

Yves Reckleben

## Sensoren für die Stickstoffdüngung – Erfahrungen in 12 Jahren praktischem Einsatz\*

Sensors for nitrogen fertilization –  
experiences of 12 years practical use

### Zusammenfassung

Die sensorgesteuerte N-Düngung eröffnet mit geeigneter Strategie den Weg, Ertrag und Proteingehalt des Getreides zu steigern. Sensoren erkennen an Chlorophyll und Biomasse Teilflächen hohen Ertragspotentials, das durch erhöhte N-Gaben zu nutzen ist. Alle vorgestellten Sensor Systeme sind von großem Nutzen. Alle erfassen die natürlich existierende Heterogenität in der Bestandesentwicklung. Echtzeit-Systeme bieten dabei die Möglichkeit, bei jeder Überfahrt Daten zu sammeln und für folgende Maßnahmen zu nutzen, da hier in einem Arbeitsgang Messung, Berechnung und Applikation erfolgen. Neben der teilflächenspezifischen Düngung, besteht auch die Möglichkeit der lückenlosen Dokumentation der Bestandesentwicklung. Auch das Überlagern der Sensorinformationen mit zusätzlichen Informationen des Schlages, das sogenannte „map overlay“ (z.B. Boden, Ertragspotential und nutzbare Feldkapazität), können hier eine weitere Optimierung in der Zukunft bedeuten. Zahlreiche Versuche zu diesem Thema laufen an den Forschungsinstitutionen (ATB-Potsdam, FH-Kiel, Hanse-Agro, AgriCon) und versprechen viel.

Der Nutzen dieser teilflächenspezifischen Anpassung der Düngung kann je nach Produktionsintensität und Jahr von einer N-Einsparung bis hin zur Ertrags- und Qualitätssteigerung einzelner Teilflächen oder des ganzen Schlages führen. Diese Effekte konnten bislang einzig mit dem YARA N-Sensor nachgewiesen werden, was eine Vielzahl von Veröffentlichungen unterschiedlicher Institutionen in den letzten Jahren zeigt. Besonders eine hohe Auslastung über den gesamten Arbeitstag und die

Streusaison sind durch zusätzliche Möglichkeiten der Techniknutzung, zum Beispiel Wachstumsreglereinsatz oder Pflanzenschutz noch weiter zu verbessern. Die geschätzten 700 Sensorsysteme, die in Deutschland für die Düngung genutzt werden, zeigen deutlich, dass eine Funktionalität und Einsatzsicherheit erreicht ist, um die Praxis zu überzeugen.

Die Praxis hat gezeigt, dass Sensoren in der Regel sicher funktionieren, und auch ohne großes Datenmanagement mit einfachen Stellgrößen die komplexe N-Düngung standortspezifisch optimiert werden kann. So werden N-Überhänge reduziert und die Erntemenge optimiert.

**Stichwörter:** Teilflächenspezifische Düngung, sensorgesteuerte Stickstoff-Düngung, Ertragspotential

### Abstract

Sensor-controlled nitrogen application opened the ability to optimize yield and protein content of cereals. Sensors are measuring chlorophyll and biomass status in the field and use site-specific N fertilization for different yield potentials in the subfields. All presented sensor systems are of great value. They all detect the naturally existing heterogeneity in plant growth. Real-time systems collect data at each pass of the field. Every online system is performing measurements, doze calculation and fertilizer application at one time. Also an offline approach over-

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

### Institut

Fachhochschule Kiel – Fachbereich Agrarwirtschaft, Professur für Landtechnik/Außenwirtschaft

### Kontaktanschrift

Prof. Dr. Yves Reckleben, Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Professur für Landtechnik/Außenwirtschaft, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld, E-Mail: yves.reckleben@fh-kiel.de

### Zur Veröffentlichung angenommen

15. November 2013

laying sensor data with additional information of the field (e.g. soil maps, yield potential or field capacity) has a great potential for further optimization in the future. Many interesting field trials on this subject are running at several research institutions (ATB-Potsdam, FH-Kiel, Hanse-Agro, AgriCon).

The benefits of site-specific fertilizer application depend on the production intensity and the phenology of the specific year. Effects vary from N-saving up to increased yield and quality of sub sites or the whole field. These effects could be demonstrated with the YARA N-Sensor, which is shown in a variety of publications of various institutions in recent years.

Additional use of the technology e.g. the application of growth regulators or plant protection improve the efficiency per working per day and season. Estimated 700 sensor systems are used in Germany for fertilization, this clearly shows the functionality and operational stage of the technology.

The practice has shown that sensors are working well, and even without big data management N fertilization can be optimized with simple control variables, reducing N-excesses and that optimizes the yield.

**Key words:** Site-specific fertilizer application, sensor-controlled nitrogen application, yield potential

## Einleitung

Eine bedarfsgerechte Ernährung der Kulturpflanzen und die damit verbundene Verbesserung der Nährstoffeffizienz – also der eingesetzten Nährstoffmenge im Bezug auf die Erntemenge – ist seit jeher das Anliegen einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion. Das notwendige Maß sichert den sorgsamsten Umgang mit der Natur und eine verbesserte, ökonomisch tragfähige Produktion auch bei schwankenden Weltmarktpreisen.

Seit nunmehr 12 Jahren gibt es Sensoren am Markt, die den Ernährungszustand der Pflanzen messen und in Echtzeit die auszubringende Nährstoffmenge anpassen können.

## Stand des Wissens

Eine Möglichkeit den Ernährungs- und Entwicklungszustand der Pflanzen zu erfassen, ist der Biege- und Widerstand. Hierbei wird mit Hilfe eines Pendels, der im Bestand geführt wird, die Auslenkung gemessen. Je höher der Widerstand ist, desto besser bzw. stabiler ist die Pflanze. Diese Messgröße wird aber nicht nur von dem Ernährungszustand beeinflusst sondern auch durch den Einsatz von Wachstumsreglern (EHLERT et al., 2003). Dieses mechanische System wurde seit 2003 von den Firmen Claas Agrosystems und Müller Elektronik vertrieben und wird seit dieser Saison nicht mehr verkauft (Abb. 3).

Die anderen Mess-Systeme, die derzeit am Markt zur Erfassung des Ernährungs- und Entwicklungszustandes von Pflanzen erhältlich sind, arbeiten indirekt also mit optischen Messgrößen. Diese berührungslosen Systeme erfassen Messgrößen wie Reflektion (YARA N-Sensor & ALS, Crop Circle, CropSpec, Greenseeker und ISARIA) oder Fluoreszenz (MiniVeg N, CropSpec) und schließen von deren Intensität auf den Ernährungszustand. Der große Vorteil der indirekten, berührungslosen Messung ist, dass je nach Montagepunkt des Sensors relativ große Messflächen betrachtet und für die Düngeentscheidung berücksichtigt werden können (Abb. 4 bis Abb. 8).

Die Photosynthese ist der grundlegende Stoffwechselprozess auf der Erde (SCHILLING et al., 2000). 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 photochemischen Reaktionseinheiten (Photosystem I und II) zusammengefasst werden, können aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzung auch unterschiedliche Wellenlängenbereiche des Lichtes absorbieren, was den Absorptionsquerschnitt also die Energieausbeute vergrößert. Die Absorptionsmaxima (= Reflektionsminima), der an der Lichtreaktion beteiligten Pigmente, liegen im blauen und roten Spektralbereich des sichtbaren Lichtes. In Abb. 1 ist ein typisches Reflektionsspektrum von Weizen dargestellt. In den markierten blauen und roten 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 (RECKLEBEN, 2004). 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 (THIESSEN, 2002). Je besser eine Pflanze versorgt ist, desto mehr Strahlung wird im nahen Infrarotbereich reflektiert (REUSCH, 1997). Das Verhältnis zwischen Infrarotreflektion und Reflektion im sichtbaren roten Wellenlängenbereich wird oftmals als Indikator für die Biomasseentwicklung genutzt (THIESSEN, 2002).

In der Fachwelt (REUSCH, 1997; THIESSEN, 2002 und LILIENTHAL, 2012) sind bereits verschiedene Indices verbreitet. Der Infrarot zu Rot Index, der Infrarot zu Grün Index und der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) für die Biomasse oder der Red Edge Inflection Point (REIP), der als Indikator für die Chlorophyllkonzentration (Cchl) und N-Aufnahme genutzt wird. Der NDVI als Biomasseindex ist zu bestimmten Entwicklungsstadien des Pflanzenbestandes nicht mehr geeignet, da bei zu geringer Bestandsentwicklung der Boden das Reflektionsspektrum beeinflusst. Ebenso bei geschlossenem Pflanzenbestand, da hier kaum Variationen im Messwert auftreten – also eine Sättigung eintritt und damit der NDVI schwer als Indikator für eine differenzierte Düngung genutzt werden kann.

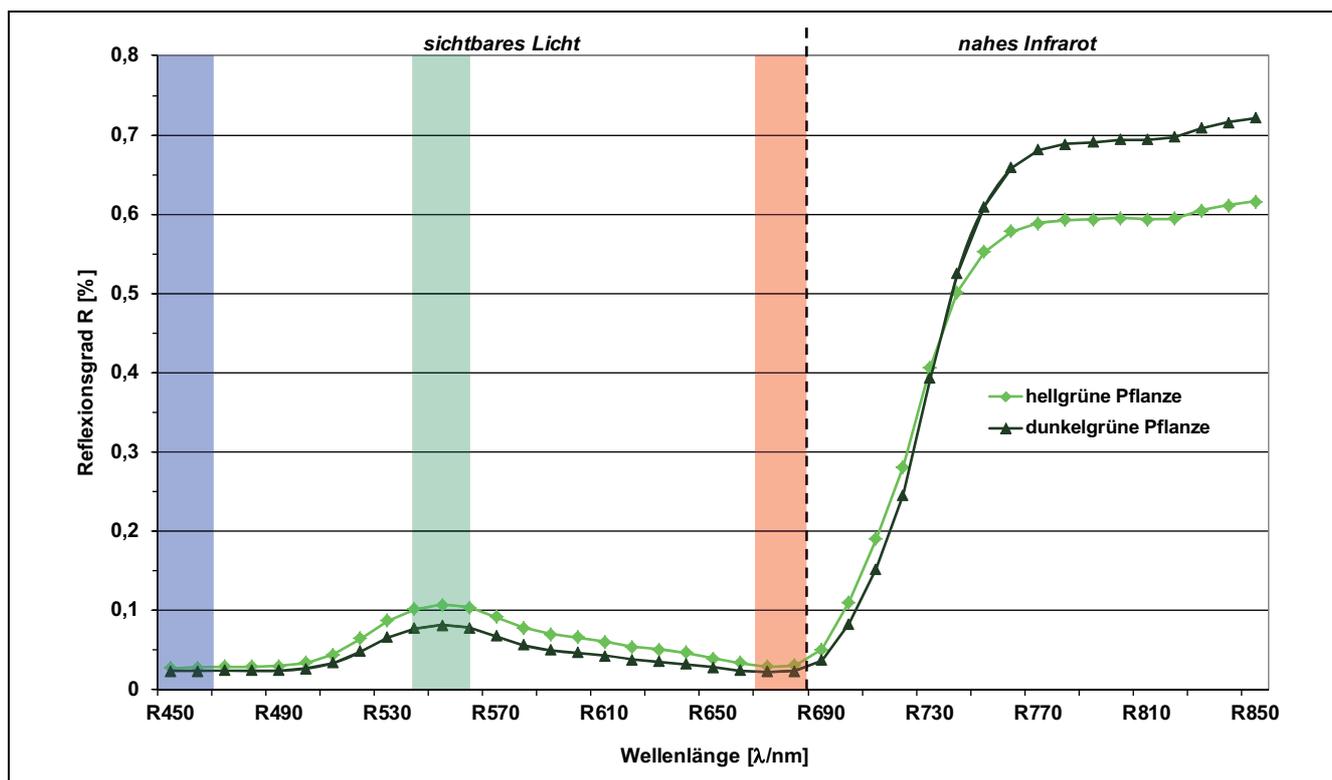


Abb. 1. Reflexionsspektren und zu messende Farbbereiche im sichtbaren Licht und nahen Infrarot (RECKLEBEN, 2004).

Die Chlorophyllkonzentration kann auch über die kurzzeitige Zunahme der Fluoreszenz bei aktiver Belichtung mit einem Laser gemessen werden – wie es zum Beispiel beim MiniVeg N geschieht (THIESSEN, 2002).

### Kalibrierung

Alle Sensoren müssen zum Applikationstermin kalibriert werden (RECKLEBEN et al., 2007), also an die zum Zeitpunkt der Applikation am Standort herrschenden Verhältnisse (Bestandsentwicklung, Düngestrategie, N-Bedarf und sortenspezifische Reflektion) angepasst werden. Für jeden Sensor ist eine freie Kalibrierung verfügbar, das bedeutet man kann als Anwender entscheiden, was der Sensor zum jeweiligen Termin tun soll – wie viel Stickstoff auf den gut versorgten/entwickelten als auch auf den schwach entwickelten Bestand fallen soll. Die absolute Kalibrierung ist derzeit nur für Getreide beim Yara N-Sensor verfügbar. Hier ist die Strategie für jedes Entwicklungsstadium bereits festgelegt und der Anwender entscheidet zur Kalibrierung einzig über das Niveau der N-Düngung und den Regelbereich. Die langjährigen Erfahrungen aus den Steigerungsversuchen der Officialberatung fließen hier ein und bringen Sicherheit in die Sensordüngung auch für unerfahrene Benutzer.

Die Bemessung der Referenz N-Menge kann durch verschiedene N-Bedarfs-Tester wie dem Nitracheck, dem Nitrat-Schnelltest oder dem N-Tester abhängig von der

Sorte und dem Entwicklungsstadium durchgeführt werden.

Das Beispiel in Abb. 2 veranschaulicht den Wechsel des mit dem N-Tester gemessenen 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 müsste man die gesamte Fläche mit den N-Bedarfsmessgeräten bonitieren – was je nach Schlaggröße einen hohen Zeitaufwand bedeutet. Praktischerweise nutzt man die Spot-Kalibrierung an einer Teilfläche. Die 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. 2 ein Bedarf von 30 kg/ha angezeigt wird – anstelle der aus der Bilanz geplanten 70 kg/ha.

Der Landwirt muss außerdem bei der Kalibrierung die maximale und die minimale N-Menge definieren und so den Regelbereich für die jeweiligen Sensoren einstellen. Der Kalibrieraufwand ist nach eigenen Erfahrungen für den YARA N-Sensor mit etwa 10–15 Minuten pro Feld einzuschätzen. Die freie Kalibrierung ist besonders am Anfang als problematisch einzuschätzen, da das Risiko von Fehleinschätzungen groß ist. Eigene Erfahrungen zeigen, dass je länger man mit einem N-Sensor arbeitet, je sicherer wird man in bestimmten Entscheidungen und je näher kommt man an das zu düngende Optimum heran.

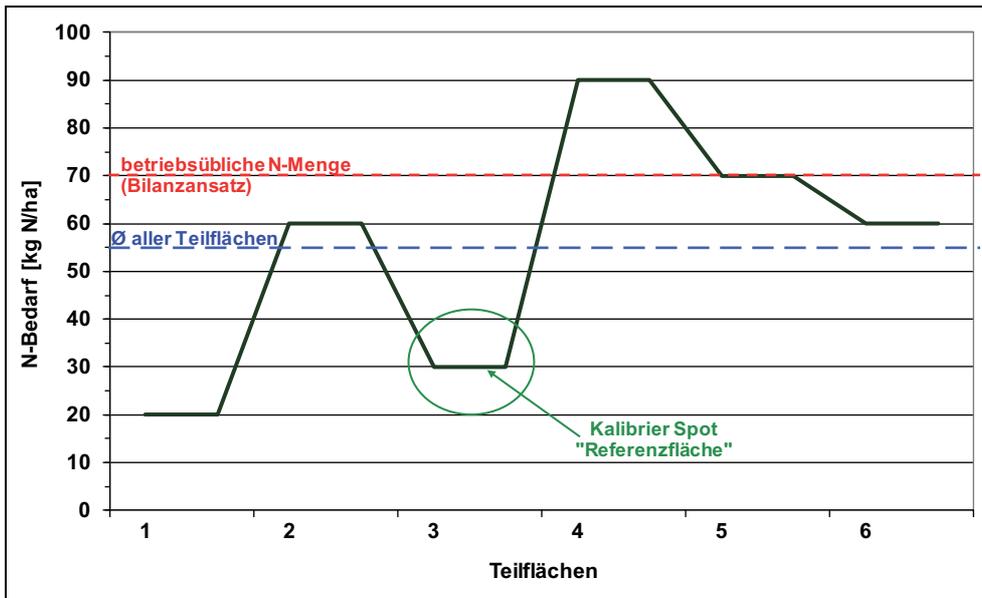


Abb. 2. Möglichkeiten der Kalibrierung eines Sensors, schematisiert (RECKLEBEN et al., 2007).



Abb. 3. Cropmeter (Pendelsensor) im Frontanbau des Traktors.



Abb. 4. Isaria-Sensor im Feldeinsatz.



Abb. 5. YARA N-Sensor ALS auf dem Schlepperdach.



Abb. 6. Greenseeker im Frontanbau des Schleppers.



Abb. 7. Crop Circle im Bestand.



Abb. 8. CropSpec zur Montage auf dem Schlepperdach.

Tab. 1. Sensortechnik zur Stickstoffdüngung (Firmenangaben)

	Crop Meter	Crop Sensor	N-Sensor ALS	Crop Circle	Greenseeker	CropSpec	Isaria	MiniVeg N
Hersteller	Claas Agrosystems	Claas Agrosystems	YARA	Holland Scientific	Trimble	TopCon/Yara	Fritzmeier	Fritzmeier
Messprinzip	mechanisch	optisch	optisch	optisch	optisch	optisch	optisch	optisch
Messgröße	Auslenkung des Pendels (Winkel)	N-Aufnahme, Biomasse	N-Aufnahme, Biomasse	NDVI, Biomasse	NDVI, Biomasse	N-Aufnahme, Biomasse	N-Aufnahme, Biomasse	Cchl*, Fluoreszenz
Blickrichtung in den Bestand	-	senkrecht	schräg	senkrecht	senkrecht	schräg	senkrecht	senkrecht
Montage	Frontanbau	Ausleger im Frontanbau	Schlepperdach	Ausleger im Frontanbau	Ausleger im Frontanbau	Schlepperdach	Ausleger im Frontanbau	Ausleger im Frontanbau
Messfeld	in der Fahrgasse	rechts und links neben der Fahrgasse	rechts und links neben der Fahrgasse	rechts und links neben der Fahrgasse	rechts und links neben der Fahrgasse	rechts und links neben der Fahrgasse	rechts und links neben der Fahrgasse	rechts und links neben der Fahrgasse
Lichtquelle	keine	LED	Xenon Blitzlampe	LED	LED	Laser	LED	Laser
Anzahl Sensoren	1	2	2	2	6	2	2	4
Anwendungszeit pro Tag	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h
Kulturen	Getreide	Getreide, Raps, Mais, Kartoffeln, Rüben, Gras	Getreide, Raps, Gras	Getreide				
EC-Stadium Einschränkungen	ab EC 32	keine	keine/ab EC 29 für absolute Kalibrierung	keine	keine	keine	keine	bis EC 49
Kalibrierung	freie Kalibrierung	freie Kalibrierung	freie und absolute Kalibrierung	freie Kalibrierung	freie Kalibrierung	freie Kalibrierung	freie Kalibrierung	freie Kalibrierung
Praxiseinsatz	seit 2003	seit 2010	seit 1999	seit 2005	seit 2009	ab 2011 erwartet	seit 2009	seit 2005
Bemerkungen	nur im schossonden Bestand		keine	keine	keine	keine	keine	3 cm Abstand des Sensors zur Messfläche
Zusatzausstattung			Wachstumsreglermodul					

\* Cchl – Chlorophyllkonzentration, N-Aufnahme = abgeleitete Messgröße aus Chlorophyllkonzentration

**Tab. 2. Kosten in Euro für die einzelnen Sensorsysteme (Herstellerangaben)**

	Crop Meter	Crop Sensor	N-Sensor ALS	Crop Circle	Greenseeker	CropSpec	Isaria	MiniVeg N
Hersteller	Claas Agrosystems	Claas Agrosystems	YARA	Holland Scientific	Trimble	TopCon/Yara	Fritzmeier	Fritzmeier
Anzahl Sensoren	1	2	2	2	6	2	2	4
Kosten Grundausstattung (netto)	nicht mehr im Vertrieb	17.780	26.850	12.500	24.700	k. A.	16.600	33500 (nicht mehr im Vertrieb)

## Ergebnisse

Die verschiedenen Sensoren unterscheiden sich nicht nur in der Messgröße (Reflexionsindex), sondern auch in ihrer Ausstattung und Funktionalität. Eine Vergleichbarkeit ist nur schwer herzustellen. Die wesentlichen technischen Unterschiede sind in der Tab. 1 zusammengefasst.

Die Systeme zeigen unterschiedliche technische Ausstattungen. Die Sensoreigenschaften und die freie Kalibrierung bieten prinzipiell die Möglichkeit, die Sensoren in allen Pflanzenbeständen einzusetzen. Der Pendelsensor benötigt einen schossenden Bestand und der MiniVeg N benötigt einen definierten Abstand zur Messfläche (3 cm), der zum Ährenschieben kaum eingehalten werden kann.

Der Anbaupunkt erscheint besonders wichtig, denn hierdurch wird die Praktikabilität entscheidend beeinflusst und auch die Größe der erfassten Messfläche. Die Montage der Sensoren auf dem Schlepperdach erleichtert die Arbeit und reduziert die Anfälligkeit für Beschädigungen. Der Abstand zur Messfläche ist dann fix und der schräge Blick des Sensors in den Bestand nötig. Der senkrechte Blick in den Bestand erfordert größere Abstände oder mehr Sensoren, um vergleichbare Messflächen zu erhalten. Je nach Sensorsystem und Sensorposition werden hier im Stand von 0,144 m<sup>2</sup> bis 4 m<sup>2</sup> Bestand erfasst.

Die Kosten für die genannten Sensorsysteme sind in der Tab. 2 aus den Herstellerangaben zusammengestellt und beziehen sich auf die Standardsysteme ohne Zusatzausstattung.

Die Preise schwanken enorm von 13 000 Euro bis 33 500 Euro, daher kommt der Frage nach der Aus-

lastung eine besondere Bedeutung zu. Die Kalkulationen der Hersteller beginnen hier bei 100 ha Getreidefläche, wenn alle positiven Effekte (Mehrertrag, N-Einsparung, Steigerung der Druschleistung und des Proteingehaltes) durch den Sensoreinsatz erreicht werden können. Der Einfluss der Region auf das Ergebnis ist hier nicht zu vernachlässigen. Die Kieler Ergebnisse zeigen, dass bei gleichem Stickstoffaufwand Mehrerträge und höhere Proteingehalte zu erreichen sind. Aus den eigenen Ergebnissen ist eine Mindesteinsatzfläche pro Jahr von 300 bis 400 ha zu empfehlen.

## Literatur

- EHLERT, D., V. HAMMEN, R. ADAMEK, 2003: On-line Sensor Pendulum-Meter for Determination of Plant Mass. Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands. Precision Agriculture (4), pp. 139-148.
- LILIENTHAL, H., 2012: Optische Sensoren in der Landwirtschaft, Grundlagen und Konzepte. JKI Braunschweig, Vortrag auf der Hanse-Agro Wintertagung, 3.2.2012, Isernhagen.
- REUSCH, S., 1997: Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Dissertation, VDI-MEG Nr. 303, Kiel.
- SCHILLING, G., M. KERSCHBERGER, K.-F. KUMMER, H. PESCHKE, 2000: Pflanzenernährung und Düngung. Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer, 464 S.
- THIESSEN, E., 2002: Optische Sensortechnik für den teilflächenspezifischen Einsatz von Agrarchemikalien. Dissertation, VDI-MEG Nr. 399, Kiel.
- RECKLEBEN, Y., 2004: Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs. Dissertation, VDI-MEG Nr. 424, Kiel.
- RECKLEBEN, Y., M. SCHNEIDER, P. WAGNER, J. SCHWARZ, J. HÜTER, 2007: Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung. Darmstadt, KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – Heft 75.
- RECKLEBEN, Y., 2010: Sensorschwemme – Stickstoffdüngung mit Sensoren, welche gibt es und was können sie. Berlin, DLV-Verlag, Neue Landwirtschaft, 4/2010, S. 81-84.