

## 6.5 Herbizide, Fungizide und Wachstumsregler (TP III-5)

Teilprojektleiter: Dr. D. Ehlert

Bearbeiter: Dr. K.- H. Dammer

### 6.5.1 Zusammenfassung

Im Berichtszeitraum wurden folgende Teilgebiete bearbeitet:

- Teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden
- Teilflächenspezifische Applikation von Fungiziden und Wachstumsreglern
- Ermittlung der Pflanzenoberfläche mittels Pendelsensor, Luftbild und Hydro-N-Sensor.

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

Mit der am ATB als Versuchsmuster vorhandenen echtzeitfähigen Feldspritze erfolgte im Herbst 2001 mit Hilfe des Unkrautsensors auf einem Winterweizenschlag des Projektbetriebes „Petersberger Agrarvereinigung e. G.“ in Ostrau die Anpassung der Herbizidaufwandmenge an die detektierte Verunkrautung. In den Prüfgliedern der teilflächenspezifischen Variante wurden insgesamt nur 23,7 % der Fläche mit der vollen Aufwandmenge von 200 l/ha behandelt. Das bedeutet bei einer durchschnittlich ausgebrachten Menge von 174,6 l/ha eine Einsparung von 12,70 % an Betriebsmitteln (Wirkstoff und Wasser).

Die Fungizidaufwandmenge wurde nach der im ersten Versuchsjahr 1999 entwickelten Strategie entsprechend der Pflanzenoberfläche (Zielfläche) des Getreides quantifiziert. Mit dieser Optimierung kann in Beständen mit unterschiedlichem Pflanzenwuchs annähernd die gleiche Menge an fungizider Substanz pro Einheit Zielfläche appliziert werden. Der am Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim entwickelte Pendelsensor wurde erfolgreich zur Heterogenitätserfassung in Gras, Reis und Getreide (Ehlert et al., 2002) eingesetzt. Es bestand eine hohe Korrelation zur gebildeten oberirdischen Pflanzenmasse. Da die Pflanzenmasse in direktem Verhältnis zur Pflanzenoberfläche steht, bietet der Auslenkwinkel des Pendelsensors eine indirekte Möglichkeit, die Zielfläche (Blattflächenindex) zu ermitteln. In Fortsetzung der Versuche im Jahr 1999 zur Anpassung der Fungizidmenge an die Zielfläche des Getreidebestandes im absetzigen Verfahren mit anschließendem Kerndrusch (Dammer et al., 2000, Zwischenbericht 2000, S. 158-161) wurde im Jahr 2000 eine Echtzeitapplikation durchgeführt. In den „teilflächenspezifischen“ Prüfgliedern konnten 10...14 % der Spritzbrühe eingespart werden. Eine Ertragsmessung erfolgte dann mittels eines Mähdreschers mit Ertragsmesssystem. Ähnlich wie im ersten Projektjahr konnten im Durchschnitt keinerlei Ertragsverluste der teilflächenspezifisch gegenüber den flächeneinheitlich behandelten Prüfgliedern festgestellt werden.

Als weitere Möglichkeit, die Zielfläche großräumig zu erfassen, kamen in Versuchen auf den Projektschlägen zusätzlich reflexionsspektrometrische Methoden zum Einsatz. Mit dem Teilprojekt II-4 (Bestandesinformationen) wurde im Jahr 2000 erstmals ein Versuch zur Heterogenitätserfassung im Projektschlag „Vor Pilsenhöhe“ der WIMEX GmbH Baasdorf mittels Luftbild und Pendelsensor durchgeführt. Sowohl die errechneten Werte der Vegetationsindizes der Luftbilder als auch die des Auslenkwinkels des Pendelsensors korrelierten mit den am Boden an definierten Stichprobenpunkten ermittelten Werten des Blattflächenindex.

Dieser Versuchsansatz wurde im Jahr 2001 auf mehreren Projektschlägen bei zusätzlichem Einsatz des Hydro-N-Sensors wiederholt.

Die Anpassung der Aufwandmenge von Wachstumsreglern auf Chlormequat-Basis auf den Pflichtschlägen erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt III-2 (Bestandesführung) im absetzigen Verfahren unter Einbeziehung von Ackerzahl, N-Düngungsniveau, Klimaregion und Lagerneigung der Sorte. Bestandesbonituren durch das Teilprojekt III-1b (Software Lohnunternehmer) ergaben kein Auftreten von Lagergetreide in den einzelnen Teilbereichen.

## Summary

At the Institute of Agricultural Engineering (ATB) sensors were developed, which are used in combination with a field sprayer for a real-time application of plant protection agents. With this technique the herbicide amount is adapted to the weed occurrence and the fungicide rate is adapted to the plant surface (leaf area index) respectively. In field trials there were neither a yield reduction nor a higher pest occurrence in comparison to uniform treatments.

On some project fields it was tested, if the leaf area index to quantify the target area for the spraying liquid could be estimated indirectly at small scale by the pendulum-meter sensor as well as optical sensors (hydro-n-sensor and remote sensing).

The amount of CCC-growth regulators were varied according to soil, climatic, and plant variety characteristics in the off-line approach. No lodging was observed do to the site-specific application.

### 6.5.2 Bezug zum Verbundprojekt/Bedarf seitens anderer Teilprojekte

Die Anpassung der Aufwandmenge von Chlormequat-Wachstumsreglern auf den Pflichtschlägen im absetzigen Verfahren basiert im Wesentlichen auf der Aussaatkarte des Teilprojektes III-2 (Bestandesführung). Damit werden Grundinformationen über die Ackerzahlen aus der Reichsbodenschätzung von Teilprojekt IV-4a (Regionaler Stoffaustrag) und die digitalen Hof-Bodenkarten von Teilprojekt II-1a (Hof-Bodenkarten) benötigt. Die Ertragspotentiale der einzelnen Managementzonen des jeweiligen Schlages können anhand der Standortpotentialkarte des Teilprojektes II-6a (Bodenwasserspeicher) entnommen werden. Die Bemessung der Aufwandmenge des Wachstumsreglers CCC erfolgt dann unter zusätzlicher Einbeziehung der Standfestigkeit der Sorte und von Klimafaktoren der Region. Das vorgesehene Stickstoff-Düngungsniveau, festgelegt von Teilprojekt II 2 (Luftbilder), kann ebenfalls mit einbezogen werden (Zwischenbericht 2000, S. 158-161).

Neben eigenen Bonituren zum Krankheitsauftreten und zur Feststellung von Lagergetreide führt das Teilprojekt III-1b (Software Lohnunternehmer) auf den Pflichtschlägen die Erfassung von Bestandesparametern und von Schaderregern durch. Diese Informationen werden zur Erfolgskontrolle von Pflanzenschutzmaßnahmen benötigt.

Die Erstellung der Luftbilder erfolgte durch Teilprojekt II-4 (Bestandesinformationen). Die Überfahrten mit dem Hydro-N-Sensor auf den Pflichtschlägen „Kiesberg“ und „Asphaltwerk“ realisierte das Teilprojekt III-1b (Software Lohnunternehmer) und auf dem Pflichtschlag „111-4“ das Teilprojekt III-4 (Düngung).

### 6.5.3 Einleitung und Problemstellung

Voraussetzung für eine teilflächenspezifische Bekämpfung von Schaderregern ist die Erfassung ihrer räumlichen Verteilung (Dispersion) und Befallsintensität (Abundanz). Bei einer

teilflächenspezifischen Wachstumsreglerapplikation sind Wachstumsunterschiede der Kulturpflanze von Bedeutung. Besonders für eine Anpassung der Aufwandmenge bei später Anwendung von Wachstumsreglern auf Ethephonbasis bzw. Trinexapac können Unterschiede von Bestandesparametern wie Pflanzenhöhe und -dichte, oberirdische Pflanzenmasse sowie Blattflächenindex als Informationsbasis hilfreich sein.

Die zumeist aggregierte Schaderregerverteilung bzw. zonalen Bestandesunterschiede erfordern für einen wirksamen teilflächenspezifischen Pflanzenschutz eine Merkmalerfassung entlang eines verhältnismäßig engen Stichprobenrasters. Handbonituren können eine schnelle Erfassung der Verteilungsverhältnisse von Schaderregern und Bestandesparametern jedoch nicht gewährleisten. Besonders 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 Bonitur bzw. Krankheitsansprache. Durch den Einsatz von echtzeitfähigen maschinengeträgten Sensoren rückt eine kleinräumige Erfassung von Schaderregern und Bestandesparametern in den Bereich des Machbaren. Eine schnelle Messwertverarbeitung im Bordcomputer ermöglicht es darüber hinaus, die Aufwandmenge bei der Applikation eines Pflanzenschutzmittels den erfassten Befalls- bzw. Bestandesverhältnissen in Echtzeit anzupassen.

#### **6.5.3.1 Teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden**

Eine optoelektronische Unkrauterfassung wird bereits erfolgreich bei der Bekämpfung von Unkräutern bzw. unerwünschtem Bewuchs im Echtzeitverfahren auf Bahnschienen (Dohmen, 1996) Brachland, Obstplantagen (Felton & Mc Cloy, 1992), auf Weideland (Brown et al., 1994) oder im Bandspritzverfahren in Mais und Zuckerrüben (Billier et al., 1997) angewendet. Methoden der Bildanalyse (Gerhards & Kühbauch, 1999) ermöglichen eine artenbezogene Unkrauterkenntung. In Kulturen mit engem Reihenabstand, wie Getreide, Leguminosen oder Raps, ist die Unterscheidung zwischen Kulturpflanze und Unkraut mit diesen Systemen noch nicht praxisreif. Deshalb wird innerhalb des Projektes mit einem optoelektronischen „Grünsensor“ das Unkrautaufreten in einer Fahrspur artenspezifisch detektiert, um eine Echtzeitapplikation mit praxisüblicher Fahrgeschwindigkeit zu realisieren (Wartenberg & 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 (Zwischenbericht 2001, S. 275-291). In Fortsetzung erfolgte im Herbst 2001 auf einem Winterweizenschlag des Projektbetriebes „Petersberger Agrarvereinigung e.G.“ in Ostrau die Anlage eines Versuches zum direkten Ertragsvergleich der Prüffaktoren „teilflächenspezifische“ und „flächeneinheitliche“ Herbizidapplikation.

#### **6.5.3.2 Teilflächenspezifische Applikation von Fungiziden und Wachstumsreglern**

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 (Schwaiberger, 2001) oder Multispektralkameras (Ludowicy et al., 2002), können zwar zur Detektion von Pflanzenstress (Schaderreger, Nährstoff- und Wassermangel) eingesetzt werden, jedoch nicht zur sensorischen 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 er-

folgten 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. In den durchgeführten Versuchen sollte ermittelt 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 der Wirkung von Prüffaktoren anhand von positionsbezogenen Ertragsdaten des Mähreschers sollte gleichzeitig untersucht werden, ob eine teilflächenspezifische Fungizidapplikation zu Mindererträgen gegenüber flächeneinheitlich behandelten Varianten führt.

Die Anpassung der Aufwandmenge der frühen Wachstumsreglergaben auf Chlormequatbasis auf den Pflichtschlägen richtete sich nach den mit Teilprojekt III-2 (Bestandesführung) erarbeiteten Applikationsregeln (siehe Zwischenbericht 2000, Seite 163). Die Erfassung von eventuell auftretendem Lager, wurde mittels Bonituren in den Zonen mit unterschiedlicher Aufwandmenge durch Teilprojekt III-1b (Software Lohnunternehmer) sichergestellt.

### **6.5.3.3 Ermittlung der Pflanzenoberfläche mittels Pendelsensor, Luftbild und Hydro-N-Sensor**

Pendelsensor (Ehlert et al., 2002), Luftbilder (Cossier & Earl, 1997; Dohmen, 1999) sowie der Hydro-N-Sensor (Schwaiberger, 2001) können zur Charakterisierung heterogener Kulturpflanzenbestände während der Wachstumsperiode verwendet werden. Diese Sensoren liefern jedoch indirekte Messwerte (Pendelsensor: Auslenkwinkel, Luftbilder und Hydro-N-Sensor: reflektierter Anteil verschiedener Wellenlängen des Lichts), die durch die Störgrößen Wetter, Lichtverhältnisse bzw. Sorteneigenschaften beeinflusst werden. Vor der großflächigen Erfassung der Pflanzenoberfläche zur Bemessung der Aufwandmenge bei der teilflächenspezifischen Fungizid- und Wachstumsreglerapplikation ist deshalb eine Eichung an gezielt ausgewählten Referenzpunkten notwendig. In Feldversuchen sollte untersucht werden, inwieweit mit diesen 3 Methoden insbesondere der Blattflächenindex an ausgewählten Stichprobenpunkten im Schlag erfasst werden kann.

## **6.5.4 Material und Methoden**

### **6.5.4.1 Methodik der teilflächenspezifischen Herbizid-, Fungizid- und Wachstumsreglerapplikation**

Zur Beurteilung der Wirkung teilflächenspezifischer Pflanzenschutzmaßnahmen werden im Projekt „Streifenversuche“ genutzt. Das heißt, eine Fahrspur erhält die von der Betriebsleitung festgelegte flächeneinheitliche Aufwandmenge und auf der benachbarten Fahrspur erfolgt die teilflächenspezifische Applikation unter Einsatz des Unkraut- bzw. Pendelsensors. Die Ernte von zwei Streifen pro Behandlungsvariante wird durch Einsatz eines Mähreschers mit Ertragsmesssystem im Kerndrusch durchgeführt. Dabei fährt der Mährescher mit dem linken Halmteiler in der rechten Fahrspur einer Variante und fährt in der anderen Variante wiederum mit dem linken Halmteiler in der rechten Fahrspur zurück. Diese Versuchsanlage wird mehrmals, je nach Anzahl der Streifen auf dem jeweiligen Schlag wiederholt. Die Ver-

suche in Winterweizenbeständen wurden im Projektbetrieb „Petersberger Agrarvereinigung e.G.“ in Ostrau durchgeführt.

Der am ATB entwickelte Unkrautsensor erfasst das Unkrautaufreten innerhalb kulturpflanzenfreier Fahrspuren. Unter Berücksichtigung schlagspezifischer Besonderheiten (Eichung des Sensors) erfolgt eine Umrechnung des Sensorsignals in Anzahl Unkrautpflanzen/m<sup>2</sup>. Grundlage für diese artenspezifische Unkrauterfassung ist die Beziehung zwischen der Gesamtunkrautanzahl und der nach Pallutt & Roder (1992) errechneten Summe der artenspezifischen Ertragsverluste (Abb. 6.5-1). Dadurch wird es möglich, eine Unkrautbekämpfung nach lokalen ökonomischen Schadenswellen durchzuführen. Die Arbeitsweise des Unkrautsensors kann dem Zwischenbericht 2000 (S. 157-158) oder der Veröffentlichung von Wartenberg & Schmidt (1999) entnommen werden.

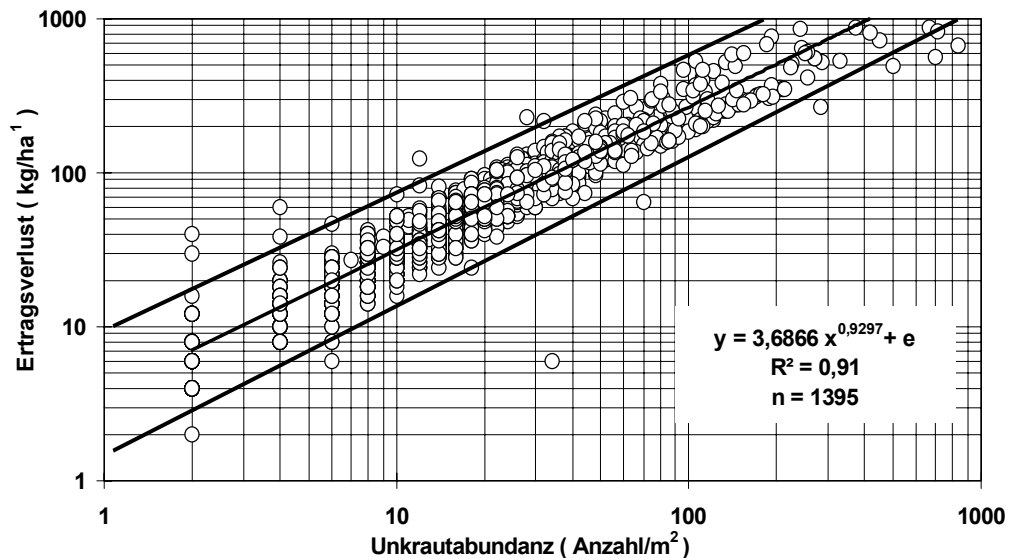


Abb. 6.5-1: Ertragsverlustfunktion mit 95 % Konfidenzintervall (Grundlage: Unkrautbonituren 1992 bis 1998 in Wintergetreide)

Fig. 6.5-1: Yield-loss function with 95% confidence belt (based on weed monitoring from 1992 to 1998 in winter cereals)

Wird die gewählte Schadensschwelle unterschritten, erfolgt, ausgehend von der 100 %igen Aufwandmenge, eine dem Sensorwert proportionale Reduzierung bis auf eine minimale Menge von 50 %. Dies ist darin begründet, dass bei geringer werdender Verunkrautung die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze zunimmt. Darüber hinaus wird das Unkraut durch die bis zu 50 % reduzierte Herbizidmenge jedoch noch ausreichend geschädigt, sodass keine ertragswirksame Nachverunkrautung auftritt. Außerdem wird dadurch eine gewisse Sicherheit geschaffen, falls Fehlerfunktionen im technischen System auftreten.

Im Versuch zur Echtzeitapplikation von Herbiziden wurden am 30.10.2001 zum Zweiblattstadium (BBCH 12) des Winterweizens 2 l/ha Fenikan® und 10 g/ha Pointer® zusammen in einer Tankmischung mit 200 l/ha Wasser in einem Winterweizenbestand (Sorte: Pegassos) ausgebracht. Die Kosten für die anstehende Herbizidbehandlung wurden mit etwa 100,00 DM/ha angesetzt. Bei einem angenommenen Verkaufspreis des Weizens von etwa 23,50

DM/dt bedeutet dies einen zu erwirtschaftenden Mehrertrag von etwa 4,25 dt/ha. Aus Abbildung 6.5-1 ergibt sich bei einem tolerierten Ertragsverlust von rund 4,25 dt/ha eine ökonomische Schadensschwelle von annähernd 165 Unkrautpflanzen/m<sup>2</sup>. Der in den Versuchen 2001 zum Einsatz gekommene weiterentwickelte Unkrautsensor detektiert in der Fahrspur einen etwa 7 cm breiten Streifen auf eine Länge von 5,18 m (entspricht einer Umdrehung des Traktorhinterrades). Dies ergibt eine Detektionsfläche von etwa 0,36 m<sup>2</sup>. Da das Sensorsignal im Herbst während des Keimblattstadiums der auflaufenden Unkräuter mit der Anzahl Pflanzen korreliert, entspricht die ökonomische Schadensschwelle von 165 Unkräutern/m<sup>2</sup> einem Sensorwert von etwa 60. Wenn im durchgeführten Feldversuch in den Detektionssabschnitten der teilflächenspezifischen Prüfglieder dieser Wert überschritten wurde, kam im jeweiligen Abschnitt die volle Herbizidaufwandmenge von 200 l/ha zur Anwendung. Ansonsten erfolgte bei Unterschreitung vom Sensorwert 60 die proportionale Reduzierung auf 50 % bis auf 100 l/ha beim Sensorwert 0.

Im Versuch zur Echtzeitapplikation von Fungiziden erfolgte der Einsatz von 1 l/ha Juwel Top® in 300 l/ha Wasser am 17.05.2000 zum Beginn des Ährenschiebens (Sorte: Pegassos). An insgesamt 20 Stichprobenpunkten innerhalb einer Fahrspur wurde der Blattflächenindex (m<sup>2</sup> Pflanzenoberfläche/m<sup>2</sup> Bodenoberfläche) mit dem tragbaren Gerät LAI 2000® (Welles & Norman, 1991) sowie die Position mit einem GPS der Marke Omnistar® bestimmt. Eine Eichung des Pendelsensors erfolgte mittels Regressionsgleichung (n=20), die die Beziehung zwischen dem gemessenen LAI-Wert und dem entsprechenden Pendelwinkel für diesen Schlag charakterisiert. Somit konnte die von der Spritzbrühe zu benetzende Pflanzenoberfläche kleinräumig für den gesamten Schlag erfasst werden. Die Ernte erfolgte am 04.08.2000 durch einen New Holland-Mähdrescher (6,70 m Schneidwerk) und Ertragerfassungssystem LH 565 yield logger® der Firma LH Agro. Eine Mittelwertbildung der Einzelertragswerte des Mähdreschers auf einer Länge von 9 m ergab einen Schätzwert für den Ertrag in diesem Bereich. Zum Zweck des Ertragsvergleiches zwischen den zwei Prüffaktoren „einheitlich“ (e) und „differenziert“ (d) wurden aus jeweils gegenüberliegenden Mittelwerten die Quotienten  $d_n/e_n$  (n=1...210) gebildet. Mittels Häufigkeitsdiagramm dieser ortsspezifischen Relativverträge sollte der Nachweis über Höhe und Verteilungstyp der Ertragsrelationen zwischen den beiden Behandlungsvarianten erbracht werden.

Die Applikation des Wachstumsreglers CCC (Wirkstoff: Chlormequat) erfolgte in den Projektbetrieben entweder in einer einmaligen Gabe oder im Splittingverfahren in zwei Gaben im Wachstumsstadium BBCH 21 bis 31. Eine teilflächenspezifische Anpassung der Aufwandmenge (bei Splitting erste Gabe: flächeneinheitliche Applikation) wurde entsprechend der Aussaatpolygone des TP III-2 (Bestandesführung) vorgenommen.

#### **6.5.4.2 Erfassung der Pflanzenoberfläche mit Pendelsensor, Hydro-N-Sensor und Luftbild**

Im Versuchsjahr 2000 erfolgte die Merkmalserfassung einmal zum Beginn des Ährenschiebens, während im Jahr 2001 eine Erfassung dreimal während der Wachstumsperiode realisiert wurde (Erscheinen des Fahnenblattes, Beginn des Ährenschiebens, Milchreife). Im Versuchsjahr 2000 wurden, entsprechend sichtbarer Unterschiede im Wuchshabitus, zum Beginn des Ährenschiebens in einem Winterweizenschlag (Sorte: Contra) des Projektbetriebes „WIMEX GmbH“ in Baasdorf 20 Stichprobenpunkte so ausgewählt, dass annähernd 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.

Im Versuchsjahr 2001 erfolgte die Auswahl der Stichprobenpunkte nicht nach visuellen Wachstumsunterschieden, sondern die Orte im Schlag waren durch das TP II-a (Hof-Bodenkarten) vorgegeben (Orte der Bohrstockbeprobung). Mittels tragbarem GPS der Marke Omnistar® wurden im Frühjahr die Punkte angelaufen und anschließend mit einem Kunststoffstab markiert.

Die Ermittlung der Frischmasse (oberirdische Pflanzenmasse) erfolgte mittels Ausmähen mit einer Sense. Im Jahr 2000 wurde zum Beginn des Ährenschiebens am jeweiligen Stichprobenpunkt ein 1 m breiter Streifen um einen im Zentrum verbleibenden Bestand von 3 m x 3 m gemäht (siehe Zwischenbericht 2001, S. 275-291). Da die 9 m<sup>2</sup> große Mittelfläche im Luftbild des Jahres 2000 nicht deutlich auflösbar war, wurde das Design der Flächen im Versuchsjahr 2001 verändert. Die ausgemähte Fläche (Erscheinen des Fahnenblattes) bestand nun aus einem Quadrat von 2 m Kantenlänge. Handmessungen (2000: im Bestand der Mittelfläche, 2001: im unmittelbar angrenzenden Bestand der 4 m<sup>2</sup> großen abgemähten Fläche) dienten dann zur Ermittlung von Bestandesparametern wie Pflanzenhöhe, -dichte, Blattflächenindex und Krankheitsbefall.

Zur Ermittlung des Blattflächenindex als Maß für die Zielfläche für eine Pflanzenschutzmaßnahme kamen die tragbaren Handgeräte im Jahr 2000: LAI 2000® (Welles & Norman, 1991) und im Jahr 2001: SunScan® (Anonym, 1999) zum Einsatz. Mittels Pendelsensor, angebaut an einem Hege-Geräteträger, erfolgte das mechanische Scannen des Schlages entlang der Fahrspuren. Die Aufzeichnungsfrequenz des Pendelwinkels und der Position betrug 1 Hz bei einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 7 km/h (etwa 1 Wert pro 2 m) im Versuchsjahr 2000. Durch Kapazitätserweiterung konnte im Versuchsjahr 2001 mit einer Eingangsfrequenz von 50 Hz bei einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 7 km/h gescannt werden. Eine Messwertvorverarbeitung erfolgte derart, dass eine Mittelwertbildung aus diesen 50 Werten vorgenommen und dann mit 1 Hz gespeichert wurde (etwa 1 Wert pro 2 m).

Der Hydro-N-Sensor-Einsatz erfolgte im Versuchsjahr 2001. Der Einbau eines Zusatzmoduls ermöglichte es, den Reflexionsgrad von insgesamt 5 Wellenlängen (550 nm, 670 nm, 700 nm, 740 nm und 780 nm) aus der Aufzeichnungsdatei auszulesen. Aus diesen Wellenlängen konnten dann spektrale Indizes (die zur Vegetationsanalyse häufig verwendeten Vegetationsindizes) berechnet werden:

$$\text{NIR/R} = R_{780}/R_{670}, \quad \text{NIR/G} = R_{780}/R_{550}, \quad \text{G/R} = R_{550}/R_{670}, \quad \text{NDVI} = (R_{780} - R_{670}) / (R_{780} + R_{670}) \quad \text{und} \\ \text{REIP} = 700 + 40 \{ [(R_{670} + R_{780}) / 2 - R_{700}] / (R_{740} - R_{700}) \}.$$

Eine Zunahme der oberirdischen Pflanzenmasse während des Wachstumsstadiums der Pflanze (bei optimaler Stickstoffversorgung) führt zu einer verstärkten Reflexion im Infrarotbereich. Durch zunehmende Absorption durch das Chlorophyll sinkt dagegen der Reflexionsgrad im Rotbereich. Daher steht besonders der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) in einer positiven Beziehung zur grünen oberirdischen Pflanzenmasse (Perry & Lautenschlager, 1984). Dies ist ebenfalls vom REIP (Red Edge Inflection Point) bekannt (Guyot et al., 1988). Er beschreibt den Wendepunkt des Rot-Infrarotanstieges. Eine Zunahme des Chlorophyllgehaltes und der Pflanzenmasse verschiebt den REIP hin zu größeren Wellenlängen. In den vorgestellten Auswertungen fanden deshalb diese beiden spektralen Indizes Anwendung, um die funktionale Beziehung zur Frischmasse (FM) und zum Blattflächenindex (LAI) zu beschreiben. Von allen Sensorwerten, die in einem Umkreis mit Radius von 9 m um den Ort der Stichprobenpunkte lagen, wurde ein Mittelwert gebildet. Auf diese Weise wird der vom Hydro-N-Sensor erfasste Bereich berücksichtigt. Alle weiteren Berechnungen erfolgten dann mit diesen Mittelwerten.

Für die Infrarotaufnahmen (NIR) in den Luftbildern 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 TP II-4 (Bestandesinformationen) eingesetzt. Im Versuchsjahr 2000 erfolgte die Befliegung des Schläges „Vor Pilsenhöhe“ am 12.05.2000 in einer Flughöhe von 1500 m. Als Auflösung entsprach ein Pixel im Bild einem Quadrat von 1 m x 1 m auf dem Boden. Da die jeweils 10 Stichprobenpunkte an beiden Enden des Schläges etwa 1500 m voneinander entfernt waren, wurden je 2 Bilder mit unterschiedlicher Belichtungszeit erstellt. Im Versuchsjahr 2001 betrug die Flughöhe etwa 3.000 m, was nach der Georeferenzierung eine Auflösung am Boden von 2 m x 2 m ergab. Vom Bereich 20 m x 20 m um die Stichprobenpunkte erfolgte eine Mittelwertbildung aus den 400 bzw. 100 Reflexionseinzelwerten.

Zur Veranschaulichung sind in Tabelle 6.5-1 die Termine der Aktivitäten auf den Projektschlägen in den Jahren 2000 und 2001 zusammengefasst.

Tab. 6.5-1: Termine der Aktivitäten auf den Projektschlägen zur Erfassung der Pflanzenoberfläche mit Pendelsensor, Hydro-N-Sensor und Luftbild

Tab. 6.5-1: Time of the activities on the project fields for recording the plant surface using pendulum-meter sensor, hydro-N-sensor and remote sensing

Aktivität	Termin	„Vor Pilsenhöhe“ 2000	„Asphaltwerk“ 2001	„Kiesberg“ 2001	„111-4“ 2001
Frischmasseerm.	1	11. 05.	16. 05.	17. 05.	21. 05.
Bonituren (Pflanzenhöhe, -dichte, LAI, Krankh.)	1	12. 05.	17. 05.	18. 05.	22. 05.
	2		07. 06.	08. 06.	13. 06.
	2		26. 06.	28. 06.	04. 07.
Pendelmessung	1	11. 05.	16. 05.	17. 06.	21. 05.
	2		07. 06.	08. 06.	12. 06.
	3		26. 06.	28. 06.	03. 07.
Luftbild	1	12. 05.	24. 05.	24. 05.	24. 05.
	3		24. 06.	24. 06.	06. 07.
Hydro-N-Sensor	1		22. 05.	22. 05.	22. 05.
	2		07. 06.	09. 06.	11. 06.
	3		29. 06.	29. 06.	03. 07.

In Regressionsanalysen kamen Polynome 1. und 2. Grades zur Anwendung, um die Beziehung zwischen den an den Stichprobenpunkten ermittelten Bestandesparametern und dem Pendelwinkel bzw. Vegetationsindizes zu charakterisieren. Das Bestimmtheitsmaß und die Überschreitungswahrscheinlichkeit für den F-Test aus der Varianzanalyse dienten als Gütekriterien für das angepasste Modell.

## 6.5.5 Ergebnisse

### 6.5.5.1 Unkrauthäufigkeit und Durchflussmenge bei teilflächenspezifischer Herbizidapplikation in Echtzeit

In den teilflächenspezifischen Prüfgliedern wurde auf 23,7 % der vorne beschriebenen Detektionsfläche (0,07 m x 5,18 m) die Schadenschwelle von 165 Unkrautpflanzen/m<sup>2</sup> erreicht, d. h. auf 76,3 % der Fläche konnte die vom Landwirt festgesetzte einheitliche Menge von 200 l/ha reduziert werden. Hinsichtlich Spritzflüssigkeitsmenge bedeutete dies eine Einsparung von 12,7 %. Im Mittel wurden in den teilflächenspezifischen Parzellen 174,6 l/ha appliziert.

Beispielhaft sind in Abb. 6.5-2 der Verlauf des Sensorwertes bis zum Schwellenwert 60 (ökonomische Schadensschwelle von 165 Unkrautpflanzen/m<sup>2</sup>) und die Durchflussmenge entlang einer Fahrspur eines teilflächenspezifischen Prüfgebietes dargestellt. In den Bereichen, wo die Schadensschwelle unterschritten wurde, erkennt man die Reduktion der Durchflussmenge.

Der Ertragsvergleich kann erst mit der Ernte in 2002 erfolgen.

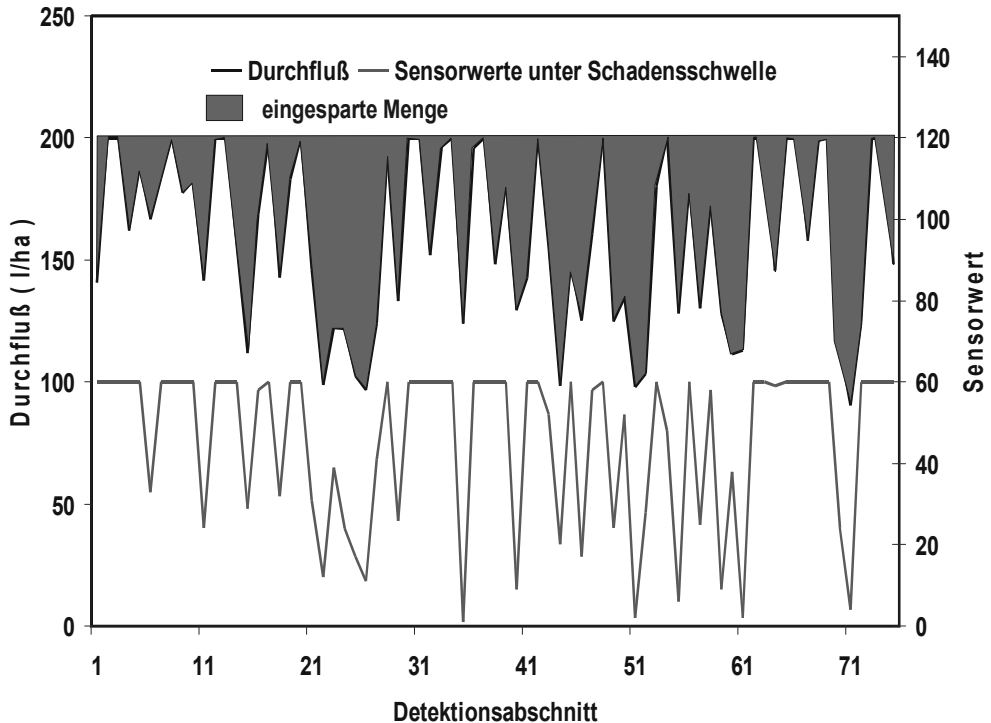


Abb. 6.5-2: Wert des Unkrautsensors unter der Schwelle 60 (ökonomische Schadensschwelle für diesen Weizenschlag) und entsprechende Applikationsmenge entlang einer Fahrspur der teilflächenspezifischen Variante des Herbizidversuches (Mittel: 2 Liter/ha Fenikan® + 10 g/ha Pointer®, Applikation: 30.10.2001, Winterweizen Sorte: Pegassos, Schlag: „Kötzdorf“)

Fig. 6.5-2: Weed sensor value below the threshold 60 (economic damage threshold for this wheat field) as well as application amount along a tramline of a site-specific plot of the herbicide field trial (substance: 2 l/ha Fenikan® + 10 g/ha Pointer®, application: 30.10.2001, winter wheat variety: Pegassos, field: „Kötzdorf“)

### 6.5.5.2 Ertragsvergleich zwischen einheitlicher und teilflächenspezifischer Fungizidapplikation in Echtzeit

Der gemessene LAI an den 20 Stichprobenpunkten variierte von etwa 1,00 bis 4,5, während der Pendelwinkel im Bereich von etwa 11° bis 37° schwankte. Die Beziehung LAI (y) zu Pendelwinkel (x) konnte durch das Polynom 2. Grades  $y=0,361+0,038x+0,002x^2+e$  charakterisiert werden. Abb. 6.5-3 zeigt beispielhaft den über die Gleichung geschätzten LAI und die Durchflussmenge entlang einer etwa 400 m langen Fahrspur, in der die Fungizidbehandlung am 15.05.2000 teilflächenspezifisch durchgeführt wurde.

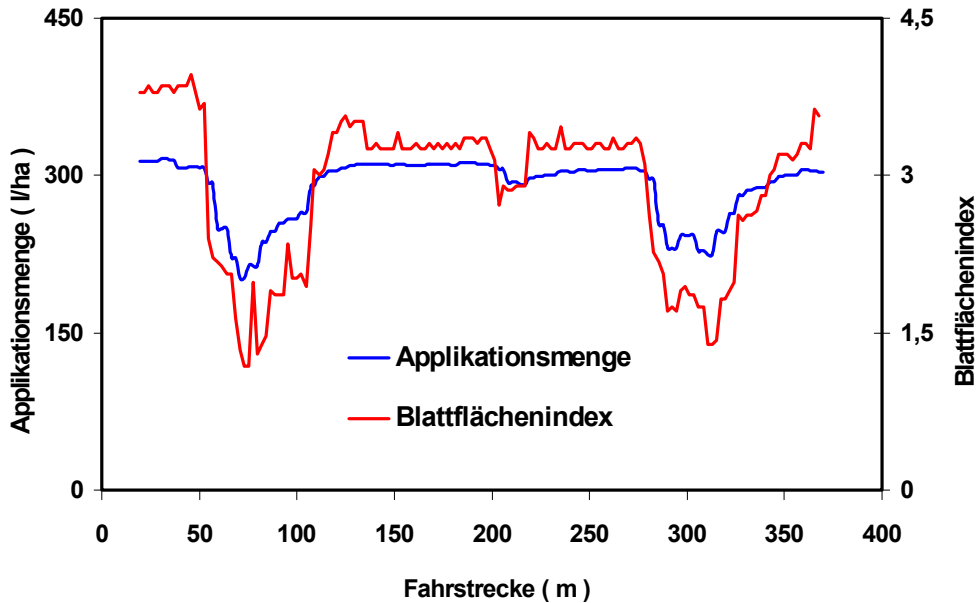


Abb. 6.5-3: Aus dem Winkel des Pendelsensors geschätzter Blattflächenindex und Applikationsmenge entlang einer Fahrspur der teilflächenspezifischen Variante des Fungizidversuches Mittel: Juwel Top® (Applikation: 15.05.2000, Winterweizen Sorte: Pegasus, Schlag: „Hintern Park“)

Fig. 6.5-3: Estimated leaf area index from the angle of the pendulum-meter sensor and rate of flow along a tramline of a site-specific plot of the fungicide field trial (substance: Juwel Top®, application: 15.05.2000, winter wheat variety: Pegasus, field: „Hintern Park“)

Die Aufwandmengen in den drei teilflächenspezifischen Fahrspuren (Applikation von Juwel Top®) lagen im Mittel bei 260, 265 und 270 l/ha. Das bedeutet eine Einsparung von etwa 14, 12 und 10 % der vorgesehenen Aufwandmenge.

Das ähnliche Ertragsniveau der einheitlich und differenziert behandelten Fahrspuren wird im Häufigkeitsdiagramm der örtlichen Relativerträge  $d_n/e_n$  ( $n=1...210$ ) in Abbildung 6.5-4 ausgedrückt. 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.

Die Wachstumsreglerapplikation (CCC, Wirkstoff Chlormequat) erfolgte teilflächenspezifisch nach den mit TP III-2 (Bestandesführung) erarbeiteten Applikationsregeln. In Tabelle 6.5-2 sind beispielhaft die mit den Betriebsleitern abgesprochenen Applikationsmengen für die Projektschläge „Asphaltwerk“, „Kiesberg“ und „111-4“ bei einmaliger CCC-Anwendung aufgeführt. Auf dem Schlag „111-4“ in Kassow wurde mit einer Danfoil®-Spritze gearbeitet, die aufgrund des Luftinjektorsystems eine Reduktion der Ausbringung bis zu 40 l/ha zulässt. Es trat kein wesentliches Lager auf den Projektschlägen in den einzelnen Teilbereichen auf.

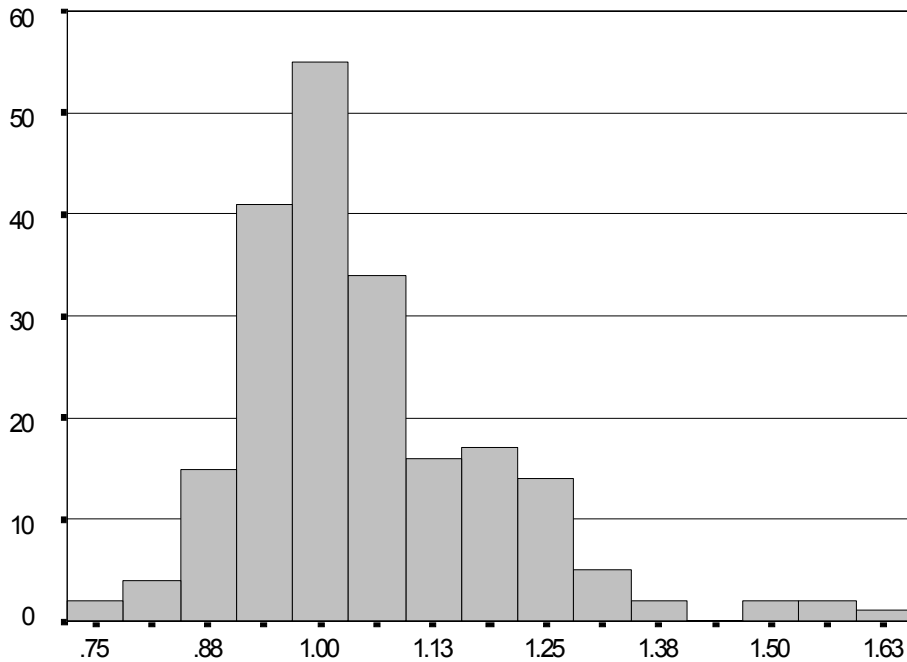


Abb. 6.5-4: Häufigkeitsdiagramm der örtlichen Relativträge  $d_n/e_n$  ( $n = 1 \dots 210$ ) des Fungizidversuches

Fig. 6.5-4: Frequency plot of the relative yield  $d_n/e_n$  ( $n = 1 \dots 210$ ) of the fungicide field trial

Tab. 6.5-2: CCC- bzw. Wassermengen Anpassung entsprechend der Aussaatmenge auf drei ausgewählten Projektschlägen bei teilflächenspezifischer Applikation im Frühjahr 2001 im absetzigen Verfahren

Tab. 6.5-2: Adjustment of CCC and water amount respectively according to the seeding mass on three selected project fields during off-line site-specific application in spring 2001

Schlag	Aussaatmenge (kg/ha)	CCC-Menge (l/ha)	Wassermenge (l/ha)
„Asphaltwerk“	116	0,6	225
	134	0,8	300
„Kiesberg“	140	0,8	200
	160	0,9	225
	170	1,1	275
	180	1,2	300
	111-4“	101	0,8
	123	1,0	50
	135	1,1	55
	138	1,2	60

### 6.5.5.3 Korrelation des Blattflächenindex mit dem Pendelwinkel bzw. den Vegetationsindizes aus Luftbild und Hydro-N-Sensor

Pflanzendichte und -höhe wirken sich gemeinsam auf den Blattflächenindex aus. Sodhi & Dhaliwal (1998) beobachteten an zwei Weizensorten, dass längere Sorten und ebenso Versuchsvarianten mit größeren Halmdichten einen höheren LAI aufwiesen. Dies kann aus den vorliegenden Versuchen bestätigt werden. In Tabelle 6.5-3 sind die Bestimmtheitsmaße und die Überschreitungswahrscheinlichkeiten des F-Testes der Varianzanalyse für die Anpassung eines Polynoms 1. Grades für die Abhängigkeit des LAI vom Produkt aus Pflanzenhöhe\*Pflanzendichte aufgeführt. Andere Regressionsmodelle lieferten keine oder nur unwesentliche Verbesserungen hinsichtlich des Bestimmtheitsmaßes.

Tab. 6.5-3: Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) und Überschreitungswahrscheinlichkeiten ( $p$ ) des F-Testes der Varianzanalyse für die Anpassung eines Polynoms 1. Grades zur Charakterisierung der Beziehung zwischen Blattflächenindex ( $y$ -Variable) und dem Produkt Pflanzenhöhe\*Halmanzahl ( $x$ -Variable)

Tab. 6.5-3: *Goodness of fit ( $R^2$ ) and exceeding probability ( $p$ ) for the F-test from ANOVA for polynomials of 1<sup>st</sup> order characterising the relationship between leaf area index ( $y$ - variable) and the product of plant height\*stem number ( $x$ -variable)*

Termin	„Vor Pilsenhöhe“ n=20	„Asphaltwerk“ n=20	„Kiesberg“ n=19	„111-4“ n=23
1	0,80 (0,00)	0,41 (0,02)	0,81 (0,00)	0,97 (0,00)
2		0,44 (0,00)	0,90 (0,00)	0,97 (0,00)
3		0,72 (0,00)	0,84 (0,00)	0,98 (0,00)

Mit Ausnahme des Schläges „Asphaltwerk“ konnte der enge Zusammenhang zwischen dem LAI und der Pflanzenhöhe und -dichte bestätigt werden. Für alle weiteren Berechnungen wurden deshalb der LAI, der somit die Information von Pflanzenhöhe und -dichte gemeinsam enthält und die Frischmasse verwendet. Ursachen für die schlechte Korrelation beim Schlag „Asphaltwerk“ deuten sich durch den in seiner vegetativen Entwicklung über den Messzeitraum eher homogenen Bestandesaufbau an. Demgegenüber waren die anderen Schläge heterogener. In Tabelle 6.5-4 sind die Minima, Maxima sowie die Spannweiten für den LAI und die Frischmasse an den Stichprobenpunkten aufgeführt.

Tab 6.5-4: Minimum, Maximum sowie die Spannweite (Sw) für den Blattflächenindex (LAI) und die Frischmasse in  $\text{kg}/\text{m}^2$  (FM) der 4 Projektschläge

Tab. 6.5-4: *Minimum, maximum and range (Sw) of the leaf area index (LAI) as well as fresh mass in  $\text{kg}/\text{m}^2$  (FM) of the 4 project fields*

	Termin	„Vor Pilsenhöhe“ 2000			„Asphaltwerk“ 2001			„Kiesberg“ 2001			„111-4“ 2001		
		Min	Max	Sw	Min	Max	Sw	Min	Max	Sw	Min	Max	Sw
FM	1	0,8	3,3	2,5	2,3	3,6	1,3	1,8	5,5	3,7	1,6	4,6	3,0
LAI	1	1,4	5,1	3,7	3,0	5,6	2,6	2,5	7,3	4,8	2,5	7,6	5,1
LAI	2				3,8	6,4	2,6	2,4	7,6	5,2	3,8	9,2	5,4
LAI	3				3,5	6,5	3,0	2,5	7,6	5,1	2,8	7,7	4,9

Die Beziehung zwischen LAI bzw. Frischmasse und Pendelwinkel bzw. Vegetationsindizes des Luftbildes bzw. Hydro-N-Sensors konnte am besten mit einem Polynom 2. Grades beschrieben werden, wobei der Verlauf in den meisten Fällen (80 %) degressiv war (Tab. 6.5-5). Darin deutet sich eine Abnahme der Empfindlichkeit der drei Messmethoden in höheren Bereichen der Blattfläche und der Frischmasse an.

Im Versuchsjahr 2000 bestand auf dem Schlag „Vor Pilsenhöhe“ eine hohe Korrelation zwischen den am Boden gemessenen Werten der Frischmasse und des LAI mit dem Pendelwinkel bzw. dem NDVI des Luftbildes. Eine Ausnahme bildete die Ostseite des Schlages, wo das Bestimmtheitsmaß der Beziehung beider erfasster Merkmale zum NDVI des Luftbildes nicht befriedigte. Erst nach Elimination eines Ausreißers verbesserte sich das Bestimmtheitsmaß wesentlich, was detailliert bei Dammer et al. (2001) nachgelesen werden kann.

Tab. 6.5-5: Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und Überschreitungswahrscheinlichkeit ( $p$ ) des F-Testes der Varianzanalyse für die Anpassung eines Polynoms 2. Grades zur Charakterisierung der Beziehung zwischen Blattflächenindex bzw. Frischmasse (y-Variable) und Pendelwinkel bzw. Vegetationsindizes (x-Variable) von Hydro-N-Sensor und Luftbild (d: degressiv steigende Regressionskurve, p: progressiv steigende Regressionskurve, Angabe falls  $p > 0,05$ )

Tab. 6.5-5: Goodness of fit ( $R^2$ ) and exceeding probability ( $p$ ) of the F-test from ANOVA for polynomials of 2<sup>nd</sup> order characterising the relationship between leaf area index and fresh mass respectively (y-variable) and the pendulum angle and vegetation indices respectively (x-variable) from hydro-N-sensor and remote sensing (d: declining upwards regression curve, p: progressive upwards regression curve, notation if  $p > 0,05$ )

Schlag	Merkmal	Termin	Pendelwinkel	Hydro-N-Sensor		Luftbild
				NDVI	REIP	NDVI
„V. Pilsenhöhe“ West	FM	1 n = 10	0,79 (0,00) d			0,83 (0,00) d
	LAI	1 n = 10	0,88 (0,00) p			0,79 (0,00) p
„V. Pilsenhöhe“ Ost	FM	1 n = 10	0,92 (0,00) d			0,26 (0,34)
	LAI	1 n = 10	0,92 (0,00) d			0,41 (0,16)
„Asphaltwerk“	FM	1 n = 20	0,11 (0,40)	0,28 (0,06)	0,72 (0,00) p	0,04 (0,38)
	LAI	1 n = 20	0,18 (0,20)	0,61 (0,00) p	0,41 (0,01) p	0,01 (0,90)
	LAI	2 n = 20	0,05 (0,67)	0,05 (0,65)	0,59 (0,00) p	
	LAI	3 n = 20	0,71 (0,00) d	0,14 (0,27)	0,06 (0,60)	0,39 (0,01) d
„Kiesberg“	FM	1 n = 19	0,55 (0,00) d	0,02 (0,87)	0,44 (0,01) p	0,53 (0,00) d
	LAI	1 n = 19	0,51 (0,00) d	0,13 (0,33)	0,58 (0,01) d	0,72 (0,00) d
	LAI	2 n = 19	0,57 (0,00) d	0,39 (0,02) d	0,70 (0,00) d	
	LAI	3 n = 19	0,67 (0,00) d	0,67 (0,00) d	0,75 (0,00) d	0,73 (0,00) d
„111-4“	FM	1 n = 23	0,19 (0,13)	0,43 (0,00) d	0,56 (0,00) d	0,70 (0,00) d
	LAI	1 n = 23	0,18 (0,15)	0,20 (0,10)	0,34 (0,02) d	0,41 (0,01) d
	LAI	2 n = 23	0,05 (0,60)	0,41 (0,00) d	0,44 (0,00) d	
	LAI	3 n = 23	0,24 (0,06)	0,58 (0,00) d	0,61 (0,00) d	0,57 (0,00) d

Für das Versuchsjahr 2001 bestand eine im Wesentlichen hohe Korrelation für den Schlag „Kiesberg“, ausgenommen zum NDVI des Hydro-N-Sensors für den 1. und 2. Termin. Für

den Schlag „Asphaltwerk“ waren die Korrelationen sehr uneinheitlich ( $R^2 = 0,01...0,72$ ). Am Termin 1 war der REIP des Hydro-N-Sensors mit der FM und der NDVI des Hydro-N-Sensors mit dem LAI korreliert. Am Termin 2 konnte mit dem REIP des Hydro-N-Sensors und am Termin 3 mit dem Pendelwinkel eine Korrelation festgestellt werden. Für den Schlag „111-4“ setzt sich das uneinheitliche Bild fort ( $R^2 = 0,05...0,70$ ). Korrelationen waren nur zum NDVI des Luftbildes und des NDVI und REIP des Hydro-N-Sensors zur FM für den Termin 1 und zum LAI für die Termine 2 und 3 gegeben.

## 6.5.6 Diskussion

### 6.5.6.1 Teilflächenspezifischer Herbizideinsatz

Detektionsfehler bei der Unkrauterfassung durch den Unkrautsensor treten besonders dann auf, wenn Blätter der Kulturpflanze in die Fahrspur ragen. Dies ist insbesondere bei engen Fahrspuren oder im späten Frühjahr zum Beginn des Schossens gegeben. Ein ungenaues Fahren in der Spur kann dazu führen, dass die Kulturpflanze mitgedeckt und somit eine höhere Verunkrautung gemessen wird. Ein weiteres Problem ergibt sich durch häufige Überfahrten infolge agrotechnischer Maßnahmen vor der anstehenden Herbizidapplikation. Durch den Schlupf der Traktorreifen werden die Unkrautpflanzen teilweise zerstört. Der Unkrautsensor zeigt dann eine geringere Verunkrautung an. Es macht sich erforderlich, in diesem Fall den Sensorwert durch einen Faktor nach oben zu korrigieren. Diese Fehlerquelle entfällt, wenn die Unkrautbekämpfung beispielsweise im Wintergetreide im Herbst erfolgt.

### 6.5.6.2 Teilflächenspezifischer Fungizid- und Wachstumsreglereinsatz

Die Ertragsversuche zur Anpassung der Fungizidaufwandmenge an die Pflanzenoberfläche (Zielfläche) ergaben, wie schon beim absetzigen Verfahren im ersten Versuchsjahr 1999, keine Ertragsunterschiede zwischen den einheitlichen und den teilflächenspezifischen Behandlungsvarianten. Auch zwei weitere Versuche (absetziges Verfahren) 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 in den teilflächenspezifischen Prüfgliedern 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 waren.

### 6.5.6.3 Erfassung der Pflanzenoberfläche mit Pendelsensor, Hydro-N-Sensor und Luftbild

Im Versuchsjahr 2000 konnten der LAI und die Frischmasse an den Stichprobenpunkten mittels Pendelsensor mit einer hohen Genauigkeit erfasst werden ( $R^2 = 0,79...0,92$ ). Dasselbe traf für das Luftbild für die Westseite des Schlages zu. Uneinheitlicher waren die Ergebnisse für das Versuchsjahr 2001. Nur für den Schlag „Kiesberg“ waren die gemessenen Werte aller 3 Methoden (Pendelwinkel, REIP des Hydro-N-Sensors und NDVI aus dem Luftbild) mit dem LAI und der Frischmasse korreliert. Für die anderen zwei Schläge war die Korrelation sehr unterschiedlich. Es konnte vielfach keine Beziehung zwischen den Merkmalswerten gefunden werden (vgl. Tab. 6.5-5). Der Schlag „Asphaltwerk“ war in seiner Bestandeseentwicklung verglichen mit den anderen Schlägen, sehr homogen, was sich in der verhältnis-

mäßig geringen Spannweite des LAI und der Frischmasse ausdrückt (vgl. Tab. 6.5-4). Korrelationen sind hier schon von den natürlichen Gegebenheiten aufgrund geringer Variabilität der zu vergleichenden Merkmale von vornherein nicht zu erwarten. Trotz vorhandener Heterogenität an den Stichprobenpunkten des Schlags „111-4“ war nur an einigen Terminen ein funktionaler Zusammenhang vorhanden. Im Vergleich zu den Beständen „Asphaltwerk“, „Kiesberg“ und „Vor Pilsenhöhe“ war dieser Bestand sehr „ruppig“. Die Heterogenität war nicht nur großräumiger Natur, sondern auch kleinräumig zu beobachten, d. h. der Bestand an den Stichprobenpunkten war sehr uneinheitlich in seinem Aufbau. Verstärkt wurde dies noch durch die Anwendung des Airseeders® bei der Aussaat. Die Ablage der Körner in Bändern führte teilweise zu größeren Lücken zwischen den Saatzeilen. Besonders bei der Ermittlung des LAI ist dies als Fehlerquelle zu betrachten, da wechselseitig Sensoren auf dem Messstab des Sunscan®-Messgerätes von den Pflanzen bedeckt bzw. unbedeckt waren (Abb. 6.5-5). Um Messfehler zu minimieren, wurde durch den Versuchsansteller gewährleistet, dass die Positionierung der „Sensorlanze“ im Winkel von etwa 45° zu den Getreidereihen vorgenommen wurde.



Abb. 6.5-5: LAI-Messung im Schlag „111-4“ zum Erscheinen des Fahnenblattes in Winterweizen, erkennbar der kleinräumig sehr inhomogene Bestand (Foto: Gebbers)

*Fig. 6.5-5: LAI measure within the field „111-4“ at flag leaf stage of winter wheat, recognizable the small scale inhomogeneity of the plant stand (photo: Gebbers)*

Die ausgemähten Flächen lagen etwa 1 bis 3 m neben der Fahrspur. Der Pendelsensor misst jedoch den Pendelwinkel zwischen den Fahrspuren. Diese räumliche Trennung der Merkmalsermittlung kann bei der aufgetretenen kleinräumigen Heterogenität an den Stichprobenpunkten, wie in Abbildung 6.5-5 erkennbar, eine weitere Ursache für die beispielsweise schlechte Korrelation zwischen Pendelwinkel und LAI bzw. Frischmasse sein. Im Jahre 2001 wurden die Stichprobenpunkte entsprechend dem Ort der Bohrstockbeprobung von TP II-a (Hof-Bodenkarten) ausgewählt. Dadurch konnte nicht gewährleistet werden, dass der Be-

stand um die Stichprobenpunkte herum homogen war, wie das im Jahr 2000 bei der visuellen Auswahl der Stichprobenpunkte der Fall war. Dies ist ebenfalls als Fehlerquelle für die unterschiedlich starken Korrelationen zu sehen.

Hinsichtlich Verlässlichkeit der LAI-Messergebnisse wird auf verschiedene Literaturangaben verwiesen. Von Wilhelm et al. (2000) erfolgte ein Vergleich der Handgeräte der Marken Accupar®, LAI-2000® und SunScan® mit destruktiven Methoden der LAI-Bestimmung. Alle drei Messgeräte unterschätzten den Blattflächenindex etwas, wobei das LAI-2000 am stärksten abwich. Ebenfalls eine Reduzierung der gemessenen LAI-Werte beim LAI-2000® um 10 - 50 % beobachteten Welles & Norman (1991) bei direkter starker Sonneneinstrahlung. Die Autoren empfehlen deshalb, das Gerät bei diffuser Sonneneinstrahlung, also bewölktem Himmel, einzusetzen. Eine nahezu 1:1 Übereinstimmung mit destruktiven Methoden in verschiedenen Kulturen beobachteten Grantz & Williams (1993), Rover & Koch (1995), Ollat et al. (1998) sowie Hicks & Lascano (1995).

Untersuchungen zur Genauigkeit des Pendelsensors zur Erfassung der Pflanzenmasse unter definierten Bedingungen erbrachten bei verschiedenen Kulturpflanzen funktionale Abhängigkeiten zwischen Pendelwinkel und Frisch- bzw. Trockenmasse mit Bestimmtheitsmaßen von durchschnittlich 0,9 (Ehlert et al., 2002).

Qualitätsangaben zur Heterogenitätserfassung von Hydro-N-Sensor und Luftbild sind unter anderem bei Ludowicy et al. (2002) aufgeführt.

### **6.5.7 Ausblick und zukünftige Arbeiten**

Der frühe Wachstumsreglereinsatz auf der Basis von Chlormequat wird analog der im Zwischenbericht 2000 und 2001 dargestellten Vorgehensweise im absetzigen Verfahren auf allen Pflichtschlägen im Frühjahr 2002 durchgeführt. Dafür wird in Zusammenarbeit mit TP III-2 (Bestandesführung) und TP III-1b (Software Lohnunternehmer) ein Modul erarbeitet, dass auf dem Aussaatmodul von TP III-2 aufbaut.

Die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung mit der Unkrautsensor-Traktor-Spritzenkombination soll auf ausgewählten Pflichtschlägen im Frühjahr 2002 erfolgen. Die Einhaltung des optimalen Bekämpfungstermins erlaubt den Einsatz der Spritze nur auf solchen Schlägen, die schnell zu erreichen sind. Deshalb wurden 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 in frühen Entwicklungsstadien nicht. Falls auf den Pflichtschlägen eine Fungizidbehandlung im Frühjahr nötig ist, wird deshalb diese Applikation flächeneinheitlich durchgeführt.

Eine teilflächenspezifische Fungizidbehandlung in Echtzeit mit der Pendelsensor-Traktor-Spritzenkombination soll auf den Projektbetrieben der TAS-Raguhn ab etwa dem Stadium Ährenschieben unter Einbeziehung der Meldungen des Warndienstes der Länder erfolgen. Die Erreichbarkeit und die Einhaltung optimaler Bekämpfungstermine stehen dabei wiederum im Vordergrund für die Wahl dieser Betriebe. Für die anderen Projektschläge erfolgt eine eventuell notwendig werdende späte Fungizidbehandlung flächeneinheitlich.

Die für eine großräumige Erfassung der Pflanzenoberfläche in Winterweizen mit Pendel, Hydro-N-Sensor und Luftbild vorgestellten Ergebnisse basieren auf nunmehr zweijährigen Versuchen. Eine Verallgemeinerung der sehr unterschiedlichen Ergebnisse im Versuchsjahr 2001 sind noch nicht möglich. Daher ist im kommenden Jahr eine Wiederholung der vorge-

stellten Versuchsserie vorgesehen. Die Lage der Stichprobenpunkte soll verändert werden, so dass die Quadrate zwischen den Fahrspuren ausgemäht werden. Die Messungen der Bestandesparameter, wie z. B. des Blattflächenindex, wird dann in unmittelbarer Nähe dieser Flächen (für Regressionsanalysen Pendelwinkel zu Bestandesparameter) als auch in weiterer Umgebung (für Regressionsanalysen Vegetationsindizes Hydro-N-Sensor und Luftbild zu Bestandesparameter) erfolgen. Die Auswahl der Stichprobenpunkte wird visuell geschehen, um Bestandeshomogenität in unmittelbarer Umgebung zu gewährleisten. Damit wird die Fehlerquelle einer eventuellen Inhomogenität durch vorherige Festlegung des Stichprobenortes (Orte der Bohrstockbeprobungen) von vornherein ausgeschlossen.

### 6.5.8 Literatur

- Anonym (1999): SunScan Canopy Analysis System. User Manual, Cambridge
- Anonym (2001): Precision Farming im Pflanzenschutz. KTBL-Schrift 402, Darmstadt
- Billier, R. H.; Hollstein, A.; Sommer, C. (1997): Precision application of herbicides by use of optoelektronic sensors. Proceedings of the 1<sup>st</sup> European conference on Precision Agriculture, In: Stafford, J. V. (ed.), BIOS Scientific Publishers Ltd, UK: 451-458
- Brown, R. B.; Steckler, J.-P.; G. A.; Anderson, G. W. (1994): Remote sensing for identification of weeds in no-till corn. Transaction of the ASAE, 37: 297-302
- Cosser, N. D.; Earl, R. (1997): Precision farming: Approaches to the management of field variation, Aspects of Applied Biology, 50: 481-486
- Dammer, K.-H.; Reh, A.; Wartenberg, G.; Ehlert, D.; Hammen, V.; Dohmen, B.; Wagner, U. (2001): Recording of present plant parameters by pendulum sensor, remote sensing, and ground measurements, as fundamentals for site-specific fungicide application in winter wheat. Proceedings 3d European Conference on Precision Agriculture, 2: 647-652
- Dammer, K.-H.; Wartenberg, G.; Adameck, R. (2000): Sensorgestützter teilflächenspezifischer Einsatz von Fungiziden und Halmstabilisatoren in Getreide. Gesunde Pflanzen, 52: 105-109
- Dohmen, B. (1996): Optoelektronisch gesteuerte Applikation von Herbiziden – Erfahrungen mit dem amerikanischen System Weedseker® bei der Unkrautbekämpfung. KTBL- Arbeitspapier 236: 86-94
- Dohmen, B. (1999): 3 Years of Applied Airborne Videography in Germany. 4<sup>th</sup>. International Airborne Remote Sensing Conference, Ottawa, 1: 281 – 288
- Ehlert, D.; Hammen, V.; Adameck, R. (2002): On-line sensor pendulum-meter for determination of plant mass. Precision Farming, (im Druck)
- Felton, W. L.; Mc Cloy, K. R. (1992): Spot spraying. Agricultural Engineering, 11: 9-12
- Gerhards, R.; Kühbauch, W. (1999): Detection of weeds and spraying onlines the ultimate in weed control. Proceedings of the XIV<sup>th</sup> International Plant Protection Congress, Jerusalem, Israel, July 25.-30.: 87
- Grantz, D. A.; Willams, L. E. (1993): An empirical protocol for indirect measurement of leaf-area index in grape. Hortscience, 28: 777-779
- Guyot, G.; Baret, F.; Major, D. J. (1988): High spectral resolution: Determination of spectral shifts between red and near infrared. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 11: 750-760
- Hiks, S. K.; Lascano, R. J. (1995): Estimation of leaf-area index for cotton canopies using the LA-COR LAI-2000 plant canopy analyzer. Agromomy Journal, 87: 458-464
- Ludowicy, C; Schwaiberger, R.; Leithold, P. (2002): Precision Farming Handbuch für die Praxis. DLG-Verlag, Frankfurt

- Ollat, N.; Fermaud, M.; Tandonnet, J. P.; Neveux, M., (1998): Evaluation of an indirect method for leaf area index determination in vineyard: Combined effects of cultivar, year and training system. *Vitis*, 37: 73-78.
- Pallutt, B.; Roder, W. (1992): Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von unkrautbedingten Ertragsverlusten bei Wintergetreide. *Zeitschrift Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIII*: 129-137
- Perry, C. R.; Lautenschlager, L. F. (1984): Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 14: 169-182
- Rover, A.; Koch, H. J., (1995): Indirect determination of leaf-area index of sugar-beet canopies in comparison to direct measurement. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 174: 189-195
- Schwaiberger, R. (2001): „Hydro-N-Sensorsysteme“ im praktischen Einsatz-Status Quo 2001. Tagungsband VDI: 297-302
- Sodhi, P. S.; Dhaliwal B. K. (1998): Effect of crop density and cultivars on competitive interaction between wheat and wild oats (*Avena ludoviciana* Dur.). *Indian Journal of Ecology*, 25: 138-145
- Wartenberg, G.; Schmidt, H. (1999): Fotosensoren – eine Alternative für die Unkrauterkenung. *Landtechnik*, 54: 340-341
- Wilhelm, W. W.; Ruwe, K.; Schlemmer, M. R. (2000): Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. *Crop Science*, 40: 1179-1183
- Welles J. M.; Norman J. M. (1991): Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal*, 83: 818-825