

# Sensorgesteuerte Stickstoffdüngung

*Die teilflächenspezifische Ermittlung des Stickstoffbedarfes erfordert eine aktuelle Messung der Stickstoffversorgung mit guter Ortsauflösung. Dies lässt sich durch einen Reflexionssensor am Traktor erreichen. Er bestimmt die spektrale Reflexion des Bestandes aus dem reflektierten Sonnenlicht. So lassen sich Reflexionsindizes berechnen, die mit der Stickstoffversorgung einher gehen. Auf diese Weise wird aufgrund der Messung die Dosierung des Verteilgerätes online gesteuert.*

*Wie lassen sich nun aber diese Sensorwerte zu einer Düngeempfehlung umrechnen? Im Folgendem wird eine Methode vorgestellt, die direkt die unterschiedlichen Anforderungen an Stickstoff auf jeder Teilfläche berücksichtigt.*

Dipl. Phys. Eiko Thiessen ist Mitarbeiter am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel (Dir.: Prof. Dr. E. Isensee), Max-Eyth-Str. 6, 24118 Kiel; e-mail: ethiessen@ilv.uni-kiel.de

## Schlüsselwörter

Sensor, Stickstoffdüngung, teilflächenspezifisch

## Keywords

Sensor, nitrogen application, site-specific

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 00218 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Schon seit langem ist bekannt, dass sich Stickstoffmangel in der Färbung des Bestandes äußert. Ursache hierfür ist vor allem der grüne Pflanzenfarbstoff Chlorophyll, dessen Blattgehalt mit der Stickstoffversorgung korreliert [1].

Für die Farbe eines Stoffes ist die spektrale Verteilung des zurückgestrahlten Lichtes verantwortlich. Der Reflexionsgrad des Stoffes ergibt sich aus dem Anteil der zurückgestrahlten zur eingestrahnten Lichtintensität und ist unabhängig vom Umgebungslicht.

Die optischen Eigenschaften von Pflanzenbeständen lassen sich wie folgt zusammenfassen: Bei steigendem Chlorophyllgehalt sinkt die Reflexion im Roten und bei zunehmenden Reflexionsflächen durch wachsenden Blattflächenindex (Blattfläche/Bodenfläche) steigt die Reflexion im nahen Infrarot. Der verfügbare Stickstoff bewirkt eine Zunahme beider Parameter und wirkt sich steigernd auf das Rot zu Infrarot Verhältnis aus.

Als ein „guter“ Reflexionsindex hat sich der Wendepunkt im Rot zu Infrarot Anstieg ergeben. „Gut“ bedeutet, dass Störeinflüsse wie Sonnenstand, Bewölkung, Bodenfarbe und Pflanzengeometrie sich wenig auswirken, während sich im relevanten Bereich ein linearer Zusammenhang zur Stickstoffversorgung zeigt [2]. Diese Korrelation tritt etwa ab dem Schossbeginn bei Getreide auf, so dass der Einsatz der sensorgesteuerten Stickstoffdüngung auf die zweite und dritte Gabe beschränkt ist.

## Der Sensor

Das Sensorsystem besteht aus fahrzeuggestützten Reflexionssensoren, von denen einer nach oben gerichtet die spektrale Sonneneinstrahlung misst, während die anderen nach unten gerichtet die von den Pflanzen zurückgestrahlte Lichtintensität erfassen. Bei jedem Reflexionssensor werden mehrere Wellenlängenbereiche im Roten und nahem Infraroten erfasst, aus denen der Reflexionsgrad durch den Anteil der zurückgestrahlten zur eingestrahnten Intensität berechnet wird.

In dieser Arbeit wurde als Reflexionsindex der Wendepunkt im Rot zu Infrarotanstieg (Red Edge Inflection Point, REIP) ver-

wendet. Seine Position wird mit einer Näherungsformel, die vier Reflexionsgrade benötigt, berechnet [3].

Als Sensorwert SW wird im Folgenden die Differenz des Wendepunktes der gemessenen Fläche zu dem niedrigsten Wendepunkt  $REIP_0$  auf dem aktuellen Schlag verwendet

$$SW = REIP - REIP_0 \quad (1)$$

Das benutzte Sensorsystem erfasst jeweils 6 m links und rechts neben dem Traktor eine Fläche von etwa 1 m<sup>2</sup> mit einer Ortsauflösung von 1 m bei einer typischen Fahrgeschwindigkeit von 2 m/s. Die Position der Sensoren wird über DGPS registriert.

## Untersuchungen an Praxisschlägen

Mit dem Sensorsystem wurden teilflächenspezifisch gedüngte Winterweizen- und Wintergerstenschläge im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins kartiert. Die Teilflächengrenzen ergeben sich aus dem stark ausgeprägten Relief. Störeinflüsse, wie Mangel an anderen Nährstoffen und Krankheitsbefall, wurden durch entsprechende Maßnahmen minimiert.

Es wurde untersucht, ob es einen gemeinsamen Zusammenhang zwischen den Sensorwerten und der Stickstoffgabe auf allen Teilflächen gibt, wie es aus Parzellenversuchen bekannt ist [2]. Dazu wurde, wie in *Bild 1* dargestellt, für jede einzelne Teilfläche der Sensorwert gegen die sechs Wochen zuvor erfolgte, variierende Stickstoffgabe aufgetragen.

Auf diesen praxisüblichen Schlägen gibt es kaum einen solchen Zusammenhang, der die Bestimmung der Stickstoffgabe aus dem Sensorwert ermöglicht. Bei Teilflächengruppen mit identischen Relief und Bodenart ergibt sich ein etwas engerer Zusammenhang (Daten nicht gezeigt) [4].

Von Parzellenversuchen ist bekannt, dass es auf homogenen Flächen einen engen Zusammenhang zwischen Wendepunkt und Stickstoffgabe gibt (gestrichelte Linie in *Bild 1*). Dies ist auf wirklich identischen Teilflächen auch anzunehmen. Allerdings unterscheiden sich selbst zwei Teilflächen mit identischem Sensorwert in ihren Eigenschaften (Relief, Bodenart, Mikroklima, Ernterückstände,...), so dass dieser Zusammenhang durch die unterschiedliche Stickstoffeffizienz jeweils ein anderer ist.

### Schlussfolgerung

Bei der üblichen Kalibrierung (Zuordnung einer Applikationsmenge zu den Sensorwerten) in der Form "niedriger Sensorwert bekommt viel Stickstoff und umgekehrt" werden die unterschiedlichen Zusammenhänge zwischen Stickstoff und Sensorwert nicht berücksichtigt. Es kann so zu der Situation kommen, dass eine sandige, ertragsschwache Fläche mit dem Sensorwert X die gleich hohe Applikationsmenge bekommt, wie eine lehmige, ertragsstarke Fläche mit dem selben Sensorwert X, obwohl die Auswirkungen der Stickstoffgabe auf diesen Flächen sehr unterschiedlich sein können (Bild 1).

### Teilflächenspezifische Kalibrierung

Es müsste also idealerweise das Sensorsystem auf jeder einzelnen Teilfläche kalibriert werden, indem die Kalibrierfunktion etwa durch einen Mini-Stickstoffsteigerungsversuch auf jeder kleinen Teilfläche ermittelt wird. Dies führt zu der Idee, die Antwort der Pflanzen auf ein Mehrangebot an Stickstoff auf einer Teilfläche zu prüfen. Reagieren sie mit mehr Wachstum – was sensorisch gut feststellbar ist – so handelt es sich um eine Teilfläche, die mehr Stickstoff „vertragen“ kann und umgekehrt. Diese Vorgehensweise wird im Folgenden teilflächenspezifische Kalibrierung genannt.

### Versuchsdurchführung

Zur Demonstration der sensorgesteuerten Stickstoffdüngung mit teilflächenspezifischer Kalibrierung wurde ein Versuch angelegt, in dem in den Fahrgassen zur ersten Stickstoffgabe ein etwa 1 m breiter Referenzstreifen längs der Fahrtrichtung mit zusätzlich  $N_{ref} = 30$  kg/ha gedüngt wurde. Zur zweiten Stickstoffgabe hob sich dieser Streifen meist durch eine dunkelgrünere Färbung vom übrigen Bestand ab. Die relative Verteilung der zweiten Gabe erfolgte nun nach der Differenz des rechten Sensors mit dem Sen-

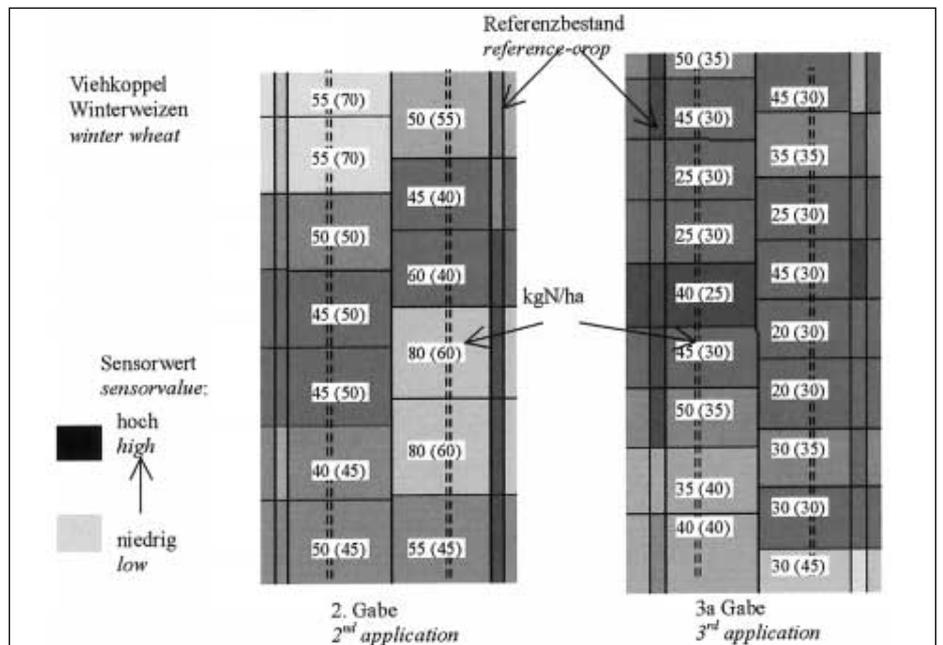


Bild 2: Schlageinheitliche und teilflächenspezifische Kalibrierung. Die Zahlen auf den einzelnen Teilflächen geben die tatsächlich applizierte Menge an, die nach der Differenz der Sensorwerte vom Referenzbestand zum übrigen Bestand berechnet wurde (vgl. Gleichung 2); die Zahlen in Klammern bezeichnet die Menge, die nach der schlageinheitlichen Kalibrierung appliziert worden wäre.

Fig. 2: Global and site-specific calibration. The numbers on the sites are the amount of nitrogen really applied which was calculated according to the difference in the sensor values of the reference crop (cf. equation 2). The numbers in brackets show the quantity which would have been applied using global calibration.

sorwert  $SW_{ref}$ , der auf diesen Streifen gerichtet war, zum linken Sensor mit dem Sensorwert  $SW_{norm}$ , der den übrigen Bestand maß. Durch diesen quasi Mini-Stickstoffsteigerungsversuch konnte auf jeder Teilfläche die Kalibrierfunktion für die Berechnung der zu applizierenden Menge

$$N_{appl} = \begin{cases} N_{max} - s \cdot SW_{norm} & \text{für } SW_{ref} \geq SW_{norm} \text{ und } N_{max} - s \cdot SW_{norm} > N_{mind} \\ N_{mind} & \text{sonst} \end{cases} \quad (2)$$

mit  $s = \frac{N_{ref}}{SW_{ref} - SW_{norm}}$

und  $N_{max}$  oder  $N_{mind}$  vom Landwirt vorgegebene Höchst- oder Mindestmenge bestimmt und genutzt werden.

Die Ergebnisse dieser so erfolgten sensorgesteuerten Stickstoffdüngung nach teilflächenspezifischer Kalibrierung zeigt Bild 2. In Klammern dargestellt sind die empfohlenen Werte nach einer schlageinheit-

lichen Kalibrierung, bei der nur eine Kalibrierfunktion ( $s = \text{konstant}$  in Gleichung 2) für den gesamten Schlag zugrunde liegt. Es wurde jeweils für eine Teilfläche von 12 m Länge die berechnete Applikationsmenge  $N_{appl}$  gemittelt und dort ausgebracht.

Deutlich erkennt man zur zweiten Gabe die hellen (im Bestand hellgrünen Flächen), die bei einer schlageinheitlichen Kalibrierung gleichermaßen eine hohe Stickstoffgabe bekämen (60 bis 70 kg/ha). Bei diesem Versuch ergab sich aber für die Hälfte dieser Flächen eine geringe Stickstoffnutzung des höher gedüngten Streifen (links oben), so dass dort eine geringere Menge appliziert wurde (50 kg/ha), während die andere Hälfte (rechts unten) den zuvor extra gedüngten Stickstoff nutzen konnte (dunkler Referenzstreifen) und somit auch zur zweiten Gabe viel Stickstoff (80 kg/ha) bekam.

### Ausblick

Die Übertragung dieser Methode auf große Schläge ist durch die Anlage eines höhergedüngten Streifen mit Hilfe einer Flüssigdüngerspritze oder eines Pneumatikstreuers ohne weiteres denkbar. Hierzu ist für eine Teilbreite die Ausbringung zu erhöhen. Durch eine entsprechend komplementäre Einstellung der Teilbreiten bei der darauf folgenden Gabe kann die Querverteilung der Gesamtaufwandsmenge innerhalb einer Fahrgasse korrigiert werden.

Es bleibt zu untersuchen, wie sich diese Methode auf die Stickstoffaufwandsmenge und den Ertrag auswirkt.

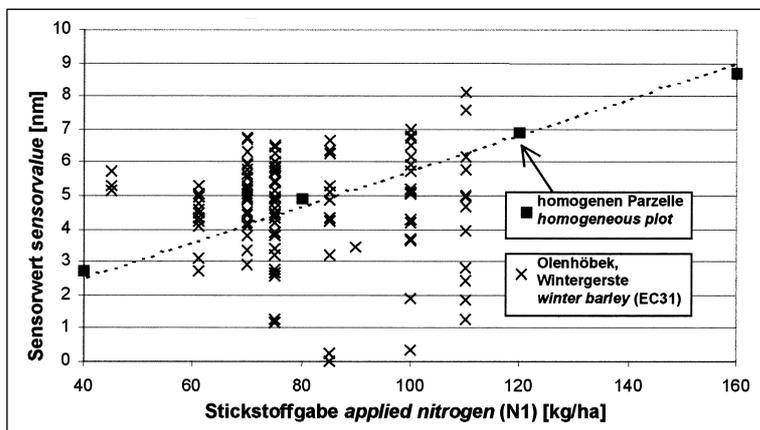


Fig. 1: Sensor values of different sites six weeks after the first nitrogen application. The dotted line is the linear relation taken from a plot test