

4.7 Fungizide, Herbizide, Halmstabilisatoren

Teilprojektleiter:	Dr. D. Ehlert
Bearbeiter:	Dr. K.-H. Dammer, Dr. H. Degler
Einrichtung:	Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim

4.7.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung

Der teilflächenspezifische Pflanzenschutz war Bestandteil im Gesamtkonzept des Verbundprojektes *preagro*. Daraus resultierte die Aufgabenstellung, Regeln für die Entscheidungsfindung zum teilflächenspezifischen Einsatz von Herbiziden, Wachstumsreglern und Fungiziden zu entwickeln und diese im praktischen Einsatz zu testen. Der teilflächenspezifische Pflanzenschutz war technologisch und betriebswirtschaftlich in den Ablauf der acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen der Projektbetriebe des Verbundprojektes zu integrieren.

Da auf dem Gebiet des teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes weder national noch international praxisreife Verfahren existieren, wurde die ansatzweise Erarbeitung von Prinzipien zum ortsspezifischen Pflanzenschutz als mit dem Teilprojekt anzustrebendes Ergebnis formuliert. Zur technischen Umsetzung des teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes sollten am Institut für Agrartechnik Bornim (ATB) entwickelte Sensorsysteme für den bedarfsgerechten Pflanzenschutz eingesetzt werden. Für den praktischen Einsatz der Sensoren sollten robuste und praxisreife Algorithmen und Eichfunktionen zur Ableitung von Maßnahmen anhand der Sensordaten ausgearbeitet werden. Erste Prototypen von Software-Modulen zur Entscheidungsunterstützung waren zu erstellen, falls ein breiter Praxiseinsatz einen erfolgreichen Einsatz des Algorithmus bestätigte.

4.7.2 Durchgeführte Maßnahmen, Forschungsarbeiten

Teilflächenspezifische Wachstumsreglerapplikation

Im konventionellen Weizenanbau ist die Wachstumsreglerapplikation eine Standardmaßnahme, um den vom Landwirt angestrebten Ertrag zu sichern, d.h. ein Lagern des Getreides zu verhindern. In Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt III-2 (Bestandesführung) wurden Applikationsregeln zur Differenzierung der Aufwandmenge von Wachstumsreglern erarbeitet. Die teilflächenspezifische Applikation des Wachstumsreglers CCC (Wirkstoff: Chlormequat) erfolgte auf den Pflichtschlägen der Betriebe mit vorhandener Spritztechnik im absetzigen Verfahren entweder in einer einmaligen Gabe oder beim Splittingverfahren mit der zweiten Gabe (erste Gabe: flächeneinheitliche Applikation). Kann eine CCC-Applikation im Frühjahr aus Gründen der Befahrbarkeit nicht realisiert werden, können spätere Gaben mit Mitteln auf Ethephonbasis bzw. Trinexapac notwendig werden. Deshalb wurde im Jahr 2000 in einem Versuch eine späte Wachstumsreglergabe im Echtzeitverfahren mittels Pendelsensor und Feldspritze auf einem Winterweizen-schlag des Projektbetriebes „Ostrauer Agrar GmbH“ mit dem Mittel Moddus® (Wirkstoff: Trinexapac) getestet. Als Bewertungskriterium der Wirksamkeit der teilflächenspezifischen Wachstumsreglerapplikation diente das Auftreten bzw. Nichtauftreten von Lager in den Teilflächen mit unterschiedlicher Aufwandmenge.

Teilflächenspezifische Herbizidapplikation

Der am ATB entwickelte optoelektronische Unkrautsensor erfasst die Verunkrautung im Schlag mit einer hohen Informationsdichte. Es konnte ein Algorithmus geschaffen werden, der das vom Sensor gelieferte räumlich hochaufgelöste Signal in eine Spritzanweisung für den Jobrechner einer Feldspritze umwandelt. Eine Echtzeitapplikation von Herbiziden mit der entwickelten Unkrautsensor-Traktor-Spritzkombination wurde in den zwei Projektbetrieben „Ostrauer Agrar GmbH“ und „WIMEX GmbH“ durchgeführt. Aufgabe war, in Feldversuchen die Auswirkung des teilflächenspezifischen Verfahrens der Herbizidapplikation im Vergleich zur einheitlichen Applikation hinsichtlich der Nachverunkrautung und des Ertrages zu bewerten.

Teilflächenspezifische Fungizidapplikation

Ähnlich der teilflächenspezifischen Wachstumsreglerapplikation lagen bei der teilflächenspezifischen Applikation von Fungiziden keinerlei praktische Erfahrungen sowie pflanzenbaulich begründete Entscheidungsalgorithmen zur Mengendifferenzierung innerhalb eines Schlages vor. Es wurde eine Methode entwickelt, die die zu benetzende Pflanzenoberfläche (Blattflächenindex, leaf area index LAI) als Kriterium für die Menge der ausgebrachten fungiziden Spritzbrühe nutzt. Die im Projekt geforderte Praxistauglichkeit einer teilflächenspezifischen Fungizidapplikation machte die Ermittlung des aktuellen Blattflächenindex zur Differenzierung der Applikationsmenge mit hoher Informationsdichte notwendig. Der am ATB für die Pflanzenmasseerfassung entwickelte Pendelsensor liefert ein hoch aufgelöstes Ausgangssignal zur indirekten Ermittlung der Pflanzenoberfläche. Es wurde ein Algorithmus erstellt, der den Pendelwinkel als Parameter zur Anpassung der Fungizidmenge an die Wachstumsunterschiede im jeweiligen Winterweizenschlag nutzt. Im ersten Versuchsjahr 1999 erfolgte die teilflächenspezifische Fungizidapplikation zu Testzwecken im absetzigen Verfahren. Nach vorheriger Detektion der Wachstumsunterschiede mit dem Pendelsensor wurde auf einer Winterweizenfläche in unmittelbarer Nähe des ATB eine Tankmischung aus Fungizid und Wachstumsregler in drei unterschiedlichen Aufwandmengen appliziert. In dem Folgejahr 2000 konnte mit einer Pendelsensor-Traktor-Spritzkombination der differenzierte Fungizideinsatz innerhalb eines Feldversuches auf dem Projektbetrieb „Ostrauer Agrar GmbH“ realisiert werden. Das teilflächenspezifische Verfahren der Fungizidapplikation sollte in den Feldversuchen im Vergleich mit einer einheitlichen Applikation in dessen Wirkung auf Ertrag und Krankheitsauftreten getestet werden.

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

Im Projekt wurden verschiedene Sensoren zum Charakterisieren von heterogenen Kulturpflanzenbeständen während der Wachstumsperiode eingesetzt, um daraus teilflächenspezifische acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen abzuleiten. Das Ziel bestand darin, die beim Einsatz dieser Sensoren gewonnenen Informationen zu nutzen, um eine Spritzentscheidung hinsichtlich fungizider Mengendifferenzierung zu treffen. Der Pendelsensor (Ehlert et al., 2002), die Luftbilder (Dohmen, 1999) sowie der Hydro-N-Sensor (Schwaiberger, 2001) liefern jedoch indirekte Messwerte (Pendelsensor: Auslenkwinkel, Luftbilder und Hydro-N-Sensor: reflektierter Strahlungsanteil in verschiedenen Wellenlängen des Lichts). Verschiedene Einflussgrößen wie z.B. Witterung, Lichtverhältnisse und Sorteneigenschaften können die Messwerte beeinflussen. Es wurde deshalb ein über den ursprünglichen Projektantrag hinausgehendes, zusätzliches Ver-

suchsprogramm aufgelegt. Es sollte untersucht werden, inwieweit sich mit den im Projekt verwendeten Sensoren die Pflanzenoberfläche erfassen lässt. Dies wurde in Weizenschlägen getestet, die eine unterschiedlich ausgeprägte Wachstumsheterogenität aufwiesen. Zur Bewertung der Sensoren erfolgte in diesen Schlägen der Einsatz der einzelnen Sensoren und zum Vergleich Handmessungen der Bestandesparameter Halmdichte und -höhe sowie Blattflächenindex.

4.7.3 Zielerfüllung/-erreichung

Biologische Zusammenhänge bei der teilflächenspezifischen Applikation von Herbiziden, Wachstumsreglern und Fungiziden wurden untersucht. Es erfolgte die Erarbeitung von Algorithmen zur Applikationsmengendifferenzierung der drei Pflanzenschutzmassnahmen. Im Fall der Herbizid-, Fungizid- und später Wachstumsreglerapplikation dienten die vom Unkrautsensor- bzw. vom Pendelsensor ermittelten Messwerte als Eingangsparameter für die Algorithmen. Nach Verarbeitung der Messwerte im Jobrechner der Feldspritze sowie der Anweisung eines neuen Sollwertes im Bordcomputer wurde die Applikationsmenge im Echtzeitverfahren der ortsspezifischen Unkrautabundanz bzw. dem ortsspezifischen Blattflächenindex angepasst.

Das Verfahren der teilflächenspezifischen Applikation von Wachstumsreglern fand in den Projektbetrieben statt, wo die vorhandene Spritztechnik eine differenzierte Applikation erlaubte. Die Anpassung der Wachstumsreglermenge erfolgte im absetzigen Verfahren, d.h. über eine Spritzkarte wurde die Mengenanweisung auf eine Chipkarte gespeichert, die die Information für den Bordcomputer enthält. Dieser gibt dann den momentanen Sollwert an den Jobrechner der Feldspritze weiter. Mit Ausnahme des Versuchsjahres 2002 trat kein wesentliches Lager in den Pflichtschlägen mit differenzierter CCC-Applikation auf. Die erste Version eines Anwenderprogramms zur Berechnung der CCC-Menge wird bis zum Ende der Projektlaufzeit erstellt. Die Eingabemasken für den Anwender werden in der Programmiersprache VisualBasic® programmiert.

Es ist möglich, späte Wachstumsreglergaben im Echtzeitverfahren entsprechend der mittels Pendelsensor detektierten Wachstumsunterschiede zu applizieren. Im Prüfglied eines Feldversuches, in dem der Wachstumsregler Moddus® (Zulassung bis BBCH 49) angewendet wurde (Projektbetrieb „Ostrauer Agrar GmbH“), konnte ein Auftreten von Lager nicht festgestellt werden.

Das Verfahren der teilflächenspezifischen Applikation von Herbiziden und Fungiziden wurde auf drei Schlägen zweier Projektbetriebe mit den am ATB entwickelten Funktionsmustern durchgeführt. Im Falle der teilflächenspezifischen Fungizid- und Herbizidapplikation in Winterweizen konnte im Mittel ein minimaler Mehrertrag und bei der Herbizidapplikation in Erbsen ein geringer Minderertrag beobachtet werden. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass durch die sensorgestützte Fungizid- und Herbizidapplikation keine Ertragsverluste aufgetreten sind. In den Schlagbereichen mit reduziertem als auch einheitlichen Mitteleinsatz war nur geringes Krankheits- und Unkrautaufreten zu beobachten. Bei der Herbizidapplikation in Erbsen konnte kurz vor der Ernte in einer Zone des Schlages eine nur geringe Nachverunkrautung von 2 Unkrautpflanzen/m² festgestellt werden, die allerdings nicht auf einer unterschiedlichen Wirkung der Prüfglieder beruhte. Es bestanden keine Befalls- bzw. Besatzunterschiede zwischen den einheitlich und den teilflächenspezifisch behandelten Prüfgliedern.

Bestandesdichte und Pflanzenhöhe beeinflussen gemeinsam den Blattflächenindex. Dieser war in allen drei Versuchsjahren in den heterogenen Schlägen mit dem Produkt aus Bestandesdichte und Pflanzenhöhe korreliert. Der Index wird für eine teilflächenspezifische Fungizidapplikation als geeignet angesehen, da eine sensorische Detektion von Pflanzenkrankheiten zur Echtzeitsteuerung einer Feldspritze unter Praxisbedingungen derzeit nicht möglich ist.

Korrelationen zum Auslenkwinkel des Pendelsensors bzw. den Vegetationsindizes des Hydro-N-Sensors und der Luftbilder waren in den heterogenen Versuchsschlägen zu beobachten. Die Spannweite des mit den Handmessgeräten ermittelten Blattflächenindex war hier größer als in den homogenen Schlägen, wo keine Korrelation bestand. Ein differenziertes Bild zeigte sich in den Jahren 2001 und 2002 in den heterogenen Schlägen, wo eine Breitsaat mit dem Airseeder® erfolgt war. In diesen Beständen bestand besonders zu den frühen Terminen der Datenerhebung oft keine Korrelation.

4.7.4 Übersicht und Zusammenfassung

Während der Laufzeit des Projektes erfolgte die Bearbeitung folgender Teilgebiete:

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

Es wurden Entscheidungsalgorithmen erarbeitet, wobei im Falle der teilflächenspezifischen CCC-Applikation bis zum Ende der Laufzeit des Projektes ein computergestütztes Modul entsteht. 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 Schätzertrag, Lagerneigung der Sorte und Bestandesentwicklung im Frühjahr. Bestandesbonituren durch das Teilprojekt III-1b (Software Lohnunternehmer) ergaben kein Auftreten von Lagergetreide in den einzelnen Teilbereichen. Nach spätem mengendifferenzierten Einsatz des Wachstumsreglers Moddus® im Echtzeitverfahren mit dem Pendelsensor konnte Lagergetreide nicht festgestellt werden.

Grundlage für die technische Umsetzung des teilflächenspezifischen Fungizid- und Herbizideinsatzes entsprechend der aktuellen Pflanzenoberfläche bzw. Verunkrautung des Bestandes ist die Entwicklung von Sensoren für die Unkraut- und Pflanzenmasseerfassung am ATB. In den durchgeführten Versuchen wurde das Verfahren der teilflächenspezifischen Echtzeitapplikation von Herbiziden und Fungiziden mit einer handelsüblichen Feldspritze auf Praxisschlägen erprobt und verfahrenstechnisch weiterentwickelt.

Mit der am ATB als Versuchsmuster vorhandenen echtzeitfähigen Feldspritze erfolgte im Herbst 2001 mit Hilfe des Unkrautsensors auf dem Winterweizenschlag „Kötzdorf“ des Projektbetriebes „Ostrauer Agrar GmbH“ die Anpassung der Herbizidaufwandmenge an die detektierte Verunkrautung. Bei einer durchschnittlich ausgebrachten Menge von 174,6 l/ha (einheitlich: 200 l/ha) in den teilflächenspezifischen Prüfgliedern konnten 12,70 % an Betriebsmitteln (Wirkstoff und Wasser) eingespart werden. Als mittlerer örtlicher Relativertrag wurde der Median 1,03 ermittelt. Dies bedeutet, dass im Mittel in den teilflächenspezifischen Prüfgliedern 3 % Mehrertrag

erzielt wurde. Der Versuch zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation in Körnererbsen im Versuchsjahr 2002 (Schlag „Gahrendorf rechts“) des Betriebes „WIMEX GmbH“ erbrachte in den teilflächenspezifischen Prüfgliedern eine mittlere teilflächenspezifische Aufwandmenge von 113,20 l/ha (einheitlich: 200 l/ha), woraus eine Einsparung von 43,40 % resultiert. Der Median des örtlichen Relativertrages betrug 0,97. Es wurden somit in den teilflächenspezifischen Prüfgliedern im Mittel 3 % weniger geerntet.

Entsprechend der in einem separaten Arbeitsgang mittels Pendelsensor erfassten Wachstumsunterschiede erfolgte im Versuchsjahr 1999 eine dreistufige Applikation einer Tankmischung aus Fungizid und Wachstumsregler (300, 200 und 100 l/ha). Der Kerndrusch ergab in der teilflächenspezifisch behandelten 76,84 dt/ha und in der flächeneinheitlich gespritzten Variante 68,25 dt/ha, was einen Mehrertrag von etwa 13 % bedeutet.

Der Feldversuch zur teilflächenspezifischen Echtzeitapplikation von Fungiziden erfolgte in der Ostrauer Agrar GmbH. Hier wurden in den teilflächenspezifischen Prüfgliedern im Mittel 265,41 l/ha fungizide Spritzbrühe appliziert, was eine Einsparung von etwa 12 % bedeutet. Der relative durchschnittliche Mehrertrag durch die teilflächenspezifische Applikation betrug 3 % (Median: 1,03).

In allen Feldversuchen konnte kein stärkeres Auftreten von Schaderregern und Unkräutern bzw. Lagergetreide in den Prüfgliedern der teilflächenspezifischen Verfahren gegenüber den einheitlich behandelten beobachtet werden. Aus den unwesentlich höheren Ertrag in den teilflächenspezifischen Varianten kann geschlussfolgert werden, dass keine Ertragsverluste durch das Verfahren des teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes in den 4 Versuchsjahren aufgetreten sind.

Am genauesten erfassten Pendelsensor, Luftbild und Hydro-N-Sensor die Wachstumsunterschiede in heterogenen Weizenbeständen. In den homogeneren Schlägen bestand im allgemeinen keine Korrelation zwischen den sensorisch ermittelten Parametern und den Werten der Handmessungen. Bei geringen Unterschieden hinsichtlich der Pflanzenoberfläche innerhalb eines Schlages ist der Sensoreinsatz nicht lohnenswert. In den heterogenen Schlägen mit Breitsaat durch den Airseeder® zeigte sich ein differenziertes Bild. Besonders zu den frühen Terminen der Datenerhebung bestand oft keine Korrelation. Hier brachten Vergleichsmessungen der Bestandesparameter in einer Distanz von wenigen Metern unterschiedliche Werte. Unter diesen Bedingungen sind Punktmessungen zu überdenken.

4.7.5 Einleitung und Problemstellung

Voraussetzung für eine teilflächenspezifische Bekämpfung von Schaderregern und Unkräutern ist die Erfassung der Strukturelemente einer Schaderregerpopulation, d.h. ihrer räumlichen Verteilung (Dispersion) und Befallsintensität (Abundanz). Sie sind zur Abschätzung des zu erwartenden wirtschaftlichen Schadens sowie für Ort und Zeitpunkt einer teilflächenspezifischen chemischen Regulierung unverzichtbar. Die zumeist aggregierte Schaderregerverteilung bzw. die zonalen Bestandesunterschiede erfordern für eine effiziente teilflächenspezifische Pflanzenschutzmaßnahme eine Merkmalserfassung entlang eines verhältnismäßig engen Stichprobenrasters. Manuelle Bonituren mittels Feldbegehung können eine schnelle Erfassung der Verteilungsverhältnisse von Schaderregern und Bestandesparametern 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 maschinengetragenen Sensoren rückt eine kleinräumige Erfassung von Schaderregern in den Bereich des Machbaren. Eine schnelle Messwertverarbeitung in Jobrechner und im Bordcomputer ermöglicht es darüber hinaus, die Aufwandmenge bei der Applikation eines Pflanzenschutzmittels den erfassten Befalls- bzw. Bestandesverhältnissen in Echtzeit anzupassen.

Teilflächenspezifische Wachstumsreglerapplikation

Nach „Bestandesbegründung“ mit der Aussaat ist nach eventueller Herbizidbehandlung im Herbst und erster Stickstoffgabe zum Vegetationsbeginn der Einsatz von Wachstumsreglern in chronologischer Reihenfolge die nächste bestandesführende Maßnahme zur Sicherung des Zelertrages. Chlormequat-Wachstumsregler (CCC) hemmen die Produktion des Wachstumshormons Gibberelin in der Pflanze. Gleichzeitig wird die Bildung von Cytokinin angeregt, was die Zellteilung fördert und die Alterung verzögert.

Ziel einer sehr frühen Anwendung von CCC (ab Bestockungsbeginn, BBCH 21 - 25) in besonders dünnen Beständen (geringes bzw. kein Lagerrisiko) ist nicht die Einkürzung des Halmes zur Erhöhung der Standfestigkeit, sondern die Förderung der Entwicklung von Nebentrieben. Zu Beginn der Schossphase (BBCH 30) angewendet, bewirkt der CCC-Einsatz jedoch eine Stauchung der unteren Internodien. Es werden immer nur die Internodien gestaucht, die sich gerade in der Streckungsphase befinden. In stark lagergefährdeten Beständen (vor allem in Gegenden mit ausreichender Wasserversorgung) hat sich anstatt einer einmaligen Gabe ein Splitting der CCC-Gabe durchgesetzt. Die erste Gabe erfolgt in diesem Fall zum Ende der Bestockung bis Schossbeginn (BBCH 25 - 30); die zweite Anwendung im 1- bis 2-Knotenstadium (BBCH 31/32). Die Höchstmenge darf bei einmaliger Gabe wie auch beim Splitting insgesamt 2,1 l/ha nicht überschreiten.

Der erstellte Entscheidungsalgorithmus bezieht sich ausschließlich auf die Maßnahme der Halmverkürzung, nicht auf die der Bestockungsförderung. Für eine Differenzierung der Aufwandmenge von Wachstumsreglern sind Wachstumsunterschiede der Kulturpflanze innerhalb eines Schlages während der Vegetationsperiode von Bedeutung. Diese werden durch standortspezifische (z.B. Boden, Wetter) sowie acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen (z.B. Stickstoffdüngung) bestimmt. Die Standfestigkeit der Sorte ist ein weiterer Faktor, der für die Bemessung der Applikationsmenge wichtig ist. Da die Applikation von CCC im Zweiknotenstadium abgeschlossen sein sollte und Bestandesparameter wie beispielsweise die Bestandesdichte vor BBCH 32 sich schwer sensorisch erfassen lassen, wurde ein Entscheidungsalgorithmus für das absetzige Verfahren erstellt. Das Modul gibt zunächst eine Mengenempfehlung bei einmaliger Halmstabilisatorgabe. Im Falle eines Splittings wird eine Empfehlung zur Differenzierung der zweiten Gabe gegeben, während die erste Gabe flächeneinheitlich ausgebracht wird.

In der vorliegenden Version wird für die Aussaatpolygone eine Mengenempfehlung für folgende im Pflanzenschutzverzeichnis gelisteten Produkte gegeben:

„Chlormequat 720“, „Stefes CCC 720“, „Belcocel“, „Cycocel 720“, „CECECE 720“.

Alle enthalten als Wirkstoff 720 g/l Chlormequat.

Wachstumsregler der Wirkstoffe Etephon und Trinexapac bieten die Möglichkeit, noch zu einem späterem Wachstumsstadium als BBCH 32 eine Halmverkürzung höher gelegener Internodien zu ermöglichen. Hier bieten sich aktuelle Pflanzenparameter an, um die Aufwandmenge dieser eher teureren Mittel zu differenzieren. Es sollte in einem Feldversuch getestet werden, inwieweit sich eine Echtzeitapplikation mittels Pendelsensor realisieren lässt.

Teilflächenspezifische Herbizidapplikation

Hinsichtlich des Erkenntnisstandes auf dem Gebiet des Pflanzenschutzes war zu Beginn des Forschungsprojektes hinsichtlich der Unkrautbekämpfung der größte wissenschaftliche Vorlauf zu verzeichnen. Im absetzigen Verfahren wird die aktuelle Verunkrautung durch Bonituren (Nordmeyer und Häusler, 2000), Luftbilder (Nette et al., 2000) oder bereits mit optischen Sensoren (Biller et al., 1997, Gerhards und Kühbauch, 1999) erfasst und bildet die Grundlage für eine Anpassung der Herbizidmenge in Feldversuchen mit vorrangig wissenschaftlicher Fragestellung. Eine Echtzeitapplikation von Herbiziden unter Einsatz von optoelektronischen Sensoren zur Unkrauterfassung wurde bereits erfolgreich bei der Bekämpfung von Unkräutern bzw. unerwünschtem Bewuchs auf Bahnschienen (Dohmen, 1996), auf Brachland und in Obstplantagen (Felton und Mc Cloy, 1992) sowie auf Weideland (Brown et al., 1994) oder in Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben (Biller et al., 1997) angewendet. Methoden der Bildanalyse ermöglichen eine artenbezogene Unkrautererkennung sowie die Unterscheidung zur Kulturpflanze und sind ein vielversprechender Ansatz der Echtzeitapplikation in Getreide, Zuckerrüben und Mais (Gerhards et al., 2002). Für einen Sensoreinsatz anstelle von Handbonituren zur Erfassung der Unkräuter spricht der hohe Arbeitsaufwand von 3 bis 4,5 Arbeitskräftestunden pro Hektar (Wartenberg, 2001). Sensoren bieten den Vorteil, in Verbindung mit einer Pflanzenschutzspritze, eine Echtzeitapplikation des Herbizides zu ermöglichen. Die Unkrauterfassung und die Herbizidapplikation in verschiedenen Arbeitsgängen entfällt. Die Zusatzkosten verursachende Erstellung einer Applikationskarte mit einem Geographischen Informationssystem ist nicht mehr nötig.

Am Institut für Agrartechnik Bornim (ATB) wurde ein optoelektronischer Unkrautsensor entwickelt, um eine Echtzeitapplikation mit praxisüblicher Fahrgeschwindigkeit durchzuführen. Ein modularer Entscheidungsalgorithmus erlaubt das Realisieren des Schadenschwellenprinzips auf den jeweiligen Teilflächen.

Teilflächenspezifische Fungizidapplikation

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 den erfolgten acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen zu erwartenden 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. Zunächst erfolgte im ersten Projektjahr 1999 eine Anpassung der Fungizidmenge an die geschätzte Zielfläche im absetzigen Verfahren. Mit den durchgeführten Versuchen in den drei Folgejahren 2000 bis 2002 sollte ermittelt werden, inwieweit der am Institut für Agrartechnik Bornim entwickelte Pendelsensor im Echtzeitverfahren als Bemessungsgrundlage für die Aufwandmenge dienen kann. Dieser wurde erfolgreich zur Heterogenitätserfassung in Gras, Reis und Getreide (Ehlert et al., 2002) eingesetzt. In den Untersuchungen der Autoren bestand eine hohe Korrelation des Auslenkwinkels zur oberirdischen Pflanzenmasse. Da die Pflanzenmasse in direktem Verhältnis zur Pflanzenoberfläche steht, bietet der Auslenkwinkel des durch den Getreidebestand geführten Pendelsensors eine indirekte Möglichkeit, die Zielfläche (Blattflächenindex) zu ermitteln.

4.7.6 Methoden/Vorgehensweise

Algorithmus zur teilflächenspezifischen Wachstumsreglerapplikation

Der Entscheidungsalgorithmus bzw. das Modul zur teilflächenspezifischen Wachstumsreglerapplikation baut auf dem Aussaatmodul des TP III-2 (Roth, Kühn, 2002) auf und nutzt die bereits ausgegrenzten Teilflächen. Auf Schlägen mit differenzierenden Bodeneigenschaften tragen die unterschiedlichen Aussaatmengen zur Ausbildung heterogener Pflanzenbestände bei. Entsprechend dem Zielertrag wird in den weniger „wüchsigen“ Bereichen eine geringere Menge Saatgut gedrillt als in Bereichen guter Bodenqualität. Wo mit einer geringeren Pflanzenmasse während der Vegetationsperiode zu rechnen ist, muss der Halm zur Sicherung des Zielertrages nicht so stark eingekürzt werden. Teilflächen mit einem unterschiedlichen Zielertrag werden durch die Polygone im Ergebnis des Aussaatmoduls definiert. Diesem unterschiedlichen Zielertrag wird die Chlormequatmenge angepasst. Eine Veränderung der Polygone auf Grund sich im Winter und Frühjahr unterschiedlich entwickelnder Teilflächen ist in der ersten Version des Moduls zunächst nicht vorgesehen.

Im Folgenden wird der Entscheidungsalgorithmus erläutert. Insgesamt drei Parameter bestimmen die Applikationsmenge:

1. Schätzertrag

Wichtigste Eingangsgröße für den Schätzertrag ist das Ertragspotenzial, welches sich aus Bodenqualität und durchschnittlichem Jahresniederschlag für die jeweilige Region ergibt. Nähere Angaben sind dem Aussaatmodul zu entnehmen. Zu- bzw. Abschläge für folgende ertragsbeeinflussende Faktoren bestimmen weiterhin den Schätzertrag:

- Qualitätsstufe laut beschreibender Sortenliste
- Vorfruchtgruppe (gut, mittel, schlechte Vorfruchtwirkung)
- Aussaattermin (ideale Saatzeitspannen regionenspezifisch).

Weiterhin gehen die Erfahrungen des Betriebsleiters als Korrekturmöglichkeit für den Schätzertrag ein. Nähere Angaben sind wiederum dem Aussaatmodul zu entnehmen.

Es werden 4 Schätzertragsklassen gebildet, die in die Aufwandmengenberechnung eingehen: Klasse 1: < 60 dt/ha, Klasse 2: 61 – 80 dt/ha, Klasse 3: 81 – 100 dt/ha, Klasse 4: > 100 dt/ha.

2. Standfestigkeit der Sorte

Standfestere Sorten brauchen nicht so intensiv eingekürzt werden wie lagergefährdete. Grundlage der Anpassung der Aufwandmenge ist die „Beschreibende Sortenliste“ des Bundessortenam-

tes. Die Sorten werden in 3 Standfestigkeitsklassen eingeordnet (hoch: Noten 7-9, mittel: Noten 4-6, gering: Noten 1-3) die zur Aufwandmengenberechnung genutzt werden.

3. Bestandesentwicklung im Frühjahr bzw. Wirkung der ersten Stickstoffgabe

Eine Lagergefährdung der Winterweizenbestände ist erst mit Ausbildung des Halmes gegeben. Sie hängt von Halmlänge und -durchmesser, insbesondere aber von der Anzahl ährentragender Halme/m² ab. Aus der Aussaatmenge bzw. der Anzahl Pflanzen/m² im Herbst ist es jedoch nicht immer möglich, auf die Anzahl ährentragender Halme/m² im darauffolgenden Jahr zu schließen. Während der Wintermonate können sich die Bestände unterschiedlich entwickeln. Temperaturen über 5 °C (Tagesdurchschnitt) haben eine Unterbrechung der Vegetationsruhe zur Folge, führen zu einem Wachstumsschub und die Bestockung kann weiter voranschreiten. Kahlfröste können dagegen zu Pflanzenverlusten führen, ähnlich wie vernässte Bereiche bzw. Stauwasser in Senkenbereichen sowie Schaderregerauftreten.

Ausreichend Niederschlag und wachstumsbegünstigende Temperaturen > 10 °C (Tagesmittel) unmittelbar nach der ersten Stickstoffgabe im Frühjahr lassen üppige Bestände erwarten. Vergleichsweise viele der gebildeten Nebentriebe treten in die Schossphase ein. Der Lagergefahr in den wachstumsstarken Beständen sollte mit einem Zuschlag in der Halmstabilisatormenge begegnet werden. Fehlende Niederschläge mindern dagegen die Stickstoffwirkung. Eine Halmverkürzung muss dann nicht so intensiv erfolgen.

Ein Hilfsmittel für die Einschätzung der zu erwartenden Bestandesdichte im Sommer und damit der Intensität der Halmverkürzung ist die Erfassung der Anzahl aufgerichteter Triebe zum Beginn des Schossens (BBCH 30). Im Modul werden 3 Klassen der Nachwinter- bzw. Frühjahrsentwicklung gebildet, von denen die Mengenbemessung abhängt:

- unternormal (dünn): 150 – 380 Anzahl starker Triebe/m²
- normal: 381 – 600 Anzahl starker Triebe/m²
- übernormal (mastig): 601 – 750 Anzahl starker Triebe/m².

Zur späten Wachstumsreglerapplikation (Wirkstoffe Trinexapac) wurde in einem Feldversuch getestet, inwieweit sich das Verfahren einer Echtzeitapplikation mittels Pendelsensor realisieren lässt.

Die Erfassung von eventuell auftretendem Lager in den durchgeführten Versuchen wurde mittels Bonituren in den Zonen mit unterschiedlicher Aufwandmenge durch Teilprojekt III-1b (Software Lohnunternehmer) bzw. durch eigene Bonituren sichergestellt. Luftbildaufnahmen durch das Teilprojekt II-4 (Bestandesinformation) lieferten Informationen über die Lagersituation im gesamten Schlag.

Algorithmus zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation

Ein praxistauglicher Ansatz für eine teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden lässt sich auf Grund der Komplexität der Dispersionsdynamik der Unkräuter und deren Wechselwirkung mit der Kulturpflanze in Form eines Ertragsverlustes nur realisieren, wenn einfach zu erfassende Parameter zur Ableitung von Algorithmen für die Herbizidmengendifferenzierung herangezogen werden.

Der Integrierte Pflanzenschutz hat nicht die Vernichtung eines Schaderregers bzw. Unkrautes zum Ziel, sondern dessen Bekämpfung, wenn diese eine bestimmte Schadensschwelle überschreiten. Bei der Beurteilung der Schadwirkung der Unkrautflora wird von einer artenbezogenen Kar-

tierung innerhalb des Schlages ausgegangen. Die Abundanz geht dann als Eingangsparameter in Modelle (Pallutt et al., 1992, Gerhards et al., 1993) ein, die den Ertragsverlust zur Ernte berechnen. Forschungsergebnisse am ATB ergaben, dass auf Grund des hohen Arbeitsaufwandes, besonders bei der Unkrauterfassung, die Verfahrenskosten bei diesem absetzigen Verfahren höher sind als die erzielte Mittelleinsparung (Schmerler et al., 1998). Am ATB wurde deshalb ein optoelektronischer Unkrautsensor zur Unkrauterfassung entwickelt. In Verbindung mit einer Feldspritze kann die Unkrauterfassung und teilflächenspezifische Herbizidapplikation in einem Arbeitsgang erfolgen.

Im folgenden wird der Algorithmus für die Mengenbestimmung bei der teilflächenspezifischen Herbizidapplikation erläutert:

1. Unkrautdetektion in kulturpflanzenfreien Zonen – Fahrspuren

Dieser Ansatz basiert auf Untersuchungen von Petry (1989), der eine ähnliche Intensität der Verunkrautung innerhalb der Fahrspur und dem benachbarten Getreidebestand bis zum behandlungsrelevanten Zeitpunkt im Frühjahr feststellte (Abb. 4.7-1).

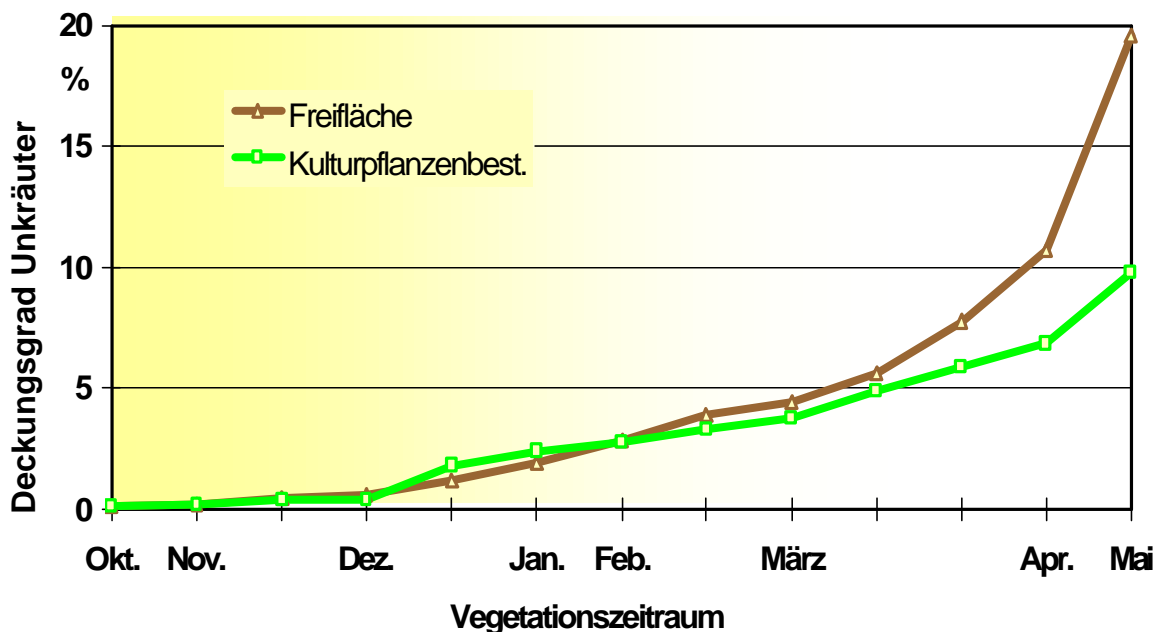


Abb. 4.7-1 : Zeitliche Unkrautentwicklung in der Fahrspur und dem benachbarten Kulturpflanzenbestand im Getreide (nach Petry, 1989)

2. Artenspezifische Unkrautdetektion

Langjähriges Unkrautmonitoring belegt, dass feldspezifische Unkrautgesellschaften im Mittel aus 4 bis 6 Leitunkräutern bestehen, die einen Anteil von 80% an der Gesamtanzahl haben (Wartenberg, 1996). Weitere 8 bis 10 Arten treten nur sporadisch auf. Anhand dieser Leitunkräuter gibt Gerowitt et al. (1990) schlagspezifische schadenschwellenorientierte Behandlungsentscheidungen. Daran angelehnt wurden insgesamt 1395 Einzelbonituren des ATB in den Jahren 1992 bis 1998 aufbereitet. Zwischen der Unkrauthäufigkeit und der Summe des nach Pallutt et al. (1992) artenspezifisch berechneten Ertragsverlustes besteht nach Logarithmierung der Achsen eine lineare Korrelation (Abb. 4.7.-2). Dieser Zusammenhang wird im Algorithmus zur teilflä-

chenspezifischen Herbizidapplikation genutzt, um anhand der detektierten Gesamtanzahl Unkräuter auf den zu erwartenden Ertragsverlust zu schließen.

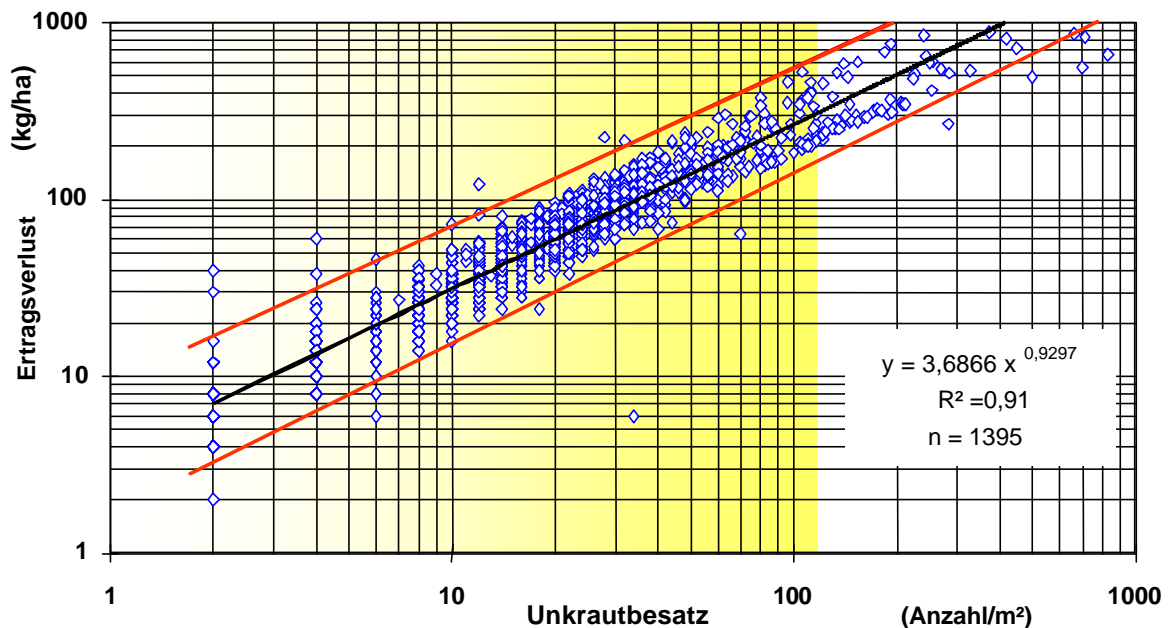


Abb. 4.7-2: Ertragsverlustfunktion mit 95 % Konfidenzintervall (Grundlage: Unkrautbonituren 1992 bis 1998 in Wintergetreide)

3. Mengendifferenzierung nach ökonomischen Schadenschwellen

Eine Pflanzenschutzmaßnahme ist nur dann ökonomisch sinnvoll, wenn der durch den Mehrertrag erzielte Erlös die Behandlungskosten übersteigt. Dividiert man die Behandlungskosten durch den Verkaufspreis des Getreides erhält man den zu erwirtschaftenden Mehrertrag, der dem verhinderten Ertragsverlust in Abb. 4.7-2 entspricht. Auf der x-Achse in der Abbildung kann dann die ökonomische Schadenschwelle in Anzahl Unkräuter/m² abgelesen bzw. mit der Gleichung errechnet werden. Umgerechnet auf die vom Unkrautsensor abgetastete Fläche ergibt sich der Sensorwert, bei dessen Erreichen die einheitliche Aufwandmenge appliziert wird.

4. Reduzierung der Herbizidaufwandmenge bis auf 50 %

Der Unkrautsensor detektiert das Unkraut in der Fahrspur. Mit der Annahme gleicher Unkrautverteilung über die Gesamtbreite des Spritzbalkens tritt eine Fehlerkomponente auf. Um dieser entgegenzuwirken, wird bei Sensorsignal 0 die Spritze nicht abgeschaltet. Die Applikationsmengenreduktion erfolgt ausgehend von der ökonomischen Schadenschwelle proportional des Sensorsignals nur bis 50 %, was im folgenden diskutiert wird:

Die vom Hersteller angegebene Dosierung eines Herbizides ist so hoch angesetzt, dass die gewünschte Wirkung auch bei ungünstigen Bedingungen zum Einsatzzeitpunkt eintritt. Kudsk (1989) gibt die Unkrautart sowie dessen Entwicklungsstadium und Umweltbedingungen als wirkungsbeeinflussende Parameter an. Als weitere zwei wichtige Faktoren werden von Kim et al. (1997) die Unkrautdichte und die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze aufgeführt. Nach Christensen (1993) und Pallutt (2002) kann die Aufwandmenge von Herbiziden bei gleichzeitiger Erhöhung der Konkurrenzkraft des Getreides z.B. durch Stickstoffdüngung und Aussaatstärke reduziert werden. Bei kleineren Entwicklungsstadien des Unkrauts gibt Dogan (1999) eine Dosie-

rungsreduktion von 30 bis 80 % in den durchgeführten Feldversuchen an, mit denen eine ausreichende herbizide Wirkung erzielt werden kann. Pallutt und Hofman (1990) beobachteten sogar Mehrerträge von 2,2 dt/ha bei der Halbierung der Aufwandmenge von Wuchsstoffherbiziden infolge der damit verbundenen verminderten phytotoxischen Effekte. Bei einer Reduktion der Wirkstoffmenge um 50 %, wie im vorgestellten Verfahren praktiziert, sind deshalb Fehlbehandlungen der sensorgestützten teilflächenspezifischen Herbizidapplikation eher unwahrscheinlich.

5. Ermittlung des Unkrautspektrums – Auswahl der Herbizide

Da der Unkrautsensor nicht nach Unkrautarten unterscheiden kann, muss im Vorfeld geklärt werden, mit welchen Arten auf dem Schlag zu rechnen ist. Die Mittelwahl gründet sich auf die Erfahrungen des Landwirtes, der den jeweiligen Schlag über die Jahre kennt.

6. Kalibrierung des Unkrautsensors auf dem Schlag

Befinden sich die Unkräuter im Keimblattstadium, korreliert der Sensorwert mit der Unkrautanzahl (Wartenberg und Dammer, 2001). Ältere dikotyle und monokotyle Unkräuter, die sich verzweigen bzw. bestocken verursachen mehrere aufeinanderfolgende gleichartige (Pflanze oder Boden) Sensorsignale. Da je nach Zeitpunkt der Applikation von Herbiziden verschiedene Entwicklungsstadien der Unkräuter nebeneinander auftreten können, erfolgt eine Eichung des Sensors. Werte von Hand- und Sensorzählungen an verschiedenen Stichprobenpunkten werden dabei mittels Regressionsanalyse gegenübergestellt. Aus dieser Beziehung wird der Sensorwert (ökonomische Schadenschwelle) ermittelt, bei dessen Erreichen die einheitliche Aufwandmenge (100%) appliziert wird.

Algorithmus zur teilflächenspezifischen Fungizidapplikation

International gibt es gegenwärtig kein Verfahren der teilflächenspezifischen Fungizidapplikation, was den Pilzbefall im Schlag berücksichtigt. Da Bonituren zur Erfassung der Krankheiten arbeitswirtschaftlich nicht sinnvoll sind, müssen Sensoren für diese Aufgabe entwickelt werden. Diese fehlen zur Zeit, um die Pilzstrukturen innerhalb der Pflanze mit einer hohen flächenbezogenen Auflösung zu detektieren. Vor allem latenter (symptomloser) Befall dürfte bei der Lösung dieses Problems die größten Schwierigkeiten bereiten. Vor dem Hintergrund einer multifaktoriell abhängigen Dispersionsdynamik der Pilzkrankheiten musste nach Alternativen gesucht werden, um im Projekt eine bedarfsgerechte Fungizidapplikation zu testen. Auf Grund des Wirkprinzips kann mit einem Pendelsensor nicht erkannt werden, ob eine Pilzinfektion vorliegt oder nicht. Im angewendeten Verfahren der teilflächenspezifischen Fungizidapplikation werden vielmehr die Wachstumsunterschiede der Kulturpflanze genutzt. Heterogene Getreidebestände zeichnen sich durch eine differenzierte Ausbildung der oberirdischen Pflanzenmasse aus und unterscheiden sich in der von der Spritzbrühe zu benetzenden Pflanzenoberfläche. Am ATB wird deshalb der Ansatz verfolgt, annähernd die gleiche Menge wirksamer Substanz pro Einheit Pflanzenoberfläche (Zielfläche für die Spritzbrühe) auszubringen. Im folgenden wird der Algorithmus zur Mengendifferenzierung erläutert:

1. Ermittlung des pilzlichen Erregerspektrums – Wahl des Fungizides

Da im Verfahren ein Befall mit der jeweiligen Pilzkrankheit nicht berücksichtigt werden kann, sind die Meldungen des Warndienstes der Länder unbedingt zu beachten. Bei Signalisation der Befallsgefährdung hat eine Kontrolle der Schläge zu erfolgen. Die Fungizidwahl richtet sich nach dem auftretenden Erregerspektrum.

2. Ermittlung der Variabilität der Pflanzenoberfläche

An verschiedenen Stichprobenpunkten möglichst entlang einer Fahrspur, die die größte Differenzierung hinsichtlich der Pflanzenmasse aufweist, erfolgen Handmessungen mit dem Gerät LAI 2000® (Welles und Norman, 1991) zur Ermittlung des Blattflächenindex. Damit ist eine Zielflächenquantifizierung (m^2 Pflanzenoberfläche/ m^2 Bodenoberfläche) möglich. Der räumliche Bezug ist durch eine Positionsaufnahme an den Stichprobenpunkten mit einem mobilen DGPS-Empfänger möglich.

3. Kalibrierung des Pendelsensors

An den oben genannten Stichprobenpunkten wird eine Messung mit dem Pendelsensor durchgeführt. Dabei erfolgt eine Aufzeichnung des Pendelwinkels zusammen mit der Position in einer Datei. Letztendlich kann man den Pendelwinkel an den Stichprobenpunkten mit den Werten des Blattflächenindex der Handmessungen mittels Regressionsanalysen vergleichen. Es wird dann der Pendelwinkel bestimmt, ab dem die einheitliche Applikationsmenge (100%) appliziert wird. Bei Unterschreitung erfolgt eine proportionale Reduzierung der Applikationsmenge. Der erreichbare Minimalwert hängt vom Regelbereich der Feldspritze ab. In Abb. 4.7 –3 ist als Beispiel der Zusammenhang zwischen Pendelwinkel und Blattflächenindex (m^2 Pflanzenoberfläche pro m^2 Bodenoberfläche) dargestellt.

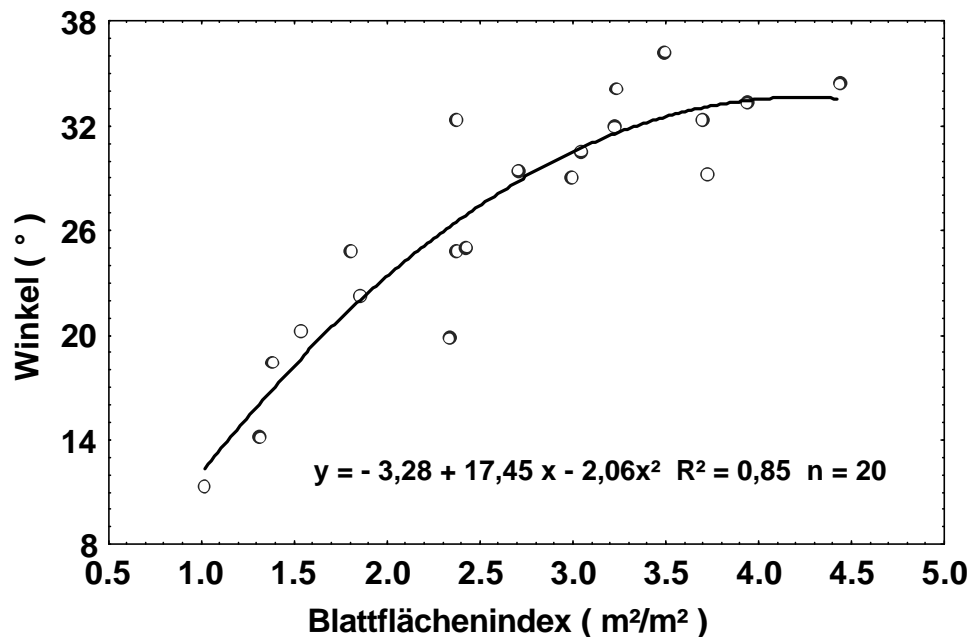


Abb. 4.7-3: Beziehung zwischen Blattflächenindex und Auslenkwinkel des Pendelsensors (Winterweizen, Sorte: Pegassos, Beginn Ährenschieben, Fungizidversuch 2000)

Feldversuche zur Beurteilung der Wirkung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln

Zur Beurteilung der Wirkung teilflächenspezifischer Pflanzenschutzmaßnahmen wurden im Projekt „Streifenversuche“ angelegt. Das heißt, eine Fahrspur erhält die von der Betriebsleitung festgelegte flächeneinheitliche Aufwandmenge und auf der benachbarten Fahrspur erfolgt die teilflächenspezifische Applikation.

Im ersten Projektjahr 1999 sollte getestet werden, ob anhand mit dem Pendelsensor sehr kleinräumig erfasster Bestandesparameter eine teilflächenspezifische Applikation eines Fungizides überhaupt möglich ist. Das Fungizid wurde im absetzigen Verfahren zusammen mit einem Wachstumsregler in einer Tankmischung auf einer Versuchsfläche in der Nähe des ATB appliziert.

Nach positiven Ergebnissen der Versuche im Jahr 1999 wurden in den Projektjahren 2000 und 2001 Feldversuche zur sensorgestützten Echtzeitapplikation von Herbiziden, Fungiziden und Halmstabilisatoren auf Flächen der Ostrauer Agrar GmbH (Region: TAS Raguhn) und der WIMEX GmbH durchgeführt. Es kam eine luftunterstützte Feldspritze der Firma BBG Leipzig (Air Matic System®, Behälterinhalt: 4000 l, Arbeitsbreite: 18 m, ACT®-Bedienterminal von Agrom, Jobrechner von Müller-Elektronik) zum Einsatz. Nach Umrüstung erfolgte im Versuchsjahr 2002 die Applikation mit dem Varioselect® Düsensystem von Lechler (Arbeitsbreite: 24 Meter). Ausgehend von der vom Landwirt festgelegten maximalen Aufwandmenge erfolgte je nach Eingangssignal eine Anpassung der Durchflussmenge an die Unkrauthäufigkeit bzw. die von der fungiziden Spritzbrühe zu benetzenden Pflanzenoberfläche.

Es wurden jeweils zwei Streifen pro Prüfglied im Kerndrusch (volle Schneidwerksbreite) mittels eines Mähdrescher mit Ertragserfassungssystem geerntet. Die Versuchsfläche 1999 in der Nähe des ATB wurde ohne Ertragsmesssystem beerntet. Die Mengenermittlung des Erntegutes der Varianten erfolgte hier durch separates Wiegen des Erntegutes. Um Randeffekte in der Ertragserfassung auszuschließen, wurde sichergestellt, dass zwischen den Prüfgliedern ein ausreichender Abstand lag.

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 Prüfgliedern „einheitliche Applikation“ (e) und „differenzierte Applikation“ (d) wurden aus jeweils gegenüberliegenden Mittelwerten die Quotienten d_n/e_n gebildet. Durch diesen ortsspezifischen Vergleich der Wirkung von Prüffaktoren anhand von positionsbezogenen Ertragsdaten des Mähdreschers wurde untersucht, ob eine teilflächenspezifische Applikation zu Mindererträgen gegenüber flächeneinheitlich behandelten Varianten führt. Mittels Häufigkeitsdiagramm der ortsspezifischen Relativerträge sollte der Nachweis über Höhe und Verteilungstyp der Ertragsrelationen zwischen den beiden Behandlungsvarianten in den Feldversuchen erbracht werden.

Im folgenden werden Angaben zu den einzelnen Feldversuchen gemacht:

Teilflächenspezifische Applikation einer Tankmischung aus Jewel Top® und Moddus® in Winterweizen (absetziges Verfahren, Jahr 1999)

Der Pendelwinkel wurde von zwei nebeneinander liegenden etwa 320 Meter langen Fahrspuren in einem Winterweizenschlag („Grube“, Sorte: Batis) ermittelt. Um den Pendelsensor zu kalib-

rieren, wurden 32 Stichprobenpunkte in Bereichen mit unterschiedlicher Pflanzenmasse ausgewählt. Hier erfolgte die Ermittlung von Halmdichte und -höhe. Die Pflanzenoberfläche wurde aus diesen zwei Parametern nach einer Formel von Wartenberg und Jürschik (1995) berechnet. Über Regressionsgleichungen zwischen Pendelwinkel und den jeweiligen Bestandesparametern war es möglich, Halmdichte, -höhe und Pflanzenoberfläche entlang der Fahrspuren kleinräumig zu schätzen. Am 18.05.1999 (BBCH 41) erfolgte in einer Spur die flächeneinheitliche Applikation von einer Tankmischung aus 1 l/ha Jewel Top® (Fungizid) und 0,4 l/ha Moddus® (Wachstumsregler) in 300 l/ha Wasser. In der benachbarten Spur wurde die Tankmischung je nach Bestandesparameter appliziert. Die Beerntung mit einem Claas Mährescher und nachfolgender Wägung der Varianten erfolgte am 02.08.1999.

Teilflächenspezifische Applikation des Wachstumsreglers Moddus® in Winterweizen (Echtzeitverfahren, Jahr 2000)

Der Versuch wurde in einem Winterweizenschlag („Hinterm Park“, Sorte: Pegassos) des Projektbetriebes „Ostrauer Agrar GmbH“ angelegt. Im Wechsel erfolgte die Behandlung einer Fahrspur einheitlich (0,4 l/ha Moddus® in 300 l/ha Wasser) bzw. differenziert nach Pendelwinkel am 17.05.2000 zum Beginn des Ährenschiebens (BBCH 51). Zur Kalibrierung des Pendelsensors wurden entlang der Fahrspuren 20 Stichprobenpunkte ausgewählt, die die Wachstumsheterogenität des Bestandes charakterisierten. An diesen Punkten erfolgte die Ermittlung von Pflanzenhöhe und -dichte sowie des Blattflächenindex mit dem optischen Handgerät LAI 2000®. Diese Parameter wurden wieder über Regressionsanalysen mit dem Pendelwinkel in Beziehung gesetzt. Die Ernte von zwei Streifen pro Behandlungsvariante wurde am 04.08.2000 durchgeführt (New Holland-Mährescher, 6,70 m Schneidwerk, Ertragserfassungssystem LH 565 yield logger® der Firma LH Agro).

Teilflächenspezifische Applikation des Fungizids Jewel Top® in Winterweizen (Echtzeitverfahren, Jahr 2000)

Die Anlage dieses Versuches erfolgte auf dem selben Schlag und zeitgleich wie der oben dargestellte Wachstumsreglerversuch. Flächeneinheitlich wurden 1 l/ha Jewel Top® in 300 l/ha Wasser appliziert.

Teilflächenspezifische Applikation der Herbizide Fenikan® und Pointer® in einer Tankmischung in Winterweizen (Echtzeitverfahren, Jahr 2001)

Am 30.10.2001 zum Zweiblattstadium (BBCH 12) des Winterweizens wurden 2 l/ha Fenikan® und 10 g/ha Pointer® zusammen in einer Tankmischung mit 200 l/ha Wasser in einem Winterweizenbestand („Kötzdorf“, Sorte: Pegassos) des Projektbetriebes „Ostrauer Agrar GmbH“ ausgebracht. Die Ernte erfolgte am 06.08.2002 durch einen New Holland-Mährescher (6,70 m Schneidwerk) und Ertragserfassungssystem LH 565 yield logger® der Firma LH Agro.

Teilflächenspezifische Applikation der Herbizide Basagran® und Stomp® in einer Tankmischung in Körnererbse (Echtzeitverfahren, Jahr 2002)

Es wurden am 29.04.2002 zum Einrankenstadium (BBCH 11) der Futtererbse („Gahrendorf rechts“, Sorte: Miami) 0,8 l/ha Basagran® und 2,0 l/ha Stomp® zusammen in einer Tankmi-

schung mit 200 l/ha Wasser ausgebracht. Vorher erfolgte eine Unkrautbonitur mittels 0,5 m² Zählrahmen entlang eines 24 m x 50 m Gitters. Als Schadenschwelle wurden anhand der Bonituren 85 Unkrautpflanzen/m² als Schadenschwelle festgelegt, was einem Sensorwert von etwa 30 im Detektionsabschnitt entspricht. Wenn im durchgeführten Feldversuch in den Detektionsabschnitten 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 30 die proportionale Reduzierung auf 50 % bis auf 100 l/ha beim Sensorwert 0.

Im Falle des Herbizidversuches in Futtererbsen wurde mit einem Massey-Fergusson-Mähdrescher (6,00 m Pickup-Trommel, Ertrags erfassungssystem: Field Star®) am 30.07.2002 geerntet. Das Pickup-Schneidwerk kam aufgrund des flächeneinheitlichen Lagers zum Einsatz.

Feldversuche zur Ermittlung der Pflanzenoberfläche mittels Pendelsensor, Luftbild und Hydro-N-Sensor

Das zusätzlich in das Verbundprojekt aufgenommene Versuchsprogramm wurde über drei Jahre auf ausgewählten Projektschlägen durchgeführt. Im Versuchsjahr 2000 erfolgte die Merkmalserfassung einmal zum Beginn des Ährenschiebens, während im Jahr 2001 eine Erfassung dreimal und 2002 zweimal während der Wachstumsperiode stattfand. Im Versuchsjahr 2000 wurden, entsprechend sichtbarer Unterschiede im Wuchshabitus, zum Beginn des Ährenschiebens in einem Winterweizenschlag („Vor Pilsenhöhe“) des Projektbetriebes „WIMEX GmbH“ in Baasdorf 20 Stichprobenpunkte so ausgewählt, dass annähernd die gesamte Spannweite der Bestandesparameter Pflanzenhöhe, -dichte und Blattflächenindex 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 des Schlages 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). Im Jahr 2002 erfolgte die Auswahl wiederum nach visuellen Wachstumsunterschieden.

Mittels tragbarem DGPS wurden die Positionen der Stichprobenpunkte ermittelt und anschließend markiert. Die Ermittlung der Frischmasse (oberirdische Pflanzenmasse) erfolgte mittels Ausmähen. 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 ausgemähte Fläche im Luftbild des Jahres 2000 nicht deutlich auflösbar war, wurde die Form der Flächen im Versuchsjahr 2001 und 2002 verändert. Die ausgemähte Fläche bestand nun aus einem Quadrat von 2 m Kantenlänge. Handmessungen (2000: im Bestand der Mittelfläche, 2001 und 2002: im unmittelbar angrenzenden Bestand der 4 m² großen abgemähten Fläche) dienten dann zur Ermittlung der Bestandesparameter.

Zur Ermittlung des Blattflächenindex als Maß für die Zielfläche für eine Pflanzenschutzmaßnahme kamen die tragbaren Handgeräte LAI 2000® (Welles & Norman, 1991) im Jahr 2000 und SunScan® (Anonym, 1999) in den Jahren 2001 und 2002 zum Einsatz. Mittels Pendelsensor, angebaut an einem Hege-Geräteträger, erfolgte die Messung des Pendelwinkels 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 in den Versuchsjahren 2001 und 2002 mit einer Eingangsfrequenz von 50 Hz bei einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 7 km/h gemessen 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 in den Versuchsjahren 2001 und 2002 durch das Teilprojekt III-1b (Software Lohnunternehmen). 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 Vegetationsindizes berechnet werden:

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

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 im Umkreis mit einem 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. 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. In den Versuchsjahren 2001 und 2002 betrug die Flughöhe etwa 3000 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 4.7-1 die Termine der Aktivitäten auf den Projektschlägen in den Jahren 2000, 2001 und 2002 zusammengefasst.

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.

Tab. 4.7-1: Termine der Aktivitäten auf den Projektschlägen zur Erfassung der Pflanzenoberfläche mit Pendelsensor, Hydro-N-Sensor und Luftbild

Aktivität	Termin	„Vor Pilsenhöhe“ 2000	„Asphaltwerk“ 2001	„Kiesberg“ 2001	„111-4“ 2001	„Bullenstall“ 2002	„Finckenherd“ 2002
Frischmasseerm.	1	11. 05.	16. 05.	17. 05.	21. 05.	21. 05.	22. 05.
Bonituren (Pflanzenhöhe, -dichte, LAI, Krankheiten)	1	12. 05.	17. 05.	18. 05.	22. 05.	21. 05.	22. 05.
	2		07. 06.	08. 06.	13. 06.	18. 06.	19. 06.
	3		26. 06.	28. 06.	04. 07.		
Pendelmessung	1	11. 05.	16. 05.	17. 06.	21. 05.	21. 05.	22. 05.
	2		07. 06.	08. 06.	12. 06.	18. 06.	19. 06.
	3		26. 06.	28. 06.	03. 07.		
Luftbild	1	12. 05.	24. 05.	24. 05.	24. 05.	18. 05.	18. 05.
	2					18. 06.	18. 06.
	3		24. 06.	24. 06.	06. 07.		
Hydro-N-Sensor	1		22. 05.	22. 05.	22. 05.	22. 05.	22. 05.
	2		07. 06.	09. 06.	11. 06.	24. 06.	24. 06.
	3		29. 06.	29. 06.	03. 07.		

4.7.7 Ergebnisse und Diskussion

Teilflächenspezifische Wachstumsreglerapplikation

Die Wachstumsreglerapplikation (CCC, Wirkstoff Chlormequat) erfolgte teilflächenspezifisch nach den mit TP III-2 (Bestandesführung) erarbeiteten Applikationsregeln. In den Tabellen 4.7-2 bis 4.7-4 sind die mit den Betriebsleitern abgestimmten Applikationsmengen für die Projektschläge in den 3 Versuchsjahren aufgeführt. Auf dem Schlag „111-4“ in Kassow wurde mit einer Danfoil®-Spritze gearbeitet, die aufgrund des Luftinjektorsystems eine Reduktion der Ausbringungsmenge bis zu 40 l/ha zulässt.

In den Jahren 2000 und 2001 trat kein nennenswertes Lager auf den Projektschlägen in den einzelnen Teilbereichen mit unterschiedlicher Aufwandmenge auf. Aufgrund der extremen Witterung des Jahres 2002 war auf zwei Pflichtschlägen stärkeres Lager nach intensiven Regenfällen zu verzeichnen. Das Eintreten des Lagers wurde auf dem Schlag „Tülig“ 2 Wochen vor der Ernte und „Finckenherd“ 5 Wochen vor der Ernte datiert. Am Beispiel des Schlages „Finckenherd“ belegen Luftbildaufnahmen durch das Teilprojekt II-4, dass sich das aufgetretene Lager durch alle Teilflächen mit unterschiedlicher CCC-Applikationsmenge zieht (Abb. 4.7-4). Applikationsfehler, verursacht durch den Algorithmus der Mengeneempfehlung, sind deshalb auszuschließen.

Tab. 4.7-2: CCC- bzw. Wassermengenanpassung entsprechend der Aussaatmenge auf den Projekt-schlägen bei teilflächenspezifischer Applikation im Frühjahr 2000 im absetzigen Verfah-ren

Standort/ Betrieb	Schlag	1. bzw. 2. Gabe	Aussaatmenge	Mittelmenge	Spritzflüssig- keitsmenge
			[kg/ha]	[l/ha]	[l/ha]
WIMEX Baasdorf	Finkenherd	1. Gabe	145	0,6	150
			165	1,0	250
			176	1,2	300
Raesfeld, Lüdeke	Mühlbreite	1. Gabe	126	1,0	250
			150	1,2	300
			Hagelsberg	2. Gabe	148
174	1,0	300			
138	0,8	240			
Groß Twülpstedt	Kamp-Ost	1. Gabe	146	1,0	300
			160	0,9	225
			175	1,2	300
Thumby	Almker Straße	1. Gabe	185	(1)	(1)
	Feldscheide links	2. Gabe	118	1,0	250
			134	1,2	300
	Feldscheide rechts	2. Gabe	49	0,7	175
			54	0,9	225
			56	1,0	250

(1) keine Ergebnisse zu Wachstumsreglereinsatz in Wechselweizen „Thasos“ bekannt, Festle-gung der Menge obliegt dem Betrieb, Empfehlung 1,0 l/ha mit 200 l/ha Wasser

Tab. 4.7-3: CCC- bzw. Wassermengenanpassung entsprechend der Aussaatmenge auf den Projektschlägen bei teilflächenspezifischer Applikation im Frühjahr 2001 im absetzigen Verfahren

Standort/ Betrieb	Schlag	1. bzw. 2. Gabe	Aussaatmenge	Mittelmenge	Spritzflüssig- keitsmenge
			[kg/ha]	[l/ha]	[l/ha]
WIMEX Baasdorf	Görenbreite	1. Gabe	150	0,4	100
			170	0,5	125
			195	0,7	175
			205	0,8	200
	Kiesberg	1. Gabe	140	0,8	200
			160	0,9	225
			170	1,1	275
			180	1,2	300
Groß Twülpstedt	An der Lehmriede	1. Gabe	137	0,8	200
			149	1,0	250
	Langer Berg	1. Gabe	134	1,0	250
			157	1,2	300
Kassow	106	1. Gabe	112	0,8	40
			123	1,0	50
			140	1,2	60
	111-4	1. Gabe	101	0,8	40
			123	1,0	50
			135	4,7	55
			138	1,2	60
			163	1,0	300
Raesfeld Lüdeke	Am Berge	2. Gabe	136	0,6	180
			163	1,0	300
	Autobahn	2. Gabe	107	0,5	150
			136	0,6	180
			154	0,8	240
			163	1,0	300
	Thülig	2. Gabe	116	0,6	180
			140	0,8	240
160			0,9	270	
Scheuerle	Asphaltwerk	2. Gabe	116	0,6	225
			134	0,8	300
Thumby	Erbsenacker	2. Gabe	167	0,4	150
			113	1,0	250
	Penholz	2. Gabe	142	1,2	300
			94	0,9	225
			99	0,9	225
			112	1,0	250
Rothenstein	2. Gabe	94	0,9	225	
		125	1,2	300	

Tab. 4.7-4: CCC- bzw. Wassermengenanpassung entsprechend der Aussaatmenge auf den Projekt-schlägen bei teilflächenspezifischer Applikation im Frühjahr 2002 im absetzigen Verfah-ren

Standort/ Betrieb	Schlag	1. oder 2. Gabe	Aussaatmenge	Mittelmenge	Spritzflüssig- keitsmenge
			[kg/ha]	[l/ha]	[l/ha]
WIMEX Baasdorf	Finkenherd	1. Gabe	116	0,6	150
			140	0,8	200
			150	1,0	250
	Sorge	1. Gabe	136	0,9	225
			164	1,0	250
			174	1,1	275
Raesfeld, Lüdeke	Tülig	2. Gabe	199	1,2	300
			95	0,6	150
			130	0,7	175
	Am Kreuz	2. Gabe	146	0,8	200
			127	0,7	175
			145	0,8	200
Groß Twülpstedt	Rabenberg	1. Gabe	123	0,6	150
			140	0,8	200
			112	0,8	200
	Mittelberg	1. Gabe	138	1,0	250
			149	0,8	200
			191	1,2	300
Thumby	Altgrünholz	2. Gabe	105	1,0	250
			125	1,2	300
			97	0,8	200
	Ottenkamp	2. Gabe	117	1,0	250
			134	1,2	300
			125	0,8	40
Kassow	106	1. Gabe	148	1,0	50
			163	1,2	60
			126	0,6	150
Scheuerle	Bullenstall	1. Gabe	147	0,8	200

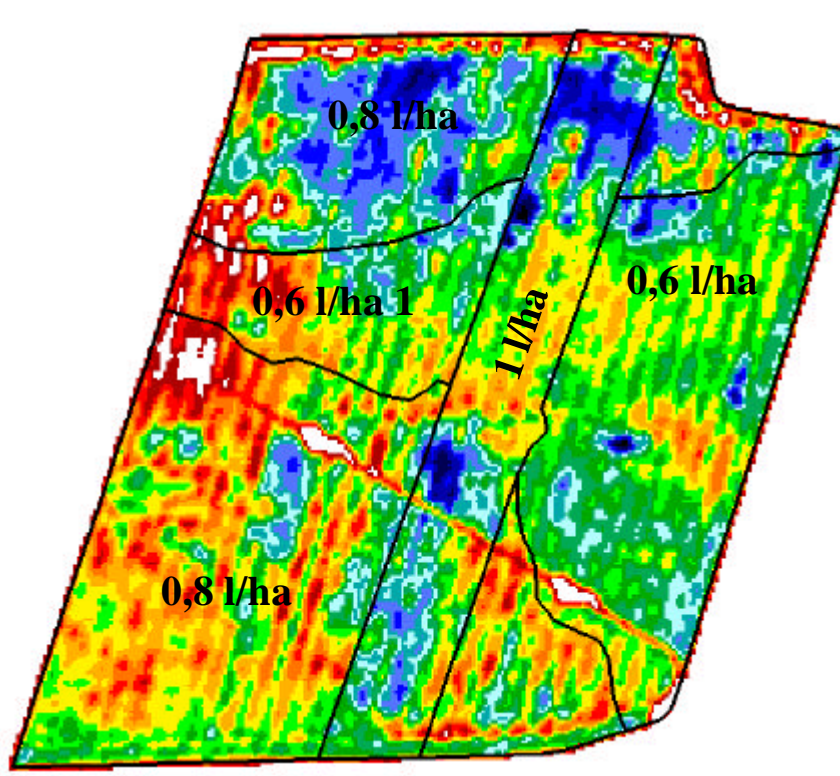


Abb. 4.7-4: Georeferenziertes und bearbeitetes NIR-Luftbild des Schlages „Finckenherd“ vom 28.7.2000 (rote Zonen: Lagergetreide) erstellt von Teilprojekt II-4

Computergestützter Algorithmus zur teilflächenspezifischen Anwendung des Wachstumsreglers CCC in Winterweizen

Da in der dreijährigen Praxiserprobung durch die teilflächenspezifische Wachstumsreglerapplikation ein großflächiges Lagern verhindert werden konnte, werden die Entscheidungsalgorithmen in einer ersten Version eines Computermoduls zusammengefasst.

Das mit Teilprojekt III-2 (Bestandesführung) erarbeitete Modul basiert auf einem Entscheidungsalgorithmus mit 3 Eingangsparametern. In Tabelle 4.7-5 sind die Mengeneempfehlungen bei einmaliger Gabe und in Tabelle 4.7-6 für die zweite Gabe beim Splitting dargestellt.

Tab. 4.7-5: CCC-Mengenquantifizierung bei einmaliger CCC-Anwendung in Abhängigkeit von Schätzertrag, Lagerneigung der Sorte und Pflanzenentwicklung im Frühjahr

Schätzertrag [dt/ha]	geringe Lagerneigung			mittlere Lagerneigung			hohe Lagerneigung		
	Entwicklung im Frühjahr dünn	Entwicklung im Frühjahr normal	Entwicklung im Frühjahr mastig	Entwicklung im Frühjahr dünn	Entwicklung im Frühjahr normal	Entwicklung im Frühjahr mastig	Entwicklung im Frühjahr dünn	Entwicklung im Frühjahr normal	Entwicklung im Frühjahr mastig
<60	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	1,0	1,2
61-80	0,6	0,7	0,8	0,7	0,9	1,0	0,9	1,4	1,6
81-100	0,7	0,9	1,0	0,9	1,2	1,3	1,2	1,9	2,0
>100	0,8	1,1	1,2	1,1	1,5	1,6	1,7	2,1	2,1

Tab. 4.7-6: CCC-Mengenquantifizierung für die zweite CCC-Anwendung beim Splitting in Abhängigkeit von Schätzertrag, Lagerneigung der Sorte und Pflanzenentwicklung im Frühjahr

Schätzertrag [dt/ha]	geringe Lagerneigung			mittlere Lagerneigung			hohe Lagerneigung		
	Entwicklung im Frühjahr dünn	normal	mastig	Entwicklung im Frühjahr dünn	normal	mastig	Entwicklung im Frühjahr dünn	normal	mastig
<60		0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,6	0,7
61-80	0,4	0,5	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9
81-100	0,6	0,7	0,8	0,7	0,9	1,0	0,9	1,0	1,1
>100	0,8	0,9	1,0	0,9	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2

Die Nutzung des Moduls entbindet den Landwirt nicht davon, in seinem Handeln nach den Regeln der „guten fachlichen Praxis“ zu verfahren, bzw. die Plausibilität der getätigten Eingabe zu überprüfen. Auf Grund der Komplexität der Wirkung der 3 Einflussparameter konnten in der Version nicht alle Probleme programmiertechnisch gelöst werden. Drei Beispiele sollen das verdeutlichen:

1. Bei einem geplanten Zielertrag von über 80 dt/ha ist generell von einem Splitting der Gaben auszugehen. Im Modul ist aber auch eine Empfehlung bei einmaliger Gabe implementiert. Es muss der Eintritt von ungünstigen Bedingungen vorgesehen sein. So kann aus Witterungsgründen die erste Gabe beim Splitting nicht realisiert worden sein, so dass in einer einmaligen Gabe zu einem späteren Zeitpunkt appliziert werden muss.
2. Die Sorte Bussard als E-Weizen ist mit der Note 8 hoch lageranfällig, bringt selbst auf den fruchtbarsten Böden nur einen niedrigen bis mittleren Ertrag (Note 4). Die zwei höchsten Schätzertragsklassen würden bei dieser Sorte unrealistisch sein. Es musste bei der Programmierung jedoch das gesamte Sortenspektrum berücksichtigt werden.
3. Ungünstige Witterungsbedingungen sowie Schaderregerauftreten haben Pflanzenverluste im Frühjahr zur Folge. Der geplante Zielertrag ist dann nicht mehr zu realisieren. So ist bei dünnen, unternormal entwickelten Beständen die Eingruppierung in die hohen Zielertragsklassen nicht mehr realistisch. Eine Einkürzung des Halmes sollte aber trotzdem vorgenommen werden, da bei dünnen Beständen oftmals ein Ertragskompensation durch eine höhere Kornzahl pro Ähre und ein höheres Tausend-Korn-Gewicht erfolgt.

Feldversuche zur teilflächenspezifischen Applikation von Herbiziden

Teilflächenspezifische Applikation der Herbizide Fenikan® und Pointer® in einer Tankmischung in Winterweizen (Echtzeitverfahren, 2001)

Die Kosten für die anstehende Herbizidbehandlung wurden mit etwa 50,00 €/ha angesetzt. Bei einem angenommenen Verkaufspreis des Weizens von etwa 11,75 €/dt bedeutet dies einen zu erwirtschaftenden Mehrertrag von etwa 4,25 dt/ha. Aus Abbildung 4.7-2 ergibt sich bei einem tolerierten Ertragsverlust von rund 4,25 dt/ha eine ökonomische Schwelle von annähernd 165 Unkrautpflanzen/m². 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 m². Da das Sensorsignal im Herbst während des Keimblattstadiums der auflaufenden Unkräuter mit der Anzahl Pflanzen korreliert, entspricht die ökonomische Schadschwelle von 165 Unkräutern/m² einem Sensorwert von etwa 60. Wenn im durchgeführten Feldversuch in den Detektionsabschnitten der teilflächenspezifischen Prüfglieder dieser Wert überschritten wurde, kam im jeweiligen Abschnitt die volle Herbizidaufwandmenge von 200 l/ha zur Anwendung. Ansonsten erfolgte bei Unterschreitung des Sensorwertes 60 die proportionale Reduzierung auf 50 % bis auf 100 l/ha beim Sensorwert 0. Beispielhaft sind in Abb. 4.7-5 der Verlauf des Sensorwertes bis zum Schwellenwert 60 (ökonomische Schadschwelle von 165 Unkrautpflanzen/m²) und die Durchflussmenge entlang einer Fahrspur eines teilflächenspezifischen Prüfgliedes dargestellt. In den Bereichen, wo die Schadschwelle unterschritten wurde, erkennt man die Reduktion der Durchflussmenge. In den Prüfgliedern der teilflächenspezifischen Variante wurden insgesamt nur 23,7 % der Fläche mit der vollen Aufwandmenge von 200 l/ha behandelt.

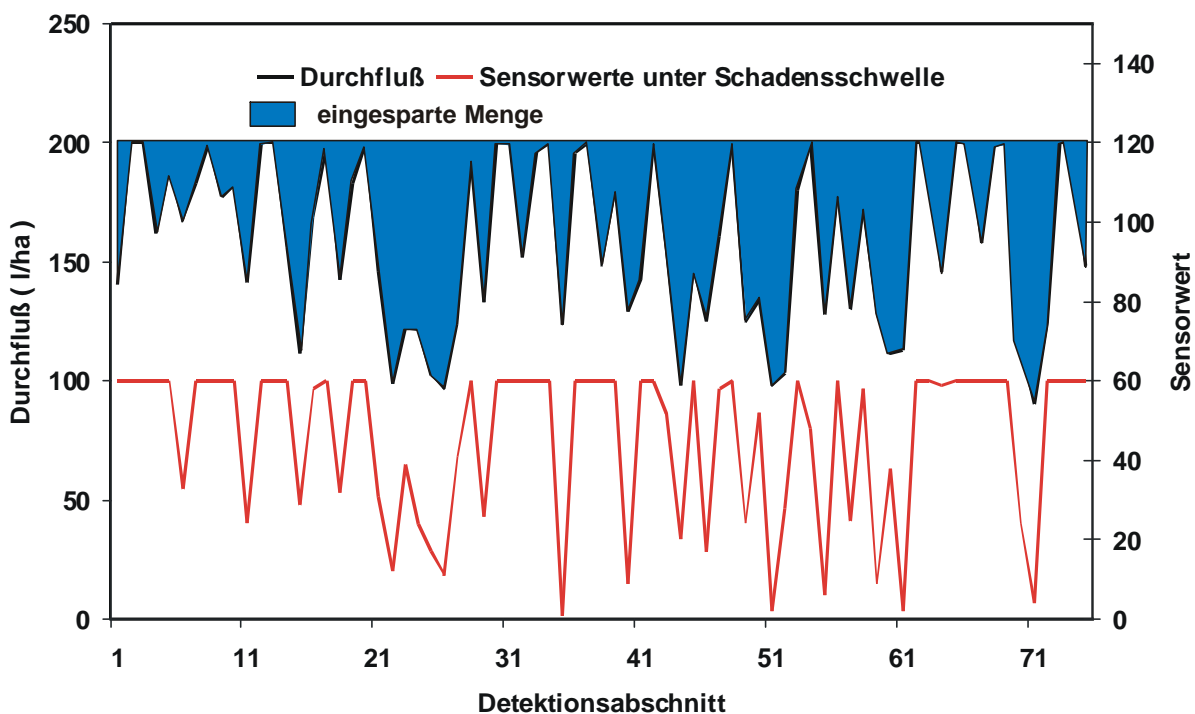


Abb. 4.7-5: Wert des Unkrautsensors unter der Schwelle 60 (ökonomische Schadschwelle) und Applikationsmenge entlang einer Fahrspur der teilflächenspezifischen Variante des Herbizidversuches (Mittel: 2 l/ha Fenikan® + 10 g/ha Pointer®, Applikation: 30.10.2001, Winterweizen Sorte: Pegassos, Schlag: „Kötzdorf“)

Die Ertragsauswertung der 188 Relativerträge ergab das Auftreten von lokalen Mindererträgen bis 76% (Minimum: 0,76) als auch Mehrerträgen bis 128% (Maximum: 1,28) im Vergleich zur einheitlichen Applikation (Abb. 4.7-6). Im Mittel wurden 3% Mehrertrag (Median: 1,03) in der teilflächenspezifischen Variante ermittelt. Die Verteilung war rechts steil.

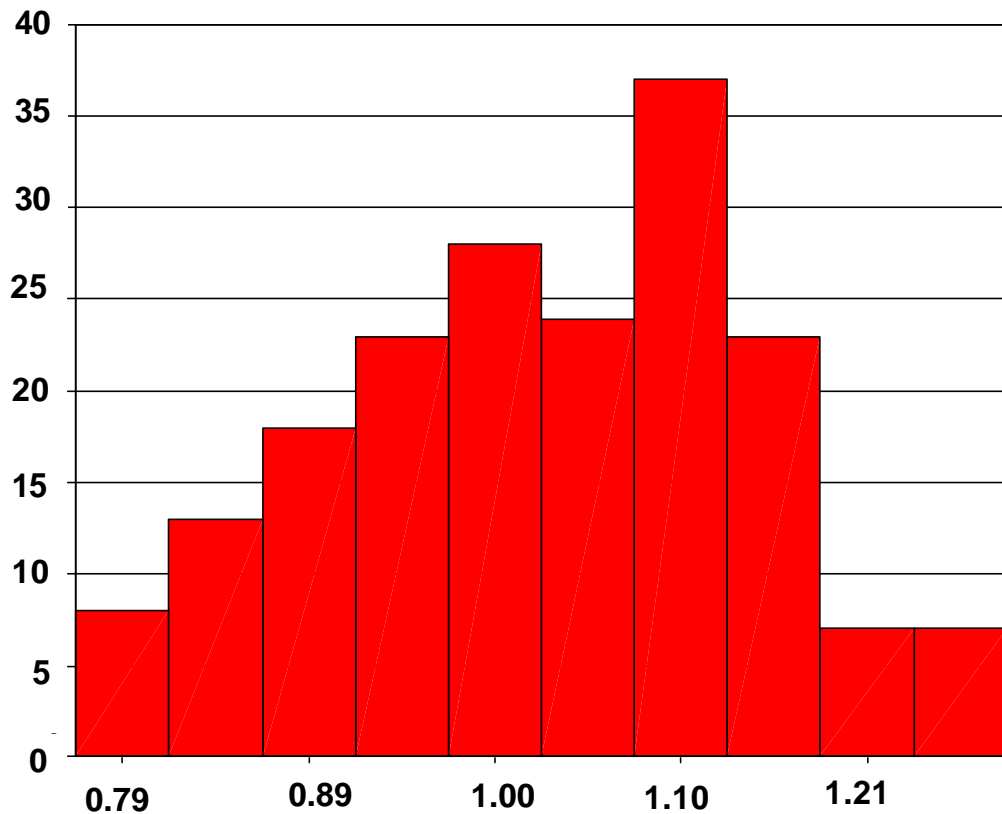


Abb. 4.7-6: Häufigkeitsdiagramm der örtlichen Relativerträge d_n/e_n (n=188) zum Ertragsvergleich zwischen differenzierter und einheitlicher Herbizidapplikation in Winterweizen 2001

Teilflächenspezifische Applikation der Herbizide Basagran® und Stomp® in einer Tankmischung in Körnererbsen (Echtzeitverfahren, Jahr 2002)

Die Ausgangsverunkrautung am 29.04.2002 zum Zeitpunkt der Applikation der Tankmischung zeigte deutliche Teilflächen mit hoher Verunkrautung (bis 66 Unkrautpflanzen/m²) an den Feldrändern (Abb. 4.7-7). Zur Mitte des Schlages nahm die Verunkrautung ab. In der Abbildung sind zusätzlich die Fahrspuren mit den jeweiligen Behandlungsvarianten eingezeichnet.

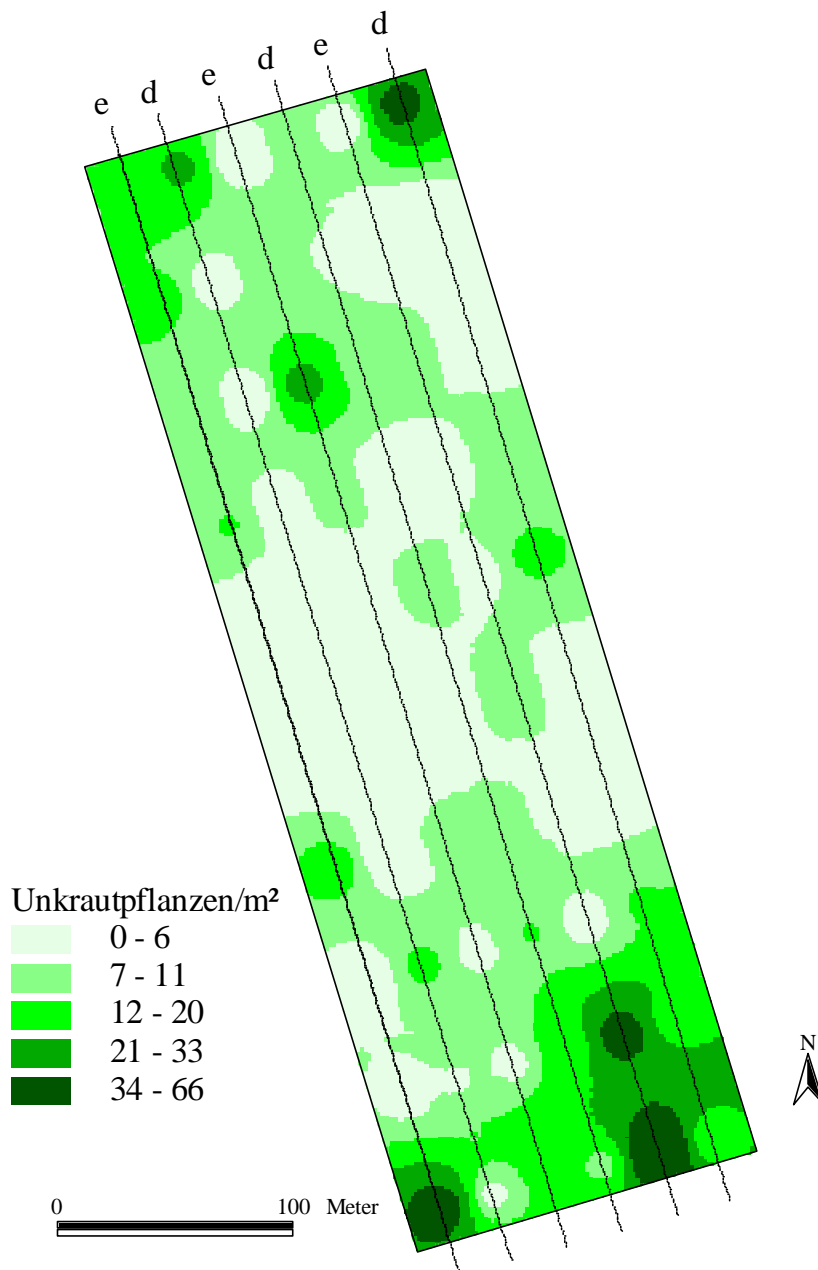


Abb. 4.7-7: Ausgangsverunkrautung Anzahl Unkrautpflanzen/m² zur Herbizidapplikation (Mittel: 2 Liter/ha Basagran® + 10 l/ha Stomp®, Applikation: 29.04.2002, Körnererbsen Sorte: Miami, Schlag: „Gahrendorf rechts“) mit Lage der Streifen der zwei Behandlungsvarianten (e: einheitliche Applikation, d: differenzierte Applikation)

Zur Erfolgskontrolle wurden an den selben Boniturpunkten an denen schon die Ausgangsverunkrautung ermittelt wurde, eine Nachbonitur am 17.07.2002 vor der Ernte durchgeführt. Im südlichen Teil des Schlages waren bis 2 Unkrautpflanzen/m² zu beobachten (Abb. 4.7-8). Bei der Bewertung dieses Restverunkrautungsgrades ist zu berücksichtigen, dass auf dieser Teilfläche die Ausgangsverunkrautung am höchsten war.

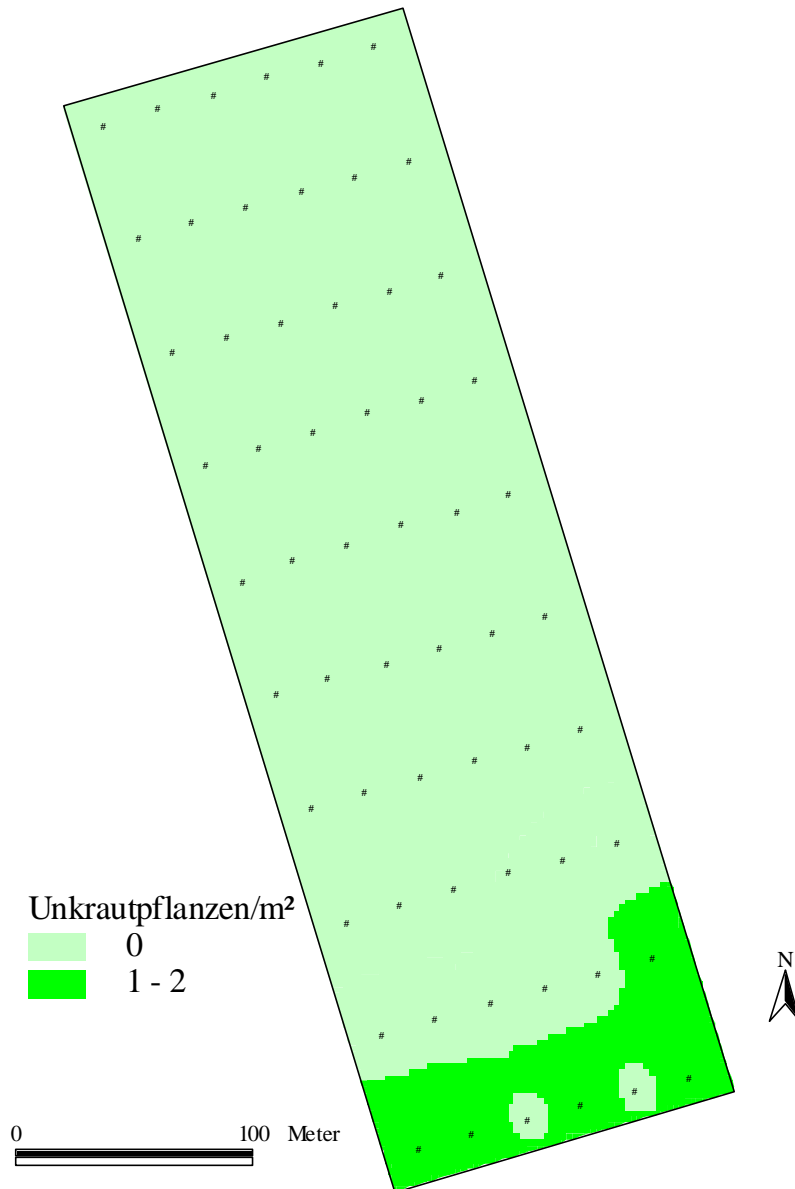


Abb. 4.7-8: Nachverunkrautung Anzahl Unkrautpflanzen/m² am 17.07.2002 (Körnererbsen Sorte: Miami, Schlag: „Gahrendorf rechts“) mit Lage der Bonitурpunkte zur Erfassung des Unkrautes

Da die Teilfläche mit der zu beobachtenden Nachverunkrautung sich durch alle Behandlungsvarianten zog, kann geschlussfolgert werden, dass eine Fehlbehandlung durch das Verfahren der teilflächenspezifischen Herbizidapplikation nicht aufgetreten ist.

Die Analyse des Häufigkeitsdiagramms der 284 Relativerträge ergab, dass lokale Mindererträge bis 59% (Minimum: 0,59) und lokale Mehrerträge bis 163% (Maximum: 1,63) im Vergleich zur einheitlichen Applikation (Abb. 4.7-9) auftraten. Im Mittel wurden 2% Minderertrag (Median: 0,98) in der teilflächenspezifischen Variante ermittelt. Die Verteilung war leicht links steil.

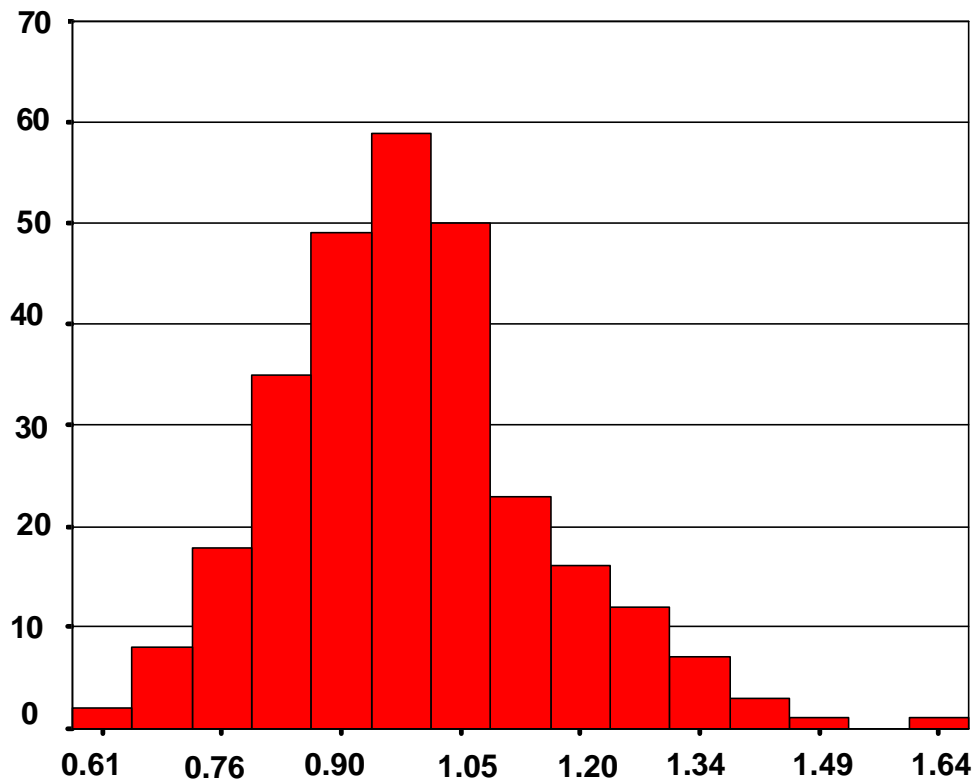


Abb. 4.7-9: Häufigkeitsdiagramm der örtlichen Relativerträge d_n/e_n ($n=284$) zum Ertragsvergleich zwischen differenzierter und einheitlicher Herbizidapplikation in Körnererbsen 2002

Feldversuche zur teilflächenspezifischen Fungizidapplikation

Teilflächenspezifische Applikation einer Tankmischung aus Juwel Top® und Moddus® in Winterweizen (absetziges Verfahren, Jahr 1999)

Der Auslenkwinkel des Pendelsensors nahm entlang der zwei Behandlungstreifen in Richtung Feldende stetig zu (Abb. 4.7-10). Die zwei Kurven verlaufen annähernd parallel, wobei die Variante „Teilflächenspezifisch“ in den meisten Bereichen oberhalb der Variante „Einheitliche Applikation“ liegt. Dies deutet auf die höhere Pflanzenmasse in diesem Prüfglied hin.

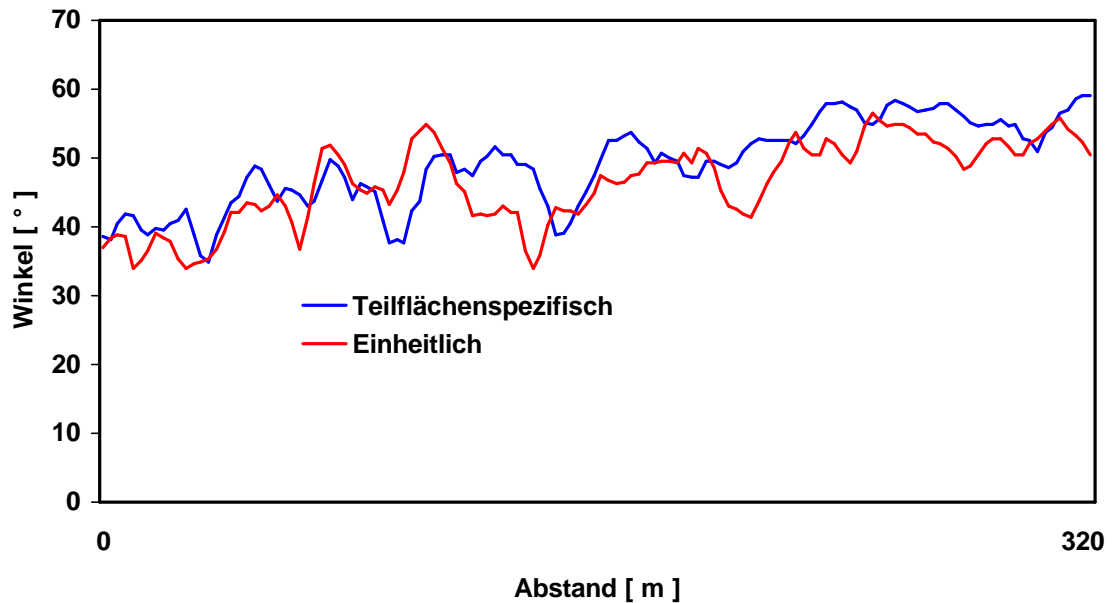


Abb. 4.7-10: Auslenkwinkel des Pendelsensors in den benachbarten Varianten „Einheitliche Applikation“ und „Teilflächenspezifische Applikation“ (Schlag „Grube“, Sorte Batis, 18.05.1999, BBCH 41)

Über Regressionsanalysen konnten die Bestandesparameter Halmdichte, -höhe und Pflanzenoberfläche entlang der Fahrspur geschätzt werden. Die Versuchsstrecke wurde an zwei markanten sprungartigen Zunahmen in drei Teilbereiche geteilt (Abb. 4.7-11). Entsprechend der Bestandesparameter wurde die Aufwandmenge in 100, 200 und 300 l/ha unterteilt.

In den 3 Teilbereichen wurde der Krankheitsbefall der obersten 3 Blätter an jeweils 5 Halmen entsprechend der Linienboniturmethode der Schaderregerüberwachung an 5 gleichmäßig über den jeweiligen Teilbereich verteilten Stichprobenpunkten bonitiert. Der Bekämpfungsrichtwert bei Mehltau (*Blumeria* [syn. *Erysiphe graminis*] DC. F. sp. *tritici* March.) von 60% befallener Halme war nur im letzten Bereich bei hohen Werten der Bestandesparameter erreicht, während der Befall zum Bereich mit niedrigen Bestandesparametern hin abnahm. Die höchste Aufwandmenge von 300 l/ha kam somit im Teilbereich zur Anwendung, wo der Bekämpfungsrichtwert für diese Pilzkrankheit erreicht war. Sowohl in der Variante „Einheitliche Applikation“ als auch in der Variante „Teilflächenspezifische Applikation“ kam es zu keiner weiteren Zunahme des Mehltaubefalls.

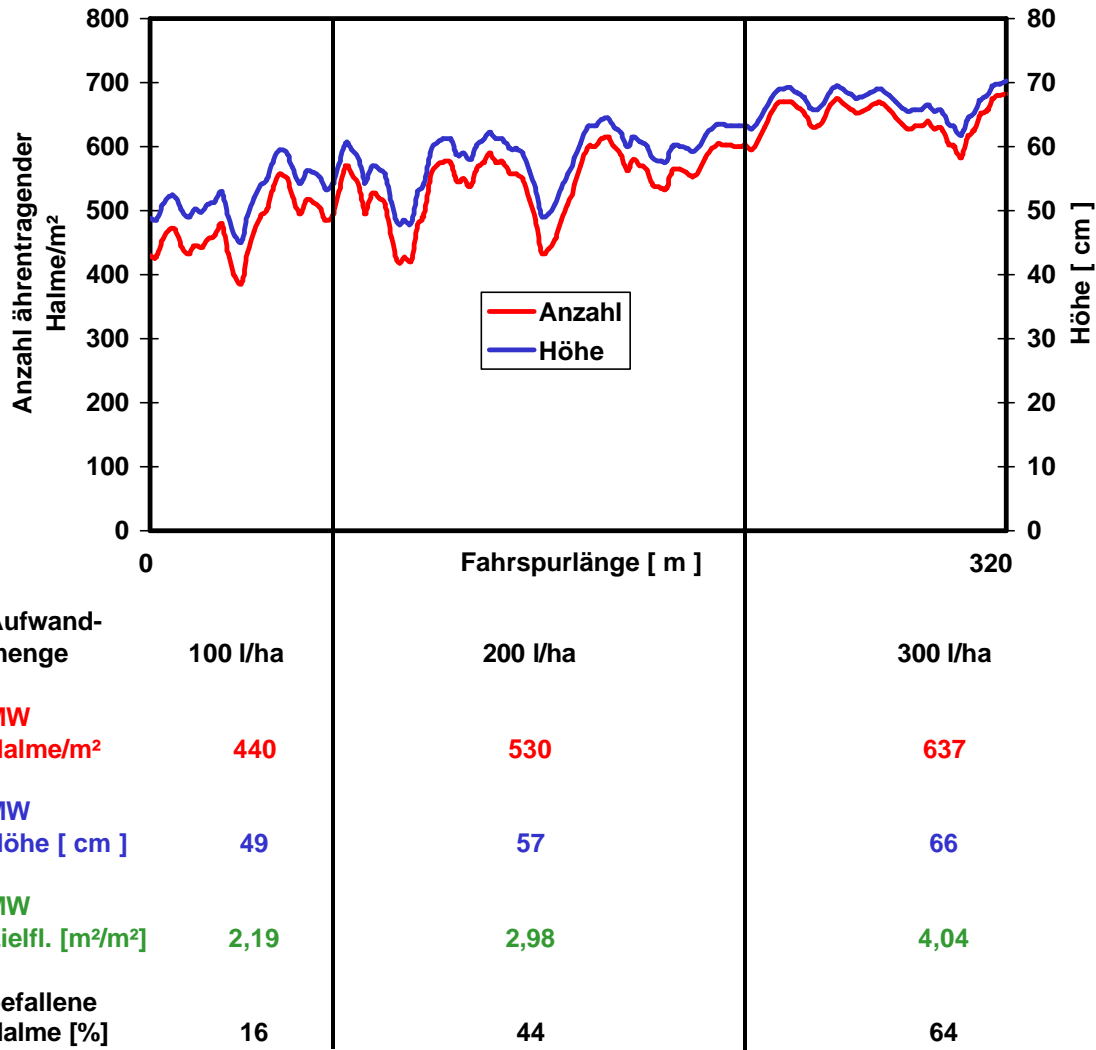


Abb. 4.7-11: Mittels Regressionsanalyse geschätzte Bestandesparameter, Aufwandmenge, Mittelwerte der Bestandesparameter sowie Anteil mit Mehltau (*Blumeria* [syn. *Erysiphe graminis*] DC. F. sp. *tritici* March.) befallener Halme in den drei Teilbereichen

Der Kerndrusch am 02.08.1999 ergab in dem teilflächenspezifisch behandelten Prüfglied 76,84 dt/ha und in dem flächeneinheitlich gespritzten Prüfglied 68,25 dt/ha, was einen Mehrertrag von etwa 13 % bedeutet. Es ist auszuschließen, dass dieser hohe Mehrertrag auf die Wirkstoffreduktion zurückzuführen ist. Von dem Mittel Juwel Top® sind bei sachgemäßer Anwendung keine phytotoxischen Effekte bekannt, die z.B. bei Überdosierungen von Pflanzenschutzmitteln auftreten können. Der hohe Mehrertrag rührt eher von der stärker ausgebildeten Biomasse und der somit höheren Ertragsersparnis in der teilflächenspezifischen Variante her. Es wurde weiter oben schon darauf hingewiesen, dass zum Zeitpunkt der Fungizidapplikation entlang des teilflächenspezifischen Prüfgliedes der Pendelwinkel größtenteils höher war als in der flächeneinheitlich behandelten Variante (Abb. 4.7-10).

Teilflächenspezifische Applikation des Fungizids Juwel Top® in Winterweizen (Echtzeitverfahren, Jahr 2000) und

Teilflächenspezifische Applikation des Wachstumsreglers Moddus® in Winterweizen (Echtzeitverfahren, Jahr 2000)

Im Folgenden werden der Fungizidversuch und der Wachstumsreglerversuch zusammen behandelt, da diese auf der selben Versuchsfläche und nach der selben Versuchsmethode durchgeführt wurden:

Der gemessene LAI an den 20 Stichprobenpunkten variierte von etwa 1,00 bis 4,5 Indexpunkten, 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. Anhand dieser Funktion konnte die von der Spritzbrühe zu benetzende Pflanzenoberfläche kleinräumig für die gesamte Versuchsfläche geschätzt werden (Abb. 4.7-12).

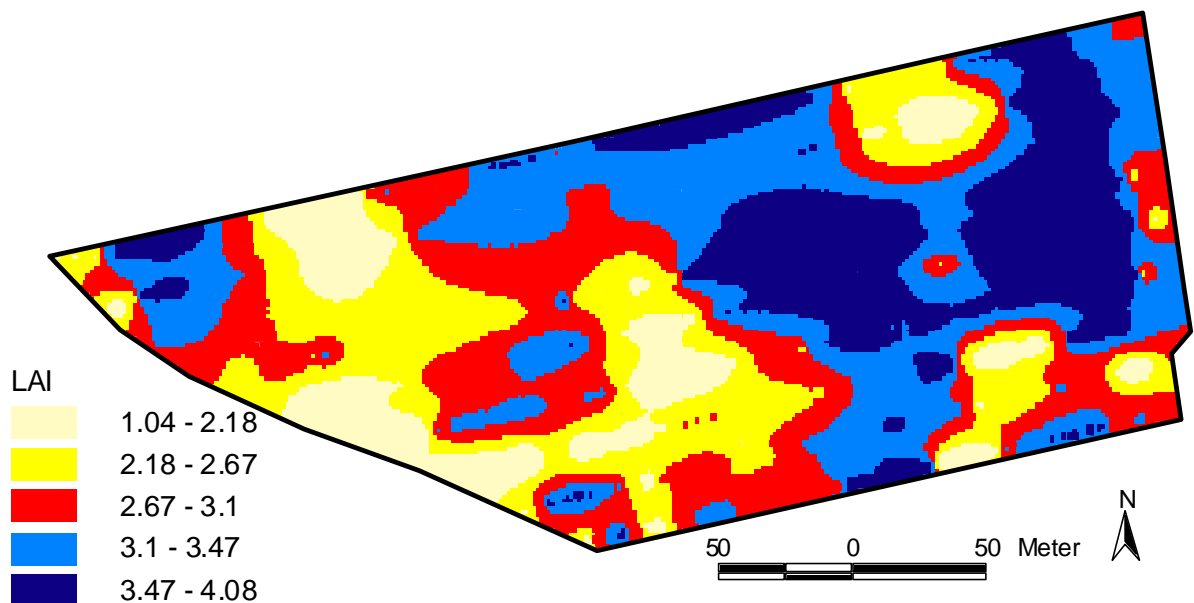


Abb. 4.7-12: Mittels Regressionsgleichung aus dem Pendelwinkel geschätzter Blattflächenindex für die Versuchsfläche „Hinterm Park“ der „Ostrauer Agrar GmbH“

Entsprechend dem Pendelwinkel erfolgte die Anpassung der Applikationsmenge. Abb. 4.7-13 zeigt beispielhaft den über die Gleichung geschätzten LAI und die Durchflussmenge entlang einer etwa 400 m langen Fahrspur in der Juwel Top® am 15.05.2000 teilflächenspezifisch appliziert wurde.

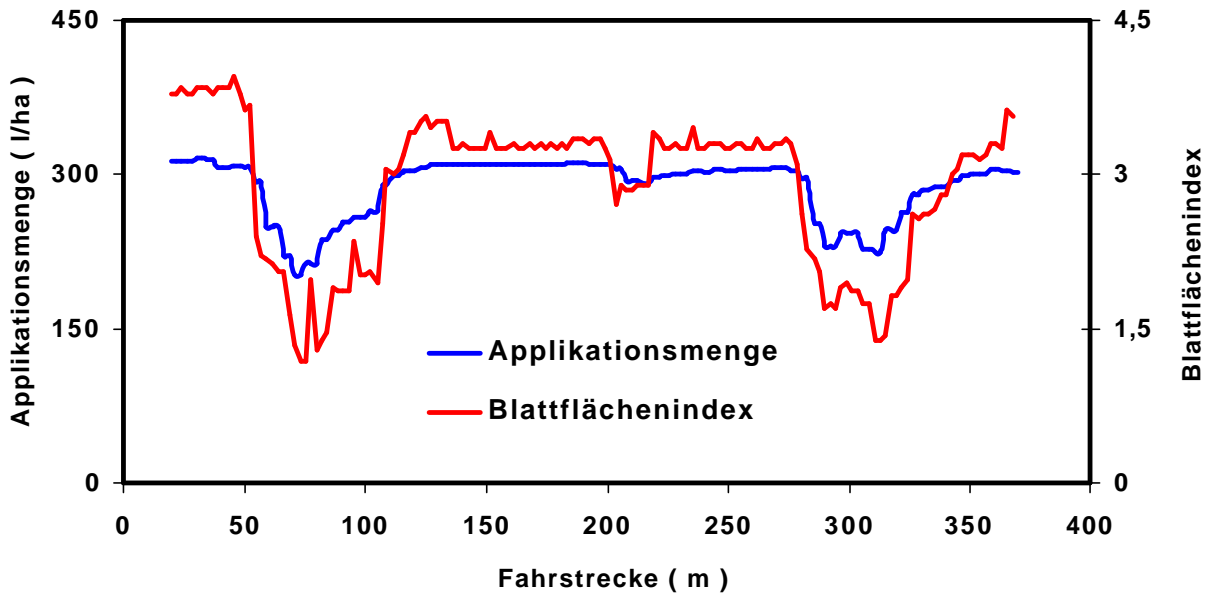


Abb. 4.7-13: Aus dem Winkel des Pendelsensors geschätzter Blattflächenindex und Applikationsmenge entlang einer Fahrspur der teilflächenspezifischen Variante des Fungizidversuches Mittel: Jewel Top® (Applikation: 15.05.2000, Winterweizen Sorte: Pegassos, Schlag: „Hinterm Park“)

Die Aufwandmengen in den drei teilflächenspezifischen Fahrspuren (Applikation von Jewel Top®) lagen im Mittel bei 260, 265 und 270 l/ha. Das bedeutet eine Einsparung von etwa 14, 12 und 10 % der vorgesehenen Aufwandmenge. Im Prüfglied mit der teilflächenspezifischen Modus®-Applikation wurden im Mittel 255 l/ha appliziert, was eine Mitteleinsparung von 15% bedeutet.

Die Ertragskarte der Versuchsfläche (Abb. 4.7-14) zeigt deutlich die Niedrigertragszonen, die etwa mit den zum Behandlungszeitpunkt geschätzten Bereichen mit geringem Blattflächenindex flächenmäßig übereinstimmen (Abb. 4.7-12). Ein unterschiedliches Ertragsniveau zwischen den zwei Behandlungsvarianten ist auf Grund fehlender Streifenstruktur in den Einzelerträgen nicht zu erkennen. Das ähnliche Ertragsniveau im Fungizidversuch der einheitlich und differenziert behandelten Fahrspuren wird im Häufigkeitsdiagramm der 210 örtlichen Relativerträge d_n/e_n in Abbildung 4.7-15 bestätigt. Die Spannweite der Relativerträge reicht von 0,75 bis 1,63, wobei der Median 1,01 ist. Das bedeutet, dass sowohl örtliche Minder- (75%) als auch Mehrerträge (163%) erzielt, aber im Mittel Ertragsäquivalenz erreicht wurde. Der Wachstumsreglerversuch führte zu gleichen Ergebnissen. Auf die Präsentation soll hier verzichtet werden. Im Versuch trat kein Lager auf.

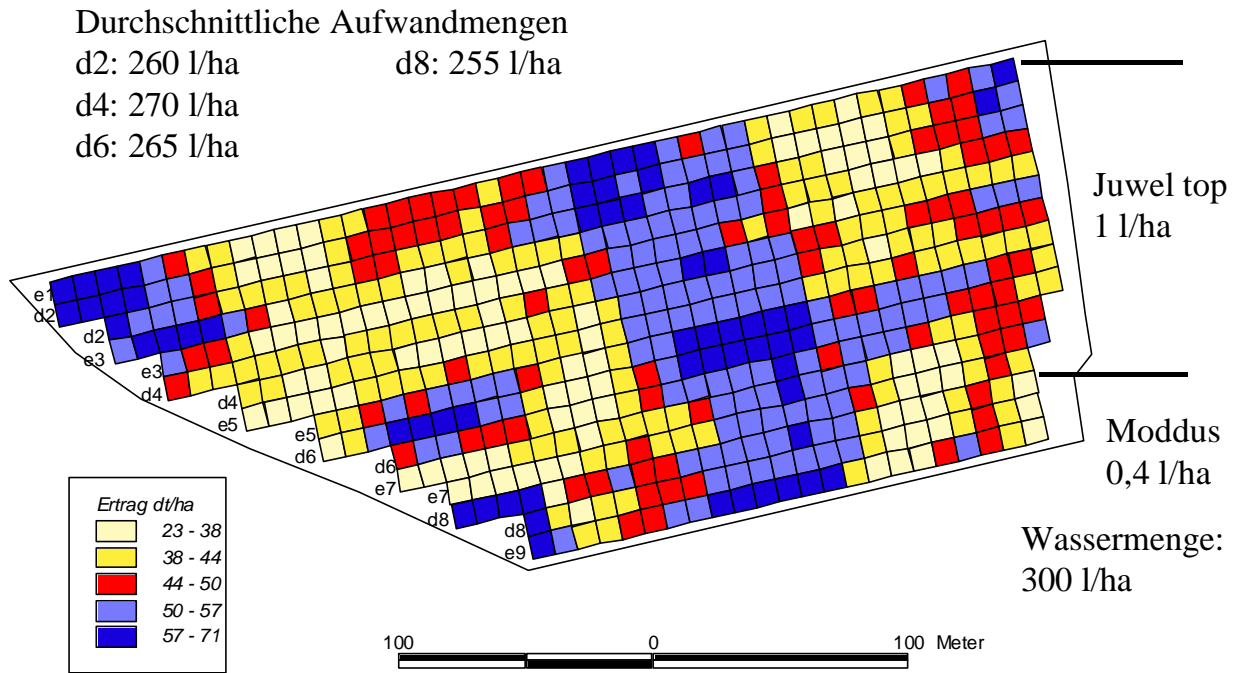


Abb. 4.7-14: Versuchsanlage (e1 ... e9: einheitliche Aufwandmenge in Fahrspur mit ungeraden Ziffern 1 ...9), d2 ...d8: differenzierte Aufwandmenge in Fahrspur mit geraden Ziffern 2 ... 8) und Ertragskarte des Fungizid- und Wachstumsreglerversuches in Winterweizen

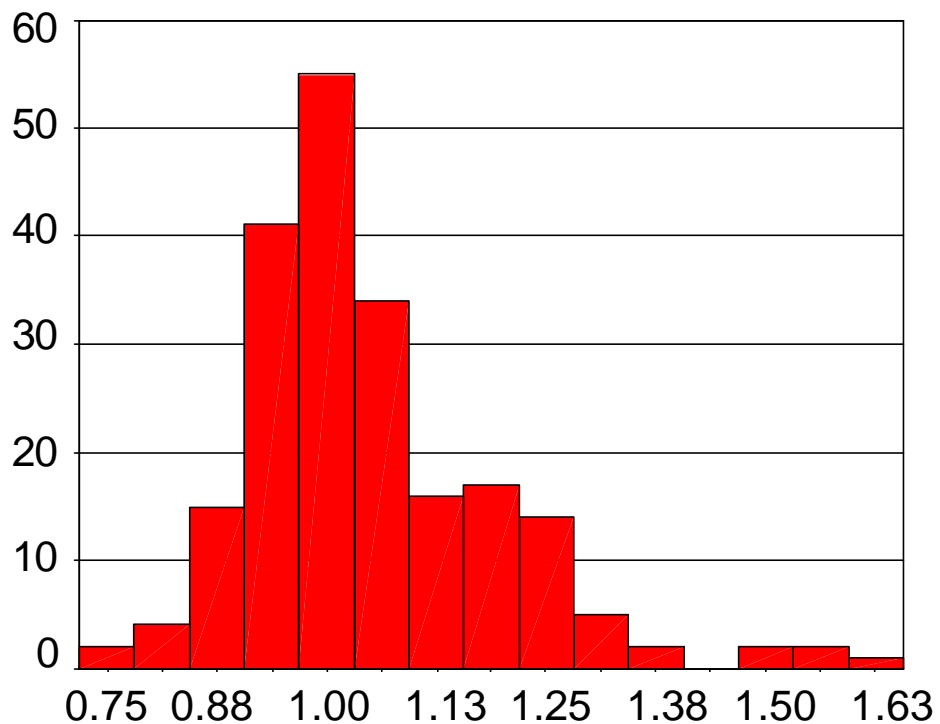


Abb. 4.7-15: Häufigkeitsdiagramm der örtlichen Relativerträge d_n/e_n ($n=210$) zum Ertragsvergleich zwischen differenzierter und einheitlicher Fungizidapplikation in Winterweizen 2000

Feldversuche zur Ermittlung der Pflanzenoberfläche mittels Pendelsensor, Luftbild und Hydro-N-Sensor

Pflanzendichte und -höhe wirken sich gemeinsam auf den Blattflächenindex aus. Sodhi & Dhalwal (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 4.7-7 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 geringe Verbesserungen hinsichtlich des Bestimmtheitsmaßes.

Tab. 4.7-7: 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)

Termin	„Vor Pilsenhöhe“ n=20	„Asphaltwerk“ n=20	„Kiesberg“ n=19	„111-4“ n=23	„Bullenstall“ n=20	„Finckenherd“ n=20
1	0,80 (0,00)	0,41 (0,02)	0,81 (0,00)	0,97 (0,00)	0,37 (0,00)	0,34 (0,01)
2		0,44 (0,00)	0,90 (0,00)	0,97 (0,00)	0,85 (0,00)	0,03 (0,50)
3		0,72 (0,00)	0,84 (0,00)	0,98 (0,00)		

Mit Ausnahme der zwei ersten Termine des Schlages „Asphaltwerk“ 2001, dem ersten Termin des Schlages „Bullenstall“ 2002 und aller 2 Termine des Schlages „Finckenherd“ 2002 konnte der enge Zusammenhang zwischen dem LAI und der Pflanzenhöhe und -dichte bestätigt werden. Für alle weiteren Berechnungen wurden deshalb der LAI verwendet. Ursachen für die schlechte Korrelation beim Schlag „Asphaltwerk“ 2001 deuten sich durch den in seiner vegetativen Entwicklung über den Messzeitraum eher homogenen Bestandesaufbau an. Aufgrund des feuchten Jahres 2002 war eine gute Wasserversorgung gewährleistet, so dass der Bestandesaufbau der Schläge „Finckenherd“ und „Bullenstall“ ebenfalls eher homogen war. Nur im Schlag „Bullenstall“ begann die Sandkuppe zum zweiten Messtermin zu zeichnen, was sich in einer LAI-Spannweite von 4,6 Indexpunkten ausdrückt. An diesem Termin war folglich eine hohe Korrelation ($R^2=0,85$) zu verzeichnen. Demgegenüber waren die anderen Schläge in den jeweiligen Jahren heterogener. In Tabelle 4.7-8 sind die Minima, Maxima sowie die Spannweiten für den LAI und die Frischmasse an den Stichprobenpunkten aufgeführt.

Tab. 4.7-8: Minimum, Maximum sowie die Spannweite (Sw) für den Blattflächenindex (LAI) und die Frischmasse in kg/m² (FM) der 6 Projektschläge

		FM	LAI	LAI	LAI
		Termin 1	Termin 1	Termin 2	Termin 3
„Vor Pilsenhöhe“ 2000	Min	0,8	1,4		
	Max	3,3	5,1		
	Sw	2,5	3,7		
„Asphaltwerk“ 2001	Min	2,3	3,0	3,8	3,5
	Max	3,6	5,6	6,4	6,5
	Sw	1,3	2,6	2,6	3,0
„Kiesberg“ 2001	Min	1,8	2,5	2,4	2,5
	Max	5,5	7,3	7,6	7,6
	Sw	3,7	4,8	5,2	5,1
„111-4“ 2001	Min	1,6	2,5	3,8	2,8
	Max	4,6	7,6	9,2	7,7
	Sw	3,0	5,1	5,4	4,9
„Bullenstall“ 2002	Min	2,1	3,0	3,5	
	Max	4,5	6,0	8,1	
	Sw	2,4	3,0	4,6	
„Finkenherd“ 2002	Min	2,4	4,2	4,4	
	Max	4,6	8,1	6,2	
	Sw	2,2	3,9	1,8	

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 (85 %) degressiv war (Tab. 4.7-9). Darin deutet sich eine Abnahme der Empfindlichkeit der drei Messmethoden in zunehmenden 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 ($R^2 = 0,79...0,92$). 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, was detailliert bei Dammer et al. (2001) nachgelesen werden kann.

Tab. 4.7-9: 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 (x-Variable) und Pendelwinkel bzw. Vegetationsindizes (y-Variable) von Hydro-N-Sensor und Luftbild (d: degressiv steigende Regressionskurve, p: progressiv steigende Regressionskurve, Angabe falls $p > 0,05$), FM: Frischmasse, LAI: Blattflächenindex (a: gemessen am Stichprobenpunkt, b: gemessen zwischen den Fahrspuren)

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
„Bullenstall“	FM	1 n=20	0,47 (0,0) d	0,74 (0,00) d	0,69 (0,00) p	0,33 (0,03) p
	LAI	1 n=20	0,19 (0,17)	0,49 (0,00) d	0,33 (0,03) d	0,38 (0,02) d
	LAI a	2 n=20	0,79 (0,00) d	0,59 (0,00) d	0,88 (0,00) d	0,67 (0,00) d
	LAI b	2 n=20	0,89 (0,00) d	0,41 (0,00) d	0,69 (0,00) d	0,76 (0,00) d
„Finckenherd“	FM	1 n=20	0,80 (0,0) d	0,47 (0,00) p	0,06 (0,34)	0,44 (0,01) p
	LAI	1 n=20	0,53 (0,00) d	0,16 (0,24)	0,04 (0,68)	0,40 (0,01) d
	LAI a	2 n=20	0,21 (0,14)	0,74 (0,00) d	0,41 (0,01) d	0,24 (0,00) d
	LAI b	2 n=20	0,39 (0,01) p	0,34 (0,03) d	0,37 (0,02) d	0,49 (0,00) d

Für das Versuchsjahr 2001 bestand in den meisten Fällen eine 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 ($R^2 = 0,01 \dots 0,72$). 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 ($R^2=0,05\dots0,70$). 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.

Die späte Differenzierung hinsichtlich der Pflanzenmasse des Schlages „Bullenstall“ bestätigt sich in der guten Korrelation zum zweiten Termin bei allen Meßmethoden. Im Schlag „Fincken-

herd“ war im Wesentlichen keine Korrelation zu beobachten (Ausnahme: Pendelwinkel zur Frischmasse zum ersten Termin und NDVI des Hydro-N-Sensors zum zweiten Termin).

Die Schläge „Asphaltwerk“ 2001 und „Finckenherd“ 2002 waren in ihrer Bestandesentwicklung verglichen mit den anderen Schlägen sehr homogen, was sich in der verhältnismäßig geringen Spannweite des LAI und der Frischmasse ausdrückt (vgl. Tab. 4.7-8). 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 Schlages „111-4“ war nur an einigen Terminen ein funktionaler Zusammenhang vorhanden. Im Vergleich zu den anderen Beständen 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. Diese Aussaatmethode kam auch auf dem Schlag „Finckenherd“ zur Anwendung. Die Ablage der Körner in Bändern führte teilweise zu größeren Lücken zwischen den Saatreihen. 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. Um Messfehler zu minimieren, wurde durch den Versuchsansteller gewährleistet, dass die Positionierung der „Sensorlanze“ im Winkel von etwa 45° zu den Getreidereihen vorgenommen wurde.

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 Merkmalermittlung kann bei der aufgetretenen kleinräumigen Heterogenität an den Stichprobenpunkten eine weitere Ursache für die beispielsweise schlechte Korrelation zwischen Pendelwinkel und LAI bzw. Frischmasse sein. Im Jahr 2002 wurden zum zweiten Termin Kontrollmessungen des Blattflächenindex mit dem SunScan®-Gerät zwischen den zwei Fahrspuren durchgeführt. Begründet in den abweichenden Meßergebnissen verbessert sich die Korrelation zwischen LAI und Pendelwinkel („Bullenstall“: von 0,79 auf 0,89, „Finckenherd“ von 0,21 auf 0,39).

Hinsichtlich Verlässlichkeit der LAI-Messergebnisse wird auf verschiedene Literaturangaben verwiesen. Von Wilhelm et al. (2000) erfolgte ein Vergleich der Handgeräte der Marken Accu-par®, 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 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 Hiks & 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.

Korrelationen zum Auslenkwinkel des Pendelsensors bzw. den Vegetationsindizes des Hydro-N-Sensors und der Luftbilder waren in den heterogenen Versuchsschlägen zu beobachten. Die Spannweite des mit den Handmeßgeräten ermittelten Blattflächenindexes war hier größer als in den eher homogenen Schlägen, wo keine Korrelation bestand. Ein differenziertes Bild zeigte sich in den Jahren 2001 und 2002 in den an sich heterogene Schlägen, wo allerdings eine Breitsaat mit dem Airseeder® erfolgt war. Besonders zu den frühen Terminen der Datenerhebung bestand oft keine Korrelation.

4.7.8 Kooperation mit anderen Teilprojekten

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 III-4 (N-Düngung), kann ebenfalls mit einbezogen werden.

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“, „Asphaltwerk“, „Bullenstall“ und „Finckenherd“ realisierte das Teilprojekt III-1b (Software Lohnunternehmer) und auf dem Pflichtschlag „111-4“ das Teilprojekt III-4 (Düngung).

4.7.9 Ausblick

Das computergestützte Modul der teilflächenspezifische Applikation von CCC-Wachstumsreglern ist eine erste Version. Eine Weiterentwicklung sollte folgende Einflußfaktoren in Form von Zu- und Abschlägen berücksichtigen:

- Temperatur am Tag der Anwendung (hohe Temperatur: Abschlag, niedrige Temperatur: Zuschlag)
- Reliefinformationen (Kuppe: Abschlag, Senke: Zuschlag).

Die Zu- bzw. Abschläge sind noch wissenschaftlich zu quantifizieren.

Nach Feststellen der Behandlungswürdigkeit für den jeweiligen Schlag dient im gegenwärtigen Entwicklungsstadium des Verfahrens der teilflächenspezifischen Fungizidapplikation die von der Spritzbrühe zu benetzende Pflanzenoberfläche als Größe zur ortsangepassten Mengens-

sung. Ein im Schlag eventuell auftretender unterschiedlich starker Pilzbefall wird nicht berücksichtigt. In heterogenen Schlägen ist jedoch davon auszugehen, dass auch der Befallsdruck durch Krankheitserreger variiert. Durch die innerhalb von *pre agro* bereits realisierte differenzierte Aussaat, N-Düngung und Wachstumsreglergabe etablieren sich unterschiedlich entwickelte Bestände. In diesen ist eine unterschiedlich verlaufende epidemiologische Entwicklung von Pilzkrankheiten zu erwarten. Unterschiede im Niveau der Bestandestemperatur (20 cm über der Bodenoberfläche) zwischen dichten und dünnen Winterweizenbeständen lassen Unterschiede hinsichtlich des pilzlichen Infektionsgeschehens vermuten (Abb. 4.7-16). Durch den Einsatz von Prognosemodellen bzw. Expertensystemen zur Simulierung von Krankheitsentwicklung bzw. Einsatzempfehlung von Fungiziden könnten neben der Pflanzenoberfläche Informationen über den Schaderreger selbst in die Berechnung der optimalen Applikationsmenge mit eingehen.

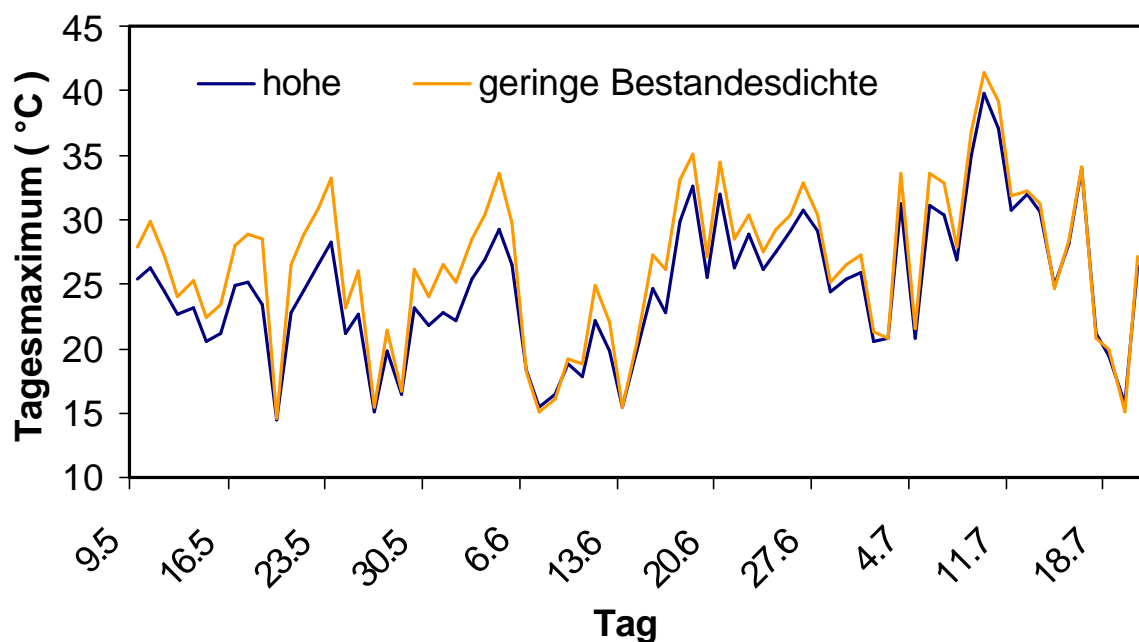


Abb. 4.7-16: Temperaturverlauf (Tagesmaximum) in den Monaten Mai bis Juli 2002 in einem unterschiedlich dichten Winterweizenbestand

4.7.10 Literatur

- Billier, R. H., Hollstein, A., 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., Anderson, G. W. (1994): Remote sensing for identification of weeds in no-till corn. Transaction of the ASAE 37, S. 297-302
- Christensen, S. (1993): Herbicide dose adjustment and crop weed competition. Proceedings Brighton Crop Protection Conference. Weeds., S. 1217-1222
- Cosser, N. D., Earl, R. (1997): Precision farming: Approaches to the management of field variation, Aspects of Applied Biology 50, S. 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 fundamen-

- tals for site-specific fungicide application in winter wheat. Proceedings 3d European Conference on Precision Agriculture Vol.2, S. 647-652.
- Dogan, M.N. (1999): Untersuchungen zur Wirkung reduzierter herbizidaufwandmengen in Abhängigkeit von Unkrautart, Entwicklungsstadium und Umweltbedingungen. Verlag Grauer. Stuttgart. 114 S.
- Dohmen, B. (1996): Optoelektronisch gesteuerte Applikation von Herbiziden – Erfahrungen mit dem amerikanischen System Weedseker® bei der Unkrautbekämpfung. KTBL- Arbeitspapier 236, S. 86-94
- Ehlert, D., Hammen, V., Adameck, R. (2002): On-line sensor pendulum-meter for determination of plant mass. Precision Farming, (im Druck)
- Felton, W. L., McCloy, K. R. (1992): Spot spraying. Agricultural Engineering 11, S. 9-12
- Gerhards, R., Kühbauch, W. (1993): Dynamisches Entscheidungsmodell zur Lenkung von Unkrautkontrollmaßnahmen in Wintergetreide mit Hilfe digitaler Bildverarbeitung. J. Agronomy & Crop Science, 329-335, 1993
- Gerhards, R., Kühbauch, W. (1999): Detection of weeds and spraying online: the ultimate in weed control. Proceedings of the XIVth International Plant Protection Congress, Jerusalem, Israel, July 25.-30., S. 87
- Gerhards, R., Sökefeld, M., Nabout, A., Therburg, R.-D., Kühbauch, W. (2002): Online weed control using digital image analysis. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVIII, S. 421-425
- Gerowitt, B., Heitefuss, R. (1990): Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. Crop Protection, 9, 209-218
- Grantz, D. A., Willams, L. E. (1993): An empirical protocol for indirect measurement of leaf-area index in grape. Hortscience 28, S. 777-779
- Guyot, G., Baret, F., Major, D. J. (1988): High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and the near infrared. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 11, S. 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, S. 458-464
- Kim, D.S., Brain, P., Caseley, J.C., Marshall, E.J.P. (1997): Effects of sub-lethal doses of Metsulfuron-methyl on crop-weed competition in two varieties of winter wheat. Proceedings Brighton Crop Protection Conference. Weeds., 669-670
- Kudsk, P. (1989): Experiences with reduced doses in Denmark and the development of the concept of factor-adjusted doses. Proceedings Brighton Crop Protection Conference. Weeds., S. 545-556
- Ludowicy, C., Schwaiberger, R., Leithold, P. (2002): Precision Farming Handbuch für die Praxis. DLG-Verlag, Frankfurt
- Nette, T., Götz, K., Resch, H.-N., Schneider, W. (2000): Systemanalyse zur Entwicklung praxisrelevanter Strategien im Bereich Precision Farming und Qualitätsmanagement mittels integration von GIS, GPS, und Fernerkundung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVIII (2002), S. 217-225
- Nordmeyer, H., Häusler, A. (2000): Erfahrungen zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung in einem Praxisbetrieb. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVII, S. 195-205
- 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, S. 73-78
- Pallut, B., Hofmann, B. (1990): Flexibler Herbizideinsatz im Getreide – ein wesentlicher Bestandteil einer integrierenden Unkrautbekämpfung. Tagungsbericht Akademie der Landwirtschaftswissenschaften 286, S. 7-20
- Pallut, B., Roder, W. (1992): Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von unkrautbedingten Ertragsverlusten bei W.-getreide. Ztschr. Pflanzenkr. Pflsch., Sonderheft XIII, S. 129-137

- Pallut, B. (2000): Einfluss der Konkurrenzkraft von Getreidebeständen auf das Unkrautwachstum und den Getreideertrag. Ztschr. Pflanzenkr. Pflsch., Sonderheft XVII, S. 265-274
- Perry, C. R., Lautenschlager, L. F. (1984): Functional equivalence of spectral vegetation indices. Remote Sensing of Environment 14, S. 169-182
- Petry, W. (1989): Unkrautkontrolle im landwirtschaftlichen Pflanzenbau mit Hilfe der quantitativen Bildanalyse.-Dissertation Universität Bonn, 74 S.
- Roth, R., Kühn, J. (2002): Bestandesführung und differenzierte Aussaat (TP III-2). In Werner, A., Jarfe, A.: Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. KTBL Darmstadt, S. 225-236
- 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, S. 189-195
- Schmerler, J., Wartenberg, G., Ehlert, D., M. Heisig (1998): Wissenschaft testet in der Praxis. Bauernzeitung, Sonderheft Wissen Kompakt, 3, 12-20, 1998
- Schwaiberger, R. (2001): „Hydro-N-Sensorsysteme“ im praktischen Einsatz-Status Quo 2001. Tagungsband VDI, S. 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. 1998, 25, S. 138-145
- Wartenberg, G. (1996): Untersuchungen der Voraussetzungen für den teilflächenspezifischen chemischen Pflanzenschutz. Forschungsbericht des ATB, Nr. 1996/1, 72 S.
- Wartenberg, G. (2001): Wenn Sensoren entscheiden. Neue Landwirtschaft-Sonderheft, S.92-95
- Wartenberg, G., Jürschik, P. (1995): Die Halmlänge - ein Parameter zur Steuerung von Prozessabläufen in der Getreideproduktion.- Agrartechnische Forschung 1, S. 68-72
- Wartenberg, G., Dammer, K.-H. (2001): Site-specific real time application of herbicides in practice. In: Grenier, G., Blackmore, S.: Third European Conference on Precision Agriculture Vol. 2, S. 617-622
- Welles J. M., Norman J. M. (1991): Instrument for indirect measurement of canopy architecture. Agronomy Journal 83, S. 818-825
- Wilhelm, W. W., Ruwe, K., Schlemmer, M. R. (2000): Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. Crop Science 40, S. 1179-1183