

# Pendelsensor im Praxiseinsatz

*Mit Hilfe eines mechanischen Sensors in Form eines physikalischen Pendels ist in Halmkulturen die gewachsene Pflanzenmasse indirekt messtechnisch erfassbar. Durch die Kombination des Sensors mit einem Zentrifugaldüngerstreuer und einer Pflanzenschutzspritze wurden in Echtzeit arbeitende technische Lösungen geschaffen, mit denen unter Praxisbedingungen bei der Stickstoffdüngung 13,5% und bei der Fungizidapplikation 18,7% Mitteleinsparungen erreicht werden konnten.*

Dr.-Ing. Detlef Ehlert ist Leiter der Abteilung Technik im Pflanzenbau am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zaska), e-mail: dehlert@atb-potsdam.de

Dr. agr. Ulrich Völker und Dr. agr. habil Karl-Heinz Dammer sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Abteilung Technik im Pflanzenbau am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

Die Arbeiten wurden durch finanzielle Unterstützung des BMBF gefördert.

Des Weiteren gilt der Dank den zahlreichen Landwirtschaftsbetrieben für ihre Kooperation bei der Versuchsdurchführung.

## Schlüsselwörter

Teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Pendelsensor, Stickstoffdüngung, Fungizidapplikation

## Keywords

Site specific farming, pendulum-meter, nitrogen fertilising, fungicide application

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03124 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Kenntnis der örtlich gewachsenen Pflanzenmasse ist eine Grundvoraussetzung für die Heterogenitätsbewertung von landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie für die teilflächenspezifische Bestandesführung.

Am Institut für Agrartechnik Bornim wurde ein Sensor zur indirekten Messung der Pflanzenmasse in stehenden Halmkulturen entwickelt. Der Sensor ist ein physikalisches Pendel, das fahrzeuggestützt in den Regelspuren durch die Pflanzenbestände bewegt wird [1]. Der Einsatz des Pendelsensors auf Praxisschlägen ergab, dass auftretende Neigungen des Trägerfahrzeugs, der Einsatz in hügeligem Gelände sowie die Tiefe der Regelspuren das Messergebnis verfälschen.

In einer weiteren Bearbeitungsetappe wurden seit 2001 konstruktive Veränderungen zur Kompensation der verfälschenden Einflussgrößen erarbeitet. Die wichtigsten technischen Daten enthält *Tabelle 1*. Die Vegetationssaison 2002 wurde intensiv genutzt, um gesicherte Erkenntnisse zur Funktion und Einsetzbarkeit des weiterentwickelten Pendelsensors unter Praxisbedingungen zu gewinnen.

## Versuchsprogramm

Die durchgeführten Untersuchungen konzentrierten sich auf folgende Schwerpunkte:

- Bewertung der Funktionssicherheit des Pendelsensors zur Pflanzenmassekartierung auf unterschiedlichen Standorten und Kulturen
- Anwendung und Bewertung des Pendelsensors zur Applikation von Stickstoffdünger durch einen Zentrifugaldüngerstreuer in Echtzeit
- Anwendung und Bewertung des Pendelsensors zur Applikation von Fungiziden durch eine Pflanzenschutzspritze

## Pflanzenmassekartierung

Für die Funktionsuntersuchungen wurde als Basisfahrzeug ein Hege-Geräteträger in Hochradausführung verwendet. Infolge der geringen Eigenmasse von ~1000kg und der Bodenfreiheit von 800 mm konnten mit ihm Getreideschläge in den Regelspuren und Grünlandflächen zu allen Vegetationsstadien

Grundkonzeption	Dreipunkt-Frontanbau für Traktoren
Gesamtmasse	ca. 40 kg
Arbeitsbreite	1000 mm
Betriebsspannung	12 V
Leistungsaufnahme	max. ca. 200 W
Neigungskompensation	Neigungssensor
Spurtiefenausgleich	Tastelement und Linearantrieb

Tab. 1: Technische Parameter des Pendelsensors

Table 1: Technological parameters of the pendulum-meter

schonend befahren werden. Zur Befestigung des für den Frontanbau konzipierten Sensors am Geräteträger diente ein speziell entwickelter Adapter. Um die Eignung des Pendelsensors unter den spezifischen Bedingungen unterschiedlicher Standorte zu untersuchen, wurde eine hohe Mobilität durch den Einsatz eines PKW-Spezialanhängers gewährleistet. So konnten im Jahr 2002 von Mecklenburg bis Sachsen auf etwa 1000 ha Kartierungen der Pflanzenmasseverteilung in Wintergerste, Winterroggen, Triticale, Winterweizen und Wiesengras vorgenommen werden. Während dieser Versuchsfahrten traten keine wesentlichen technischen Probleme auf. Lediglich bei der Messung der Neigung gab es Funktionsstörungen, die durch den Austausch gegen einen anderen Neigungssensor beseitigt wurden.

Die statistische Auswertung des gemessenen Pendelwinkels ergab sehr unterschiedliche Verteilungen der Pflanzenmasse. Unter den Wachstumsbedingungen des Jahres 2002 dominierte eine rechtsschiefe Verteilungsform, es traten also infolge der reichlichen Niederschläge in der Wachstumsphase relativ geringe Flächenanteile mit stark reduziertem Pflanzenwachstum auf.

## Stickstoffdüngung

Aus der Fachliteratur ist bekannt, dass in gesunden Beständen zwischen dem Stickstoffbedarf und der zurzeit des Schossens und der Kornfüllung zu bildenden Pflanzenmasse ein enger Zusammenhang besteht [2]. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die nachgewiesene enge Korrelation zwischen Pendelwinkel und Pflanzenmasse als Grundlage für eine bedarfsgerechte Stickstoffdüngung heterogener Pflanzenbestände zu nutzen [3].

Technisch wird dieser Ansatz realisiert, indem über den Pendelwinkel messbare Wachstumsunterschiede in ein Steuersignal und einen Algorithmus für die Düngermengenbemessung zur zweiten und/oder dritten N-Gabe eingehen. Die dazu verwendete Technik bestand aus Pendelsensor, Traktor mit Zentrifugaldüngerstreuer sowie aus dem Jobrechner auf LBS-Basis (Bild 1).

Nachdem über erste Ergebnisse einer Stickstoffdüngung mit dem Pendelsensor in der LANDTECHNIK 2/2001 berichtet wurde, umfassen die gesamten Untersuchungen zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung inzwischen mehr als 500 ha Versuchsfläche. Die Untersuchungen erfolgten vorrangig auf der Grundlage von Streifenversuchen mit mehreren Wiederholungen. Um die Aufwendungen für die Versuchsdurchführung und -auswertung in Grenzen zu halten, wurden ergänzende Produktionsexperimente in Form einer sensorgestützten Stickstoffausbringung auf dem gesamten Schlag durchgeführt. Die Stickstoffeinsparung ergab sich bei dieser Untersuchungsform aus der Differenz zur betriebsüblichen, schlag-einheitlichen Applikation. In den Streifenversuchen und Produktionsexperimenten konnten im Durchschnitt der Standorte, Schläge und Jahre Einsparungen an Stickstoffdünger von 13,5% gegenüber einheitlicher Düngung (Tab. 2) erzielt werden. Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen zeichnet sich der Trend ab, dass diese Betriebsmitteleinsparungen bei gleichzeitig geringfügig erhöhtem Ertragsniveau erreicht wurden. Eine klare Tendenz zur Minderung der Kornqualität war trotz der Stickstoffeinsparungen nicht erkennbar.

Bild 1: Pendelsensor in Kombination mit einem zentrifugaldüngerstreuer zur Stickstoffdüngung

Fig. 1: Tool carrier with pendulum-meter for plant mass mapping



### Fungizidapplikation

Gegenwärtig gibt es keine praxistauglichen Verfahrenslösungen, die während der Fahrt in den Regelspuren eine eindeutige sensor-technische Erkennung von Pflanzenkrankheiten im Schlag erlauben. Aus diesem Grund steht der Parameter „Krankheitsauftreten“ als Entscheidungskriterium für eine bedarfsgerechte Fungizidapplikation nicht zur Verfügung.

Ein erster wichtiger Schritt in Richtung bedarfsgerechtere Fungizidanwendung ist die Differenzierung der Applikationsmenge in heterogenen Getreidebeständen entsprechend der vorhandenen Pflanzenoberfläche. Ein Maß für die quantitative Beschreibung der flächenspezifischen Pflanzenoberfläche ist der Blattflächenindex, der das Verhältnis von Pflanzenoberfläche zur Standfläche definiert. Dieser kann mit Hilfe von optischen Hand-Messgeräten, etwa SunScan® [4] und LAI2000® [5], punktuell bestimmt werden.

Das Ziel einer bedarfsgerechten Applikation von Fungiziden besteht in der Anlage einer annähernd gleichen Konzentration der fungiziden Substanz pro Einheit Pflanzenoberfläche. In weniger wüchsigen Beständen muss demzufolge weniger Spritzbrühe aufgewendet werden als in wüchsigen. Unter dieser Voraussetzung sind negative

Wirkungen, wie ein höherer Krankheitsbefall und Ertragsverluste nicht zu erwarten. Die in vorangegangenen Untersuchungen [6] nachgewiesene positive Korrelation zwischen Pendelwinkel und Blattflächenindex bildet die Grundlage, den Index mit einer hohen Informationsdichte im Bestand zu schätzen und somit die zu benetzende Pflanzenoberfläche und daraus die Aufwandmenge zu bestimmen.

Die technische Umsetzung dieser Applikationsstrategie erfolgte durch die Kombination des Pendelsensors mit einer Feldspritze. Zur Gewährleistung eines günstigen Tropfenspektrums war die Feldspritze in den Jahren 2000 und 2001 mit Zweistoff-Düsen und im Jahr 2002 mit dem VarioSelect-System ausgestattet. Um die teilflächenspezifische Fungizidapplikation in Echtzeit zu ermöglichen, wurde ein speziell konfigurierter Jobrechner auf LBS-Basis eingesetzt.

Das Verfahren der sensorgestützten Fungizidapplikation befindet sich seit drei Jahren in der praktischen Erprobung. Zur Beurteilung der Wirkung der variablen Fungizidapplikation wurde in ausgewählten Getreideschlägen in Streifenversuchen entsprechend der Arbeitsbreite der Feldspritze eine Fahrspur mit der betriebsüblichen Applikationsmenge einheitlich behandelt, während in der Nachbarspur die Applikation nach den Messwerten des Pendelsensors erfolgte. Für die Ermittlung der Auswirkungen der variablen Fungizidapplikation auf die Kornerträge kamen Mähdrescher mit Ertragskartierungseinrichtungen zum Einsatz.

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der sensorgestützten Fungizidapplikation, aufgegliedert nach Getreidekulturen und Versuchsjahren. Die jeweils auf den einzelnen Schlägen erzielte Mitteleinsparung hängt sowohl von der Bestandsheterogenität als auch von den durch den Landwirt bestimmten Applikationsparametern ab. Im bisherigen Untersuchungszeitraum wurden auf insgesamt etwa 150 ha mengendifferenzierte Fungizidapplikationen mit Hilfe des Pendelsensors durchgeführt. Im Durchschnitt wurden etwa 20% an Fungiziden eingespart.

Der Korndrusch (MD mit Ertragserfassungssystem und Krankheitsbonituren zum Milchreifstadium, BBCH 75) in beiden Varianten ergab weder Mindererträge noch stärkeren Krankheitsbefall des sensorgestützten Verfahrens.

Frucht/Jahr/Schlag	Fläche (ha)	Entwicklungsstadium (BBCH)	Düngermenge (kg/ha)	Einsparung (%)
Winterweizen/2000/1 <sup>1)</sup>	50	55 - 59	7 - 68	9,6
Winterweizen/2001/1 <sup>1)</sup>	30	55 - 59	7 - 68	11,7
Winterweizen/2001/2 <sup>1)</sup>	60	55 - 59	7 - 65	23,1
Winterweizen/2002/1 <sup>2)</sup>	40	35 - 55	60 - 160	8,3
Winterweizen/2002/2 <sup>2)</sup>	52	35 - 55	60 - 160	17,1
Winterweizen/2002/3 <sup>2)</sup>	82	35 - 55	60 - 160	11,7
gesamt	314			13,5

Tab. 2: Applikationsraten und Einsparungen bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung

Table 2: Application rates and savings in site-specific nitrogen fertilising

1) nur 3. N-Gabe 2) 2. und 3. N-Gabe im Echtzeitverfahren

Frucht/Jahr/Schlag	Fläche (ha)	Entwicklungsstadium (BBCH)	Applikationsmenge (l ha <sup>-1</sup> )	Einsparung (%)
Winterweizen/2000/1	44	47 - 51	100 - 250 <sup>2)</sup>	16,1
Winterweizen/2000/2	5	47 - 51	119 - 250 <sup>2)</sup>	12,8
Winterweizen/2000/3	5	47 - 51	175 - 300 <sup>1)</sup>	7,0
Sommergerste/2000/1	6	61 - 65	104 - 300 <sup>2)</sup>	27,4
Winterweizen/2001/1	21	55 - 59	120 - 300 <sup>3)</sup>	25,0
Sommergerste/2002/1	19	69 - 71	40 - 200 <sup>1)</sup>	37,5
Winterweizen/2002/1	44	59 - 61	55 - 200 <sup>3)</sup>	8,5
Winterweizen/2002/2	5	59 - 61	90 - 200 <sup>3)</sup>	15,0
gesamt	149			18,7

Tab. 3: Untersuchungsumfang, Applikationsmengen und Einsparungen bei der sensorgestützten Applikation von Fungiziden

Table 3: Conducted experiments, application rates, and savings in sensor-based fungicide application

1)Juwel Top® 2)Opus Top® 3)Caramba®