

Getreide

Magazin

Die Fachzeitschrift für Spezialisten

Sensor- und satellitengestützte Stickstoffdüngung

Ein Weg zu mehr N-Effizienz?

Die Stickstoffdüngung steht in einem Spannungsfeld aus Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Um diesem Spannungsfeld gerecht zu werden, müssen hohe Erträge und Qualitäten mit möglichst geringen Mengen an N-Düngemitteln erzeugt werden, sodass N-Verluste mit möglichen Negativeffekten auf die Umwelt weitgehend vermieden werden. Dieser Zielkonflikt kam jüngst durch die Novellierung der Düngeverordnung zum Ausdruck. Landwirtschaftliche Betriebe in Deutschland stehen somit gegenwärtig vor der Aufgabe, die N-Effizienz zu verbessern. Ist die teilflächenspezifische Düngung hier eine Lösung?

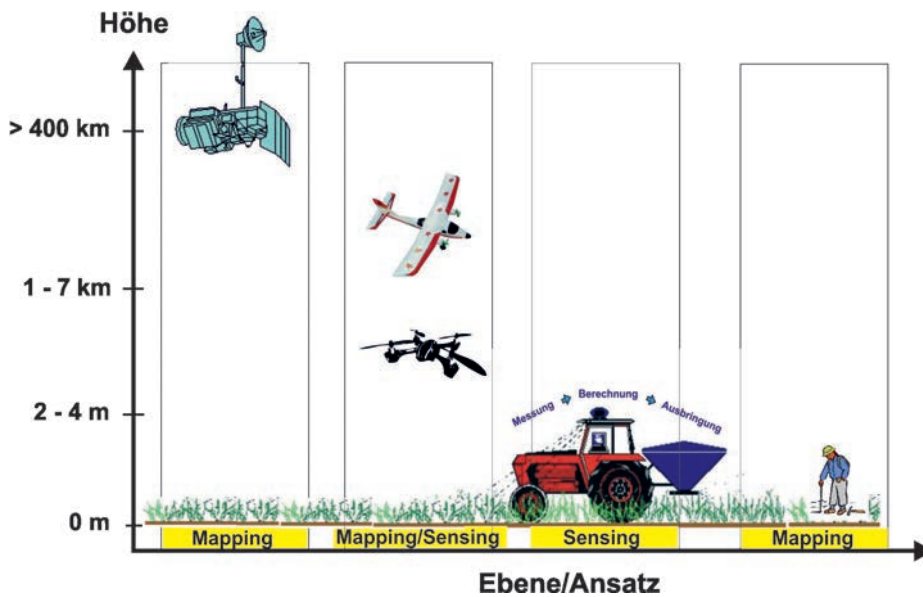
M. Sc. Sebastian Ramm und Prof. Dr. Yves Reckleben, Fachhochschule Kiel



Die sensorgesteuerte N-Düngung kann den Ertrag und Proteingehalt im Weizen steigern.

Foto: Reckleben

Abb. 1: Fern- und Naherkundungssysteme im Vergleich



Wie messen die Systeme?

Abbildung 1 zeigt verschiedene Ansätze zum Informationsgewinn auf den Acker-schlägen. Grundsätzlich ist zwischen zwei Ansätzen zu unterscheiden, dem Mapping- und dem Sensing-Ansatz. Der Mapping-Ansatz, oftmals auch als Offline-Ansatz bezeichnet, beschreibt alle Methoden, bei denen zwischen Datenerhebung (Satelliten-/Luftbild, Bodenbeprobung, EM38) und Applikation eine gewisse Zeitspanne vergeht. Der Sensing-Ansatz kommt mit sehr kurzen Zeitspannen (< 1 s) zwischen Zustandserfassung, Berechnung und Applikation aus.

Die derzeit zur Verfügung stehenden Messsysteme arbeiten berührungslos, also mit optischen Messgrößen. Diese berührungslosen Systeme können entweder am Traktor montiert sein oder über Drohnen und Satelliten die optischen Informationen erfassen. Die Messgrößen wie Reflexion oder Fluoreszenz werden direkt erfasst und mit ihnen auf den Ernährungszustand und die Biomasse geschlossen. Der große Vorteil der indirekten, berührungslosen Messung ist, dass relativ große Messflächen betrachtet und für die Düngeentscheidung berücksichtigt werden können. So sind Satellitenbildsysteme, die mit RapidEye- oder Copernicus-(Sentinel2-)Daten arbeiten, ganzflächig in einer Zeitfolge von fünf Tagen verfügbar. Die Pixelgrößen variieren von der Flughöhe in der Umlaufbahn, RapidEye hat Pixel von 5 x 5 m und Sentinel2 von 15 x 15 m. Da diese Daten von der ESA kostenlos zur Verfügung stehen, bedarf es geeigneter Dienstleister, die diese großen Datenmengen auswerten, aufbereiten und in Düngeempfehlungskarten umwandeln.

Die Photosynthese ist der grundlegende Stoffwechselprozess auf der Erde. Über ihn wird Biomasse gebildet, Energie für Lebensvorgänge gebunden und Sauerstoff für die Atmung freigesetzt. Wird ein Chloroplast belichtet, fangen die Pigmente der Thylakoide Strahlungsenergie ein. Die Pigmente, die in zwei fotochemischen Reaktionseinheiten (Fotosystem I und II) zusammengefasst werden, können aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzung auch unterschiedliche Wellenlängenbereiche des Lichtes absorbieren, was den Absorptionsquerschnitt, also die Energieausbeute, vergrößert. Die Absorptionsmaxima (= Reflexionsminima) der an der Lichtreaktion beteiligten Pigmente liegen im blauen und roten Spektralbereich des sichtbaren Lichtes. In Abbildung 2 ist ein typisches Reflexionsspektrum von Weizen dargestellt. In den markierten blauen und roten

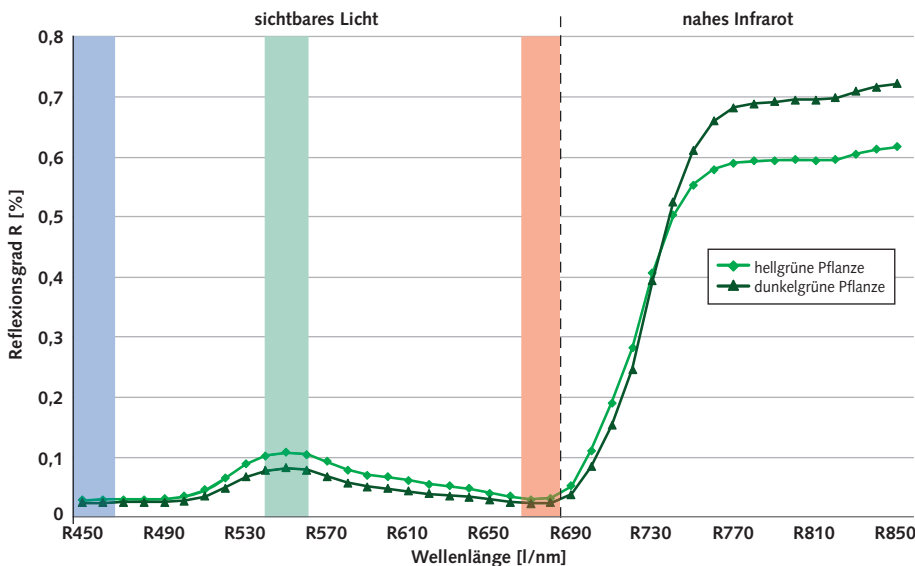
Auch zukünftig wird die Bedeutung effizienter Düngesysteme weiter zunehmen. Eine wachsende Nachfrage nach Getreide infolge einer größer werdenden Weltbevölkerung bedarf einer nachhaltigen Produktivitätssteigerung.

Die technischen Lösungen aus dem Bereich der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung zielen auf diese Herausforderungen ab. Weit verbreitet wird nach wie vor die Menge der eingesetzten Stickstoffdüngemittel an der durchschnittlichen Ertragserwartung eines Schlages bemessen. Tatsächlich variiert das Ertragspotenzial innerhalb eines Feldes in-

folge heterogener Standortbedingungen kleinräumig. Dies hat zur Folge, dass Teilflächen mit unterdurchschnittlichem Ertragspotenzial mit Stickstoff überversorgt werden, während an anderen Stellen das Ertragspotenzial nicht ausgeschöpft wird. Durch die Berücksichtigung der Heterogenität bei der Applikation von Stickstoffdüngemitteln soll eine ortsgenaue, dem Bedarf der Kulturpflanzen angepasste Düngung erfolgen.

Abb. 2: Reflexionsspektren und zu messende Farbbereiche im sichtbaren Licht und nahen Infrarot

(hohe Reflexion = geringe Absorption)



Spektralbereichen wird weniger Licht reflektiert als im gekennzeichneten grünen Wellenlängenbereich.

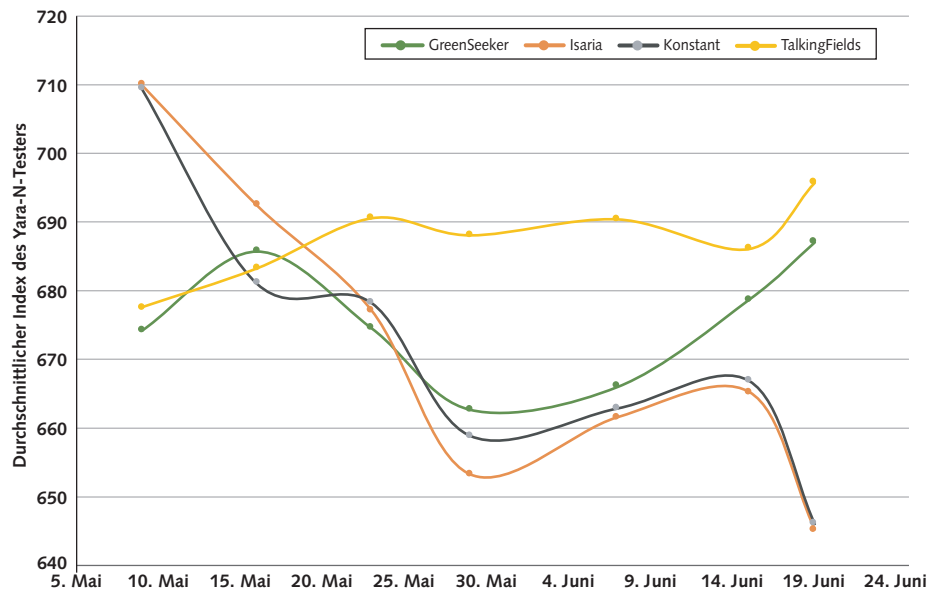
Wenn dem sichtbaren „weißen“ Licht blaue und rote Lichtanteile durch Absorption im Chloroplast entzogen werden, so bleibt die Komplementärfarbe Grün im reflektierten Lichtanteil zurück, woraus sich die Blattfärbung erklärt. Je dunkelgrüner die Pflanze ist, desto größer ist der absorbierte blaue und rote Lichtanteil durch das Chlorophyll, was auf eine gute Ernährungssituation der Pflanze schließen lässt. Je besser eine Pflanze versorgt ist, desto mehr Wärmestrahlung wird im nahen Infrarotbereich reflektiert. Das Verhältnis zwischen Infrarotreflexion und Reflexion im sichtbaren roten Wellenlängenbereich wird oftmals als Indikator für die Biomasseentwicklung genutzt.

In der Fachwelt sind bereits verschiedene Indizes verbreitet: der Infrarot-zu-Rot-Index, der Infrarot-zu-Grün-Index (Simple Ratio) und der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) für die Biomasse und der Normalized Difference Red Edge (NDRE) oder der Red Edge Inflection Point (REIP), die als Indikator für die Chlorophyllkonzentration (Cchl) und N-Aufnahme genutzt werden. Der NDVI als Biomasseindex ist zu bestimmten Entwicklungsstadien des Pflanzenbestandes nicht mehr geeignet, da bei zu geringer Bestandsentwicklung der Boden das Reflexionsspektrum beeinflusst. Ebenso bei geschlossenem Pflanzenbestand, da hier kaum Variationen im Messwert auftreten – also eine Sättigung eintritt und damit der NDVI nur unzureichend als Indikator für eine differenzierte Düngung genutzt werden kann. Die Chlorophyllkonzentration kann ebenfalls auch über die kurzzeitige Zunahme der Fluoreszenz bei aktiver Belichtung mit einem Laser gemessen werden. Diese Methode erscheint besonders geeignet, die Vitalität der Pflanzen zu bestimmen und daher auch für chemische Pflanzenschutzanwendungen (z. B. Fungizide) ein geeigneter Indikator zu sein.

Düngesysteme im Praxiseinsatz

Mit dem Ziel, die Potenziale solcher modernen Düngesysteme unter Praxisbedingungen zu erproben, initiierte die Landwirtschaftskammer Niedersachsen für die Vegetationsperiode 2017 ein Verbundprojekt zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung im Winterweizen an drei Standorten in Deutschland.

Abb. 3: Grafische Darstellung des N-Monitorings mittels Yara-N-Testers



Zum Einsatz kamen hierbei die Sensorensysteme FarmFacts AO GreenSeeker und Claas Crop Sensor Isaria bzw. Fritzmeier Isaria als Online-Verfahren (teils mit Map-Overlay) sowie TalkingFields, ein auf der Auswertung von Satellitenaufnahmen beruhendes Offline-Verfahren. Als Referenz diente die schlageinheitliche, betriebsübliche Düngung.

Durch die Wahl der Versuchsstandorte in der Gemeinde Quarnbek im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins, Aschersleben in Sachsen-Anhalt und Uehrde in

Niedersachsen konnten die unterschiedlichen technischen Lösungen unter verschiedenen Standortbedingungen getestet werden. An den Standorten Quarnbek und Uehrde stellte Winterweizen die Vorfrucht dar. Am Standort Aschersleben war das Versuchsfeld im Vorjahr geteilt, sodass zwei Drittel der Versuchspartellen Erbsen und ein Drittel Wintererbsen als Vorfrucht hatten.

An den Standorten Aschersleben und Uehrde wurden die Sensorensysteme im Online-Verfahren mit Map-Overlay betrieben.

Abb. 4: Kumulierte Stickstoffmengen in den Versuchsvarianten am Standort Gut Quarnbek

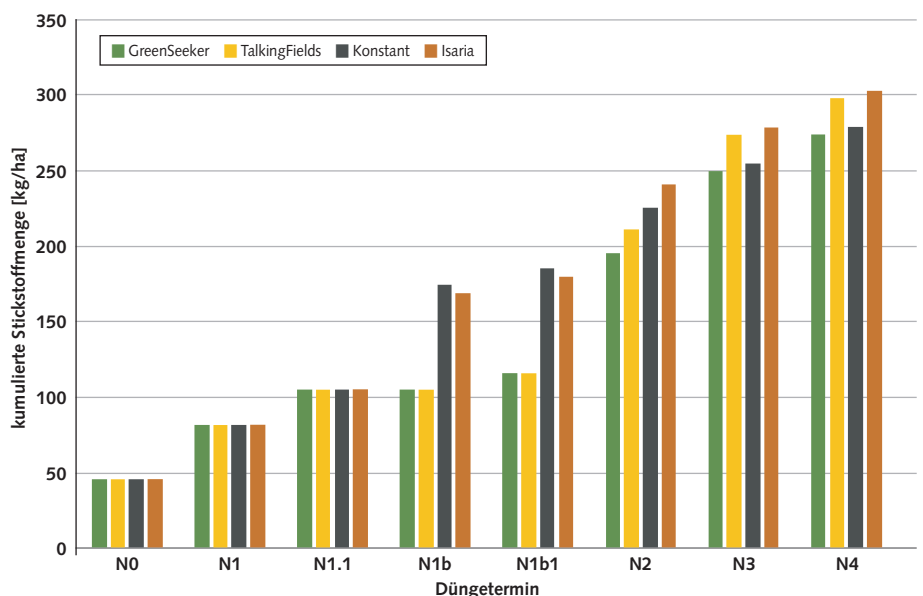


Tabelle: Ergebnisse der Versuche zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung mit verschiedenen Sensorsystemen

(auf drei unterschiedlichen Standorten/Klimaräumen in Deutschland)

Versuchsstandort		Variante			
		Konstant	GreenSeeker	Isaria	TalkingFields
Quarnbek	Ertrag [dt/ha]	104,90	111,03	105,32	109,61
	Proteingehalt [%]	11,71	12,25	11,52	12,18
	Stickstoffaufwandmenge [kg N/ha]	278,90	273,61	302,38	297,87
	Stickstoffbilanzsaldo [kg N/ha]	94,58	70,56	120,56	98,71
Aschersleben	Ertrag [dt/ha]	91,21	93,68	91,11	90,68
	Proteingehalt [%]	11,40	11,70	11,20	11,50
	Stickstoffaufwandmenge [kg N/ha]	106,10	120,98		114,10
	Stickstoffbilanzsaldo [kg N/ha]	-46,75	-39,65	n.a.	-37,32
Uehrde	Ertrag [dt/ha]	82,33			84,43
	Proteingehalt [%]	11,30			11,00
	Stickstoffaufwandmenge [kg N/ha]	220,64			210,15
	Stickstoffbilanzsaldo [kg N/ha]	78,44			68,61

Am Standort Quarnbek erfolgte die Applikation in der Variante GreenSeeker hingegen ausschließlich nach Sensoransatz.

Das Versuchsdesign orientierte sich an den üblichen Standards für die Durchfüh-

rung von On-Farm-Versuchen. Die Versuchsglieder wurden in Streifen entsprechend des bestehenden Fahrgassensystems in dreifacher Wiederholung über die gesamte Feldlänge geblockt angelegt. Dabei war jedes Versuchsglied in jedem der drei Blocks einmal vertreten. Die Zuteilung der Versuchsglieder zu den Versuchspartellen erfolgte innerhalb der Blocks randomisiert.

In Abbildung 3 sind beispielhaft die Ergebnisse des N-Monitorings mittels Yara-N-Tester am Standort Quarnbek dargestellt. Der Index des Yara-N-Testers lässt indirekt auf die Stickstoffkonzentration in den Pflanzen schließen.

Zu Beginn der Bonituren am 9. Mai starteten die Varianten Konstant und Isaria auf einem deutlich höheren Niveau als die Varianten GreenSeeker und TalkingFields. Das ist zurückzuführen auf die deutlich voneinander abweichenden Düngestrategien. Im Vorwege des Düngetermins N2 am 25. April waren, aufgrund des Auslassens der Düngegabe N1b, in den Varianten GreenSeeker und TalkingFields ca. 66 kg N/ha weniger Stickstoff ausgebracht worden als in den Varianten Konstant und Isaria. Zum Düngetermin N2 erfolgte in den Varianten TalkingFields und Konstant eine entsprechend höher bemessene Düngung (Tabelle). Hierauf lässt sich vermutlich der Anstieg der indirekt ermittelten Stickstoffkonzentration in den Pflanzen vom ersten zum zweiten Boniturtermin in den Varianten TalkingFields und GreenSeeker zurückführen. Infolge der geringeren Düngemengen zum Düngetermin N2 in den Varianten Isaria und Konstant fielen die Messwerte im gleichen Zeitraum deut-

lich ab – auf ein vergleichbares Niveau wie in den übrigen Varianten.

Im weiteren Verlauf fielen die Messwerte bis zum Düngetermin N3 am 30. Mai. Infolge der Düngetermine N3 und N4 stiegen die Stickstoffgehalte der Pflanzen erwartungsgemäß wieder an. Auch zum Düngetermin N3 wurden in den Varianten GreenSeeker und Isaria die höchsten Stickstoffmengen ausgebracht. Die Variante TalkingFields bewegte sich daher weiterhin auf einem hohen Messwertniveau, mit einem erneuten Anstieg zum letzten Boniturtermin am 19. Juni. Der stärkste Anstieg der Stickstoffkonzentration infolge der Düngung zum Termin N3 war in der Variante GreenSeeker zu beobachten. Hier kam es zu einer kontinuierlichen Zunahme der Messwerte bis zum letzten Boniturtermin. Die Varianten Isaria und Konstant wiesen auch weiterhin einen ähnlichen, parallelen Verlauf auf. Auch in diesen Varianten war nach den letzten Düngeterminen N3 und N4 ein Anstieg der Messwerte festzustellen, der jedoch nicht bis zum letzten Boniturtermin anhielt. Vom sechsten Boniturtermin am 15. Juni zum letzten Boniturtermin am 19. Juni war ein deutlicher Rückgang der Messwerte festzustellen. Dies ist im Zusammenhang mit den deutlich geringeren Stickstoffaufwandmengen zum Düngetermin N3 in diesen Varianten zu betrachten. Am 19. Juni befand sich der Bestand im EC-Stadium 73/75, d. h., der deutliche Rückgang der Stickstoffkonzentration fiel in die Kornfüllungsphase. Hier ist ein Zusammenhang zu den ermittelten Proteingehalten zu erwarten.

Es bleibt festzuhalten, dass der Verlauf der indirekt ermittelten Stickstoffkonzentration in den Varianten Konstant und Isaria sehr ähnlich war. Dies war zu erwarten. Die Entscheidungen zu den einzelnen Düngeterminen wurden in der Variante Isaria eng an die Einschätzungen des Betriebsleiters geknüpft. Die gewählte Strategie in der Variante TalkingFields führte zu einem anhaltend hohen Niveau der Stickstoffkonzentration in den Pflanzen. In der GreenSeeker-Variante führte die Strategie vor allem in der Kornfüllungsphase zu hohen N-Gehalten in den Pflanzen. Abbildung 4 verdeutlicht noch einmal die Unterschiede in den Düngestrategien der einzelnen Varianten.

Aus Abbildung 4 geht hervor, dass die mengenmäßigen Schwerpunkte der Düngung in den Varianten unterschiedlich gewählt wurden.

IMPRESSUM

Herausgeber und Verlag:

DLG ■ **AgroFood**
medien gmbh

Max-Eyth-Weg 1, 64823 Groß-Umstadt
Telefon: 069 24788488
Telefax: 069 247888488
E-Mail: Info-afm@dlg.org

Geschäftsführung:

Dr. Michaela Roland, Groß-Umstadt

Sekretariat:

Stephanie Rebscher,
Tel. 069 24788488, Fax 069 247888488
E-Mail: s.rebscher@dlg.org

Redaktion:

Dr. Heinz-Peter Pütz (Chefredakteur und V.i.S.d.P. verantwortlich für den Inhalt),
Dipl.-Ing. agr. Günter Weiß (stellv. Chefredakteur), M.Sc. agr. Vanessa Aufmkolk,
M.Sc. agr. Franziska Möhl
E-Mail: redaktion@dlg.org

Sekretariat Redaktion:

Anke Liepertz-Peter,
Tel. 0228 96942611, Fax 0228 96942633

Druck:

Brühlsche Universitätsdruckerei GmbH & Co KG,
Am Urnenfeld 12, 35396 Gießen

Auswirkungen auf den Ertrag

Während in den Varianten Konstant und Isaria bereits frühzeitig große Anteile der Gesamtstickstoffmenge ausgebracht wurden, ist der Schwerpunkt der Düngung in den Varianten GreenSeeker und TalkingFields später gewählt worden.

Durch die Auswertung der während der Düngemaßnahmen aufgezeichneten georeferenzierten Daten bzw. der Applikationskarten in der GIS-Software wurden die ausgebrachten Stickstoffmengen ermittelt. An den Standorten Aschersleben und Uehrde wurden die Erträge durch Kerndrusch und anschließendes Wiegen der Erntemenge bestimmt. Am Versuchsstandort Quarnbek erfolgte die Erfassung der Erträge mittels Ertragskartierung. Durch Laboranalysen von Proben der Ernteprodukte wurden die Proteingehalte bestimmt.

Aufgrund technischer Schwierigkeiten konnten an den Versuchsstandorten Aschersleben und Uehrde nicht alle Versuchsvarianten vollumfänglich ausgewertet werden, wie nachfolgende Tabelle zeigt.

Die Tabelle zeigt die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Versuche zusammen. An allen Standorten wurde der Höchstertag in einer der teilflächenspezifisch gedüngten Versuchsvarianten erreicht. Die stärkste Differenzierung zwischen den Varianten trat am Standort Quarnbek auf. An diesem Standort konnten die Varianten GreenSeeker und TalkingFields sehr eindeutige Mehrerträge und leicht erhöhte Proteingehalte gegenüber den Varianten Konstant und Isaria erzielen. Besonders die Variante GreenSeeker sticht an diesem Standort hervor. Mit einem Mehrertrag von ca. 6 dt/ha und einem um ca. 0,5 % höheren Proteingehalt gegenüber der betriebsüblichen Düngung, bei gleichzeitig geringster Stickstoffaufwandmenge, erzielte diese Variante das beste Ergebnis. Entsprechend führte diese Konstellation zum geringsten Stickstoffbilanzsaldo. Auch die Variante TalkingFields erreichte mit 109,61 dt/ha einen beträchtlichen Mehrertrag gegenüber der Variante Konstant. Aufgrund der deutlich höheren Stickstoffaufwandmenge besteht in der Effizienzbetrachtung jedoch kaum ein Unterschied zur betriebsüblichen Düngung. Die Variante Isaria erzielte einen deutlich geringeren Mehrertrag und setzte gleichzeitig die höchste Stickstoffmenge ein.

Am Versuchsstandort Aschersleben konnte ausschließlich die Variante GreenSeeker einen Mehrertrag in Höhe von 2,45 dt/ha gegenüber der Variante Kons-

tant erzielen. Zudem wurde in dieser Variante mit 11,7 % der höchste Proteingehalt ermittelt. Allerdings wurde auch eine ca. 15 kg N/ha höhere Stickstoffmenge eingesetzt als in der Variante mit betriebsüblicher Düngung. Die Varianten TalkingFields und Isaria erzielten geringere Erträge als die Variante Konstant. Durch sehr hohe N_{\min} -Werte und eine starke Vorfruchtwirkung der Erbsen und des Winterrapses unterschieden sich die Ausgangsbedingungen von denen der anderen Versuchsstandorte deutlich. Entsprechend niedrig war das Düngenniveau an diesem Standort insgesamt. Es war anzunehmen, dass ein Großteil des Stickstoffbedarfs bereits aus dem Bodenvorrat gedeckt werden konnte. Die teilflächenspezifische Applikation konnte somit nur Nuancen setzen.

Am Versuchsstandort Uehrde konnte die einzige ausgewertete teilflächenspezifisch gedüngte Versuchsvariante TalkingFields gegenüber der betriebsüblich gedüngten Variante einen Mehrertrag in Höhe von 2,1 dt/ha erreichen. Gleichzeitig wurden hierfür ca. 10,5 kg/ha weniger Stickstoff eingesetzt. Der Proteingehalt lag jedoch 0,3 % niedriger als in der Variante Konstant. Dennoch führten der höhere Ertrag und die geringere Stickstoffaufwandmenge zu einem um ca. 10 kg N/ha niedrigeren Stickstoffbilanzsaldo.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Kombination einer den Bedingungen angepassten Düngestrategie mit einer teilflächenspezifischen Applikation positive Effekte auf Ertrag, Proteingehalt, nötiger Stickstoffaufwandmenge und schlussendlich auf die Stickstoffeffizienz haben kann.

Die erzielten Ergebnisse in der Versuchsvariante TalkingFields zeigen, dass ein auf der Auswertung von Satellitenaufnahmen beruhendes Offline-Verfahren mit den Resultaten der sensorgestützten Online-Verfahren schritthalten kann. Da dieses Verfahren keine Investition in ein Sensorsystem voraussetzt, erleichtert es auch kleiner strukturierten Betrieben den Einstieg in die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung.

Fazit

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung einen Beitrag dazu leisten kann, gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen im Markfruchtbau zu bewältigen. Diese gilt es unter den Bedingungen der novellierten Düngeverordnung in weiteren Versuchen zu validieren. Die sensorgesteuerte N-Düngung eröffnet mit geeig-

netter Strategie den Weg, Ertrag und Proteingehalt des Weizens zu steigern. Sensoren erkennen an Chlorophyll und Biomasse Teilflächen mit hohem Ertragspotenzial, das durch erhöhte N-Gaben zu nutzen ist.

Alle vorgestellten Dünge-Systeme sind von großem Nutzen, denn sie offenbaren die natürlich existierende Heterogenität in der Bestandesentwicklung. Die Systeme bieten die Möglichkeit, bei jeder Überfahrt/Überfliegung Daten zu sammeln und für darauffolgende Maßnahmen zu nutzen. So können im Herbst die Biomasseentwicklungen im Raps gemessen werden und für die erste N-Gabe im Frühjahr genutzt werden. Neben der teilflächenspezifischen Düngung besteht auch die Möglichkeit der lückenlosen Dokumentation der Bestandesentwicklung. Auch das Überlagern der Sensorinformationen mit zusätzlichen Informationen des Schlages (Boden, Ertragspotenzial und nFK) kann hier eine weitere Optimierung in der Zukunft bedeuten. Alle Sensoren können das sogenannte „map overlay“ leisten.

Der Nutzen dieser teilflächenspezifischen Anpassung kann je nach Produktionsintensität und Jahr von einer N-Einsparung bis hin zur Ertrags- und Qualitätssteigerung einzelner Teilflächen oder des ganzen Schlages führen. Die Praxis hat gezeigt, dass Sensoren in der Regel sicher funktionieren. Der neue Begriff des Smart Farming verunsichert, denn die N-Sensoren sind ein gutes Beispiel dafür, dass auch ohne großes Datenmanagement mit einfachen Stellgrößen die komplexe N-Düngung standortspezifisch optimiert werden kann. So werden N-Überhänge reduziert und die Erntemenge bedarfsgerecht versorgt. <<