

Detlev Dölger, Dominik Gerwers

Sensorik im Pflanzenbau – Erfahrungsberichte aus der Praxis*

Sensor technology in crop production –
practical experience

Zusammenfassung

Der Einsatz der Sensorik im Pflanzenbau ist seit deutlich über 10 Jahren im Gespräch. Dabei sind besonders die Pflanzensensoren und Bodenscanner in der Praxis anzutreffen. Während sich im Bereich Precision Farming Techniken zur genauen Führung und Schaltung von Maschinen mehr und mehr durchsetzen, stehen Praktiker den Bestandessensoren häufig skeptisch gegenüber. Die Sensortechnik wird stets weiterentwickelt und in der Breite mehr genutzt. Trotzdem ist nicht festzustellen, dass eine allgemeine, breite Akzeptanz der Praxis vorhanden ist.

Um die Nutzbarkeit von Sensorik in der Praxis weiterzuentwickeln, muss Bedienung, Zuverlässigkeit und Einfachheit des Einsatzes verbessert werden. Aber auch inhaltlich bleibt noch viel zu tun. So fehlen häufig die Erkenntnisse, welche Kenngrößen z.B. an unterschiedlichen Standorten berücksichtigt werden müssen, wenn neben dem Online-Einsatz auch das sogenannte Map-Overlay-Verfahren genutzt werden soll. Auch jüngste Ergebnisse zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit des Sensoreinsatzes noch nicht befriedigen kann!

Stichwörter: Sensorik, Teilflächenspezifische Landwirtschaft

Abstract

The use of sensor technology in crop production has been discussed over 10 years now. Especially plant/crop sensors and soil scanner encountered practical farming.

While techniques to achieve accurate steering and communication of machinery are more and more common in precision farming, practitioners are often skeptical towards crop sensors. The sensor technology is constantly improved and will be used on more farms. Nevertheless, there is no general, broad acceptance of this technology in practice.

In order to progress the usability of sensors in practice, operation, reliability and ease of use must be improved. Often there is lack of knowledge which parameters should be considered at different locations, when using online and offline approaches in parallel. Also, recent results show that the economic efficiency of the sensors is not satisfying!

Key words: Precision agriculture, crop sensors, soil scanner

Einleitung

Der Einsatz der Sensorik im Pflanzenbau ist seit deutlich über 10 Jahren im Gespräch. Dabei sind besonders die Pflanzensensoren und Bodenscanner in der Praxis anzutreffen. Zudem drängen, neben dem bereits länger in der Praxis eingeführten Yara N-Sensor (YARA, 2012), eine zunehmende Anzahl weiterer Sensoren auf den Markt.

Während sich im Bereich Precision Farming Techniken zur genauen Führung und Schaltung von Maschinen mehr

* Der Artikel basiert auf einem Vortrag anlässlich des 1. Julius-Kühn-Symposiums „Sensorik im Pflanzenbau“.

Institut

Hanse Agro Beratung und Entwicklung GmbH, Gettorf

Kontaktanschrift

Detlev Dölger, Hanse Agro Beratung und Entwicklung GmbH, Kirchstraße 14, 24214 Gettorf, E-Mail: doelger@hanse-agro.de

Zur Veröffentlichung angenommen

15. November 2013

und mehr durchsetzen, stehen Praktiker den Bestandesensoren häufig skeptisch gegenüber (EHLERT, 2010).

Die Ausführungen beschäftigen sich mit den pflanzenbaulichen Anforderungen an Sensortechnik und den Möglichkeiten und Grenzen ihres Einsatzes zur verbesserten teilflächenspezifischen Bestandesführung. Die pflanzenbaulichen Erfordernisse bestimmen die Anforderungen an die technische Umsetzung, nicht umgekehrt!

Pflanzenbauliche Anforderungen

Der sogenannte Bodenscanner „EM 38“ misst im Boden die elektrische Leitfähigkeit und lässt so Rückschlüsse auf die Bodenart zu. Der Ionengehalt, Humusgehalt und der Wassergehalt beeinflussen das Messverfahren. Die Aussagekraft ist aus diesem Grund nicht für alle Böden gleichermaßen gut. Das Verfahren kann eher als ein Baustein zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit des Bestandes herangezogen werden. Aus Gründen des preiswerten Einsatzes hat sich das Verfahren als Grundlage von Precision Farming Anwendung zur Einteilung von Schlägen bewährt.

Näher sollen die sogenannten „Stickstoff-Sensoren“ betrachtet werden. Wo erscheint aus pflanzenbaulicher Betrachtung deren Einsatz sinnvoll?

Die pflanzenbaulichen Ziele des Sensoreinsatzes unterscheiden sich nach den Entwicklungsstadien des Getreides:

- Der Einsatz zu Vegetationsbeginn ist denkbar, wo unterschiedliche Bodenarten (Erwärmung des Bodens z.B.) oder differente Feldaufgangsraten durch eine angepasste Düngung ausgeglichen werden könnten.
- Zu Schossbeginn des Getreides sollten Bestandesunterschiede ausgeglichen werden.
- Zum Schieben des Fahnenblattes (BBCH 37/39) kann der Bestand in den Teilflächen sich in seiner Leistungsfähigkeit zunehmend unterscheiden. Die Düngung ist der Leistungsfähigkeit anzupassen.
- Beim Schieben der Ähre besteht die letzte Möglichkeit, die Proteinkonzentration im Korn zu beeinflussen. In Hohertragszonen sollte die N-Düngung der Verdünnung der Versorgung entgegenwirken.

In vergleichbarer Weise lassen sich die pflanzenbaulichen Ziele für den Einsatz von Wachstumsreglern im Getreide beschreiben:

- Zur Hauptbestockung (BBCH 25) ist in der Regel das Ziel, den Bestand und die Triebe der Pflanzen zu Egalisieren. Die Notwendigkeit kann sich durchaus in Teilflächen unterscheiden.
- Der Beginn der Schossphase (BBCH 31/32) bildet den bedeutendsten Zeitpunkt für eine Wachstumsregulierung. Diese unterscheidet sich stark nach Bodenqualität bzw. Wasserverfügbarkeit und Bestandesdichte.
- Zum Schieben des Fahnenblattes (BBCH 37/39) kann eine zweite Maßnahme zur Wachstumsregulierung sinnvoll sein. Diese berücksichtigt wiederum die Bestandesdichte und die Wasserverfügbarkeit.

Die Aufzählung umfasst die denkbaren Zeitpunkte für einen produktionstechnischen Eingriff. Je nach Standort kann sich die Häufigkeit eines produktionstechnischen Eingriffs unterscheiden.

Entsprechend kann man für Raps pflanzenbauliche Ziele beschreiben, zu denen eine Differenzierung von Maßnahmen sinnvoll erscheint:

- Herbst: Ausgleich der Bestandesentwicklung und -ernährung
- Vegetationsbeginn Frühjahr: N-Düngung nach Ertragsziel und N-Aufnahme Herbst
- Schossen: meist keine Differenzierung sinnvoll, da Stickstoff und Schwefel häufig kombiniert ausgebracht wird
- Ab Knospenstadium: Düngung über Boden unzuverlässig, da häufig Trockenphasen

Auch im Raps kann eine Anpassung der Wachstumsregulierung (des Fungizideinsatzes) sinnvoll sein: Die Ziele sind:

- Im Herbst entwickelt der Raps je nach N-Nachlieferung in Teilflächen eine unterschiedliche Entwicklung. Die Wachstumsregulierung wäre anzupassen.
- Im Frühjahr zwischen Schossbeginn und 20 cm Wuchshöhe der Knospe kann die Biomasseentwicklung sich unterscheiden und damit eine Anpassung des Wachstumsreglereinsatzes notwendig machen.
- Im Knospenstadium kann die Entwicklung der Biomasse, die N-Nachlieferung und die Wasserverfügbarkeit über den Einsatz von Wachstumsreglern entscheiden.
- In der Blüte macht eine Differenzierung keinen Sinn, da Fungizide und Insektizide meist kombiniert ausgebracht werden.

Was können Sensoren leisten?

Je nach Stadium der Pflanze und Ziel des Einsatzes eignen sich die verschiedenen Sensoren unterschiedlich. So haben einige Sensoren, insbesondere wenn der NDVI-Index verwendet wird, Probleme mit der Sättigung in der weiteren Entwicklung von Pflanzenbeständen. Andere Sensoren gelangen an die Grenze, wenn ein sehr zeitiger Einsatz in der Vegetation geplant ist. Diese Unterschiede bei den Sensoren werden an anderer Stelle betrachtet. Im Weiteren wollen wir uns mit den genaueren Stadien der Kulturpflanze und den Möglichkeiten und Grenzen des Sensoreinsatzes beschäftigen.

Bei Raps scheint es, analog zum Getreide im zeitigen Frühjahr sinnvoll, unterschiedliche Entwicklungen oder Ernährungssituationen bereits im Herbst auszugleichen. Da nach unseren Auswertungen Winterraps erst auf deutlich schwächere Böden mit Ertragsminderungen reagiert als Weizen, halten wir eine Egalisierung des Bestandes in der Herbstentwicklung für notwendig (Abb. 1).

Betrachtet man dazu die N-Düngung des Rapses im Herbst, bilden sich zwei Szenarien heraus. Bei einer Früh-

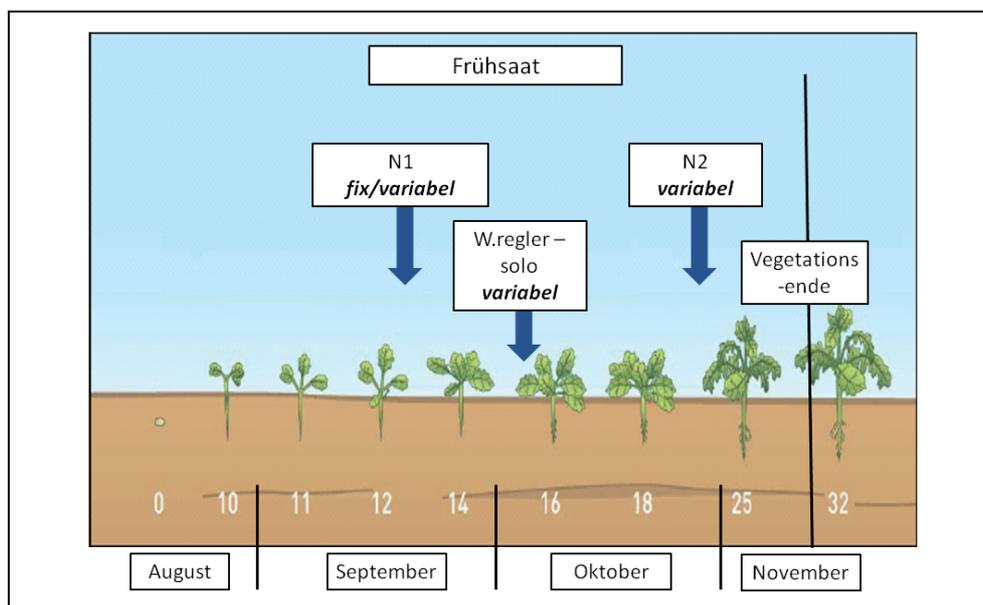


Abb. 1. Mögliche Eingriffszeitpunkte für den Einsatz von Sensoren im Winterraps im Herbst nach Fröhsaat.

saat kann zumindest auf besseren Böden abgewartet werden, ob der Raps die ausreichende Zeit nutzen kann, um sich im Boden vorhandene Nährstoffe anzueignen. Sind ab dem 4-Blattstadium Mangelerscheinungen festzustellen, kann über die Sensorik eine differenzierte Versorgung von Teilflächen erfolgen. Gerade wenn die verwendeten N-Mengen eher gering ausfallen, kann es sogar sinnvoll sein, eine zweite N-Düngung im Laufe des Oktobers durchzuführen, wenn weitere Mangelerscheinungen auftreten, bevor der Raps eine Frischmasse von 1 kg/m² erreicht (entspricht 50 N kg/ha).

Anders sieht das Ganze für ein Spätsaatszenario aus. Die verbleibende Vegetationszeit ist knapp und erfordert evtl. eine sehr zeitige Zufuhr von Düngern. Diese wird in der Regel konstant über die Fläche erfolgen. Dazu ist die Menge nicht zu hoch anzusetzen, um zu einem späteren Zeitpunkt noch Möglichkeiten einer differenzierten Düngung zu nutzen, welche Unterschiede in der Bestandesentwicklung bzw. Nährstoffversorgung berücksichtigt.

Grundsätzlich können zwei Düngungszeitpunkte im Herbst sinnvoll sein. Kann abgewartet werden, bis sich eine Reaktion später in der Herbstentwicklung zeigt, reicht eine Düngung aus. Schließlich muss auf besseren Böden mit höherem Nachlieferungspotenzial nicht zwingend im Herbst Stickstoff gedüngt werden (SIELING et al., 2010, Hanse Agro Versuche Thüringen Jahre 2006–2009).

Je früher ein Einsatz im Herbst erfolgt, umso schwieriger wird es, einen alleinigen Sensoreinsatz zu nutzen. Daher bleibt eine konstante Zufuhr von Düngern oder es müssen Informationen z.B. über N-Reste der Vorfrucht, Nmin-Werte in Teilflächen o.ä. in ein Map-Overlay verschnitten werden bzw. alleinig als Karte genutzt werden.

Im Frühjahr wird dann in der Regel die N-Düngung, vor allem zum ersten Termin, über einen Kartenansatz gefahren, welcher Ertragspotenzial und aufgenommene N-Menge der Teilflächen zur Düngermenge zusammenführt. Zur weiteren N-Düngung kann evtl. die Sensorik

das Bestandesbild erfassen. Dabei muss der, noch nicht von der Pflanze aufgenommene, Stickstoff der N1-Gabe als Transit-Stickstoff berücksichtigt werden, damit es nicht zur Überdüngung kommt.

Dieses ist allerdings nur möglich, wenn keine Stickstoffform in Kombination mit Schwefel ausgebracht werden soll!

Ein differenzierter Wachstumsreglereinsatz kann durchaus sinnvoll sein. Dieser berücksichtigt Teilflächen z.B. mit stärkerer Entwicklung aufgrund erhöhter N-Nachlieferung oder überhöhte Bestandesdichten aufgrund der Ausfallrapsproblematik. Diese darf dann nicht mit Produktionsmitteln wie Insektiziden kombiniert werden, da diese eine konstante Ausbringmenge erfordern.

Etwas anders stellt sich die Situation im Getreide, hier beispielhaft für Winterweizen dar. Die Abb. 2 und 3 zeigen für die Frühjahr 2009 und 2010 den Witterungsverlauf am Standort Hannover. In 2010 war wiederholt eine zeitig einsetzende Frühjahrstrockenheit ab Ende März/Anfang April zu beobachten. Diese zeigte sich auch für das Jahr 2009. Wurde die zweite Gabe der N-Düngung zum Beginn April ausgebracht, fiel diese auf den oberflächlich abgetrockneten Boden, da es einige Tage zuvor zuletzt geregnet hatte. Im ganzen April folgten dann nur sehr wenige Niederschlagsereignisse, die über die Menge von 3 mm nicht hinausgingen. Damit war ein ausreichendes Lösungsgeschehen, welches den Stickstoff zu den Wurzeln transportierte, nicht gegeben! Im Jahr 2010 waren die Gegebenheiten zum gleichen Zeitraum etwas günstiger.

Schaut man jetzt auf die möglichen Einsatzzeitpunkte eines Sensors zur N-Düngung, so wäre es auf manchem Standort wünschenswert, bereits zu Vegetationsbeginn Unterschieden in der Bestandesdichte bzw. -entwicklung durch die N-Düngung zu begegnen. Zu dem Zeitpunkt können einige Sensoren durchaus Unterschiede im Bestand messen. Da Weizen bis zum Ende der Bestockung

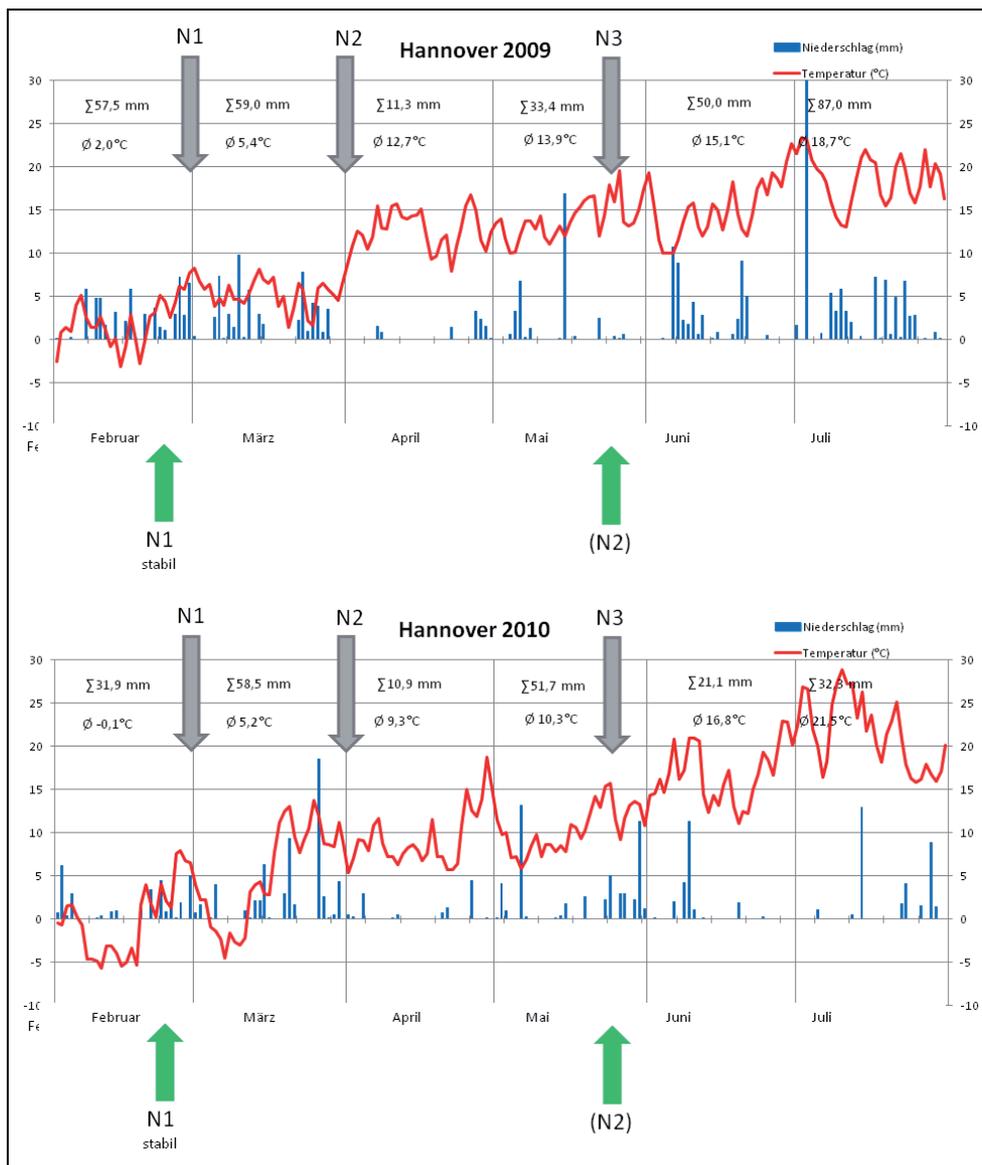


Abb. 2 und 3. Witterungsverlauf Februar bis Juli 2009 und 2010 am Standort Hannover sowie mögliche Düngungszeitpunkte; Datenquelle: Deutscher Wetterdienst (DWD).

aber lediglich 30–40 N kg/ha aufgenommen hat (SCHMID und MAIDL, 2004), sind die Unterschiede in Form aufgenommenen Stickstoffs aber eher gering. Liegen z.B. Differenzen von 20 N kg/ha vor, wäre diese Spanne für eine differente N-Ausbringung zu gering. Entsprechend müsste man einen Faktor für die Differenzen der N-Düngung in den Teilflächen einbauen. Dieses würde aber auch Fehleinschätzungen ermöglichen. So erwärmen sich zu Vegetationsbeginn die sandigen Teilflächen früher als lehmigere Bereiche und führen dadurch zu einem zeitigeren Wachstumsbeginn. Entsprechend würde die Regelung des Sensors dort geringere N-Mengen ausbringen. Gerade die leichteren Teilflächen bieten ein geringeres Nachlieferungspotenzial. Die Nährstoffversorgung könnte zeitig abreißen. Daher erscheint zu Vegetationsbeginn ein Hinterlegen von Karten in Form von Map-Overlay sinnvoller.

Zur N2-Gabe wird dann üblicherweise der Sensor eingesetzt, indem direkt die gemessene N-Aufnahme die N-Düngung bestimmt. Dieses Stadium wird mit EC 30-32

angegeben (YARA, 2012; SCHMID und MAIDL, 2004). Hier greift dann in frühjahrstrockenen Jahren die zuvor beschriebene unzuverlässige Düngerwirkung. Wir nehmen ein steigendes Interesse der Praxis wahr, diesem Problem mit dem Einsatz von stabilisierten N-Düngern zu begegnen, welcher die N1- und N2-Gabe im Frühjahr zusammenfassen lässt. Dann wird allerdings der Einsatz der Sensorik weiter eingeschränkt. Hier gilt es, die notwendigen Anpassungen von Düngungszeitpunkten in die sensorgestützten N-Düngungsverfahren einzubauen.

Für die weiteren Düngungszeitpunkte, also die dritte N-Gabe zu EC 37/39 und gegebenenfalls eine vierte als Qualitätsgabe, ist der Einsatz von Sensorik sinnvoll und relativ unproblematisch. Wirkungsminderungen der N-Gaben durch Trockenphasen treffen andere Verfahren gleichermaßen (Abb. 2 und 3).

Die Abb. 4 stellt die Zeitpunkte der N-Düngung zu den entsprechenden Entwicklungsstadien dar. Sie bezieht sich auf die klassische Aufteilung auf drei Gaben plus evtl. eine zusätzliche Qualitätsgabe (N4). Gerade die ertrags-

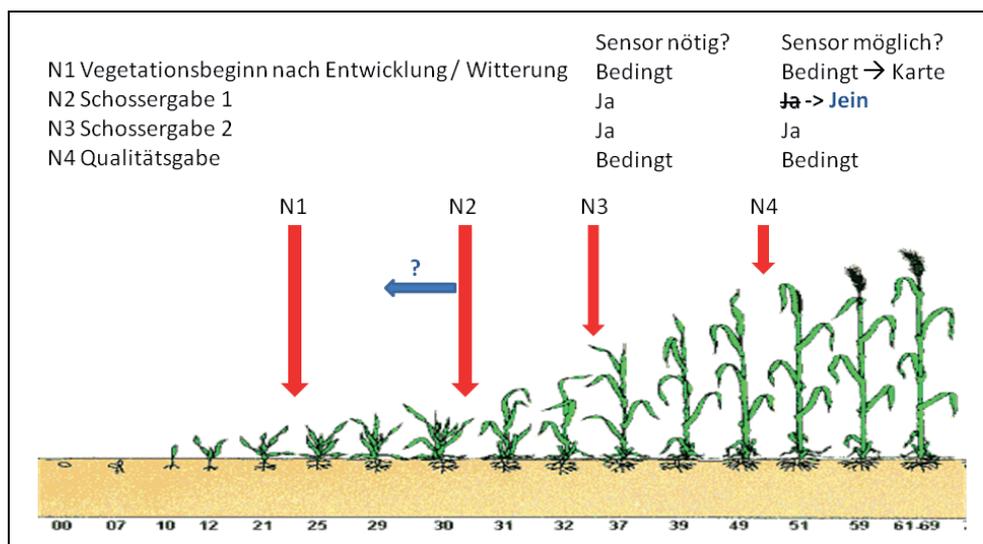


Abb. 4. Möglicher Einsatz von N-Sensoren zu verschiedenen Entwicklungsstadien des Winterweizens. Die N2-Gabe muss evtl. wegen der Gefahr von Trockenheit vorgezogen werden.

relevante N2-Gabe muss vorgezogen werden, wenn diese vor einsetzender Trockenheit wirksam werden soll. Die Alternative des Einsatzes stabilisierter N-Düngerformen wurde bereits weiter oben angesprochen.

Der Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden in Winterweizen hängt stark von den Witterungsverhältnissen, dem Boden und dem Bestandaufbau ab. Diese unterscheiden sich naturgemäß innerhalb der Fläche. Deshalb erscheint ein differenzierter Einsatz sinnvoll und wird teilweise bereits praktiziert. Folgende Stadien kommen speziell für den Einsatz von Wachstumsreglern in Frage:

- BBCH 25-28: Hauptbestockung bis Ende der Bestockung. Die Behandlung dient sowohl einer Egalisierung angelegter Triebe als auch einer ersten Einkürzung. Eine Sensorsteuerung ist aufgrund der geringen Massenentwicklung nicht immer gegeben.
- BBCH 30-32: In der Regel der wichtigste Termin für eine Wachstumsregulierung. Die Steuerung über Sensorik ist möglich und sinnvoll. Bestandesdichte und Wasserverfügbarkeit bilden die Basis für eine Aufwandmengenanpassung.
- BBCH 37/39: Meist das letzte sinnvolle Stadium eines Wachstumsreglereinsatzes. Die Wasserverfügbarkeit bzw. die Reaktion der Pflanze darauf bilden die Basis für Differenzierungen.

Eine gleichzeitige Differenzierung von Fungiziden ist nicht immer sinnvoll. Bisher gibt es hierzu kaum Untersuchungen. Grundsätzlich kann aber gesagt werden, dass Krankheiten, welche über Etagen springen und auf Feuchtigkeit im Blattapparat angewiesen sind, durchaus in einer angepassten Fungizidmenge in Kombination mit Wachstumsreglern ausgebracht werden können. Dazu gehört z.B. *Septoria tritici*. Hingegen sind windbürtige Krankheiten wie die Roste problematisch, wenn zu niedrige Fungizidmengen eingesetzt werden.

Akzeptanz in der Praxis begrenzt

Die Akzeptanz bzw. das Vertrauen in den Einsatz von Sensorik ist in der Praxis teilweise begrenzt. Einige Landwirte sehen die in der Sensortechnik hinterlegten Algorithmen als „Black Box“ an und haben somit kein Zutrauen in eine Regelung und Anpassung auszubringender Applikationsmengen in die Teilfläche. Hier herrscht zumindest deutlicher Erklärungs- bzw. Aufklärungsbedarf.

Nicht alle Landwirte sind gleichermaßen mit den Entscheidungskriterien für eine sinnvolle N-Düngung vertraut. Hier verspricht die Sensorik, speziell, wenn diese mit Kurven zur N-Düngung hinterlegt sind, eine Automatisierung von Entscheidung und Ausbringung.

Man findet in der landwirtschaftlichen Praxis sehr unterschiedliche Meinungen zum Einsatz von Sensortechnik. Ohne Frage besteht aber noch genug Entwicklungsbedarf, um die heutigen Grenzen weiter zu verschieben.

Wiederholt auftretende Fragen sind auch noch heute u.a.:

- Ist der Einsatz technisch immer ausreichend zuverlässig?
- Kann Sensorik witterungsunabhängig genutzt werden?
- Welcher Index passt für den Einsatzzweck? Kann und sollte ich unterschiedliche Indizes nach Bedarf wählen?
- Reicht die Wirtschaftlichkeit für meinen Betrieb?

Gerade der letzte Punkt ist nur unbefriedigend zu beantworten. Und die Aussagen einiger Hersteller zu dieser Frage haben das Vertrauen der Praxis nicht verbessert!

Fazit

Die Sensortechnik wird stets weiterentwickelt und in der Breite mehr genutzt. Trotzdem ist nicht festzustellen, dass eine allgemeine, breite Akzeptanz der Praxis vorhanden ist.

Um die Nutzbarkeit von Sensorik in der Praxis weiterzuentwickeln, muss Bedienung, Zuverlässigkeit und Einfachheit des Einsatzes verbessert werden. Aber auch inhaltlich bleibt noch viel zu tun. So fehlen häufig die Erkenntnisse, welche Kenngrößen z.B. an unterschiedlichen Standorten berücksichtigt werden müssen, wenn neben dem Online-Einsatz auch das sogenannte Map-Overlay-Verfahren genutzt werden soll. Denn diese können an verschiedenen Standorten von unterschiedlicher Bedeutung sein.

Auch jüngste Ergebnisse zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit des Sensoreinsatzes noch nicht befriedigen kann!

Literatur

- YARA, 2012: Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, YARA N-Sensor[®], S. 2-3 (http://www.yara.de/doc/39944_Broschuere_N-Sensor_201206.pdf, zuletzt besucht am 20.11.12).
- EHLERT, D., 2010: Techniken für eine sensorgestützte mineralische Düngung. In: WENDL, G.: Technik im Ackerbau-schlagkräftig und effizient. Landtechnische Jahrestagung am 10.11.2010.
- SELING, K., H. KAGE, W. SAUERMAN, 2010: Wie lässt sich die N-Düngung zu Winterraps optimieren? DLG-Mitteilungen 5-2010.
- SCHMID, A., F.-X. MAIDL, 2004: Optimierung der teilflächenspezifischen Bestandesführung mit berührungsloser Sensorik nach Bestandsheterogenität. IKB Dürnast-Teilprojekt 9.2004. (<http://ikb.weihenstephan.de/ikb2/deutsch/symposium/pdf/schmid.pdf>, zuletzt besucht am 11.12.2012).