

Hermann J. Heege und Stefan Reusch, Kiel

## Zur teilflächenspezifischen Stickstoff-Kopfdüngung

**Die präzise Anpassung der Stickstoffgabe an den Bedarf der Pflanzen ist nicht allein über den Entzug aus dem Boden durch die Vorfrucht und über den zu erwartenden Ertrag zu errechnen. Sie ist darüber hinaus abhängig von der Auswaschung und von der Mineralisierung von organischer Substanz im Boden und damit von der bisher nicht vorhersehbaren Witterung [1].**

**Aus diesen Gründen wird die Steuerung der teilflächenspezifischen Stickstoff-Kopfdüngung über die Färbung der Pflanzen vorgeschlagen. Es wurde eine Sensortechnik entwickelt, die aus der von den Pflanzenblättern reflektierten Strahlung die Signale für die online Steuerung des Düngergerätes während der Fahrt über das Feld liefert.**

Die auf die grünen Pflanzenblätter treffende Solarstrahlung wird entweder absorbiert, transmittiert oder reflektiert. Die absorbierte sichtbare Strahlung ist die Grundlage für die Photosynthese und damit für das Pflanzenwachstum. Der Anteil der transmittierten und somit durch die Blätter auf den Boden gelangenden Strahlung ist bei einem gut entwickelten Pflanzenbestand gering und soll an dieser Stelle nicht weiter behandelt werden. Die reflektierte Strahlung kennzeichnet für das Auge des Menschen die Farbe. Dabei ist allerdings darauf hinzuweisen, daß die grüne Farbe der Blätter nicht ausschließlich das Ergebnis von reflektierter Strahlung im grünen Spektralbereich um 550 nm Wellenlänge ist. Genauso wie ein Maler durch Mischen von gelben und blauen Pigmenten eine grüne Farbe schafft, entsteht auch im Auge durch das Zusammenwirken von Wellenlängen aus dem gelben und blauen Spektralbereich ein grüner Eindruck. Das menschliche Auge differenziert nicht zwischen reinen Farben und Mischfarben; ein reflexionsoptischer Sensor hingegen erfährt zunächst nur die Wellenlängen des Lichtes.

*Prof. em. Dr. Hermann J. Heege ist im Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel, Max-Eyth-Straße, 24118 Kiel, tätig. Dipl. Phys. Stefan Reusch war als wissenschaftlicher Mitarbeiter im gleichen Institut tätig und ist jetzt bei der Hydro Agri in Dülmen beschäftigt.*

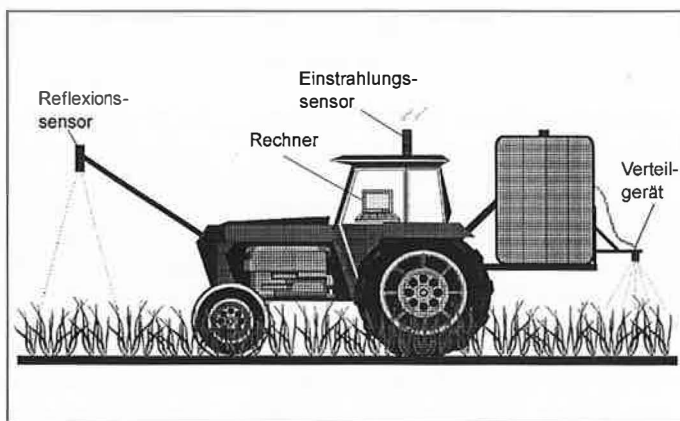
### Reflexion und Stickstoffversorgung

Nun ist das in der Natur reflektierte Licht sehr von der Intensität der einfallenden Globalstrahlung und somit von der Bewölkung abhängig. Um den Einfluß der von den Witterungsbedingungen abhängigen Globalstrahlung auf das Ergebnis weitgehend auszuschalten, ist es sinnvoll, jeweils das Verhältnis zwischen der reflektierten Strahlung und der einfallenden Globalstrahlung zu ermitteln. Dieses Verhältnis wird als Reflexion bezeichnet. Man benötigt somit neben den nach unten gerichteten Sensoren – die über die Arbeitsbreite des Düngergerätes verteilt die reflektierte Strahlung registrieren – einen nach oben gerichteten Sensor, der die jeweilige Globalstrahlung erfährt (Bild 1). Der Computer ermittelt schließlich aus diesen Daten die jeweilige Reflexion.

Welche Wellenlängen liefern den besten Hinweis auf die Stickstoffversorgung der Pflanzen? Zur

*Bild 1: Konzept für eine sensorgesteuerte Stickstoff-Kopfdüngung*

*Fig. 1: Concept for sensor-controlled nitrogen – top – dressing*



Beantwortung dieser Frage wurde ein Winterroggenschlag bei der ersten Kopfdüngung Mitte März gezielt unterschiedlich mit Stickstoff versorgt. Zum Zeitpunkt der zweiten Kopfdüngung wurden dann die entsprechenden Reflexionsdaten ermittelt (Bild 2). Es ist deutlich zu erkennen, daß mit zunehmender Stickstoffversorgung sich die Reflexion im Bereich des sichtbaren Lichtes (= 450 bis 700 nm) verringert, im darüber liegenden infraroten Bereich (ab 750 nm) dagegen erhöht.

Man kann aus diesen reflexionsoptischen Daten eine Fülle von möglichen Indizes für die Steuerung der Stickstoffdüngung ableiten. Es kommen hierfür sowohl einzelne Wellenlängenbereiche als auch beliebige Verhältnisse zwischen diesen in Betracht. Details über die Suche nach einem Index, der vom jeweiligen Sonnen-

stand, der Bewölkung oder der Bodenfarbe kaum beeinflusst wird, sind an anderer Stelle veröffentlicht [2,3].

Gute Hinweise über die N-Versorgung erhält man aus dem rot – infraroten Bereich. In diesem Bereich hat die reflexionsoptische Kurve einen S-förmigen Verlauf (Bild 2). Der mathematische Wendepunkt dieser S-förmigen Kurve – also der Punkt des Überganges vom konkaven in den konvexen Verlauf – lieferte den besten Index für die Stickstoffversorgung. Der Wendepunkt kann mit Hilfe der heutigen Computertechnik näherungsweise aus vier definierten Wellenlängen im rot – infraroten Bereich ermittelt werden [2,3].

### Wendepunkt und Vegetationsstadium

Die reflexionsoptische Steuerung des Stickstoffbedarfes eignet sich in der Regel nicht für die erste Gabe zu Getreide. Denn zu diesem Zeitpunkt ist der Bestand noch nicht geschlossen. Es wird nicht nur die Reflexion von Getreideblättern, sondern auch diejenige des noch sichtbaren Bodens erfaßt. Und da bei der Reflexion des unbewachsenen Bodens der S-förmige Anstieg im Rot – Infrarotbereich völlig fehlt, ist keine Differenzierung möglich. Stattdessen bietet es sich an, die erste

Stickstoffgabe nach den aus dem Pflanzenbau entwickelten Witterungs- und Bodenmodellen vorzunehmen [1].

Für die zweite und gegebenenfalls auch für die dritte Stickstoffgabe hingegen kann über den reflexionsoptischen Wendepunkt die Versorgung gut erfaßt werden. Die zweite Gabe wird etwa zu Beginn des Schossens (EC 31), die dritte kurz vor dem Ährenschieben (EC 50) gegeben. In diesen Entwicklungsstadien ermöglicht der reflexionsoptische Wendepunkt eine deutliche Differenzierung nach Stickstoffversorgung für die teilflächenspezifische Düngung (Bild 3).

### Direkte oder indirekte Steuerung des Düngergerätes

Die reflexionsoptische Sensortechnik kann für die Steuerung einer teil-

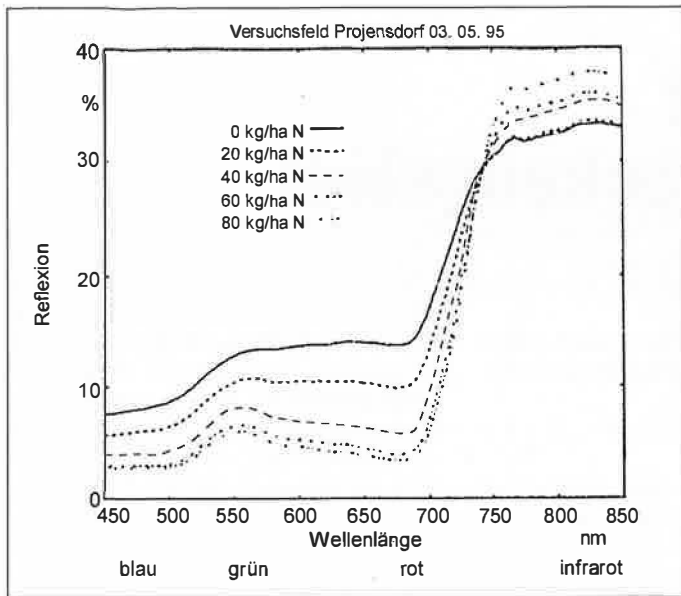


Bild 2: Reflexion in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung

Fig. 2: Reflection in relation to nitrogen supply

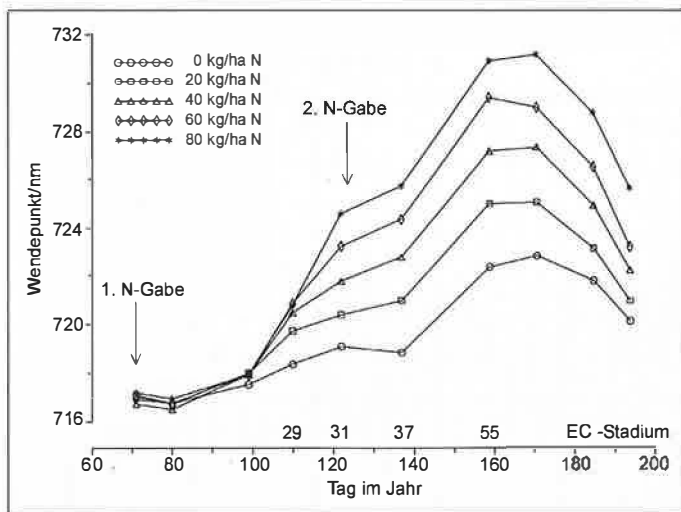


Bild 3: Wendepunkt im Rot – Infrarot Bereich, Stickstoffversorgung und Vegetationszeitpunkt

Fig. 3: Red edge – inflection point, nitrogen-supply and growing-season

flächenspezifischen Stickstoffdüngung entweder im direkten oder im indirekten Verfahren eingesetzt werden. Im direkten Verfahren wird das Düngegerät unmittelbar während der Fahrt über den Acker gesteuert (Bild 1). Im indirekten Verfahren wird vorweg bei einer separaten Fahrt über den Acker mit einem Ortungssystem eine Schlagkartierung vorgenommen. Die Schlagkarte steuert dann in einem zweiten Arbeitsgang – wiederum unter Nutzung des Ortungssystems – das Düngegerät. Vermutlich ist das direkte Verfahren sinnvoller, da ein Arbeitsgang eingespart und die Steuerung des Düngegerätes ohne Zeitverzug erfolgt. Das indirekte Verfahren ermöglicht es allerdings, zusätzliche teilflächenspezifische Daten, wie etwa Bodeneigenschaften, zu berücksichtigen. Man kann selbstverständlich auch das direkte Verfahren einsetzen und dabei gleichzeitig eine teilflächenspezifische Schlagkarte anlegen, die als Düngeregister dient. Bild 4 zeigt eine derartige teilflächenspezifische Schlagkarte von einem Winterweizenfeld auf Lehm Boden im ostholsteinischen Hü-

gelland zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoff-Kopfdüngung. In diesem Fall war die erste Stickstoffgabe gleichmäßig über das gesamte Feld verteilt worden. Der reflexionsoptische Wendepunkt im Rot – Infrarotbereich variiert trotzdem von 720 bis 728 nm Wellenlänge.

### Kalibrierung

Es entsteht natürlich die Frage, wie vom reflexionsoptischen Wendepunkt auf den jeweiligen Bedarf an Stickstoffdünger geschlossen werden kann. Eine direkte absolute Ableitung ist kaum möglich, da viele zusätzliche Faktoren wie etwa Bodeneigenschaften, Wasserversorgung, Bestandesdichte, Getreideart und Sorte berücksichtigt werden sollten. Allerdings erscheint eine relative Kalibrierung möglich. Innerhalb des Feldes werden zwei Orte ausgewählt, die sich augenscheinlich deutlich im Stickstoffbedarf unterscheiden. An diesen beiden Orten wird der Stickstoffbedarf nach der bisher üblichen Methode abgeschätzt. Zusätzlich wird an diesen beiden Orten der reflexionsoptische Wendepunkt und damit eine

Beziehung zwischen den Sensordaten und dem Stickstoffbedarf ermittelt. Durch Interpolation kann diese Beziehung dann für die Steuerung der teilflächenspezifischen Düngung eingesetzt werden.

### Grenzen

Der Stickstoffbedarf wird nicht direkt analysiert, sondern die Reflexionsdaten zeigen zunächst nur die Chlorophyll-Konzentration je Flächeneinheit an. Die behandelte Methode setzt eine enge Beziehung zwischen der Chlorophyll-Konzentration und dem Stickstoffbedarf voraus, die in der Regel auch vorliegt [3]. Allerdings kann die Chlorophyll-Konzentration und damit die Blattfarbe auch von Krankheiten oder Mangel an anderen Nährstoffen abhängen. Eine Voraussetzung für die Reflexionsmethode ist daher ein gesunder Pflanzenbestand, der mit den anderen Nährstoffen gut versorgt ist.

### Literatur

- [1] Schoop, P. und H. Hanus: Nutzung von Computermodellen zur Steuerung des Stickstoffeinsatzes im Getreidebau. Schriftenreihe der Agrarwiss. Fakultät der Universität Kiel, 1989, H. 71, S. 163 ff
- [2] Heege, H.J. und S. Reusch: Sensor for on the go control of site specific top dressing. ASAE Paper No. 961018, ASAE Annual International Meeting, Phoenix, 1996
- [3] Reusch, S.: Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Dissertation, Universität Kiel, 1997

### Schlüsselwörter

Stickstoff-Kopfdüngung, teilflächenspezifische Landbewirtschaftung, optischer Sensor für Steuerung der Düngung

### Keywords

Nitrogen top dressing, site specific farming, optical sensor control for fertilizing

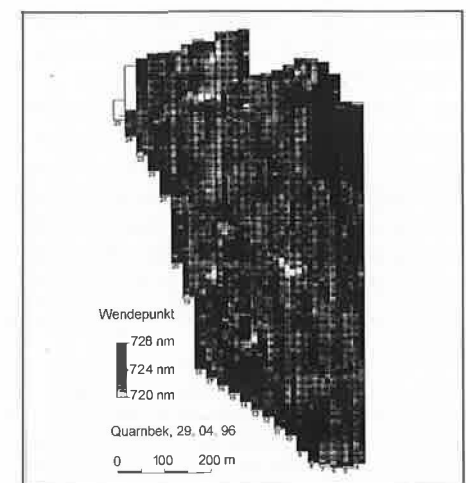


Bild 4: Schlagkarte für den Wendepunkt im Rot – Infrarot Bereich bei Winterweizen

Fig. 4: Mapping of red edge – inflection points in winter – wheat