



Sensorgestützte Düngestrategien zur Ertrags- und Qualitäts- steigerung bei Getreide



Prof. Dr. Yves Reckleben

Sensorgestützte Düngestrategien bei Getreide

Februar 2006

Prof. Dr. Yves Reckleben ist Professor für Landtechnik in der Außenwirtschaft am Fachbereich Landbau der Fachhochschule Kiel und designierter Leiter des RKL

Die hier präsentierten Ergebnisse sind von Prof. Dr. Reckleben im Rahmen seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter (2002-2005) am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel ermittelt worden. Das Projekt „Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Leiter: Dr. Hardwin Traulsen

Am Kamp 13, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-847940, Fax: 04331-847950

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 4.1.0

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiger Beratungsring mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

Gliederung.....	Seite
1. Einleitung	1249
2. Möglichkeiten der Einflussnahme	1249
3. Sensorsysteme	1252
3.1 Proteinmessung am Mähdrescher	1252
3.2 N-Sensor.....	1253
3.3 Kalibrierung am Feld.....	1255
3.4 Düngestrategien.....	1257
4. Düngestrategien zur Ertrags- und Qualitätssteigerung bei Weizen ...	1257
4.1 Homogenisierung.....	1262
5. Düngestrategien bei Braugerste.....	1263
6. Zusammenfassung / Fazit	1266
7. Literatur	1266

1. Einleitung

Ertrag und Qualität haben seit jeher eine entscheidende Bedeutung für Vermarktung und Betriebserfolg. Im Vordergrund produktionstechnischer Maßnahmen steht der Ertrag mit der wesentlichen Einflussgröße Stickstoff.

Im Rahmen von precision farming lässt sich der Bestand zur Ertragssteigerung teilflächenspezifisch düngen. Die Grenzen des ertragssteigernden Effektes der N-Gaben liegen im Lagerrisiko und der Erwartung geringerer Proteinwerte.

Das Zusammenwirken von N-Gabe, Ertrag und Proteingehalt hat das Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik (ILV) auf großen Flächen mit praxisgemäßer Technik untersucht. Die wesentliche Ausstattung dazu umfasste den bereits bekannten YARA N-Sensor für die Düngung, mit allerdings neuartiger Anwendung, sowie die bekannte Ertragsmessung im Mähdrescher in Verbindung mit einer neuen Messtechnik für Protein. Damit sind unter Feldbedingungen Variationen in der angepassten N-Düngung möglich und Effekte auf Ertrag und Qualität sind in Echtzeit messbar.

2. Möglichkeiten der Einflussnahme

Die Beeinflussung der Erntemenge und des Proteingehaltes ist für den Landwirt bereits während der Bestandesentwicklung möglich – besonders durch die Stickstoffdüngung. Der Boden in seiner natürlichen Heterogenität stellt den Ausgangspunkt für die Variabilität des Erntegutes dar, doch kann der Einfluss erfasst und durch die Be-

standesführung (Düngung, Halmstabilisator und Pflanzenschutz) überlagert, also verstärkt oder abgeschwächt werden.

Die Stickstoffdüngung als eine wesentliche Einflussgröße auf die Ertragsbildung und den Proteingehalt ist in Wissenschaft und Praxis unumstritten. Die Effekte einer Variation sind bereits während der Bestandesentwicklung mit Sensoren messbar und somit großflächig erfassbar. Die Wirkung der Stickstoffdüngung auf den Proteingehalt verdeutlicht die nachfolgenden Abb. 1.

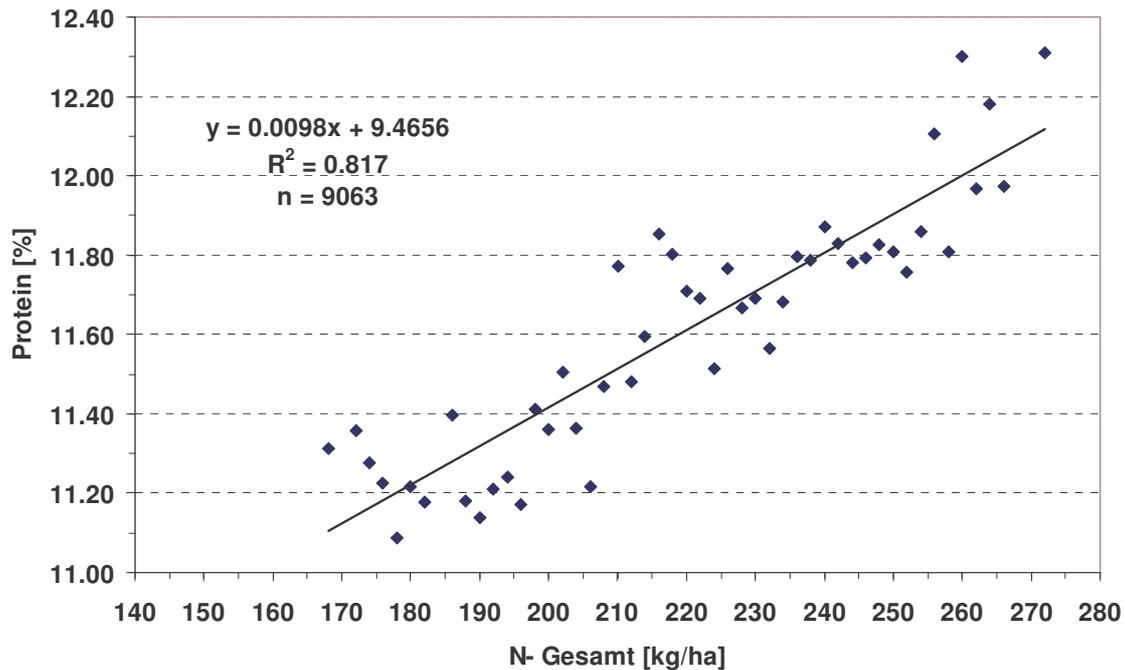


Abb. 1: Beziehung zwischen N-Menge und Proteingehalt bei Weizen (Ritmo, 2002)

Abb. 1 zeigt das Ergebnis von Stickstoffsteigerungsversuchen auf Praxisflächen in Schleswig-Holstein. Mit zunehmender N-Menge steigt der Proteingehalt – das Bestimmtheitsmaß dieser Beziehung ist mit 0.8 sehr hoch und zeigt, dass (bei ausreichender Wasserversorgung) der Stickstoff von den Pflanzen auch in Eiweiß umgesetzt werden kann.

Im Rahmen der Versuche wurden vom ILV in den letzten Jahren verschiedene Fragestellungen untersucht. Zunächst galt es, die Wirkung einzelner N-Gaben zu verschiedenen Entwicklungsstadien großflächig zu untersuchen. Aus der Fachwelt ist bekannt, dass die ersten beiden N-Gaben wesentlich ertragswirksam sind. Mit zunehmender Bestandesentwicklung besonders ab dem Ährenschieben wird auch die Kornfüllung also der Protein- und Stärkegehalt beeinflusst, wie Abb. 2 zeigt.

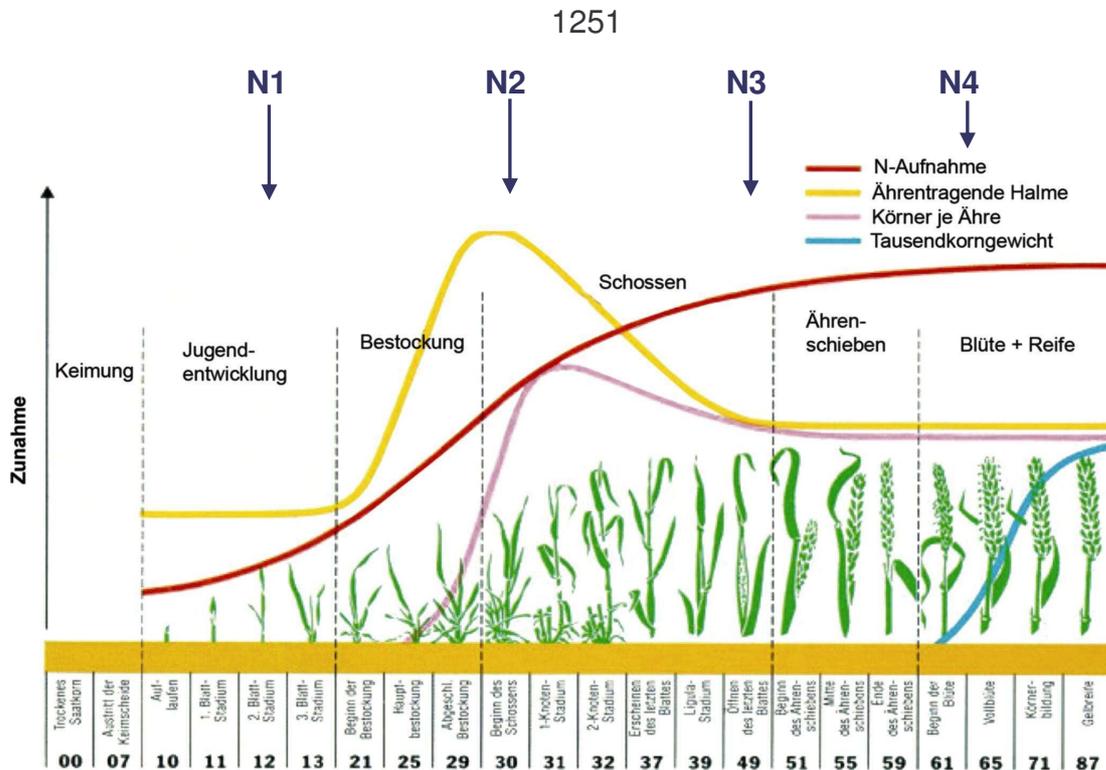


Abb. 2: Entwicklungsstadien und Stickstoffaufnahme bei Getreide

Mit zunehmender Entwicklung des Pflanzenbestandes (Systemwachstum) steigt die aufgenommene N-Menge. Betrachtet man die Kurvenverläufe für die Zahl der Ährentragenden Halme oder der Körner je Ähre (ertragsrelevante Parameter), so stellt man fest, dass hier ein Maximum zum Ende der Bestockung (EC 29-31) erreicht wird. Das wird zum Ende durch Reduktionsprozesse innerhalb der Pflanze wieder verringert. Hier wird also das theoretische (genetische) Ertragspotenzial nicht ausgeschöpft. Der Abfall der Kurven ist jedoch räumlich und zeitlich nicht konstant und kann durch die N-Düngung zum Ährenschieben beeinflusst werden.

Neben der Ertragswirkung zu N2 und N3 wird durch die N-Düngung auch der Proteingehalt beeinflusst. Je später die N3 Gabe erfolgt, desto stärker steigt der Proteingehalt im Korn. Das Systemwachstum endet zur Blüte, hier setzt das Produktwachstum verbunden mit der Kornfüllung ein. Eine optimale Nährstoffversorgung aus der Ährengabe (N3) zur Kornfüllung ist unbedingt notwendig, da während dieser Zeit bei einem Ertragsniveau von 100 dt/ha noch mindestens 30 % der Trockenmasse gebildet werden und gleichzeitig die Eiweißbildung im Korn stattfindet (Abb. 3).

Eine zusätzliche Steigerung des Proteingehaltes ist durch eine zusätzliche Gabe zur Blüte (N4) möglich. Soll eine N4-Spät Düngung durchgeführt werden, so ist diese in Abhängigkeit von der N-Menge während des Schossens in der Höhe anzupassen (Schilling, 2000). Allgemein gilt, je höher die Nährstoffmenge zum Schossen, desto geringer die Spät Düngung.

1973 hat Stoy mit markiertem $^{14}\text{CO}_2$ festgestellt, dass Weizen in der 5. und 6. Woche nach dem Ährenschieben über 50% der für den Kornertrag benötigten Assimilate einlagert (vgl. Abb. 3).

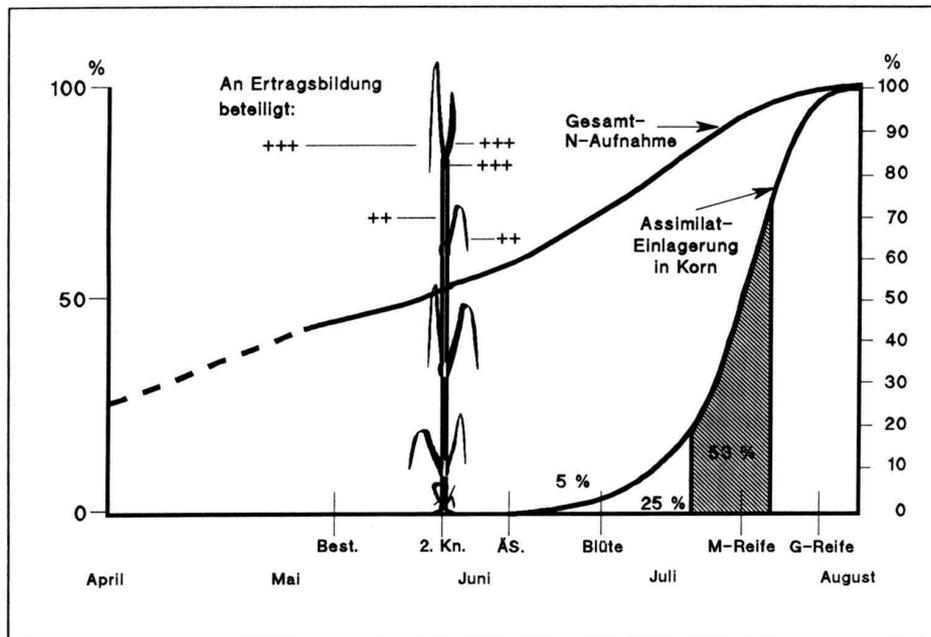


Abb. 3: Verlauf der Stickstoff-Aufnahme und der Assimilat- Einlagerung in die Weizenähre, vom Ährenschieben bis zur Reife (nach Stoy, 1973)

N-Aufnahmekurven, wie die in Abb. 3, weisen darauf hin, dass im Abschnitt vollendetes Ährenschieben bis zur Reife bei hohen Erträgen noch bis zu 80 kg N/ha aufgenommen werden (Sturm et al., 1994), was die Bedeutung der Spätdüngung unterstreicht.

Nach den Ergebnissen der Literatur bestimmt der Termin, ob die N-Spätdüngung eher den Ertrag oder die Qualität steigert. Das sollte mit den eigenen Untersuchungen auf Praxisschlägen umgesetzt werden.

3. Sensorsysteme

3.1 Proteinmessung am Mähdrescher

Neuartige Messmethoden erlauben, den Proteingehalt am ganzen Korn zerstörungsfrei zu messen. Das Prinzip der Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) ist in Geräten für Laboruntersuchungen eingeführt und bewährt. Da die Messung während des Drusches kontinuierlich erfolgen soll, wird die Messtechnik im Gutstrom des Mähdreschers angeordnet. Hierfür wurde am ILV ein Bypass entwickelt, mit dem es

möglich ist, am fließenden Material zu messen. Mit diesem System ist auch eine Probenentnahme für Referenzanalysen (z.B. Kjeldahl, Duma) im Labor, zur Kalibrierung der Feldmessungen, möglich. Stabile Kalibrierungen für verschiedene Druschfrüchte sind möglich und zeigen bereits große Erfolge. So beträgt der Schätzfehler der mit dieser Technik auf dem Mähdrescher gemessenen Proteingehalte für Getreide 0,3 % - der Standardfehler der Laboranalyse für den Proteingehalt nach Kjeldahl beträgt 0,2 %.

Am Kieler Institut konnten mit diesem System seit 2001 jährlich mehr als 250 ha geerntet und so die Variabilität verschiedener Standorte dokumentiert werden. Aus der Dokumentation sind nun verschiedene produktionstechnische Konsequenzen ableitbar, die im Rahmen des Projektes „Innovative Echtzeitsensorik“ langjährig auf verschiedenen Praxisflächen mit den Methoden des On-Farm-Researchs untersucht wurden.

3.2 N-Sensor

Die Frage wann wie viel Stickstoff zu düngen ist, sollte aus verschiedenen Gesichtspunkten (Mineralisierung, Notwendiges Maß, N-Bilanz) bedarfsgerecht gelöst werden. Die Pflanze als Indikator für die Nährstoffversorgung zu nutzen ist bekannt, um so die unterschiedliche Nachlieferung aus dem Boden oder der organischen Düngung zu erfassen. Also wird die N-Gabe gezielt den wechselnden Bedingungen von Boden und Pflanze angepasst. Die geänderte Düngeverordnung schreibt ab 2009 einen maximalen jährlichen Bilanzüberschuss beim Stickstoff von nicht mehr als 60 kg N/ha vor – ein Grund für eine bedarfsgerechte Anpassung der Stickstoffmenge.

Hierfür stehen in der Praxis verschiedene Sensorsysteme zur Verfügung (RKL-Schrift „Sensorsysteme zur Bestandesführung“ 4.1.0). Eine Unterscheidung in Offline- (Luft- und Satellitenbilder) und Online- (am Düngefahrzeug montierte Sensoren) Systeme erscheint notwendig, da hier verfahrenstechnische Unterschiede bestehen. Bei den Offline- Systemen vergehen zwischen Messung (Befliegung) und Applikation mindestens 48 Stunden, die Online- Sensoren messen, berechnen und regeln in einem Arbeitsgang.

Alle Systeme messen Bestandesinformationen wie Grünfärbung sowie Biomasse und nutzen diese Messgrößen zur Variation der N-Menge. Zur 1. N-Gabe sind alle Systeme bedingt einsetzbar, da hier die Bestandesentwicklung zu gering und die Heterogenität nicht auf unterschiedliche Stickstoffversorgungen zurückzuführen ist. Daher sollte hier verhalten, konstant und schlageinheitlich gedüngt werden, um zum Schossen einen differenzierten Bestand vorzufinden und die Düngung an den Bedarf anpassen zu können.

Die Frage nach der Düngestrategie, also ob der gut entwickelte und versorgte Bestand viel oder wenig Stickstoff erhalten soll, muss bei allen Sensor-Systemen zu jedem Applikationstermin neu entschieden werden. Für alle Sensoren gilt, entscheidend ist eine je nach Witterung und Jahr verhaltene Andüngung zu N1.

Die eigenen Versuche wurden mit dem YARA N-Sensor durchgeführt. Dieses System ist mit ca. 220 Geräten in Deutschland stark vertreten. Eine Vielzahl von Erfahrungen und Versuchsergebnissen verschiedener Praktiker und Institutionen liegen vor. Der N-Sensor ist auf dem Schlepperdach montiert (Abb. 4) und misst mit 4 in den Bestand schauenden Optiken die Reflexion des Bestandes, eine 5. Optik erfasst die Intensität des einfallenden Tageslichtes. Die Messfrequenz ist abhängig von der Belichtungsintensität und unter Normalbedingungen (Sonnenstand $> 25^\circ$) kleiner 1 Hz, so dass jede Sekunde ein Düngewert zum Streuer übermittelt werden kann. Für die Messung wird eine Bestandesfläche von etwa 50 m^2 – je nach Bauhöhe des Schleppers – erfasst.



Abb. 4: YARA N-Sensor auf dem Schlepper dach (Foto: ILV Uni-Kiel)

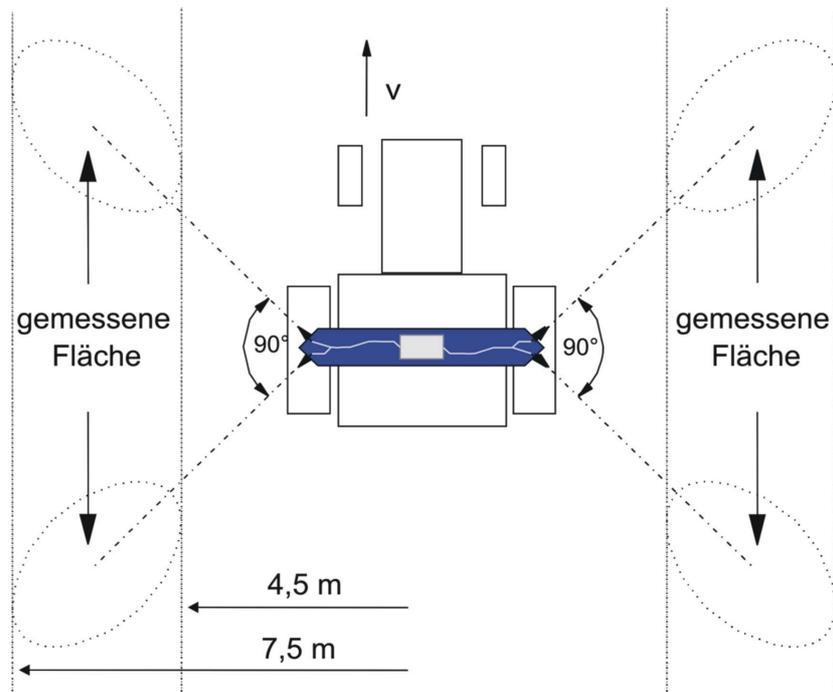


Abb. 5: Messgeometrie N-Sensor[®], Quelle: YARA, 2004

Die Messgrößen des N-Sensors sind zum einen die Grünfärbung, die eng mit der Stickstoffversorgung korreliert – je kräftiger die Grünfärbung, desto höher die Chlorophyllmenge und damit die Stickstoffversorgung. Die zweite Messgröße ist die Biomasse als Indikator für den Wuchs und auch für Stress durch Trockenheit. Nach eigenen Erfahrungen kann mit dem Sensor Trockenstress etwa 2 bis 3 Tage vor dem menschlichen Auge wahrgenommen werden.

3.3 Kalibrierung am Feld

Der N-Sensor muss wie alle anderen Sensorsysteme zum Applikationstermin kalibriert werden. Er wird zum Zeitpunkt der Applikation an die am Standort herrschenden Verhältnisse (Bestandesentwicklung, Düngestrategie, N-Bedarf und sortenspezifische Reflexion) angepasst. Das geschieht, in dem man dem N-Sensor einen Referenzbestand zeigt, hier die Reflexion misst und anschließend dem gemessenen Reflexionswert eine Referenz N-Menge zuweist (Abb. 6). Die Referenz N-Menge kann durch verschiedene N-Bedarfs-Tester wie den Nitracheck, den Nitrat-Schnelltest oder den N-Tester abhängig von der Sorte und dem Entwicklungsstadium bemessen werden.

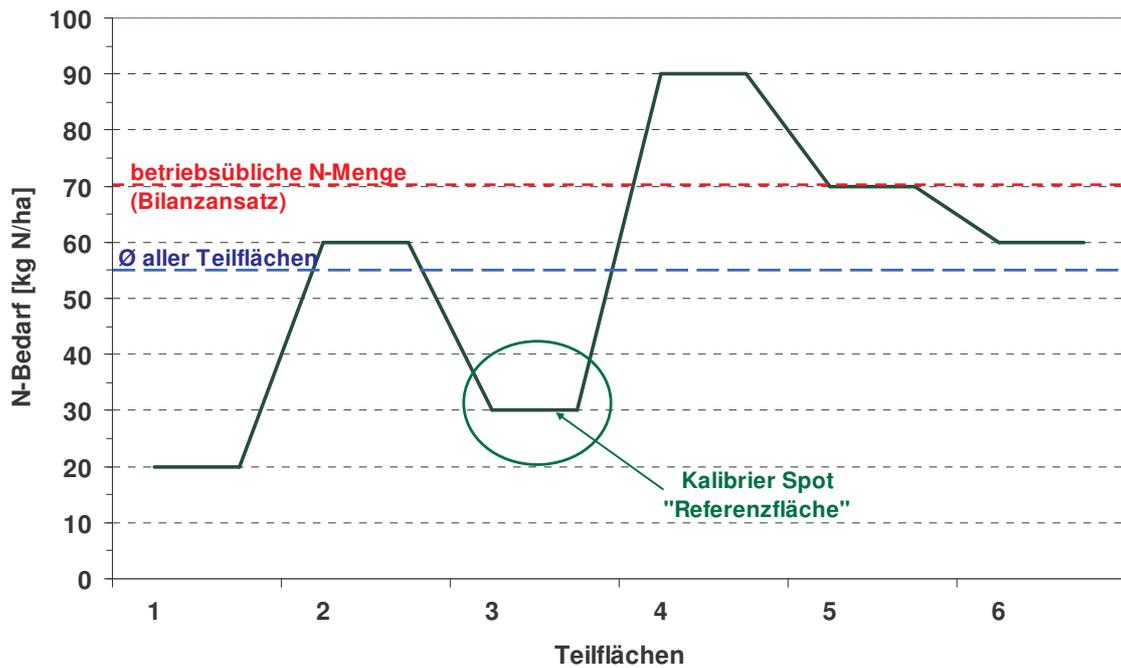


Abb. 6: Möglichkeiten der Kalibrierung des Sensors (schematisiert)

Die Kurve in Abb. 6 veranschaulicht den Wechsel des N-Bedarfs im Bestand mit der daraus resultierenden N-Gabe. Die Kurve beruht auf der „Kalibrierfahrt“. Der Schlepper nimmt mit dem Sensor die gesamte Fahrgasse oder Schlaglänge auf. Anschließend muss man die gesamte Fläche mit den N-Bedarfsmessgeräten (z.B. N-Tester) bonitieren – was je nach Schlaggröße einen hohen Zeitaufwand bedeutet oder man nutzt die Spot Kalibrierung an einer Teilfläche. Die vom Hersteller empfohlene Spot-Kalibrierung an einer Referenzfläche stellt einen guten Kompromiss aus Genauigkeit und Zeitaufwand dar. Es ist jedoch unbedingt erforderlich, dem N-Bedarfs-Tester zu vertrauen, selbst wenn wie in dem Beispiel in Abb. 6 ein Bedarf von 30 kg/ha angezeigt wird – anstelle der aus der Bilanz geplanten 70 kg/ha.

Der Landwirt kann außerdem bei der Kalibrierung noch die maximale und die minimale N-Menge definieren und so den Regelbereich für den Sensor einstellen. Der Schwellenwert Biomasse (Abb. 7) ist besonders zum N2 und N3 Termin von entscheidender Bedeutung, da hier die Bestände durch die Witterung (Auswinterungen oder Trockenstress) ausgedünnt sein können und weniger Stickstoff benötigen – was vom Sensor durch ein Abregeln auf die minimal eingestellte Menge realisiert wird.

Der Kalibrieraufwand liegt nach eigenen Erfahrungen bei etwa 10-15 Minuten pro Feld.

3.4 Düngestrategien

Die Düngestrategien (Steuerfunktionen) des N-Sensors im Vergleich zur konstanten Düngung sollen in der nachfolgenden Abb. 7 näher betrachtet werden.

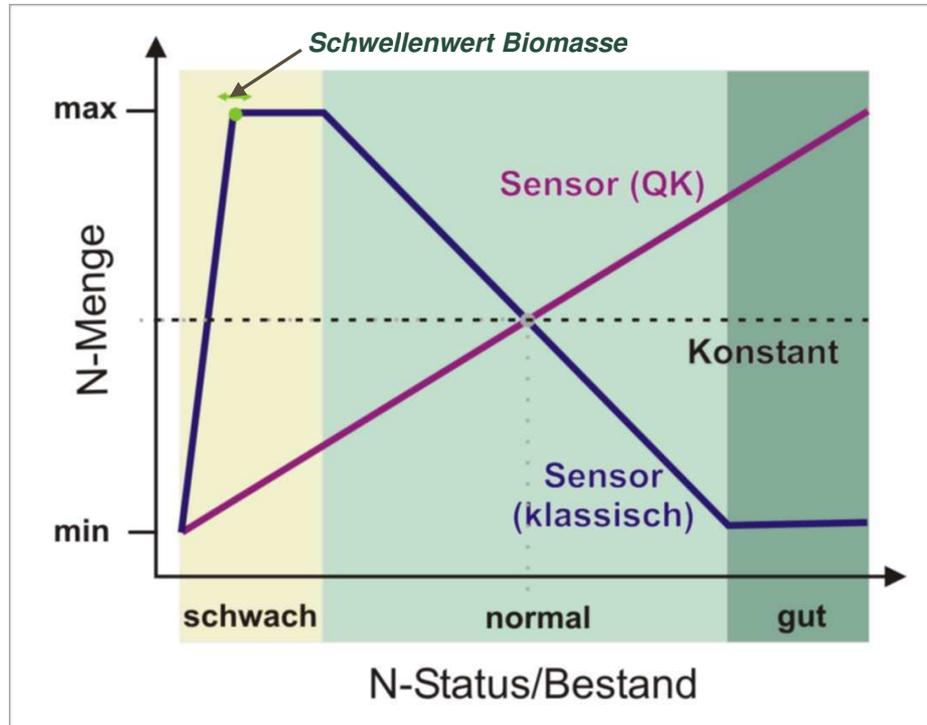


Abb. 7: Düngestrategien des YARA N-Sensors im Vergleich zur konstanten N-Düngung

Je nach Bestandesentwicklung als Reaktion auf den Boden wird aus dem Sensor-signal eine Düngung abgeleitet. Der Landwirt entscheidet bei der Kalibrierung zum Düngetermin über die Auswahl der Regelfunktion „klassisch“ oder „QK (qualitätsorientierte Kalibrierung)“. Nach klassischer Art reduziert das System die N-Gabe mit zunehmender Grünfärbung und Bestandesdichte. Alternativ dazu erhöht die QK die N-Gabe für die kräftig wirkenden Bestände. Sie stehen offenbar auf Teilflächen mit hoher Ertragsfähigkeit. Also soll deren Potential an Ertrag und/oder Protein ausgeschöpft werden.

4. Düngestrategien zur Ertrags- und Qualitätssteigerung bei Weizen

Die Weizenproduktion ist durch intensive produktionstechnische Maßnahmen gekennzeichnet. Eine mehrfach geteilte N-Düngung soll der Pflanze stets und direkt die

notwendigen Nährstoffe anbieten sowie die Nachlieferung aus dem Boden nutzen, um so den höchstmöglichen Ertrag und Proteingehalt zu erreichen.

Die Versuche des ILV im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins waren von unterschiedlichen produktionstechnischen Zielen geprägt, zunächst sollte der Proteingehalt gezielt durch N-Düngemaßnahmen gesteigert und schließlich so beeinflusst werden, dass die Qualitätsgrenze > 12,5% Protein für Backweizen immer überschritten wird und dabei der Ertrag so hoch wie möglich ausfällt (Ziel höher als der Schlagdurchschnitt). Hierfür wurden verschiedene Strategien mit dem N-Sensor erprobt. Zunächst die klassische Abfolge der Strategien gemäß der Herstellerempfehlung. Da jedoch für Schleswig-Holstein aufgrund des maritimen Klimas die N-Düngung bereits zum Ährenschieben bei EC 49 endet, mussten hier neue Strategien entwickelt werden, um den Proteingehalt zu beeinflussen.

Die Fachwelt geht davon aus, dass N2- und frühe N3-Gaben vor allem ertragswirksam sind, die späte N3-Gabe und die Düngung zur Blüte (N4) eine deutliche Qualitätswirkung aufweisen. Daher wurden die Versuche in den Jahren 2002 bis 2005 nach folgendem Schema angelegt (Abb. 8). Ziel war es, bei vergleichbarem N-Aufwand mit unterschiedlichen Strategien bei der N-Düngung sowohl den Ertrag als auch den Proteingehalt gezielt zu beeinflussen.

Varianten der N-Düngung zur Qualitätsbeeinflussung				
prod. technisches Niveau	N-Teilgaben			
	N1	N2	N3	N4
konventionell	Konstant	Konstant	Konstant	-
teilflächen-spezifisch	Konstant	Sensor	Sensor	-
qualitätsbetont	Konstant	Sensor	Sensor QK	-
Qualitäts- und Ertragsziel	Konstant	Sensor	Sensor QK	Sensor QK

Prof. Dr. Yves Reckleben

Abb. 8: Varianten der N-Düngung zur Qualitätsbeeinflussung

Die Varianten werden zu N1 konstant, zu N2 nach N-Sensor (klassisch) und zu N3 und N4 nach verschiedenen Strategien gedüngt wurden. Die durchgehend konstante N-Düngung erfolgte auf dem Niveau der entsprechenden Sensorvariante. D.h., die durchschnittliche N-Menge wurde in den Sensorvarianten anschließend konstant ausgebracht. Der besondere QK-Effekt soll in N3 und N4 gezeigt werden: Daher enthält N3 die Strategie Sensor „klassisch“ sowie „QK“ und diese wird um N4 erweitert. Alle nachfolgenden Varianten umfassen eine Fläche von mindestens 4 ha und setzen sich aus je 2 Fahrgassen mit je 2 Wiederholungen zusammen.

Die Wirkung der N3-Düngung zum Ährenschieben zeigt die nachfolgende Abbildung. Die Variante „ohne D.“ zu N3 zeigt die Wirkung der Spätdüngung im Vergleich zu den Varianten, die zu N3 gedüngt wurden.

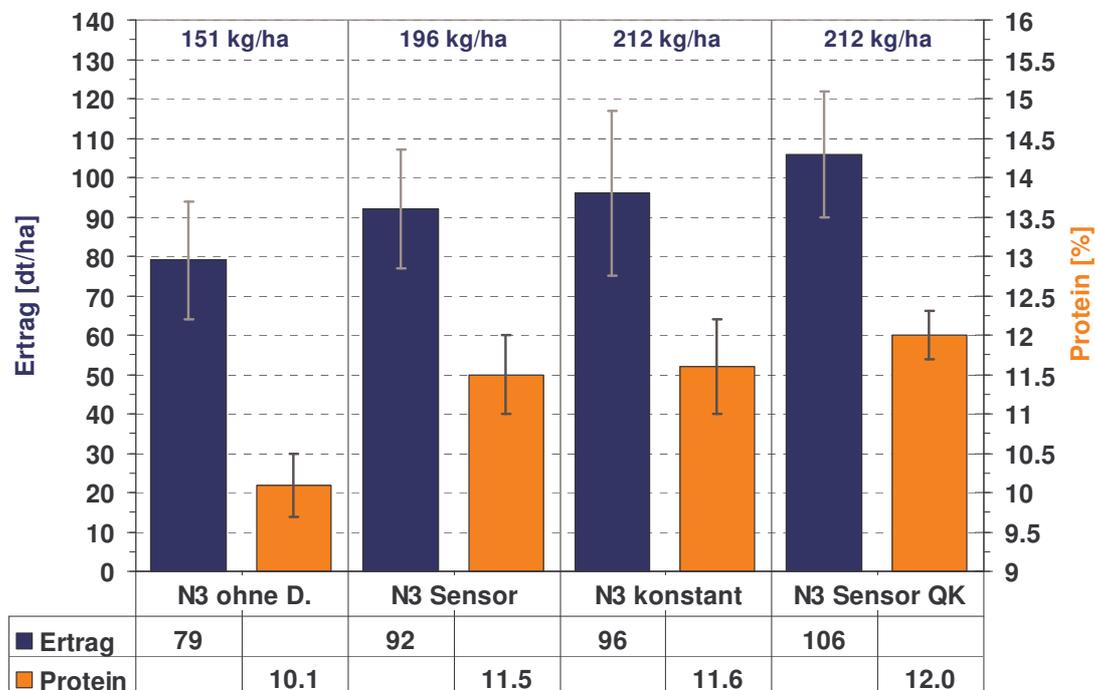


Abb. 9: Versuchsergebnisse Sensorgestützte N3-Düngung zum Ährenschieben (WW, Ritmo, 2002)

Die Ergebnisse zeigen den Mittelwert und die Standardabweichung der Varianten mit je 2 Wiederholungen (insgesamt 6 ha Fläche je Variante). Das Weglassen der letzten N-Gabe (N3) bringt deutliche Ertrags- und Qualitätseinbußen mit sich. Die zu N2 angelegten Ähren und Körner sind durch die fehlende N-Menge (-45 kgN/ha) nicht bis zur Ernte versorgt worden und daher wurden durch Reduktionsprozesse in der Pflanze 13 dt/ha Ertrag und 1,4% Protein verschenkt.

Bedeutsamer sind die Varianten zu N3. Die mit dem N-Sensor nach klassischer Funktion gedüngte Variante erreicht bei geringer N-Einsparung den gleichen Proteingehalt, jedoch einen um 4 dt/ha geringeren Ertrag. Die zu diesem Termin neuartige

Sensor QK Variante bringt dagegen einen deutlich höheren Ertrag und Proteingehalt – was auf eine konsequente Ausdüngung des Bestandes zurückzuführen ist.

Diese Differenzierung hat die ertragsfähigen Teilflächen stark gefördert und über den gesamten Schlag zu einem Mehrertrag von 10 dt/ha und 0.4% mehr Protein geführt .

Das Ergebnis bei der ertragsbetonten Sorte Ritmo aus 2002 zeigt die Bedeutung der Spätdüngung. Sie lässt vermuten, dass durch eine Aufteilung der N-Menge zum dritten Düngetermin und eine zusätzliche N4-Gabe zur Blüte zusätzliche Proteineffekte erreichbar sind. Daher wurde das bewährte Versuchsdesign zur Saison 2003 weiterentwickelt. Einige Varianten enden zu N3, andere werden auch zu N4 mit verschiedenen Strategien gedüngt.

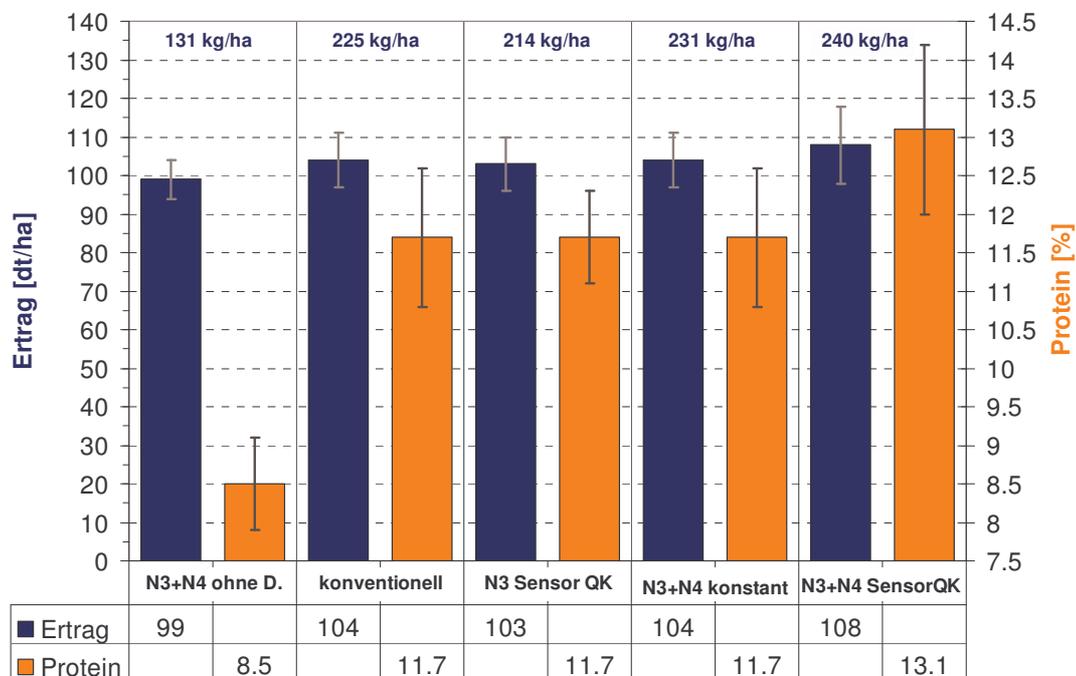


Abb. 10: Versuchsergebnisse Sensorgestützte N4-Düngung zur Blüte (WW, Drifter, 2003)

Das Ergebnis in Abb. 10 zeigt, dass die Sorte Drifter stärker im Proteingehalt reagiert als Ritmo (2002), wenn auf die Spätdüngung verzichtet wird. Die konventionell, betriebsübliche N-Düngung – die zu N3 das letzte mal gedüngt wurde – erreicht hier gleiche Ergebnisse wie die Variante, die zu N3 und N4 konstant gedüngt wurde. Einzig die zu N3 und N4 nach Qualitätsfunktion des N-Sensors gedüngten Varianten zeigen hier deutliche Vorteile (+4 dt/ha im Ertrag und + 1,4 % im Proteingehalt) gegenüber der vergleichbaren konstanten Düngung – was auf die rechtzeitige Wahl der richtigen Strategie hindeutet.

Diese Versuchsanlage wurde in den Jahren 2004 und 2005 ebenfalls wiederholt und konnte im Trend bestätigt werden, wie die nachfolgenden Ergebnisse des letzten Jahres (2005) zeigen (Abb. 11).

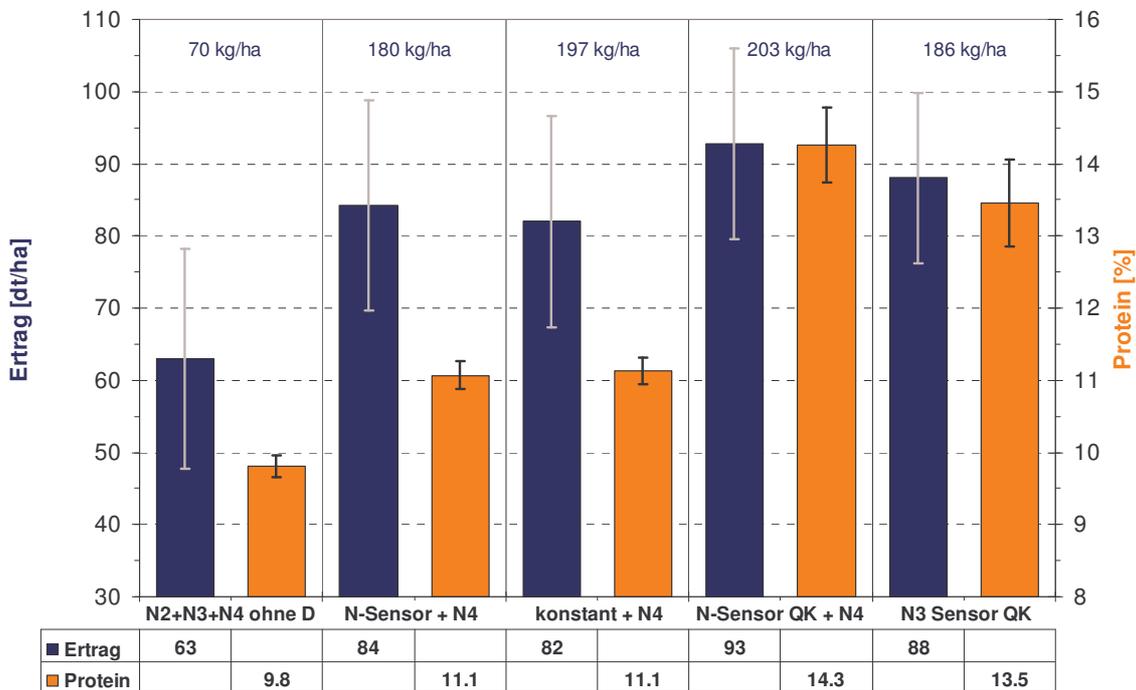


Abb. 11: Versuchsergebnisse Sensorgestützte N4-Düngung zur Blüte (WW, Dekan, 2005)

Der Jahres- und Sorteneinfluss ist im Ertragsniveau erkennbar. Die bisherige Variante ohne N3 und N4 Gabe wurde im letzten Jahr auch zur 2. N-Gabe nicht gedüngt. Hier zeigt sich der Effekt deutlich im Ertrag (-19 dt/ha) und Proteingehalt (-1,3 %) zur nächst besten Variante, die zu N3 und N4 konstant gedüngt wurde. Trotzdem ist der Effekt durch das Weglassen von 3 N-Gaben oder 127 kg N/ha im Vergleich zu dieser Variante geringer als erwartet. Das zeigt auch, dass hier ein ertragsfähiger Boden vorliegt und dass 2005 keine Trockenstressperioden auftraten. Die nach klassischer Sensorfunktion gedüngten Varianten haben einen leichten Ertragsvorteil von + 2 dt/ha bei gleichem Proteingehalt durch die Umverteilung der N-Menge erbracht.

Die in den Versuchsjahren Erfolg versprechenden Varianten, die zu N3 und N4 nach der Qualitätsfunktion gedüngt wurden, haben auch 2005 das beste Ergebnis mit 93 dt/ha Ertrag und 14,3 % Proteingehalt erbracht. Diese Differenz fällt vor allem auf, da die übrigen Vergleichsflächen auch zu N4 gedüngt wurden. Damit liegen die Gesamt-N-Menge recht nah beieinander.

4.1 Homogenisierung

Die Homogenisierung des Proteingehaltes der Partie hat besonders bei der Ernte und Weiterverarbeitung des Getreides eine besondere Bedeutung. Die meisten Verarbeitungsprozesse laufen automatisiert ab und werden auf den Mittelwert der Partie abgestimmt. Je größer die Spannweite einer Partie ist, desto ungünstiger sind die Verarbeitungseigenschaften. Auf betriebsüblich gedüngten Schlägen konnten in den vergangenen 4 Jahren mit der Echtzeitsensorik am Mähdrescher bei ertragsbetonten Sorten Spannweiten von 9 bis 13% und bei qualitätsbetonten Sorten Spannweiten von 11 bis 15% nachgewiesen werden.

Eine teilflächenspezifisch angepasste N-Düngung führt zu einer Homogenisierung des Bestandes, was sich im Ertrag widerspiegelt und von verschiedenen Quellen in Versuchen bestätigt wurde (Thiessen, 2002; Feiffer 2004). Dies gilt zunächst nur für die klassische Kalibrierung. Je stärker die Qualitätsfunktion einen Bestand differenziert, desto eher sind Unterschiede in Ertrag und Protein zu erwarten, jedoch im Bezug auf die Abreife homogen. In der folgenden Abbildung sind typische Verläufe der Proteinwerte einer Mähdrescherfahrspur von verschiedenen Düngestrategien dargestellt.

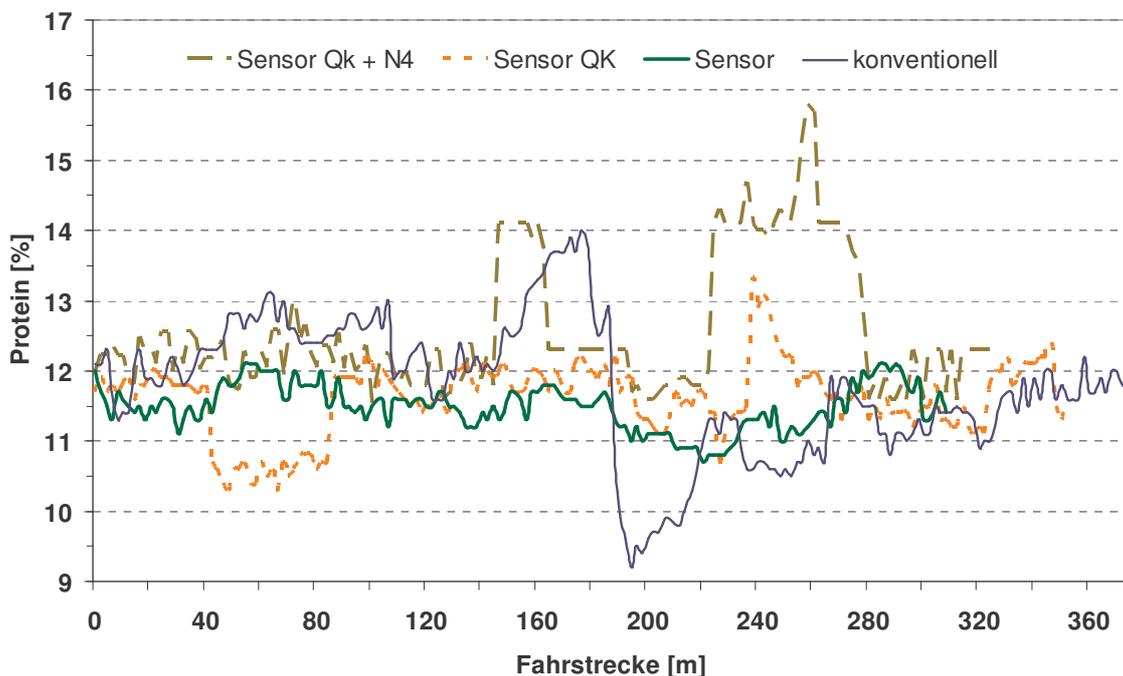


Abb. 12: Mittlere Schwankung der Proteingehalte einer Mähdrescherfahrspur in den Varianten bei unterschiedlichen N-Düngestrategien (2003, WW, Drifter)

Die Fahrspur mit konventioneller Düngung weist die größte Spannweite von 9.2 bis 14.0% auf, die mit klassischer Sensorfunktion gedüngte die geringste Spanne. Der Kurvenverlauf veranschaulicht, wie sich nach kurzen Fahrstrecken die Werte ändern können.

Die nach Qualitätsfunktion zu N3 und N4 gedüngte Variante („Sensor QK+N4“) weicht in dieser Abbildung hauptsächlich vom Proteingehalt 12% nach oben ab, wie auch aus den Ergebnissen der Abb. 10 ersichtlich wird. Die geringste Schwankung weist die Sensorvariante nach klassischer Düngefunktion bis zur letzten N-Gabe auf. Die anderen zu N3 und N4 nach Qualitätsfunktion gedüngten Varianten schwanken in dieser Darstellung nicht so deutlich.

5. Düngestrategien bei Braugerste

Die Braugerste stellt ganz andere Ansprüche an die Düngung als der Weizen.

Eine Anpassung der Düngeintensität bei Braugerste ist aus Sicht der Verfahrenstechnik und der Praxis wichtig, denn die Braugerste sollte im Proteingehalt nicht über 11,5 % liegen und muss daher suboptimal gedüngt werden – was zu Ertragseinbußen führt. Typischerweise wird hier die gesamte N-Menge einmal kurz nach der Aussaat ausgebracht. Das bedeutet für den Produzenten ein gewisses Risiko, da er die Nachlieferung aus dem Boden nicht kennt – was gerade bei blattreichen Vorfrüchten (Zuckerrübe) im Bezug auf die Lagerneigung ein Problem sein kann. Außerdem besteht je nach Düngerform ein Auswaschungsrisiko, da die Pflanzen zum Zeitpunkt der Düngung nicht die gesamte N-Menge aufnehmen können. Hier ist eine Aufteilung der Düngermenge in 2 Gaben denkbar, stellt aber mit dem Produktionsziel (Protein < 11,5 %) jedoch auch ein Risiko dar – denn je später die Düngung desto höher der Proteingehalt.

Die Zielstellung für die zweifach geteilten N-Düngung war klar definiert: Die unterschiedliche N-Nachlieferung aus dem Boden gezielt ausnutzen, indem der Pflanzenbestand als Indikator für die Stickstoffversorgung genutzt wird. Eine Aufteilung der N-Gabe zur Braugerste wird in den süddeutschen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg bereits von den offiziellen Beratungsstellen empfohlen. In den Versuchen des ILV wurde die 1. Gabe einheitlich gedüngt, die zweite jedoch vom N-Sensor spezifisch dem Bestand angepasst.

Die niedrige N1-Düngung führt dazu, dass der Bestand zu N2 die unterschiedlichen N-Nachlieferungspotenziale des Bodens besser zeigt. Der N-Sensor, misst die Unterschiede im Bestand und passt die zu düngende N-Menge dem Bedarf an. Ein schwach versorgter und entwickelter Bestand bekommt mehr Stickstoff, ein gut versorgter Bestand dagegen weniger. Der Versuch wurde so angelegt, dass die Schläge geteilt wurden: eine Hälfte wurde konstant betriebsüblich mit 90 kg/ha zum N1 Termin gedüngt, die andere Hälfte („Sensor“) wurde zu N1 mit $\frac{1}{3}$ der geplanten N-

Menge konstant und zum N2-Termin (EC 27-29) nach N-Sensorempfehlung gedüngt. Der N-Sensor wurde zum Applikationstermin auf die fehlende Stickstoff Menge ($\frac{2}{3}$) zur betriebsüblich gedüngten Variante kalibriert – so dass im Mittel die gleiche N-Menge ausgebracht werden konnte.

In der nachfolgenden Abb. 13 ist die N-Gesamtmenge in kg/ha dargestellt, die auf dem Feld 2 „Kronsberg“ mit der Zuckerrübe als Vorfrucht ausgebracht wurde.

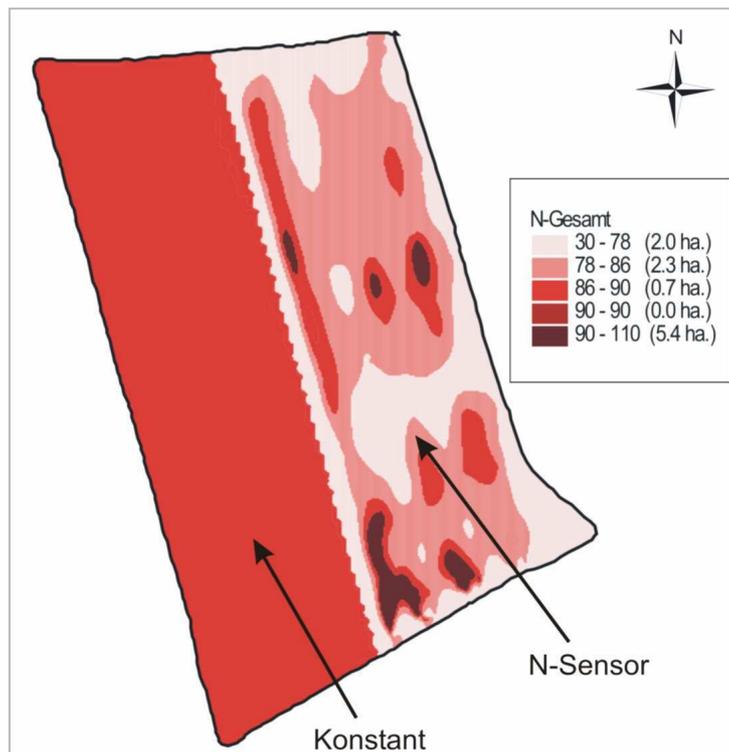


Abb. 13: N-Gesamtmenge 2004 in kg/ha, Feld 2 „Kronsberg“ 2004 (SG, Barke, Vorfrucht Zuckerrübe)

In Abb. 13 wird deutlich, dass ein großer Anteil (80%) der Sensor-Variante (5,4 ha) keine 90 kg N/ha benötigt hat, hier also durch den Einsatz des N-Sensors die Nachlieferung des Bodens berücksichtigt wurde und die N2-Gabe dem Bedarf des Bestandes entsprechend reduziert wurde.

Der Versuch wurde am 10.08.04 beendet. Der Mähdrescher, ein John Deere 9780-CTS, wird seit mehreren Jahren im Rahmen eines Projektes zur Echtzeiterfassung des Proteingehaltes genutzt..

Die Ergebnisse sind in Tab. 1 für beide untersuchten Schläge dargestellt. Die mittleren Ergebnisse (**fett**) sind zusätzlich mit der Standardabweichung (\pm) als Maß für die Streuung versehen.

Tab. 1: Ergebnisse des Sensorgesteuerten Braugerste Versuches in Lockstedt 2004 (nach Traphan, 2004)

Variante	Feld 1 „Bast“ ^a		Feld 2 „Kronsberg“ ^b	
	<i>Konstant</i>	<i>Sensor</i>	<i>Konstant</i>	<i>Sensor</i>
N1 [kg/ha]	100 ± 0	33 ± 0	90 ± 0	30 ± 0
N2 [kg/ha]	0 ± 0	65 ± 7,2	0 ± 0	51 ± 5,5
N-Gesamt [kg/ha]	100	98	90	81
Ertrag [dt/ha]	46 ± 4,0	52 ± 5,8	56 ± 2,7	60 ± 3,7
Protein [%]	10.0 ± 0,4	11.0 ± 0,7	10.2 ± 0,3	9.9 ± 0,5

^a Vorfrucht Sommergerste^b Vorfrucht Zuckerrübe

Auf beiden Feldern zeigt sich, dass eine geteilte, an den Pflanzenbedarf angepasste Stickstoffdüngung durch den N-Sensor, das vorab geplante N-Niveau nicht vollends ausschöpft. Die geringere Düngung zu N2 lässt auf eine zu diesem Zeitpunkt gute Stickstoffnachlieferung aus dem Boden schließen. Die höheren Erträge in den Sensorvarianten zeigen ebenfalls, dass die Nachlieferung aus dem Boden vom N-Sensor erfasst und in der Düngeempfehlung berücksichtigt wird. Unabhängig von der Vorfrucht zeigen sich am Standort Mehrerträge zwischen 4 und 6 dt/ha durch die N-Sensordüngung.

Die Proteingehalte sind auf beiden Schlägen unterhalb der vom Handel festgelegten Grenze von 11,5 % geblieben. Auf dem Schlag Kronsberg, mit Zuckerrübe als Vorfrucht, sank der Proteingehalt in der Sensorvariante leicht ab, was auf die Steigerung des Ertrages zurückzuführen ist. In der Sensorvariante konnte hier der Ertrag um 5 dt/ha über das mittlere Niveau der gesamten Braugerstenregion Itzehoe gesteigert werden. Auf dem Schlag Bast, mit Sommergerste als Vorfrucht, stieg der Proteingehalt in der Sensorvariante um +1 % auf 11 % an. Auch hier ist der Ertrag gesteigert worden, so dass hier das mittlere Ertragsniveau der Region erreicht wird.

Die Aufteilung der N-Düngung und die dadurch mögliche gesteuerte N-Ausbringung hat in diesem Versuch deutliche Effekte erbracht.

6. Fazit

Die Sensorgesteuerte N-Düngung eröffnet mit geeigneter Strategie den Weg, Ertrag und Proteingehalt des Weizens zu steigern. Der N-Sensor erkennt an Chlorophyll und Biomasse Teilflächen hohen Ertragspotentials, das durch erhöhte N-Gaben zu nutzen ist. Derartige Teile des Schlages erreichen 125 dt/ha und 14,2 % Protein. Mit Blick über die Versuchsjahre kann man je Schlag mit 3 bis 5 dt/ha und 0,5 bis 1,5 % Protein als Erfolg der spezifisch angepassten N-Sensor QK Düngung rechnen.

Die Braugerste reagiert offenbar positiv im Ertrag unter Wahrung des Proteingehaltes. Die angepasste Verteilung des N-Düngers fördert das Wachstum und mindert die gesamte erforderliche N-Menge.

Die Homogenisierung des Bestandes gelingt allerdings nur mit der klassischen Kalibrierung. Das bestätigen auch andere Versuchsansteller (Feiffer, 2004, Thiessen, 2002). Als Messsystem für die N-Düngung kommt nur der N-Sensor infrage, da er die beiden Faktoren Chlorophyll und Biomasse erfasst und auswertet. Nur damit lässt sich die Strategie, qualitäts- und ertragsbetonter Düngung fahren. Der Erfolg dieser Maßnahmen ist direkt nur mit entsprechend ausgestattetem Mähdröschler nachzuweisen. Die Messtechnik ist im ILV fortentwickelt. Sie gehört zunächst in die Hand von Forschung und Beratung, um im Rahmen von praxisingerechten „On-Farm-Research“ Ergebnisse zu gewinnen, die als Empfehlung für die Praxis gelten. Eine laufende Proteinerfassung erscheint für Mähdröschler auf landwirtschaftlichen Betrieben nicht sinnvoll.

7. Literatur

- Feiffer A., Feiffer, P., Kutschenreiter, W., Rademacher T.: **Getreideernte – sauber, sicher, schnell.** DLG-Verlag, Frankfurt a. Main, 2005
- Reckleben Y.: **Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdröschens.** Kiel, Christian-Albrechts-Universität, Diss. 2004 (MEG 424)
- Reckleben Y.: **Stickstoff nach Maß.** Neue Landwirtschaft 4/2005, S.50-52
- Reckleben Y.: **Sensorsysteme zur Bestandesführung.** RKL-Schrift 4.1.0
- Schilling G., Kerschberger M., Kummer K.-F. und Peschke H.: **Pflanzenernährung und Düngung.** Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart (Hohenheim), 2000
- Stoy 1973 in: Sturm H., Buchner A und Zerulla W. : **Gezielter Düngen.** 3. völlig neu bearbeitete Auflage, DLG-Verlags GmbH, Frankfurt a. Main, 1994
- Sturm H., Buchner A und Zerulla W.: **Gezielter Düngen.** 3. völlig neu bearbeitete Auflage, DLG-Verlags GmbH, Frankfurt a. Main, 1994
- Thiessen E.: **Optische Sensortechnik für den teilflächenspezifischen Einsatz von Agrarchemikalien.** Kiel, Christian-Albrechts-Universität, Diss. 2002 (MEG 399)
- Traphan K.: **Einfluss der sensorgesteuerten Düngung auf Ertrag und Proteingehalt von Braugerste.** Kiel, Christian-Albrechts-Universität, Master-Thesis, 2005
- YARA – Online:**Funktionsprinzip N-Sensor**
http://fert.yara.de/de/crop_fertilization/tools_and_services/n-sensor/index.html