

## Lasersensorik zur Erfassung des Stickstoffstatus und der Biomasse von Pflanzen

### Autoren:

Prof. Dr. Urs Schmidhalter, Christian Brede-meier, Stefan Jungert, Doreen Blesse  
schmidhalter@wzw.tum.de

### Projekttitlel:

Lasersensorik für die umweltgerechte Dün-gung zur Erfassung des Stickstoffstatus der Pflanzen

### Projektnr.:

BMBF-FKZ: 0330102A

### Projektleiter:

Prof. Dr. Urs Schmidhalter  
TU München  
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt  
Department für Pflanzenwissenschaften  
Am Hochanger 2  
85350 Freising-Weihenstephan

## 1 Ausgangssituation

Stickstoff ist der ertragsrelevanteste Produktionsfaktor, der wesentlich die Qualität der pflanzlichen Produkte beeinflusst, andererseits aber auch zu beträchtlichen Belastungen der Hydro- und Atmosphäre führt. Eine nachhaltige Landwirtschaft strebt hohe Erträge und Qualitäten bei möglichst minimalen Belastungen der Umwelt an.

In der Bundesrepublik besteht ein bilanz-mäßiger Stickstoffüberschuss von etwa 100 kg/ha, der primär aus der nicht besonders effizienten Veredlung von pflanzlichem in tierisches Eiweiß entsteht.

Die Entwicklungen in der Bundesrepublik sind gekennzeichnet durch eine Zunahme der

Betriebsgröße, einen Pachtflächenanteil von mehr als 63 % und einen zunehmenden Einsatz von betriebsfremden Arbeitskräften. Das da-raus resultierende, begrenzte standörtliche Wissen erfordert neue Lösungsansätze zur Optimierung der Bewirtschaftung. Die Pflanzen-produktion lässt sich durch teilflächenspezi-fische Bewirtschaftung, u.a. ein dem Standort und den Pflanzen angepasstes Stickstoff-management, verbessern.

## 2 Ziele

Mit diesem Projekt soll ein Beitrag zur Umwelt-entlastung durch Reduktion der Verluste von Stickstoff geleistet werden, sowie ökonomische Vorteile durch Verbesserung der Qualität der Ernteprodukte, Einsparung von Produktions-mitteln und eine Verbesserung der Ertragssi-tuation erreicht werden.

Das Projekt zielt auf die Entwicklung eines feld-tauglichen Stickstoffsensors zur Steuerung der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Der Einsatz dieser Technik soll bereits bei nied-rigem Bodenbedeckungsgrad in der ersten Düngergabe und zu beliebigen Tageszeiten er-folgen und zudem auch Informationen über den Wasserstatus der Pflanzen liefern.

Dieses Ziel soll mit Echtzeiterfassungen von Pflanzenzuständen und optimierten Düngungs-algorithmen erreicht werden.

Der Einsatz von Sensorik gekoppelt mit Algo-rithmen ermöglicht ein optimiertes Stickstoff-management. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen zwei Teilziele erreicht werden, nämlich die Entwicklung eines leistungsfähigen Sensors einerseits und die Bereitstellung von Dün-gungsalgorithmen andererseits.

## 3 Entwicklung eines aktiven Sensors zur umweltgerechten Düngung

Mit der Sensorik sollen Unterschiede im Pflan-zenwachstum erfasst werden, d.h. Unter-

## Lasersensorik zur Erfassung des Stickstoffstatus und der Biomasse von Pflanzen

---

schiede in der Biomasse, im Stickstoffstatus und nach Möglichkeit im Wasserstatus von Pflanzen.

Es gibt bereits jetzt zum Teil leistungsstarke, passive Sensoren, bspw. der von Hydroagri entwickelte Stickstoffsensor, der Eingang in die Praxis gefunden hat /1/. Im Unterschied zu einem passiven Sensor, der den von den Pflanzenoberflächen reflektierten Anteil des Sonnenlichtes misst, benutzt man bei aktiven Sensoren eine eigene Energiequelle, ist somit von Einstrahlungsbedingungen unabhängig. Passive Sensoren können bei niedriger Lichtintensität (früher Morgen, früher Abend, Nacht), zum Teil auch aufgrund des flachen Sonneneinstrahlungswinkels, nicht eingesetzt werden. Schwierigkeiten entstehen auch bei einem niedrigen Bodenbedeckungsgrad, da zwischen der Reflektion des Bodens und der Pflanzen nicht unterschieden werden kann. Passive Sensoren können aus diesem Grunde bei Getreide erst mit Abschluss der Bestockungsphase eingesetzt werden.

Der in diesem Projekt entwickelte aktive Sensor setzt eine Laserquelle als Energiequelle ein und basiert auf dem Prinzip der Chlorophyllfluoreszenz. Von den Pflanzen aufgenommenes Sonnenlicht wird überwiegend im Prozess der Photosynthese genutzt, ein Teil davon wird jedoch als Wärmestrahlung und als Fluoreszenz abgegeben. Dieser auch bei natürlicher Einstrahlung erfolgende Prozess kann durch eine externe, leistungsstarke Energiequelle zusätzlich verstärkt werden. Besonders geeignet sind Laserquellen, die im Rotlichtbereich bei 640 nm anregen und die Emission bei 680 bzw. 740 nm messen. Der Anteil der Fluoreszenz wird durch Stresszustände in Pflanzen verstärkt. Dazu gehört auch eine ungenügende Stickstoffversorgung. Über die Messung der Fluoreszenz lässt sich ein direkter Parameter der Leistungsfähigkeit der Pflanzen ableiten. Die Stickstoffversorgung der Pflanzen korreliert eng mit der Chlorophyllfluoreszenz.

Die Entwicklungsarbeiten sind zweistufig durchgeführt worden. Die prinzipielle Eignung der laserinduzierten Chlorophyllfluoreszenz zur Messung des Stickstoffstatus der Pflanzen ist vorerst unter genau definierten Licht- und Temperaturbedingungen in einer Klimakammer bei Pflanzen, die in Töpfen wuchsen, nachgewiesen worden (Abb. 1). Insbesondere konnte dabei gezeigt werden, dass das Fluoreszenzverhältnis F680/F740 unter den gewählten Versuchsbedingungen nicht durch die Lichtintensität und in linearer Abhängigkeit durch die Umgebungstemperatur beeinflusst wird /2, 3/. Zusätzlich konnte der prinzipielle Nachweis des Biomasseaufwuchses erbracht werden und für die ausgewählten Genotypen ergaben sich keine sortenspezifischen Variationen /2/. Das eingesetzte Lasergerät erlaubte verlässliche und reproduzierbare Messungen in Abständen von 15 cm zur Pflanzenoberfläche. Da die Energie der Rückstrahlung quadratisch mit dem Abstand abnimmt, wird es zunehmend schwieriger die Emission zu erfassen, je weiter man sich von der Pflanze entfernt.

In einem zweiten Schritt gelang es einen feld- und schleppertauglichen Sensor einzusetzen (Abb. 1), der aus größerer Distanz, bei Anbringung des Sensors auf dem Schlepperdach, in der Lage ist, verlässlich die Fluoreszenz zu erfassen /4/. Dieser Entwicklungsschritt stellt ein Novum dar, indem weltweit nicht nur der erste auf einem Schlepperdach angebrachte Sensor zum Einsatz kam, sondern erstmalig terrestrisch im Felde die Lasertechnologie scannend eingesetzt wurde, womit eine größere Fläche erfasst werden kann. Alternative Systeme wie beispielsweise das sogenannte Mini-veg-System erlauben zur Zeit nur Messungen bei Positionierung des Sensors an der Pflanzenoberfläche und widerspiegeln nur linienförmige ausgerichtete Messpunkte. Dies führt zu einer Erfassung des Stickstoffstatus in einem bloß millimeterbreiten Band - im Gegensatz zu dem hier eingesetzten Prinzip, das bei zweisei-

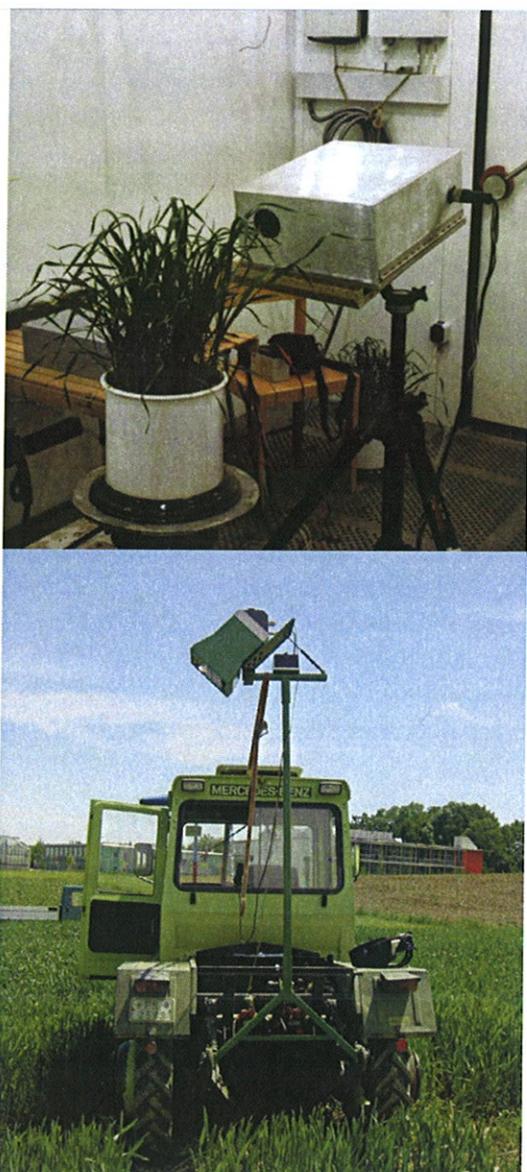


Abb. 1: Einsatz von Lasersensoren in der Klimakammer und auf dem Feld.

tiger Anbringung auf dem Schlepperdach Einsatzbreiten von je ca. 0.5-0.75 m aufweist. Damit steht die Skala der Erfassung des Stickstoffstatus in einem realistischen Verhältnis zur Arbeitsbreite. Mit diesem System konnte zudem erstmals bei einem auf einem Schlepper angebrachten aktiven Sensor eine Differenzierung zwischen den Pflanzenparametern Stickstoffstatus und Biomasse durchgeführt werden.

#### 4 Entwicklung von Düngungsalgorithmen zur umweltgerechten Düngung

Sind Unterschiede des Biomasseaufwuchses und des Stickstoffstatus von Pflanzen verlässlich erfassbar, können mit geeigneten Vorgaben oder Anweisungen, sogenannten Düngungsalgorithmen, die auch noch andere Informationsquellen einschließen können, differenzierte Bewirtschaftungsmaßnahmen umgesetzt werden.

Mit dem Vorhandensein eines technischen Instrumentes liegen Vorteile, die mit teilflächenspezifischer Bewirtschaftung erreicht werden können, häufig noch nicht auf der Hand. Während ein GPS-Sensor oder ein Abstandssensor im Rahmen von Unkrautmaßnahmen per se eine Anwendung ermöglicht, stellt die Bereitstellung eines Sensors im landwirtschaftlichen Umweltbereich häufig auch nur den ersten notwendigen Schritt dar, dem ein zweiter, nämlich die Verknüpfung des Sensorsignals mit agronomischem Expertenwissen, zwingend folgen muss. Die Bereitstellung von Ertragskarten allein hat bisher nur in wenigen Fällen direkt zu ökonomischen oder Umweltvorteilen geführt. Der zusätzliche Aufwand, der für den erfolgreichen Einsatz von Sensorinformation häufig zwingend geleistet werden muss, ist sehr oft unterschätzt worden, da häufig nicht das traditionelle Expertenwissen verallgemeinert werden kann. Der zeitliche und materielle Aufwand, der für die Entwicklung und Validierung von teilflächenspezifischen Algorithmen geleistet werden muss, übersteigt häufig die reine technische Entwicklung. Erst wenn diese komplementären Informationen erfolgreich verknüpft und getestet worden sind, können durch teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen Umweltvorteile durch Ressourceneinsparungen oder gezielteren Ressourceneinsatz erreicht werden, die sich auch ertragsmäßig positiv auswirken können, jedoch nicht zwingend erfolgen müssen. Ressourceneinsparung kann zur ökonomischen Vorteilhaftigkeit beitragen, entscheidend

# Lasersensorik zur Erfassung des Stickstoffstatus und der Biomasse von Pflanzen

---

ist auch, dass das Preis-/Leistungsverhältnis im Produktions- und Umweltbereich stimmt.

Auf heterogenen, großen Schlägen können bereits heute durch differenzierte, teilflächenspezifische Maßnahmen ökonomische und ökologische Vorteile erzielt werden. In Sachsen-Anhalt durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, dass bei flächeneinheitlichem Stickstoffeinsatz von 180 kg/ha auf den ertragsstarken Teilbereichen ein Düngeoptimum erreicht wird, während auf ertragschwachen Teilbereichen eine massive Überdüngung mit potenzieller Belastung des Grundwassers erfolgt /5/.

Eine schwierigere Situation ergibt sich auf kleineren Schlägen, die durch eine kleinräumige Heterogenität geprägt sind, wie man sie in Bayern findet. Untersuchungen haben gezeigt, dass durch einen optimierten Stickstoffeinsatz, Ressourcen eingespart werden konnten und erstmalig kausal verknüpft wurde eine Minderung in der Stickstoffauswaschung aufgezeigt, ohne dass die Ertragsleistung beeinträchtigt wurde /6/. Die getesteten Algorithmen beinhalten wesentlich eine Reduktion der Aufwandmengen auf den ertragschwächeren Standorten und eine Beibehaltung oder Erhöhung des Aufwandes auf den ertragsstärkeren Standorten. Es konnte auch gezeigt werden, dass auf ertragsstarken, kolluvialen Senkenlagen relevante Stickstoffeinsparungen bei gleichbleibendem Ertrag erreicht werden konnten.

## 5 Forschungsbedarf

Für den erfolgreichen Einsatz aktiver Sensoren in der Praxis wird es noch zusätzliche, intensive Anstrengungen sowohl auf der technischen Ebene erfordern, wie auch ein noch weitergehendes intensives Verständnis der prinzipiellen Sensorinformation und ihrer Beziehung zu den Parametern Biomasse und Stickstoffstatus insbesondere unter Freilandbedingungen. Obschon die unter kontrollierten Bedingungen durchgeführten Untersuchungen sehr eindeutige und klare Ergebnisse erbrachten, ist die

prinzipielle Übertragbarkeit auf der Feldebene zu verifizieren.

Zwingend ergibt sich für alle zur Zeit eingesetzten und getesteten passiven und aktiven Sensoren, dass sie kostengünstiger angeboten werden müssen. Erst dadurch wird ein flächendeckender Einsatz in der Landwirtschaft ermöglicht, womit entscheidend die Nachhaltigkeit der Landbewirtschaftung im Umweltbereich verbessert werden kann.

Die Vorteilhaftigkeit eines Sensors wird sich um so mehr erschließen, wenn es gelingt multifunktionale Sensoren zu entwickeln, d.h. Sensoren, die nicht nur in der Düngung eingesetzt werden, sondern in der Unkrautregulierung oder im Pflanzenschutzbereich. Die diesbezüglichen Potenziale der beschriebenen Lasersensorik, die Erfassungen im Millimeterbereich ermöglichen, werden als besonders positiv eingeschätzt. Ein Einsatz von Sensorik bei der Applikation von Wachstumsregulatoren bietet sich jetzt schon an. Mit der Realisierung solcher Ziele steigt auch die Preiswürdigkeit der Sensorensysteme bzw. es lässt sich eine Multiplizierung des Einsatzes und der Auslastung erreichen.

Verstärkt und zwingend notwendig ist die Intensivierung der Anstrengung in der Entwicklung von agronomischen Algorithmen mit der präzisen Beschreibung ihrer Auswirkungen auf Ertrag und Umwelt, die nicht immer zwingend gleichsinnig positiv beeinflusst werden können.

## 6 Ausblick und Visionen

Verbesserungen in der Technik, wesentliche Kostenreduktionen und Optimierungen der Düngungsalgorithmen stellen die Basis für eine realistische Vision dar, die es ermöglicht in Zukunft Schlepper standardmäßig mit kostengünstigen Sensoren auszurüsten und auf dem Großteil der Betriebe, im Gegensatz zur momentanen noch geringen Verbreitung, einzusetzen. Aktive Sensorik, basierend auf laserinduzierter Chlorophyllfluoreszenz, kann prinzi-

piell auch im Bestandesmanagement (Wachstumsregulatoren) und zukünftig möglicherweise auch im Pflanzenschutz (Pathogene; Unkrautbekämpfung) eingesetzt werden.

### Literaturverzeichnis

/1/ J. Lammel, J. Wollring, S. Reusch: Tractor based remote sensing for variable nitrogen fertilizer application. In: Horst, W.J. et al., Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems, 694-695, 2001

/2/ C. Bredemeier, U. Schmidhalter: Laser-induced chlorophyll fluorescence as a tool to determine the nitrogen status of wheat. Proceedings 3rd. Europ. Conference Precision Agriculture, Montpellier, 899-904, 2001

/3/ C. Bredemeier, U. Schmidhalter: Laser-induced chlorophyll fluorescence to determine the nitrogen status of plants. In: Kluwer Academic Publishers, Developments in Plant and Soil Sciences, Vol. 92, 726-727, 2001

/4/ C. Bredemeier, U. Schmidhalter: Non-contacting chlorophyll fluorescence sensing for site-specific nitrogen fertilization in wheat and maize. Proceedings 4th European Conference of Precision Agriculture, 103-108, 2003

/5/ T. Selige, U. Schmidhalter: Fernerkundungsgestützte Ableitung bodenbürtiger Ertragspotentiale für standortspezifische Bewirtschaftung (TP II-6a, Teil III). In: KTBL Sonderveröffentlichung 038 Tagungsband "Precision Agriculture Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis", 211-218, 2002

/6/ U. Schmidhalter, R. Duda, R. Gutser, T. Ebertseder, S. Jungert, G. Gerl: Erfassung repräsentativer Kenngrößen der Wasserverfügbarkeit und des N-Haushaltes von Teilschlägen. In: FAM – Jahresbericht 2002, Teilprojekt WS2, 109-116, 2003