

Applikation nach Pflanzenmasse

Sensorgestützte Ausbringung von Stickstoffdünger, Wachstumsreglern und Fungiziden

Detlef Ehlert, Karl-Heinz Dammer und Ulrich Völker

Institut für Agrartechnik Bonim e. V., Abteilung Technik im Pflanzenbau, Potsdam

In den vergangenen Jahren ist am ATB ein mechanischer Sensor in Form eines physikalischen Pendels zur Messung der Pflanzenmassedichte entwickelt worden. Der Sensor ist mittig am Front-Kraftheber für Traktoren angebracht und er erfasst die Getreidepflanzen in einem Streifen von 1 m Breite. Der Sensor hat das Stadium der Forschung und Entwicklung hinter sich und ist nun unter dem Handelsnamen "Crop-meter" auf dem Markt. Um das pflanzenbauliche Potenzial dieses Sensors für die teilflächenspezifische Applikation von Stickstoffdünger, Wachstumsregulatoren und Fungiziden in Echtzeit zu untersuchen, wurde er in der Kombination mit einem Zentrifugaldüngerstreuer und einer Feldspritze eingesetzt. Die mit dem Sensoreinsatz erzielten Effekte hinsichtlich der Mitteleinsparung und der Auswirkungen auf den Kornertrag in streifenförmig angelegten Großparzellenversuchen bildeten die Grundlage für seine positive pflanzenbauliche Gesamtbewertung.

Schlüsselwörter

Crop-meter, Pflanzenmassedichte, Agrochemikalien, teilflächenspezifische Applikation

Einleitung

Die Kenntnis des örtlich gewachsenen Pflanzenbestandes ist eine wichtige Information für eine Reihe von Maßnahmen für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung. Deshalb werden effiziente Sensoren benötigt, mit denen - vorzugsweise in Echtzeit - zerstörungsfrei und zeitsparend die Pflanzenmasse bzw. der Ertrag ermittelt werden können. Informationen zur örtlich vorhandenen Pflanzenmasse bilden die Voraussetzung, um Aufwandmengen an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln optimieren zu können. Somit können messbare Beiträge zur Verbesserung der Produktionsverfahren im Pflanzenbau bei gleichzeitiger Reduzierung der damit verbundenen Umweltbelastungen geleistet werden.

Das Erfassen der Verteilung von Aufwuchsmassen bei Pflanzenbeständen ist möglich durch manuelle Bonituren [1, 2], durch Satelliten- oder Luftaufnahmen [3, 4] und durch fahrzeuggestützte Methoden [5, 6]. Unter Praxisbedingungen erfolgt die Heterogenitätsbestimmung in Pflanzenbeständen vorrangig durch die Ertragskartierung in Erntemaschinen, insbesondere in Mähdreschern [7]. Diese be-

kannten Methoden der Heterogenitätserfassung in Pflanzenbeständen werden durch den Einsatz eines mechanischen Sensors in Form eines physikalischen Pendels ergänzt [8].

In der Fachliteratur sind bisher zahlreiche Veröffentlichungen über Methoden der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung erschienen [9, 10, 11, 12]. So bietet z.B. die Bodenbeprobung nach einem engen fest vorgegebenen Raster eine exakte Grundlage zur Bemessung der teilflächenspezifischen Düngermenge. Allerdings weisen Forschungsergebnisse aus, dass die dafür entstehenden Kosten und Arbeitsaufwendungen unverträglich hoch sein können [13]. Um den Arbeitsaufwand für die Bodenbeprobung zu senken, bestimmen z.B. Fleming et al. [13] und Lamp et al. [14] Managementzonen, die durch jeweils vergleichbare Bodenqualitäten gekennzeichnet sind.

Bei der Definition dieser Managementzonen sowie bei der Bestimmung der repräsentativen Beprobungspunkte gibt es unter praktischen Bedingungen noch eine Reihe offener Fragen. Daher ist die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung auf der Grundlage von Bodenproben mehr eine Lösungsform, die vorrangig dem Bereich der Forschung zuzuordnen ist.

Als Alternative zur aufwändigen Bodenbeprobung wurde das in Echtzeit arbeitende Soil Doctor® system entwickelt [15]. Das System verwendet sowohl den Boden berührende als auch nicht-invasive Techniken, die auf einem elektro-chemischen Prinzip und der komplexen Messung der elektrischen Bodenleitfähigkeit beruhen. Mit dem System werden die technische Ausrüstung und Methoden für das Bemessen der Düngermenge, der Aussaatstärke sowie das Datenmanagement, die Darstellung und die -interpretation angeboten.

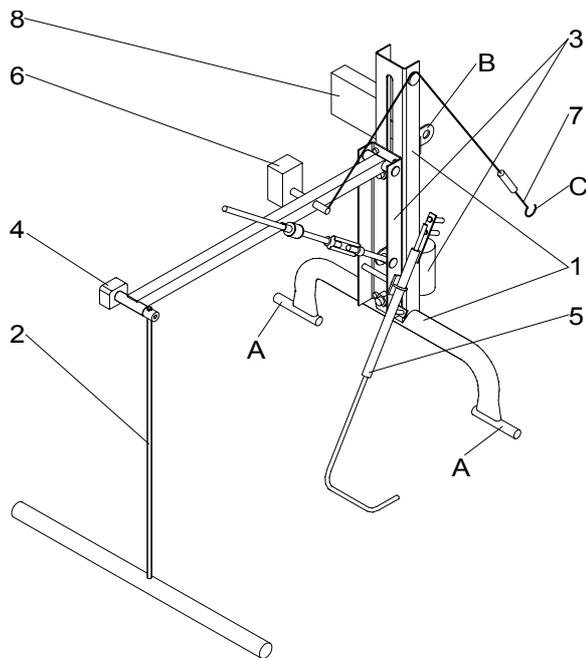
Die Fa. Hydro Agri bietet einen Sensor zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung an, der Reflektionseigenschaften des Pflanzenbestandes ermittelt und daraus in Echtzeit die Menge des auszubringenden Düngers bestimmt [16]. Eine weitere Methode für die technische Umsetzung der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung besteht in der Bestimmung des Chlorophyllgehaltes der Pflanzen durch laserinduzierte Fluoreszenzmessung [17].

Der Gegenstand dieses Beitrages besteht im Vorstellen von Untersuchungs- und Bewertungsergebnissen zur teilflächenspezifischen Applikation von Stickstoffdünger, von Wachstumsreglern und von Fungiziden durch den Einsatz des am ATB entwickelten Crop-meters.

Versuchsdurchführung

Der verwendete Sensor ist hinsichtlich seiner Grundkonzeption als Front-Anbaugerät für Traktoren ausgeführt (**Bild 1**). Die kinematischen Verhältnisse bei der Befestigung sind so bemessen, dass durch das Betätigen des Front-Krafthebers der Sensor über einen Seilzug in die Arbeitsstellung bzw. in die Transportstellung gebracht wird, ohne dass dafür der Fahrer die Kabine verlassen muss.

Um technisch die teilflächenspezifischen Applikationsmaßnahmen mit einem Zentrifugaldüngerstreuer (**Bild 2**) und einer Feldspritze (**Bild 3**) realisieren zu können, wurde das Crop-meter elektronisch derart konfiguriert, dass das Zusammenwirken



- 1 - Rahmen
- 2 - Pendel
- 3 - Spurtiefenausgleich
- 4 - Potentiometer
- 5 - Tastelement
- 6 - Neigungssensor
- 7 - Seilzug
- 8 - Elektronikbox
- A,A,B,(C) - Koppelpunkte

Technische Grunddaten:

- Gesamtmasse - 40 kg
- Messbreite - 1,0 m
- Betriebsspannung - 12 V -
- Leistungsbedarf - max. 50W

Bild 1: Schematische Darstellung des CROP-Meter



Bild 2: Sensor in Kombination mit einem Zentrifugal-Düngerstreuer für die Stickstoffdüngung



Bild 3: Sensor in Kombination mit einer Feldspritze für den Pflanzenschutz

mit einem Bordterminal (agrocom. ACT) und Jobrechnern (Müller-Elektronik) gewährleistet war. Die steuerungs- und regelungstechnische Lösung der Maschinenkombinationen basierte auf der Anwendung des Landwirtschaftlichen Bußsystems (LBS) unter Einbeziehung des ISO-Standards 11783.

Um die Effekte der teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen bei

der Stickstoffdüngung sowie beim Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden untersuchen zu können, wurden großflächige Streifenversuche mit 3 bis 4 Wiederholungen angelegt, deren Grundprinzip an einem Beispielschlag im **Bild 4** dargestellt ist.

Ein weiterer Bestandteil der teilflächenspezifischen Ausbringung der Düngemittel und Pflanzenschutzmittel in Echtzeit war die

Entwicklung eines universell anwendbaren Algorithmus zur Bemessung der Applikationsmenge.

Unter Berücksichtigung der herstellerseitigen Anwendungsempfehlungen und vorgeschriebener Maximalwerte legt der Landwirt eine obere Applikationsrate

\dot{m}_{\max} fest. Die von ihm ebenfalls vorzu-

gebende minimale Applikationsrate \dot{m}_{\min} richtet sich nach der angestrebten Bewirtschaftungsstrategie. Unter gegebenen Bedingungen kann diese bis auf Null abgesenkt werden.

Um den spezifischen Bereich des Pendelauslenkwinkels für einen Getreideschlag abschätzen zu können, ist eine Fahrt in einer Regelspur erforderlich, die möglichst die Heterogenität des Gesamtschlages repräsentativ widerspiegelt. Auf der Grundlage der so ermittelten Bestandsvariabilität bestimmt der Landwirt den Bereich von m_{C1} bis m_{C2} in denen das Mittel variabel ausgebracht werden soll (**Bild 5**). Im Intervall der so entstandenen Eckpunkte AP_1 und AP_2 wird die Applikationsrate dann direkt proportional der örtlich gemessenen (relativen) Pflanzenmasseedichte dosiert.

Um die Düngungsversuche in Echtzeit durchführen zu können, wurde das Cropmeter mit dem Traktor und dem Zentrifugaldüngerstreuer (Amazone ZAM MAXtronic) entsprechend Bild 2 kombiniert. Um ausreichend gesicherte Ergebnisse zu erhalten, erfolgten die Untersuchungen in den vier Jahren von 2000 bis 2003 in Winterweizen zur zweiten und dritten Stickstoffgabe auf 9 Versuchsflächen mit insgesamt 328 ha. Die Bemessung der Stickstoff-Applikationsrate basierte grundsätzlich auf der Annahme, dass in Bereichen eines Schlages mit im wesentlichen durch Trockenstress verursachtem geringen Pflanzenwachstum der Dünger nicht durch die Wurzeln aufgenommen werden kann. In diesen Zonen wurde dann die Düngermenge reduziert. Um Randeinflüsse bei der Ertragsermittlung ausschalten zu können, entsprach jeder einzelne Streifen in den Düngerversuchen nach Bild 5 der doppelten Arbeitsbreite des Düngerstreuers.

Die Ermittlung des Kornertrages erfolgte sowohl durch Wägungen mit einer Brückenwaage als auch durch Ertragsmess-einrichtungen in den verwendeten Mäh-dreschern (Claas; New Holland). Die Referenzflächen zum Bestimmen des Kornertrages bestanden aus drei Schnittbreiten des Mäh-dreschers im Kernbereich der jeweiligen Streifen. Damit war gewährleistet, dass verfälschende Einflüsse aus der dreieckförmigen Querverteilung des ver-

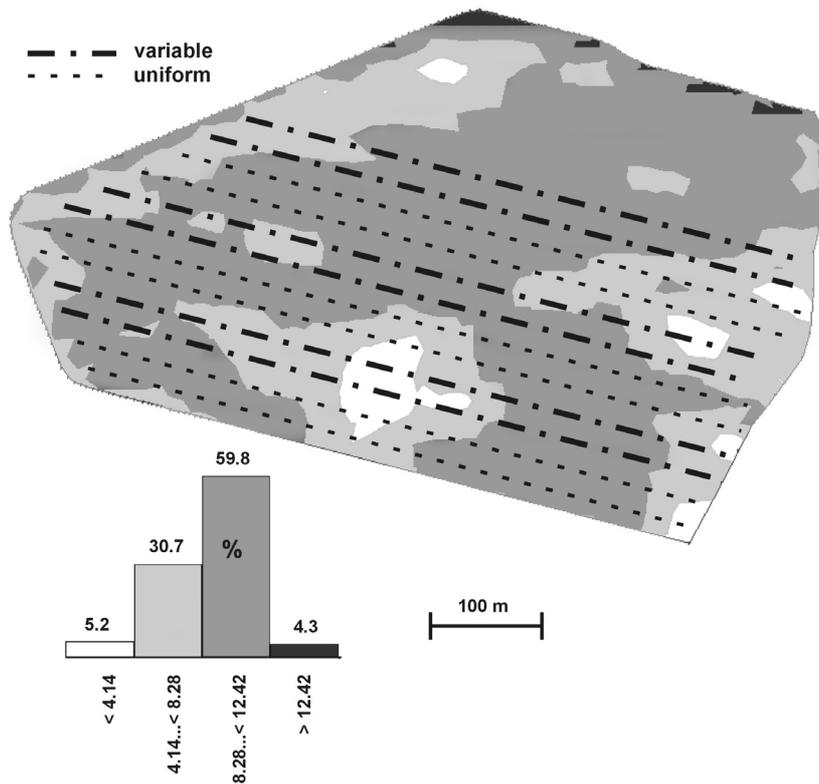


Bild 4: Beispiel für die Verteilung der relativen Pflanzen-Trockenmasse und die Anlage der Grossparzellen

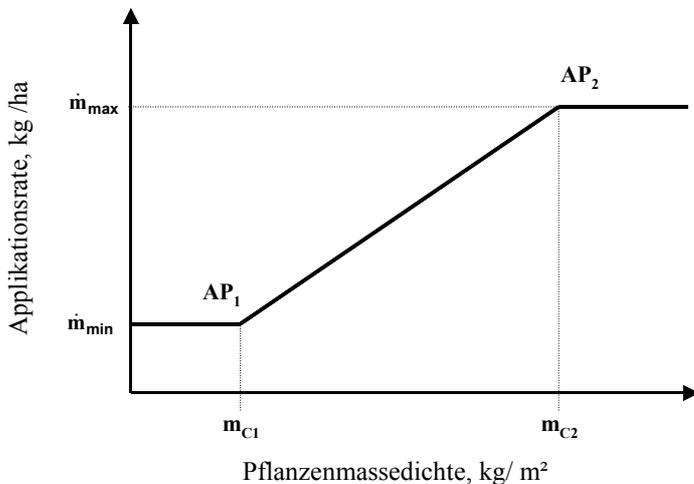


Bild 5: Prinzip des Applikationsalgorithmus für Dünge- und Pflanzenschutzmittel

wendeten Zentrifugal-Düngerstreuers weitgehend ausgeschlossen werden konnten.

Die teilflächenspezifische Applikation von Wachstumsreglern und Fungiziden erfolgte mit einer handelsüblichen 4000 l Anhänger-Feldspritze. In den Jahren 2000 und 2001 kamen für die Ausbringung ein Air Matic® System (18 m Spritzbalkenbreite) und in den Jahren 2002 und 2003 ein VarioSelect® System (24 m Spritzbalkenbreite) entsprechend Bild 3 zum Einsatz.

Die angewendete Regel bei der Ausbringung von Wachstumsreglern bestand darin, in Schlagbereichen mit geringem Pflanzenwachstum infolge des geringeren Lagerisikos die Applikationsmenge stark

zu senken.

Bei der Fungizidapplikation wurde infolge der geringen Oberfläche an Blättern und Stängeln, die in schwach ausgebildeten Bestandesbereichen durch die Tröpfchen benetzt werden muss, ebenfalls die Aufwandmenge reduziert.

In den Versuchen wurden zur Ergebniskontrolle ähnlich wie bei der Düngung Streifen angelegt. Während in dem einen Streifen die Pflanzenschutzmittel mit Hilfe des Crop-meters variabel ausgebracht wurden, erfolgte im Nachbarstreifen eine einheitliche betriebsübliche Ausbringung. Zur Ertragskontrolle wurden pro Streifen zwei Schnittbreiten der mit Ertragsmesssystem ausgerüsteten Mähdrescher einbezogen und jeweils benachbarte Werte aus

der Ertragskartierung geostatistisch verglichen.

Ergebnisse

Stickstoffdüngung

Der in den Jahren 2000 bis 2002 hauptsächlich verwendete mineralische Festdünger war Kalkammonsalpeter (KAS) mit einem Stickstoffgehalt von 27 %. Im Versuchsjahr 2003 kamen mineralische Depot-Dünger, der Festdünger Alzon 47 mit 47 % Stickstoffgehalt und der Flüssigdünger Piasan 28 mit 28 % Stickstoffgehalt, zum Einsatz. Die Ausbringung des Piasan 28 erfolgte mit der Feldspritze.

Bei Anwendung des im Bild 5 beschriebenen Applikationsalgorithmus wurden im Winterweizen die in **Tabelle 1** ausgewiesenen Miteinsparungen erzielt.

Die in den Versuchen erzielten Miteinsparungen an Stickstoffdünger waren sehr unterschiedlich; sie schwankten in einem Bereich von 5,0 bis 30,8 %. Der Durchschnitt für alle 9 Untersuchungsflächen betrug 14,0 %. Dieses unterschiedliche Niveau ist erklärbar durch die für jeden Schlag speziell festgelegten Sollwerte für die Punkte AP₁ und AP₂ entsprechend Bild 5, sowie durch die schlagspezifische Verteilung der Pflanzenmassedichte.

Für die Bewertung der Auswirkungen der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung auf den Korntrag werden die durch streifenweises Auswiegen ermittelten Erträge herangezogen (**Tabelle 2**). Trotz der streifenförmigen Versuchsanlage mit Wiederholungen waren in zwei Fällen nicht gleiche Ausgangsbedingungen vorhanden. Bei der Versuchsanlage 2001/2 hatten die einheitlich gedüngten Streifen im Mittel einen um 1,2° höheren Pendelwinkel, während bei der Versuchsanlage 2003/2 die teilflächenspezifisch gedüngten Streifen einen um 1,5° höheren mittleren Pendelwinkel aufwiesen. Da diese Ausgangsunterschiede gegensätzlich und in vergleichbarer Größe waren, sind ihre Auswirkungen auf das Gesamtergebnis als unwesentlich zu betrachten.

Insgesamt kann damit die Schlussfolgerung gezogen werden, dass durch die teilflächenspezifische Düngung Stickstoff eingespart sowie ein absoluter Mehrertrag von 1,5 dt ha⁻¹ bzw. ein relativer Mehrertrag von 3,1 % erzielt werden konnte.

Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden

Tabelle 3 enthält vierjährige Ergebnisse über die teilflächenspezifische Applikation von drei verschiedenen Fungiziden

Tabelle 1: Jahr, Fläche, Wachstumsstadium, Applikationsrate und Mitteleinsparungen für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung in Winterweizen

Jahr/Schlag	Fläche (ha)	Wachstumsstadium BBCH	Düngungsrate (kg ha ⁻¹) einheitlich / variabel	Einsparung (%)
2000 / 1 ¹⁾	50	51 - 59	53 / 7-68 (CAN)	9,4
2001 / 1 ¹⁾	25	51 - 59	68 / 7-68 (CAN)	11,7
2001 / 2 ¹⁾	50	51 - 59	65 / 7-65 (CAN)	12,3
2002 / 1a ²⁾	40	39 - 59	120 / 60-160 (CAN)	5,0
2002 / 1b ³⁾		37 - 39	120 / 71-141 (Alzon 47)	30,8
2002 / 2a ¹⁾	52	51 - 59	123 / 60-160 (CAN)	17,1
2002 / 2b ³⁾		37 - 39	100 / 60-120 (Alzon 47)	6,0
2003 / 1 ³⁾	66	37 - 39	100 / 60-110 (Alzon 47)	28,0
2003 / 2 ³⁾	45	37 - 39	51 / 18-68 (Pisan 28)	5,9
gesamt	328		Durchschnitt	14,0

¹⁾ nur dritte Gabe ²⁾ zweite und dritte Gabe ³⁾ nur zweite Gabe

Tabelle 2: Erträge für einheitliche und teilflächenspezifische Stickstoffdüngung in Winterweizen

Jahr/Schlag	Fläche (ha)	Ertrag (dt/ha ⁻¹)		Ertragsdifferenz (dt/ha ⁻¹)	Ertragsdifferenz (%)
		einheitlich	variabel		
2000 / 1 ¹⁾	50	26,5	27,6	+ 1,1	+ 4,2
2001 / 1 ¹⁾	25	78,5	78,1	- 0,4	- 0,5
2001 / 2 ¹⁾	50	82,4	84,0	+ 1,6	+ 1,9
2002 / 1a ²⁾	40	61,5	63,0	+ 1,5	+ 2,4
2002 / 1b ³⁾		61,5	62,5	+ 1,0	+ 1,6
2002 / 2a ¹⁾	52	56,0	56,6	+ 0,6	+ 1,1
2002 / 2b ³⁾		56,0	56,8	+ 0,8	+ 1,4
2003 / 1 ³⁾	66	52,0	56,8	+ 4,8	+ 9,2
2003 / 2 ³⁾	45	38,1	40,5	+ 2,4	+ 6,3
gesamt	328	56,9	58,4	+ 1,5	+ 3,1

¹⁾ nur dritte Gabe ²⁾ zweite und dritte Gabe ³⁾ nur zweite Gabe

Tabelle 3: Getreideart, Jahr, Fläche, Entwicklungsstadium, Applikationsbereich und Mitteleinsparungen bei Fungiziden und Wachstumsregler

Getreideart/ Jahr/Schlag	Fläche (ha)	Wachstumsstad. BBCH	Applikationsrate (l ha ⁻¹)	Einsparung (%)
Winterweizen, 2000/1	44	47 - 51	100 - 250 ²⁾	16,1
Winterweizen, 2000/2	5	47 - 51	119 - 250 ²⁾	12,8
Winterweizen, 2000/3	5	47 - 51	175 - 300 ¹⁾	7,0
Sommergerste, 2000/4	6	61 - 65	104 - 300 ²⁾	27,4
Winterweizen, 2001/1	21	55 - 59	120 - 300 ³⁾	25,0
Sommergerste, 2002/1	19	69 - 71	40 - 200 ¹⁾	37,5
Winterweizen, 2002/2	44	59 - 61	55 - 200 ³⁾	8,7
Winterweizen, 2002/3	5	59 - 61	90 - 200 ³⁾	15,0
Winterweizen, 2003/1	49	55 - 59	50 - 250 ²⁾	33,2
Wintergerste, 2003/2	8	39 - 42	50 - 180 ⁴⁾	48,0
gesamt	206			23,1

¹⁾ Jewel Top® ²⁾ Opus Top® ³⁾ Caramba® ⁴⁾ Moddus®

sowie eines Wachstumsreglers. Die erzielten Mitteleinsparungen variierten in einem Bereich von 7,0 bis 48 % und betragen im Mittel ca. ein Viertel. Die eventuell entstehenden Auswirkungen der Mitteleinsparungen auf den Krankheitsbefall wurden durch visuelle Bonituren be-

nachbarter Flächen bei einheitlicher und teilflächenspezifischer Behandlung vorrangig im Stadium der Milchreife überprüft. Es konnten visuell keine Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsformen erkannt werden [18].

Schlussfolgerungen

Das Crop-meter ist ein effizienter, zerstörungsfrei messender und Arbeitszeit sparender Sensor zur kontinuierlichen fahrzeuggestützten Bestimmung der Pflanzenmassedichte. Es zeichnet sich durch einen einfachen konstruktiven Aufbau und Robustheit aus. Das Crop-meter ist auch unter rauen Praxisbedingungen zur teilflächenspezifischen Applikation von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln einsetzbar. Dies gilt insbesondere, wenn Wassermangel der das Pflanzenwachstum begrenzende Faktor ist, in dem die Applikationsmenge in Bereichen mit bereits vorhandenen Wachstumsdepressionen reduziert wird. Diese Vorgehensweise spart Betriebsmittelkosten beim Landwirt und reduziert die Umweltbelastung bei der Getreideproduktion.

Die Höhe der Einsparungen an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln werden sowohl von der räumlichen Verteilung der Pflanzenmassedichte als auch von den Sollvorgaben zur Verwirklichung von Bewirtschaftungsstrategien des Landwirts bestimmt.

Zusammenfassend wird auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse eingeschätzt, dass das entwickelte Crop-meter das Potenzial hat, in der breiten landwirtschaftlichen Praxis einen Beitrag zur sensorgestützten teilflächenspezifischen Bestandesführung in der Getreideproduktion zu leisten.

Literatur

- [1] Gonzalez, M.A., Hussey, M.A., Conrad, B.E. 1990. Plant height, disc and capacity meters used to estimate bermudagrass herbage mass. *Agronomy Journal* **82**, 861-864.
- [2] Lokhorst, C., Kasper, G.J. 1998. Site specific grassland management: measuring techniques, spatial and temporal variation in grass yields. In: Proceedings of the Conference Agricultural Engineering, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, Germany 1998, 209-214.
- [3] Pearson, D.B., Tucker C.J., Miller L.D. 1976. Spectral mapping of shortgrass prairie biomass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **3**, 317-323.
- [4] Tucker, C.J., Holben, B.N., Elgin, J.H., McMurtrey, J.E. 1981. III: Remote sensing of total dry matter accumulation in winter wheat. *Remote Sensing of Environment* **11**, 171-189.
- [5] Jaynes, D.B., Colvin, T.S., Ambuel, J. 1995. Yield mapping by electromagnetic induction. In: Site specific Management for Agricultural Systems. Proceedings of the 2nd International Conference, Minneapolis, edited by P.C. Robert, H. Rust (ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA), 383-394.

- [6] Hansen, P.M., Jorgensen, R.N. 2001. The Riso Cropassessor – An idea to a low cost, robust, simple, and modular measuring device based on existing technology for monitoring the spatial field crop variation. In: Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, edited by G. Grenier and S. Blackmore (AGRO Montpellier, France) 37-42.
- [7] Auernhammer, H., Demmel, M., Muhr, T., Rottmeier, J., Wild, K. 1994. Rechner gestützte Ertragsermittlung für eine umwelt-schonende Düngung (Computer-supported estimating of yields for environment-friendly fertilisation). Landtechnik Weihenstephan, Landtechnik-Schrift **4**, 111-134.
- [8] Ehlert, D., Hammen, V., Adamek, R. 2003. On-Line Sensor Pendulum-Meter for Determination of Plant Mass. Precision Agriculture **4** no. 2, 139-148
- [9] Haar V., Jorgensen, R.N., Jensen, A., Overgaard, J. 1999. A method for optimal site-specific nitrogen fertilisation. In: Precision Agriculture '99: Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture, edited by J.V. Stafford (Sheffield Academic Press, UK), 709-718.
- [10] Peters, M.W., James, I.T., Earl, R., Godwin, R.J. 1999. Nitrogen management strategies for precision farming. In: Precision Agriculture '99: Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture, edited by J.V. Stafford (Sheffield Academic Press, UK), 719-728.
- [11] Schwarz, J., Kersebaum, K.C., Reuter, H., Wendroth, O., Jürschik, P. 2001. Site-specific fertiliser application with regard to soil and plant parameters. In: Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, edited by G. Grenier and S. Blackmore (AGRO Montpellier, France), 713-718.
- [12] Wenkel, K.-O., Brozio, S. Gebbers, R.I.B., Kersebaum, K.C., Lorenz, K. 2001. Development and evaluation of different methods for site-specific nitrogen fertilization of winter wheat. In: Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, edited by G. Grenier and S. Blackmore (AGRO Montpellier, France), 743-748.
- [13] Fleming, K.L., Westfall, D.G., Bausch, W.C. 2000. Evaluating management zone technology and grid soil sampling for variable rate nitrogen application. In: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, CD of editors, (2000 ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI 53711, USA).
- [14] Lamp, J., Herbst, R., Reimer, G. 2002. Digitale Hof-Bodenkarten. In: Precision Agriculture, KTBL-Sonderveröffentlichung 038
- [15] Colburn, Jr. J.W. 1998. Soil doctor multi-parameter, real-time soil sensor and concurrent input control system. In: Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture, MN, edited by P.C. Robert, R.H. Rust, and W.E. Larson (ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA) Part B, 1011-1021.
- [16] Marquering, J., Reusch, S. 1997. Online-Düngung: Sensor und Ausbringtechnik für eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung (On-line fertilising: Sensor and application technique for site-specific nitrogen fertilisation) VDI Berichte 1356, Düsseldorf, 93-96.
- [17] Günther, H., Dahn, H.G., Lüdeker, W. 1999. Laser-induced-fluorescences new method for precision farming, In: Proceedings "Sensorsysteme im Precision Farming". Universität Rostock, edited by R. Bill, G. Grenzdörffer and F. Schmidt, Interner Bericht Heft Nr. 12, Institut für Geodäsie und Geoinformatik, 133-144.
- [18] Dammer, K.-H., Böttger, H. and Ehlert, D. 2003. Sensor-controlled variable rate real-time application of herbicides and fungicides. In: Precision Agriculture '03: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture, edited by J. Stafford and A. Werner (Wageningen Academic Publishers, NL), 129-134

Danksagung

Die Forschungsarbeiten wurden zusätzlich durch das BMBF in Deutschland gefördert.

Ein weiterer Dank gebührt den Mitarbeitern der Abteilung Technik im Pflanzenbau Dipl.-Ing. H. Schmidt, Dipl.-Ing. S. Kraatz, Dipl.-Ing. R. Adamek und U. Frank für die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Versuche.

Autoren

Dr.-Ing. Detlef Ehlert
Institut für Agrartechnik Bornim e. V.
Abteilung Technik im Pflanzenbau
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam
Tel.: +49/(0)331/5699-410
Fax: +49/(0)331/5699-849
E-mail: dehlert@atb-potsdam.de

Dr. agr. habil. Karl-Heinz Dammer
Institut für Agrartechnik Bornim e. V.
Abteilung Technik im Pflanzenbau
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam
Tel.: +49/(0)331/5699-418
Fax: +49/(0)331/5699-849
E-mail: kdammer@atb-potsdam.de

Dr. agr. Ulrich Völker
Institut für Agrartechnik Bornim e. V.
Abteilung Technik im Pflanzenbau
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam
Tel.: +49/(0)331/5699-928
Fax: +49/(0)331/5699-849
E-mail: uvoelker@atb-potsdam.de