

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 81 (2019)
Heft: 1

Artikel: Sensoren spiegeln den Unterschied
Autor: Hunger, Ruedi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1082269>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Sensoren spiegeln den Unterschied

Eine bedarfsgerechte Ernährung der Kulturpflanzen ist seit jeher das Anliegen einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion. Sensorgesteuerte Düngung ermöglicht bei Getreide die Steigerung der Erträge und des Proteingehalts.

Ruedi Hunger



Yara-N-Sensor «ALS» auf dem Kabinendach. Der N-Sensor misst und analysiert das vom Pflanzenbestand reflektierte Sonnenlicht. Bild: Yara

Stickstoffsensoren machen nichts anderes als das geübte Auge eines Ackerbauern auch, sie nutzen die Lichtreflektion der Pflanzen. Chlorophyll in den Blättern reflektiert vom sichtbaren Licht das Grün intensiver, was von den Sensoren und von unseren Augen wahrgenommen wird. Deshalb erscheinen uns Blätter immer grün und gut mit Stickstoff versorgte Blätter eben noch grüner. Wenn die sensorische Erfassung zur Bestimmung der Stickstoffdüngung herangezogen wird,

müssen weitere Einflussfaktoren, die sich auf die Blattfarbe auswirken und damit die Reflexionseigenschaften der Pflanzen beeinflussen, ausgeschlossen werden. Solche Einflussfaktoren sind beispielsweise andere Nährstoff-Mangelscheinungen (Schwefel, Mangan) oder Pflanzenkrankheiten. Auch verdichtete Bodenzerren, Trockenstress und Staunässe haben zur Folge, dass Bestände heller sind, und führen damit zu falsch interpretierten Messwerten. Sensoren, die den Ernähr-

ungszustand der Pflanzen «messen» und in Echtzeit die auszubringende Nährstoffmenge anpassen, gibt es seit 2002.

Mechanische und optische Systeme

Es gibt zwei Möglichkeiten, den Ernährungs- und Entwicklungszustand der Pflanzen zu erfassen:

- Mechanisches System

Eine Möglichkeit ist (war), mithilfe eines Pendels den Biegewiderstand der Pflan-

Gegenüberstellung der verschiedenen Sensorarten

	Crop Sensor	N-Sensor ALS	Crop Circle	GreenSeeker	CropSpecTM	Isaria	(MiniVeg N)
Hersteller	Claas/ Fritzmeier	Agricon/ Yara ALS	Holland Scientific	Trimble/ Landdata	Topcon	Fritzmeier	Fritzmeier
Messprinzip	Optisch (Spektrometer)	Optisch (Fotodioden)	Optisch (Fotodioden)	Optisch (Fotodioden)	Optisch	Optisch	Optisch (Photomultiplier)
Messgrösse	N-Aufnahme Biomasse	N-Aufnahme Biomasse	NDVI*	NDVI*	N-Aufnahme Biomasse	N-Aufnahme Biomasse	Cchl** Fluoreszenz
Blickrichtung	senkrecht	schräg	senkrecht	senkrecht	schräg	senkrecht	senkrecht
Montage	Ausleger im Frontanbau	Kabinen-Dach	Ausleger im Frontanbau	Ausleger im Frontanbau	Kabinen-Dach	Ausleger im Frontanbau	Ausleger im Frontanbau
Messfeld	links/rechts neben der Fahrgasse	links/rechts neben der Fahrgasse	links/rechts neben der Fahrgasse	links/rechts neben der Fahrgasse	links/rechts neben der Fahrgasse	links/rechts neben der Fahrgasse	links/rechts neben der Fahrgasse
Lichtquelle	LED	Xenon-Blitzlam- pe	LED	LED	Laser	LED	Laser
Sensoren	2	2	2	2 oder 4	2	2	4
Anwendungs- zeit/Tag	24 Stunden	24 Stunden	24 Stunden	24 Stunden	24 Stunden	24 Stunden	24 Stunden
Kulturen	Getreide, Raps, Mais, Kartof- feln, Rüben, Gras	Getreide, Raps, Mais, Kartof- feln, Rüben, Gras	Getreide, Raps, Mais, Kartof- feln, Rüben, Gras	Getreide, Raps, Mais, Kartof- feln, Rüben, Gras	Getreide, Raps, Mais, Kartof- feln, Rüben, Gras	Getreide, Raps, Gras	Getreide
Kalibrierung	Freie Kalibrierung	Freie und abso- lute Kalibrierung	Freie Kalibrierung	Freie und abso- lute Kalibrierung	Freie Kalibrierung	Freie Kalibrierung	Freie Kalibrierung
Praxiseinsatz	Seit 2010	Seit 1999	Seit 2005	Seit 2009	Seit 2011 (erwartet)	Seit 2009	Seit 2005
Bemerkung						Mit «Düngesys- tem» Weizen, kein Kalibrieren notwendig.	3 cm Abstand des Sensors zur Messfläche
Richtpreis	18 000 Euro	27 000 bis 37 000 Euro	12 500 Euro	25 000 bis 31 000 Euro	k. A.	17 000 Euro (Verkauf auch Claas)	33 500 Euro (nicht mehr im Verkauf)
	*NDVI Normalized Difference Vegetation Index. Indikator für Biomasse **Cchl Indikator für Chlorophyllkonzentration						

(Quelle: Yves Reckleben; Themenheft Sensorik 2015, Änderungen vorbehalten)

zen zu erfassen. Dazu wird die Auslenkung des durch den Bestand geführten Pendels gemessen. Je höher der Widerstand ist, desto besser bzw. stabiler ist die Pflanze. Dieser Widerstand wird nicht nur durch den Ernährungszustand beeinflusst, sondern gewissermassen auch durch den Einfluss von Wachstumsreglern «verfälscht». Dieses mechanische System der Firmen Claas und Müller Elektronik wird seit 2014 nicht mehr verkauft.

• Optische Systeme

Alle anderen Messsysteme, die derzeit zur Erfassung des Ernährungs- und Entwicklungszustandes auf dem Markt sind, arbeiten indirekt mit optischen Messgrössen (Tabelle 1). Diese berührungslosen Systeme erfassen entweder die Reflexion oder die Fluoreszenz und schliessen aufgrund ihrer Intensität auf den



«GreenSeeker»-Sensor von Trimble am Ausleger im Frontanbau. Bild: Trimble

Vegetationskennzahlen

NDV: Der «Normalized Difference Vegetation Index» (NDVI) ist eine international anerkannte Kennzahl, die den Biomasseaufwuchs beschreibt. Der NDVI lässt sich berechnen, indem die Lichtreflexion von zwei Wellenlängen gemessen wird. Eine davon muss aus dem roten und eine andere aus dem Nahinfrarot-Bereich stammen. Der Biomassindex wird auch bei der Fernerkundung per Satellit ermittelt. Der Wert ist in erster Linie ein Mass für die Pflanzenbedeckung einer Fläche. Seine Eignung für die Bewertung der Stickstoffversorgung ist deshalb umstritten, weil in dichten und gut versorgten Pflanzenbeständen eine Art Sättigung eintritt und keine Unterschiede mehr feststellbar sind.

REIP: Der «Red Edge Inflection Point» beschreibt den Wendepunkt der reflektierten Lichtintensität am Übergang vom roten zum nahinfraroten Wellenlängenbereich. An diesem Punkt zeigt die Reflexion von grünen Pflanzen einen deutlichen und recht steilen Anstieg. Dieser Anstieg ist weniger stark ausgeprägt, wenn die Pflanzen schlecht mit Stickstoff versorgt sind. Um den Wendepunkt des Rot-Infrarot-An-

stiegs zu berechnen, müssen die Lichtintensitäten von vier Wellenlängen aus dem roten und dem nahinfraroten Bereich gemessen werden. Weil der REIP eine geringe Sortenabhängigkeit zeigt und auch bei guter N-Versorgung der Pflanzen noch Unterschiede erkennen lässt, scheint er gut für eine automatische Ausbringmengenregulierung geeignet zu sein.

Chlorophyll-Fluoreszenz: Licht regt das Chlorophyll in den Pflanzen zum Eigenleuchten der sog. «Fluoreszenz» an. Man kann dieses Eigenleuchten bewusst auslösen, indem man die Blätter der Pflanzen mit Laserlicht bestrahlt. Das Chlorophyll absorbiert das Anregungslicht mit bekannter Wellenlänge und Energie. Da das Chlorophyll auf ganz charakteristische Art und Weise auf die Laserlichtbestrahlung reagiert, lässt die laserinduzierte Chlorophyll-Fluoreszenz sehr gute Aussagen über die Photosynthese-Aktivität und folglich auch über den Stickstoffgehalt zu. Da jedoch die Laserstärke beim Einsatz in einem N-Sensor aus Sicherheitsgründen beschränkt ist, muss ein solcher Sensor sehr dicht über den Bestand geführt werden.

finden. Darin enthaltene Fotodioden messen den durch das auftreffende Licht erzeugten Photostrom und damit die Lichtintensität. Im Rechner werden anschliessend bis 1000 Messwerte je Sekunde verrechnet. Eine Vergleichsgröße: Das menschliche Auge kann max. 20 Bilder pro Sekunde verarbeiten. Zur Ermittlung des Stickstoffbedarfs stützt sich Sensor auf eine Vegetationskennzahl (REIP). Einmal pro Sekunde sendet der Rechner via Bluetooth die verrechneten Werte an das Isaria-Terminal in der Kabine. Schliesslich wird die geforderte Düngermenge als Auftrag vom Isaria-Terminal an den Rechner des Düngerstreuers weitergeleitet. Die Update-Rate ist einstellbar (z.B. alle 5 Sekunden).

Der Begriff «Stickstoff-Sensor» ist eigentlich falsch, denn keiner der Sensoren kann den tatsächlichen Stickstoffgehalt messen. Aber alle Sensoren auf dem Markt erfassen die natürlich existierenden Unterschiede in der Bestandesentwicklung.

Kalibrieren obligatorisch

Alle Sensoren müssen zum Applikationstermin kalibriert werden (Reckleben, 2007). Das heisst, sie müssen an die zum Zeitpunkt der Applikation am Standort herrschenden Verhältnisse, insbesondere Bestandesentwicklung, Düngerstrategie, N-Bedarf und sortenspezifische Reflexion, angepasst werden. Bei der «freien Kalibrierung» kann der Anwender entscheiden, was der Sensor tun soll, das heisst, wie viel Stickstoff auf gut entwickelten oder schwach entwickelten Teilstücken ausgetragen werden soll. Bei der «absoluten Kalibrierung» ist die Strategie für jedes Entwicklungsstadium festgelegt und der Anwender entscheidet mit der Kalibrierung einzig über das Niveau der N-Düngung und den Regelbereich.

Die Bemessung der Referenz-N-Menge kann durch verschiedene N-Bedarfs-Tester abhängig von der Sorte und dem Entwicklungsstadium manuell durchgeführt werden.

Ernährungszustand. Ein Vorteil der indirekten und berührungslosen Messung ist, dass je nach Montagepunkt des Sensors relativ grosse Messflächen betrachtet und für die Düngerentscheidung berücksichtigt werden können.

Funktionsprinzip

Das beispielsweise vom Fritzmeier/Isaria Sensor ausgesendete rote und nahinfrarote LED-Licht ist monochromatisch, das heisst, fast einfarbig. Mittig im Sensorkopf ist die Optik des Lichtdetektors zu



Isaria/Fritzmeier-Sensor in einem Raps-Bestand. Bild: CNH/Fritzmeier



Klassische Sensoranwendung für die qualitätsbetonte Düngung im Getreide. Bild: Claas/Fritzmeier

Prinzip der Lichtreflektion

Photosynthese ist der grundlegende Stoffwechselprozess auf der Erde. Über ihn laufen alle Biomassen-Produktionsprozesse. Dank Photosynthese wird Energie für Lebensvorgänge gebunden und Sauerstoff für die Atmung freigesetzt. Die für die Photosynthese wichtigen Chlorophyllpigmente absorbieren Licht verschiedener Wellenlängen. Wenn dem sichtbaren «weissen» Licht blaue und rote Lichtanteile durch Absorption im Chloroplast entzogen werden, bleibt die grüne Farbe im reflektierten Lichtanteil zurück. Daraus erklärt sich die Blattfärbung (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 die Pflanze versorgt ist, desto mehr Strahlung wird im nahen Infrarotbereich reflektiert. Das Verhältnis zwischen Infrarotreflektion und Reflektion im sichtbaren roten Wellenlängenbereich wird als Indikator für die Biomasseentwicklung genutzt. Krankheiten, Schwebelversorgung und Staunässe usw. beeinflussen den Chlorophyllgehalt. Tauwasser auf den Pflanzen verändert die Reflexion.

Zusammenfassung

Die verschiedenen Sensoren unterscheiden sich nicht nur in der Messgrösse, sondern auch in ihrer Ausstattung und Funktionalität. Der Anbaupunkt ist besonders wichtig, denn damit wird die erfasste Flächengrösse bestimmt. Der schräge Sensor-Blick ab dem Kabinendach ins Feld ermöglicht das Erfassen einer verhältnismässig gros-

sen Fläche. Der senkrechte Blick erfordert grössere Abstände oder mehr Sensoren, um die gleiche Fläche abzudecken. Die erfasste Fläche je Sensor misst zwischen 0,144 bis 4,0 m². Ein sinnvoller Einsatz beginnt je nach Sensor bei 100 Hektaren. Verschiedene Anwender in Deutschland gehen von einer Wirtschaftlichkeitsschwellle zwischen 300 bis 400 Hektaren aus. ■

Gegenüberstellung der verschiedenen Sensorarten

Sensoren für die variable Stickstoffdüngung

Mechanischer Sensor	Optische Sensoren
	Messgrösse: Reflektion
	
Pendel-Sensor von Claas/ Müller Elektronik (Wird seit 2014 nicht mehr verkauft)	Yara-N-Sensor Yara-N-Sensor ALS Crop Circle GreenSeeker Isaria
Der Pendelsensor benötigt einen geschlossenen Bestand, damit die Auslenkung ein realistisches Resultat bringt, und der MiniVeg-N muss in einem definierten Abstand von drei Zentimetern über die Messfläche geführt werden, was beim Ährenschieben nicht einzuhalten ist. Beide Sensoren sind daher nicht mehr im Verkauf.	