

# Zur optischen Erfassung der pflanzlichen Stickstoff-Versorgung

*Die optische Erfassung der pflanzlichen Stickstoff-Versorgung ist deutlich billiger und schneller möglich als durch chemische Analysen. Sie ist daher zur teilflächenspezifischen Düngung üblich. In der Praxis hat sich hierfür die irreführende Bezeichnung „Grünsensorik“ eingeführt. Es wird durch die Optik keineswegs direkt die Intensität der Grünfärbung ermittelt. Die Signale über die N-Versorgung stammen aus dem Bereich der roten oder infraroten Strahlung. Anzeigt wird die Chlorophyll-Konzentration in den Blättern und/oder die Biomasse des Bestandes sowie auf diesem Wege dann die N-Versorgung. Von Belang ist dabei, ob die Chlorophyll-Konzentration in den Blättern oder die Biomasse die besseren Hinweise auf die N-Versorgung liefert. Die derzeitigen Verfahren werden unter diesem Blickwinkel behandelt.*

Prof. Dr. Hermann J. Heege leitete bis zu seiner Emeritierung das Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Universität Kiel, Olshausenstr. 40, 24098 Kiel; e-mail: hheege@ilv.uni-kiel.de

## Schlüsselwörter

Reflexion, Fluoreszenz, Chlorophyll, Blattflächenindex

## Keywords

Reflectance, fluorescence, chlorophyll, leaf-area-index

Die auf den Pflanzenbestand treffende Strahlung wird entweder absorbiert für die Photosynthese oder durch die Blätter hindurch transmittiert oder reflektiert. Alle drei Größen sind abhängig von der Einstrahlung, die sich ändern kann. Daher ist es üblich, das absorbierte, transmittierte und reflektierte Licht auf die Einstrahlung zu beziehen. Dieses Verhältnis ist die Absorption, die Transmission oder die Reflexion.

Theoretisch könnte man Signale für die N-Versorgung von jeder einzelnen dieser drei Größen ableiten. Allerdings wird lediglich die Reflexion vom Blätterdach zurück nach oben geworfen und kann somit beim Verteilen vom Sensor am Traktor leicht erfasst werden (Bild 1, oben).

Zusätzlich zur Reflexion strahlen die Blätter noch fluoreszentes Licht aus (Bild 1, unten). Die Fluoreszenz ist ein Abfallprodukt der Photosynthese und wird folglich aus der Absorption gespeist. Sie ist ein Indikator für die energetische Ineffizienz der Photosynthese. Intensive Fluoreszenz kann als ein Ergebnis von pflanzlichem Stress entstehen. Ein gesunder Pflanzenbestand verliert nur etwa 2% der absorbierten Lichtenergie durch Fluoreszenz. Wenn die Pflanzen gestresst sind, kann dieser Verlust an Lichtenergie auf das Sechsfache steigen.

Im Bereich der roten Wellenlängen hat die Fluoreszenz zwei Maxima, nämlich bei 680 und bei 735 nm. Das Verhältnis dieser Maxima ist ein Indikator für die Chlorophyll-Konzentration in den Blättern. Denn das fluoreszente Licht mit 680 nm Wellenlänge wird teilweise vom Chlorophyll für die Photosynthese reabsorbiert. Dasjenige mit 735 nm Wellenlänge hingegen ist bereits oberhalb des Bereiches der Absorption. Deshalb sind über das Verhältnis der

Intensität dieser Wellenlängen und die davon abhängige Chlorophyll-Konzentration Hinweise auf die N-Versorgung möglich [1].

## Die Reflexion des sichtbaren Lichtes

sinkt mit steigender N-Versorgung, da die Chlorophyllkonzentration in den Blättern, die Photosynthese und damit auch die Absorption zunehmen. Beim infraroten Licht hingegen erhöht sich mit der N-Versorgung und der somit größeren Biomasse die Reflexion. Der Anstieg der Reflexionskurve im Übergang vom roten zum nahen infraroten Licht, der als „Rotflanke“ oder „red edge“ bekannt ist, wird damit steiler (Bild 2).

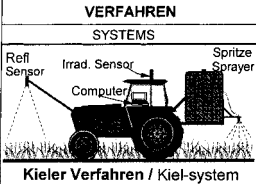

Das Erfassen der N-Versorgung über breite Wellenlängenbanden, wie etwa den gesamten roten, grünen oder blauen Bereich, hat sich nicht bewährt. Stattdessen werden beim Kieler Verfahren [2] die Signale entweder über den Wendepunkt der Rotflanke oder aber über das Verhältnis von zwei sehr schmalen Wellenlängenbanden in der Nähe dieses Bereiches ermittelt (Bild 2).

## Stickstoffwirkungen auf den Pflanzenbestand

Die Hauptwirkungen auf die Chlorophyllkonzentration in den Blättern und auf die Biomasse des Bestandes sind allgemein bekannt. Aber welche dieser beiden Wirkungen ist vorrangig? Nach Bild 3 ist die N-Wirkung auf die Biomasse – dargestellt durch den Blattflächenindex – wesentlich eindeutiger als auf die Chlorophyllkonzentration in den Blättern [3]. Man kann beide Merkmale durch die Verwendung ihres Produktes ver-

Bild 1: Verfahren

Fig. 1: Systems

VERFAHREN	PHYSIKALISCHE KRITERIEN	PFLANZLICHE KRITERIEN
 <p>Kieler Verfahren / Kiel-system</p>	<p>spezielle Wellenlängen aus dem rot-infraroten Bereich der pflanzlichen Reflexion</p> <p>special wavelenghts from the red- infrared range of the crop-reflectance</p>	<p>Chlorophyll-Konzentration in den Blättern plus Blattflächenindex</p> <p>chlorophyll-concentration in the leaves plus leaf-area-index</p>
 <p>DLR - Verfahren / DLR -system</p>	<p>Chlorophyll-Fluoreszenz induziert durch Rottaser</p> <p>chlorophyll - fluorescence induced via red-laser</p>	<p>Chlorophyll-Konzentr. in den Blättern plus zuweilen die Deckfläche der Frucht</p> <p>chlorophyll - concentration in the leaves plus at times the surface of the canopy</p>

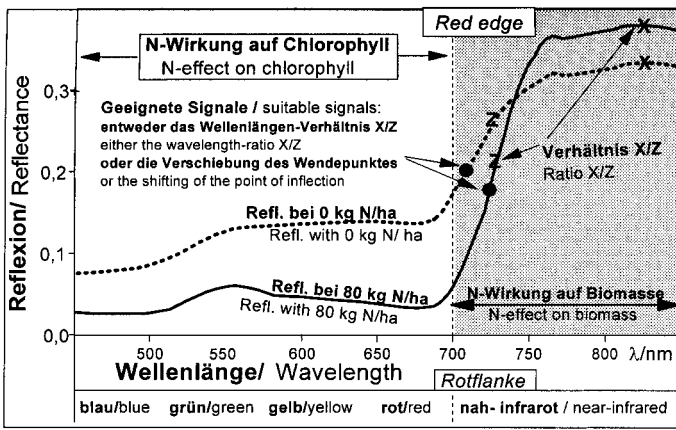


Bild 2: Reflexionskurven für Winterroggen zur Zeit der zweiten Kopfdüngung in Abhängigkeit von der sieben Wochen früher verteilten N Gabe

Fig. 2: Reflectance-curves of winter-rye at time of second top-dressing, depending on nitrogen spread seven weeks earlier

knüpfen. Dieses Produkt, nämlich Blattflächenindex multipliziert mit der Chlorophyllkonzentration je m<sup>2</sup> Blattfläche, ist die Chlorophyllkonzentration je m<sup>2</sup> Grundfläche. Der N-Effekt auf dieses Produkt ist sehr deutlich (Bild 3, rechts).

### Lücken im Pflanzenbestand

Beide Verfahren (Bild 1) benötigen natürlich grüne Pflanzen im Sichtfeld des Sensors. Die Reaktion auf Lücken im Pflanzenbestand ist aber grundverschieden.

Dabei ist zu unterscheiden zwischen kleineren Lücken innerhalb des Sensor-Sichtfeldes und grösseren Lücken, die über das Sichtfeld hinausgehen. Die kleineren Lücken enthält vor allem der noch nicht geschlossene Bestand, während oft grössere Lücken bei Herbstsaaten in den Senken durch Auswinterung entstehen.

Das Reflexionsverfahren reagiert auch auf die vom nackten Boden ausgehenden Lichtsignale. Bezogen auf die N-Versorgung der Pflanzen sind das deutliche Falschsignale. Im Sensor-Sichtfeld sollte deshalb ein weitgehend geschlossener Bestand sein. Bei engreihigen Kulturen wie Getreide und Raps ist daher der Einsatz meistens erst ab der 2. Kopfdüngung möglich. Nackter Boden im Sichtfeld kann teilweise durch eine schräge anstelle einer senkrechten Sensor-Blickrichtung beseitigt werden. Für weitreihige Kulturen wie Mais und Hackfrüchte kann auch ein entsprechend enger Sensor-Blickwinkel sinnvoll sein.

Beim Fluoreszenzsensor haben Lücken nur zur Folge, dass weniger Signale empfangen werden. Es entstehen keine Falschsignale, da der Boden keine Fluoreszenz liefert. Die kleineren Lücken im Sichtfeld beim noch nicht geschlossenen Pflanzenbestand behindern somit den Einsatz nicht. Von der Messtechnik her ist die Verwendung auch zur 1. Kopfdüngung im zeitigen Frühjahr möglich.

Neben der Messtechnik ist aber auch zu beachten, ob speziell bei Getreide und Raps

die sehr jungen Pflanzen bereits über die Optik einen Aufschluss zur N-Versorgung durch den Boden geben. Denn den ersten Stickstoff entnehmen die kleinen Pflanzen dem Samen, und erst danach kann die Lieferung über den Boden im Aussehen des Bestandes wirksam werden. Diese Begrenzung gilt für alle optischen Verfahren.

Für die grösseren Lücken ist jeweils die Düngung auszusetzen. Die entsprechende automatische Steuerung des Streugerätes erfolgt beim Reflexionsverfahren durch die „Falschsignale“, beim Fluoreszenzverfahren über die gänzlich ausbleibenden Signale.

### Erfassung des Volumens oder der Deckfläche ?

Das Fluoreszenzverhältnis wird nicht durch den Blattflächenindex beeinflusst – im Gegensatz zu den Reflexionssignalen (Bild 1). Der Blattflächenindex ist als Indikator für die N-Versorgung aber wichtiger als die Chlorophyllkonzentration in den Blättern (Bild 2). Neuerdings wird versucht, die Erfassung des Fluoreszenzverhältnisses mit einer Ermittlung der Biomasse des Bestandes zu kombinieren. Das geschieht durch Scannen des Bestandes mittels roter Laserstrahlung, welche die Fluoreszenz anregt. Die

Frequenz, mit der das rote Anregungslicht Fluoreszenz erzeugt, liefert Hinweise auf die Biomasse.

Es bestehen allerdings fundamentale Unterschiede in der Eignung von naher infraroter und roter Einstrahlung zur Erfassung der Biomasse. Die nahe infrarote Einstrahlung wird nicht absorbiert, dafür aber durch die Blätter hindurch transmittiert. Die rote Einstrahlung hingegen wird zu einem großen Teil absorbiert und kaum transmittiert. Als Folge verursacht die nahe infrarote Einstrahlung vornehmlich Volumen-Reflexion. Und die rote Einstrahlung bewirkt hauptsächlich Deckflächen-Reflexion oder die davon abhängige Deckflächen-Fluoreszenz (Bild 4).

Damit erklärt sich, weshalb die nahe infrarote Strahlung wesentlich bessere Hinweise zur Biomasse oder zum Blattflächenindex eines Getreidebestandes liefert (Bild 4, rechts). Man sollte versuchen, diesen wichtigen Vorteil des Reflexionsverfahrens mit dem Lückenvorteil des Fluoreszenzverfahrens zu kombinieren.

### Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07202 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

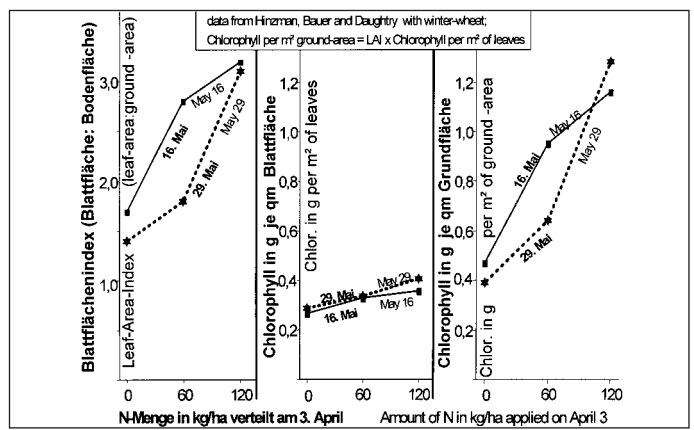


Bild 3: N-Wirkungen auf den Blattflächenindex und auf Chlorophyll

Fig. 3: Effect of nitrogen on the leaf-area-index and on chlorophyll

Bild 4: Reflexion aus dem Volumen oder von der Deckfläche

Fig. 4: Reflectance from the volume or from the top-surface

