

18 Herbizide, Fungizide und Wachstumsregler (TP III-5)

Teilprojektleiter: Dr. D. Ehlert

Bearbeiter: Dr. K.-H. Dammer

18.1 Zusammenfassung

Im Berichtszeitraum wurden folgende drei Teilgebiete bearbeitet:

- teilflächenspezifischer Herbizideinsatz,
- teilflächenspezifischer Fungizid- und Wachstumsreglereinsatz,
- Eichung von Pendelsensor und Luftbild.

Grundlage für die technische Umsetzung des teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes ist die Entwicklung von Sensoren zur Unkraut- und Biomasseerfassung am Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB). In den durchgeführten Versuchen wurde das Verfahren der teilflächenspezifischen Echtzeitapplikation von Herbiziden, Fungiziden und Wachstumsreglern mit einer handelsüblichen Feldspritze auf Praxisschlägen verfahrenstechnisch weiterentwickelt.

Mit der am ATB als Versuchsmuster vorhandenen echtzeitfähigen Feldspritze erfolgten mit Hilfe des *Unkrautsensors* auf Praxisschlägen erste Tests zur Anpassung der Herbizidaufwandmenge an die detektierte Verunkrautung. In einem Versuch im Herbst 2000 wurde in einem Winterrogenschlag insgesamt nur 40,5 % der Fläche mit der vollen Aufwandmenge von $200 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ behandelt. Bei einer durchschnittlich ausgebrachten Menge von $160 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ konnten somit 20 % der Betriebsmittel (Wirkstoff und Wasser) eingespart werden.

Die im ersten Versuchsjahr 1999 entwickelte *Strategie der Anpassung der Fungizid- und Wachstumsreglermenge an die Pflanzenoberfläche (Zielfläche)* des Getreides wurde weiter konkretisiert. Die Zielfläche dient als Größe, nach der die Aufwandmenge quantifiziert wird. Mit dieser Mengenoptimierung kann in Beständen mit unterschiedlichem Pflanzenwuchs die gleiche Menge an fungizider Substanz bzw. Wachstumsregler pro Einheit Zielfläche garantiert werden. Der Auslenkwinkel des **Pendelsensors** bietet dabei eine Möglichkeit, die Zielfläche indirekt zu ermitteln, da eine enge Beziehung zum Blattflächenindex nachgewiesen werden konnte. In Fortsetzung der Versuche im Jahr 1999 zur Anpassung der Fungizidmenge an die Zielfläche des Getreidebestandes (absetziges Verfahren mit anschließendem Kerndrusch, Dammer et al. 2000, Zwischenbericht zum Jahr 1999, siehe Autorenkollektiv 2000, S. 158-161) wurde im Jahr 2000 nach einer Echtzeitapplikation eine Ertragserfassung mittels Messsystem am Mähdröschler durchgeführt. Ähnlich wie im ersten Jahr konnten keinerlei Ertragsverluste gegenüber den einheitlich mit der vollen Aufwandmenge behandelten Varianten festgestellt werden.

Als weitere Möglichkeit, die Zielfläche zu erfassen, kamen Luftbilder zum Einsatz. Mit dem Teilprojekt *Bestandesinformationen* wurde erstmals ein Versuch zur Methodik der *Eichung von Luftbild und Pendelsensor* durchgeführt. Ziel ist eine schnelle Eichung, die notwendig ist, um die jährlichen Bedingungen (Jahreswitterung, Sorte) zu berücksichtigen. Sowohl die aus bestimmten Spektralbereichen errechneten Vegetationsindizes der Luftbilder als auch der Auslenkwinkel des Pendelsensors korrelierten mit dem am Boden ermittelten Blattflächenindex.

Die Anpassung der Aufwandmenge von Chlormequat-Wachstumsreglern auf den Pflichtschlägen erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt *Bestandesführung* im absätzigen Verfahren unter Einbeziehung von Ackerzahl, N-Düngungsniveau, Klimaregion und Lagerneigung der Sorte. Bestandesbonituren durch das Teilprojekt *Software Lohnunternehmer* ergaben kein Auftreten von Lager in den einzelnen Teilbereichen.

18.2 Bezug zum Verbundprojekt/Bedarf seitens anderer Teilprojekte

Die Sensor-Traktor-Spritzen-Kombination zur Echtzeitapplikation von Pflanzenschutzmitteln ist am ATB seit April 2000 einsatzbereit. In den ersten Einsätzen stand das Regelverhalten der Spritze im Mittelpunkt der Untersuchungen. Die ersten Versuche in dieser Testphase wurden daher im Jahr 2000, wie im Projekt vorgesehen, nicht auf den Pflichtschlägen durchgeführt. Die Herbizid- und Fungizidapplikation auf den Pflichtschlägen erfolgte deshalb flächeneinheitlich.

Die Anpassung der Aufwandmenge von Chlormequat-Wachstumsreglern auf den Pflichtschlägen im absätzigen Verfahren basiert im Wesentlichen auf der Aussaatkarte, erstellt durch das Teilprojekt III-2. Damit werden solche Grundinformationen wie Ackerzahlen aus der Reichsbodenschätzung von Teilprojekt IV-4a und die Lage von Reliefmerkmalen, wie „Hang“, „Kuppe“, „Rinne“ und „Senke“, von Teilprojekt II-1b benötigt. Die Ertragspotentiale der einzelnen Managementzonen des jeweiligen Schlages gehen aus der Standortpotentialkarte des Teilprojektes II-6a hervor. Entsprechend den Vorgaben aus Teilprojekt II-2 erfolgt die Bemessung der Aufwandmenge der Chlormequat-Wachstumsregler dann unter zusätzlicher Einbeziehung der Standfestigkeit der Sorte, der Klimafaktoren der Region und des vorgesehenen Stickstoff-Düngungsniveaus.

Neben eigenen Bonituren zum Krankheitsauftreten und zur Feststellung von Lagergetreide führt das Teilprojekt III-1b auf den Pflichtschlägen die Erfassung von Bestandesparametern und von Schaderregern durch. Diese Informationen werden benötigt, um Pflanzenschutzmittelart, -menge und Zeitpunkt der Behandlung festzulegen.

Die ortsabhängige Zielfläche als Bemessungsgrundlage für eine teilflächenspezifische Fungizid- und Wachstumsreglerapplikation muss großräumig erfasst werden. Da Pendelsensor und Luftbilder indirekte Messwerte liefern, ist eine Eichung durch Handmessungen des Blattflächenindex notwendig. Das Teilprojekt *Bestandesinformationen* führt Überfliegungen der Versuchsflächen zur Erstellung der notwendigen Luftbilder durch.

18.3 Einleitung und Problemstellung

Voraussetzung für eine teilflächenspezifische Bekämpfung von Schaderregern ist die Erfassung ihrer räumlichen Verteilung (Dispersion) und Befallsintensität (Abundanz). Demgegenüber sind bei einer teilflächenspezifischen Wachstumsreglerapplikation Wachstumsunterschiede der Kulturpflanze von Bedeutung. Besonders für eine Anpassung der Aufwandmenge bei später Anwendung von Wachstumsreglern auf Ethephonbasis bzw. Trinexapac können Bestandesunterschiede in Form von unterschiedlichen Pflanzenparametern herangezogen werden.

Die zumeist aggregierte Schaderregerverteilung bzw. zonalen Bestandesunterschiede erfordern für einen wirksamen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz eine Bonitur auf einem verhältnismäßig engen Stichprobenraster. Handbonituren können eine schnelle Erfassung der Verteilungsverhältnisse von Schaderregern und Bestandesparametern nicht gewährleisten.

Gerade bei Pilzkrankheiten und tierischen Schaderregern ist es notwendig, vor Ausbruch einer Epidemie bzw. zu Beginn einer Massenvermehrung (Progradation) den jeweiligen Schaderreger zu bekämpfen. Latenter (symptomloser) Befall während der Inkubationsphase von Pilzkrankheiten bereitet zusätzliche Schwierigkeiten bei der Krankheitsansprache.

Durch den Einsatz von echtzeitfähigen maschinengetragenen Sensoren rückt eine kleinräumige Bonitur von Schaderregern und Bestandesparametern in den Bereich des Machbaren. Eine schnelle Messwertverarbeitung im Bordcomputer ermöglicht es darüber hinaus, die Aufwandmenge bei der Applikation den erfassten Befalls- bzw. Bestandesverhältnissen in Echtzeit anzupassen.

Teilflächenspezifischer Herbizideinsatz

Eine optoelektronische Unkrauterfassung wird bereits erfolgreich bei der Bekämpfung von Unkräutern bzw. unerwünschtem Bewuchs im Echtzeitverfahren auf Bahnschienen (Dohmen 1996) Brachland, Obstplantagen (Felton und Mc Cloy 1992), auf Weideland (Brown et al. 1994) oder im Bandspritzverfahren in Mais und Zuckerrüben (Biller et al. 1997) angewendet. Methoden der Bildanalyse (Gerhards und Kühbauch 1999) ermöglichen eine artenbezogene Unkrauterkenntung. In Kulturen mit engem Reihenabstand (Getreide, Leguminosen, Raps) ist die Unterscheidung zwischen Kulturpflanze und Unkraut mit diesen Systemen noch nicht praxisreif. Innerhalb des Projektes wird mit einem optoelektronischen „Grünsensor“ das Unkrautauftreten in einer Fahrspur artenspezifisch detektiert, um eine Echtzeitapplikation mit praxisüblicher Fahrgeschwindigkeit zu realisieren (Wartenberg und Schmidt 1999). Aufgabe im Versuchsjahr 2000 war es, die Arbeitsweise des Unkrautsensors auf die jeweils vorliegende Verunkrautung so abzustimmen, dass das Prinzip der ökonomischen Schadensschwellen zur kleinräumigen Aufwandmengenoptimierung umgesetzt werden kann.

Teilflächenspezifischer Fungizid- und Wachstumsreglereinsatz

Zur Zeit sind keine Sensoren verfügbar, die fahrzeuggestützt Krankheitsbefall anzeigen bzw. den dazugehörigen Schaderreger erkennen können. Auf dem Markt verfügbare optische Sensoren, wie der auch im Projekt zur Stickstoffdüngung eingesetzte Hydro-N-Sensor, können zwar zur Detektion von Pflanzenstress (Nährstoffmangel, Wachstumsunterschiede) eingesetzt werden, jedoch nicht zur Ermittlung der Stressursache.

Ziel der Applikation von Fungiziden ist es, die Pflanze vor Krankheitsbefall zu schützen, um eine optimale Assimilationsleistung zu gewährleisten und damit den entsprechend der erfolgten acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen erwarteten Ertrag zu sichern. Dabei tritt als Besonderheit heterogener Pflanzenbestände eine Variation der zu benetzenden Pflanzenoberfläche (Zielfläche) auf. Diese Tatsache bildet den Ansatzpunkt für die im Projekt verfolgte Strategie der Anpassung der Aufwandmenge an die Zielfläche. Dasselbe Prinzip wird bei der späten Applikation von Wachstumsreglern auf Ethephonbasis bzw. Trinexapac angewendet.

In den durchgeführten Versuchen sollte untersucht werden, inwieweit der Pendelsensor im Echtzeitverfahren als Bemessungsgrundlage für die Aufwandmenge dienen kann. Grundlage ist die enge Beziehung zwischen Pendelwinkel und Blattflächenindex als Maß für die Zielfläche. Durch die erstmals angewendete Methodik des ortsspezifischen Vergleichs von verschiedenen Prüfgliedern anhand von Ertragsdaten des Mähreschers sollte gleichzeitig untersucht werden, ob eine teilflächenspezifische Fungizid- bzw. Wachstumsreglerapplikation zu Mindererträgen gegenüber flächeneinheitlich behandelten Varianten führt.

Die Anpassung der Aufwandmenge der frühen Chlormequat-Wachstumsreglergaben auf den Pflichtschlägen richtete sich nach den mit Teilprojekt *Bestandesführung* erarbeiteten Applikationsregeln (siehe Autorenkollektiv 2000, Seite 163). Eine zusätzliche späte Gabe von Mitteln auf Ethephonbasis bzw. Trinexapac erfolgte auf den Pflichtschlägen nicht. Die Erfassung von eventuell auftretendem Lager wurde mittels Bonituren in den Zonen mit unterschiedlicher Aufwandmenge sichergestellt.

18.3.1 Eichung von Pendelsensor und Luftbild

Der Pendelsensor wurde erfolgreich zur Bestimmung der Biomasse in Getreide und Gras eingesetzt (Hammen und Ehlert 1999). Ergebnisse aus dem Versuchsjahr 1999 ergaben eine enge Korrelation des Pendelwinkels zur Pflanzenhöhe des Getreides (Dammer et al. 2000). Luftbilder können ebenfalls zur Charakterisierung heterogener Kulturpflanzenbestände während der Wachstumsperiode verwendet werden (Cosser und Earl 1997, Dohmen 1999).

Pendelsensor sowie Luftbilder führen zu indirekten Messwerten (Luftbilder: reflektierter Anteil verschiedener Wellenlängen des Lichts, Pendelsensor: Auslenkwinkel), die durch Störgrößen wie Wetter und Beleuchtungsverhältnisse bzw. Sorteneigenschaften beeinflusst werden. Vor der Erfassung der Pflanzenoberfläche zur Bemessung der Aufwandmenge bei der teilflächenspezifischen Fungizid- und Wachstumsreglerapplikation ist deshalb eine Eichung durch Messungen des Blattflächenindex notwendig. Ziel des vorgestellten Versuches, der in den kommenden zwei Projektjahren wiederholt werden soll, ist die Entwicklung einer exakten und schnellen Methode zur Eichung während der Vegetationszeit des Getreides.

18.4 Material und Methoden

18.4.1 Methodik der teilflächenspezifischen Herbizidanwendung

Mit Hilfe des Unkrautsensors kann das Unkrautauftreten innerhalb kulturpflanzenfreier Fahrspuren erfasst und nach Pflanzenanzahl pro Flächeneinheit abgebildet werden. Dadurch wird es möglich, eine Unkrautbekämpfung nach lokalen ökonomischen Schadensschwellen durchzuführen. Grundlage ist die Beziehung zwischen der Gesamtunkrautanzahl und der nach Pallutt und Roder (1992) errechneten Summe der artenspezifischen Ertragsverluste (Abb. 18-1). Die Arbeitsweise des Unkrautsensors kann dem Zwischenbericht zum Jahr 1999 (S. 157-158) oder der Veröffentlichung von Wartenberg und Schmidt (1999) entnommen werden.

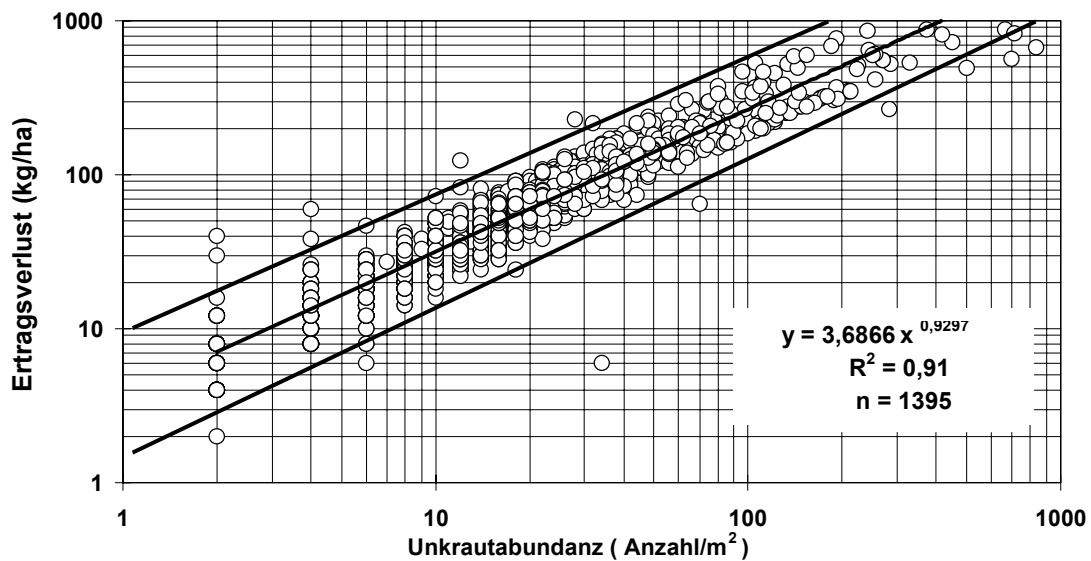


Abb. 18-1: Ertragsverlustfunktion mit 95 % Konfidenzintervall (Grundlage: Unkrautbonituren 1992 bis 1998 in Wintergetreide) [Wartenberg & Schmidt 1999]

Wird die gewählte Schadschwelle unterschritten, erfolgt ausgehend von der 100%igen Aufwandmenge eine dem Sensorwert proportionale Reduzierung bis auf 50 %. Grundlage dieser Reduzierung ist die zunehmende Konkurrenzkraft der Kulturpflanze bei geringer werdender Verunkrautung. Vor allem unter den Standortbedingungen mit geringen Frühjahrs- und Sommerniederschlägen ist bei mittleren bis geringen Kulturpflanzendichten mit Durchwuchs der durch das Herbizid nur schwach geschädigten Unkräuter zu rechnen. Deshalb hat es sich in Versuchen mit dem absätzigen Verfahren bewährt, eine Aufwandmengenreduktion nur bis zu 50 % vorzunehmen, um noch eine ausreichende herbizide Wirkung zu erzielen (Wartenberg und Schmidt 1999).

Im Herbst 2000 erfolgte die teilflächenspezifische Herbizidapplikation in Echtzeit auf einem etwa 25 Hektar großen Winterroggenfeld in unmittelbarer Nähe des ATB mit einer Tankmischung aus $1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ Stomp® und $1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ Arelon® in $200 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ Wasser. Die ökonomische Schadensschwelle wurde unter den örtlichen Anbaubedingungen auf $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ gesetzt. Nach Abbildung 18-1 entspricht dies etwa einer Unkrautanzahl von $50 \text{ Pflanzen} \cdot \text{m}^2$. Umgerechnet auf die durch den Sensor abgetastete Fläche in der Fahrspur ($0,025 \text{ m} \times 5,18 \text{ m} = 0,1295 \text{ m}^2$) ergibt sich für diesen Schlag als Schadensschwelle ein Sensorwert von 6,47. Falls im Detektionsabschnitt dieser Wert erreicht wurde, wurde in diesem Bereich die volle Aufwandmenge von $200 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ausgebracht. Ansonsten erfolgte bei Unterschreitung eine Reduzierung bis auf $100 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$.

18.4.2 Methodik des teilflächenspezifischen Fungizid- und Wachstumsreglereinsatzes

In einem Winterweizenschlag (Sorte: Pegassos, Aussaat: 19./20.10.1999 mit $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) des Projektbetriebes „Petersberger Agrarvereinigung e. G.“ in Ostrau wurde ein Versuch zur Echtzeit-applikation von Juwel Top® bzw. Moddus® mit der Sensor-Traktor-Spritzen-Kombination durchgeführt (Versuchsplan in Abb. 18-7). Entlang den Fahrspuren wurden 20 Stichprobenpunkte ausgewählt, die die Wachstumsheterogenität des Bestandes charakterisierten. Zur Bestimmung der Zielfläche kam das tragbare Gerät LAI 2000®, das einen Messwert für den Blattflächenindex LAI (m^2 Pflanzenoberfläche/ m^2 Bodenoberfläche) liefert (Welles und Norman 1991), zum Einsatz. Mittels Regressionsanalyse erfolgte die Analyse der Beziehung zwischen dem LAI-Wert und dem Pendelwinkel.

Im Wechsel wurde eine Fahrspur einheitlich (Fungizidversuch: $1 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ Juwel Top®, Wachstumsreglerversuch: $0,4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ Moddus® in $300 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ Wasser) bzw. differenziert nach Pendelwinkel am 17.05.2000 zum Beginn des Ährenschiebens behandelt. Die Ernte von zwei Streifen pro Behandlungsvariante erfolgte am 04.08.2000 durch einen New Holland-Mähdrescher (6,70 m Schneidwerk) und Ertragsersfassungssystem LH 565 yield logger® der Fa. LH Agro. Eine Mittelwertbildung von den 282 Ertragswerten des Mähdreschers auf einer Länge von 9 Metern ergab einen Schätzwert für den Ertrag in diesem Bereich. Zum Zweck des Ertragsvergleiches zwischen den neun einheitlichen (e) und acht differenzierten (d) Behandlungsvarianten wurde aus jeweils zwei gegenüberliegenden Mittelwerten der Quotient $d_2/e_1 \dots d_8/e_9$ gebildet. Dieser gibt den ortsspezifischen Relativertrag an. Ein Häufigkeitsdiagramm dieser Quotienten gibt Aufschluss über Höhe und Verteilungstyp der Ertragsrelationen zwischen den beiden Behandlungsvarianten.

18.4.3 Methodik der Eichung von Pendelsensor und Luftbild

Entsprechend sichtbarer Unterschiede im Wuchshabitus wurden zu Beginn des Ährenschiebens in einem Winterweizenschlag (Sorte: Contra, Aussaat: 16.10.1999 mit $175 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) des Projektbetriebes „WIMEX GmbH“ in Baasdorf 20 Stichprobenpunkte so ausgewählt, dass die gesamte Spannweite der Bestandesparameter repräsentiert war. Um die Erreichbarkeit der Stichprobenpunkte auf dem etwa 1.500 m langen Schlag gewährleisten zu können, wurden jeweils 10 Punkte an beiden Enden eingerichtet.

Mittels Pendelsensor, angebaut an einem Hege-Geräteträger, erfolgte am 11.05.2000 das mechanische Scannen des Schlages. Die Aufzeichnungsfrequenz von Pendelwinkel und Position betrug 1 Hz bei einer Fahrgeschwindigkeit von etwa $7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Ein Mittelwert aus 3 Einzelwerten ergab einen Schätzwert für den Pendelwinkel am jeweiligen Stichprobenpunkt.

Zum Zweck der Markierung wurde am jeweiligen Stichprobenpunkt ein 1 m breiter Streifen um einen im Zentrum verbleibenden Bestand von 3 m x 3 m gemäht (Abb. 18-2). Die Messungen der Bestandesparameter wie Pflanzenhöhe, -dichte, Frischmasse und Blattflächenindex erfolgten dann in diesem Quadrat am 12.05.2000. Zur Bestimmung des Blattflächenindex als Maß für die Zielfläche kam das tragbare Handgerät LAI 2000® zum Einsatz (Welles und Norman 1991).

Für die Infrarot(NIR)aufnahmen wurde eine Panasonic® NIR-Kamera und für die Rot- (R), Grün- (G) und Blau-(B)aufnahmen eine Sony® RGB-Kamera in einer Cessna 172 mit Bodenloch durch das Teilprojekt II-4 eingesetzt (Flughöhe: 1.500 m, Flugrichtung: Ost-West, Flugzeit: 12.05.2000 14.00 Uhr MESZ). Als Auflösung entsprach ein Pixel im Bild einem Quadrat von 1 m x 1 m auf dem Boden. Da die Stichprobenpunkte etwa 1.500 m voneinander entfernt waren, wurden je 2 Bilder mit unterschiedlicher Belichtungszeit erstellt.

Vom Bereich 20 m x 20 m um die Stichprobenmittelpunkte erfolgte eine Mittelwertbildung aus den 400 Reflexionseinzelwerten. Als Vegetationsindex wurde unter anderem der NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), $NDVI = (IR-R)/(IR+R)$ berechnet. In Regressionsanalysen kamen Polynome 1. und 2. Grades zur Anwendung, um die Beziehung zwischen dem LAI und dem Pendelwinkel bzw. dem LAI und dem NDVI aus dem Luftbild zu charakterisieren. Das lineare bzw. quadratische Bestimmtheitsmaß und die Überschreitungswahrscheinlichkeit für den F-Test aus der Varianzanalyse dienten als Gütekriterien für das angepasste Modell.



Abb. 18-2: Stichprobenpunkte im Feldversuch zur Eichung von Pendelsensor und Luftbild (Aufnahme zur Teigreife des Weizens, 23.06.00, Baasdorf, Schlag: Vor Pilsenhöhe)

18.5 Ergebnisse

18.5.1 Unkrauthäufigkeit und Durchflussmenge bei der teilflächenspezifischen Herbizidapplikation

Auf 39,7 % der Detektionsfläche wurde die Schadensschwelle von 50 Unkrautpflanzen · m² überschritten (Summenhäufigkeit der drei letzten Klassen des oberen Bildes der Abb. 18-3). Die Auswertung der Durchflussmengenmessung vor dem Spritzbalken ergab eine Fläche von 40,5 %,

auf der die volle Aufwandmenge von $200 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ zur Anwendung kam (Summenhäufigkeit der Klasse ab $200 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ in Abb. 18-4). Da in den Randbereichen ein verstärktes Unkrautvorkommen detektiert wurde, erfolgte folgerichtig auch die Applikation der vollen Aufwandmenge. Insgesamt konnten auf der Gesamtfläche 20 % der Spritzbrühe eingespart werden (Mittelwert der aufgezeichneten Durchflusswerte: $160 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$). Bonituren vor der Ernte ergaben keine durch die Mengenanpassung verursachte Nachverunkrautung.

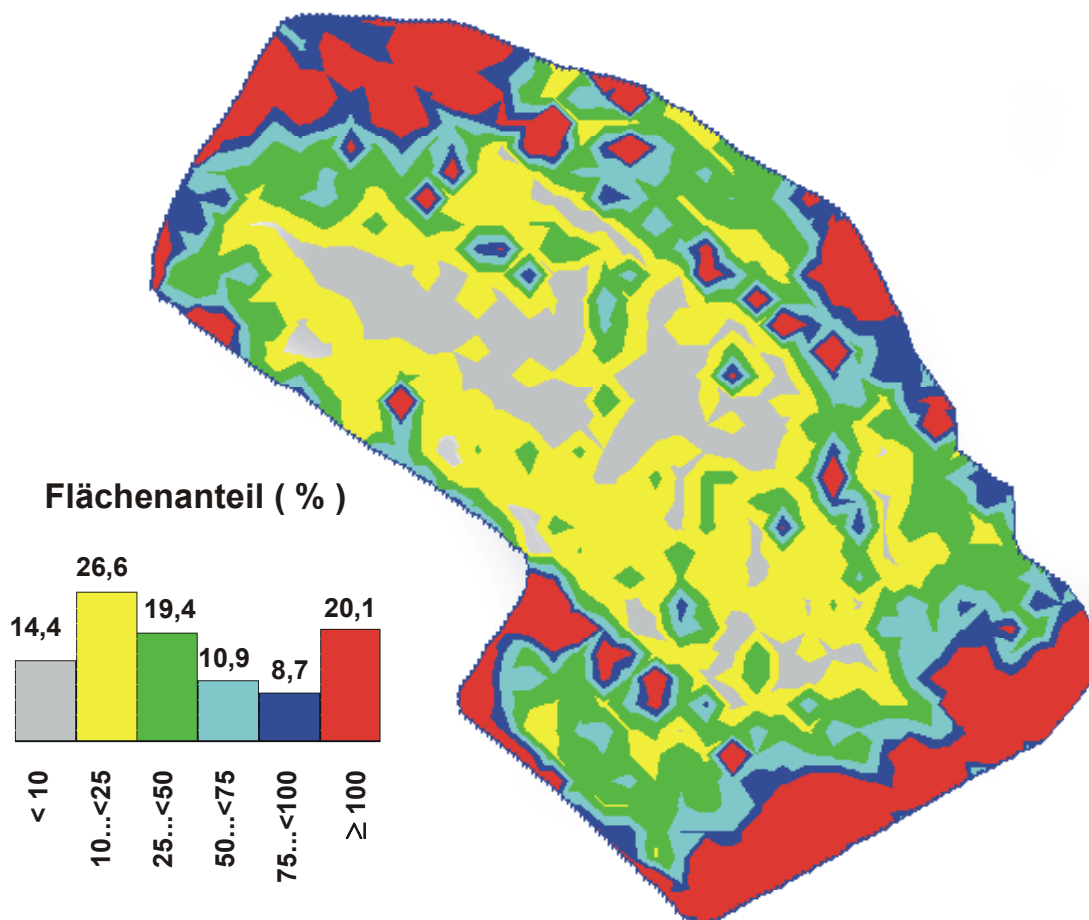


Abb. 18-3: Karte der Sensorwerte (Anzahl $\cdot \text{m}^2$) mit Häufigkeitsdiagramm zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation in Echtzeit (Winterroggen, 10.11.2000, ATB-Versuchsschlag Potsdam-Bornim)

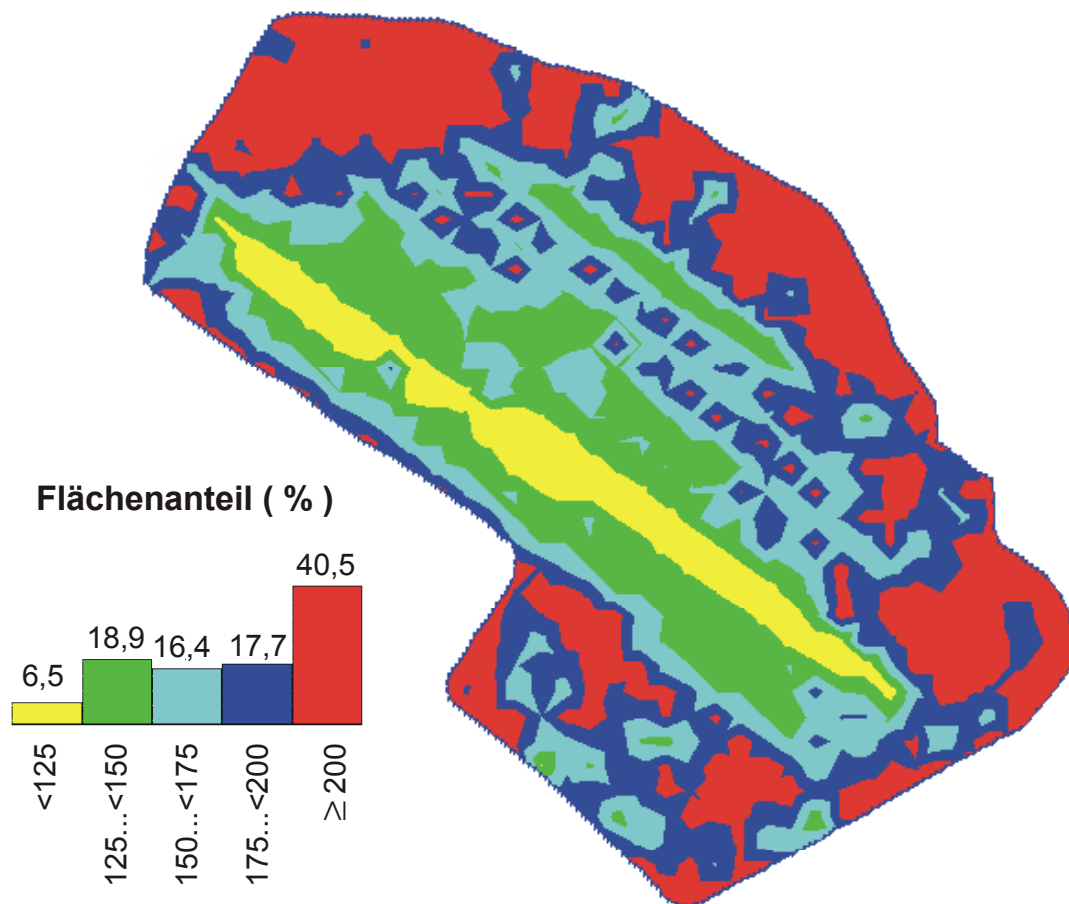


Abb. 18-4: Karte der Durchflussmenge ($l \cdot ha^{-1}$) mit Häufigkeitsdiagramm zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation in Echtzeit (Winterroggen, 10.11.2000, ATB-Versuchsschlag Potsdam-Bornim)

18.5.2 Ertragsvergleich nach einheitlicher und teilflächenspezifischer Fungizid- und Wachstumsregleranwendung

Der gemessene Blattflächenindex an den 20 Stichprobenpunkten variierte von etwa 1,0 bis 4,5, während der Pendelwinkel im Bereich von etwa 11° bis 37° schwankte. Es ergab sich eine enge Beziehung (Polynom 2. Grades) zwischen dem Blattflächenindex und dem Pendelwinkel (Abb. 18-5).

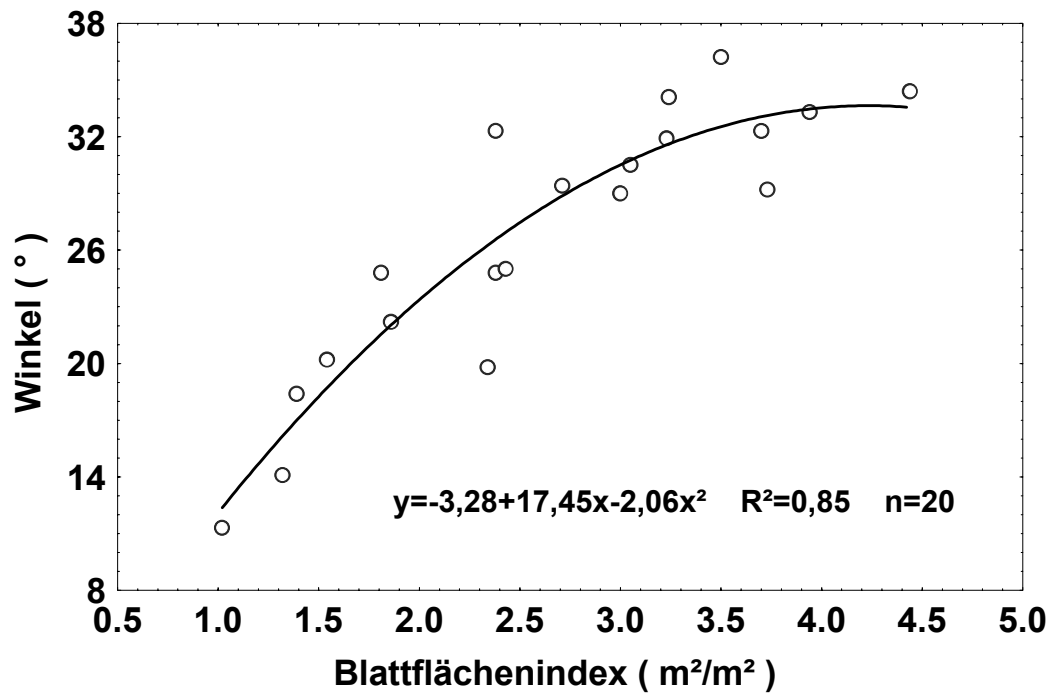


Abb. 18-5: Beziehung zwischen Blattflächenindex und Auslenkwinkel des Pendelsensors (Winterweizen, Sorte: Pegassos, Beginn Ährenschieben) des Fungizid- und Wachstumsreglerversuches (17.05.00, Ostrau, Schlag Hinterm Park)

In Abbildung 18-6 sind beispielhaft die Durchflussmenge während der Fungizidbehandlung am 15.05.2000 und die dazugehörigen Einzelerträge zweier benachbarter Fahrspuren, in denen die Applikation einheitlich bzw. differenziert erfolgte, dargestellt. Die grün gestrichelte Linie zeigt die tatsächlich eingesparte Aufwandmenge in der teilflächenspezifischen Variante. Das Einsparpotential liegt jedoch höher. Bei einer Aufwandmenge von $300 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei einem LAI von 4,5 würde dies nach Abbildung 18-6 für einen Bereich mit einem LAI von 1,0 bedeuten, die Aufwandmenge bis auf $66 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ reduzieren zu können. Unter der Voraussetzung, die gleiche Menge aktiver Substanz pro Zielfläche zu garantieren, liegt somit für den Schlag das örtliche Einsparpotential sowohl bei dem Fungizid- als auch bei dem Wachstumsreglerversuch bei 78 %.

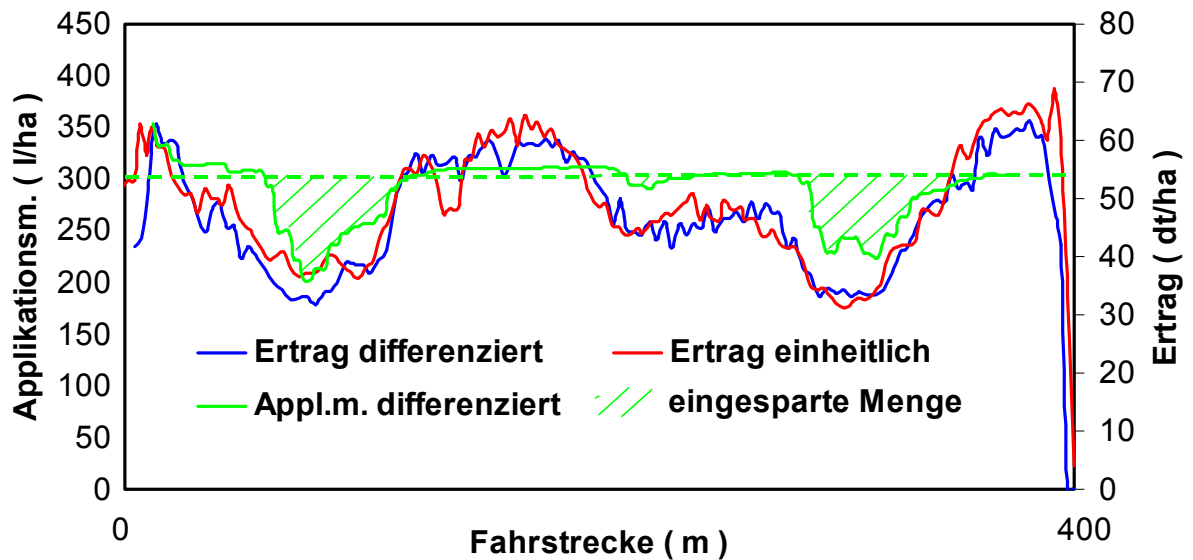


Abb. 18-6: Durchfluss (Applikationsmenge) und Ertrag entlang zweier benachbarter Fahrspuren in Winterweizen (Fungizidversuch, Applikation von Juwel top®)

Die Ertragskarte (Abb. 18-7) zeigt deutlich zwei Niedrigertragszonen, die senkrecht zu den Behandlungsvarianten sowohl bei dem Fungizid- als auch bei dem Wachstumsreglerversuch verlaufen. Ein unterschiedliches Ertragsniveau zwischen den zwei Behandlungsvarianten ist auf Grund fehlender Streifenstruktur in den Einzelerträgen nicht zu erkennen. Die Aufwandmengen in den teilflächenspezifischen Fahrspuren lagen im Mittel bei $255 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$... $270 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Das bedeutet eine Einsparung von 10 % ... 15 % der Aufwandmenge.

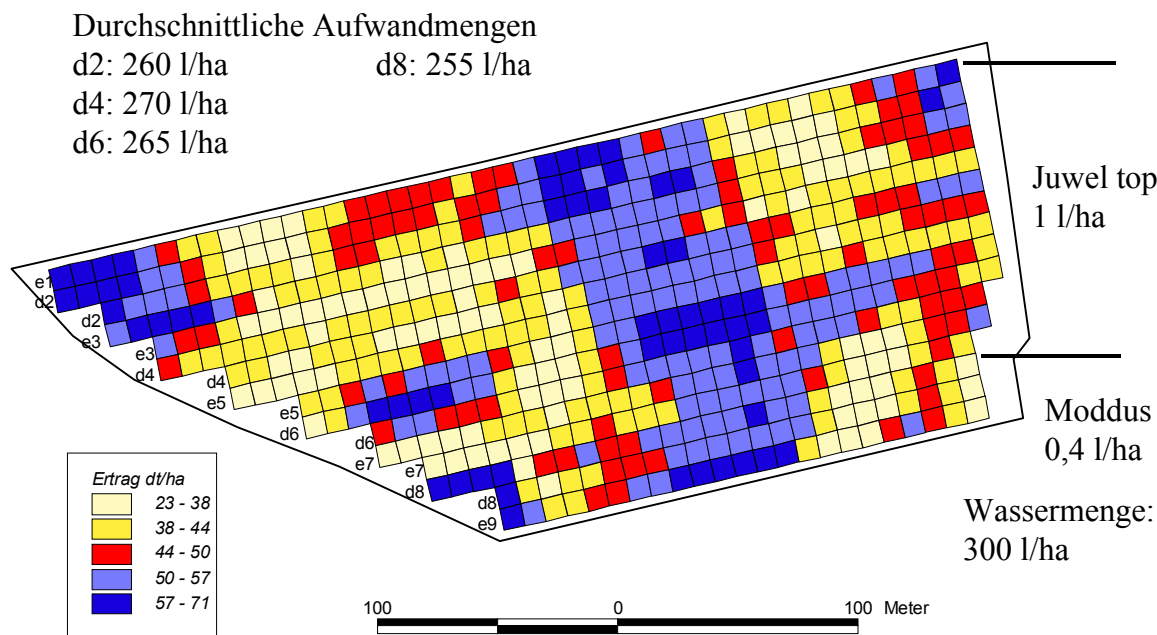


Abb. 18-7: Versuchsanlage (e1 ... e9: einheitliche Aufwandmenge in Fahrspuren mit den ungeraden Ziffern 1 ... 9; d2 ... d8: differenzierte Aufwandmenge in Fahrspuren mit den geraden Ziffern 2 ... 8) und Ertragskarte des Fungizid- und Wachstumsreglerversuches in Winterweizen (04.08.00, Ostrau, Schlag: Hinterm Park)

Das ähnliche Ertragsniveau der einheitlich und differenziert behandelten Fahrspuren wird in den Häufigkeitsdiagrammen der Relativerträge (Quotienten der Mittelwerte d/e) bekräftigt. In Abbildung 18-8 sind beispielhaft die 210 örtlichen Relativerträge (d2/e1 ... d6/e7) des Fungizidversuches dargestellt.

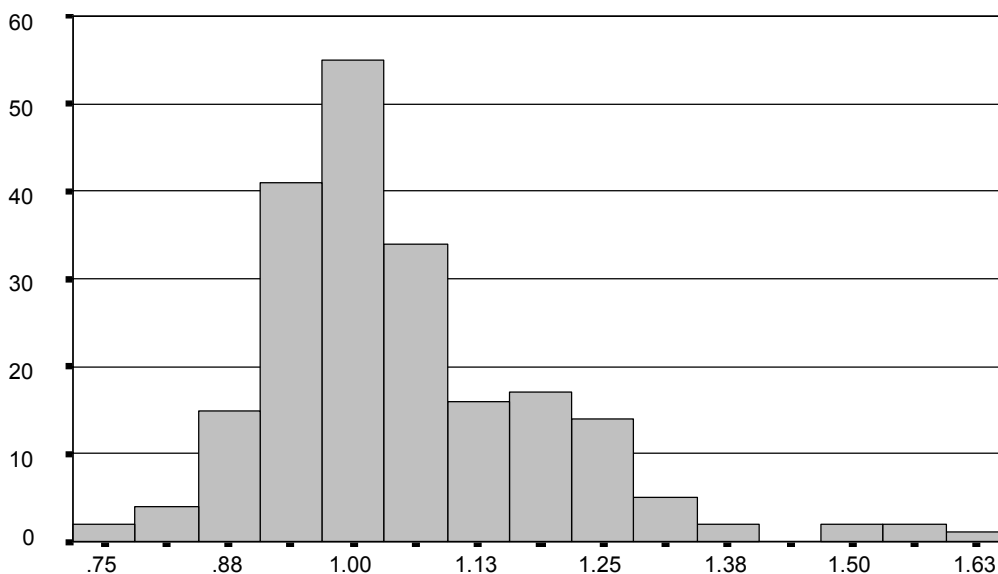


Abb. 18-8: Häufigkeitsdiagramm der örtlichen Relativerträge (d2/e1 ... d6/e7) des Fungizidversuches

Die Spannweite der Relativerträge reicht von 0,75 bis 1,63, wobei der Median 1,01 ist. Das bedeutet, dass sowohl örtliche Minder- als auch Mehrerträge erzielt, aber im Mittel Ertragsäquivalenz erreicht wurde. Der Wachstumsreglerversuch führte zur selben Aussage. Auf die Ergebnispräsentation soll hier verzichtet werden. Im Versuch trat kein Lager auf.

18.5.3 Korrelation des Blattflächenindex mit dem Pendelwinkel bzw. den Vegetationsindizes aus dem Luftbild

Im Luftbild sind die ausgemähten Stichprobenpunkte sowie die Fahrspuren deutlich zu sehen (Abb. 18-9). Der quadratische 3 m x 3 m Pflanzenbestand in der Mitte ist jedoch nicht mehr eindeutig von dem umgebenden pflanzenfreien Bestand zu unterscheiden. Dies gilt insbesondere für die ersten Stichprobenpunkte von rechts an der 1. und 2. Fahrspur. Die zugehörigen 9 Pixel aus dem Luftbild reichen deshalb nicht aus, diesen Pflanzenbestand zu charakterisieren. Da die Vegetation in unmittelbarer Nähe der Stichprobenpunkte ähnlich war, wurden alle Reflexionswerte in einem Korridor von 20 m x 20 m zu einem Mittelwert zusammengefasst, um daraus die Vegetationsindizes zu berechnen.

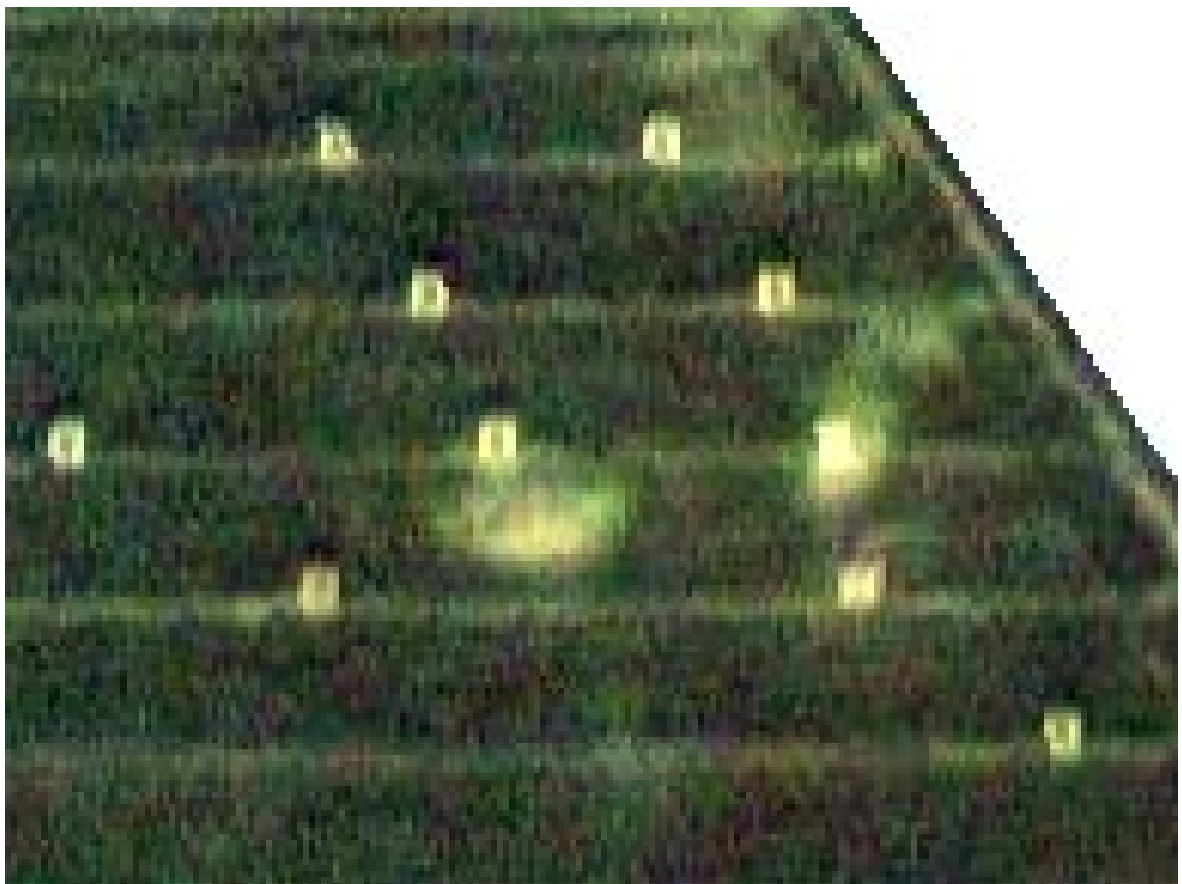


Abb. 18-9: Luftbild der Ostseite des Winterweizenschlags mit den 10 Stichprobenpunkten (Aufnahme am 11.05.2000, Baasdorf, Schlag: Vor Pilsenhöhe)

Die Beziehung zwischen Blattflächenindex und Pendelwinkel bzw. Blattflächenindex und den Vegetationsindizes konnte am besten mit einem Polynom 2. Grades beschrieben werden, wobei der Verlauf in den meisten Fällen degressiv war. Die Westseite wies dabei ein hohes Bestimmtheitsmaß auf. Auf der Ostseite war das Bestimmtheitsmaß der Beziehung Blattflächenindex und Pendelwinkel ebenfalls hoch, wobei das Bestimmtheitsmaß der Beziehung Blattflächenindex und Vegetationsindizes nicht befriedigte. Nach Elimination eines Ausreißers verbesserte sich das Bestimmtheitsmaß wesentlich. In Tabelle 18-1 sind beispielhaft die Ergebnisse der Regressionsanalysen für die Beziehung Blattflächenindex und Pendelwinkel bzw. Blattflächenindex und NDVI aufgeführt.

Tab. 18-1: Bestimmtheitsmaß und Überschreitungswahrscheinlichkeit (in Klammern) des F-Testes der Varianzanalyse für die Anpassung von Polynomen 2. Grades ($n = 10$) zur Charakterisierung der Beziehung Blattflächenindex und Pendelwinkel bzw. Blattflächenindex und NDVI der West- und Ostseite des Winterweizenschlages (kursive Angaben nach Elimination eines Ausreißers)

		Pendelwinkel (°)	NDVI
Westseite	LAI	0,88 (0,0004)	0,79 (0,0046)
Ostseite	LAI	0,92 (0,0001)	0,41 (0,1573)
			<i>0,72 (0,0228)</i>

18.6 Diskussion

Teilflächenspezifischer Herbizideinsatz

Detektionsfehler durch den Unkrautsensor können vor allem im späten Frühjahr auftreten, wenn Blätter der Kulturpflanze in die Fahrspur ragen. Ungenaueres Fahren in der Spur kann dazu führen, dass diese mitgedetektieren und somit eine höhere Verunkrautung gemessen wird. Ein weiteres Problem ergibt sich durch häufige Überfahrten bei agrotechnischen Maßnahmen vor der anstehenden Herbizidmaßnahme. Durch den Schlupf der Traktorreifen werden die Unkrautpflanzen teilweise zerstört. Der Unkrautsensor zeigt dann eine geringere Verunkrautung an. Es ist erforderlich, in diesem Fall den Sensorwert durch einen Faktor nach oben zu korrigieren. Beide Fehlerquellen entfallen, wenn die Unkrautbekämpfung beispielsweise in Wintergetreide im Herbst erfolgt.

Teilflächenspezifischer Fungizid- und Wachstumsreglereinsatz

Die Ertragsversuche zur Anpassung der Fungizid- und Wachstumsregleraufwandmenge an die Pflanzenoberfläche (Zielfläche) ergaben, wie schon im ersten Versuchsjahr, keine Ertragsunterschiede zwischen den einheitlichen und den teilflächenspezifischen Behandlungsvarianten. Auch zwei weitere Versuche im Jahr 2000 auf den Projektbetrieben „WIMEX GmbH“ in Baasdorf und „Scheuerle GbR“ in Queis führten zum selben Ergebnis. Bei Krankheitsbonituren zum

Milchreifstadium konnte kein stärkerer Befall durch pilzliche Schaderreger bzw. Lager in den teilflächenspezifischen Varianten festgestellt werden. Es ist allerdings zu bemerken, dass der Krankheitsdruck bzw. die Lagergefahr in den Versuchsjahren 1999 und 2000 aufgrund der trockenen Witterung im allgemeinen gering war. Aus den Abbildungen 18-5 und 18-6 geht hervor, dass das Einsparpotential, das sich aus der Anpassung der Aufwandmenge an den Blattflächenindex ergibt, im praktischen Einsatz der Echtzeitspritze noch nicht erreicht wird. Der Pendelsensor ist etwa 10 m vor dem Spritzgestänge angeordnet. Von dieser Strecke werden etwa 5 m für die Bildung eines mittleren Pendelwinkels benötigt, um besonders Schwingungen auszugleichen. Während der Fahrzeit in den folgenden 5 m wird der Sollwert des Durchflusses angepasst. Legt man eine Fahrgeschwindigkeit von $9 \text{ km} \cdot \text{ha}^{-1}$ zugrunde, muss nach 2 s ein neuer Dosierwert eingestellt werden. Im schnellen Wechsel zwischen hohen und niedrigen Aufwandmengen bestehen demzufolge noch Reserven als Optimierungspotential.

Eichung von Pendelsensor und Luftbild

Für eine Eichung von Luftbild und Pendelsensor sind Referenzpunkte im Pflanzenbestand von Vorteil, die in der jeweiligen Messwertreihe des Pendelsensors eine Änderung hervorrufen bzw. im Luftbild gut sichtbar sind. Kulturpflanzenfreie Bereiche in den Managementzonen (Zonen unterschiedlicher Ertragserwartung) rufen ein deutliches Signal hervor (Auslenkwinkel nahe 0° , geringe Reflexion z. B. im nahen Infrarotbereich). Eine Zuordnung der Messwerte zum wirklichen Ort der Messung wird dadurch erleichtert. Durch das Ausmähen einer bestimmten Fläche wird ein pflanzenfreier Boden und gleichzeitig die Möglichkeit zur Bestimmung der Frischmasse geschaffen. Die Form der Referenzpunkte (Abb. 18-2) hat sich nicht bewährt, da im Luftbild (Abb. 18-9) der für die Bodenmessungen vorgesehene, verbleibende Bestand von $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ Größe nicht mehr deutlich zu erkennen war.

18.7 Ausblick/zukünftige Arbeiten

Der frühe Wachstumsreglereinsatz auf der Basis von Chlormequat wird analog der im Zwischenbericht zum Jahr 1999 (S. 163) dargestellten Vorgehensweise im absätzigen Verfahren auf allen Pflichtschlägen im Frühjahr 2001 durchgeführt.

Die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung mit der Unkrautsensor-Traktor-Spritzen-Kombination erfolgt auf ausgewählten Pflichtschlägen im Frühjahr bzw. Herbst 2001. Die Einhaltung des optimalen Bekämpfungstermins erlaubt den Einsatz der Spritze nur auf solchen Schlägen, die schnell zu erreichen sind. Deshalb werden die Projektbetriebe der „TAS Raguhn“ ausgewählt, die vom ATB mit dem Traktor per Achse angefahren werden können.

Wachstumsunterschiede in frühen Entwicklungsstadien des Getreides (Schossen) sind weniger ausgeprägt als in späten Stadien (Ährenschieben). Dieses geringe Optimierungspotential auf Grund geringer Zielflächenunterschiede rechtfertigt eine teilflächenspezifische Fungizidbehandlung im frühen Entwicklungsstadien nicht. Falls auf den Pflichtschlägen eine Fungizidbehandlung gegen pilzliche Schaderreger im Frühjahr nötig ist, wird deshalb diese Applikation flächeneinheitlich durchgeführt. Eine teilflächenspezifische Fungizidbehandlung in Echtzeit mit der Pendelsensor-Traktor-Spritzen-Kombination erfolgt auf den Projektbetrieben der „TAS-Raguhn“ ab

ab etwa dem Stadium Ährenschieben unter Einbeziehung der Meldungen des Warndienstes der Länder. Die Erreichbarkeit und die Einhaltung optimaler Bekämpfungstermine steht dabei wiederum im Vordergrund für die Wahl dieser Betriebe. Für die anderen Projektschläge erfolgt eine eventuell notwendig werdende späte Fungizidbehandlung flächeneinheitlich.

Die für eine Eichung von Pendelsensor und Luftbild vorgestellten Ergebnisse basieren auf einjährigen Versuchen. Da daher eine Verallgemeinerung nicht zulässig ist, ist im kommenden Jahr eine Wiederholung an insgesamt 3 Standorten vorgesehen. Die Form der Stichprobenpunkte wird in dem Maße verändert, dass ein Quadrat von 2 m x 2 m vollständig (ohne Pflanzenbestand in der Mitte) ausgemäht wird. Die Messungen der Bestandesparameter, wie z. B. des Blattflächenindex, wird dann in unmittelbarer Nähe dieser 4 m² großen Flächen erfolgen. Der Pendelwinkel und die Luftbilddaufnahmen werden entsprechend Gliederungspunkt 18.4.3 ermittelt.

Aus den Ergebnissen der genannten Versuche sollen Regeln und Algorithmen für den teilflächenspezifischen Herbizid-, Fungizid- und Wachstumsreglereinsatz abgeleitet werden, die dann in GIS-gestützten Modulen dem Anwender die Bemessung der Mittelmenge erleichtern.

Das Modul für die teilflächenspezifische Herbizidapplikation basiert auf dem Einsatz des Unkrautsensors, da Bonituren auf einem engen Raster arbeitswirtschaftlich nicht vertretbar sind. Zentrales Problem, zu dessen Lösung weitere Versuche notwendig sind, ist die Interpretation des Sensorwertes und dessen Verknüpfung zu ortsbezogenen Schadensschwellen (Anzahl Unkrautpflanzen · m⁻²).

Für den frühen Einsatz von Wachstumsreglern (z. B. Chlormequat) ist die sich etablierende Bestandesdichte von zentraler Bedeutung. Diese wird im Wesentlichen von der Ackerzahl, Reliefparametern und dem klimatischen Mittel des Jahresniederschlages der Region bestimmt. Die Managementzonen, die sich aus den Aussaatkarten des Teilprojektes *Bestandesführung* ergeben, könnten dann unter Berücksichtigung des N_{min}-Gehaltes im Frühjahr, der geplanten Stickstoffdüngung und der Sorteneigenschaften mit Zu- bzw. Abschlägen der Aufwandmenge belegt werden. Unter Beachtung der Produktart liegt dann im Ergebnis eine Applikationskarte vor.

Die Entscheidungsalgorithmen für den teilflächenspezifischen Fungizideinsatz und späte Wachstumsregulorgaben (z. B. Ethephon, Trinexapac) leiten sich von der örtlich vorliegenden Zielfläche ab. Dies wird als mögliche Grundlage zur Mengensbemessung angesehen, da eine sensorische, ortsbezogene Erfassung von pilzlichen Schaderregern zur Zeit nicht möglich ist. Die Anpassung der Aufwandmenge ist jedoch nur lohnenswert, wenn im jeweiligen Jahr Wachstumsunterschiede zu beobachten sind. Eine detaillierte Erfassung der aktuellen Zielfläche ist deshalb unerlässlich. Die Entscheidungskriterien im Modul werden sich dann unter anderem aus den Ergebnissen der Versuche zur Eichung des Pendelsensors und der Luftbilder unter Mitarbeit des Teilprojektes *Bestandesinformationen* ergeben.

Die Möglichkeit des räumlich unterschiedlichen Auftretens von Krankheiten wird im verfolgten Ansatz der Fungizidmengenanpassung an die Zielfläche nicht berücksichtigt. Das örtliche Auftreten pilzlicher Schaderreger wird vor allem von Temperatur und Feuchtigkeit als epidemiologisch relevante Umweltfaktoren beeinflusst. In den kommenden zwei Jahren soll deshalb geprüft werden, inwieweit in der Pflanzenschutzpraxis verwendete Prognosemodelle eingesetzt werden können, um örtliche Infektionswahrscheinlichkeiten unter Einbeziehung aktueller Bestandesinformationen zu berechnen.

18.8 Literatur

- Autorenkollektiv (2000): Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt *pre agro*. – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) [Hrsg.]: Sonderveröffentlichung 032, 220 S.
- Billier, R. H., Hollstein, A. und Sommer, C. (1997): Precision application of herbicides by use of optoelektronic sensors. Proceedings of the 1st European conference on Precision Agriculture, In: Stafford, J. V. [ed.]: BIOS Scientific Publishers Ltd, UK, S. 451-458.
- Brown, R. B., Steckler, J.-P. G. A. and Anderson, G. W. (1994): Remote sensing for identification of weeds in no-till corn. Transaction of the ASAE 37, S. 297-302.
- Cosser, N. D. and Earl, R. (1997): Precision farming: Approaches to the management of field variation. Aspects of Applied Biology 50, S. 481-486.
- Dammer, K.-H., Wartenberg, G. und Adameck, R. (2000): Sensorgestützter teilflächenspezifischer Einsatz von Fungiziden und Halmstabilisatoren in Getreide. Gesunde Pflanzen 52, S. 105- 109.
- Dohmen, B. (1996): Optoelektronisch gesteuerte Applikation von Herbiziden – Erfahrungen mit dem amerikanischen System Weedseker® bei der Unkrautbekämpfung. KTBL- Arbeitspapier 236, S. 86-94.
- Dohmen, B. (1999): 3 Years of Applied Airborne Videography in Germany. 4th. International Airborne Remote Sensing Conference, Ottawa, Vol. I, S. 281 – 288.
- Felton , W. L. and McCloy, K. R. (1992): Spot spraying. Agricultural Engineering 11, S. 9-12.
- Gerhards, R. and Kühbauch, W. (1999): Detection of weeds and spraying onlines the ultimate in weed control. Proceedings of the XIVth International Plant Protection Congress, Jerusalem, Israel, July 25.-30., S. 87.
- Hammen, V. and Ehlert, D. (1999): The pendulum-meter: A new on-line sensor for determining grass yield for site-specific farming. In Stafford, J. V. [ed.]: Precision Agriculture '99, Sheffield Academic Press, S. 781-787.
- Pallutt, B. and Roder, W. (1992): Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von unkrautbedingten Ertragsverlusten bei Wintergetreide. Zeitschrift Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIII, S. 129-137.
- Wartenberg, G. und Schmidt, H. (1999): Fotosensoren – eine Alternative für die Unkrauterkenntung. Landtechnik 54, S. 340-341.
- Welles J. M. and Norman J. M. (1991): Instrument for indirect measurement of canopy architecture. Agronomy Journal 83, S. 818-825.

18.9 Adressen

Dr. D. Ehlert

Dr. agr. K.-H. Dammer

Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.

Abteilung Technik im Pflanzenbau

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam-Bornim

Tel: 0331/5699-410

0331/5699-415

Fax: 0331/5699-849

E-Mail: dehlert@atb-potsdam.de kdammer@atb-potsdam.de

