

# Sensorsysteme zur Bestandesführung

Sensorsysteme zur Bestandesführung 4.1.0 Seite 1181

**Dr. Yves Reckleben**

**Sensorsysteme zur Bestandesführung**

**Vortrag RKL-Tagung am 6. Januar 2005 in Neumünster**

**Dr. sc. agr. Yves Reckleben ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel, Olshausenstr. 40-60, 24098 Kiel, Tel. 0431-880-2355.**

<b>Gliederung</b>		<b>Seite</b>
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1183</b>
<b>1.1</b>	<b>Boden (EM 38)</b>	<b>1183</b>
<b>1.2</b>	<b>Pflanzenbestand</b>	<b>1188</b>
<b>1.2.1</b>	<b>„offline“ Systeme (Agro Sat, Kemira)</b>	<b>1189</b>
<b>1.2.2</b>	<b>„online“ Systeme (Crop Meter, Yara N-Sensor, MiniVeg N)</b>	<b>1192</b>
<b>2.</b>	<b>Fazit</b>	<b>1201</b>

## **1. Einleitung**

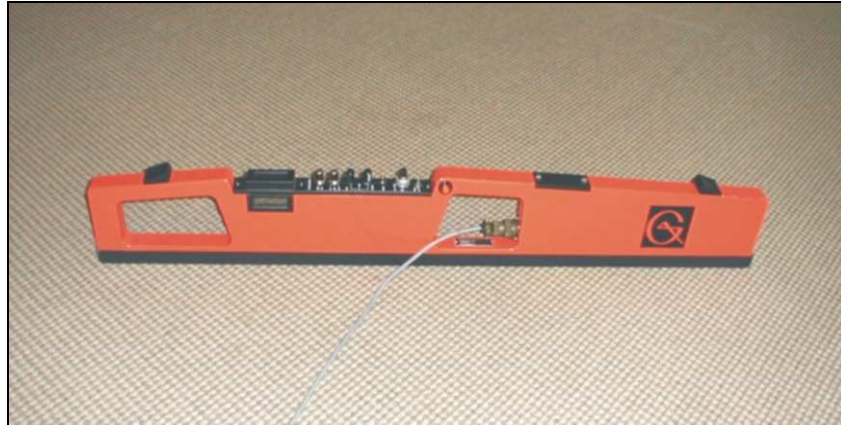
Die Entwicklung des Pflanzenbestandes hängt von vielfältigen Faktoren (Boden, Nährstoffversorgung und Witterung) und deren Wirkintensität ab. Das Resultat der differenzierten Wirkung ist in Variabilität von Ertrag und Proteingehalt messbar.

Die gezielte Ausnutzung der Information des Bodens oder des Pflanzenbestandes zur Ableitung produktionstechnischer Konsequenzen hat in den letzten Jahren zu einer steten Verbesserung der Ergebnisse und schließlich der Produktionstechnik geführt.

Sensor- und Managementsysteme können die Variabilität des Bodens oder unterschiedliche Bestandesentwicklung erfassen und dokumentieren sowie danach N-Düngungs- und Pflanzenschutzapplikationen anpassen. Aus praktischer Sicht sollen nachfolgend die Systeme, die Messparameter und der Nutzen aus der Anwendung beschrieben werden.

### **1.1 Boden (EM38)**

Der Boden als naturgegebener Heterogenitätsfaktor hat einen großen Einfluss auf die Bestandesentwicklung und den Ertrag. Eine konstante, schlageinheitliche Bewirtschaftung lässt an der Heterogenität von Ertrag und Proteingehalt die Unterschiede in der Ertragsfähigkeit des Bodens auf dem Schlag deutlich werden. Es gilt also, diese Unterschiede messtechnisch zu erfassen. Dazu nutzt man die unterschiedlichen, physikalischen Eigenschaften der Textur. Je nach Sand- oder Tonanteil ändert sich die Leitfähigkeit. Darauf beruht das Messsystem EM38 (s. Abb. 1).



**Abb. 1: EM38 Messgerät der Firma Geonics in Kanada**

Dies hat sich in den letzten Jahren in der landwirtschaftlichen Praxis als Methode entwickelt, um schnell und genau die Feinerdeanteile (Ton und Schluff) bestimmen zu können. Das erspart den Aufwand für die klassische Profilansprache und die Schlämmanalyse. Bei der Leitfähigkeitsmessung wird das Messgerät auf einem PVC-Schlitten (s. Abb. 2) in 6 bis 7 m Entfernung hinter dem Fahrzeug in den Fahrgassen gezogen, frei von magnetischen Einflüssen des Fahrzeuges. Eine Sendespule (s. Abb. 3) im Messgerät sendet dabei ein elektromagnetisches Wechselfeld (14.6 kHz) in den Boden. Dort werden sekundäre Felder hauptsächlich an Tonteilchen induziert, da hier die meisten Nährstoffe als Ionen gebunden sind. Eine Empfängerspule registriert die Stärke dieser sekundären Magnetfelder. Mit Hilfe dieser Messwerte ist nun eine relative Aussage über den Feinerdeanteil möglich: hohe elektrische Leitfähigkeit bedeutet einen hohen Feinerdeanteil. Andere Einflussgrößen wie der Wassergehalt des Bodens beeinträchtigen die Messung. Daher sollte die EM38-Messung entweder im Frühjahr bei 100 % nFK oder im Sommer nach der Ernte nahe dem Permanenten Welkepunktes (PWP) durchgeführt werden, um eine Beeinflussung auszuschließen.

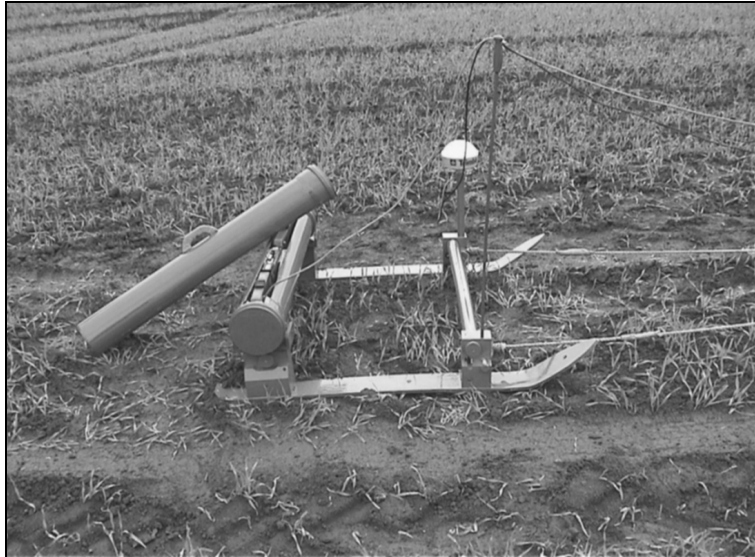


Abb. 2: Messschlitten für das EM38

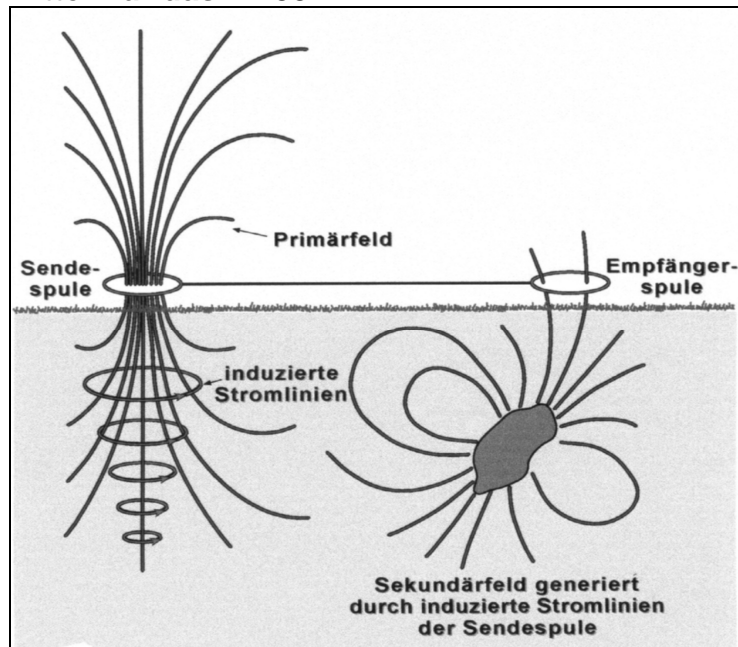


Abb. 3: Messprinzip des EM38 (Foto: Fa. AgriCon 2004)

Die Anwendung des Messgerätes ist recht einfach, da es der Schlepper oder Geländewagen schnell (10-15 km/h) über die Fläche zieht. Je nach Abstand, z.B. Fahrgasse, schafft man 100 bis 150 ha/Tag. Gleichzeitig wird mit dem GPS die Position aufgenommen. Also erhält man in enger Folge Daten zum Boden – wesentlich effizienter als bei der Bodenschätzung.

Der Wert der EM38-Daten liegt darin, dass sie mit klassischen Kenndaten des Bodens und mit dem Ertrag korrelieren. Das veranschaulichen Ergebnisse aus eigenen Messungen, die vom Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik

– gemeinsam mit der Bodeninformatik Kiel – in Schleswig-Holstein durchgeführt sind.

Zunächst soll der Messwert des EM38 und seine Beziehung zum Ertrag betrachtet werden. Da das Niveau der Leitfähigkeitsmessungen von Schlag zu Schlag unterschiedlich ist – aufgrund der Variabilität der Textur – ist es aus Gründen der Vergleichbarkeit nötig, Zonen mit gleicher Leitfähigkeit zu Klassen zusammenzufassen.

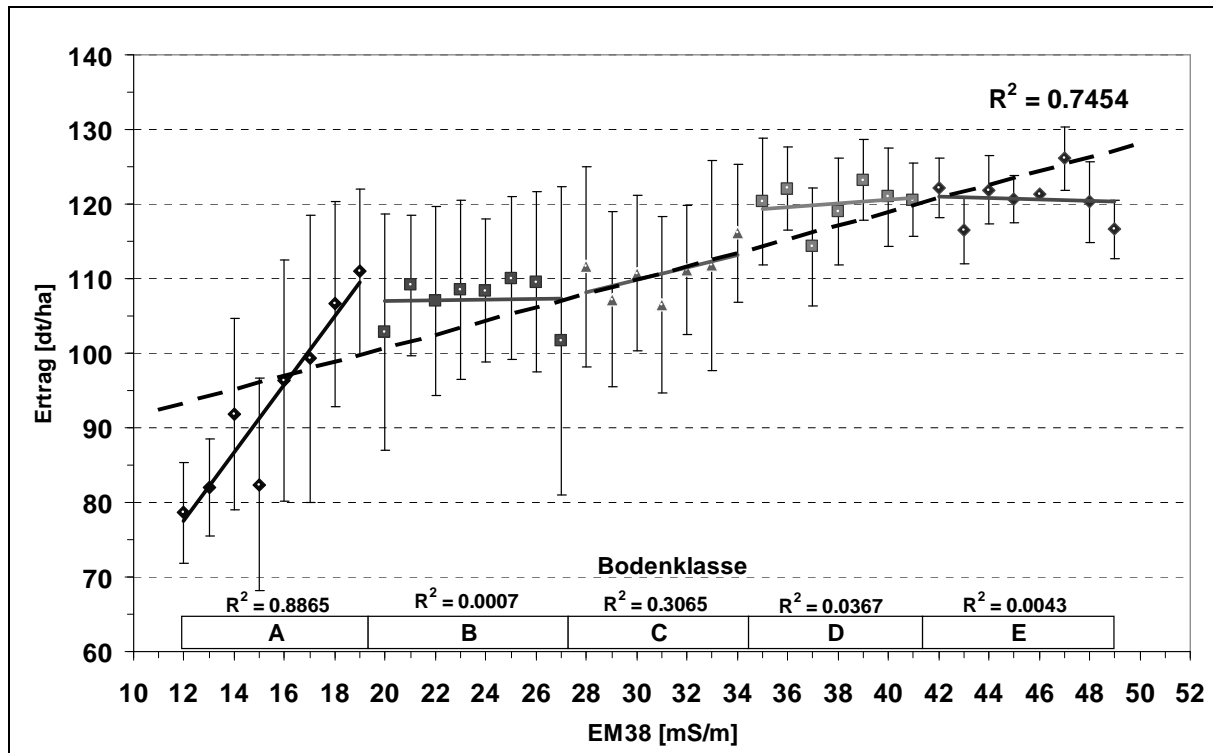


Abb. 4: Ertrag nach EM38-Messwert und Bodenklasse, Winter Weizen, Sorte Skater

Anhand der Daten in Abb. 4 wird deutlich, dass der Ertrag mit steigender elektrischer Leitfähigkeit, gemessen in mS/m (Millisiemens pro m Bodentiefe) zunimmt. Die Streuung der Messwerte nimmt hingegen ab. Die Messwerte in den einzelnen Klassen (A bis E) zeigen bei der Regressionsanalyse sehr unterschiedliche Verläufe. Besonders in Klasse A mit den geringsten Leitfähigkeiten findet sich eine hohe Korrelation zwischen Ertrag und Leitfähigkeit. Der Ertrag steigt, bei einheitlicher Düngung um 32 dt/ha. In den weiteren Klassen ist der Effekt nicht so geprägt. Damit werden die Teilflächen mit geringem und hohem Ertragspotenzial gekennzeichnet.

Im nächsten Beispiel sollen klassische Bodeninformationen der Reichsbodenschätzung und hier speziell die Ackerzahl mit dem neuen EM38-Messwert in

Beziehung gesetzt werden. Die Ackerzahl als Summenparameter aus Textur, Hangneigung und Witterung zur Kennzeichnung des Ertragspotenzials wurde bewusst gewählt, da auch der EM38-Messwert ein Mischsignal aus Textur, Wasser- und Nährstoffversorgung ist, die ebenfalls direkt den Ertrag beeinflussen.

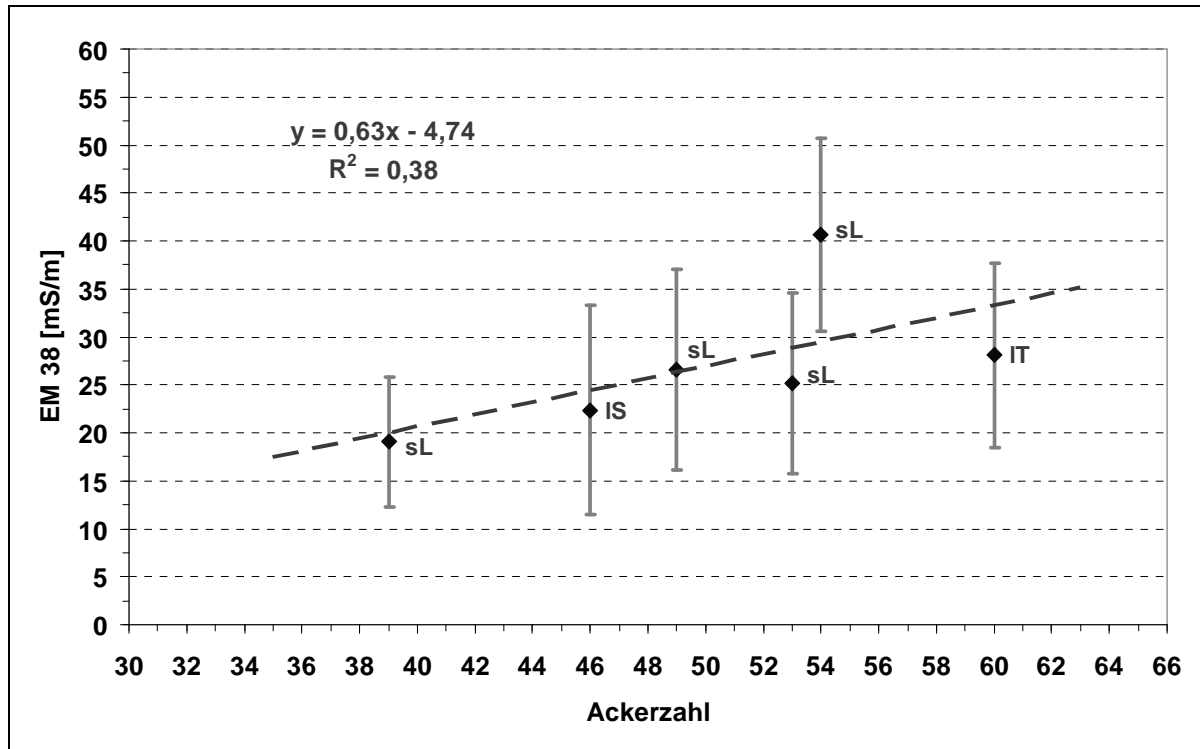


Abb. 5: EM38-Messwert in Abhängigkeit von der Ackerzahl und Textur der Reichsbodenschätzung

In Abb. 5 zeigt sich, dass gleiche Texturen eines Schlates unterschiedliche Ackerzahlen aufweisen und die Beziehung zwischen Leitfähigkeitswert in mS/m und Ackerzahl, ausgedrückt durch das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), gering ist. Gerade hierdurch zeigt sich der enorme Nutzen einer sensorbasierten Erfassung, die frei von subjektiven Einflüssen und aufgrund der hohen Zahl von Messergebnissen sehr genau ist.

Der Nutzen für die teilflächenspezifische Anwendung ist hoch, da die Daten in hoher räumlicher Auflösung aufgenommen werden. Eine teilflächenspezifische Betrachtung und Verwendung der Daten für die Bodenbearbeitung, die Aussaat oder eine gezielte Düngung (Haupt- und Spurennährstoffe, Faktorkarten) ist gegeben. Besonders die Nährstoffbeprobung, die meist im starren Raster erfolgt, kann mit den Leitfähigkeitswerten des Bodens weiter optimiert werden und zu einer intelligenteren Beprobung führen. Das Messsystem hat sich in

den letzten Jahren in der Wissenschaft und Praxis durchgesetzt (vgl. TUM, ATB, preagro, Uni Kiel, AgriCon).

Die Kosten für den Einsatz kalkulieren sich wie folgt (vgl. Tabelle 1):



Tabelle 1: Kosten EM38

Gerätekosten [€]	ca. 15.000	
(D)GPS-Empfänger [€]	ca. 4.000 (sofern nicht vorhanden)	
Datenmanagement	20 bis 60 Minuten/Feld	
Dienstleister	(Quelle: Firma AgriCon 2004/2005)	
Betriebsgröße [ha]	300	1000
Listenpreis [€/ha]	6,00	5,80

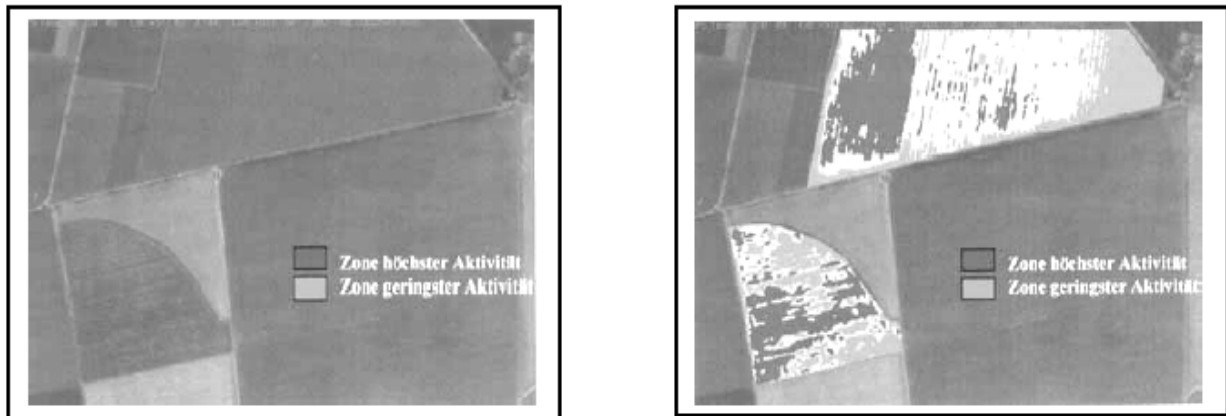
Ob sich eine Anschaffung des Systems für den eigenen Betrieb lohnt, kann anhand der in Tabelle 1 aufgeführten Kosten überprüft werden. Die Kosten je Hektar sind gering, gelten die Werte doch für Jahre. Gemessen am Nutzen der Information des EM38 ist das Preis/Leistungsverhältnis sehr gut, da man schnell und genau die kleinräumige Heterogenität des Bodens erfassen kann und das so Reproduzierbarkeit der Daten gewährleistet ist. Das EM38 ist ein Messsystem, das frei von subjektiven Einflüssen genaue Informationen liefert korreliert sehr gut mit der Zielgröße Ertrag und lässt so die Möglichkeit zur teilflächenspezifischen Anpassung von produktionstechnischen Maßnahmen.

## 1.2 Pflanzenbestand

Nachfolgend sollen Sensor- und Managementsysteme zur Bestandesführung dargestellt werden. Hierfür werden die Systeme in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe umfasst die Systeme der Firmen KEMIRA GrowHow GmbH und Agro-Sat Consulting GmbH, beide Systeme stellen „offline“ Managementsysteme dar, bei denen zwischen der Datenerhebung, der Maßnahmenplanung und der Applikation mehrere Tage vergehen. Die zweite Gruppe umfasst die „online“ Systeme Crop-Meter, YARA N-Sensor<sup>®</sup> und Fritzmeier MiniVeg N, die in Echtzeit den Bestand erfassen, den Düngebedarf ermitteln und an den Düngestreuer die Menge weiterleiten, der den Dünger dann teilflächenspezifisch ausbringt.

### 1.2.1. „offline Systeme“ (Agro Sat, Kemira)

Das Prinzip der beiden offline Management Systeme von Agro-Sat und Kemira ist annähernd gleich: Aus Fernerkundungsdaten (z.B. Luftbilder, Satellitenbilder) werden Biomassekarten generiert. Ausgehend von der altbekannten Beziehung, dass gut mit Stickstoff versorgte Bestände aufgrund der üppigen Entwicklung und hoher Chlorophyllbildung sehr dunkelgrün erscheinen, da im sichtbaren Licht vom Chlorophyll nur die Komplementärfarbe Grün reflektiert wird und im infraroten Licht die Reflexion bei guter Bestandesentwicklung (Blattfläche) stärker ist, kann auf die Stickstoffversorgung der Bestände geschlossen werden. Das Agro-Sat System wurde für das „Mitteldeutsche Trockengebiet“ der neuen Bundesländer entwickelt. Die Daten werden vor dem Applikationstermin, bei klarer Sicht mit Digitalkameras aus dem Flugzeug in ca. 3.300 m Höhe aufgenommen und zu Biomassekarten verrechnet.



**Abb. 6:** Agro-Sat Luftbild (links) und errechnete Aktivitätskarte des Bestandes (rechts) dunkel = hohe Aktivität, hell = geringe Aktivität; Quelle: Agro-Sat Consulting GmbH, 2004; Internet: <http://www.agro-sat.com>

## **Zusammenfassung „Offline“ Systeme**



	<b>Agro-Sat</b>	<b>Loris® Maps</b>
Zeitpunkt der Befliegung	EC 25-31	EC 25-31
mehrfach Befliegung	Nein (aber möglich)	Nein (aber möglich)
Bearbeitungszeit [h]	48	48
Einsatzregion	Mitteldeutsches Trockengebiet	Norddeutschland
Kulturen	Getreide/Raps/Mais	Getreide/Raps/Mais
mindest Auftragsfläche [ha]	-	50
Befliegungskosten [€/ha]	0,99	8,0
Applikationskarte [€/ha]	1,50	inklusive

## **„Offline“ Systeme**



### Fazit:

- beide Systeme vermitteln Informationen zur Heterogenität des Bestandes zum Befliegungstermin (Auflösung: 1 Pixel = 3 m<sup>2</sup>)
- bedarfsgerechte Anpassungen der Ausbringungsmenge sind möglich
- Praxiseinführung ist erfolgt
- keine Applikation ohne Datenvorbereitung am PC
- zwischen Messung und Ausbringung vergeht Zeit, in der sich der Bestand weiterentwickelt (z.B. Messung EC 30, Ährengabe bei EC 49)

Das Kemira-System „Loris® Maps“ funktioniert ähnlich, auch hier wird bei klarer Sicht zu Terminen EC 25 bis 30 eine Befliegung durchgeführt und Luftbilder aufgenommen (vgl. Abb. 7) aus denen dann Biomassekarten errechnet werden.

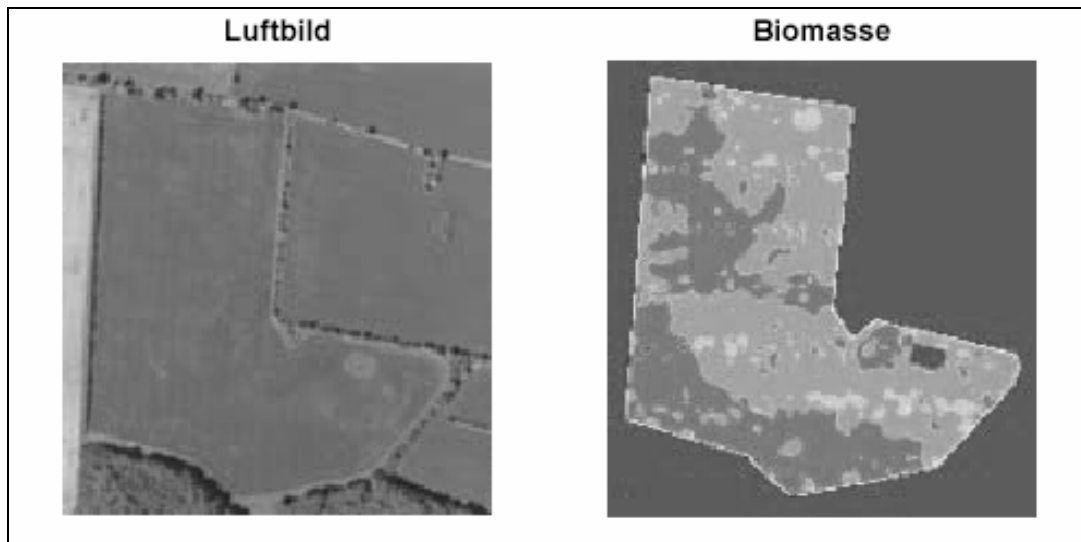


Abb. 7: Loris® Maps bei EC 25-30, links Luftbild und rechts daraus errechnete Biomasse, dunkle Farbe = viel Biomasse, helle Farbe = wenig Biomasse (Quelle: Kemira GrowHow 2004, Internet: <http://www.kemiragrowhow.com>)

Die Biomassekarten können dann mit bereits vorhandenen Standortinformationen (Boden, Ertrag oder Ertragspotenzial) kombiniert werden. Das Ergebnis der Auswertung ist eine Streukarte für jede Düngegabe, in der bestimmte Bestandesentwicklungen zu so genannten Managementzonen zusammengefasst sind. Die Firma Agro-Sat definiert mit dem Landwirt 3 Ertragspotenzial-Zonen (hoch, mittel, niedrig), in denen drei angepasste Düngermengen ausgebracht werden. Die Firma Kemira unterteilt den Bestand in Abstimmung mit dem Landwirt in unterschiedliche Managementzonen, das können auch mehr als drei sein und legt hier die auszubringenden Applikationsmengen fest.

### Zusammenfassung „offline“ Systeme

Beide Luftbildsysteme vermitteln sehr gute Informationen zur Heterogenität des Bestandes und ermöglichen so gezielte Vor-Ort-Bonituren. Aus den Daten können dann gezielte teilflächenbezogene Applikationen für Stickstoff, Pflanzenschutzmittel (Halmstabilisatoren, Fungizide) und andere Nährstoffe aus den Vor-Ort-Bonituren durch gezielte Beprobung ermittelt und abgeleitet werden. Die Applikationskarten werden dann vom Anbieter (in Abstimmung mit dem Landwirt) im GIS geplant und als Streukarte dem Landwirt digital zur Verfüg-

gung gestellt. Die Streukarte kann dann vom Landwirt mit seinem Ausbringgerät (Düngerstreuer oder Pflanzenschutzspritze) in Verbindung mit einem GPS-Empfänger ausgebracht werden.

**Tabelle 2: Luftbildgestützte Bestandesführung im "offline" Ansatz**

	<b>Agro-Sat</b>	<b>Kemira Loris® Maps</b>
<b>mindest Auftragsfläche [ha]</b>	-	<b>50</b>
<b>Befliegung [€/ha]</b>	<b>0,99</b>	<b>8,0</b>
<b>Bearbeitungszeit [h]</b>	<b>48</b>	<b>48</b>
<b>Applikationskarte [€/ha]</b>	<b>1,50</b>	<b>inklusive</b>

Beide Systeme benötigen zusätzlich einen GPS-Empfänger und einen elektronisch ansteuerbaren Düngerstreuer bzw. eine Pflanzenschutzspritze, um die für die jeweilige Teilfläche geplante Applikationsmenge elektronisch zum Ausbringgerät weiterzuleiten.

Die Daten können außerdem auch für Anpassung von Pflanzenschutzapplikationen genutzt werden.

Als Nachteil dieser offline Systeme ist die Zeitspanne bei angebotener Einmalbefliegung (Messtermin EC 25-31) und den späteren Applikationsterminen zum Ährenschieben oder zur Blüte (N4), hier kann sich der Bedarf des Bestandes durch unterschiedliche Bodenbedingungen und Niederschläge ändern.

### **1.2.2 „online“ Systeme (Crop-Meter, Yara N-Sensor, MiniVeb N)**

Online Systeme zur Bestandesführung ermöglichen die teilflächenspezifische Messung, Berechnung und Ausbringung in einem Arbeitsgang – während einer Überfahrt. Auch diese Systeme nutzen indirekt messbare Parameter des Pflanzenbestandes (Chlorophyllgehalt, Biegegegenstand) zur Ableitung des Nährstoffbedarfes. Diese Sensorsysteme werden am Fahrzeug montiert und messen einen Ausschnitt des zu düngenden Bestandes. Die Festlegung der zu düngenden N-Menge erfolgt durch den Landwirt zum jeweiligen Applikationstermin durch die Kalibrierung, angepasst an die Sorte und das Ertragsziel. Es gibt derzeit drei verschiedene Sensorsysteme am Markt, die unterschiedliche Bestandesinformationen messen.

Das sind das Crop-Meter, der YARA N-Sensor<sup>®</sup> und der Fritzmeier MiniVeg N. Alle Systeme sollen nachfolgend kurz beschrieben und anschließend miteinander verglichen werden.

Das Crop-Meter wurde am Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB) entwickelt und wird seit der Agritechnica 2003 von den Firmen Müller-Elektronik GmbH & Co. KG und AGROCOM GmbH & Co. Agrarsysteme KG vertrieben.

Der Sensor (vgl. Abb. 8) wird im Frontanbau am Schlepper befestigt und besteht aus einem pendelnd aufgehängten, zylinderförmigen Körper, der bei konstanter Höhenführung und Geschwindigkeit von der Standfestigkeit des Bestandes nach hinten (zum Fahrzeug) ausgelenkt wird. Der so gemessene Biege widerstand des Bestandes dient hier als Indiz für die Entwicklung – je höher der Biege widerstand (die Auslenkung des Pendels), desto besser ist der Bestand entwickelt.



Abb. 8: Crop-Meter Echtzeitsensor zur Bestandesführung, Foto: ILV, Kiel

Das Messprinzip in Abb. 9 zeigt schematisiert das Pendel im Bestand in der Fahrgasse. Gemessen wird der Winkel ( $\alpha$ ), die Größe des Winkels ist abhängig von der Vorfahrtgeschwindigkeit ( $V_F$ ), der Länge des Pendels ( $l_P$ ), der Masse des Pendels ( $m_P$ ), der Höhe des Pendels ( $h_{A0}$ ) im Bestand und vom Bestand (Bestandesdichte:  $m_{Hi}$ , Biege widerstand:  $w_{bi}$ ). Will man mit dem Sensor Rückschlüsse auf den Bestand ziehen, so ist es erforderlich, alle Einflussfaktoren ( $V_F$ ,  $l_P$ ,  $m_P$  und  $h_{A0}$ ) so konstant wie möglich zu halten. Die Höhe des Pendels im Bestand wird durch einen mechanischen Entfernungssensor zur Bodenoberfläche gemessen, um unterschiedliche Spurtiefen durch hydraulische Auf- und Ab- Bewegungen des Sensors auszugleichen. Die Fahrgeschwindigkeit hat ei-

nen großen Einfluss auf den Messwert und muss daher gleich bleiben. Dies kann sich speziell bei kupiertem Gelände, beim Wenden und beim An- und Abfahren als schwierig erweisen und ist daher bei der Applikation zu berücksichtigen. Einen gewissen Einfluss hat auch die Neigung des Schleppers in Fahrtrichtung. Für die Anwendung muss der Bestand eine ausreichende Dichte und Größe aufweisen. Für eine teilflächenspezifische Applikation ist eine Kalibrierung des Systems zum Düngetermin notwendig. Das bedeutet, der maximalen und minimalen Auslenkung werden N-Mengen zugewiesen und so die Regel-funktion festgelegt. Anhand dieser Funktion kann der Sensor die zu düngende N-Menge errechnen und zum Streuer weiterleiten. Außerdem wird so der maximale Arbeitsbereich für den Sensor festgelegt, innerhalb dieses Bereiches wird die zu düngende N-Menge vom Crop-Meter selbst errechnet und appliziert. Er ist bei Getreide zu allen Düngeterminen, allerdings erst ab EC 34, einsetzbar. Mit dem Crop-Meter konnten nach Herstellerangaben in Praxisversuchen Mehrerträge von 3,2 % erreicht werden.

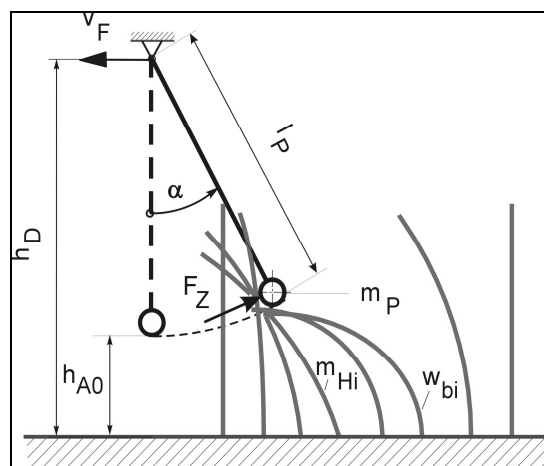


Abb. 9: Messprinzip Crop-Meter, Quelle: Ehlert, ATB

Der YARA N-Sensor<sup>®</sup> ist der am längsten am Markt erhältliche Sensor zur teilflächenspezifisch angepassten Stickstoffdüngung, seit 2000 ist dieses System käuflich zu erwerben. Der YARA N-Sensor<sup>®</sup> ist ein passives optisches System. Er misst die natürlich einfallende Tageslichtintensität im Bestand und die Reflexion des nicht absorbierten Anteils. So sind Rückschlüsse auf die absorbierte Lichtmenge unabhängig von den Einstrahlungsbedingungen (Sonne, Wolken) möglich. Das Messprinzip beruht auf dem bereits geschilderten Zusammenhang, dass gut mit Stickstoff versorgte Bestände ein anderes Reflexionsspektrum aufweisen als schwach versorgte Bestände. Je besser eine Pflanze oder ein Bestand versorgt ist, desto mehr photosynthetisch aktive Biomasse wird gebildet. Das Chlorophyll als Blattfarbstoff ist maßgeblich an der Photosynthese beteiligt, je mehr Chlorophyll in der Pflanze enthalten ist,

desto (dunkel)grüner erscheint sie. Das wird durch das Chlorophyll selbst bedingt, da die Absorptionsmaxima für das natürliche Sonnenlicht im blauen und roten Lichtbereich liegen und die Komplementärfarbe grün als einzige kaum absorbiert sondern hauptsächlich reflektiert wird.

Der YARA N-Sensor<sup>®</sup> wird auf dem Schlepperdach (vgl. Abb. 10) montiert. Die erfasste Messfläche (vgl. Abb. 11) beträgt nach Herstellerangaben 225 m<sup>2</sup> und ist abhängig von der Höhe über dem Bestand und der Fahrgeschwindigkeit.



Abb. 10: YARA N-Sensor<sup>®</sup> auf dem Schlepperdach, Foto: ILV Uni-Kiel

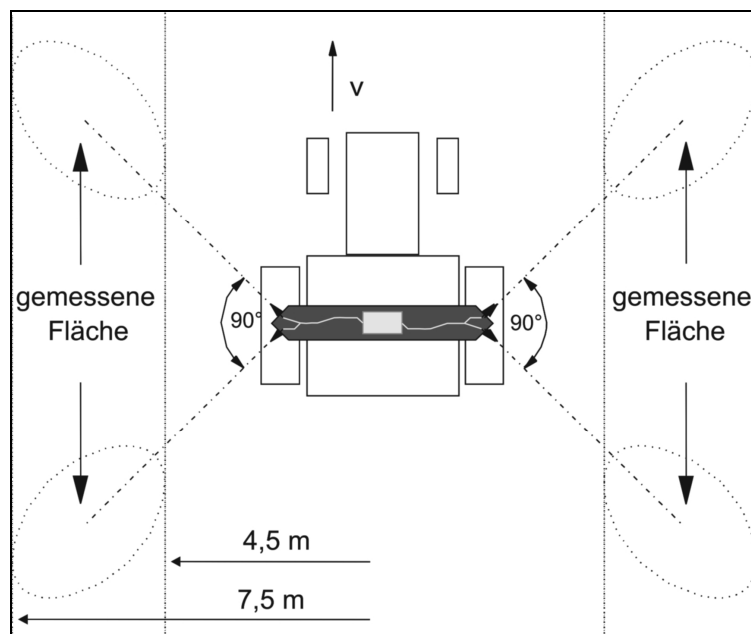


Abb. 11: Messgeometrie N-Sensor<sup>®</sup>, Quelle: Quelle: YARA, 2004



Der N-Sensor<sup>®</sup> ist zu jedem Düngetermin einsetzbar. Einzig bei einem zu geringer Sonnenstand (<25) und völliger Dunkelheit funktioniert das System nicht.

Der zu N1 schwach entwickelte, dünne Bestand ist zu diesem Zeitpunkt nicht aufgrund eines Stickstoffmangels schwach entwickelt, sondern die Bestandesunterschiede sind witterungsbedingt. Daher empfiehlt der Hersteller YARA einen Einsatz ab dem Ende der Bestockung (EC 29), da hier der Bestand durch Stickstoff-Versorgungsunterschiede optisch zeichnet.

Der N-Sensor<sup>®</sup> muss zum Applikationstermin ebenfalls kalibriert werden. Das geschieht, in dem man dem N-Sensor<sup>®</sup> einen Referenzbestand zeigt, hier die Reflexion misst und anschließend dem gemessenen Reflexionswert eine Referenz N-Menge zuweist. Die Bemessung der Referenz N-Menge kann durch verschiedene Hilfsmittel Nitracheck, Nitrat-Schnelltest oder YARA N-Tester<sup>®</sup> abhängig von der Sorte und dem Entwicklungsstadium durchgeführt werden. Außerdem kann der Landwirt bei der Kalibrierung noch die maximale und die minimale N-Menge definieren und so den Regelbereich für den Sensor einstellen. Dem N-Sensor<sup>®</sup> sind vom Hersteller unterschiedliche Regelfunktionen hinterlegt, die in Abb. 12 dargestellt sind.

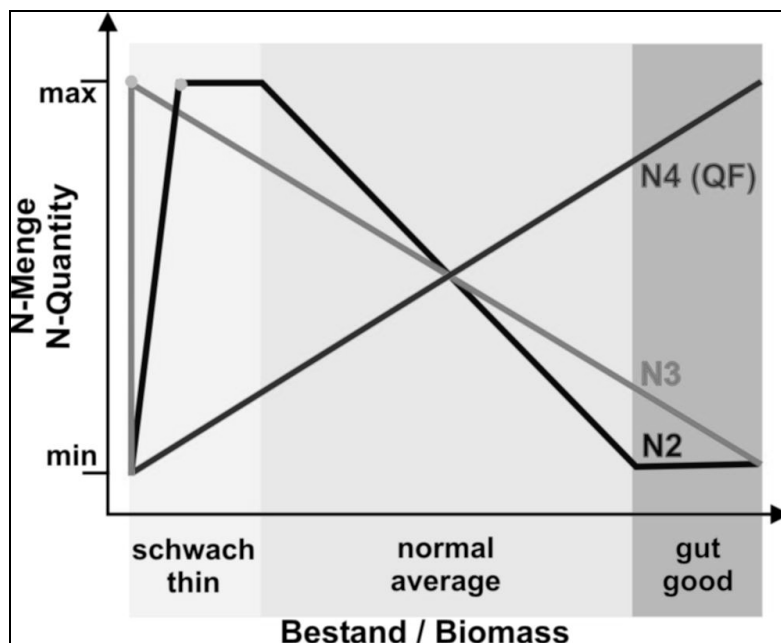


Abb. 12: Regelfunktionen des YARA N-Sensor<sup>®</sup> abhängig vom Düngetermin und der Bestandesentwicklung

Die Regelfunktionen zu N2 und N3 werden ab einer bestimmten (bei der Kalibrierung zu definierenden) Bestandesentwicklung auf die minimale N-Menge reduziert, dies ist für Fehlstellen oder Trockenstress gedacht, die sonst aufgrund

des Reflexionssignals als extrem düngedürftig eingestuft würden. Messtechnisch ist der N-Sensor<sup>®</sup> in der Lage, Trockenstress bereits 2 bis 3 Tage vor dem Sichtbarwerden von typischen Wassermangelsymptomen (Einrollen der Blätter bis hin zur Graufärbung des Bestandes) zu erkennen. So kann eine Überdüngung von gefährdeten Bestandesteilen vermieden werden.

Eine weitere wichtige Funktion bezeichnet der Anbieter als N4 QF bezeichnete. Diese soll nach Herstellerempfehlung ab einem Entwicklungsstadium von größer EC 59 eingesetzt werden und hier speziell die Stickstoffeinlagerung ins Korn unterstützen. Die Funktion bietet sich in Regionen, in denen Wasser nicht als limitierender Faktor gilt, als Qualitätsgabe an, da so der zu diesem Zeitpunkt photosynthetisch aktive Bestand gezielt mit extra Stickstoff versorgt wird, der als Protein im Korn eingelagert werden kann und so die Qualität des Ernteproduktes steigert.

Als Einflussgrößen auf die Reflexionsmessungen mit dem N-Sensor<sup>®</sup> sind neben der Lichtintensität auch andere Nährstoffe, die den Habitus und die Grünfärbung beeinflussen, denkbar. Auch hier gilt wie bei allen vorgestellten Systemen eine Anwendung nach guter fachlicher Praxis. Das heißt: nur wenn Stickstoff das Problem ist, sollte man mit dem N-Sensor<sup>®</sup> arbeiten. Abweichungen der erwarteten Sensorwerte geben Anlass, die Ursache (andere Nährstoffe, Pilzbefall) zu ergründen.



Abb. 13: MiniVeg N im Frontanbau des Schleppers, Quelle: Fritzmeier, 2004

Wechselnde Lichtverhältnisse beeinträchtigen die kontinuierliche Messung kaum und konnten in den eigenen Untersuchungen über 3 Jahre nicht nach-

gewiesen werden. Der N-Sensor<sup>®</sup> ist für alle Getreidearten, Raps und Mais sowie Kartoffeln einsetzbar und mit Regelfunktionen für diese Fruchtarten ausgestattet. Es gibt eine Vielzahl von Versuchen unterschiedlicher Institutionen (Hydro/YARA, AgriCon, Feiffer Consult, ILV Uni Kiel), die den Nutzen des Systems belegen. Daher sei an dieser Stelle nur auf die eigenen Ergebnisse aus Kiel seit 2002 verwiesen. In denen in den letzten 3 Jahren konnte im Mittel von 6 Versuchen auf insgesamt 180 ha Versuchsfläche, ein um 4,6 dt/ha höherer Ertrag und ein um 0,5% höherer Proteingehalt im Vergleich zur konstanten Düngung erzielt werden.

Der MiniVeg N wurde von der Technischen Universität München (TUM) und der Firma Fritzmeier entwickelt. Das Sensorsystem ist ein aktives (mit eigener Lichtquelle „LASER“ ausgestattet) Messgerät zum Chlorophyllmonitoring. Der MiniVeg N wird im Frontkraftheber des Schleppers montiert und besteht aus 4 unabhängigen Sensoren, die senkrecht in den Bestand schauen (vgl. Abb. 13). Die Arbeitsbreite des Systems im Frontanbau beträgt 6 m.

Jede Messung besteht aus einer optischen Anregung des Chlorophylls im Blatt durch das LASER-Licht. Hierbei werden die Photosysteme, zusätzlich zum Sonnenlicht, angeregt und die darin enthaltenen Elektronen kurzzeitig – für die Dauer der Bestrahlung – auf ein höheres Energieniveau gehoben. Nach dieser Anregungsphase fallen die Elektronen auf ein geringeres Energieniveau zurück und geben dabei Energie ab – sie fluoreszieren. Die Abgestrahlte Fluoreszenzenergie wird nun von einem Detektor in der Intensität bestimmt: je höher die Energiemenge, desto mehr Chlorophyll. Die so gemessene „kinetische“ Fluoreszenz findet bei allen Pflanzen kurzzeitig statt. Eine „kontinuierliche“ Fluoreszenz findet auch immer statt. Sie wird durch die kinetische Fluoreszenz kurzfristig überlagert und kann so in Abhängigkeit vom Chlorophyllgehalt für Rückschlüsse auf den Ernährungs- und Gesundheitszustand der Pflanzen dienen. Der Fluoreszenzwert ist bei niedriger N-Versorgung oder bei anderen Stressfaktoren (Krankheit, Trockenstress) höher, da die Photosynthese eingeschränkt abläuft und so die einfallende Lichtenergie stärker in Fluoreszenz und Wärme abgeleitet wird – anstatt zur Biomasseproduktion. Dieser Zusammenhang wurde von der Technische Universität München in zahlreichen Versuchen nachgewiesen (vgl. Abb. 14).

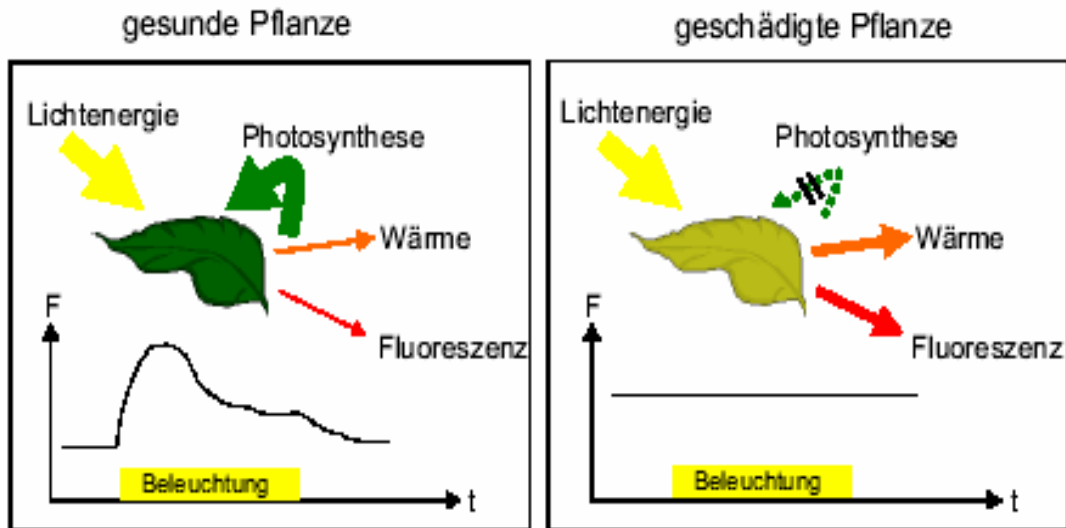


Abb. 14: Photosynthese und Fluoreszenz, beim Erliegen der Photosynthese werden Fluoreszenz und Wärme stärker emittiert und die kinetische Fluoreszenz kommt im Extremfall (abgestorbenes Blatt) zum Erliegen,

Auch dieses Sensorsystem erfordert eine Kalibrierung zum Düngetermin, bei der die Düngermenge an den aktuellen Bestand (Entwicklung, Sorte und Ertragsziel) angepasst wird.

Der MiniVeg N erfordert nach Aussagen des Herstellers einen konstanten Abstand zum Bestand (bis etwa 3 cm über dem Fahnenblatt), da nur so die kinetische Fluoreszenz, ohne aufwendige Signalverstärkungen, fehlerfrei bestimmt werden kann. Daher ist der MiniVeg N auf eine präzise Höhenführung angewiesen, die mittels Lichtschranke gewährleistet ist.

Nutzbare Informationen aus der Messung sind also die Fluoreszenz, die Bestandeshöhe und die Trefferquote. Die Trefferquote entspricht der Information, ob mit dem LASER ein Fahnenblatt getroffen wurde oder nicht und kommt somit einer Blatzzählung gleich. Die Messfrequenz beträgt 40 kHz und liefert eine große Anzahl von Daten, die für eine repräsentative Messung notwendig sind, da die einzelne Optik nur einen schmalen Streifen von 0,5 cm misst.

Das Messsystem ist bis zu einem Entwicklungsstadium von EC49 einsetzbar, da mit beginnendem Ährenschieben der Abstand zwischen Messoptik und Fahnenblatt zu groß wird. Daher ist eine N4-Gabe zur Blüte nicht möglich.

Der MiniVeg N soll zur Saison 2005 im Praxisversuch erstmals deutschlandweit eingesetzt werden, daher liegen bis zum heutigen Zeitpunkt noch keine Ergebnisse zu Einsparungen oder Mehrerträgen vor.

## Zusammenfassung „online“ Sensorsysteme

Alle vorgestellten Sensor Systeme sind am Fahrzeug montiert und messen den Pflanzenbestand im aktuellen Zustand, errechnen die notwendige Düngermenge und übergeben diese an den Düngerstreuer. Diese Echtzeit-Steuerung der Düngung ist notwendig, um die Nährstoffnachlieferung aus dem Boden teilflächenspezifisch zu erfassen und so die Düngung zu optimieren. Also wird jede Teilfläche optimal mit Stickstoff versorgt und so das ökonomische und ökologische Ertragsziel gleichermaßen erreicht. Der Bestand bekommt die notwendige Düngermenge, um den höchstmöglichen Ertrag am jeweiligen Standort zu erbringen und das ohne unnötige Nährstoffeinträge in die Umwelt.

Die vorgestellten Sensoren sind durch eine Kalibrierung an den aktuellen Bestand anzupassen, um so eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung zum Düngetermin zu erreichen. YARA bietet dazu hinterlegte Regelfunktionen für die einzelnen N-Teilgaben (Düngetermine) und Fruchtarten.

Nachfolgend (vgl. Tabelle 3) sind die wesentlichen Informationen zu allen drei Sensoren zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 3: Zusammenfassung "online" Sensorsysteme**

	<b>Crop-Meter</b>	<b>N-Sensor<sup>®</sup></b>	<b>MiniVeg N</b>
<b>Messprinzip</b>	Mechanisch (Widerstand)	Optisch (Reflexion)	Optisch (LASER induzierte Fluoreszenz)
<b>Messgröße</b>	Biege­widerstand	Chlorophyllkonzentration im Bestand – Reflexion	Chlorophyllkonzentration im Blatt – Fluoreszenz
<b>Zielgröße</b>	Stickstoffversorgung Halmstabilisator Fungizide	Stickstoffversorgung Halmstabilisator Fungizide	Stickstoffversorgung Halmstabilisator Fungizide
<b>Montage</b>	Gestänge im Frontanbau	auf dem Fahrzeug- dach	Ausleger im Frontanbau
<b>Messfeld</b>	1 m innerhalb der Fahrgasse	2*3 m links und rechts der Fahrgasse	4*0,5 cm links und rechts der Fahrgasse
<b>Abstand Sensor-Pflanze</b>	Kontakt zur Pflanze	> 3 m	< 3 cm
<b>Einsatzstunden [h/Tag]</b>	24	10	24
<b>Kulturen</b>	Getreide	Getreide Raps Mais Kartoffel	Getreide

Entwicklungsstadium	> EC 34	EC 29 bis EC 69	< EC 49
Kommunikation mit Ausbringgerät	ISOBUS	RS232 und ISOBUS	ISOBUS
Preis [€]	5.000 (ohne Terminal)	20.000	20.000
Praxiseinsatz seit	2004	2000	für 2005 geplant
Anzahl Systeme am Markt (Deutschland)	< 20	180	0
Anzahl Großflächen-Versuche zur:			
- Ertragssteigerung	9	170	0
- Düngereinsparung	9	170	0
- Proteingehalt	0	14	0
- Mähdrusch	0	6	0
- Lagerneigung	0	5	0
		2	0

Jeder dieser Sensoren benötigt einen elektronisch ansteuerbaren Düngerstreuer oder Pflanzenschutzspritze, um die Variation in der Ausbringmenge in Echtzeit bedarfsgerecht durchzuführen.

Für die Applikation selbst ist bei den „online“ Sensoren kein GPS-Empfänger oder eine Datenvorbereitung am Büro-Computer notwendig, da Messung, Berechnung und Regelung in einem Arbeitsgang erfolgen. Einzig für die Dokumentation der ausgebrachten Düngermengen und der Bestandesentwicklung ist hier die genaue Standortbestimmung notwendig.

## 2. Fazit

Alle vorgestellten Systeme (Boden, offline oder online Bestandeserfassung) sind für den Landwirt von großem Nutzen.

Egal für welches der Systeme man sich entscheidet, alle offenbaren die natürlich existierende Heterogenität im Boden oder der Bestandesentwicklung, die letztendlich in der bekannten Variabilität des Ertrages resultiert. Wenn die Variabilität des Standortes bekannt ist, kann durch die Anpassung der Produktionsintensität darauf reagiert werden. Unter den sensortechnischen Möglichkei-

ten haben sich die „offline“-Systeme regional eingeführt. Sie beruhen auf der einmaligen Befliegung repräsentativ für die gesamte Vegetationsperiode.

Spezifischer sind die „online“-Systeme, unter ihnen liegen die meisten Erfahrungen mit dem YARA N-Sensor<sup>®</sup> vor. 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.