

Zielflächenorientierte, präzise Echtzeit-Fungizidapplikation in Getreide

Karl-Heinz Dammer, André Hamdorf, Anton Ustyuzhanin, Michael Schirrmann, Peer Leithold, Hermann Leithold, Thomas Volk, Maria Tackenberg

Im Rahmen eines Verbundprojektes wurden Echtzeit-Applikationstechnologien mit berührungslosen Sensoren für präzise Fungizid-Spritzungen in Getreide entwickelt. Das Entscheidungshilfe-System proPlant expert.classic bzw. die Internetversion proPlant expert.com (proPlant GmbH) empfiehlt geeignete Fungizide und Dosierungen für ein bestimmtes Infektionsszenario der acht wichtigsten Blatt- und Ährenkrankheiten von Winterweizen. Das Precision-Farming-Modul „Fungizid“, welches auf dem Terminal in der Traktorenkabine läuft, steuert das präzise Spritzverfahren. Das Modul bestimmt die lokale Zielapplikationsmenge während des Spritzens durch Nutzung des lokalen Ultraschallsensorwerts als Eingabeparameter.

In den Jahren 2013 und 2014 wurden Feldversuche in Winterweizen durchgeführt, um die Beziehung zwischen den Sensorwerten (Ultraschall- und Kamerasensor) und den Pflanzenparametern Pflanzenoberfläche (Leaf Area Index, LAI) sowie Biomasse zu analysieren. Diese sind für einen örtlich angepassten variablen Fungizideinsatz zur Bemessung der Spritzmenge wichtig. Die Messungen wurden mehrmals während der Vegetationsperiode an visuell ausgewählten Stichprobenpunkten entsprechend der unterschiedlichen Bestandsdichte durchgeführt. Nach Änderungen an der Sensortechnik konnten für 2014 signifikante lineare Regressionsmodelle zur Beschreibung der Beziehung zwischen den Sensorwerten und den zwei Pflanzenparametern LAI sowie Biomasse gefunden werden.

Stichwörter

Biomasse, Leaf Area Index, Fungizid, Sensoren, Getreide

Ein durch Drittmittel finanziertes Projekt der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Fördernummer: 2814704511) startete im Herbst 2012, um Echtzeit-Applikationstechnologien mit berührungslosen Sensoren für präzise Fungizidspritzungen in Getreide zu entwickeln. Das Drittmittel-Projekt bestand aus drei Teilprojekten:

- Precision Farming Modul „Fungizid“ (proPlant GmbH),
- Ultraschall-gesteuerte Feldspritze (Agri Con GmbH) und
- Kamera-gesteuerte Feldspritze und Koordinierung des Projekts (ATB).

In den letzten Jahren wurden besonders auf dem Gebiet der Stickstoffanwendung neue bodennahe Sensortechnologien für den Einsatz in der Praxis entwickelt; seit 2001 sind sieben Sensoren kommerziell erhältlich (RECKLEBEN 2010, EHLERT 2011). Die Technologien basieren auf Sensoren, die hauptsächlich die vom Pflanzenbestand reflektierte Strahlung erfassen. Zur Unkrautkontrolle (PETEINATOS et al. 2014) und zur Wachstumsregulation (VOLK et al. 2010a) sind bereits einige sensorbasierte Echtzeit-technologien kommerziell erhältlich. Auf dem Gebiet des sensorbasierten Pflanzenschutzes fehlen diese jedoch für die Fungizidapplikation.

Eine verbreitete Vorgehensweise im Pflanzenschutz ist die einheitliche Anwendung von Fungiziden über das gesamte Feld. Am Anfang von Pilzepidemien entwickeln sich die Erreger in der Regel jedoch nesterweise (CAMPBELL und MADDEN 1990, HUGHES und MADDEN 1995). Daraus folgt, dass in den krankheitsfreien Teilbereichen keine Anwendung notwendig ist.

Falls Krankheitssymptome für das menschliche Auge sichtbar sind, kann die flächenmäßige Ausdehnung des Befalls z. B. entlang eines Stichprobengitters geschätzt werden. Dies ist allerdings sehr zeitaufwendig. Daher wurden Studien über ortsspezifische Fungizidanwendungen, die auf visuellen Begutachtungen des Krankheitsbefalls und den daraus erzeugten Krankheits- und Applikationskarten basieren, ausschließlich auf Versuchsflächen durchgeführt (SECHER 1997, BJERRE 1999). Bei ungünstigen Wetterbedingungen verbreiten sich Krankheiten schnell über das gesamte Feld. In der Praxis ist diese auf visuellen Bonituren basierende Methode nicht einsetzbar, weil die Bekämpfung zeitnah durchgeführt werden muss, Applikationskarten dann jedoch nicht unmittelbar zur Verfügung stehen.

Sensortechnologien könnten die visuelle Krankheitsbeurteilung ersetzen. Dazu müssen Sensoren erkrankte Pflanzenteile zuverlässig und in frühen Stadien der Krankheitsentwicklung erkennen, während die Landmaschine über das Feld fährt. In der Forschung werden verschiedene Ansätze genutzt, um Symptome von Pflanzenkrankheiten zu detektieren. BOCK et al. (2010) beschrieb zweckmäßige Methoden, die allerdings unter Freilandbedingungen während der Überfahrt von Landmaschinen in der Regel nicht angewendet werden können.

Zurzeit gibt es keine sensorbasierten Technologien für die automatische Erkennung von Pflanzenkrankheiten, bevor diese kritische Schwellenwerte überschreiten. Daher wurde in den letzten Jahren eine alternative Methode für die Optimierung von sensorgestützten Fungizidapplikationen in Echtzeit entwickelt (DAMMER und EHLERT, 2006). Das Ziel für die Spritzflüssigkeit ist hier nicht eine bestimmte Fläche, die in den Anwendungsempfehlungen eines Pflanzenschutzmittels als Aufwandmenge „pro Hektar“ angegeben wird. Der präzise Pflanzenschutz zielt auf die einzelne Kulturpflanze ab, um sie gegen eine Infektion zu schützen. In der Praxis führt beispielsweise die Fungizidapplikation in dünnen Bestandesbereichen zu einem Verlust des Teils der Spritzflüssigkeit, die den Boden erreicht. Daher wird die Applikationsrate gemäß der lokalen Pflanzenoberfläche (Leaf Area Index, LAI) bzw. der Biomasse angepasst.

Unterschiedliche Boden- und Reliefbedingungen innerhalb eines Feldes bedingen ein unterschiedliches Pflanzenwachstum. Dies beruht auf Unterschieden in der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit. Die Strategie der zielflächenorientierten Fungizidapplikation zielt darauf ab, die Applikationsmenge in Bereichen mit geringer Pflanzenoberfläche (LAI) bzw. Biomasse bei konstanter Konzentration der Flüssigkeit im Spritzbehälter – entsprechend der Anwendungsempfehlungen des Herstellers – zu reduzieren. Die gesamte Pflanzenoberfläche muss dabei gleichmäßig durch die Spritzflüssigkeit bedeckt sein, was besonders bei protektiven Fungiziden wichtig ist. Im Falle von systemischen Fungiziden, die in das Pflanzengewebe eindringen, muss in der Pflanze eine bestimmte Konzentration aufgebaut werden, um das Pilzpathogen abzutöten. Daher sind LAI und oberirdische Biomasse wichtige Parameter in der präzisen zielflächenorientierten variablen Fungizidapplikation.

Um eine Feldspritze durch einen Sensor zu steuern, muss das jeweilige Sensorsignal mit dem LAI oder der Pflanzenbiomasse korrelieren. Diese auf die Kulturpflanze gerichtete Applikationstechnologie berücksichtigt jedoch keine Unterschiede im Auftreten von Krankheiten (Erreger) in Bereichen mit unterschiedlicher Biomasse. Die verschiedenen Pilzkrankheiten reagieren auf die Pflanzendichte

unterschiedlich. Echter Mehltau (*Blumeria graminis*) tritt häufiger in dichten Getreidebeständen auf (SENTELHAS et al. 1993). Das Auftreten von Gelbrost (*Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici*) hängt mit höheren Temperaturen zusammen (PARK et al. 1992), weil sich Bereiche mit geringen Bestandsdichten schneller erwärmen. Im Fall der Blattdürre (*Septoria tritici* Rob. Ex Desm.) wurden verschiedene Beobachtungen gemacht. BJERRE (1999) fand einen negativen Zusammenhang zwischen der Schwere der Erkrankung und der Bestandsdichte. Laut BROSCIOUS et al. (1985) und SENTELHAS et al. (1993) trat in dichten Beständen eine höhere Krankheitsinfektion auf, wenn Niederschlag fehlte. Außerdem können die verschiedenen Pilzpathogene gleichzeitig innerhalb eines Feldes auftreten. Daher nutzen Landwirte in der Regel Breitbandfungizide, um sowohl gegenwärtig als auch später auftretende Krankheiten kontrollieren zu können.

Neben der Heterogenität der Pflanzenoberfläche und Biomasse muss die Wirtschaftlichkeit einer Fungizidspritzung als ein weiterer Aspekt betrachtet werden. Eine gut etablierte Pflanze produziert mehr Ertrag als eine Pflanze, die an Nährstoffmangel oder an Wasserstress leidet, was zu stark unterschiedlichen Teilflächenerträgen führt. In ertragsheterogenen Feldern schwankt auch der Deckungsbeitrag. Durch eine zielflächenorientierte variable Fungizidapplikation nach LAI oder Biomasse kann der Einsatz von Betriebsmitteln optimiert werden. Betriebskosten und Energieaufwand werden ebenso wie der Biozideintrag in die Umwelt reduziert.

Der CROP-Meter-Sensor, der am Leibniz-Institut für Agrartechnik (ATB) entwickelt wurde, war der erste mechanische Sensor für eine präzise Fungizidapplikation in Getreide, der kommerziell erhältlich war. Das Sensorsignal korrelierte mit der Pflanzenoberfläche (DAMMER und EHLERT 2006) und der Biomasse (EHLERT und DAMMER 2006). Im Durchschnitt wurden in den langjährigen Feldversuchen Fungizideinsparungen von 22 % erzielt (DAMMER und EHLERT 2006). Mit einer Füllung des Spritztanks konnte eine größere Fläche behandelt werden. Dadurch wurden Maschinenkosten gespart. Im Vergleich zur üblichen einheitlichen Behandlung wurden keine Ertragseinbußen und kein vermehrtes Auftreten von Pflanzenkrankheiten festgestellt (DAMMER 2005a).

Im Rahmen eines früheren Forschungsprojekts wurde die Information des CROP-Meters (Sensor) und des Entscheidungsunterstützungssystem proPlant expert.precise (Karte) kombiniert (DAMMER et al. 2009), um ein Echtzeit-Applikationssystem mit Kartenüberlagerung (map overlay) zu entwickeln. Mit dem Prototyp des Systems proPlant expert.precise erfolgte aufgrund wetter- und feldspezifischer Daten die Berechnung von Infektionsrisiken durch Pilzkrankheiten in bis zu drei Feldbereichen mit unterschiedlicher Ertragserwartung. Das System erzeugte eine Spritzkarte mit unterschiedlichen Applikationsmengen. Im Vergleich zu einer herkömmlichen einheitlichen Spritzung erzielte der Sensor mit dem Map-overlay-Verfahren Fungizideinsparungen von bis zu 33 % (DAMMER et al. 2009).

Der Betrieb von berührungslosen Sensoren (Ultraschall und Kamera) ist einfacher als von mechanischen Sensoren wie dem CROP-Meter-Sensor, der mit der Kulturpflanze während des Spritzens in Kontakt kommt. Deshalb wurden im Projekt „FungiPrecise“ zwei Spritztechnologien entwickelt, die auf Ultraschall- und Kameratechnologie basieren. In den Jahren 2013 und 2014 wurden Feldversuche durchgeführt, um die Beziehung zwischen den Sensorsignalen und den beiden Pflanzenparametern LAI und Biomasse zu untersuchen.

Material und Methoden

Die in diesem Projekt genutzten Sensoren sind in der Lage, zweidimensionale Kamera- und dreidimensionale Ultraschallsignale des gescannten Bereichs zu liefern. Im Gegensatz dazu erzeugen spektrometrische Sensoren, welche in der Praxis für die Stickstoffapplikation genutzt werden, ein Mischsignal von Boden und Pflanze (eindimensional). Kamera- und Ultraschallsensoren haben geringe Abmessungen und können einfach an Landmaschinen befestigt werden.

Entscheidungsunterstützungssystem und Dosieralgorithmus

Der wichtigste Faktor für Pilzinfektionen bei Pflanzen ist das Wetter. Entscheidungsunterstützungssysteme wie proPlant expert.classic können dem Landwirt Informationen über die Infektionswahrscheinlichkeit (Tage mit hohen, niedrigen und ohne Infektionsrisiken), die geeignete Anwendungszeit sowie über Fungizidprodukte und Aufwandmengen (VOLK et al. 2010b) bereitstellen. Das System ist besonders geeignet, um im Falle von latentem Pilzbefall, bei dem Symptome an der Pflanze noch nicht sichtbar sind, den passenden Spritztermin zu bestimmen. So können ineffektive Anwendungen und mögliche Ertragseinbußen vermieden werden, welche nach einem Fungizideinsatz auftreten können (BÖTTGER 1984, MARTIN 1986). Neben den Wetterdaten sind weitere Parameter, die Infektionen beeinflussen können, in das System integriert wie Sorte, Aussaatzeit- und -menge, Pflanzendichte, Entwicklungsstadium sowie Düngung und Bodentrockenheit. In Deutschland nutzen Landwirte und Fachberater dieses System nicht nur bei Getreide, sondern auch bei anderen Feldfrüchten. Das System proPlant expert.classic lieferte im FungiPrecise-Projekt die oben genannten grundlegenden Informationen für eine Fungizidapplikation in Winterweizen.

Aus dem Zusammenhang zwischen den Sensorwerten und dem LAI bzw. der Biomasse wurde ein einfacher, universell einsetzbarer Dosieralgorithmus für den Praxiseinsatz entwickelt. Die Programmierung wurde vom Unternehmen proPlant durchgeführt. Das Precision-Farming-Modul „Fungizid“ muss der ISOBUS-Norm entsprechen, um verschiedene handelsübliche Feldspritzen ansteuern zu können.

Ultraschallsensorgesteuerte Feldspritze

Ultraschallsensoren liefern kurze akustische Impulse. In Zuckerrohr (PORTZ et al. 2013), Baumwolle und Sojabohnen (SUI et al. 1989), Mais (SHRESTHA et al. 2002) sowie Getreide (REUSCH 2009) wurden Ultraschallsensoren zur Bestimmung verschiedener Pflanzenparameter, wie Wuchshöhe und Biomasse eingesetzt. Die Forschungsarbeit in diesem Teilprojekt wird von dem Unternehmen Agri Con durchgeführt. Für die Versuche wurde an jeder Teilbreite des Spritzbalkens ein Sensor (Abbildung 1) angebracht, sodass diese separat gesteuert werden können. Um die Korrelation des Sensorsignals mit dem LAI und der Biomasse zu bestimmen, wurde in den Feldversuchen 2013 und 2014 die Laufzeit der unterschiedlichen Echos gemessen und anschließend eine „Ultraschallhöhe“, d. h. die per Ultraschall ermittelte Wuchshöhe, berechnet.



Abbildung 1: An einem Quergestänge angebrachte Ultraschallsensoren (Agri Con)

Kameragesteuerte Feldspritze

In diesem Teilprojekt werden mit einer kameragesteuerten Feldspritze Streifenversuche durchgeführt, um die Auswirkungen des zielflächenorientierten Applikationsverfahrens auf Ertrag und Krankheitsbefall zu bewerten. In den Feldversuchen 2013 und 2014 nahm eine 3-Chip-CCD-Multispektralkamera Bilder im roten, infraroten und grünen Spektralbereich auf. Die roten und infraroten Bilder wurden genutzt, um ein Graustufenbild des Normalized Differential Vegetation Index ($NDVI = (IR - R)/(IR + R)$) zu berechnen. Durch eine Kalibrierung wurde ein Schwellenwert festgelegt, um die grünen Kulturpflanzen vom Bildhintergrund zu trennen. Danach erfolgte eine Schwarz-Weiß-Binarisierung, bei der die Bildpixel weiß gesetzt wurden, wenn ein bestimmter NDVI den Schwellenwert überschritt. Der prozentuale Anteil dieser Pixel repräsentiert den Bedeckungsgrad der Pflanze.

Der Bildhintergrund kann auch reifes oder totes Pflanzengewebe sein, welches vor allem in Teilbereichen mit spärlichem Pflanzenwachstum auftritt. Dort kann die Reife, verglichen mit dichten Pflanzenbeständen, einen Monat früher erreicht werden (DAMMER 2005a). Reifes Pflanzengewebe muss nicht gegen Pilzinfektionen geschützt werden.

Das Kamerasensorsystem (Abbildung 2) wurde bereits in früheren Forschungsprojekten für die Erfassung von Pflanzenparametern in Raps (DAMMER 2005b), für das Erkennen partieller Taubährigkeit (*Fusarium* spp.) in Winterweizen (DAMMER et al. 2011) und für die Herbizidapplikation in Wintergerste genutzt (DAMMER et al. 2012).



Abbildung 2: Testprototyp des Kamerasensors (ATB) bei den Feldversuchen, Betriebshöhe: 2,50 m über dem Boden, Betrieb linksseitig in Fahrtrichtung

Ergebnisse und Diskussion

Feldmessungen

In den Jahren 2013 und 2014 wurden auf Landwirtschaftsbetrieben Feldexperimente in Winterweizen durchgeführt (Agri Con, ATB), um die Beziehung zwischen den Pflanzenparametern und dem Sensorsignal zu analysieren. Die Experimente, deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden, wurden auf zwei Feldern durchgeführt:

2013 - Ostrau I (geogr. Länge E12.7117, geogr. Breite N51.8204)	- Agri Con
Dabrun I (geogr. Länge E12.7117, geogr. Breite N51.8204)	- ATB
2014 - Ostrau II (geogr. Länge E13.1103, geogr. Breite N51.2299)	- Agri Con
Dabrun II (geogr. Länge E12.6967, geogr. Breite N51.8354)	- ATB

Die Stichprobenpunkte mit unterschiedlichem Pflanzenwachstum wurden visuell entlang eines Transektes für jeden Messzeitdurchgang ausgewählt und es wurden unter anderem die folgenden Parameter festgelegt:

- Sensorsignal (Ultraschall- und Kamerasensor),
- LAI mit dem SunScan[®]-Handgerät (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, GB),
- Biomasse im Messbereich der Sensoren.

Als Beispiel für die Variabilität der Sensorwerte und der Pflanzenparameter sind in Tabelle 1 und 2 die Minimum- und Maximumwerte aufgeführt, welche in einem der Versuchsfelder 2013 gemessen wurden.

Tabelle 1: Minimal- und Maximalwerte der ermittelten Pflanzenparameter, Feld Ostrau I (Agri Con), Feldversuch 2013, Ultraschallsensor-Messsbereich 1,0 m x 0,5 m (0,5 m²)

Datum	„Ultraschallhöhe“ [cm]		LAI		Biomasse [kg per 0,5 m ²]		Entwicklungsstadium [BBCH]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
06.05.	23	57	1,9	5,3	0,28	0,48	33	33
21.05.	37	64	1,6	7,7	0,39	1,28	37	37

Tabelle 2: Minimal- und Maximalwerte der ermittelten Pflanzenparameter, Feld Dabrun I (ATB), Feldversuch 2013, Kamerasensor-Messsbereich 2,2 m x 1,4 m (3,08 m²)

Datum	Deckungsgrad [%]		LAI		Biomasse [kg per 3,08 m ²]		Entwicklungsstadium [BBCH]	
	min	max	min	max	min	max	min	max
15.05.	68	98	2,2	5,2	3,68	6,72	33	34
05.06.	46	99	2,5	6,0	4,9	11,62	51	61
19.06.	40	99	0,4	3,8	4,38	10,86	69	71
04.07.	19	94	1,8	4,7	-	-	57	87

Auf beiden Feldern war eine hohe Streuung der Sensorwerte und Pflanzenparameter zu verzeichnen. In Bezug auf das Entwicklungsstadium nach dem BBCH-Code (LANCASHIRE et al., 1991) traten erhebliche Unterschiede auf, insbesondere im Feld Dabrun I. Während des letzten Messtermins befanden sich dort die Pflanzen in den Bereichen mit geringer Pflanzendichte im Entwicklungsstadium BBCH 87, in den dichten Bereichen dagegen im Entwicklungsstadium BBCH 57.

Beziehung zwischen den Sensorwerten (Ultraschall und Kamera) und Biomasse sowie LAI

Die Abbildungen 3 bis 6 veranschaulichen die Beziehung zwischen den Sensorwerten und den Pflanzenparametern LAI und Biomasse der Feldversuche aus dem Jahr 2013. Aufgrund der hohen Streuung der Punktwolke konnte keine signifikante lineare Regression gefunden werden.

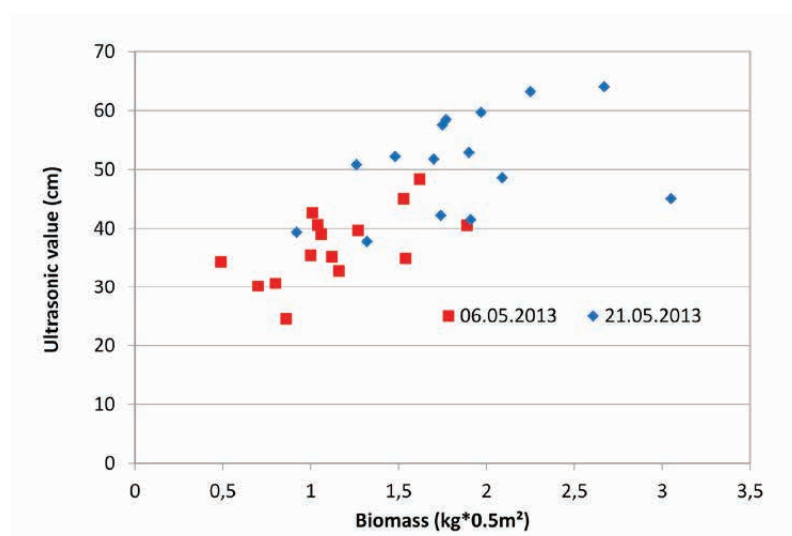


Abbildung 3: Beziehung zwischen den Ultraschallwerten („Ultraschallhöhe“) und der Biomasse, Feld Ostrau I an zwei Messterminen 2013

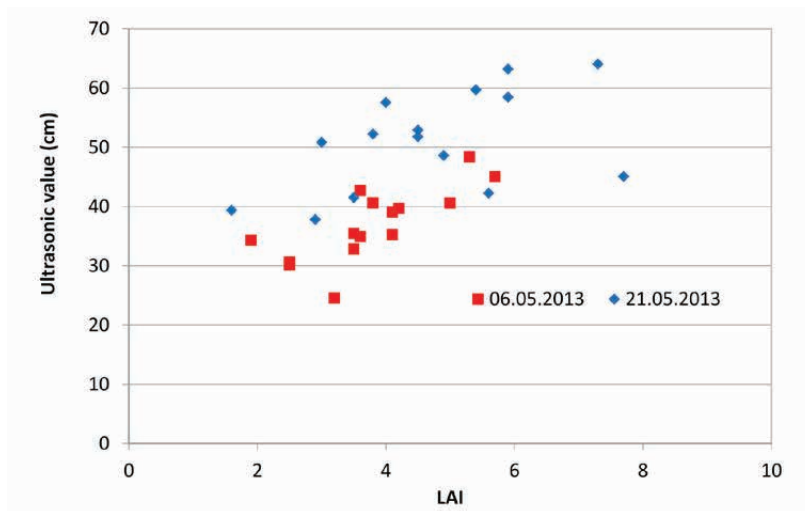


Abbildung 4: Beziehung zwischen dem Ultraschallwert („Ultraschallhöhe“) und dem LAI, Feld Ostrau I an zwei Messterminen 2013

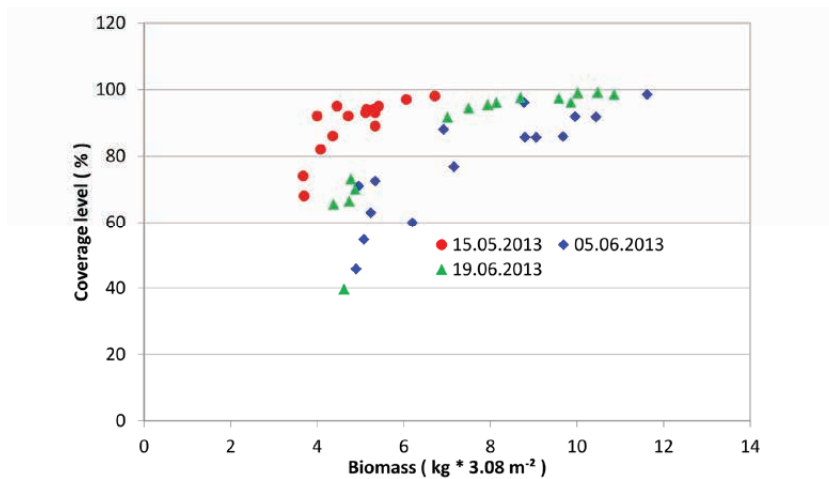


Abbildung 5: Beziehung zwischen dem Kamerawert („Bedeckungsgrad“) und der Biomasse, Feld Dabrun I an drei Messterminen 2013

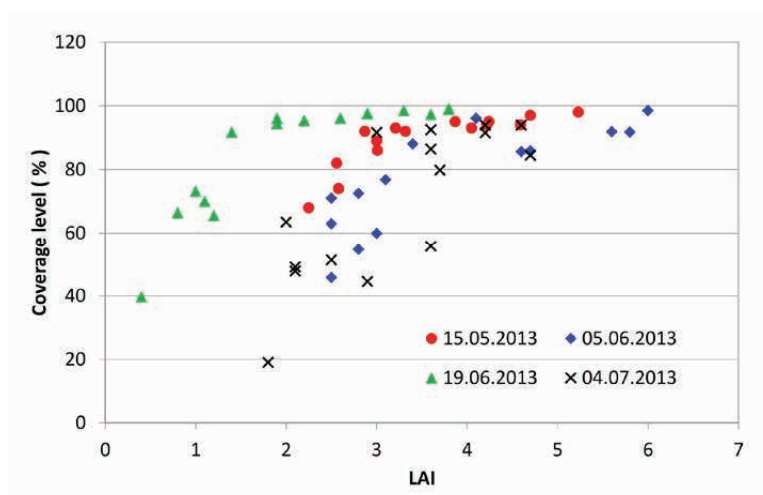


Abbildung 6: Beziehung zwischen Kamerawert und dem LAI, Feld Dabrun I an vier Messterminen 2013

Im Fall der Kamerasensormessungen stieg der Bedeckungsgrad zunächst proportional an. Ab einem bestimmten Biomassewert (> 6 kg) und LAI-Wert (> 3) blieb er konstant bei etwa 90 bis 100%. Das bedeutet, dass die Kamera an den Stichprobenpunkten mit höheren Pflanzendichten die Biomasse und den LAI nicht mehr genau beurteilen konnte. Die Beziehung zwischen Bedeckungsgrad und Biomasse konnte beim letzten Messtermin (4.7.2013) nicht mehr untersucht werden, da die Biomasse aus technischen Gründen nicht bestimmt werden konnte.

Aufgrund der Ergebnisse des Jahres 2013 wurden die Sensorsysteme technisch verändert. Ein Grund für die konstanten Werte des gemessenen Deckungsgrades (etwa 90 bis 100 %) ab einem bestimmten LAI- und Biomassewert ist die zweidimensionale Projektion der dreidimensionalen Getreidepflanzen (verschiedene Blattetagen) in den Kamerabildern. In Feldbereichen mit dichten Pflanzenbeständen kann die Kamera nur die oberen Blätter detektieren. Des Weiteren wurde die hohe Streuung der Punktwolke durch die Kameramessung selbst verursacht. Als Objektiv wurde ein SIGMA „Fischauge“ 8 mm (F3.5 EX DG) verwendet, um einen möglichst großen Flächenausschnitt abzubilden. Die Pixel am Rand des Bildes wiesen jedoch eine Verzerrung auf, die die Beurteilung des Bedeckungsgrades massiv beeinträchtigte. Deshalb wurde in den Feldversuchen 2014 ein asphärisches Objektiv, SIGMA 14 mm (HSM 1:2.8 D), mit einem kleineren Messbereich am Boden (etwa 0,9 m²) genutzt.

Die Abbildungen 7 bis 10 veranschaulichen den Zusammenhang zwischen den Sensorwerten und den Pflanzenparametern LAI und Biomasse bei den Versuchen im Jahr 2014. Für dieses Versuchsjahr wurden – wie die Form der Punktwolken zeigt – signifikante lineare Regressionsfunktionen ermittelt.

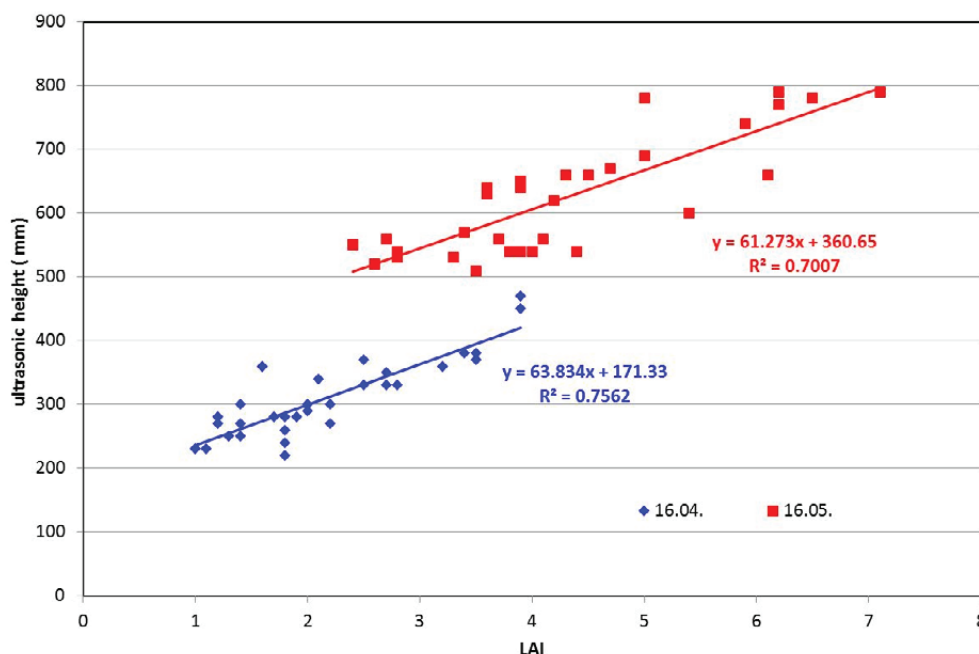


Abbildung 7: Beziehung zwischen dem Ultraschallwert („Ultraschallhöhe“) und dem LAI, Feld Ostrau II an zwei Messterminen 2014

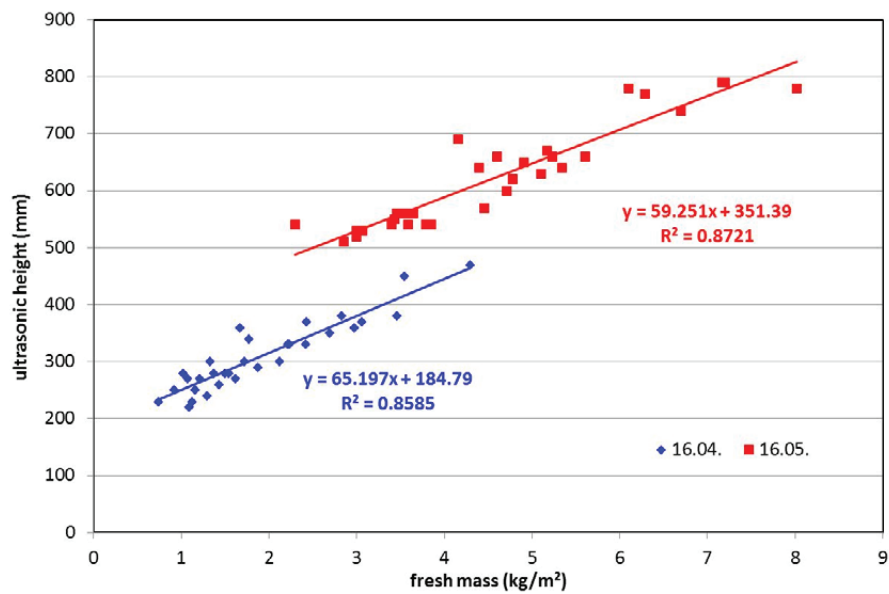


Abbildung 8: Beziehung zwischen dem Ultraschallwert „Ultraschallhöhe“ und der Biomasse, Feld Ostrau II an zwei Messterminen 2014

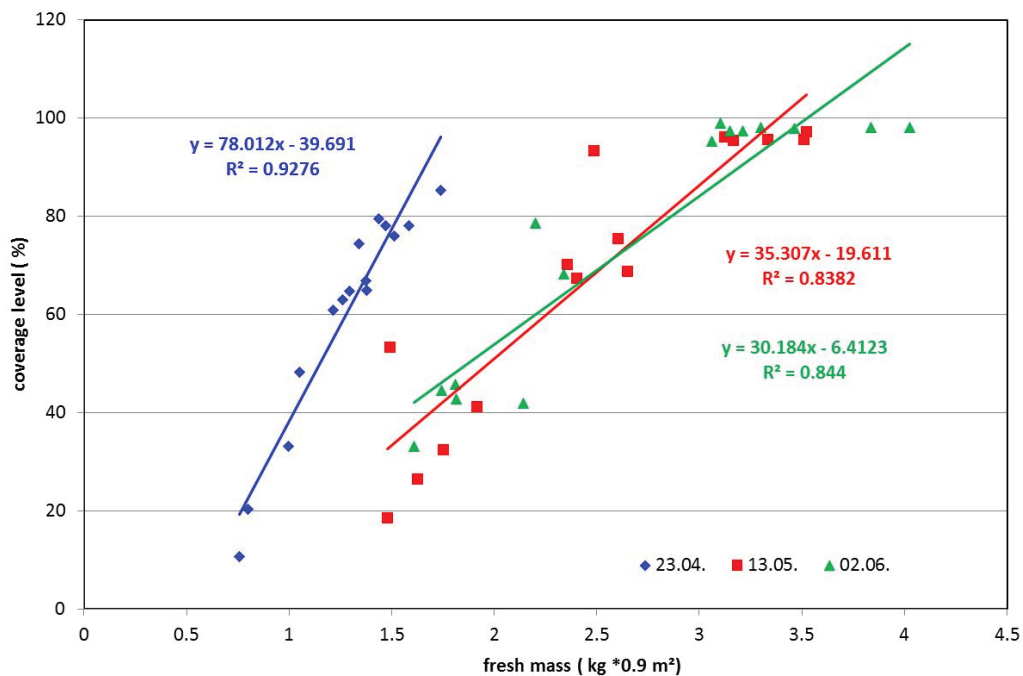


Abbildung 9: Beziehung zwischen dem Kamerawert („grüner Deckungsgrad“) und der Biomasse, Feld Dabrun II an drei Messterminen 2014

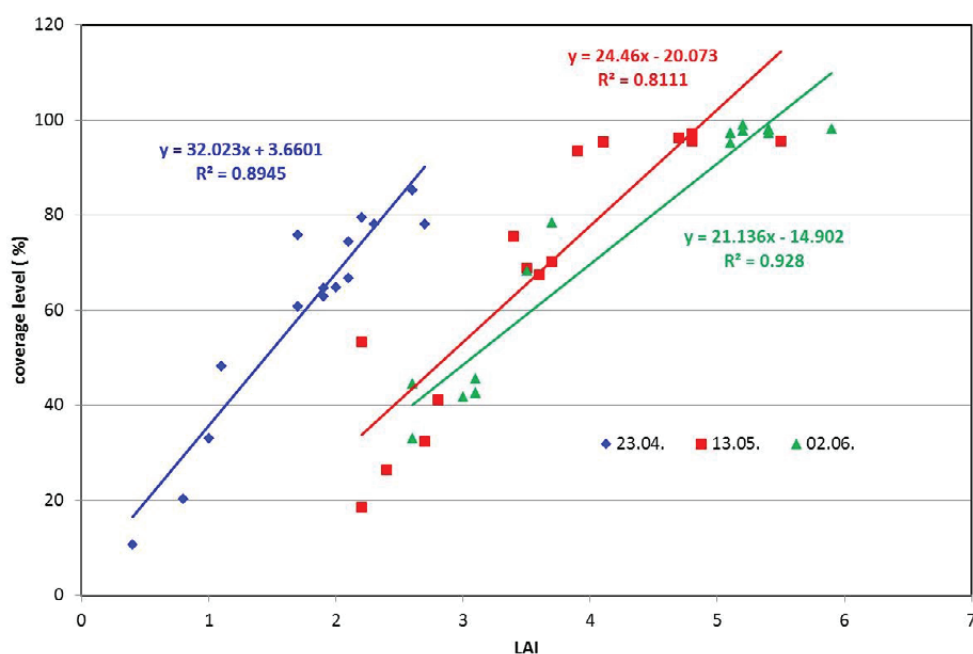


Abbildung 10: Beziehung zwischen dem Kamerawert („grüner Deckungsgrad“) und dem LAI, Feld Dabrun II an drei Messterminen 2014

Für die Versuche 2014 ergaben sich signifikante lineare Beziehungen zwischen den Sensorwerten und den zwei Pflanzenparametern LAI und Biomasse. Ähnlich wie im Jahr 2013 stieg der durch die Kamera ermittelte Bedeckungsgrad an den zwei letzten Messterminen an den Stichprobenpunkten mit geringer Pflanzendichte zunächst proportional an und blieb danach ab einem bestimmten LAI bzw. Biomassewert an Stichprobenpunkten mit höheren Pflanzendichten zwischen 90 und 100 % konstant.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Sensorwerte als Inputsignal für das Spritzsystem genutzt werden können, um die lokale Spritzmenge in einer zielflächenorientierten variablen Fungizidapplikation linear an die Pflanzenparameter LAI und Biomasse anzupassen (linearer Dosierungsalgorithmus). Für die präzise Fungizidapplikation werden Informationen über den grünen Bedeckungsgrad benötigt, da abgestorbenes Pflanzenmaterial keinen Schutz mehr vor Schadpilzen benötigt. In späteren BBCH-Stadien bleibt der Bedeckungsgrad ab einem bestimmten LAI- und Biomassewert jedoch konstant zwischen 90 und 100 %. Eine Sensorfusion, d. h. die Kombination eines Ultraschallsensors mit einem Kamerasensor, würde die Schätzung des LAI und der Biomasse in späteren BBCH-Stadien sicherlich verbessern. Daher sind zukünftige Forschungen geplant, um diese Hypothese zu überprüfen.

Literatur

- Bjerre, K.D. (1999): Disease maps and site-specific fungicide application in winter wheat. In: Precision Agriculture '99, Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Ed. Stafford, J.V., Sheffield Academic Press, UK, pp. 495–504
- Bock, C.H.; Pool, G.H. Parker; P.E., Gottwald; T.R. (2010): Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical Reviews in Plant Science* 29(2), pp. 59–107
- Böttger, W. (1984): Effektivität und Wirtschaftlichkeit von routinemäßig durchgeführten intensiven Spritzfolgen in Wintergetreide. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 223, S. 55
- Broschous, S.C.; Frank, J.A.; Frederick, J.R. (1985): Influence of winter wheat management practices on the severity of powdery mildew and Septoria blotch in Pennsylvania. *Phytopathology* 75, pp. 538–542
- Campbell, C.L.; Madden, L.V. (1990): Introduction to plant disease epidemiology. New York, Wiley Interscience
- Dammer, K.-H. (2005a): Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter. *Bornimer Agrartechnische Berichte* 41
- Dammer, K.-H. (2005b): On-the-go detection of plant parameters by camera vision in rape. In: Precision Agriculture 05, Ed. Stafford, J.V. Wageningen Academic Publishers, pp. 289–296
- Dammer, K.-H.; Ehlert, D. (2006): Variable rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. *Precis Agriculture* 7, pp. 137–148
- Dammer, K.-H.; Thöle, H.; Volk, T.; Hau, B. (2009): Variable-rate fungicide spraying in real time by combining a plant cover sensor and a decision support system. *Precis Agriculture* 10, pp. 431–442
- Dammer, K.-H.; Möller, B.; Rodemann, B.; Heppner, D. (2011): Detection of head blight (*Fusarium* spp.) in winter wheat by color and multispectral image analyses. *Crop Protection* 30, pp. 420–428
- Dammer, K.-H., Böttger, H.; Wartenberg, G.; Rosenau, R. (2012): Echtzeitregelung der Applikationsmenge bei der Herbizidanwendung mit Hilfe eines Kamerasensors. *Julius-Kühn-Archiv* 434, S. 191–198, DOI: 10.5073/jka.2012.434.023
- Ehlert, D.; Dammer, K.-H. (2006): Widescale testing of the Crop-meter for site-specific farming. *Precis Agriculture* 7, pp. 101–115
- Ehlert, D. (2011): Sensoren für Düngung und Pflanzenschutz. *VDI-Berichte* 2117, S. 115–128
- Hughes, G.; Madden, L.V. (1995): Some methods allowing for aggregated pattern of disease incidence in the analysis of data from designed experiments. *Plant Pathology* 44, pp. 927–943
- Lancashire, P.D.; Bleiholder, H.; Langenlütdecke, P.; Stauss, R.; Vandenboom, T.; Weber, E.; Witzsen-Berger, A. (1991): A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119, pp. 561–610
- Martin, J. (1986): Beeinflussung des Getreideertrages durch die Halmbrechbekämpfung an Wintergerste und Winterroggen mit MBC-Fungiziden bei unterschiedlicher Befallsintensität. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 93, S. 297–312
- Park, R.F.; Ash, G.J.; Rees, R.G. (1992): Effect of temperature on the response of some Australian wheat cultivars to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Mycological Research* 96, pp. 166–170
- Peteinatos, G.G.; Weis, M.; Andujar, D.; Ayala, V.R.; Gerhards, R. (2014): Potential use of ground-based sensor technologies for weed detection. *Pest Management Science* 70, pp. 190–199
- Portz, G.; Amaral, L.R.; Molin, J.P.; Adamchuk, V.I. (2013): Field comparison of ultrasonic and canopy reflectance sensors used to estimate biomass and N-uptake in sugarcane. In: Precision Agriculture '13, Ed. Stafford, J., pp. 111–119
- Reckleben, Y. (2010): Sensorschwemme. Stickstoffdüngung mit Sensoren – welche gibt es und was können sie? *Neue Landwirtschaft* 4, S. 81–84
- Reusch, S. (2009): Use of ultrasonic transducers for on-line biomass estimation in winter wheat. In: Precision Agriculture 09, Ed. Stafford, J.V., pp. 169–175
- Secher, B.J.M. (1997): Site specific control of diseases in winter wheat. *Aspects of Applied Biology* 48, pp. 57–65

- Sentelhas, P.C.; Pedro, M.J.; Felicio, J.C. (1993): Effects of different conditions of irrigation and crop density on microclimate and occurrence of spot blotch and powdery mildew. *Bragantia* 52, pp. 45–52
- Shrestha, D.S.; Steward, B.L.; Birell, S.J.; Kaspar, T.C. (2002): Corn plant height estimation using two sensing systems. ASAE paper No 021197, St. Joseph, Mi, USA
- Sui, R.; Wilkerson, J.B.; Wilhelm, L.R.; Thomkins, E.D. (1989): A microcomputer-based morphometer for bush-type plants. *Computers and Electronics in Agriculture* 4, pp. 43–58
- Volk, T.; Leithold, P.; Kunick, A. (2010a): Teilflächenspezifischer Einsatz von Wachstumsreglern in Getreide: 4-jährige Praxiserfahrungen sowie Großparzellen-Versuchsergebnisse. *Julius-Kühn-Archiv* 428, S. 125–126
- Volk, T.; Johnen, A.; von Richthofen, J.-S. (2010b): PC-Demonstration der proPlant expert. *Pflanzenschutz-Beratungssysteme, Julius-Kühn-Archiv* 428, S. 531–532

Autoren

Priv. Doz. Dr. agr. habil. Karl-Heinz Dammer, Dipl. Ing. André Hamdorf, Dr. rer. nat. Anton Ustyuzhanin, Dr. rer. nat. Michael Schirrmann, Abteilung Technik im Pflanzenbau, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: kdammer@atb-potsdam.de

Dipl.-Ing. agr. Peer Leithold, B.Sc. agr. Hermann Leithold, Agri Con GmbH, Jahna, Sachsen

Dipl.-Ing. agr. Thomas Volk, M.Sc. agr. Maria Tackenberg, proPlant GmbH, Münster, Nordrhein-Westfalen

Danksagung

Das Verbundprojekt wurde von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Förderkennzeichen 2814704511) finanziert. Teile des Beitrages wurden auf der 12. International Conference on Precision Agriculture in Sacramento, 20.–23. Juli 2014, vorgestellt und auf den Internetseiten der Konferenz veröffentlicht.