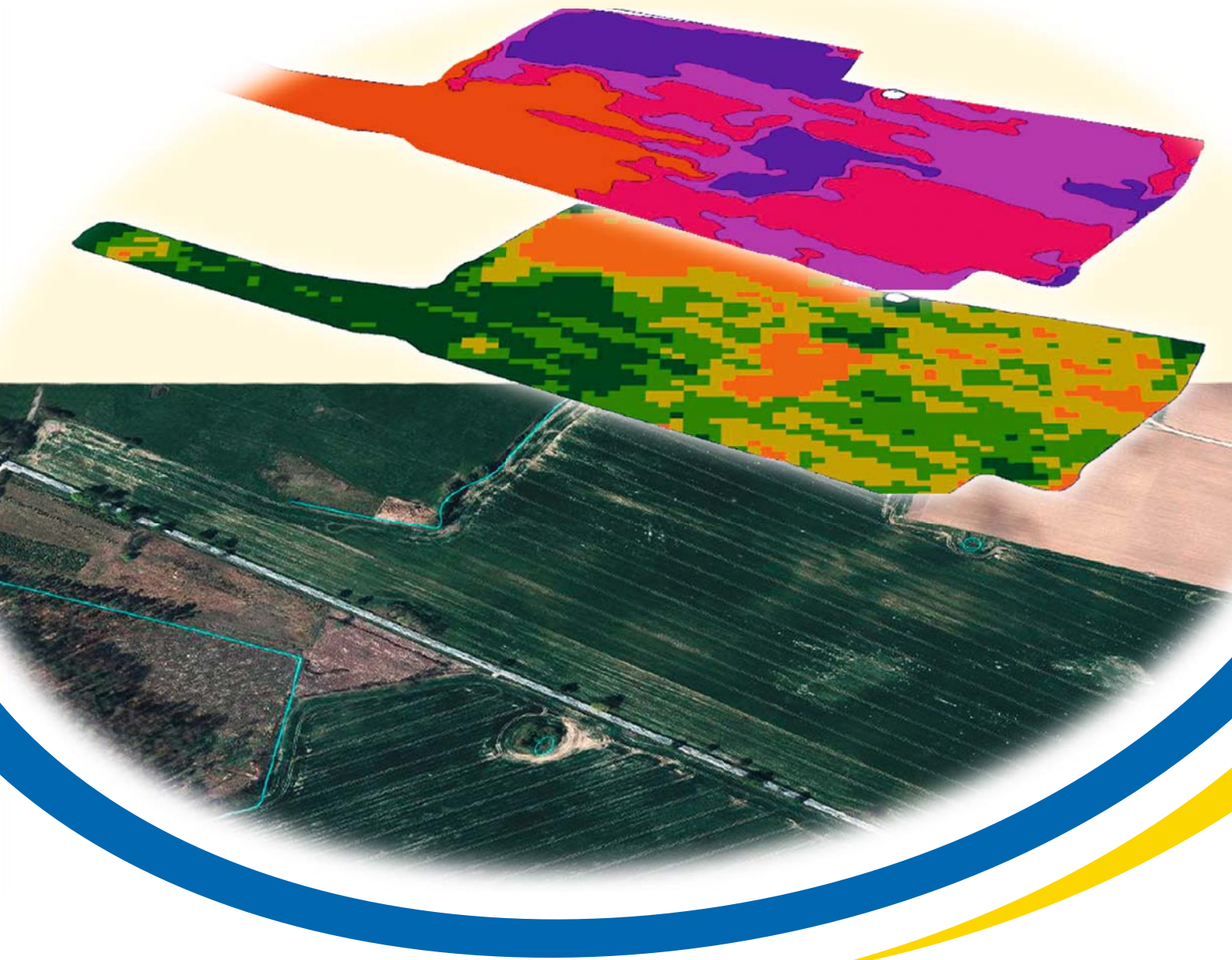


DLG-Merkblatt 390

Optische Sensoren im Pflanzenbau



DLG – weil Betriebserfolg im Kopf beginnt!



Merkblätter – Sicherheit für Ihre Entscheidungen!

Über 100 Merkblätter und Arbeitsunterlagen für die tägliche Praxis im Betrieb.

→ www.DLG.org/Merkblaetter

Prüfberichte – Erst informieren, dann investieren!

2.000 Prüfberichte über Technik und Betriebsmittel.

→ www.DLG-Test.de

DLG-Mitglieder Newsletter

Nachrichten – Märkte – DLG-Fachinfos
Jeden Freitag um 12:00 Uhr

DLG-Fachausstellungen: Ideen – Impulse – Innovationen

Freier Eintritt zu den DLG-Fachausstellungen EuroTier, EnergyDecentral, AGRITECHNICA, DLG-Feldtage, DLG-Waldtage, PotatoEurope.

Tagungen

Das breite Themenspektrum der DLG-Veranstaltungen reicht vom Zukunftsforum bis zu den praxisnahen Fachtagungen.

→ www.DLG.org/Veranstaltungen

Managementprogramme und Seminare – Know-how für die Betriebsführung

Das Weiterbildungsangebot der DLG-Akademie: Managementprogramme, Seminare und Workshops.

→ www.DLG-Akademie.de

Nachwuchsförderung

Umfangreiches Angebot für Nachwuchskräfte: DLG-KarriereKompass.de, Berufs- und Karriereplanung, Agrarpraktikum.de, Nachwuchs-Förderpreise, Hochschul-Fachveranstaltungen, Trainee Programm.



**Jetzt anmelden unter:
www.DLG.org/Mitgliedschaft**

DLG-Merkblatt 390

Optische Sensoren im Pflanzenbau

Autorenteam:

- DLG Ausschuss für Pflanzenernährung
- DLG Ausschuss Technik in der Pflanzenproduktion
- DLG Ausschuss Arbeitswirtschaft und Prozesstechnik
- Dr. Klaus Erdle, DLG e. V., Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung

Titelbild: © H. Paetow

Herausgeber:

DLG e.V.
Fachzentrum Landwirtschaft
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main

2. Auflage, Stand: 08/2013

© 2015

Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Servicebereich Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main, Tel. +49 69 24788-209, M.Biallowons@DLG.org

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Precision Farming – Smart Farming	6
3. Messprinzip	7
4. Einsatzgebiete optischer Sensoren	9
4.1 Düngung	9
4.2 Pflanzenschutz	10
5. In Deutschland verfügbare Systeme	11
5.1 GreenSeeker	11
5.2 ISARIA/Crop Sensor	12
5.3 OptRx	14
5.4 N-Sensor	15
6. Marktübersicht optische Sensoren	17
7. Sensoren im Einsatz	18
7.1 Düngung	18
7.2 Pflanzenschutz	20
8. Zukünftige Entwicklungen	21
9. Entscheidungshilfen für den Landwirt	23

1. Einleitung

Nach der Mechanisierung der Landwirtschaft hält die Automatisierung seit Jahrzehnten Einzug in viele Produktionszweige. Nicht mehr nur größer, breiter und schneller sind die Maßzahlen effizienten und produktiven Pflanzenbaus. Vermehrt geben natürliche Voraussetzungen einerseits Grenzen des technischen Wachstums vor und andererseits Möglichkeiten, durch technische Unterstützungen den Einsatz von Ressourcen zu optimieren. Wie hohe Schlagkraft mit teilflächenspezifischem Aufwand kombiniert werden kann, dafür versucht die Landtechnik Lösungen anzubieten.

Neben unternehmerischen Zielen ist die Landwirtschaft vermehrt aufgefordert Maßnahmen zu ergreifen, Produktion und Umweltschonung zu koppeln, um langfristig die Nutzung natürlicher Ressourcen für die Lebensmittelproduktion aufrecht zu erhalten. Dass Landwirte dies bereits in vielen Bereichen erfolgreich umsetzen ist unumstritten. Jedoch sind den herkömmlichen Methoden Grenzen gesetzt, und neue Standards und Technologien fordern bzw. ermöglichen Optimierungspotentiale, denen sich der Landwirt stellen muss.

Eine Anzahl von Technologien bietet dem Landwirt heute die Gelegenheit, über Steuerungseinheiten, Sensoren und moderne Applikationstechnik nicht mehr nur durch Schlagkraft, sondern durch räumlich individuelles Bestandsmanagement effizient zu wirtschaften.

Im Rahmen des Precision Farming ist man bereits vor ca. 20 Jahren angetreten, um landwirtschaftliche Flächen künftig teilflächenspezifisch bearbeiten und bewirtschaften zu können. Inzwischen existieren eine Vielzahl sogenannter Precision Farming Werkzeuge (neudeutsch: Tools) die dem Landwirt helfen sollen, dieses Vorhaben praktisch umzusetzen. Optische Sensoren zur verbesserten Erfassung der Variabilität in Pflanzenbeständen sind ein bekanntes Beispiel, dessen Bewertung und Weiterentwicklung sich die DLG in einem gleichnamigen Workshop angenommen hat. Dieses Merkblatt fasst die wesentlichen und vor allem praxisrelevanten Ergebnisse und Erkenntnisse dieses Workshops zusammen.

Die Autoren

2. Precision Farming – Smart Farming

Die DLG stellte beim AGRITECHNICA Special „Smart Farming“ 2011 mit Partnern aus Wissenschaft, Industrie und Beratung vor allem den praxisrelevanten Nutzen neuer und insbesondere praxisverfügbarer Tools des Precision Farming dar. Damit basiert der Ansatz des Smart Farming natürlich auf dem bekannten Precision Farming und steht dazu nicht im Widerspruch. Die Verknüpfung der Informationen verschiedener Tools ist jedoch nach wie vor problematisch und stellt hohe Ansprüche an das Informationsmanagement. Parallel dazu fehlen automatisierte Entscheidungshilfen, die Netzwerke verschiedener Informationsquellen nutzen, um die Produktionsprozesse zu unterstützen und zu optimieren (Abbildung 1). Genau hier setzt Smart Farming an und entwickelt damit Precision Farming weiter. Smart Farming nutzt Möglichkeiten, Informationen nicht isoliert, sondern immer im Zusammenhang mit anderen Informationen zu verknüpfen und automatisiert zu verarbeiten.

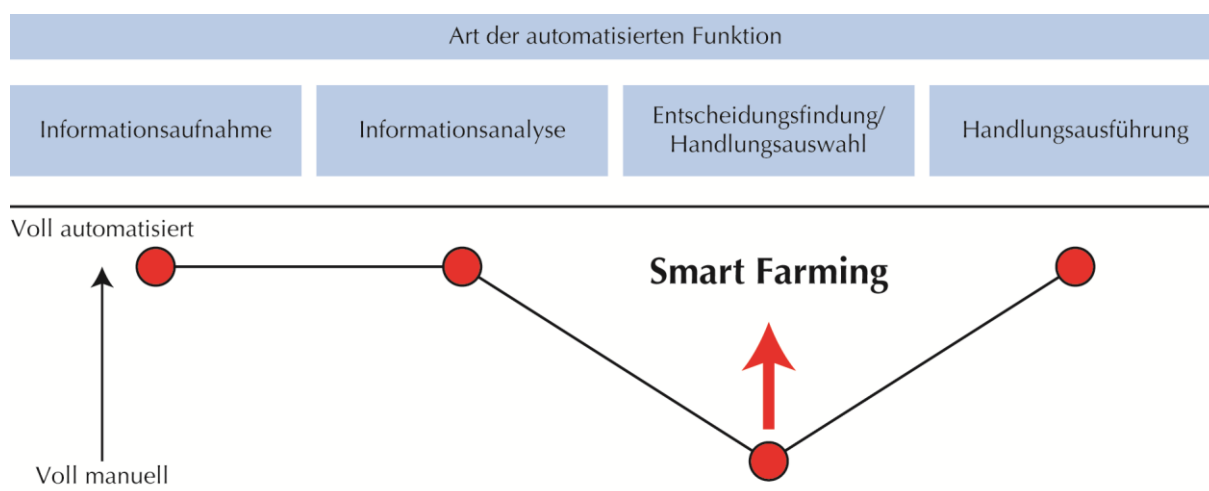


Abbildung 1: Automatisierung von Funktionen (Griepentrog, pers. Kontakt 2013)

Das Übereinanderlegen von Karten mit unterschiedlichen Informationen (auch „Map-Overlay“-Verfahren genannt) ist ein gutes Beispiel dafür, verschiedene Datenquellen zu nutzen, um daraus einen Mehrwert für den Entscheidungsprozess zu generieren. Bei diesem Verfahren wird verschiedenes Kartenmaterial (z. B. Bodenkarten, Ertragskarten, Biomassekarten, etc.) eines Schläges kombiniert. Mit dieser Information können Bereiche unterschiedlicher Eigenschaften im Feld definiert werden, z. B. Bereiche mit höherem Trockenrisiko oder besserer Nährstoffverfügbarkeit. Daraus wiederum können

pflanzenbauliche Maßnahmen wie angepasste Bodenbearbeitung, Aussaatstärke oder Düngungshöhe abgeleitet werden.

3. Messprinzip

Das Messprinzip aller derzeit auf dem Markt befindlichen optischen Sensoren ist sehr ähnlich. Alle Sensoren messen während der Überfahrt durch den Pflanzenbestand das von diesem reflektierte Licht. Unterschiede gibt es hierbei lediglich in der Bereitstellung des Lichts, also der Lichtquelle. Während ein Sensor auf das natürliche Sonnenlicht angewiesen ist und somit passiv arbeitet, besitzen andere Sensoren künstliche Lichtquellen wie LEDs (Licht-emittierende Dioden) oder Xenon-Blitzlicht und gehören damit zu den aktiven Systemen (Abbildung 2). Beide Systeme haben auf Grund dieser technischen Voraussetzungen Vor- und Nachteile. So sind passive Systeme auf das Sonnenlicht angewiesen, können also nur am Tag eingesetzt werden, wobei aktive Systeme unabhängig von äußeren Lichtverhältnissen arbeiten können und damit Tag und Nacht einsetzbar sind. Andererseits ist die Messgüte bei aktiven Systemen stark vom Abstand zwischen Lichtquelle und Pflanzenbestand abhängig, da künstliche Lichtquellen im Vergleich zur Sonne sehr schwach sind und die Lichtmenge mit dem Abstand Lichtquelle-Bestand stark abnimmt. Zur Messung der Reflexion dienen Fotodioden, welche die Stärke und Wellenlänge des aufgenommenen Lichts in elektrische Signale umwandeln. Diese elektronische Information kann dann per Software weiterverarbeitet werden.

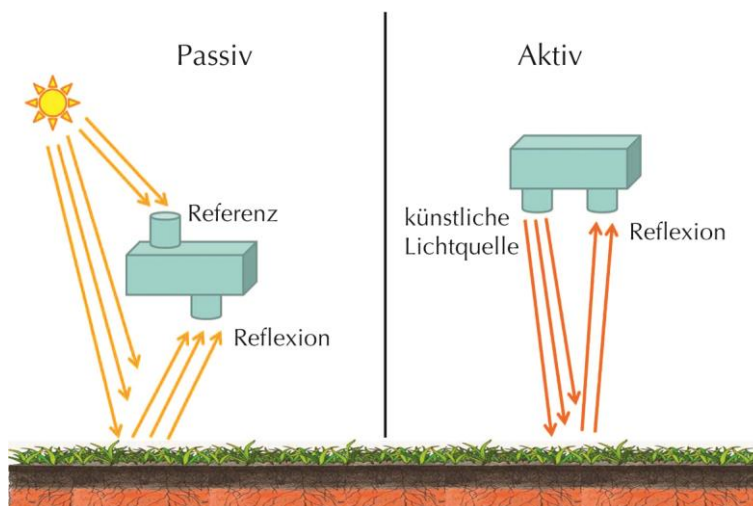


Abbildung 2: Aktive und passive Sensorsysteme (© Erdle 2013)

Aber was messen nun diese Sensoren? Landläufig wird hier oft vereinfacht dargestellt, dass die Sensoren die Grünfärbung der Pflanzen messen. Dies ist so nicht richtig, bzw. es ist genau das Gegenteil der Fall: Die Sensoren messen meist Farben (Wellenlängen), die wir mit dem bloßen Auge nicht sehen können, also gerade nicht das Grün. Um dies vereinfacht darzustellen hilft Abbildung 3, in welcher eine typische Reflexionskurve eines Pflanzenbestandes dargestellt ist.

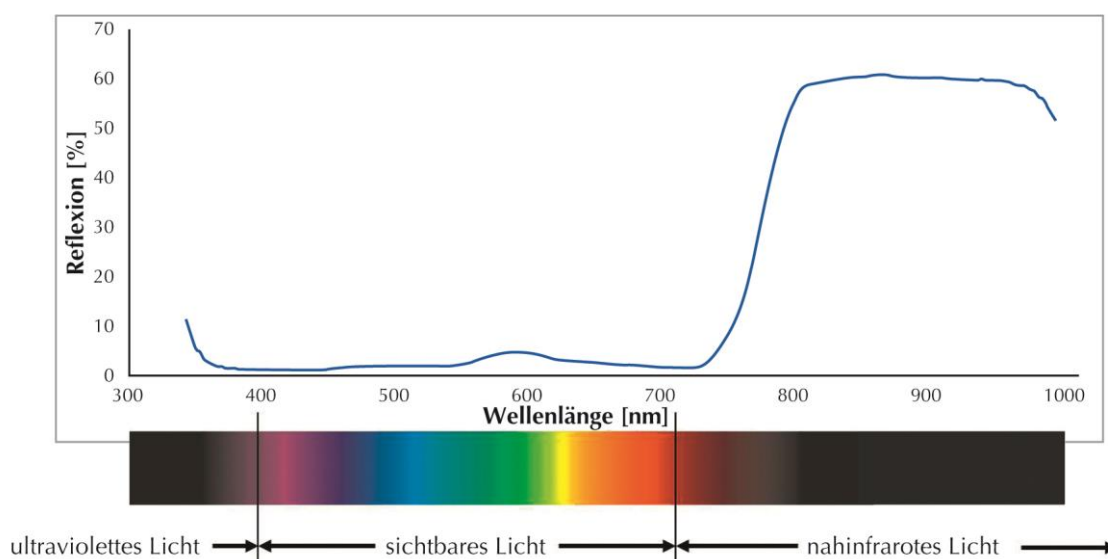


Abbildung 3: Reflexionskurve eines gesunden Pflanzenbestandes (© Erdle 2013)

Licht wird zu unterschiedlichen Anteilen von einem gesunden Pflanzenbestand reflektiert. Vor allem im (für das menschliche Auge) sichtbaren Bereich von 400 – 700 nm ist zu erkennen, dass vergleichsweise wenig Licht von den Pflanzen zurückgeworfen wird. Obwohl sich für uns ein gesunder Bestand durch sattes Grün kennzeichnet, beträgt der Anteil des grünen Lichts, welches unser Auge empfängt, nicht einmal 10 %. Das Grün zeigt sich nur deshalb, weil alle anderen sichtbaren Farben, vor allem Blau und Rot, nahezu vollkommen von der Pflanze zur Photosynthese genutzt und damit nur sehr gering reflektiert werden. Kurzum: Je gesünder der Bestand, desto mehr Blau und Rot wird „verschluckt“ und nur Grün wird reflektiert. Ganz anders, wenn der Bestand krank: Weniger Licht wird auf Grund reduzierter Photosynthese absorbiert. Nicht nur mehr Grün, sondern eine Mischung aus Blau, Grün, Rot und Gelb wird reflektiert. Der Bestand erscheint heller, bis hin zu gelblich braun.

Aus dem sichtbaren Bereich messen die optischen Pflanzensensoren meist den Anteil roten Lichts, welches nicht von der Pflanze zur Photosynthese genutzt und damit

wieder reflektiert wird. Dies erwies sich als sehr effektives Merkmal zur Zustandsbeschreibung einer Pflanze.

Alle im Merkblatt dargestellten Sensoren messen zudem Anteile aus dem nahinfraroten (NIR) Lichtspektrum. Vor allem zwischen 700 und 800 nm Wellenlänge (Abbildung 3) befinden sich für die Beschreibung eines Pflanzenstatus markante Messpunkte. In diesem Bereich findet der Wechsel zwischen stark absorbiertem und stark reflektiertem Licht statt. NIR-Licht wird von der Struktur der Pflanze (d. h. Halme und Blätter) vergleichsweise stark reflektiert: Je mehr Struktur vorhanden ist, desto höher ist die Reflexion. Im Beispiel der Abbildung 3 sind dies bis zu 60 % des Lichts.

Je nach Verhältnis von durch die Photosynthese genutztem sichtbarem Licht und durch die pflanzliche Biomasse reflektiertem NIR-Licht eines Bestandes, verschieben sich einige Messpunkte ganz spezifisch auf der gezeigten Kurve. Eine sinnvolle Kombination aus solchen Messpunkten kann damit den Zustand des Pflanzenbestandes beschreiben. Eigenschaften wie Biomasse oder N-Status können dadurch geschätzt werden. Dies machen sich die Sensorsysteme zu Nutze. Sie messen also das vom Bestand reflektierte Licht, die elektrischen Signale werden dann zu Kennzahlen (Index oder Vegetationsindex genannt) verrechnet und machen damit den Zustand des Pflanzenbestandes messbar.

4. Einsatzgebiete optischer Sensoren

4.1 Düngung

Der Schwerpunkt der Sensorentwicklungen lag bisher in der Optimierung der Stickstoffdüngung. Eine große Zahl an Versuchen wurde dazu durchgeführt, verbesserte Vegetationsindizes zu entwickeln, um den N-Status eines Bestandes zu schätzen. Dabei konnten über die Reflexionsdaten enge Zusammenhänge zu Chlorophylldichte und Biomasse gefunden werden. Diese wiederum wurden mit dem Stickstoffhaushalt der Pflanze in Verbindung gesetzt. Somit muss berücksichtigt werden, dass keiner der Sensoren den Stickstoffgehalt oder die Stickstoffaufnahme tatsächlich „messen“ kann, sondern indirekt über den Zusammenhang Licht → Chlorophyll/Biomasse → Pflanzenstickstoff schätzt. Diese Zusammenhänge sind über die Jahre relativ stabil und bilden damit vergleichsweise genau den Zustand des Pflanzenbestandes ab. Eine teilflächenspezifi-

sche Düngung „on-the-go“, also Messung, Berechnung und Regelung während der Überfahrt, ist damit möglich und wird durchgeführt. Die anvisierten Vorteile durch Anwendung dieser Technik ergeben sich durch eine bedarfsgerechte Düngung, homogenere Bestände in Qualität und Abreife, höhere Druschleistungen, Reduzierung der Nährstoffbelastung der Böden und daraus folgender N-Verluste.

Jedoch ist zu berücksichtigen, dass optische Sensoren jegliche Änderung der Bestandesreflexion primär auf den Stickstoff zurückführen. Das heißt, dass der Sensor nicht zwischen Stickstoff, Phosphor, Schwefel oder anderen Nährstoffen unterscheiden kann. Teilweise kann mit dem Abgleich der Biomasse jedoch ein Wassermangel mit berücksichtigt werden. Ansätze zur Weiterentwicklung sind zwar vorhanden, im Moment ist jedoch die Voraussetzung für eine sensorgestützte Stickstoffdüngung ein im Bereich anderer Nährstoffe optimal versorgter Bestand. Die Einbeziehung anderer Daten kann mit Einschränkung über das beschriebene „Map-Overlay“-Verfahren realisiert werden.

4.2 Pflanzenschutz

Seit einigen Jahren werden weitere Anwendungsgebiete für optische Sensoren erprobt. Vor allem im Bereich des Pflanzenschutzes ist das Interesse groß, durch Sensortechnik bedarfsgerechte Applikationen zu ermöglichen. Jedoch ist die teilflächenspezifische Erfassung von Schadorganismen (insbesondere tierische oder pilzliche) während der Überfahrt zurzeit noch als sehr schwierig einzustufen. Lediglich die Erfassung der Verunkrautung zwischen den Reihen bei Hackfrüchten kann vergleichsweise einfach durchgeführt werden, da nur die Menge an lebendem Pflanzenmaterial in dieser Zone erfasst werden muss – ein Sensor pro Reihenzwischenraum ist hier sinnvoll.

Der Teilbereich des Wachstumsreglereinsatzes kann dagegen durch optische Sensoren direkt unterstützt werden. Grundlage für Umfang und Höhe des Wachstumsreglereinsatzes sind die sortenspezifische Standfestigkeit, Aussaatzeitpunkt und -stärke, Standort (Boden, Wasser), Nährstoffversorgung und Wirkstoff. Abhängig von diesen Parametern und der Pflanzenart können die zu behandelnde Biomasse und damit die optimale Aufwandmenge innerhalb eines Schlages stark variieren. Neben den Zielen des Wachstumsreglereinsatzes (Vermeidung von Lager, gesunde Bestände) sind jedoch auch negative Wirkungen eines zu hohen Einsatzes dieser Wirkstoffgruppe zu erwarten.

Bei nicht angepasster Ausbringmenge in dünnen Beständen, kann es zu Wurzelschäden, zu starkem Einkürzen, gestörtem Ährenschieben und Ährendeformationen kommen. Eine bedarfsgerechte Mengenanpassung des Wachstumsreglereinsatzes ist somit anzustreben.

Wie am Beispiel der N-Düngung beschrieben, sind optische Sensoren für die Erfassung der Bestandesdichte über die Biomasse gut geeignet. Somit ist die erweiterte Nutzung der Sensoren für den Wachstumsreglereinsatz bei heterogenen Bestandesdichten gut möglich. Die Ansätze der im Moment verfügbaren Systeme sind dabei unterschiedlich, haben jedoch alle zum Ziel während der Überfahrt je nach Bestandesentwicklung die Applikationsmenge zu regeln.

5. In Deutschland verfügbare Systeme

Auf dem Markt der optischen Pflanzensensoren zur Stickstoffdüngung sind in Deutschland derzeit fünf Systeme erhältlich. Im Folgenden sollen die Systeme und ihre Besonderheiten vorgestellt werden.

5.1 GreenSeeker

In Deutschland vertreibt der Hersteller N-Tech Industries das GreenSeeker-System über die Firma Land-Data Eurosoft. Beim Einsteiger-System werden zwei Sensorköpfe an einem Frontgestänge geführt. Bei Bedarf können beliebig viele Sensoren auch direkt an einem Düngerstreuer oder Spritzgestänge verteilt über die Arbeitsbreite angebracht werden. Das GreenSeeker-System arbeitet mit LEDs als Lichtquelle und ist damit ein aktives, Tageslicht-unabhängiges System. In einer Höhe von 60 bis 120 cm werden über je zwei LEDs pro Sensorkopf Wellenlängen im Rot- und NIR-Bereich ausgestrahlt und die Bestandesreflexion über Fotodioden gemessen.



Abbildung 4: GreenSeeker (© Land-Data Eurosoft)

Der verwendete Vegetationsindex (hier namentlich NDVI) setzt sich aus der Kombination zweier Wellenlängen im Rot- und NIR-Bereich zusammen. Über einen Internetbasierten N-Rechner (www.n-rechner.de) kann eine auf den Bestand abgestimmte N-Düngung berechnet werden. Die Kalibrierung des Systems erfolgt durch eine Kalibrierungsfahrt in einer Fahrgasse oder mit einem AO GreenSeeker Handgerät, mit dem im Schlag verschiedene Messpunkte zur Kalibrierung herangezogen werden können. Es bleibt die Option offen, innerhalb der vom System angebotenen Düngerkurve Abstufungen innerhalb bestimmter Bereiche selbst vorzunehmen. Der Landwirt hat also die Möglichkeit einer vollen Eingriffsmöglichkeit bzw. muss selbst tätig werden. Dieses System bietet auch die Option, über das „Map-Overlay“-Verfahren Kartenmaterial zur Düngeoptimierung zu nutzen.

5.2 ISARIA/Crop Sensor

In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München wurde der ISARIA Sensor von der Firma Fritzmeier Umwelttechnik entwickelt und wird von geo-konzept vertrieben. Die gleiche Sensortechnik ist als ISOBUS-Variante als Crop Sensor von CLAAS Agrosystems erhältlich. Beide Varianten bestehen aus zwei Sensorköpfen an einem klappbaren, 6,90 m breiten Gestänge für den Frontanbau am Schlepper. Die Sensorköpfe werden zwischen 40 und 100 cm über dem Bestand geführt. Vier LEDs senden aktiv Licht in spezifischen Wellenlängen. Das reflektierende Licht wird von Fotodioden gemessen. Der draus errechnete Vegetationsindex (hier namentlich REIP) basiert auf vier Wellenlängen aus dem Rot- und NIR-Bereich des Lichtspektrums und spiegelt den N-Versorgungszustand des Bestandes wider.



Abbildung 5: ISARIA (© Fritzmeier Umwelttechnik)



Abbildung 6: Crop Sensor (© Claas Agrosystems)

Die Datenübertragung findet kabellos über Bluetooth auf einen Tablet-PC (Version Fritzmeier) oder über ISOBUS an ein ISOBUS-fähiges Terminal (Version CLAAS Agrosystems) statt. Neben der direkten Messung des N-Status der Pflanze und der anschließenden Steuerung der Düngergabe, verfügt das System auch über die Möglichkeit, bestehendes Kartenmaterial in die Düngoptimierung einzubeziehen (Map-Overlay). Somit kann das teilflächenspezifische Bestandesmanagement durch mehrjährige Ernte-, Dünge-, oder Biomassekarten ergänzt werden.

Der Sensor bietet bei Nutzung des fruchtartsspezifischen Düngemoduls (z. Zt. für Winterweizen erhältlich) eine Düngempfehlung ohne weitere Kalibrierung. Für weitere Feldfrüchte stehen Funktionen zur Verfügung, die durch Kalibrierungen auf dem Schlag begleitet werden müssen.

5.3 OptRx

Die Firma Ag Leader vertreibt den Sensor OptRx basierend auf dem System von Holland Scientific (CropCircle). Die Sensorköpfe sind an einem Gestänge im Frontanbau oder direkt am Spritzgestänge geführt. Zwei Sensorköpfe sind Voraussetzung, wobei auch mehrere und damit kleinräumige Messungen bei größeren Arbeitsbreiten möglich sind. Der OptRx stellt ein aktives Sensorsystem mit LEDs als Lichtquelle dar und ist damit Tageslicht unabhängig. Drei Wellenlängen-spezifische Fotodioden messen das vom Bestand reflektierte Licht in einer Höhe zwischen 60 und 160 cm.



Abbildung 7: OptRx (© Ag Leader)

Der Sensor nutzt zwei Vegetationsindizes (hier namentlich NDVI und NDRE) aus einer Kombination dreier Wellenlängen im Rot-NIR-Bereich. Auch für das System OptRx sind bereits kulturspezifische Applikationskurven für Mais, Weizen und Raps erhältlich. Mit einer Ein-Punkt-Kalibrierung bietet der Landwirt dem Sensor repräsentativen Teilbestand, welchem er dann eine gewünschte Düngermenge zuschreibt. Das System passt die Düngung des Restbestandes dann diesem Ausgangswert an.

Der Anwender hat Eingriffsmöglichkeiten in diese Funktion und kann sie nach Bedarf anpassen. Auch bei diesem System ist die Dokumentation in Form digitaler Karten möglich, welche dann im „Map-Overlay“-Verfahren wieder genutzt werden können.

5.4 N-Sensor

Der N-Sensor der Firma Yara ist bereits seit Ende der 1990er Jahre erhältlich und damit der Vorreiter im Bereich der optischen Sensoren im Pflanzenbau. In Deutschland werden die verschiedenen Versionen des N-Sensors über die Firma AgriCon vertrieben. Als einziger Sensor-Hersteller bietet Yara seine Sensoren ausschließlich für die Schlepperdach-Montage an und somit platzsparend und ohne jegliches Gestänge. Der anfänglich in Blau gehaltene passive N-Sensor I wird seit 2012 als weiterentwickelte und optimierte Version als N-Sensor II angeboten. Dem passiven Sensor dient die Sonne als Lichtquelle, wobei jeweils zwei schräggestellte Optiken pro Seite die Bestandesreflexion neben der Fahrgasse erfassen. Die Weiterentwicklung im N-Sensor II ermöglicht ein breiteres Zeitfenster für Messungen inklusive Morgen- und Abenddämmerung.



Abbildung 8: N-Sensor I (© Yara)



Abbildung 9: N-Sensor II (© Yara)



Abbildung 10: N-Sensor ALS (© YARA)

Unabhängig von jeglichen äußeren Lichtverhältnissen arbeitet der YaraA N-Sensor ALS (**A**ctive **L**ight **S**ource), der seit 2006 erhältlich ist. Auf Grund des größeren Abstandes von Schlepperdach zum Bestand und damit benötigter erhöhter Lichtstärke ist dieser mit jeweils einem starken Xenon-Blitzlicht pro Seite ausgestattet. Wellenlängen-spezifische Fotodioden messen abwechselnd das reflektierte Blitzlicht und das Umgebungslicht als Referenz. Die Messfläche und -winkel, und der Anbau am Schlepper sind baugleich mit dem passiven System. Ebenfalls bedienen sich beide Varianten des gleichen Vegetationsindex, der Verrechnung zweier Wellenlängen im NIR-Bereich. Dieser Index dient direkt zur Schätzung der aktuellen N-Aufnahme des Bestandes.

Der N-Tester, ein Handgerät zur Erfassung des Ernährungszustandes an ausgewählten Einzelpflanzen, unterstützt die Kalibrierung des N-Sensors im Feld. Dieser erfasst ebenfalls optisch den Ernährungszustand an Einzelpflanzen und berücksichtigt zudem spezielle Sorteneigenschaften. Dadurch kann eine Anpassung der Düngung durchgeführt werden. Auf Grund der bereits langjährigen Weiterentwicklung des Systems liegen für die Yara Sensoren Funktionen und Korrekturwerte für eine breite Palette an Kulturen vor. Ebenfalls können dokumentierte Messwerte im „Map-Overlay“-Verfahren genutzt werden.

DLG-Merkblatt 390: Optische Sensoren im Pflanzenbau

6. Marktübersicht optische Sensoren

Einen Überblick über die derzeit angebotenen Sensoren und ihrer Eigenschaften zeigt die folgende Tabelle.

Sensor	GreenSeeker	ISARIA	Crop Sensor	OptRx	N-Sensor I/II	N-Sensor ALS
Hersteller	N-Tech	Fritzmeier Umwelttechnik		Ag Leader	Yara	
Vertrieb	Land-Data Eurosoft	geo-konzept	CLAAS Agrosystems	Ag Leader	Agri Con	
Paketpreis*	ab 16.894 €	ab 20.500 €	ab 26.490 €	15.750 €	23.500 €	35.800 €
Anwendungen	Online Online + Karte Kartieren Applikation nach Karte					
Kalibrierung	Ein-Punkt-Kalibrierung oder mit Expertensystem nicht notwendig	Zwei-Punkt-Kalibrierung Ein-Punkt-Kalibrierung (Option 1.800 €) „Düngesystem Winterweizen“ Kalibrierung nicht notwendig (Option 2.800 €)		Ein-Punkt-Kalibrierung	Ein-Punkt-Kalibrierung Kalibrierung nicht notwendig bei „N-Düngung Raps“ (Option 1.050 €)	
Spezielle Funktionen	Applikation von Wachstumsregler	Expertensystem für N-Düngung in Winterweizen „Düngesystem Wintergerste, Winterraps“ in Entwicklung Applikation von Wachstumsregler und Fungizide		Expertensystem Weizen, Mais, Raps, Kartoffel (in Entwicklung) Applikation von Wachstumsregler	Kultur und EC-Stadien abhängige Regelfunktionen für die N-Düngung EC-Stadien und Mittel-abhängige Regelfunktionen für Wachstumsregler und Fungizide (auch Mittelmischungen)	
Bedienung	Tablet-PC, ISOBUS-fähig, Internet-fähig	Tablet-PC	ISOBUS-fähiges Terminal	ISOBUS-fähiges Terminal	Tablet-PC, ISOBUS-fähig, Internet-fähig	
Steuerung	ISOBUS oder serielle Schnittstelle					
Anbau	7 m breites Gestänge im Frontanbau oder Anbau am Spritzgestänge	6,0 o. 6,90 m breites Gestänge im Frontanbau	6,90 m breites Gestänge im Frontanbau, zwei verschiedene Anbauadapter	Gestänge im Frontanbau oder Anbau am Spritzgestänge	Auf Kabinendach von Schlepper oder SF-Spritze	
Messabstand	0,6 bis 1,2 m	0,4 bis 1,0 m		0,5 bis 1,6 m	4,0 bis 12,0 m	
Blickwinkel	senkrecht	senkrecht		Senkrecht	schräg	
Anzahl Sensoren im Paket	jeweils 2 Sensoren					
Lichtquelle	LED	LED		LED	Tageslicht	Xenon-Blitzlampe
Lichtdetektor	Fotodioden	Fotodioden		Fotodioden	Spektrometer	Fotodioden
Lichtmessung	2 Wellenlängen (Rot und NIR)	4 Wellenlängen (Rot und NIR)		3 Wellenlängen (Rot und NIR)	Versch. Wellenlängen teils Kulturspezifisch	
Praxiseinsatz	seit 2005 (USA seit 2002)	seit 2010	seit 2011	seit 2002	seit 1999	seit 2006

* Sensoren inkl. Gestänge, Terminal, Software Basismodule

7. Sensoren im Einsatz

Seit ihrer allmählichen Etablierung im Pflanzenbau werden die Sensorsysteme von verschiedenen Seiten getestet und verglichen. Neben den Untersuchungen seitens Forschungseinrichtungen zu technischen Details und ökonomischen Kennzahlen kann seit einigen Jahren auch auf Erfahrungswerte von Landwirten zurückgegriffen werden. Im Folgenden sollen daraus einige Aspekte aufgezeigt werden.

Aus technischer Sicht, also Güte der Messung und Arbeitsweise der Sensoren, zeigten umfangreiche Untersuchungen des Lehrstuhls für Pflanzenernährung der Technischen Universität München, dass die oben genannten Sensoren im Prinzip vergleichbar sind. Bei der Verwendung ähnlicher Indizes zeigten alle Sensorsysteme ähnliche Ergebnisse. Auf Basis der Messung und der Berechnung der Indizes kann somit keines der Systeme gegenüber den anderen bevorzugt werden.

Unterschiede bestehen jedoch in der Verwendung verschiedener Indizes, ihrer Verrechnung in Düngeempfehlungen und Applikationsmengen und des Transfers zur Steuertechnik. Die Umrechnung von Indexwert auf Düngeempfehlung ist dem verwendeten Index angepasst. Somit kann weder der Index, noch die Umrechnung direkt zwischen den Systemen verglichen werden. Die Beurteilung des verwendeten Indexes, seines Werts und dessen Übersetzung in eine Düngungsempfehlung ist sehr schwierig, da es das „optimale Düngungsrezept“ als solches nicht gibt. Viele Standortgegebenheiten (u. a. Niederschlagsmenge und -verteilung, Bodentyp, Fruchtfolge) haben Auswirkungen auf das Endergebnis einer Düngestrategie, wodurch die Beurteilung des jeweiligen Indexes stark vom Jahr des Einsatzes, aber auch vom gesamten Bestandsmanagement abhängt.

7.1 Düngung

Die Grundstrategie hinter dem Einsatz von optischen Sensoren besteht in der verbesserten Verteilung von Dünger basierend auf dem aktuellen Versorgungszustand des Bestandes auf heterogenen Flächen. Gewünschte Effekte sind dabei natürlich eine Düngereinsparung bei höherem Ertrag. Da jedoch die Reduktion von N-Dünger im Bestandsmanagement für den Ertragserfolg vergleichsweise riskant ist, steht die Einsparung von Stickstoff oft nicht an erster Stelle, jedoch seine bessere Verteilung auf der Fläche.

Nach langjährigen Erfahrungen besteht ein guter Zusammenhang zwischen der Bestandesdichte in Getreide zu Vegetationsbeginn und dem Ertrag zur Ernte. Ist eine hohe Bestandesdichte anvisiert, kann die Sensorinformation hier zur darauf abgezielten Verteilung der Düngermengen der ersten Gaben genutzt werden.

Die Erfahrung einiger Landwirte zeigt, dass eine erste N-Gabe online über die Sensorsteuerung sich unter Umständen schwierig nutzen lässt, da die Menge an messbarer Biomasse zur ersten Gabe noch vergleichsweise gering ist. In diesem Fall wird deshalb eine konstante 1. Gabe gefahren. Die 2. Gabe wird dann online durchgeführt. Vom Praktiker war hier ein Beispiel-Sollwert von 50 kg N/ha angestrebt, wobei die Regelbreite von 20 bis 80 kg N/ha reichte. Bei dieser Regelung sollen schwache Bestände durch erhöhte Düngung gestärkt und sehr gut entwickelte Bestände durch verhaltene Düngung gebremst werden, um Lager zu vermeiden.

Eine 3. Gabe wird im Beispielbetrieb mit der Regelfunktion zur Ährengabe ebenfalls online durchgeführt. Hierbei sollen gut entwickelte also Ähren-starke Bestände gut versorgt werden, um die Kornfüllung nicht zu limitieren und zu einem gleichmäßigeren Proteingehalt in der Fläche zu kommen. Schwächere Bestände werden entsprechend verhalten gedüngt. Die Regelbreite, also Spannweite zwischen minimaler und maximaler Ausbringung, lag ähnlich dem der 2. Gabe zwischen 20 und 80 kg N/ha.

Während optische Sensoren wie oben beschrieben hauptsächlich zur Online-Messung von Beständen im Frühjahr empfohlen werden, nutzten einige Landwirte das System auch, um bereits im Herbst eine Offline-Messung von Getreide zu BBCH 23 durchzuführen. Daraus wird dann eine Applikationskarte errechnet, die als Grundlage für die erste Frühjahrsdüngung dient, welche vor allem schwache Teilbestände durch gezielte Düngung berücksichtigt. Der Schwankungsbereich der applizierten Düngermenge war dabei bei einem Beispielbetrieb auf ± 30 kg N/ha festgelegt. Alle folgenden Düngergaben werden dann online durchgeführt, also direkt durch den Sensor gesteuert, wobei hier die Varianz der Düngermenge auf ± 15 kg N/ha begrenzt war.

Herbstmessungen in Getreide werden von einigen Landwirten auf Grund der noch geringen messbaren Biomasse kritisch gesehen. Hier muss wohl individuell entschieden werden ob das System oder der Bestand die entsprechenden Bedingungen erfüllen. In Raps hat sich diese Methode jedoch bereits oftmals bewährt. Nach Ansicht der Landwirte spiegelt die Messung von Raps im späten Herbst die tatsächliche

N-Aufnahme bzw. Vitalität besser wieder als eine Messung im Frühjahr. Auf Teilflächen auf denen im Herbst noch stark entwickelte Rapspflanzen standen, kann der Sensor diese nach teils starkem Abfrieren der Blätter über den Winter nicht mehr erfassen. Dennoch sind Stammansatz und Wurzeln dieser vormals Biomasse-starken Pflanzen immer noch stark entwickelt. Aus diesem Grund werden an Stellen, an denen im Herbst viel Biomasse vorhanden war, weniger N ausgebracht und umgekehrt. Im genannten Praxisbeispiel wurde die Varianz der Ausbringungsmenge auf ± 40 kg N/ha begrenzt, wobei die N-Aufnahme vor Winter im Raps wesentlich höhere Differenzen hat (z. T. 70 kg N/ha bis 200 kg N/ha.) Die dann folgenden Düngergaben im Frühjahr werden dann direkt mit dem Sensor, also online, mit einer Varianz von ± 60 kg N/ha durchgeführt.

Über die Jahre sammelten die Betriebsleiter positive Erfahrungen dadurch, dass auf Grund der Eingriffsmöglichkeiten seitens des Anwenders verschiedene Düngestrategien möglich sind. Auf der anderen Seite waren Messungen teils empfindlich bezüglich Tau oder Raureif. Unabhängig von den Einsatzbedingungen müssen Sensoren regelmäßig kalibriert und gewartet werden.

7.2 Pflanzenschutz

Vor allem Erfahrungen von landwirtschaftlichen Betrieben, welche diese Systeme auch im Pflanzenschutz einsetzen, bestätigen, dass zur effektiven Nutzung der Sensoren die Technik und die Strategie von allen Beteiligten verstanden und verinnerlicht sein muss. Hier spielt auch das Verständnis von und der Umgang mit den Daten eine große Rolle, um sensorgestützte Entscheidungsempfehlungen auf ihre Plausibilität zu kontrollieren – und wenn nötig zu ergänzen. Um beispielsweise größere Restmengen an Spritzbrühe zu vermeiden, ist eine gewisse Abfolge von Arbeitsschritten unumgänglich. Das Anmischen der Brühe kann nur schlagspezifisch durchgeführt werden. Erst nach einer Kalibrierfahrt zur Ermittlung von Bestandesdichte und Ernährungszustand und der Verrechnung der Daten in einer Software wird über die Applikationsmenge und den Wirkstoff die Mittelmenge für den Schlag berechnet. Mit diesen Informationen kann die Brühe in der angegebenen Konzentration und Menge angemischt werden. Während der anschließenden Überfahrt selbst übernimmt dann der Sensor die Regelung der Applikationsmenge. Einzelne Landwirte beobachteten dabei sowohl Mitteleinsparungen als

auch Mehrerträge. Für abgesicherte Aussagen fehlen derzeit noch entsprechende Versuche.

Die Praxis bezog beste Erfahrungen aus der sensorgestützten Wachstumsreglerapplikation auf sehr heterogenen Schlägen unter Trockenbedingungen, da dort die Regelfähigkeit des Systems voll ausgenutzt werden kann. Die Kombination mit Fungiziden und Flüssigdüngern dürfte mit Einschränkungen möglich sein. Die gleichzeitige Applikation mit Insektiziden war aus den Erfahrungen heraus nicht zu empfehlen. Bei jeglicher Kombination sind jedoch die Schwankungen der ausgebrachten Wirkstoffmengen der Einzelkomponenten und mögliche pflanzenbauliche Folgen daraus zu beachten.

8. Zukünftige Entwicklungen

Eine große Herausforderung bei der teilflächenspezifischen Behandlung von Pflanzenbeständen ist die Berücksichtigung möglichst kleinflächiger Heterogenitäten. Dem stehen jedoch große Arbeitsbreiten und hohe Schlagkraft gegenüber. Um einige dieser Aspekte zu bearbeiten, gibt es Anstrengungen, bei Feldspritzen oder pneumatischen Düngerstreuern die einzelnen Teilbreiten mit jeweils einem eigenen Sensor zu steuern. Die praktische Umsetzung scheitert im Moment jedoch hauptsächlich an den zusätzlichen Kosten für Sensorköpfe, der erforderlichen Software und entsprechender Regelsystemen. Schlagkraft wird jedoch auch von der Überfahrtgeschwindigkeit bestimmt. Hier müssen sich die Reaktionszeiten der Applikationsgeräte verkürzen. Bis zur Reaktion und Ausführung des Steuerbefehls kann bei bestimmten Kombinationen von Sensor und Ausbringungsgerät ein zeitlicher Verzug von einigen Sekunden entstehen, der bei hohen Überfahrtgeschwindigkeiten eventuell zu Verschiebungen zwischen Messort und Applikationsort führt.

Zudem sollen über die gleichen oder über zusätzliche Sensoren weitere Informationen über den Pflanzenbestand gesammelt werden, um eventuell andere Maßnahmenentscheidung besser abzusichern. In den zurzeit angebotenen Ausführungen können die Sensoren zur Düngeempfehlung noch nicht zwischen Trockenstress und tatsächlichem Nährstoffmangel im Pflanzenbestand unterscheiden. Eine Kombination aus der Erfassung von verschiedenen Zuständen (z. B. Trockenstress, Krankheit oder Nährstoffmangel) würde die Entscheidung für spezifische Maßnahmen unterstützen.

Verschiedene Institutionen arbeiten an der Möglichkeit, eine Datenfusion zu ermöglichen, die kartenbasierte und/oder aktuell gemessene Daten in die Maßnahmenentscheidung einfließen lässt.

Viele Praktiker schreckt es ab, neben den ohnehin schon überwältigenden Mengen an Dokumentation und Qualitäts-, Prozess- oder Standortdaten, nun noch weitere vom Pflanzensensor angebotene Daten zu organisieren und zu managen. Dabei besteht die Kunst darin, aus „dummen“ Daten zielgerichtete Informationen zu generieren. Alleiniges Datensammeln, ohne klares Ziel, verschlingt Arbeitszeit, Kosten und Motivation. Der Wert einer Information ist weniger mit den tatsächlichen Kosten dafür aufzuwiegen, jedoch vielmehr damit, wie diese Information Entscheidungen im Betrieb beeinflusst – sei es der Maßnahmenzeitpunkt, eine bessere Verteilung oder höhere Schlagkraft.

Ein zukünftiger Ansatz zur verbesserten Nutzung von Daten in der Landwirtschaft sind Neuronale Netzwerke, das sind vereinfacht gesprochen mathematische Verknüpfungen mit „Lern-Charakter“. Sie könnten es ermöglichen, verschiedene Arten von Informationen (Klima, Boden, Daten aus der Ackerschlagkartei, etc.) mit dem später zur Ernte tatsächlichen erzielten Ertrag oder der Qualität in Zusammenhang zu bringen. Es gibt also eine Feedback-Reaktion. Das System erkennt, dass durch eine bestimmte Kombination von Bedingungen ein bestimmter Ertrag resultiert. Jedes Jahr können neu erfasste Informationen einfließen, das System lernt dazu und ermittelt daraus die im Moment optimale Maßnahme (Düngermenge, Wachstumsregleraufwand, Pflanzenschutz).

Noch ist die Umsetzung nicht einfach, da zwar einerseits viele Daten angeboten werden können (vom Bodenwiderstand bei der Bodenbearbeitung bis hin zu Ernteeinformationen, etc.), diese andererseits jedoch noch zu oft in verschiedenen Datenformaten vorliegen. Eine einfache und effektive Weiterverarbeitung ist für den Landwirt kaum möglich. Nur mit teurer und komplexer Software können verschiedene Datenpakete miteinander verschnitten (Datenfusion) und interpretiert werden. In diesen Bereichen besteht noch großer Entwicklungsbedarf und eine Harmonisierung der Datenformate und -transfermöglichkeiten zwischen den Anbietern.

9. Entscheidungshilfen für den Landwirt

Bei der ökonomischen Auswertung verschiedener Versuche konnten nach erster Rechnung keine eindeutigen Einsparungen an Dünger oder Arbeitszeit gezeigt werden. Die Wirtschaftlichkeit des Sensoreinsatzes darf jedoch nicht allein an der Einsparung von Dünger und höheren Erträgen gemessen werden. Denn mit einbezogen werden müssen auch weitreichendere Folgen wie gesündere Bestände, weniger Lager und eine höhere Druschleistung auf Grund homogenerer Bestände. Auch weitere Einsatzmöglichkeiten der Technik, wie der oben genannte Wachstumsreglereinsatz, müssen in die Kalkulation mit einfließen. Schwierig wird es den monetären Nutzen einer Vegetationskarte einzuschätzen, die man zur Interpretation von Bodenunterschieden nutzen kann.

Landwirte, die Interesse am Einsatz eines optischen Sensors auf Ihrem Betrieb haben, ob für Düngung oder Pflanzenschutz, müssen sich für ein System entscheiden. Folgende Fragen sollten sich diese Landwirte vor dieser Entscheidung stellen, um ein möglichst passendes System für ihr Produktionssystem zu finden.

1. Setze ich den Sensor nur bei Tageslicht ein (→ passiver Sensor) oder auch bei Dämmerung oder gar nachts (→ aktiver Sensor)?
2. Reicht mir eine kleinere Erfassungsbreite aus oder möchte ich meinen Bestand großflächiger erfassen (Messfeld des Sensors bzw. Anzahl Einzelsensoren)?
3. Bevorzuge ich einen Anbau auf dem Schlepperdach, damit eine platzsparende Unterbringung oder betreibe ich die Technik im Frontanbau?
4. Gibt es bereits Regelfunktionen zur Düngung für meine Kulturen (d. h. wie viel soll bei welchem Indexwert gedüngt werden) oder obliegt die Konfiguration der Regelfunktion ausschließlich dem Anwender?
5. Gibt es bereits Regelfunktionen zur Wachstumsreglerapplikation?

Am allerwichtigsten bei der Charakterisierung der Leistungsfähigkeit von Sensorsystemen ist jedoch die Bewertung der pflanzenbaulichen Düngeempfehlung, die basierend auf den gemessenen Unterschieden empfohlen wird. Während bei einigen Systemen diese integriert in der Sensorik vorliegt, ist dies bei anderen Sensoren dem Anwender überlassen, oder es werden veränderbare Vorschläge vom System gegeben. Letzteres ist umsetzbar, setzt aber eine entsprechende Expertise in der Interpretation von Indexwerten voraus.

Weitere DLG-Merkblätter zum Thema Pflanzenbau/Technik Pflanze

- DLG-Merkblatt 388
**Satellitenortungssysteme
(GNSS) in der Landwirt-
schaft**
- DLG-Merkblatt 345
**Leitfaden für den Kauf
einer Landmaschine**
- DLG-Merkblatt 344
**Bodenschonender Einsatz
von Landmaschinen**



Download unter www.DLG.org/Merkblaetter



DLG e.V.
Mitgliederservice
Eschborner Landstr. 122
60489 Frankfurt am Main
DEUTSCHLAND
Tel. +49 69 24788-205
Fax +49 69 24788-124
Info@DLG.org
www.DLG.org