



Ernährungsanalyse

Für die teilflächenspezifische Düngung sind mittlerweile mehrere ausgereifte Sensorsysteme verfügbar. Sensorspezialist Professor Bodo Mistele gibt Entscheidungshilfen.

Unterschiedliche Böden, Teilschläge mit variierender Bewirtschaftungshistorie und verschiedenen geografischen Lagen in einem Ackerschlag verursachen kleinräumige Unterschiede in der Bestandesentwicklung. Bei immer größer werdenden Schlägen wird es zunehmend schwieriger, solche Flächen flächeneinheitlich zu führen. Häufig werden Senken überdüngt, mit der Folge von Lager und grünem Stroh bei der Ernte, wogegen schwache Teilflächen zu früh abreifen und Minderertrag bringen. Sensortechnik bietet hierfür einen Lösungsansatz. Die Pflanzen werden in ihrem Aufwuchs abgeschätzt und daraus wird individuell der Nährstoffbedarf mit dem Ziel abgeleitet, den Pflanzen zu jeder Zeit genug Nährstoffe für einen

Kurz & knapp

- Stickstoffsensoren ermöglichen eine kleinflächige, individuelle Düngung.
- Es gibt Sensoren mit Lichtquelle und Sensoren, die das Sonnenlicht nutzen.
- Aus der Lichtreflexion der Pflanzen wird auf den Versorgungszustand geschlossen.
- Über Algorithmen wird aus den Sensorwerten eine Düngeempfehlung ermittelt.
- Bei Raps empfiehlt sich, im frühen Winter für die Frühjahrsdüngung zu scannen.

Maximalertrag zur Verfügung zu stellen und zu keinem Zeitpunkt übermäßigen und ungenutzten Nährstoff bereitzustellen.

Online Sensoren werden am Traktor aufgebaut und scannen während der Überfahrt den ganzen Schlag. Dabei wird die gedüngte Fläche nicht komplett gemessen, sondern nur ein repräsentativer Teil der Fläche entlang der Fahrspur. Die derzeit gängigen Sensoren auf dem Markt sind durchweg optische Systeme. Gegenwärtig sind in Deutschland die in der Tabelle beschriebenen fünf Systeme auf dem Markt verfügbar.

Das Funktionsprinzip der fünf Sensoren ist recht ähnlich. Sie zerlegen das von den Pflanzenbeständen reflektierte Licht in feine Spektral-Bereiche, sowohl im sichtbaren als auch im nicht sichtbaren nahinfraroten Be-

reich. Pflanzenbestände absorbieren Licht im sichtbaren Bereich nach Bestandschluss nahezu vollständig. Bei Boden dagegen, ist die Reflexion im blauen Bereich auch niedrig, steigt dann aber kontinuierlich zum roten Bereich hin an (Abbildung 2). Unterschiedliche Bodenfarben und Feuchtigkeit bewirken in erster Linie unterschiedliche Reflexion im nahinfraroten Bereich. Zur Bestimmung von Pflanzendichten eignet sich deswegen der rote Bereich am besten, da dort der Unter-

schied zwischen Boden und Pflanzenbestand am größten ist. Bei geringen Pflanzendichten im roten Bereich ist als erstes eine Chlorophyll-Absorptions-Delle zu erkennen, weil Chlorophyll bei 680 und 700 nm photochemisch reagiert. In nahinfraroten Spektralbereich unterscheiden sich die Pflanzen auch, jedoch ist dort die Reflexion stark von der Biomassedichte abhängig. Aus diesem Grund eignet sich für eine Abschätzung der Bodenbedeckung das Verhältnis der Reflexion im

Nahinfrarot zur Reflexion im roten Bereich als Index. Dieser Index hat seine Stärke vor Bestandschluss. Bei geschlossenen, dichten Pflanzenbeständen arbeitet das Blattpigment im Zentrum der Absorption so gut, dass nur sehr wenig reflektiert wird und die Reflexionswerte sich nur minimal unterscheiden. Zur Abschätzung des N-Bedarfs in weiter entwickelten Beständen eignen sich Wellenlängen (Farben) aus dem Grenzbereich der Chlorophyllabsorption. Besonders gut →



Cropcircle



N-Sensor ALS



N-Sensor II



Cropsensor

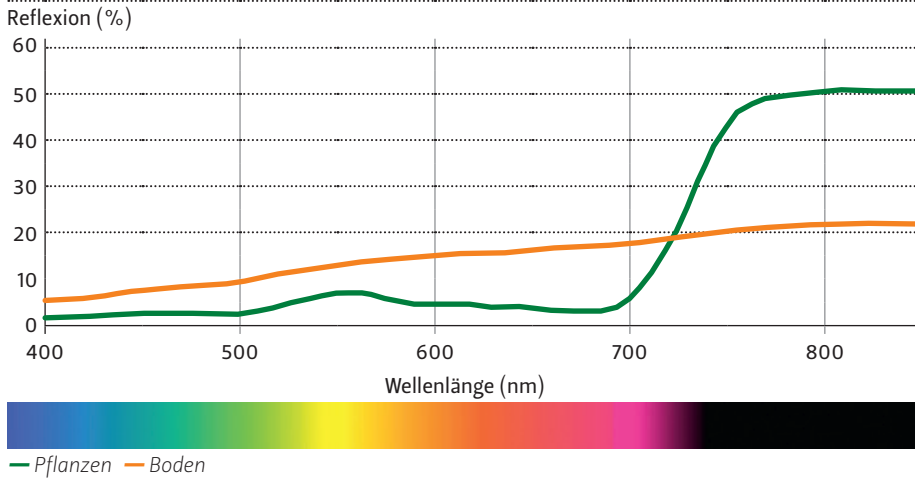


Greenseeker

1 Für den deutschen Markt bedeutsame Düngesensoren

| Sensor | N-Sensor ALS | N-Sensor | Greenseeker | Cropcircle | Cropsensor |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| Hersteller | Yara | Yara | Trimble | Holland Scientific | Fritzmeier |
| Vertrieb in Deutschland | Agricon | Agricon | Landdata Eurosoft | Ag Leader Europe | Fritzmeier/Claas |
| Lichtquelle | Xenon Blitz | Sonne | LED | LED | LED |
| Optimaler Abstand | 0,4—einige Meter | unabhängig | 0,7—1,1 m | 0,4—1,4 m | 0,8 m |
| Index | $100 - (\ln R_{760} - \ln R_{730})$ | $100 - (\ln R_{760} - \ln R_{730})$ | $R_{770} - R_{650}/R_{770} + R_{650}$ | R_{760}/R_{730} und R_{760}/R_{670} | $700 + 40 \cdot ((R_{670} + R_{780}) / (2 - R_{700}) / (R_{740} - R_{700}))$ |
| Stickstoffversorgung | ++ | ++ | + | ++ | ++ |
| Biomasseerkennung | ++ | ++ | + | ++ | ++ |

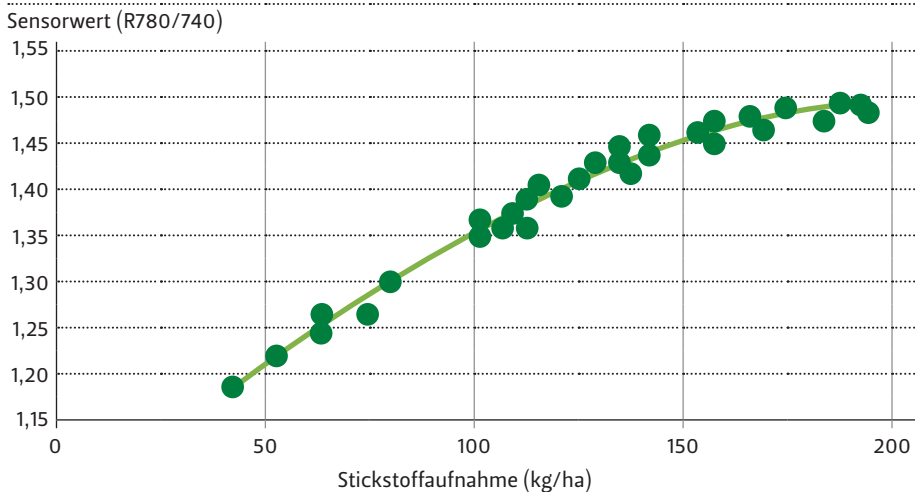
2 Reflexionssignatur eines Pflanzenbestandes und des Bodens



Pflanzenbestände absorbieren Licht im sichtbaren Bereich nach Bestandsschluss nahezu vollständig. Bei Boden dagegen, ist die Reflexion im blauen Bereich auch niedrig, steigt dann aber kontinuierlich zum roten Bereich hin an. Unterschiedliche Bodenfarben und Feuchtigkeit bewirken in erster Linie unterschiedliche Reflexion im nahinfraroten Bereich.

Zur Bestimmung von Pflanzendichten eignet sich deswegen der rote Bereich am besten, da dort der Unterschied zwischen Boden und Pflanzenbestand am größten ist. Bei geringen Pflanzendichten im roten Bereich ist als erstes eine Chlorophyll-Absorptions-Delle zu erkennen, weil Chlorophyll bei 680 und 700 nm photochemisch reagiert. Im nahinfraroten Spektralbereich unterscheiden sich die Pflanzen auch, jedoch ist dort die Reflexion stark von der Biomassedichte abhängig.

3 Beziehung zwischen Stickstoffaufnahme und Reflexionsindex R780/R740 bei Winterweizen zu EC 65 (R² = 0,99)



Für die Düngung werden Wellenlängenbereiche aus der Reflexionssignatur entnommen und daraus Indizes berechnet. Für die Ermittlung der optimalen Düngermenge nutzt der passive N-Sensor einen Nahinfrarot/Nahinfrarotindex, welcher sehr gut geeignet ist, den N-Status abzuschätzen.

eignet sich ein Bereich aus dem Nahinfraroten, der noch in der Nähe des Roten liegt und noch etwas von der Chlorophyllabsorption beeinflusst ist. Mit einem weiter entfernten Nahinfrarot wird ein Index gebildet, der dann geeignet ist, den N-Gehalt je Biomasse abzuschätzen.

Mit und ohne Lichtquelle

Was den technischen Aufbau der optischen Onlinesensoren betrifft, gibt es zwei grundlegend verschiedene Ansätze. Die Sensoren unterscheiden sich in der Lichtquelle die sie verwenden. Passive Sensoren haben keine eigene Lichtquelle, sondern nutzen das Son-

nenlicht. Der klassische Vertreter dieser Kategorie ist der passive N-Sensor. Dieses Gerät besteht aus zwei Spektrometern. Ein Spektrometer analysiert das einfallende Sonnenlicht, während ein zweites Spektrometer das vom Bestand zurückgeworfene Licht. Der Sensor berechnet aus dem Verhältnis der beiden Spektrometerwerten die Reflexion. Für die Düngung werden Wellenlängenbereiche aus der Reflexionssignatur entnommen und daraus Indizes berechnet. Für die Ermittlung der optimalen Düngermenge nutzt der passive N-Sensor einen Nahinfrarot/Nahinfrarotindex, welcher sehr gut geeignet ist, den N-Status abzuschätzen (Abbildung 3). Ungünstig ist bei diesem Sensor, dass er nur von ca. 8.00 bis 18.00 Uhr oder bei bewölktem Himmel eingesetzt werden kann.

Aktive Sensoren nutzen eine eigene Lichtquelle. Sie haben damit den großen Vorteil, unabhängig vom Tageslicht zu sein und auch bei Dämmerung und in der Nacht eingesetzt zu werden. Technisch sind sich die aktiven Sensoren sehr ähnlich. Alle pulsieren eine Lichtquelle und messen jeweils mit Licht und ohne Licht, um daraus die Reflexion der Pflanzen zu berechnen. Eine Besonderheit stellt der Yara ALS-Sensor dar. Dieser besitzt eine sehr starke Lichtquelle und kann deswegen weiter vom Bestand entfernt angebaut werden. Dadurch kann der Sensor nicht nur aufgeräumt und schmutzgeschützt auf dem Schlepperdach montiert werden, sondern die Messwerte sind auch unempfindlicher gegen variable Bestandshöhen. Durch die niedrige Messposition der LED-Sensoren können unterschiedliche Bestandshöhen gelegentlich zu Messfehlern führen. Die Messfläche ist bei allen Sensoren nicht vollflächig. Erfahrungsgemäß stellt dies auch kein Problem dar, da die Skalierung der Heterogenität im Pflanzenbestand nicht definiert werden kann. Dies bedeutet, die Bestände sind heterogen vom Gesamtschlag bis zur Einzelpflanze. Werden die Sensoren zusammen mit einem Schleuderstreuer eingesetzt, so müssen die Werte ohnehin über die gesamte Wurfweite in Fahrtrichtung hinweg gemittelt werden, um nicht übermäßig zu regeln. Die tatsächliche Größe des Messfeldes ist stark abhängig von der Höhe des Sensoraufbaus. Bei den Yara Sensoren sind die

Messflächen ca. 10 m² groß. Das Transekt ist dabei ca. 4 m breit. Werden beim Greenseeker vier Sensoren auf 1,1 m Höhe montiert, so ist die überfahrene Messfläche auch ca. 4 m breit, allerdings ist das Messfeld nur wenige mm tief. Das schmale Messfeld bedingt, dass bei der Überfahrt die Messungen der unterschiedlichen Farben auf unterschiedlichen Pflanzen durchgeführt wird. Dies ist ungünstig und führt zu sehr unruhigen Messwerten. Bei den Sensoren von Holland Scientific und Fritzmeier werden häufig nur zwei Sensoren aufgebaut, wodurch die überfahrene Bestandesfläche nur ca. 3 m breit ist. In der Praxis entstehen dadurch aber kaum Nachteile.

Messwertinterpretation

An der TU München wurden über einen Zeitraum von zehn Jahren Sensoren in verschiedenen Kulturen erprobt. Hauptaugenmerk wurde auf die Erfassung der Stickstoffaufnahme gelegt. Die Ergebnisse zeigten, dass der schon in die Jahre gekommene passive N-Sensor immer noch die besten Messwerte brachte und nach wie vor als Referenzsystem angesehen werden darf. Die Arbeitsqualität dieses Gerätes ist allerdings abhängig von gleichmäßigen Witterungsbedingungen und Sonnenlicht.

Yara ALS und CropCircle erzielten auch sehr gute Messwerte, der Greenseeker da-

gegen weniger. Die Messwerte waren teilweise in frühen Stadien brauchbar, fielen zur 3. Gabe allerdings in der Regel deutlich ab. Messungen mit dem Cropsensor wurden in dieser Zeit nicht durchgeführt. Die technische Ausstattung des Gerätes lässt allerdings auf ordentliche Mess-Eigenschaften schließen.

Die technische Genauigkeit der Sensoren ist sehr wichtig. Von weit höherer Bedeutung ist aber der Düngealgorithmus. Welcher Sensorwert führt zu welcher Düngeempfehlung? Sollte der Sensorwert um 5 % abweichen, ist das weniger problematisch, entscheidend ist jedoch, dass der Pflanzenbestand die richtige Menge Dünger erhält. Bei den Düngealgorithmen gibt es große Unterschiede. Yara hat die längste Erfahrung mit Düngealgorithmen für Onlinesensoren. Vor 15 Jahren kamen sie mit einem Algorithmus auf den Markt. Die Regelkurve bei der ersten und zweiten Gabe ist linear zum Sensorwert. Schwache Pflanzenbestände bekommen mehr Dünger, starke Bestände weniger. Starke Bestände haben das Ertragspotenzial erfüllt und können nicht weiter gefördert werden. Schwache Bestände dagegen könnten eventuell durch mehr Dünger noch bis zum Erreichen des Ertragspotenzials gefördert werden. Bei der Qualitätsgabe für Getreide wird der Algorithmus umgedreht. Starke Bestände werden stärker gedüngt, da größere Korn-

anlagen auch eine höhere Gesamtmenge an Protein bilden sollen.

Neben der Möglichkeit einer agronomischen Kalibrierung bietet Yara bei Raps auch eine absolute Kalibrierung an. Das ermöglicht dem Nutzer ohne Kalibrierung auf das Feld zu fahren und sofort mit einer bedarfsgerechten teilschlagspezifischen Düngung zu beginnen. Auch der Cropsensor von Fritzmeier bietet die Möglichkeit mit einer Ein-Punkt-Kalibrierung eine mitgelieferte Regelkurve zu nutzen. Beim Greenseeker und dem Zwei-Punkt-Modus des Cropsensors muss der Anwender bei jeder Düngerapplikation die Düngermenge und die Regelkurve selbst festlegen.

Neben der üblichen sensorgestützten zweiten und dritten N-Gabe ist besonders bei Raps eine Messung im frühen Winter empfehlenswert, um die zum Teil erheblichen Unterschiede in der N-Aufnahme im Herbst festzuhalten. Basierend auf diesen N-Aufnahmedaten kann dann eine Applikationskarte für die erste N-Düngung generiert werden. Eine etwaige Auswinterung würde eine N-Aufnahmemessung im zeitigen Frühjahr unmöglich machen. Die Sensoren können einen deutlichen Beitrag leisten, die N-Überhänge im Rapsanbau zu reduzieren. (mö) **an**

Prof. Dr. Bodo Mistele,
Fachhochschule Südwestfalen, Soest

Extrem vielseitig einsetzbar

Stickstoff-Düngung

Wachstumsregler

Fungizide

Sikkation

Bestandesbonituren

Karten-Applikation

YARA N-SENSOR



YARA N-Sensor

Düngung und Pflanzenschutz auf höchstem Niveau

www.ni-sensor.de