaturerhöhung im Dauerbetrieb die Streuung zunimmt.
- vom Verschmutzungsgrad der Scheiben am Bypass

Daher wurde die Temperatur im Umfeld der Messeinrichtung erfasst. Es stand zu befürchten, dass Bauteile des Mähdreschers Wärme abstrahlen. Tatsächlich aber wirkte eher der Tagesgang bzw. die Sonne. Gleichzeitig zeigte ein Sensor im Bypass-Kanal, welche Temperatur das Korn aufweist. Durch das langsame Fahren staut sich die Wärme unter dem Bypass, wenn dieser der Sonne zugewandt ist. Fährt der Drescher in der nächsten Spur zurück, liegen die Sensoren auf der der Sonne abgewandten Seite. Die Temperatur des Getreides unterliegt nicht solch ausgeprägten Amplituden. Allerdings scheint das Getreide Wärmeenergie von den Bauteilen des Bypasses oder der Maschine aufzunehmen.

Als Gegenmaßnahme wurde die aktive Kühlung der Messgeräte über die Klimaanlage des Mähdreschers gewählt, um der Eigenerwärmung der Systeme vorzubeugen. Damit halten die Umhausung und die Geräte das Temperaturniveau.

Das ursprüngliche Konzept liefert eine Fülle an Daten, auch von solchen Flächen und Zeiten, die für eine Auswertung nicht von Belang sind. Daher wurde die eigene Datenaufzeichnung über Schnittstellen, die Projektpartner John Deere frei gab, mit den Steuersignalen des Mähdreschers verknüpft. So kann bei leerem Bypass oder bei ausgehobenem Schneidwerk das unnötige Aufzeichnen von Spektren vermieden und der notwendige Speicherplatz für einen Druschtag auf das wesentliche reduziert werden.

1.2.5 Preiswerte Lösungen

Der Anschaffungspreis der Sensorik erscheint als Zubehör relativ teuer. Daher bemühten sich auch die Projektpartner John Deere und Zeiss um die Erprobung einer neuen Prallplatte für die Durchflussmessung bei unterschiedlichen Durchsätzen und um neue NIR-Messgeräte (Prototypen). Beide Firmen haben unter dem Gesichtspunkt der Kostenreduktion bei der Online-Messtechnik neue kostengünstigere Systeme entwickelt. Für diese Systeme stand der Vergleich mit der bisherigen Technik im Vordergrund, um so eine Kostenreduktion nicht zu Lasten der Genauigkeit zu vollziehen. Hierfür wurden von Zeiss verschiedene Messköpfe mit unterschiedlichen Betrachtungswinkeln und andere Kühlsysteme (bisher passive Peltier-Kühlung) in den Prototypen getestet. Diese Tests wurden zum einen im Labor unter konstanten äußeren Bedingungen und beim praktischen Einsatz im Feld durchgeführt.

Die neue Prallplatte zur Messung des Massendurchsatzes im Elevator des Mähdreschers wurde im laufenden Projekt auf verschiedenen Rapsflächen getestet. Hierfür wurde die Effizienz der neuen Prallplatte (veränderte Materialen und Form) bei unterschiedlichen Druschfeuchten und Durchsätzen eingesetzt, um die Grenzen der Belastbarkeit zu erfassen.

1.3 Einfluss des Bodens

In zahlreichen Versuchen wurden mögliche Einflussgrößen auf den Proteingehalt untersucht. Von der Fachwelt werden Faktoren wie zum Beispiel Boden, Düngung, Pflanzenschutz, Witterung und genetisches Potenzial genannt. Diese wurden systematisch mit einbezogen. Besonders der Boden in seiner natürlich bedingten Heterogenität und die Düngung haben sich als wesentliche Faktoren und Gegenspieler herausgestellt.

Somit geht es zunächst um, die geeignete Methode, die die ertragsrelevanten Eigenschaften des Bodens in genügender Auflösung kennzeichnet.

Bereits Anfang der dreißiger Jahre wurden in ganz Deutschland Bonituren (Reichsbodenschätzung – RBS) durchgeführt, um alle Böden zu kartieren und nach ihrer Ertragsfähigkeit zu klassifizieren – damals mit fiskalischem Ziel. Die Reichsbodenkarten liegen in unterschiedlichen Rastergrößen vor, sind aber für die Beurteilung des Bodens als Einflussgröße auf die Qualität zu ungenau. Daher war es für das eigene Projekt notwendig, aktuelle Bodendaten auf den Versuchsflächen zu erheben.

Hierfür wurde ein Messverfahren zu Ermittelung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EM38) benutzt. Gerade in den letzten Jahren hat sich dieses Messverfahren in der

landwirtschaftlichen Praxis als Methode entwickelt, um schnell und genau die Feinerdeanteile (Ton und Schluff) bestimmen zu können und das ohne die klassische Profilansprache und die Schlämmanalyse (n.Köhn) durchzuführen. Außerdem hat sich dieses Messverfahren im preagro-Projekt bewährt.

Bei der Leitfähigkeitsmessung wird das Messgerät auf einem PVC-Schlitten in 6 bis 7 m Entfernung hinter dem Fahrzeug in den Fahrgassen gezogen. Eine Sendespule im Messgerät sendet dabei ein elektrisches Feld in den Boden. Dort bilden sich hauptsächlich in Tonteilchen, an denen die meisten Nährstoffe in Ionen-Form gebunden sind, sekundäre (induzierte) elektrische Felder. Eine Empfängerspule registriert die Stärke dieser sekundären Magnetfelder. Mit Hilfe dieser Messwerte ist nun eine Aussage über den Feinerdeanteil möglich, dieser korreliert sehr gut mit der elektrischen Leitfähigkeit (hoher Feinerdeanteil = hohe elektrische Leitfähigkeit).

Dank der neuen Messtechnik war es möglich, alle Versuchsfelder vorab zu kartieren und die Heterogenität der Leitfähigkeit zu erfassen. Aus diesen Daten wurden dann Leitfähigkeitsklassen gebildet, die einen gleichen Flächenanteil an der Gesamtfläche haben. So erhält man die Möglichkeit, Dünge- und Ertragsdaten einer Leitfähigkeitsklasse mit der gleichen Klasse in einer anderen Düngevariante zu vergleichen und so den Bodeneinfluss konstant zu halten.

Außerdem liegen Versuche auf solchen Feldern, die unter anderer Fragestellung in anderen Projekten bereits beprobt und bonitiert waren. Somit liegen Kenndaten zu Relief und Boden in engem Raster sowie teils mehrjährige Ertragsdaten vor. Dieses Potential aus Institutsarbeiten nutzt das vorliegende Projekt.

Andere Einflussgrößen auf die Qualität (z.B. Pflanzenschutz, Witterung und genetisches Potenzial) können für die Versuche als konstant über den Schlag angesehen werden. Damit liegen Schläge vor, die den Einfluss des Bodens unter sonst gleichen Verhältnissen erkennen lassen. Darüber hinaus erweitert die N-Düngung – einzeln variiert oder in Wechselwirkung mit dem Boden - die Aussage.

Zur näheren Erläuterung werden die Methoden der Reichsbodenschätzung und der Leitfähigkeitsmessung miteinander verglichen. Dazu werden die EM 38-Messdaten den Ackerzahlen der Reichsbodenschätzung bei konstanter Düngung gegenübergestellt.

Es zeigt sich mit steigenden Ackerzahlen ein Anstieg des EM 38-Messwertes. Das Bestimmtheitsmaß mit einem R^2 von 0,4 ist verhältnismäßig gering und deutet auf andere Einflüsse hin.

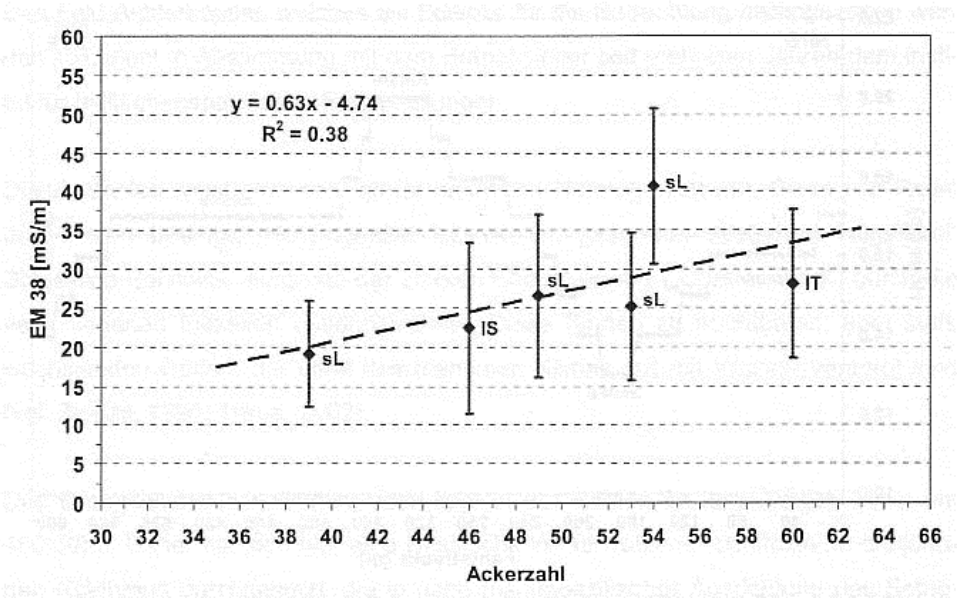


Abb. 8: Vergleich der Ackerzahlen nach Reichsbodenschätzung mit den Leitfähigkeitsmessungen nach EM 38, Region Quarnbek, Schleswig-Holstein

Zunächst besteht ein enger Zusammenhang zwischen beiden Größen, jedoch fallen die EM 38-Werte für die beiden sl-Böden mit praktisch gleicher Ackerzahl (53 und 54) aus dem Rahmen. Seit der Erhebung der Reichsbodenschätzungsdaten können sich Bodenbedingungen geändert haben. Es kann auch an der im Verhältnis zur EM 38-Messung geringen räumlichen Auflösung liegen.

Weiterhin soll die Feldansprache (nach Hackbarth) mit dem EM 38-Messwert in Beziehung gesetzt werden, um auch hier das Bestimmtheitsmaß zu überprüfen. Qualitativ deutet sich bereits in Abbildung 7 der Anstieg an.

In Abbildung 8 sind die Texturklassen mit steigendem Feinerdeanteil (von links nach rechts) dem Messwert der Leitfähigkeit gegenübergestellt. Da hier keine mathematische Beziehung vorliegt, ist die Trendlinie grafisch veranschaulicht.

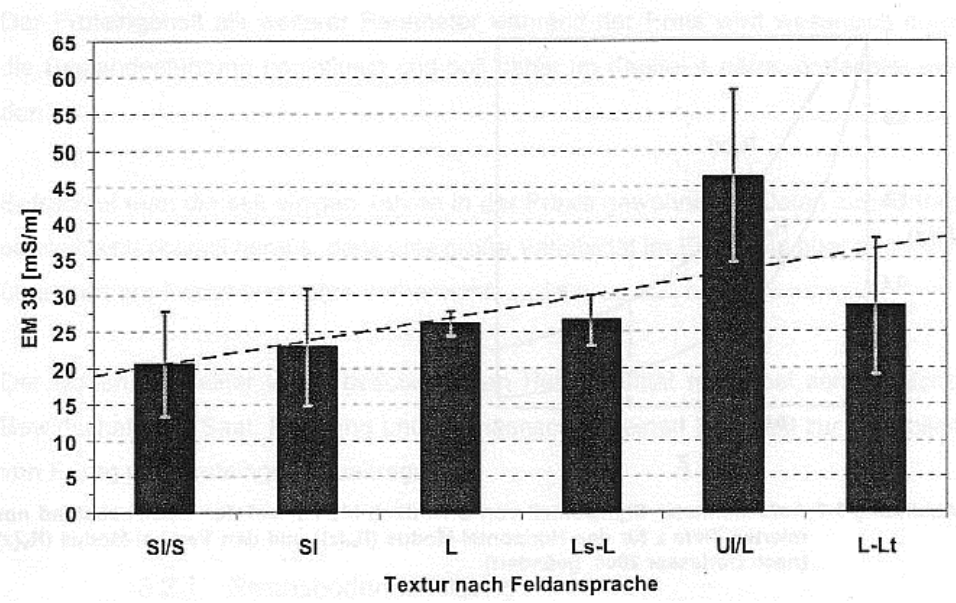


Abb. 9: Vergleich der Texturklassen nach Feldansprache (Hackbarth) mit Leitfähigkeitsmessungen nach EM 38 Region Quarnbek, Östliches Hügelland in Schleswig-Holstein

Dieser Trend entspricht dem Messprinzip, welches auf die Korngrößen reagiert. Auffällig ist hier wie in Abbildung 7, dass eine Klasse die Tendenz überragt. Ohne die Klasse (UI/L) würde die hier angedeutete Trendlinie wesentlich flacher verlaufen. Die starke Streuung der EM 38-Daten weist auf unsichere Bedingungen hin.

Die Feldansprache wurde nach Anleitung der KA4 im Mittel bis 1,5 m Tiefe, mittels Pürckhauer-Boher, durchgeführt und anschließend zu einer Leitbodenart, die sich auf den Oberboden bezieht, zusammengefasst.

Die EM 38 Messung erfasst das Bodenvolumen ebenfalls als Summenparameter. Bei homogenem Untergrund stammen ca. 63% des Messsignals im vertikalen Messmodus aus einer Tiefe von 1,3 m. Diese unterschiedlichen Bezugstiefen sind der Hauptgrund für die eher geringen Bestimmtheitsmaße zwischen Leitfähigkeitsmessung und klassischer Feldansprache. Dies bestätigen auch Versuche des ATB in Potsdam.

Das EM 38-Verfahren bietet kontinuierlich in hoher Auflösung Daten zur Bonität. Derartige Messwerte werden an Hand der Ertragsbildung überprüft. Dazu sind Klassen gebildet, um das Bild überschaubar zu halten.

Diese Klassifikation hat sich bei der Frage nach der Wirkung verschiedener Bewirtschaftungsintensitäten der

Bodenbearbeitung, Saat und Düngung bewährt (z.B.preagro). Nachfolgend sollen die mittleren Erträge den mittleren Leitfähigkeiten der einzelnen Bodenklassen in den erfassten Jahren gegenübergestellt werden.

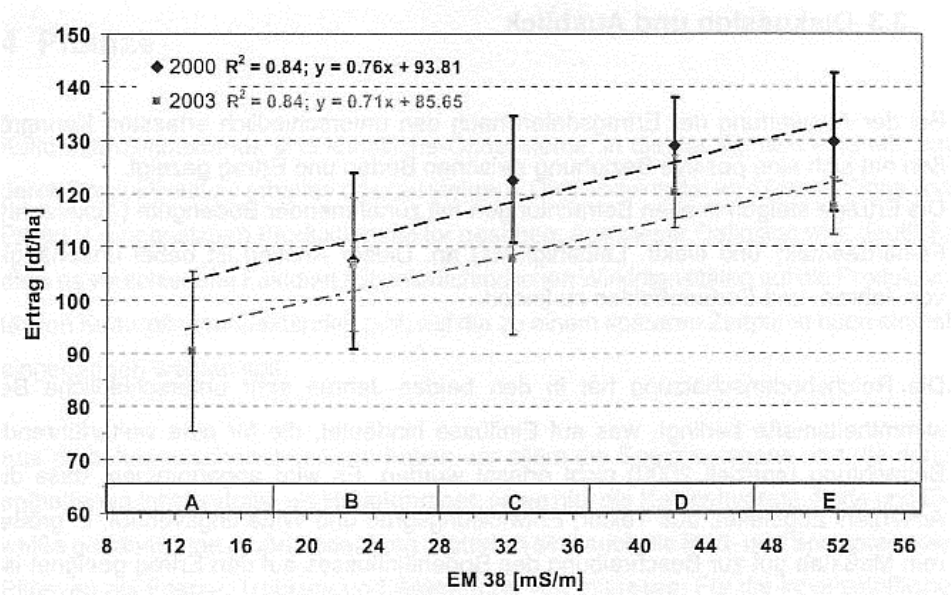


Abb. 10: Erträge 2000 (Ritmo) und 2003 (Skater) nach Bodenklasse aus Leitfähigkeitsmessung mittels EM 38

In Bodenklasse A sind die geringsten, in Klasse E die höchsten Leitfähigkeitsmesswerte dargestellt. Mit zunehmender Bodenklasse (Leitfähigkeit) nimmt der Ertrag zu.

2000 steigt der Ertrag zwischen Klasse B und C deutlich an (>12 dt/ha), in 2003 nur gering. Insgesamt liegt in 2000 ein degressiver steigender Verlauf vor, in 2003 eine Gruppe mit geringen und eine mit höheren Erträgen. Der unterschiedliche Verlauf wird mit einem linearen Modell beschrieben.

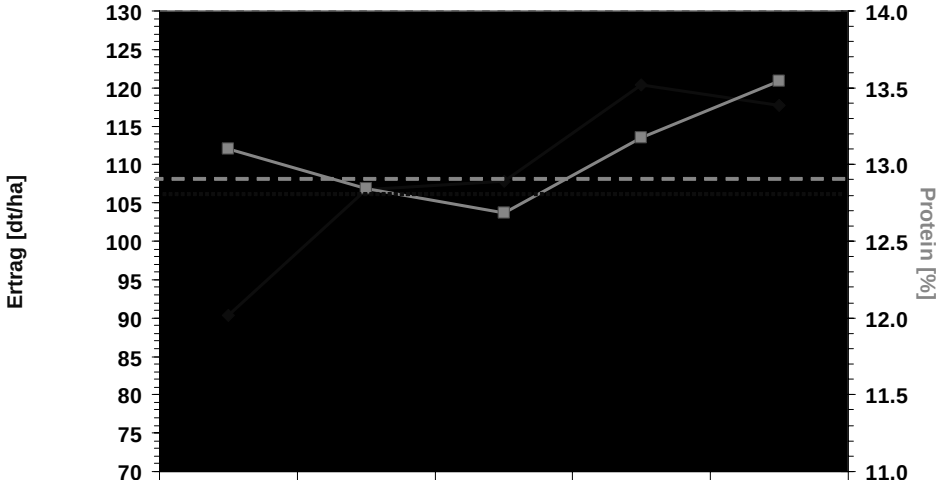
Das R^2beträgt in beiden Jahren 0,84 und ist damit sehr stabil. Das Zusammenfassen der Einzelwerte der EM 38-Messung zu größeren Teilflächen („Bodenklassen") aus Gründen der Vergleichbarkeit zwischen Varianten, Standorten und Jahren hat sich bewährt.

Der Zusammenhang von EM 38 und dem Ertrag und vor allem dem Proteingehalt wird nun dargestellt.

Mit steigender Bodengüte steigt der Ertrag kontinuierlich an, der Proteingehalt sollte erwartungsgemäß mit steigendem Ertrag sinken (Verdünnungseffekt). Offen bleibt zunächst, nach welcher Methode der Boden bewertet wird.

Dies soll für einen Schlag (Achterkoppel) mit 35 ha zum einen mit Hilfe von Daten der Reichsbodenschätzung und den gemessenen EM 38 Werten dargestellt werden.

Die Proteinwerte, aufgezeichnet über die Reichsbodenschätzung, weichen auf Böden mittlerer Punktzahl vom Trend ab. Nach EM 38 geordnet ergibt sich für Ertrag mit Protein ein nahezu paralleler Verlauf (Abb. 10).



	A	B	C	D	E
Ertrag	90	107	108	120	118
Protein	13.1	12.8	12.7	13.2	13.5

Abb. 11: Ertrag und Protein nach EM 38-Klassen der konstant Gedüngten Varianten, Feld Achterkoppel 2003, Sorte Skater, N-Gesamt 182 kg N/ha

Diese Auswertung zeigt deutlich, dass mit zunehmender Bodengüte der Ertrag zunimmt. Nur in der Klasse E fällt der Ertrag etwas um 2 dt/ha auf 118 dt/ha ab, vermutlich auf eine zu geringe N-Menge zurückzuführen.

Der Proteingehalt fällt zunächst von 13,1% auf 12,7% zur mittleren Klasse C hin ab und steigt dann bis auf 13,5% in Klasse E an. Also steigt mit dem Ertrag auf dem guten Boden auch der Proteingehalt.

Als Fazit gilt, dass die EM 38 Methode die Ertragsfähigkeit gut wieder gibt. Sie hat – auch auf Grund der eigenen guten Erfahrungen – beachtlichen Eingang in die Praxis gefunden.

1.4 N-Dünge-Strategie

Hauptfaktor für Protein und Wachstum ist Stickstoff (N), der als Bestandteil von Aminosäuren in allen Lebewesen vorhanden ist. Stickstoff ist von seinen Eigenschaften ein mobiler Nährstoff, dessen Wirkung schon einige Tage nach der

Applikation beobachtet werden kann. Außerdem wird die gesamte Stickstoffmenge, die einem Pflanzenbestand zugeführt wird, üblicherweise zu unterschiedlichen Wachstumsphasen der Pflanzen gegeben. Damit soll gerade das Nachlieferungsverhalten des Bodens (Mineralisierung, organische Düngung) optimal genutzt und eine Überdüngung und die damit verbundenen Verluste (Grundwasser und Atmosphäre) vermieden werden.

Daher wurden auf Praxisflächen, weitgehend bereits in teilflächenspezifischer Bewirtschaftung, Versuche mit unterschiedlicher Fragestellung initiiert.

Bei allen Versuchen wurde die Wirkung der N-Düngung auf die inhaltsstoffliche Qualität untersucht, im Einzelnen beeinflusst von Düngetermin, Düngermenge sowie teilflächenspezifischer Produktionstechnik. Die Maßnahmen waren wegen der örtlichen Erfahrung mit den Betriebsleitern abgestimmt. Generell wurde zwischen betriebsüblicher (konstanter) und teilflächenspezifischer (variabler) Düngung unterschieden.

Für die bedarfsgerechte teilflächenspezifische Applikation steht seit einigen Jahren das in Kiel von Heege und Reusch entwickelte reflexionsoptische Messsystem (Hydro N-Sensor) der Praxis zur Verfügung. Der Hydro N-Sensor misst während der Überfahrt die Reflexionsintensität von Tageslicht am Pflanzenbestand und entscheidet durch eine hinterlegte Regelfunktion über die Höhe der zu applizierenden N-Menge. Die Reflexionsintensität hängt vom N-Ernährungszustand der Pflanzen ab.

Gut ernährte Bestände reflektieren insgesamt weniger sichtbares Licht (λ = 450-680 nm), da die Pflanze einen gewissen Anteil entnimmt und während der Photosynthese in chemische Energie (Kohlenhydrate) umwandelt. Kleinste N-Versorgungsunterschiede können so gemessen und bei der N-Düngung berücksichtigt werden. Im N-Sensor sind 2 unterschiedliche Regelfunktionen hinterlegt, für die Wachstumsphase nach dem Prinzip: „Gut versorgte Bestände bekommen wenig, schlecht versorgte viel N-Dünger". Diese Funktion trägt zur Homogenisierung des Bestandes bei. Die 2. Regelfunktion ist als Qualitätsfunktion speziell für die Ährengabe (letzte N-Gabe) gedacht und für das vorliegende Projekt besonders bedeutsam. Hier arbeitet der Sensor nach dem Prinzip: „Gut versorgte Bestandesteile bekommen extra Stickstoff, um zusätzlich die Qualität zu steigern" (Luxus-Stoffwechsel). Der optimale Zeitpunkt liegt nach dem Ährenschieben bis ca. 2 Wochen nach der Blüte des Getreides. Mit dieser Funktion kann bei einem normalen Pflanzebestand mit ausreichender Wasserversorgung die Einlagerung von Eiweiß ins Korn gezielt gesteigert werden. Derzeit sind vom Hersteller

fruchtartspezifische Regelfunktionen für Winter- und Sommergetreide, Raps und Mais verfügbar. Da Mais in Europa üblicherweise nicht nach Auflaufen gedüngt wird, wurden für das eigene Projekt Düngeversuche in Weizen und Raps angelegt und ausgewertet.

1.4.1 Versuchsanlage

Die Versuche wurden als Langparzelle in Streifen über die gesamte Länge des Schlages angelegt. Die Breite war über den Fahrgassenabstand mit 3 mal 24 m gegeben. Damit wird – im Gegensatz zum Parzellenversuch – ein ganzer Schlag in seiner Gesamtheit und Variabilität betrachtet.

Die Düngung war so angelegt, dass zum einen die Teilflächen zum anderen eine gezielte Qualitätsgabe wirksam werden konnte.

Einige Flächen waren vom Betrieb oder in Verbindung mit dem Institut einheitlich gedüngt – die Variabilität von Boden und Bestand blieb also gewahrt.

Eine zweite Gruppe an Schlägen wurde teilflächenspezifisch gedüngt, und das in verschiedenen Varianten, um den N-Effekt sicherer zu erkennen. Die erste Gabe Anfang März verabreichte der Betrieb konstant, die weitere wurde dann nach Versuchsplan ausgebracht:

Zuerst wurde die N-Sensorvariante angelegt. Dafür war es nötig, 2 Fahrgassen mit Traktor und Hydro N-Sensor im Kalibriermodus abzuscannen, um dann mit Hilfe des Handgerätes (N-Tester) den N-Bedarf an der Pflanze zu bestimmen. Daraufhin wurden der Hydro N-Sensor kalibriert und die bereits gescannten Fahrgassen mit Dünger gestreut. Anschließend konnte am Display die mittlere gestreute N-Menge in den beiden Versuchsgliedern abgelesen werden. Diese ausgebrachte N-Menge wurde dann als konstante Menge an jeder Stelle appliziert.

Als nächste wurde die teilflächenspezifische Variante mit 20% geringerer und sodann mit 20% höherer Menge angelegt, um gemäß Ertragsfunktion den Düngeeffekt deutlich zu machen.

Die Versuchsglieder wurden mit einer Wiederholung angelegt. Diese Versuchsanlage wurde auch zur 3. und 4. N-Gabe beibehalten, um die Effekte von N-Mangel (-20%) oder Überfluss (+20%) zu jeder Düngergabe messen zu können.

Ein weiteres Versuchziel konzentrierte sich auf den Einfluss der letzten N-Gabe (Ährengabe) auf die Qualitätsbildung – weiterhin im Rahmen der teilflächenspezifischen N-Düngung. Mit der Sensorik des Mähdreschers sollte es nun möglich werden,

für jede Teilfläche bzw. Düngestufe Ertrag und Qualität zu bestimmen.

Angemerkt sei, dass der Bestand im ersten Jahr sehr schlecht aus dem Winter gekommen ist. Er war ziemlich ausgedünnt. Der sehr verregnete Oktober hatte kaum Möglichkeiten zur Bestellung am optimalen Termin zugelassen. Daher wurde zur 2. als auch 3. N-Gabe versucht (Hauptwachstumsphase des Bestandes), den Bestand mittels des N-Sensors zu homogenisieren. Dies wurde mit einem weiten Regelbereich von 0 bis 120 kg N/ha realisiert. Die Entwicklung des Bestandes konnte mit Hilfe von wöchentlichen Biomassemessungen erfasst und dokumentiert werden.

Die letzte N-Gabe (Ährengabe) erfolgte Ende Mai. Der Bestand war zu diesem Zeitpunkt augenscheinlich sehr homogen und gut entwickelt. Jetzt wurden verschiedene Düngevarianten (2 Fahrgassen je Variante) angelegt.

Es wurden 4 Hauptvarianten als Qualitätsgabe angelegt:

Variante 1	keine Düngung
Variante 2	N-Sensor
Variante 3	konstant
Variante 4	N-Sensor mit Qualitätsfunktion

Außerdem konnte jede Hauptvariante 30% erhöht bzw. vermindert werden, da der Versuchsschlag mit mehr als 30 ha Gesamtfläche genügend Platz bot.

1.4.2 Ergebnisse

Frühere Betrachtungen der Wechselwirkungen zwischen N-Düngung, Ertrag und Rohprotein ergaben folgende Beziehungen:

- zunehmende N-Gabe steigert den Ertrag bis zum Optimum
- hohe letzte N-Gabe fördert den Proteingehalt
- hoher Ertrag mindert den Proteingehalt („Verdünnungseffekt“)

In bisherigen Versuchen des Institutes, die als Stichproben während der Ernte genommen wurden, fanden sich diese Beziehungen nicht durchgängig wieder. Für alle Versuche gilt gleichermaßen, dass sie unter Praxisbedingungen durchgeführt wurden und so einige Erwartungen speziell aus der Literatur nicht oder nicht in dem Umfang wieder gefunden werden konnten.

Ein wesentliches Ergebnis der Versuche ist die eindeutige Beziehung (R^2>0,8) zwischen N-Düngung und Proteingehalt im Korn die in Abbildung 11 dargestellt ist.

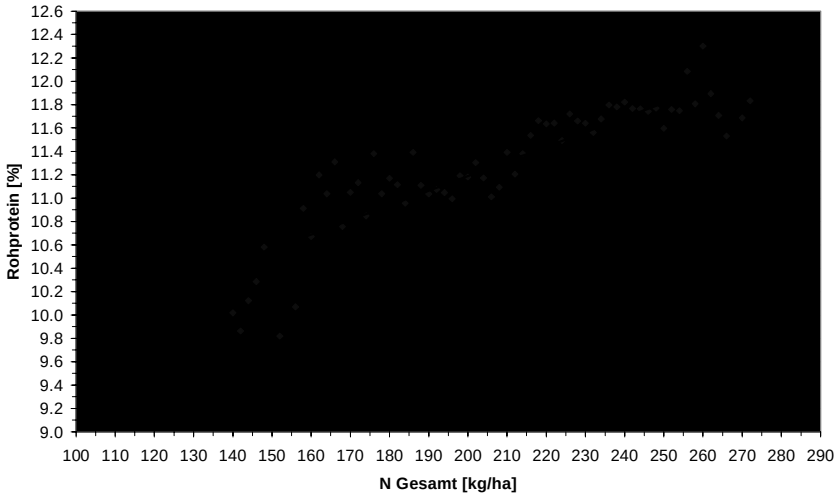


Abb. 12: Beziehung zwischen N-Gesamt und Rohproteingehalt (n=9429; R^2=0,83)

Diese Tatsache konnte bisher nur sehr mühevoll in Kleinparzellenversuchen, oder mit einem hohen Beprobungsaufwand am Feld und in umfangreichen Labor-Analysen nachgewiesen werden. Während mit der NIR-Messtechnik auf dem Mähdrescher alle Ertrags- und Inhaltsstoffe mit den Düngemengen in Beziehung gesetzt werden können. Neben dem generellem Trend fällt auf:
Abweichend von der linearen Regression befindet sich im unteren Teil eine Gruppe von Daten, die stärker streuen, ebenso die Werte ab 240 kg N/ha, wo die Streuung deutlich ansteigt. Daher stellt sich die Frage: Wie reagiert der Ertrag auf dieses weite Spektrum der Gesamt N-Gabe (140-240 kg N/ha)? Dazu wurden mittels GIS-Software (Arc-View) alle Ertragspunkte bei einer N-Menge zu einem mittlerer Ertragspunkt verrechnet und so die Anzahl der Datenpunkte von 9429 auf 88 Datenpunkte reduziert. In Abbildung 12 ist die Beziehung zwischen N-Gabe und Ertrag dargestellt.

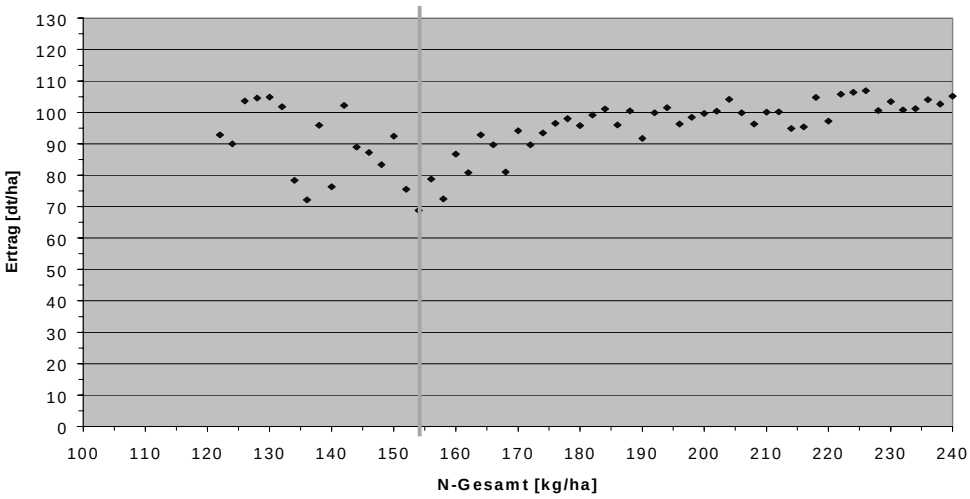


Abb. 13: Beziehung zwischen N-Gabe und Ertrag

Bis 155 kg/ha N-Gesamt liegen die Ertragspunkte weit auseinander (Spannweite 68 bis 106 dt/ha) und folgen keinem Trend. Dieser Bereich entspricht den Messwerten aus der Nullvariante, wo zum letzten Termin (Ährengabe) 0 kg N/ha gefallen sind. Die Heterogenität wird also durch die Bodenunterschiede bedingt. Andererseits wurde diese Variante zur 2. und 3. N-Gabe mit dem Hydro N-Sensor nach klassischer Regelfunktion („gute weniger und schlechte mehr") gedüngt. Das erklärt, warum gerade bei 150 kg N/ha weniger als bei 130 kg N/ha geerntet wurde.

Von 160 bis 190 kg N/ha verläuft die Datenreihe ähnlich der „Mitscherlich-Kurve". Über 190 kg N/ha hinaus wird der Verlauf wieder heterogener (Spannweite 88 bis 122 dt/ha). Zur Ertragsbildung hätten bei diesem Beispiel also 190 kg N/ha genügt. Somit stellt sich weiterhin die Frage, ob mit gestiegenem Ertrag der Proteingehalt gesunken ist (Verdünnungseffekt)? Die Auswertung in Abbildung 13 liefert eine Schwankungsbreite zwischen 10,9 und 11,6% Protein.

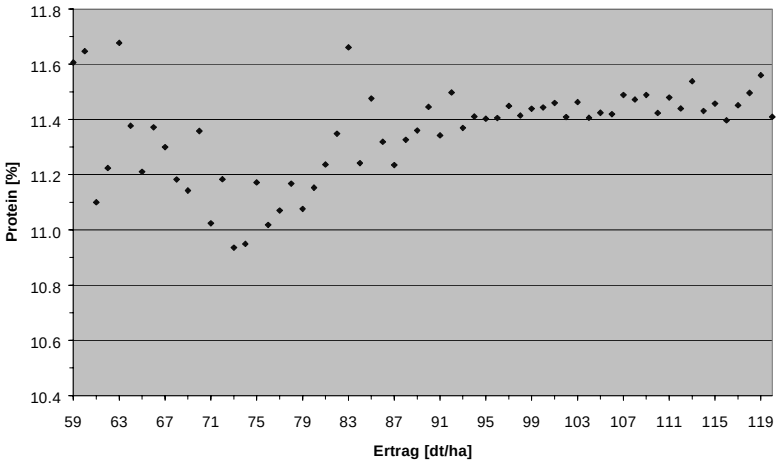


Abb. 14: Beziehung zwischen Ertrag und Protein („Verdünnungseffekt)

Diese Spannweite scheint schmal, jedoch bildet jeder Punkt bereits einen Durchschnitt aus 10 bis 400 Einzelmesswerten. In der Tendenz zeigt sich zunächst, dass mit dem Ertrag auch der Proteingehalt steigt, ausgehend vom niedrigen Niveau. Dann aber bleibt der Proteingehalt konstant. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass durch eine gezielte Bestandesführung (Düngung) der Verdünnungseffekt von Ertrag und Protein aufgehoben werden kann.

Von großem Interesse für das eigene Projekt war die Frage nach der Wirkung der Ährengabe auf die Qualität. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse des hierfür angelegten Versuches (Versuchsanlage 2) dargestellt.

	0 zu N_3	N-Sensor	konstant	N-Sensor QK
N-Gesamt [kg/ha]	**147**	**196**	**218**	**211**
Protein [%]				
Maximum	11.68	12.63	13.40	12.70
Mittelwert	**10.06**	**11.50**	**11.60**	**11.97**
Minimum	8.74	10.68	9.37	11.19
STABW	**1.48**	**0.98**	**2.02**	**0.76**
Ertrag [dt/ha]				
Maximum	102	116	117	117
Mittelwert	**78**	**86**	**87**	**98**
Minimum	59	66	54	63
STABW	**22**	**25**	**31**	**27**

Tabelle 1: Ergebnisse zur Ährengabe

Der Verzicht auf die N-Gabe zum Ährenschieben (O-Variante) bringt nur 10% Protein und 10 dt/ha weniger. Diese Tatsache zeigt eindeutig, dass die Ährengabe noch einen großen Einfluss auf den Ertrag hatte. Der Einfluss auf die Menge nimmt immer stärker ab, je später die letzte N-Gabe appliziert wird. In der Literatur wird als optimaler Termin die Zeit bis maximal 2 Wochen nach der Blüte genannt, um Qualität zu produzieren. Die Variante mit der Qualitätsgabe führt durch die gezielte, bedarfsgerechte N-Düngung zu einem 0,4% höheren Proteingehalt und 11 dt Mehrertrag im Vergleich zur konstanten Variante.

Die klassische Regelfunktion des Hydro N-Sensors („gute Bestände bekommen weniger und schlechte mehr Stickstoff“) erzielt gegenüber konstanter Düngung keinen Effekt in Ertrag und Protein. Aber es fällt auf, das in beiden Fällen der Hydro N-Sensor die Streubreite der Ergebnisse verringert, Ertrag und Qualität werden homogener. So konnte die Standardabweichung von rund 2% auf etwa 1% bzw. 0,76% reduziert werden. Die Tatsache, dass die Proteingehalte bei diesem Versuch insgesamt nicht über 12% lagen, kann eindeutig auf die Sorte (Ritmo) zurückgeführt werden.

Diese Einschränkung wurde im Jahr danach mit einer anderen Sorte (Drifter) behoben. Außerdem hatte sich angedeutet, dass eine zusätzliche späte N-Gabe gute Teil-Bestände weiter fördern könne.

Also wurde das Programm erweitert um eine N 4-Gabe. Bis zu dem für die Region typischen letzten Düngetermin wurden 4 unterschiedliche Strategien gefahren. Zu diesem Termin hatte das Ährenschieben mit dem Sichtbarwerden der Ähre in einigen Teilflächen begonnen, wogegen in anderen die Ähre noch nicht sichtbar war, was als Entwicklungsstadium EC 49-51 bezeichnet wird.

Diese 4 Varianten sollten um eine weiter, die N4-Gabe ergänzt werden, um den Effekt der Qualitätskalibrierung mit dem Sensor zu N3 und N4 oder nur zu N4 gegenüber der konstanten Gabe zu verdeutlichen.

Zum Zeitpunkt der 4. N-Gabe war der Bestand im Entwicklungsstadium EC 63-65, das bedeutet, der Termin war mitten in der Blüte. Zu diesem Zeitpunkt wird in der Pflanze bereits Stickstoff aus Bereichen, die für das vegetative Wachstum zuständig sind, in die Ähre verlagert. Wird zu diesem Zeitpunkt eine schnell wirksame N-Düngung appliziert, so können die Proteinbildung und Kornfüllung positiv beeinflusst werden.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Versuchsreihe in 2003 dargestellt.

N-Gaben	**ohne N4**				**mit N4**			**ohne N4**
1. N-Gabe	konstant	konstant	konstant	konstant	konstant	konstant	konstant	konstant
2. N-Gabe	N-Sensor	N-Sensor	N-Sensor	N-Sensor	N-Sensor	N-Sensor	N-Sensor	Konstant BÜ
3. N-Gabe	N-Sensor	konstant	N-Sensor QF	Ohne	N-Sensor	konstant	N-Sensor QF	Konstant BÜ
4. N-Gabe	Ohne	Ohne	Ohne	Ohne	N-Sensor QF	konstant	N-Sensor QF	Ohne
AVG_Nges	**198**	**201**	**215**	**131**	**206**	**231**	**245**	**225**
SDev_Nges	*9.7*	*9.0*	*7.8*	*9.7*	*10.0*	*7.8*	*18.1*	*0.0*
AVG_Yield	**102**	**102**	**103**	**99**	**102**	**104**	**108**	**102**
SDev_Yield	*6.2*	*7.0*	*6.5*	*5.2*	*6.8*	*6.5*	*9.8*	*5.9*
AVG_Prot	**13.6**	**13.6**	**13.7**	**10.5**	**13.5**	**13.7**	**15.1**	**13.7**
SDev_Prot	*0.5*	*0.4*	*0.6*	*0.6*	*0.5*	*0.9*	*1.1*	*0.8*

Tab. 2 : Ergebnisse N-Düngeversuche 2003, Schlag Niedeel, Sorte Drifter, Vorfrucht Zuckerrüben (ZR)

Die Ergebnisse zeigen wiederum den Einfluss der letzten N-Gaben auf Ertrag und Proteingehalt. Die Variante ohne N3 und N$ hat den geringsten Ertrag (99 dt/ha) und geringsten Proteingehalt (10,5%) gebracht. Die Varianten der ersten Gruppe unterscheiden sich im Ertrag und Proteingehalt nur geringfügig, meist nur innerhalb der Messtoleranz.

Die zusätzliche N4-Gabe hat als Qualitätsgabe in der ersten Variante wenig gebracht. Aufschluss geben die beiden N-Gaben, die jeweils 30 kg N/ha mehr erhalten haben. Die konstante Gabe hat sie kaum (+2 dt/ha) in Ertrag umgesetzt, die Variante mit den beiden Qualitätskalibrierungen zu N3 und N4 dagegen hat Ertrag und Protein deutlich erhöht. Hier ist der Regelbereich des Sensors stärker ausgeschöpft, wie die doppelt so hohe Standardabweichung der N-Gabe besagt (Nges). Das betriebsübliche Verfahren hat gegenüber den Sensor-Varianten mehr N eingesetzt bzw. weniger geerntet.

Die zusätzliche N4-Gabe soll unter dem Gesichtspunkt der N-Bilanz geprüft werden. Ein Mehr an Stickstoff bringt über ein Mehr an Ertrag und Protein einen höheren Entzug an Nährstoffen – also positiv für die Bilanz. Dies sei an einem Beispiel für den schwachen und guten Boden, gekennzeichnet durch die EM-Klasse A und E, erläutert. Der Bestand auf dem Boden mit geringerer Ertragsfähigkeit ist von intensiver Düngung gefördert, die guten Teilflächen sind spezifisch gedüngt und haben hier mit weniger N mehr Ertrag und Protein gebracht.

	Ertrag	Protein	Stickstoff	Entzug	Düngung	Bilanz
	[dt/ha]	[%]	[%]	[kgN/ha]		
Klasse A	109	12.3	1.96	214	244	30
Klasse E	118	13.5	2.16	254	223	-31

Tabelle 3. N-Bilanz auf guten und schwächeren Böden nach der N4-Düngestrategie.

Somit lässt sich auf Grund der mehrjährigen Versuche zusammenfassen:

- Der Ertrag und Proteingehalt können durch die N-Düngung in Höhe und Homogenität beeinflusst werden.
- Die teilflächenspezifische N-Düngung mittels Reflexionssensor hilft, die Ernährungszustände in den

Teilflächen zu erfassen und in Echtzeit eine gezielte Anpassung vorzunehmen.
- Eine gezielte N-Düngung kann abhängig vom Düngetermin und der gewählten Regelfunktion eine Erhöhung oder eine Homogenisierung des Proteingehaltes erreichen.
- Eine zusätzliche N4-Düngung hat zu höherem Ertrag und zu deutlich höherem Proteingehalten geführt

Die Teilflächen, die das hohe, noch auszuschöpfende Potential aufweisen, kann der N-Sensor erkennen. Den Effekt daraus auf Ertrag und Protein kann der Protein-Sensor im Mähdrescher nachweisen.

1.5 Homogenisierung der Bestände

Der in der Tabelle 3 dargestellte Effekt, dass der N-Sensor die schwächeren Teilflächen gezielt aufdüngt, die starken Teilflächen aber über ein vernünftiges Maß nicht hinaus mit Stickstoff versorgt hat zur Folge, dass sich der mit dem Reflektionssensor gedüngte Bestand sehr viel gleichmäßiger darstellt. Der Proteingehalt der Charge kann auf ein Maximum oder einen niedrigeren Wert mit möglicht geringer Streuung (Braugerste) eingestellt werden. Solche Partien sollten in Zukunft einen höheren Preis am Markt erzielen können.
Für die Ernte haben diese homogenen Bestände aber noch weitere Vorteile. Die Biomasse ist sehr viel gleichmäßiger über das Feld verteilt und reift unter anderem auch deshalb gleichmäßiger ab. Für den Fahrer des Mähdreschers bedeutet dies, dass er sich sehr viel sicherer an die Auslastungsgrenze seiner Maschine tasten kann da das Getreide gleichmäßiger von der Maschine aufgenommen wird. Um diesen Effekt zu veranschaulichen, wurde wie in Abbildung 14 dargestellt, ein Teil des Versuchsfeldes mit Sensor der andere konstant gedüngt. Der Durchschnittsertrag der Parzellen betrug 93dt/ha in der konstant Variante und 94dt/ha in der Sensorvariante. Sehr deutlich ist auf der Abbildung 14 aber der Unterschied im Durchsatz zu erkennen - der in der Sensorvariante 10-15%höher liegt. Die subjektive Beurteilung durch den Fahrer des Mähdreschers untermauerte die Messergebnisse eindrucksvoll.

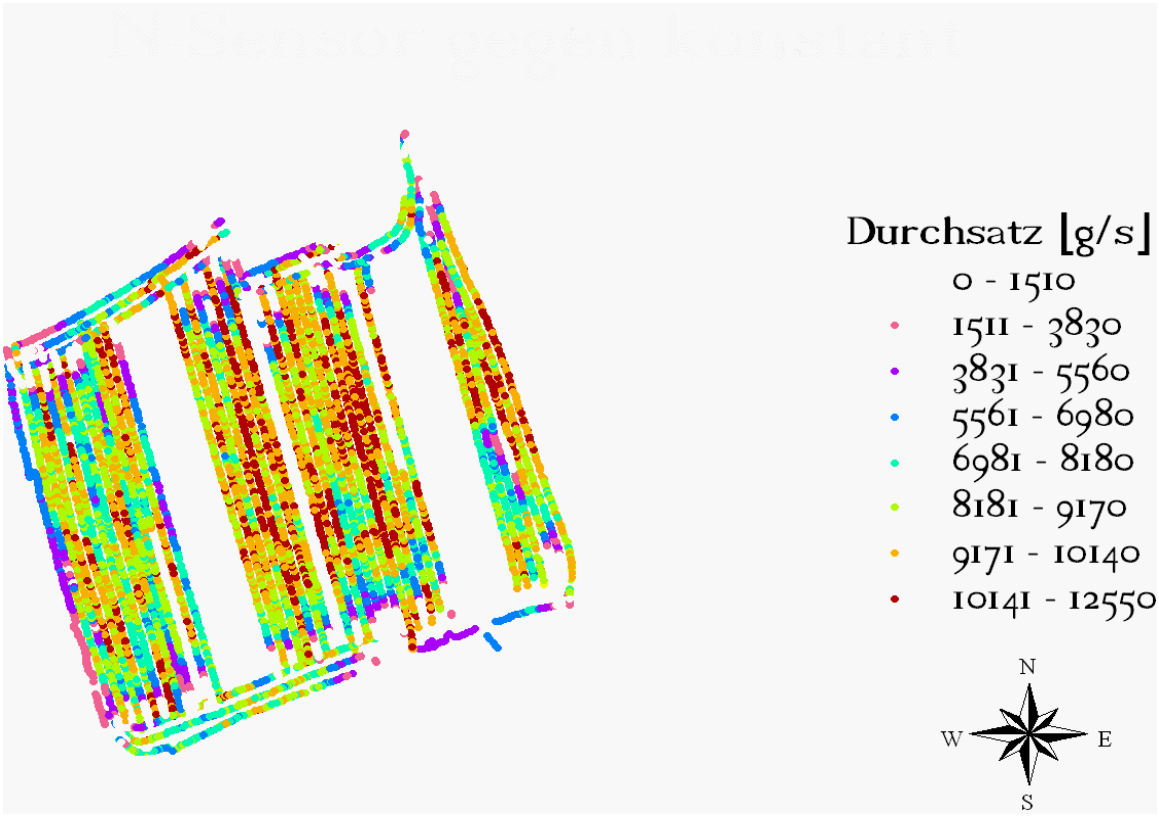


Abbildung 15: Mähdrescherdurchsatz in Abhängigkeit der Düngestrategie – die westliche Parzelle ohne – die Mittlere mit Reflexionssensor

1.6 Verbesserte Produktionstechnik

Die Sensortechnik im Mähdrescher sowie die zu Düngung und Boden bieten einen beachtenswerten Umfang an Informationen zur potentiellen und realen Entwicklung von Bestand und Ertrag. Die Werte stehen untereinander in Beziehung, so dass sich danach der Prozess steuern lässt.

Grundlegend dafür ist die Düngung, die auf Grund der Messungen von N-Versorgung und Biomasse durch den Reflexions-Sensor zu steuern ist. Dieses Konzept der Düngung ist im Projekt genutzt und mit den Mähdreschdaten in Beziehung gesetzt.

Die Kombination von Bestandesdaten, die während der Wachstumsphase der Reflexions-Sensor aufgenommen hat, mit den zur Ernte erfassten Erträgen oder Proteingehalten gibt die Möglichkeit der Vorhersage. Diese Information wird mit jedem Entwicklungsstadium genauer, das Bestimmtheitsmaß (R^2) nimmt zu.

Daraus folgt die mögliche Prognose, um an Teilflächen mit der N-Gabe die Ertragskomponenten zu beeinflussen.

Daraus entwickelt sich eine präzise Produktionstechnik – aber nur, wenn die richtigen naturalen Daten in die Prozesssteuerung eingegeben werden. Dies wiederum stellt spezifische Ansprüche an den Landwirt. Bei der Düngung beispielsweise reicht nicht der prüfende Eindruck vom Bestand. Vielmehr fährt der Schlepper mit dem Sensor über den ganzen Schlag, um die Bandbreite und den Mittelwert zum N-Status zu erhalten. Dieses Mehr an Information zwingt zu intensiverer Überlegung zum N-Niveau, um dem Sensor den Bedarf als Sollwert einzugeben. Dieses Verfahren schafft eine große Stichprobe und damit mehr Sicherheit, dem Bestand gerecht zu werden.

Für die angestrebte Präzision bietet der N-Sensor mehr Informationen zu N-Status und Biomasse, als der einfache Pendel-Sensor. Denn das Reflexions-Prinzip erfasst den N-Status und die Biomasse, und dies an der kleinen Pflanze sowie im Ährenbestand.

Die Messung zum nächsten Düngetermin bringt zugleich den Beleg, ob zuvor richtig gedüngt wurde.

In gleichem Sinn regt die Bonitur des Bodens dazu an, die Werte des EM 38 mit Blick auf Düngung und Ertrag zu deuten.

Die Analyse der Zielgrößen Ertrag und Protein eröffnet die umfassende Interpretation des gesamten Produktionsprozesses und den Weg zu angepassten Maßnahmen.

2. Voraussichtlicher Nutzen

2.1 präzise Kenntnisse

Direkt während der Ernte fallen mit dem Korn auch die Daten zur Qualität an. Es geht also die einzelne Charge mit deklarierten Inhaltsstoffen in den Absatz, in das Lager und in den Transport. Damit öffnet sich der Weg zu einer stärker Inhaltsstoff bezogenen Vermarktung und Bezahlung. Für die Braugerste wie für Backweizen ist das besonders ausgeprägt.

Die online Erfassung ermöglicht, den Zusammenhang zu den wesentlichen Erfolgsfaktoren Ertrag, N-Gabe und Boden zu analysieren. Die Kenntnis von Art und Ausmaß der Einflussgrößen hilft, entsprechende Maßnahmen zur Bestandsführung zu wählen. Die Datenerfassung und –analyse von großen Flächen ergibt im Vergleich zum klassischen Parzellenversuch neue Erkenntnisse. Das gilt in herausragendem Maße für die späte, hohe N-Gabe, die den guten Bestand weiter unterstützt. Dies ist ein Erfolg der N-Strategie, deren Effekt auf Ertrag und Protein mit der Sensorik des Projekts nachzuweisen ist.

Daraus folgt als weiterer Anwendungsbereich das Konzept „on farm research", zunächst in der Hand von Institutionen der angewandten verfahrenstechnischen Forschung oder der Beratung. Denn diese kennen die komplexen Wirkungen und können sie analysieren und umsetzen. Sie beschränken sich nicht auf Spezialwissen, sondern integrieren Einzeldisziplinen zur umfassenden Empfehlung.

2.2 Weitere Anwendungen

Als Weiterung aus dem Projekt erwächst das Interesse von Beratungsunternehmen an der Sensorik. Bisher äußert es sich darin, dass die Ergebnisse des Projekts in ihren Arbeitsalltag eingehen. Der Anbieter des N-Sensors erweitert seine Empfehlungen zur Düngestrategie auf Grund der Projektergebnisse.

Andere Mähdrescher-Hersteller schauen interessiert auf das, was sich im Projekt tut bzw. tat. Sie nehmen das know how zu Sensor, Konstruktion und Effekt auf, halten sich aber im Marktangebot zurück.

Schließlich seien die Anwendungen genannt, die gedanklich aus dem Projekt hervor gingen.

Das ist zunächst die Erweiterung der Produktpalette um Triticale und Körnermais. Im ersten Fall ging es wie für die sonstigen Getreidearten um die Kalibrierung und folgende Maßnahmen der Düngung. Für Körnermais fehlt es generell an der Kalibrierung. Bisher steht das Reife- und Ertragsniveau im Vordergrund. Die Beurteilung nach einzelnen Inhaltstoffen setzt ein.

Darüber hinaus bietet die online-Messung die Chance, die Reaktion von Sorten über wechselnden Bodenverhältnissen und/oder variierten Faktoren der Aussaat und Düngung zu erkennen.

Weiterhin ist aus dem laufenden Projekt im Antragsverfahren zu neuen Vorhaben über Fragen der Qualitätssicherung der Vorschlag des Instituts eingegangen, die NIR-Sensorik als Routinemessung in den Gutfluss in der Nahrungs- oder Futtermittelproduktionskette einzubauen. Hier aber nicht mit dem Ziel, die erwünschten Inhaltsstoffe zu kontrollieren. Vielmehr in der Erwartung, dass Abweichungen von den Routine-Daten bzw. -Spektren auf Fremdstoffe deuten, also Signalwirkung haben, um näher in Richtung Schadstoff zu analysieren.

2.3 Datenbank

Die im Projekt seit mehreren Jahren kontinuierlich gewonnenen Daten für die Kalibrierung (Spektren, Laboranalysen, Kalibier-Datensätze) sind in einem einheitlichen Ablagesystem (Datenbank) archiviert und werden bei Bedarf direkt mit dem Projektpartner ausgetauscht. Zusätzlich ist eine überregionale Archivierung und Erweiterung notwendig, da so Daten aus verschiedenen Regionen und von verschiedenen Mähdreschern gleichermaßen erhoben werden und Kalibriernetzwerke geschaffen werden können. Die automatisierte Probennahme bietet hier die Möglichkeit, an verschiedenen Mähdreschern die Proben gleichermaßen („standardisiert") zu entnehmen.

Bisherige Netzwerke für stationäre Laborsysteme (Mais, Weizen) werden bereits von der LUFA in Kassel durch Herrn Tillmann kontinuierlich mit neuen Datensätzen erweitert. Diese Form der Datenverwaltung und Kalibrierpflege bietet sich auch bei den Online Daten an, da so jedem Interessenten (Landmaschinenhersteller, NIR-Gerätehersteller und Anwender) der Zugang gewährt wird.

3. Fortschritte an anderen Stellen

Die mobile Datenerfassung mittels NIR-Technologie hat sich bereits in verschiedenen Bereichen der Getreideanalytik etabliert (Landhandel, LUFA). So werden an Parzellenmähdreschern, der Firma Haldrup in Dänemark, Corona 45 NIR-Geräte der Firma Zeiss eingesetzt und für eine Echtzeitanalyse genutzt. Die Firma Haldrup hat sich auf Parzellenmähdrescher und Grünfuttervollernter für die Züchtungsforschung und das Versuchswesen spezialisiert. Die auf diesen Maschinen verwendete Messanordnung weicht von der eigenen ab. In diesem Bereich wirkt sich die direkte Messung als besondert günstig aus, da die Möglichkeiten von Fehlern und Störgrößen bei Proben zwischen Feld und Labor nicht zu unterschätzen sind.

In anderen Ländern wird an der gleichen Fragestellung gearbeitet, allerdings bestehen beachtliche Unterschiede in Vorgehensweise und Erfolg. Vor allem Art und Ort der Probenahme erscheint problematisch, z.B. wenn im Korntank entnommen wird. Dazu lieferte der internationale Kongress zu Precision Agriculture (ECPA) in Berlin anschauliche Beispiele.

Das eigene Konzept der automatischen Probenahme hebt sich vorteilhaft ab. Es ist immerhin vom US-Konzern John Deere übernommen.

Ein Teilgebiet der Online-Sensorik bearbeitet das Berliner Institut für Agrartechnik (Prof. Dr. Hahn). Dort geht es um

die Logistik und technische Lösung, 2 Partien mit unterschiedlichem Gehalt separat zu erfassen. Der erste Schritt besteht in der Konstruktion und Steuerung der Weiche sowie in der Auslegung der Korntanks.

Aus Sicht des Instituts ist der Schritt in einen gänzlich anderen Bereich hervorzuheben. Die Arbeitsgruppe Prof. Hügle/Dr. Andree hat das NIR-Prinzip erprobt, um die Inhaltsstoffe von Gülle zu messen. Dies vor dem Hintergrund der Schweinefütterung: den Proteingehalt im Futter über den verbliebenen Stickstoffgehalt in den Exkrementen zu steuern.

Es ist eine gute Kalibrierung erstellt, im Projekt genutzt und wiederum in neue eingebracht. Das NIR-Gerät soll den N-Gehalt der Gülle bei der Ausbringung messen und damit die Gabe steuern. In Biogas-Anlagen sollen das eingegebene und ausfließende Substrat nach ihrem Inhalt kontinuierlich analysiert werden. Letztlich soll damit die Zusammensetzung des „Futter" näher definiert und der gesamte Prozess gesteuert werden.

III. Erfolgskontrollbericht

1. Förderpolitische Ziele

Das Ziel, die Entwicklung innovativer Sensoren zu fördern und für den Transfer der Erkenntnisse zu sorgen, motivierte die Bearbeitung des Projekts. Das im Prinzip und aus dem Labor bekannte NIR-Gerät wurde zunächst danach beurteilt, ob es grundsätzlich für den mobilen Einsatz auf dem Mähdrescher und die kontinuierliche Messung geeignet erschien.

Aus dem Angebot kamen zwei Typen, einer der Fa. Zeiss und einer der Fa. Perten in Frage. Für diese Geräte wurde ein geeigneter Ort für die Messung und die technische Installation gefunden. Vor allem wurde die Kalibrierung der Geräte für verschiedene Getreidearten unter den von Störgrößen und Fremdstoffen, also Nichtkornbestandteilen belasteten Bedingungen erarbeitet.

Die Erfahrungen mit der Messtechnik, Probenahme und Kalibrierung wurden weiter gegeben an interessierte Hersteller und Institute. Das betrifft die Installation an Mähdreschern unterschiedlicher Bauweise sowie die Kalibrierung. Sie ist mit den hier führenden Einrichtungen, FAL in Braunschweig und LUFA in Kassel, erörtert, letztlich mit dem Ziel einer Datenbank, die allgemein zugänglich ist.

Die erfolgreichen Einsätze führten dazu, dass Fa. Zeiss mehrere Neuentwicklungen zur Erprobung in das Projekt gab.

Andererseits erkannte Fa. Perten die Grenzen und konzentrierte sich auf andere Geschäftsbereiche.

Die Ergebnisse zur Proteinmessung führten im Transfer zur ortspezifischen Bewirtschaftung zu neuen Wegen in der Produktionstechnik. Dies gilt vornehmlich für die vom N-Sensor – einer Entwicklung des ILV – gesteuerte Stickstoffdüngung. Sie schafft neue Strategien zu Höhe und Termin der N-Gabe und damit höheren Ertrag und dennoch höheren Proteingehalt.

Die Kooperation von Wissenschaft und Industrie aus diesem Projekt ist fortentwickelt zu weitergehenden Vorhaben.

2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis

Zunächst werden die Adaption der Gerätetechnik in den Mähdrescher als konstruktiv und die Kalibrierung als methodisch bedeutsames Ergebnis benannt.

Zum Einbau des Sensors nach dem Prinzip des Bypass sind die Bedingungen zum sicheren Durchsatz sowie zu Ort und Geometrie der Installation erarbeitet. Sie stehen anderen Herstellern zur Verfügung.

Die Kalibrierung außerhalb des Labors erschien aus Sicht der Experten als zu schwierig. Tatsächlich erwies sich der landtechnische Ansatz, im praktischen Betrieb zu messen und Referenzproben zu ziehen, als schnell und erfolgreich. Die Bewegung des im Bypass fließenden Gutstroms hatte offenbar den Vorteil, dass die Position des einzelnen Korns keinen Einfluss ausübt. Die Vielzahl an Messungen im kontinuierlichen Betrieb bedeutet wesentlich mehr Wiederholungen als das Labor kennt. Die stets wechselnden Bedingungen des ungereinigten, mehr oder minder feuchten Getreides und der von Staub und Temperatureinwirkung geprägten Umgebung gingen in die Kalibrierung ein.

Die Analyse unterschiedlicher Proteingehalte führte zu Ursachen, die ihrerseits produktionstechnische Konsequenzen hervorriefen. Als wesentlich direkt wirkende Einflussgröße auf Ertrag und Qualität gilt Stickstoff. Auf Grund der Erfahrungen im ILV mit der N-Sensor gesteuerten Düngung wurden gezielt neue Düngestrategien konzipiert. Die spezifische N-Menge sowie der damit korrespondierende Ertrag und Proteingehalt ermöglichen eine präzise N-Bilanz. Die Messtechnik im Mähdrescher konnte den Effekt belegen. Da dies auf wechselndem Boden geschah, erbrachte dieses Messverfahren mehr Information als ein Parzellenversuch.

Als von Natur aus gegebene Größe ergab sich der Boden. Seine Eigenschaft ließ sich kontinuierlich als scheinbare

Leitfähigkeit mit dem EM 38 quantifizieren. Dieses Messverfahren hat – ausgehend vom preagro Projekt – während des laufenden Vorhabens über das eigene hinaus eine weite Anwendung gefunden.

Somit sind die Komponenten Sensorik im Mähdrescher – N-Sensor – EM 38 zu einem System integriert.

Die Beziehung der Daten untereinander lässt Gesetzmäßigkeiten erkennen. Daraus ergibt sich, während der Vegetation aus der vom N-Sensor gemessenen Biomasse und Versorgung der Pflanze die Prognose auf Ertrag und Protein abzugeben.

Aus dem Zusammenwirken der Komponenten ist eine innovative Bestandsführung entstanden, die in Beratungsunternehmen auf großes Interesse stieß.

Außerdem eignet sich der mit Sensorik ausgestattete Mähdrescher sehr gut im Rahmen des „on farm research", neue Erkenntnisse zu gewinnen als Effekt der Faktoren, die ihrerseits teilflächenspezifisch zu messen und im GIS zu hinterlegen sind.

Damit ergibt sich für die Wissenschaft die beachtliche Chance, mit realer Technik großflächig Versuche anzulegen. Die verfügbaren (und künftigen) Messmethoden ermöglichen, Boden, Bestand, Düngung, Pflanzenschutz sowie externe Größen kontinuierlich zu erfassen. Deren Analyse und Interpretation wird ergiebiger und vielfältiger als der Parzellenversuch.

3. Fortschreitung des Verwertungsplans

In mehreren Gesprächen mit Herstellern wurde die Übertragbarkeit der Messtechnik erörtert, die Art des Einbaus wie die Möglichkeiten des Kalibriernetzwerks. Die Entwicklungsabteilungen haben dies aufgenommen.

Fa. John Deere führt das Vorhaben mit abgewandelter Aufgabenstellung weiter. Die Ergebnisse gehen in die internationale Arbeitsgruppe des Konzerns ein. Das US-Unternehmen hat die automatische Probenentnahme des ILV übernommen.

Fa. Claas arbeitet an anderer Stelle, TU Berlin, an der separaten Erfassung definierter Chargen.

Während der Laufzeit sind andere Verwendungsmöglichkeiten für die Art der Sensorik und Beprobung diskutiert. Das NIR-Prinzip ist recht vielfältig einzusetzen. Ein Ansatz besteht darin von Mykotoxin belastetes Getreide messtechnisch zu erfassen, um

früh genug die Grenzen der Belastung zu sehen und um teilflächenspezifische Einflüsse zu erkennen.

Im Projekt sind neue Lösungen entstanden. Es sind keine Schutzrechte beantragt. Die Neuerungen stehen im Sinne des Wissenstransfers offen zur Verfügung.

4. Arbeiten ohne Lösung

entfällt

5. Präsentation

Der Verlauf und die Ergebnisse des Vorhabens sind kontinuierlich in Zeitschriften veröffentlicht (vgl. II 4) sowie in Diskussions- und Seminarrunden vorgestellt.

Dazu gehören:

- Vertreter der aufnehmenden Hand
- Vertreter der Entwicklung und des Vertriebs von Mähdreschern
- Mitarbeiter der Offizialberatung
- Leiter und Mitglieder von Beratungsringen bzw. -unternehmen

Dr. J. Rademacher **„Messsysteme für den Proteingehalt während des Mähdrusches"**, Landtechnik 6/2002

Dr. Y. Reckleben **„Qualitätsparameter im Mähdrusch online messen und gezielt teilflächenspezifisch optimieren** 43. VDI - Kolloquium des Arbeitskreises Agrartechnik im VDI-Bezirksverein Halle 09. Oktober 2002

Dr. Y. Reckleben **"Qualität schon auf dem Feld ermitteln"** Neue Landwirtschaft 3/2003, S.58-60

Dr. Y. Reckleben **"Ertrags- und Proteinunterschiede von bei teilflächenspezifischer Bewirtschaftung"** Landtechnik, (58) 4/2003

Dr. Jens Rademacher/ „**Einflüsse auf die Genauigkeit der Online-Proteinmessung am Mähdrescher"** Landtechnik (58) 4/2003

Dr. Y. Reckleben **„Ertrags- und Proteinunterschiede von Weizen bei teilflächenspezifischer Bewirtschaftung"** LANDTECHNIK (58) 4/2003

Dr. Y. Reckleben **"Measuring quality parameters online, a new way for precision agriculture"** 4th ECPA Berlin, 06/2003 (Poster)

Prof. Dr. E. Isensee/ Dr. J. Rademacher/ Dr. Y. Reckleben **"Messung von Qualität und Ertrag im Mähdrescher. Strategien zur teilflächenspezifischen Düngung"** ATB Agrartechnik Bornim Statusseminar 2003 High-Tech Innovationen für Verfahrensketten der Agrarproduktion

Dr. J. Rademacher **„Kontinuierliche Qualitätsbestimmung von Druschfrüchten im Mähdrescher"**, Vortrag auf der 60. Internationalen Tagung Landtechnik der MEG-Agrartechnik im VDI in Halle/Saale, 2003

Dr. Y. Reckleben **"Erfassung der -Streifenkrankheit- mittels Sensortechnik"** in RKL Schrift "Mineraldügerstreuer" Februar 2004, S.574 bis 579

Prof. Dr. E. Isensee/ Dr. Y. Reckleben **"Einflüsse auf Proteingehalt und Ertrag Getreide"** Landtechnik, (59) 3/2004

Dr. J. Rademacher **„Was bringt die Messung von Ertrag und Protein beim Mähdrusch?"** Getreide Magazin 3/2004 S. 136-138

Dr. Y. Reckleben **"Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs"** Dissertation, Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG Nr. 424, 2004

Dr. Y. Reckleben **"Bodenleitfähigkeit EM38"** Vortrag auf der 2. Landtechnischen-Vortragstagung des RKL in Bernburg am 09.12.2004

Dr. Y. Reckleben **"Prediction of crop yield and protein using a reflectance Sensor"** Vortrag VDI-MEG Tagung 07.-08.10. 2004 in Dresden *Manuskript*

Dr. J. Rademacher/ Dr. Y. Reckleben **„Was bringt die Messung von Ertrag und Protein im Mähdrescher?"** Hochschultagung Uni-Kiel 2004

Dr. Y. Reckleben **"Sensorgestützte Düngestrategien zur Qualitätssteigerung"** Vortrag auf dem Precision Farming Workshop in Weihestephan 2004

Dr. Y. Reckleben **"Vergleich von Sensorsystemen für N-Düngung"** Landtechnik, (60) 3/2005

Prof. Dr. E. Isensee/ Dr. J. Rademacher/ Dr. Y. Reckleben **"Effekte des N-Sensors im Hinblick auf die gute fachliche Praxis"** Vortrag zur 55. Hochschultagung am 28.01.2005 *Manuskript*

Prof. Dr. E. Isensee/ Dr. Y. Reckleben **„Drei Systeme der Sensorgestützten N-Düngung"** Neue Landwirtschaft 4/2005 S.50-52

Dr. Y. Reckleben **„Innovative Bestandesführung mit Echtzeitsensorik"** Neue Landwirtschaft 5/2005 S. 42-43

Dr. Y. Reckleben **"Technik zur Bestandesführung"** Vortrag auf der RKL Vortragstagung in Neumünster am 06.01.2005

Dr. Arwed Schwark und Prof. Dr. Yves Reckleben
„Das EM 38 – System als Bodensensor für die Praxis" RKL Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 4.1.0, 2006

6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Der Gesamtumfang der Zuwendung ist nicht überschritten.

Im Einzelnen ergaben sich Änderungen beim konkreten Bedarf der Anschaffungen. Diese Unterschiede blieben im Bereich der wechselseitigen Deckung.

Die Zeitplanung wurde erweitert, ohne die Kosten zu überschreiten. Denn es schien sinnvoll und notwendig, auch die Ernte 2005 noch mit zu nutzen.