

Institut für Pflanzenbau
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau
Direktor: Prof. Dr. W. Kühbauch

**Lenkung teilschlagspezifischer Unkrautkontrollverfahren unter
Berücksichtigung der Populationsdynamik von Unkräutern
mit computergestützten Modellen**

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 11. März 2005

von

Dipl.-Ing. agr. Dominik Dicke

aus Obermarsberg

Referent: Prof. Dr. R. Gerhards
Korreferenten: Prof. Dr. H. W. Scherer
Prof. Dr. K. Hurle
Tag der mündlichen Prüfung: 13. Juli 2005
D 98

Lenkung teilschlagspezifischer Unkrautkontrollverfahren unter Berücksichtigung der Populationsdynamik von Unkräutern mit computer-gestützten Modellen

In dieser Arbeit wurden Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle, welche den Zeitraum von 1997-2003 umfassten, in einer Felderfolge sowie einer Maismonokultur durchgeführt. Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle führte zu hohen Herbizideinsparungen. Die Bekämpfungserfolge stimmten überwiegend mit denen einheitlicher Flächenbehandlungen überein. Die Unkrautpopulationsdynamik wurde in allen Feldern analysiert. In allen Jahren war die Unkrautverteilung sehr heterogen und Bereiche mit hoher Unkrautdichte blieben in Dichte und Lage stabil. Während die durchschnittliche Unkrautdichte in der Felderfolge sich nahezu nicht veränderte, kam es in der Maismonokultur zu einem Anstieg der Verunkrautung.

Eine neue dGPS-gesteuerte Mehrkammerspritze ist entwickelt worden und wurde für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle auf einem landwirtschaftlichen Betrieb in der Nähe von Nideggen in Braugerste getestet. Mit der Mehrkammerspritze konnte während der Überfahrt ein Wirkstoffwechsel realisiert werden. Zusätzlich wurden dabei im Feldversuch zwei unterschiedliche Schadschwellen auf ihre Eignung für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in Braugerste überprüft. Die GIS-basierte Analyse der Unkrautverteilungskarten, der Boden- sowie der Ertragskarte zeigte, dass die Konkurrenz der Unkräuter keinen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag hatte. Durch Unkrautkonkurrenz kam es jedoch zu einer Verringerung des Vollgerstenanteils (Kornfraktion > 2,5 mm) sowie des Rohpoteingehaltes bis unter 9% in Feldbereichen mit mehr als 5 Pfl./m² von *Cirsium arvense* sowie mehr als 15 Pfl./m² von *Avena fatua*. Die Mälzereien benötigen jedoch Ware mit einem Rohproteingehalt zwischen 9% und 11,5%, um die optimale Hefeernährung während des Brauprozesses zu gewährleisten. In einem zusätzlichen Feldversuch wurde ein multispektrales Satellitenbild analysiert, um die negativen Auswirkungen von Herbiziden in Mais, vier Wochen nach einer teilschlagspezifischen Herbizidbehandlung, zu quantifizieren. Die Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI-Werte) waren in den behandelten Feldbereichen signifikant niedriger als in den unbehandelten, was zeigte, dass das Wachstum des Maises durch das Herbizid verlangsamt wurde. Diese Unterschiede waren auch zum Teil noch in der Ertragskarte sichtbar. Daraus lässt sich schließen, dass pflanzentoxische Effekte von Herbiziden an Kulturpflanzen bei Unkrautkontrollentscheidungen berücksichtigt werden sollten.

In einem weiteren Feldversuch wurde der Einfluss reduzierter Herbiziddosen sowie die Konkurrenzeffekte von Sommerweizen und Sommergerste auf die Pflanzendichte und die Samenproduktion ausgewählter Unkrautarten untersucht. Des Weiteren wurde die Unkrautsamenprädation nach der Ernte in bearbeiteten und unbearbeiteten Parzellen analysiert. Mit reduzierten Aufwandmengen konnten gegen *Galium aparine* ebenso hohe Bekämpfungserfolge erzielt werden wie mit der vollen Aufwandmenge. Die Konkurrenz des Sommergetreides führte bei *Eschscholzia californica* zu einer Verringerung in der Pflanzendichte und der Samenproduktion. Die Pflanzendichte sowie die Samenproduktion von *Galium aparine* stieg jedoch an. Die Samenprädationsrate in den Parzellen ohne Bodenbearbeitung variierte zwischen den Versuchsjahren und war im Jahr 2002 niedriger und im Jahr 2003 höher als in den Parzellen mit Bodenbearbeitung. Es wurden Daten aus allen Versuchen genommen, um die räumliche und zeitliche Dynamik von Unkrautpopulationen mit einem populationsdynamischen Modell zu simulieren. Das Ziel bestand darin, die Verteilung der Unkrautart *Chenopodium album*, welche für diese Untersuchung selektiert wurde, beginnend mit den Daten des ersten Versuchsjahres, auf zwei Versuchsfeldern zu simulieren. Die simulierten Daten eines neuen populationsdynamischen Modells, welches am Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau der Uni Bonn entwickelt wurde, konnten anhand von erhobenen Vergleichsdaten durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson validiert werden. Das Modell trägt zu einer Verbesserung des Wissensstandes über die räumliche und zeitliche Dynamik von Unkräutern bei, was in Entscheidungsalgorithmen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle berücksichtigt werden kann.

Directing site-specific weed control methods with respect to weed population dynamics using computer based models

In this dissertation, site-specific weed control was studied in a crop rotation and in continuous maize from 1997 until 2003. Site-specific weed control resulted in high herbicide savings. The efficacy of site-specific weed control in most cases was similar to weed control methods with uniform herbicide applications. Spatial and temporal dynamics of weed populations were evaluated in all fields. Weed seedling distributions were heterogeneous in all years and most of the high density patches remained stable in density and location. In the crop rotation, the averaged weed density was very stable over all years of the study. However, in continuous maize weed density increased.

A new dGPS controlled multiple patch sprayer was developed and tested for site-specific weed control in malt barley on a farm near Nideggen. The sprayer allowed varying the herbicide mixture on the go. Additionally, two different weed thresholds were tested for site-specific weed control in malt barley. The GIS-based analysis of weed distribution maps, soil map and grain yield map revealed that weed competition had no significant effect on the average grain yield. However, competition of *Cirsium arvense* and *Avena fatua* reduced the fraction of larger grains (>2.5 mm calibration) and the protein content in the grain at locations where more than 5 plants/m² of *Cirsium arvense* and more than 15 plants/m² of *Avena fatua* occurred. A grain protein content of 9 to 11.5% is required by the malt industry to ensure the optimal yeast nutrition during the brewing process.

In an additional field trial, multispectral satellite images were analysed to quantify negative side effects of herbicides on maize four weeks after site-specific herbicide application. The Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI) were significantly lower in the sprayed than in the unsprayed areas of the field indicating that growth of maize was reduced by the herbicide. Those differences became partly visible in the grain yield map. It can be concluded from those results that phytotoxic effects of herbicides on the crops need to be taken in account for weed control decisions.

Another field experiment was established to study the influence of reduced herbicide doses and the competition effects of spring wheat and spring barley on density and seed production of selected weed species and to quantify weed seed predation after harvest in tilled and untilled plots. The efficacy of reduced herbicide doses against *Galium aparine* was similar to herbicide applications with the full herbicide doses. Competition of spring grain reduced density and seed production of *Eschscholzia californica*. However, density and seed production of *Galium aparine* increased in spring grain. Weed seed predation in untilled plots varied between the years of study. In 2002 weed seed predation was lower and in 2003 it was higher than in tilled plots.

Data of all experiments were taken to predict the spatial and temporal dynamics of weed populations using a weed population dynamic model. The objective was to simulate the distribution of *Chenopodium album* within two experimental fields, starting with weed infestation in the first year of the study. The results of a new model, which was developed at the Institute of Agronomy and Crop Science, could be validated using Pearson's coefficient of correlation.

The model improves our understanding of spatial and temporal dynamics of weed populations and thus can be included in decision algorithms for patch spraying.

A Inhaltsverzeichnis

A INHALTSVERZEICHNIS	1
B VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	4
C VERZEICHNIS DER TABELLEN	7
D VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN.....	8
1 EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	10
2 GRUNDLAGEN	13
2.1 Integrierte Unkrautbekämpfung	13
2.1.1 Das Schadschwellenprinzip.....	13
2.1.2 Reduzierung der Aufwandmenge	14
2.2 Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle.....	16
2.2.1 Erfassung und Kartierung der Unkrautverteilung auf Acker- schlägen mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS).....	18
2.2.2 Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle	21
2.3 Unkrautpopulationsdynamik	22
2.3.1 Lebenszyklus einjähriger Unkräuter.....	23
2.3.2 Modelle zur Simulation der Unkrautpopulationsdynamik.....	29
3 MATERIAL UND METHODEN	32
3.1 Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle.....	32
3.1.1 Charakterisierung des Versuchsstandorts Dikopshof.....	32
3.1.2 Ermittlung und Kartierung der Unkrautverteilung	34
3.1.3 Erstellung von Applikationskarten nach Schadschwellen.....	34
3.1.4 Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Basis von Applikationskarten.....	36
3.1.5 Ermittlung der Bekämpfungserfolge und der Herbizideinspa- rungen.....	37
3.2 Überprüfung von Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in Braugerste unter Verwendung eines Geoin- formationssystems (GIS).....	38
3.2.1 Charakterisierung des Versuchsstandorts Hurtz (Nideggen- Berg)	38
3.2.2 Ermittlung und Kartierung der Unkrautverteilung	39
3.2.3 Festlegen der Schadschwellen.....	39
3.2.4 Erstellung von Applikationskarten.....	40
3.2.5 Umsetzung der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation	41
3.2.6 Ermittlung der Bekämpfungserfolge und Herbizideinspa- rungen.....	41
3.2.7 Ermittlung der Qualitätsparameter Rohproteingehalt und Vollgerstenanteil.....	41
3.2.8 Ermittlung und Kartierung des Ertrags.....	41
3.2.9 GIS-basierte Untersuchung	42
3.3 Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf populationsdynamische Parameter von <i>Galium aparine</i> und <i>Eschscholzia californica</i>	43
3.3.1 Charakterisierung des Versuchstandorts Poppelsdorf	44
3.3.2 Versuchsdurchführung	44

3.4	Vergleichende Untersuchung zur Reduzierung des Unkrautsamenpotenzials mit und ohne Stoppelbearbeitung unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlicher Samenprädatoren zwischen Getreideernte und Herbstbestellung	45
3.5	Einsatz von Modellen zur Unkrautpopulationsdynamik unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle.....	47
3.5.1	Validierung eines Simulationsmodells zur Populationsdynamik annualer Unkräuter ausgehend von ZWERGER und HURLE (1988).....	47
3.5.2	Beschreibung des Simulationsprogramms zur Populationsdynamik annualer Unkräuter „WEED PROGNOSESIS“	47
3.5.3	Validierung des Simulationsprogramms „WEED PROGNOSESIS“	50
4	ERGEBNISSE ZUR LENKUNG TEILSCHLAGSPEZIFISCHER UNKRAUTKONTROLLVERFAHREN	52
4.1	Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrollmaßnahmen am Versuchsstandort Dikopshof in den Jahren 2002-2003.....	52
4.2	Überprüfung von Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in Braugerste unter Verwendung eines Geoinformationssystems.....	60
4.3	Einsatz satellitengestützter Fernerkundung zur Früherkennung eines Herbizidschadens in Mais	65
5	ERGEBNISSE ZUR POPULATIONSDYNAMIK VON UNKRÄUTERN.....	69
5.1	Unkrautpopulationsdynamik unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle und Kulturart auf den Versuchsfeldern des Dikopshofes von 1997-2003.....	69
5.2	Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf die zeitliche Dynamik sowie die Samenproduktion von <i>Galium aparine</i> und <i>Eschscholzia californica</i>	72
5.3	Einfluss der Stoppelbearbeitung auf die Reduzierung von Unkrautsamen zwischen Ernte und Herbstbestellung im Vergleich zur Wirkung von Samenprädatoren bei Verzicht auf Stoppelbearbeitung	76
5.4	Einsatz von Modellen zur Unkrautpopulationsdynamik unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle.....	82
5.4.1	Validierung des Prognosemodells nach ZWERGER und HURLE (1988).....	82
5.4.2	Validierung des Prognosemodells „WEED PROGNOSESIS“	84
6	DISKUSSION UND AUSBLICK	89
6.1	Das System der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle.....	89
6.1.1	Die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung im praktischen Braugerstenanbau.....	99
6.1.2	Einsatz satellitengestützter Fernerkundung zur Früherkennung eines teilschlagspezifischen Herbizidschadens in Mais	102
6.2	Untersuchungen zur Populationsdynamik von Unkräutern	103
6.2.1	Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf die zeitliche Dynamik sowie die Samenbildung von <i>Galium aparine</i> und <i>Eschscholzia californica</i>	103
6.2.2	Zur Frage des Schicksals von Unkrautsamen zwischen Ernte und Herbstbestellung mit und ohne Stoppelbearbeitung unter Berücksichtigung des Einflusses von Prädatoren	106

6.2.3 Verifizierung von Prognosemodellen zur Vorhersage der Unkrautverteilung.....	107
6.3 Ausblick.....	111
7 ZUSAMMENFASSUNG.....	113
8 LITERATURVERZEICHNIS.....	117
9 ANHANG.....	136
9.1 Verzeichnis der Anhangstabellen	136
9.2 Verzeichnis der Anhangsabbildungen	138

B Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 2.1	Schema einer dGPS-gesteuerten Pflanzenschutzspritze mit separat geschalteten Teilbreiten und Regulierung der Ausbringmenge (GERHARDS <i>et al.</i> , 2000)	21
Abb. 2.2	Lebenszyklus einjähriger Unkräuter (verändert nach COUSENS und MORTIMER, 1995).....	23
Abb. 2.3	Veränderung der Keimruhe von Unkrautsamen, ausgehend von der auf der Mutterpflanze induzierten primären Dormanz (verändert nach BASKIN und BASKIN, 1989)	27
Abb. 2.4	Modell zur Populationsdynamik von Unkräutern (ZWERGER und HURLE, 1988).....	30
Abb. 3.1	Monatliche Temperatur- und Niederschlagsverteilung der Versuchsjahre 2002 und 2003 auf der Versuchsstation Dikopshof mit jeweiligem langjährigem Mittel.....	32
Abb. 3.2.	Versuchsstation Dikopshof mit Betriebsschlägen und eingezeichneten Versuchsschlägen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle	33
Abb. 3.3	Eingabemaske des Applikationsprogramms "SPRAY CONTROL" mit Applikationskarte, Eingabemodul für Schadschwellen und Aufwandmengen, Anzeige der benötigten Herbizidmenge sowie Kontrollanzeige über den Status der Teilbreiten während der Herbizidapplikation. Schwarze Flächenanteile werden nicht behandelt. Die wählbare Herbiziddosis erhöht sich analog der Farbreihenfolge grün, gelb und rot, wobei in den roten Flächenbereichen stets die vom Hersteller empfohlene Aufwandmenge appliziert wird.	36
Abb. 3.4	Schaltplan der dGPS-gesteuerten Dreikammerspritze.....	37
Abb. 3.5	Charakterisierung des Versuchsstandortes Hurtz (Nideggen-Berg) mit Luftbild (1998) sowie Bodenkarte (1955) und Grundkarte mit Höhenlinien (1999) im Maßstab 1:5000. Landesvermessungsamt NRW, Karte Nr. 5204/36 (Boich Süd)	38
Abb. 3.6	Versuchsplan: „Schadschwellen in Braugerste“ mit Schadschwellenvarianten, Kontrollvarianten K100 als Ganzflächenbehandlung und K0 als Nullvariante, sowie unterlegter Bodenkarte	40
Abb. 3.7	Konturoverlay der ROI <i>Galium aparine</i> und der Ertragskarte von Braugerste mit gerastertem Schadschwellenversuchsplan, moving window zur Analyse von festgelegten Regionen (hier B5 und E3), sowie farblich markierte Ertragsklassen und als farbliche Kontur dargestellte Dichteklassen von <i>Galium aparine</i>	43
Abb. 3.8	Monatliche Temperatur- und Niederschlagsverteilung der Versuchsjahre 2002 und 2003 auf der Versuchsstation Poppelsdorf mit jeweiligem langjährigem Mittel	44
Abb. 3.9	Ausgelegte Plastikschalen mit Barrieren zur Differenzierung des Samenverlustes durch a) Vögel, Nagetiere, Laufkäfer und Schnecken, b) Nagetiere, Laufkäfer und Schnecken und c) Laufkäfer und Schnecken.....	46

Abb. 3.10	Programmoberfläche des Simulationsprogramms „WEED PROG-NOSIS“ mit vereinfachter, exemplarischer Inputdatei als Ausgangsbasis und Eingabefunktionen für populationsdynamische Parameter sowie vereinfachter Outputdatei mit den Prognoseergebnissen für das folgende Jahr.....	48
Abb. 4.1	Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag 6 in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten.....	53
Abb. 4.2	Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag 8 in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten.....	54
Abb. 4.3	Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag 9 in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten.....	55
Abb. 4.4	Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag 4 in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten.....	56
Abb. 4.5	Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag GH in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten.....	57
Abb. 4.6	Verteilung der Zielunkrautgruppen (A-C) (GALAP/CIRAR = Problemunkräuter <i>Galium aparine/Cirsium arvense</i>) sowie der zugehörigen Applikationskarten (D-F) auf Basis von Schadschwelle 2.....	60
Abb. 4.7	Bodenkarte und Ertragskarte mit ökonomischen Schadschwellen (A-F).....	62
Abb. 4.8	Kornertrag von Braugerste in unterschiedlichen Bodenklassen. Signifikante Unterschiede werden mit unterschiedlichen Buchstaben bei einer Grenzdifferenz von 5% dargestellt.....	62
Abb. 4.9	Einfluss ausgewählter Unkrautarten auf die Qualitätsparameter Vollgerstenanteil und Rohproteingehalt von Braugerste	64
Abb. 4.10	Vergleich der Bodenkarte, Applikationskarte, Verschneidung des <i>QuickBird</i> -Bildes im panchromatischen Modus (Grauwertbild) mit Applikationskarte sowie NDVI-Bild (25 Tage nach Herbizidapplikation) und Ertragskarte mit Boniturstellen.....	66
Abb. 4.11	NDVI und Ertrag von Körnermais in den behandelten und nicht behandelten Feldbereichen. Signifikante Unterschiede mit einer Grenzdifferenz von 5% werden mit unterschiedlichen Buchstaben dargestellt.....	67
Abb. 4.12	Häufigkeitsverteilung der Grauwerte der panchromatischen <i>QuickBird</i> -Szene (Grauwertbild) in den behandelten und unbehandelten Flächenbereichen.....	67

Abb. 5.1	Dynamik der teilschlagspezifisch behandelten Zielunkräuter auf den Schlägen der Felderfolge 8 und 9 sowie dem Schlag GH in der Maismonokultur im Versuchszeitraum von 1997 (Schlag 8) bis 2003	70
Abb. 5.2	Auflaufverhalten von <i>Fumaria officinalis</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Veronica hederaefolia</i> und <i>Galium aparine</i> in Abhängigkeit der Kulturart im Beobachtungszeitraum von 1997-2003 auf Schlag 8.....	71
Abb. 5.3	Samenproduktion von <i>Eschscholzia californica</i> und <i>Galium aparine</i> unter dem Einfluss von Deckfrucht und Brache nach Pflanzenschutzstufen	75
Abb. 5.4	Prozentualer Verlust ausgewählter Getreide- und Unkrautsamen durch unterschiedliche Prädatoren zwischen Ernte und Herbstbestellung in den Jahren 2002 und 2003.....	77
Abb. 5.5	Fraßspuren der Genetzten Ackerschnecke (<i>Deroceras reticulatum</i>) an Getreidekaryopsen.....	78
Abb. 5.6	Prozentualer Verlust ausgewählter Getreide- und Unkrautsamen durch Stoppelbearbeitung zwischen Ernte und Herbstbestellung im Jahr 2002	79
Abb. 5.7	Prozentualer Verlust ausgewählter Getreide- und Unkrautsamen durch Stoppelbearbeitung zwischen Ernte und Herbstbestellung im Jahr 2003	79
Abb. 5.8	Vergleich zwischen Stoppelbearbeitungs- und Prädatorenvariante im Jahr 2002	80
Abb. 5.9	Vergleich zwischen Stoppelbearbeitungs- und Prädatorenvariante im Jahr 2003	81
Abb. 5.10	Vergleich zwischen erhobenen und prognostizierten Anzahlen an Pflanzen je Quadratmeter von <i>Echinochloa crus-galli</i> und <i>Chenopodium album</i> in einer Maismonokultur sowie in einer Felderfolge	84
Abb. 5.11	Vergleich der erhobenen und der prognostizierten räumlichen Verteilung von <i>Chenopodium album</i> auf Schlag 9 in den Jahren 1999-2003.....	85

C Verzeichnis der Tabellen

Tab. 3.1	Versuchsschläge mit angebauten Kulturen der Jahre 1997-2003.....	34
Tab. 4.1	Herbizideinsparungen und Bekämpfungserfolge der teilschlag-spezifischen Unkrautkontrolle auf der Versuchsstation Dikopshof in den Jahren 2002 und 2003.....	59
Tab. 4.2	Herbizideinsparungen und Bekämpfungserfolge nach Schadschwellen und Zielunkrautgruppen mit den Problemunkräutern <i>Galium aparine</i> und <i>Cirsium arvense</i>	61
Tab. 4.3	Erträge in den Schadschwellen, differenziert nach behandelten und nicht behandelten Regionen.....	63
Tab. 4.4	Einfluss der Dichte ausgewählter Unkrautarten auf den Ertrag von Braugerste.....	63
Tab. 5.1	Zeitliche Dynamik von <i>Galium aparine</i> zu ausgewählten Terminen (T1-T6) in Brache und Getreide nach Pflanzenschutzaufwandmengen (Grenzdifferenzen der einzelnen Termine, GD $\alpha=0,05$).....	72
Tab. 5.2	Zeitliche Dynamik von <i>Eschscholzia californica</i> zu ausgewählten Terminen (T1-T6) in Brache und Getreide nach Pflanzenschutzaufwandmengen (Grenzdifferenzen der einzelnen Termine, GD $\alpha=0,05$).....	74
Tab. 5.3	Samenverlustrate, Auflaufrate, Mortalitätsrate und Samenproduktion von <i>Echinochloa crus-galli</i> und <i>Chenopodium album</i> in einer Maismonokultur sowie einer Felderfolge in den Jahren 1997-2002.....	83
Tab. 5.4	Populationsdynamische Parameter für das Modell „WEED PROG-NOSIS“.....	85
Tab. 5.5	Korrelationskoeffizienten nach Pearson für den Vergleich zwischen der realen und prognostizierten Verteilung von <i>Chenopodium album</i> auf den Schlägen 9 und 8 in den Jahren 1999-2003 mit eingezeichneten Fruchtarten.....	87
Tab. 5.6	Prozentual richtig prognostizierte Applikationsentscheidung für alle Zählstellen der Schläge 9 und 8 für die Jahre 1999 bis 2003 mit eingezeichneten Fruchtarten sowie prozentualer Anteil von unnötigen Herbizidapplikationen (Überschätzung) und erforderlichen, jedoch unterlassenen Herbizidapplikationen (Unterschätzung).....	88

D Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CCD	Halbleitersensor (charge coupled device)
d.h.	das heißt
def.	definiert
dGPS	differenzielles Globales Positionierungssystem
DIKO	dikotyle Unkräuter
<i>et al.</i>	und andere (et alii)
etc.	und weitere (et cetera)
FHS	Formulierungshilfsstoff
g	Gramm
ggf	gegebenenfalls
GPS	Globales Positionierungssystem
GIS	Geo-Informationssystem
ha	Hektar
Kap.	Kapitel
KM	Körnermais
km/h	Kilometer pro Stunde
l	Liter
m	Meter
max.	maximal
Max.	Maximum
mech.	mechanisch
min	Minute
Min.	Minimum
ml	Milliliter
Mono	Monokultur
MONOK	monokotyle Unkräuter
n.a.	nicht ermittelt (engl. not assessed)
NAK	Nachauflaufkontrolle
NDVI	Normalized difference vegetation index
NN	normal Null (Meereshöhe)
o.a.	oben angeführt
o.ä.	oder ähnlich
Pfl./m ²	Pflanzen je Quadratmeter

R(NIR)	Wellenlängenbereich des nah-infraroten Lichtes
R(Red)	Wellenlängenbereich des roten Lichtes
s.	siehe
s.o.	siehe oben
s.u.	siehe unten
S.	Seite
SB	Sonnenblumen
sog.	so genannt
spp.	Bezeichnung aller Arten innerhalb einer Gattung
t	Tonne
T	Termin
Tab.	Tabelle
UKK	Unkrautkontrollmaßnahme
u.a.	Unter anderem
überw.	überwiegend
VAK	Vorauflaufkontrolle
vgl.	vergleiche
WG	Wintergerste
WW	Winterweizen
z.B.	zum Beispiel
ZR	Zuckerrüben

1 Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

Einleitung

Bei etwa der Hälfte der weltweit eingesetzten Pflanzenschutzmittel handelt es sich um chemische Mittel zur Unkrautbekämpfung, sogenannte Herbizide (HOCK *et al.*, 1995). Von Pflanzenschutzmitteln, insbesondere von Herbiziden, gehen jedoch Risiken für den Naturhaushalt und den Menschen aus (GUSTAFSON, 1993). Herbizide gehören nach CARTER (2000) zum Hauptanteil der im Grund- und Oberflächenwasser gefundenen Pflanzenschutzmittelrückstände. In der Version der Trinkwasserverordnung von 2003 ist der Grenzwert für Pflanzenschutzmittelrückstände im Trinkwasser auf 0,0001 mg/l für einzelne Wirkstoffe und auf 0,0005 mg/l für die Gesamtheit aller Wirkstoffe begrenzt.

Herbizide wirken sich auch auf die Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren aus, wie aus Ackerrandstreifenprogrammen bekannt ist. SCHUMACHER (1992) beobachtete in unbehandelten Feldbereichen eine Zunahme der Populationsdichte bedrohter Pflanzenartenarten, wie z.B. Blauer Gauchheil (*Anagalis foemina*), Sommeradonisröschen (*Adonis aestivalis*) oder Feldrittersporn (*Consolida regalis*). Nützlinge, die zur Gesunderhaltung der Kulturpflanzen beitragen, werden gefördert, wenn chemische Unkrautbehandlungen unterbleiben (SPAHILLARI *et al.*, 1999).

Aus diesen Gründen fordern die Verbraucher von den Landwirten die „gläserne Produktion“ bei der Erzeugung von Lebensmitteln. Chemischer Pflanzenschutz wird immer kritischer hinterfragt, und es besteht ein reges Interesse daran, Pflanzenschutzmittelanwendungen nachvollziehbar und somit kontrollierbar zu machen. So gibt es in Deutschland seit 2005 eine schlagbezogene Dokumentationspflicht des Herbizideinsatzes (AHLERS, 2003). Ziel soll es sein, die Herbizidmengen zu reduzieren und standortgerecht einzusetzen.

Seit den 80er Jahren verfolgen die Legislativen verschiedener europäischer Länder das Ziel, den Pflanzenschutzmittelaufwand zu senken. Beispielsweise konnte der Aufwand an Pflanzenschutzmitteln in Dänemark durch die seit mehr als 18 Jahren bestehenden „Danish Pesticide Action Plans“ verringert werden. Verschiedene Herbizide wurden verboten, und es kam zur Einführung von Steuern auf Pflanzenschutzmittel (JENSEN, 2004). Schweden und die Niederlande ergriffen ebenfalls politische Maßnahmen, um die Wirkstoffmengen pro Hektar zu reduzieren (BEAUMONT, 1993; EKSTRÖM und BERNSON, 1995; JANSMA *et al.*, 1993). So sollte in den Niederlanden die jährlich ausgebrachte Wirkstoffmenge bis 2000 auf 50% des Niveaus der Jahre 1985-1989 reduziert werden. Im schwedischen Parlament wurde für 1995 eine Reduzierung der Wirkstoffmenge um 67% des durchschnittlichen Niveaus der Jahre 1981-1985 beschlossen.

In Deutschland soll in den kommenden Jahren über das *Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz* versucht werden, die Anwendung von Herbiziden auf das absolut notwendige Maß zu senken. Es soll ein Behandlungsindex eingeführt werden, der angibt, welche Herbizidmenge im Durchschnitt ausreicht, um Unkraut in den jeweiligen Kulturpflanzen zu bekämpfen. Dieser Index darf nicht überschritten werden. Ziel ist es, die Herbizidmengen unter dem empfohlenen Behandlungsindex zu halten (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2005). Außerdem sollen auf Informationstechnologie basierende, umweltschonende Unkrautkontrollverfahren, wie die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle, gefördert werden. (ZWERGER *et al.*, 2004).

Durch teilschlagspezifische Unkrautkontrolle als Bestandteil von „Precision-Farming“ lassen sich deutliche Einsparungen der Herbizidmengen realisieren, ohne eine Minderung des Bekämpfungserfolgs hinnehmen zu müssen (GERHARDS und CHRISTENSEN, 2003). Der Ertrag soll im Verhältnis zur Herbizidaufwandmenge optimiert werden, wobei die heterogene Unkrautverteilung innerhalb von Ackerschlägen berücksichtigt wird. Dadurch wird der Herbizidaufwand je erzeugter Produkteinheit verringert, was in erster Näherung gleichbedeutend ist mit einer geringeren Umwelt-, Kosten- und Arbeitsbelastung. Die weiträumige Umsetzung dieses lokalen Ressourcenmanagements lässt daher Lösungsbeiträge zu landwirtschaftlichen Nachhaltigkeitsproblemen sowohl in der ökologischen als auch in der wirtschaftlichen Dimension erwarten.

Problemstellung und Zielsetzung

Seit wenigen Jahren ist es möglich, über die Kopplung von Sensoren mit dem Globalen-Positionierungs-System (GPS) und Geoinformationssystemen (GIS), sowohl die heterogene Unkrautverteilung als auch andere schlaginterne Informationen ortskodiert zu erfassen, zu dokumentieren und teilschlagspezifisch umzusetzen. Es fehlen jedoch gültige Entscheidungsalgorithmen, um auf die schlaginternen Gegebenheiten richtig reagieren zu können. Daher muss z.B. das Schadschwellenkonzept als Grundlage der Unkrautkontrolle auf die schlaginternen Heterogenitäten hin angepasst werden. Des Weiteren werden Applikationstechniken benötigt, die den unterschiedlichen Verunkrautungssituationen innerhalb von Ackerschlägen adäquat begegnen können. Durch die Neuartigkeit des Verfahrens der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle ist bisher weitgehend ungeklärt, welche Auswirkung diese Technik in der praktischen Anwendung auf die Folgeverunkrautung hat und ob die Herbizideinsparungen auch bei langjähriger Anwendung dieser Technik erhalten bleiben.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, wie viel Herbizidmenge in unterschiedlichen Kulturen durch teilschlagspezifische Unkrautkontrolle eingespart werden kann, wobei die zu realisierenden Bekämpfungserfolge ebenfalls berücksichtigt werden. Des Weiteren soll eine neuartige dGPS-gesteuerte Applikationstechnik, welche einen Wirkstoffwechsel während der Fahrt zulässt, im praktischen Braugerstenanbau getestet werden. Dabei sollen gleichzeitig Entscheidungsalgorithmen (Schadsschwellen) auf ihre Eignung für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung in Braugerste überprüft werden. Zur Frage der Auswirkung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf die Folgeverunkrautung sollen in Feldversuchen Untersuchungen zur Populationsdynamik durchgeführt werden. Aus diesen Ergebnissen lassen sich Parameter ableiten, die in Modellen zur Vorhersage der Folgeverunkrautung eingesetzt werden können.

Die richtige Kombination von modernen Informationstechniken mit präzisen Entscheidungssystemen (Schadsschwellen) und Expertenwissen über die Populationsdynamik von Unkrautarten würde helfen, die Dynamik der Unkrautpopulationen besser zu verstehen. Dadurch soll ermöglicht werden, diese Dynamik mit Hilfe von Modellen für Folgejahre prognostizieren zu können. Die Auswirkung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf die Folgeverunkrautung könnte so abgeschätzt werden.

Die in dieser Arbeit erhobenen Ergebnisse sollen in Zukunft als Bestandteil von Expertensystemen dazu beitragen, die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung erfolgreich in die landwirtschaftliche Praxis einzuführen, um das in Deutschland verabschiedete *Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz* zu unterstützen. Es sollen damit weniger Herbizide bei gleichem Bekämpfungserfolg ausgebracht werden und der Herbizideinsatz soll nachvollziehbar dokumentiert werden.

2 Grundlagen

2.1 Integrierte Unkrautbekämpfung

Der integrierte Pflanzenschutz wird als eine Kombination von Verfahren verstanden, bei denen unter vorangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß beschränkt wird (PFLANZENSCHUTZGESETZ, 1998). Die integrierte Unkrautbekämpfung schließt prophylaktische Maßnahmen ein, um die Zahl der auflaufenden Unkräuter zu verringern und die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze zu steigern. Verfahren zur Unkrautbekämpfung werden erst eingesetzt, wenn die ökonomische Schadschwelle überschritten ist (SWANTON und MURPHY, 1996; BUHLER *et al.*, 2000).

Auf Länderebene gibt es zur Führung von Qualitätszeichen bezüglich des Anbaus von bestimmten Kulturarten spezifische Richtlinien, in denen Angaben für die integrierte Produktion konkretisiert werden. In der „Richtlinie für den integrierten und kontrollierten Anbau von Braugerste und Brauweizen in Baden-Württemberg zur Verwendung des Herkunfts- und Qualitätszeichens“ wird gefordert, chemische Pflanzenschutzmittel nur im Notfall einzusetzen: „...Chemische Pflanzenschutzmittel stehen am Ende der möglichen Bekämpfungsmaßnahmen... Sollte eine chemische Unkrautbekämpfung notwendig sein, so hat diese grundsätzlich im Nachauflaufverfahren zu erfolgen... Zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes sind ggf. nur Teilflächen zu behandeln oder die Aufwandmengen entsprechend den Entwicklungsstadien der Schaderreger zu vermindern... Chemische Pflanzenschutzmittel werden erst dann eingesetzt, wenn die wirtschaftliche Schadschwelle überschritten ist... Dazu ist die aktuelle Verunkrautung... zu ermitteln“ (ANONYMOUS, 1995). Diese Vorschriften reflektieren die gesellschaftlichen und politischen Anforderungen an die Unkrautbekämpfung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion.

2.1.1 Das Schadschwellenprinzip

Aus den Prinzipien des integrierten Pflanzenschutzes und der Richtlinie für den integrierten und kontrollierten Anbau von Braugerste ist ersichtlich, dass das Schadschwellenprinzip sowie die Reduzierung der Aufwandmengen in Abhängigkeit von natürlichen Umweltbedingungen zu den Hauptelementen des integrierten Pflanzenschutzes gehören.

Auf die Unkrautkontrolle bezogen bedeutet dies, dass Bekämpfungsmaßnahmen auf Ackerschlägen dem jeweiligen aktuellen Unkrautbesatz angepasst werden sollen. Die Schadschwelle ist hierbei ein Grenzwert, oberhalb dem eine Bekämpfung ökonomisch

sinnvoll ist, wobei unterhalb der Schwelle keine Bekämpfung erfolgen muss (EGGERS und NIEMANN, 1980; Wahmhoff, 1986). Ökonomische Schadschwellen in den gegenwärtigen Modellen (COUSENS, 1987; GEROWITT und HEITEFUß, 1990; BLACK und DYSON, 1993; NORRIS, 1999) berücksichtigen die Kulturart (momentaner Warenpreis, Konkurrenzskraft), die Unkrautart (Dichte, Konkurrenzkraft, Kosten der Unkrautkontrolle) und die Unternehmensführung des Betriebes (SWANTON und MURPHY, 1996; WEAVER und IVANY, 1997).

So existieren für verschiedene Unkrautarten und Kulturpflanzen unterschiedliche Schadschwellenwerte. Damit das Schadschwellenprinzip in der Praxis sinnvoll umgesetzt werden kann, hat es sich bewährt, Unkrautarten nach Selektivität der Herbizide und nach Konkurrenzkraft gegenüber der Kulturpflanze in Gruppen einzuteilen. Aus diesem Grund werden die Schadschwellenwerte beispielsweise für Getreide in der Literatur meist nicht bestimmten Unkrautarten zugeteilt; die Werte beziehen sich in der Regel auf Unkrautgruppen. Als Gruppen finden sich Ungräser, Unkräuter und Problemunkräuter wie *Galium aparine*, *Convolvulus arvensis* und *Cirsium arvense*. Ungräser werden oft noch einmal unterteilt. So wird *Apera spica-venti* mit der Schadschwelle 10-20 Pfl./m² und *Alopecurus myosuroides* mit 25-35 Pfl./m² angegeben (WELLMANN und FEUCHT, 2002). Der Schadschwellenbereich bei Unkräutern liegt zwischen 40-90 Pfl./m², wobei die Streuung der Werte sehr hoch ist (BARTELS *et al.*, 1983; ZANIN *et al.*, 1993). Die Schadschwelle für *Galium aparine* liegt zwischen 0,1-2 Pfl./m² (BARTELS *et al.*, 1983; MEINERT und MITTNACHT, 1992). Für *Cirsium arvense* und *Convolvulus arvense* wird ein ebenfalls sehr niedriger Bereich von 2 Pfl./m² angegeben (BÖRNER, 1995).

BARTELS *et al.* (1983) geben eine Anleitung für die praktische Ermittlung der Schadschwellen im Feld. Demnach sollen auf Schlägen bis zu fünf ha Größe alle Unkräuter an dreißig zufällig gewählten Stellen im Feld mit Hilfe eines 0,1 m² großen Zählrahmens ausgezählt und auf 1 m² umgerechnet werden. So wird nach ihrer Aussage die Verunkrautung hinreichend genau erfasst. Zusätzlich soll während der Feldbegehung auf ein nesterweises Auftreten von Problemunkräutern wie *Galium aparine* geachtet werden, damit im Zweifelsfall, wenn dieses Unkraut nicht durch den Zählrahmen erfasst wird, trotzdem bekämpft wird. Die Bekämpfungsentscheidung gilt jeweils für den Gesamtschlag. Schlaginterne Heterogenitäten werden nicht berücksichtigt.

2.1.2 Reduzierung der Aufwandmenge

Neben der Möglichkeit, Herbizide durch Ausschalten der Spritze bei einer Unterschreitung von Schadschwellen einzusparen sind ebenfalls die Effekte reduzierter Herbizidaufwandmengen, sowohl auf die Herbizideinsparung als auch auf das Wachs-

tum der Unkräuter im jeweiligen Anbaujahr, vielfach beschrieben worden (DAVIS und WHITING, 1990; SALONEN, 1990; PALLUTT und HOFMANN, 1990). Sie zeigen, dass mit reduzierten Aufwandmengen Herbizide eingespart werden können, wobei im Allgemeinen zwar geringere Bekämpfungserfolge erzielt, jedoch negative Wirkungen der Unkräuter auf den Ertrag und die Qualität durch die Konkurrenzwirkung der Deckfrucht meist unterbunden werden (PALLUTT, 1993). Mit Hilfe von Herbizidbiotests sind in der Vergangenheit Dosis-Wirkungsbeziehungen untersucht worden, welche den Bereich zwischen fehlender Reaktion von Unkräutern bei niedrigen Herbiziddosen bis zur vollständigen Abtötung durch hohe Dosen abdecken (STREIBIG, 1988; SEEFELD *et al.*, 1995). Klassische Dosis-Wirkungskurven weisen in der Regel einen symmetrischen, sigmoiden Verlauf auf (STREIBIG, 1988). Damit soll untersucht werden, wie sensitiv Unkrautarten auf unterschiedliche Herbiziddosen reagieren und wie viel Wirkstoff eingespart werden kann, um die Verunkrautung noch unter der wirtschaftlichen Schadschwelle zu halten, wobei ein prozentual geringerer Bekämpfungserfolg bewusst in Kauf genommen wird.

Der Wirkungsgrad von Herbiziden ist zu einem frühen Applikationstermin und bei günstiger Witterung in der Regel höher als zu einem späteren Zeitpunkt. MITCHELL (1998) konnte in mehrjährigen Feldversuchen mit Winterweizen, Wintergerste und Sommergerste durch Applikation der halben vom Hersteller empfohlenen Aufwandmenge zum EC-Stadium 15-30 vergleichbare Bekämpfungserfolge erzielen wie mit der vollen Aufwandmenge. Im EC-Stadium 40 wurden jedoch in allen Kulturen mit der verringerten Aufwandmenge wesentlich geringere Bekämpfungsleistungen erzielt als mit der vollen Herbiziddosis. Des Weiteren zeigten die Versuche, dass bei gleicher Aufwandmenge in Winter- und Sommergerste im Vergleich zu Winterweizen höhere Bekämpfungserfolge erzielt wurden, was auf die höhere Konkurrenzkraft der Gerste gegenüber Weizen zurückzuführen war. Die vom Herbizid schon geschwächten Unkräuter wurden hier von konkurrenzstarker Gerste stärker unterdrückt als vom Weizen. WINKLE *et al.* (1981) prüften die Hypothese, ob die Unkrautdichte die Wirkung von Bodenherbiziden beeinflusst. Gleichzeitig untersuchten sie den Einfluss der Unkrautdichte auf die Herbizidabsorption. Sie stellten fest, dass die Herbizidwirkungen mit steigenden Unkrautdichten abnahmen, da den Einzelpflanzen dann weniger Wirkstoff zur Verfügung stand. Daraus lässt sich ableiten, dass Herbizidaufwandmengen an die unterschiedlichen Unkrautdichten anzupassen sind und schwach verunkrautete Bereiche mit niedrigeren Aufwandmengen behandelt werden können, wenn die Wirkstoffdosis für die Einzelpflanzen noch ausreicht. Bei konkurrenzstarken Deckfrüchten sind jedoch auch geringere Bekämpfungserfolge oft schon ausreichend, um die Unkrautdichte unter der ökonomischen Schadschwelle zu halten.

DAVIES *et al.* (1999) berichten, dass die Herbiziddosis in vielen Fällen sogar reduziert werden sollte, um durch die Herbizidwirkung bedingte mögliche Ertragsverluste der Kulturpflanzen zu vermeiden, da bekannt ist, dass die Nebenwirkungen von Herbiziden auf Kulturpflanzen umso geringer sind, je weniger Wirkstoff appliziert wird. Bei Getreide verursacht ein weites Spektrum an herbiziden Wirkstoffen in Abhängigkeit von der Dosis, aber auch dem Entwicklungsstadium der Nutzpflanzen, Ertragsdepressionen. Diese herbizidbedingten Ertragsreduktionen beruhen im Wesentlichen auf einer Senkung der Bestandsdichte und der Kornzahl je Ähre (PINTHUS und NATHOWITZ, 1967; ELLIOTT *et al.*, 1975; HOLZMANN, 1987; MERKELBACH und HEYLAND, 1988).

Herbizidaufwandmengen können sowohl statisch als auch dynamisch reduziert werden. Bei der statischen Reduktion werden die Herbizidaufwandmengen in definierten Prozentsätzen verringert. Eine variable Gestaltung der Aufwandmengen in notwendigen Folgebehandlungen, wie sie zum Beispiel bei Zuckerrüben nötig sind, stellt den dynamischen Ansatz dar. Hierbei wird die Fitness der verbleibenden Unkräuter berücksichtigt, und es soll sichergestellt werden, dass die Restverunkrautung unterhalb einer tolerierbaren Schwelle bleibt (PETERSEN *et al.*, 2004). Dieser dynamische Herbizidreduktionsansatz beruht auf dem Konzept der MLHD-Methode (minimum lethal herbicide dose). Dabei wird die notwendige Herbiziddosis auf Basis von Chlorophyllfluoreszenzmessungen bestimmt, welche ein Maß für die Fitness der verbliebenen Verunkrautung darstellen (KETEL und LOTZ, 1997).

In der bisherigen Praxis basieren Entscheidungen über die Wahl der geeigneten Herbiziddosierung ebenso wie die Wahl der Schadschwellen auf Werten der durchschnittlichen Unkrautdichte im Ackerschlag (PAICE *et al.*, 1996).

Einige Autoren (AULD und TISDELL, 1988; WILES *et al.*, 1992) weisen darauf hin, dass die Genauigkeit dieser Entscheidungen verbessert würde, wenn die räumlich heterogene Variabilität von Unkrautnestern und ihr Einfluss auf den Ertrag der Kulturpflanze berücksichtigt wird. GERHARDS *et al.* (2002) kartierten in ihren Versuchen die Unkrautverteilung auf vier Feldern und begegneten heterogenen Unkrautdichten innerhalb der einzelnen Schläge mit einer Anpassung der Herbizidaufwandmengen durch Veränderung des Betriebsdrucks der Spritze. Durch die Kombination mit Schadschwellenwerten und reduzierten Aufwandmengen konnten sie die Herbizidaufwandmengen signifikant reduzieren.

2.2 Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle

Die heterogene Verteilung von Unkräutern innerhalb landwirtschaftlicher Schläge ist schon seit langer Zeit bekannt. Unkräuter zeigen sich in nester- und streifenweisen Verteilungsmustern auf Ackerflächen, welche sich mit weitgehend unkrautfreien Feldbereichen abwechseln (MARSHALL, 1989; THORNTON *et al.*, 1990; MORTENSEN *et*

al., 1993; CARDINA und NORQUAY, 1997). Als Grund für diese nesterweisen Verteilungsmuster werden in der Literatur Einflussfaktoren wie Bodentyp, Drainage, Bodenbearbeitung und Ernte sowie Interaktionen zwischen Organismen (Pflanze: Tier, Pflanze: Pflanze, Pflanze: Schaderreger), welche Einfluss auf die Unkrautdichte und -verteilung nehmen, genannt (COUSENS und CROFT, 2000; WALTER *et al.*, 2001). Der Zusammenhang zwischen diesen Einflussgrößen und den Verteilungsmustern von Unkräutern ist mit Hilfe von Modellen aufgezeigt worden (REW und COUSENS, 2001). WALLINGA (1995, 1998) zeigte, dass ein einfaches Modell, bei Annahme einer hohen stochastischen Mortalitätsrate, prognostizieren konnte, dass diese heterogenen Verteilungsmuster bzw. Unkrautnester über längere Zeit stabil bleiben. WILSON und BRAIN (1991) untersuchten in einem Zeitraum von 10 Jahren auf einem Feld die Stabilität von Ackerfuchsschwanznestern anhand des Vorhandenseins oder Fehlens dieser Unkrautart jeweils an gleichen Punkten. Sie stellten fest, dass die räumliche Verteilung des Ackerfuchsschwanzes von Jahr zu Jahr signifikant miteinander korrelierte. DIELEMAN und MORTENSEN (1999) berechneten den „Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson“, um die Ähnlichkeit von *Abutilon theophrasti*-Populationen innerhalb eines Feldes über drei Jahre zu vergleichen. Sie erzielten statistisch signifikante Ergebnisse hinsichtlich der Stabilität der Unkrautnester. JOHNSON *et al.* (1995a) untersuchten die Stabilität von Unkrautpopulationen in Sojabohnen und Mais über zwei Jahre. Sie beobachteten, dass sich die räumliche Ausrichtung der Nester in den empirischen Variogrammen widerspiegelte. COLBACH *et al.* (2000) konnten anhand von Semivariogrammen der vorjährigen Unkrautverteilungen die Verunkrautungssituation von *Setaria viridis* in einer Monokultur für das Folgejahr prognostizieren. GERHARDS *et al.* (1997a) wählten einen anderen Ansatz und berechneten mit Hilfe eines GIS, Umfang, Fläche, Zusammenhang und maximalen Durchmesser von Populationen verschiedener Unkrautarten über drei Jahre. Sie fanden eine starke Übereinstimmung der untersuchten Unkrautarten an gleichen Orten und stellten die Hypothese auf, zukünftige Unkrautverteilungsmuster prognostizieren zu können, wenn effizientere und verbesserte Kartierungsverfahren zur Verfügung stünden.

Der Tatsache, dass Unkräuter in Ackerflächen heterogen verteilt sind und diese Verteilungsmuster über längere Zeit stabil bleiben, ist in den letzten 10 Jahren wachsende Aufmerksamkeit geschenkt worden (REW und COUSENS, 2001). Man ist sich darüber einig, dass hier ein Basispotenzial für sehr hohe Herbizideinsparungen liegt (BLACKSHAW, 1996; REW *et al.*, 1996).

Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle macht es möglich, wie auch schon von MILLER *et al.* (1995) empfohlen, die Bekämpfungsmaßnahmen den schlaginternen unterschiedlichen Unkrautverteilungssituationen anzupassen. Hierbei wird im Gegensatz zur

bisherigen Handhabung des Schadschwellenprinzips (vgl. BARTELS *et al.*, 1983), auf die Unterschiede innerhalb eines Ackerschläges direkt reagiert. Jede Unkrautgruppe auf dem Acker soll nach diesem Prinzip entsprechend ihrer Konkurrenzkraft und Herbizidempfindlichkeit mit dem richtigen Mittel in der geeigneten Dosierung behandelt werden. Das Prinzip der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle stellt bislang den konsequentesten Lösungsansatz für die Umsetzung des Schadschwellenprinzips und somit der Richtlinien des Integrierten Pflanzenschutzes dar (DICKE *et al.*, 2004). Für die Durchführung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle werden Techniken zur Unkrauterfassung sowie gültige Entscheidungsalgorithmen und präzise Applikationstechniken für die Umsetzung benötigt.

2.2.1 Erfassung und Kartierung der Unkrautverteilung auf Ackerschlägen mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS)

Die Unkrautverteilung auf ackerbaulich genutzten Schlägen kann über Methoden der manuellen Unkrautbonitur als auch über sensorgestützte Unkrauterkenntungsverfahren ermittelt werden. Mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS) und unterschiedlichen Interpolationsverfahren wird die Verunkrautung im unbeprobten Raum zwischen den punktbezogenen Daten geschätzt, um Unkrautverteilungskarten generieren zu können. Im Folgenden wird ein Überblick über die bedeutendsten aktuellen Praktiken zur Erhebung der Unkrautverteilung auf Ackerschlägen gegeben. In einem weiteren Schritt werden die häufigsten angewendeten Interpolationsverfahren bei der Kartenerstellung beleuchtet.

Manuelle Unkrautkartierung

Zu den populärsten manuellen Boniturverfahren gehört die visuelle Rasterbonitur. Mit diesem Verfahren werden alle Unkräuter in einem Zählrahmen mit einer definierten Boniturfläche an den Kreuzungspunkten eines virtuellen gleichmäßigen Rasters, welches über die Fläche gelegt wird, numerisch erfasst. Die Unkrautkartenerstellung erfolgt dann über geostatistische Berechnungen und einer Interpolation zwischen den Rasterpunkten. In der Literatur werden Raster mit unterschiedlich großen Maschenweiten zwischen 7,5 m * 15 m Maschen und 60 m * 60 m Maschen beschrieben. Einen Überblick über die verwendeten Raster geben GARIBAY *et al.* (2001) sowie REW und COUSENS *et al.* (2001).

Bei Unkrautnestern von perennierenden Arten wie z. B. *Cirsium arvense*, deren Ausdehnung kleiner als das verwendete Raster ist, eignet sich diese Methode jedoch nicht (NAGY *et al.*, 2004). Hier bietet sich die Möglichkeit des Umgehens der Unkrautnester mit einem dGPS Empfänger an, wie sie schon bei COLLIVER *et al.* (1996) zur Kartie-

rung von Flughafnernestern im nordamerikanischen Sommergetreideanbau beschrieben wird. Bei diesem Verfahren müssen die Konturen der Unkrautnester jedoch genau erkannt werden.

Sensorgesteuerte Unkrautkartierung

Bei der sensorgestützten Unkrautkartierung wird zwischen Fernerkundungsaufnahmen und Verfahren zur automatischen Unkrauterkenennung mit Sensoren im Nahbereich unterschieden.

Fernerkundungsaufnahmen, die mit einer CCD-Kamera in vier Spektralbereichen mit einer Auflösung von 1 m gemacht wurden, dienten MEDLIN *et al.* (2000) in Sojabohnen zur Kartierung der dort dominierenden Unkrautarten *Senna obtusifolia*, *Ipomea lacunosa* und *Solanum carolinense*. Bei einer durchschnittlichen Größe der Unkräuter von 5 cm – 10 cm ab einer Dichte von 10 Pfl./m² konnten die Nester der Unkrautarten identifiziert werden. In einem Triticalefeld erkannten LAMB *et al.* (1999) mit Hilfe von multispektralen Bildaufnahmen *Avena spp.*-Populationen ab einer Dichte von 17 Pfl./m². Sowohl die Kulturpflanzen als auch die Ungräser befanden sich zum Aufnahmezeitpunkt im Zwei- bis Fünfblattstadium.

Im Nahbereich werden zur automatischen Kartierung Systeme mit digitaler Bildanalyse (SÖKEFELD *et al.*, 1997; CHAPRON *et al.*, 1999) sowie Systeme mit optoelektronischen Sensoren unterschieden (BILLER, 1998).

Zur Unkrauterfassung mit digitaler Bildanalyse werden als Sensoren sowohl digitale Photokameras (PHILIPP *et al.*, 2002) als auch Mono- und Bisppektralkameras (SÖKEFELD *et al.*, 2002) verwendet, die an einem entsprechenden Trägerfahrzeug montiert sind.

SÖKEFELD *et al.* (2000) verwendeten ein System, welches über die Bildanalyse Unkräuter anhand ihrer artspezifischen Formmerkmale differenzieren konnte. Während der Unkrautaufnahme mit Hilfe von CCD-Kameras, welche am Schlepper montiert waren, erfolgte eine Binarisierung und eine Konturextraktion der Grauwertbilder in Echtzeit. Anschließend konnten die im Erkennungsverfahren aufgenommenen Pflanzen mit zuvor gespeicherten Musterpflanzen aus einer Wissensbasis abgeglichen werden. Als Erkennungsmerkmal wurden Form, Größe sowie beschreibende Parameter der äußeren Kontur, welche vorher durch Berechnungsverfahren in einer Fourieranalyse ermittelt worden sind, verwendet.

Als Beispiel für die automatische Kartierung mit optoelektronischen Sensoren ist der von VRINDTS und DE BAERDEMAEKER (1997) sowie von BILLER (1998) verwendete Ansatz zu nennen. Hier wurde das Ziel verfolgt, mit unterschiedlichen Reflexionsspektren sowohl zwischen Boden und Pflanzen als auch zwischen Feld-

früchten und Pflanzen zu unterscheiden. In Reihenkulturen wie Zuckerrüben und Mais sehen beide Autoren Potenzial für die praktische Anwendung, da nach BILLER (1998) alle grünen Pflanzen zwischen den Reihen als Unkräuter betrachtet werden können. VRINDTS und DE BAERDEMAEKER (1997) kombinierten verschiedene Wellenlängenbereiche und konnten dadurch die Feldfrucht und sieben verschiedene Unkrautarten differenzieren. Das gesamte System muss bei diesem Ansatz jedoch vor jedem Praxiseinsatz geeicht werden, da die spektrale Reflexion der Pflanzen in Abhängigkeit von Wasserversorgung und Ernährungszustand etc. stark variieren kann. In der Praxis wird das Onlinesystem Detectspray[®] eingesetzt (FELTON und MC CLOY, 1992; AHRENS, 1994), welches Unterschiede in der Reflexion von Boden und Pflanze auf Grund der unterschiedlichen Absorption des Sonnenlichts im Spektralbereich von Rot und Nah-Infrarot (NIR) ausnutzt. Dieses System eignet sich für die teilschlagspezifische Stoppelbehandlung sowie für die Unkrautbekämpfung auf Bahngleisen, da es nicht nach Pflanzenarten differenziert.

Interpolationsverfahren zur Kartenerstellung

Zur Erstellung von rasterbasierten Unkrautverteilungskarten existieren verschiedene Ansätze für die räumliche Interpolation. Grundsätzlich werden deterministische Verfahren von geostatistischen Methoden unterschieden. Deterministische Interpolationsverfahren machen festgelegte Annahmen über die Zusammenhänge des räumlichen Phänomens. Geostatistische Verfahren basieren auf der Annahme, dass die punktförmig erhobenen Bonituren stichprobenhafte Realisierungen eines räumlich stochastischen Prozesses sind (BACKES und PLÜMER, 2004). Wichtige Vertreter des deterministischen Ansatzes sind die Verfahren der linearen Triangulation, der Natural Neighbors und der Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation (SIBSON, 1981; GERHARDS, 1996a; BURROUGH und MC DONNEL, 1998; ISAAKS und SRIVASTAVA, 1998). Als Beispiel für geostatistische Verfahren ist in der herbologischen Forschung das Kriging aus zahlreichen Beiträgen bekannt. Hierbei wird vor der Interpolation mit Hilfe von Semivariogrammen ein räumlicher Zusammenhang zwischen den Datenpunkten modelliert und bei der anschließenden Interpolation berücksichtigt (DONALD, 1994; HEISEL *et al.*, 1996; REW und COUSENS, 2001; COUSENS *et al.*, 2002; DILLE *et al.*, 2002).

Bei der automatischen Unkrauterfassung können die Boniturstellen so nahe beieinander liegen, dass eine Interpolation oftmals nicht notwendig ist. Die auf diesen Systemen basierenden Unkrautverteilungskarten haben dann eine Auflösung, welche dem Abstand zwischen den Messpunkten entspricht.

2.2.2 Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle

Zur Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle sind spezielle Applikationstechniken erforderlich. Zu den wichtigsten Anforderungen an eine teilschlagspezifische Pflanzenschutzspritze gehören eine automatisch über GPS steuerbare Teilbreitenschaltung, automatische Regulierungsmöglichkeit der Herbiziddosis sowie die Möglichkeit, Wirkstoffe während der Überfahrt variieren zu können (STAFFORD und MILLER, 1993). NORDMEYER *et al.* (1997) verwendeten in den Jahren 1994 bis 1997 bei ihren Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle eine Pflanzenschutzspritze, deren Spritzbalken manuell ein- und ausgeschaltet wurde, wobei die Positionsbestimmung der Spritze über dGPS erfolgte. In den Jahren 1998 und 1999 erprobten NORDMEYER und HÄUSLER (2000) eine Feldspritze mit automatischer Ansteuerung des Spritzbalkens, jedoch unter Verzicht auf Mengenregulierung und ohne separate Teilbreitensteuerung.

GERHARDS *et al.* (2000) experimentierten in ihren Feldversuchen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle mit einer dGPS-gesteuerten Pflanzenschutzspritze, die mit einer Kontrolleinheit zur automatischen Teilbreitenaktivierung und Dosisregulierung verbunden und an einen modifizierten Spritzcomputer angeschlossen war (Abb. 2.1).

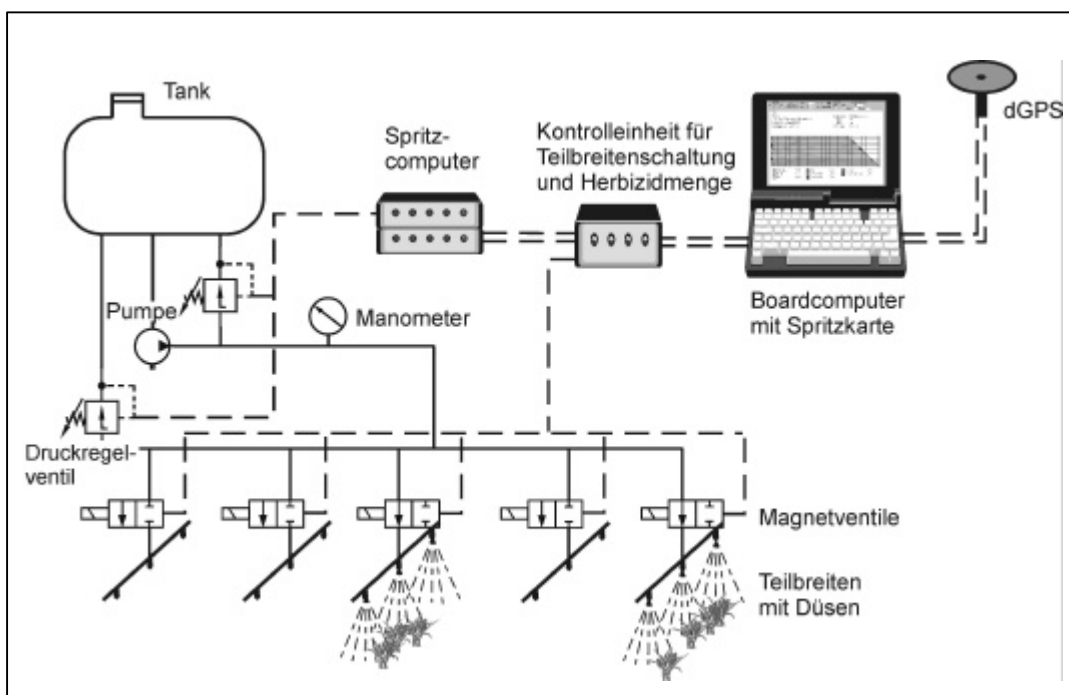


Abb. 2.1 Schema einer dGPS-gesteuerten Pflanzenschutzspritze mit separat geschalteten Teilbreiten und Regulierung der Ausbringungsmenge (GERHARDS *et al.*, 2000)

Die Informationen für die Kontrolleinheit wurden über die auf einem Laptop gespeicherten Applikationskarten bezogen. Über die verschiedenen Informationsebenen konnten die fünf Teilbreiten der Spritze automatisch und unabhängig voneinander angesteuert

ert werden, wobei der Ortsbezug über das dGPS hergestellt wurde. Erforderliche Wirkstoffwechsel für Unkrautgruppen mit unterschiedlicher Herbizid-empfindlichkeit wurden durch gesonderte Überfahrten mit entsprechenden Mitteln simuliert. Die Regulierung der Aufwandmenge erfolgte über den Flüssigkeitsdruck im System.

Um das während der Unkrauterkenntnis erworbene Wissen über die Unkrautverteilung auf einem Schlag vollständig nutzen zu können, muss zusätzlich zur Aufwandmengenregulierung ein schneller Wirkstoffwechsel während der Applikation gewährleistet sein. Die bisher in der Literatur vorgestellten Methoden sind nur in begrenztem Umfang dazu geeignet, da sie bisher einen Wirkstoffwechsel nur durch gesonderte Überfahrten realisieren können. Am Institut für Pflanzenbau der Universität Bonn wurde eine neue Applikationstechnik entwickelt, welche neben den sonstigen Anforderungen an eine Pflanzenschutzspritze für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle einen Wirkstoffwechsel während der Überfahrt umsetzen kann und derzeit in der Praxis erprobt wird. Dieser Lösungsansatz ist gleichzeitig Gegenstand der Untersuchungen dieser Arbeit.

Eine weitere Möglichkeit zur Variation des Wirkstoffs während der Überfahrt bieten Direkteinspeisungssysteme mit zentraler oder dezentraler Einspeisung des Wirkstoffs in den Wasserstrom des hydraulischen Systems der Pflanzenschutzspritze (MILLER und SMITH, 1992; PEISL und ESTLER, 1993). Eine zentrale Einspeisung von Pflanzenschutzmitteln, wie bei dem einzigen zur Zeit auf dem deutschen Markt erhältlichen und von der BBA zugelassenen Direkteinspeisungssystem, benötigt auf Grund des zentralen Einspeisungsortes unmittelbar vor der Förderpumpe in Abhängigkeit von der Ausbringmenge eine Reaktionszeit von bis zu vierzig Sekunden (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT 2003/2004). Dezentrale Direkteinspeisungsvarianten, die derzeit nur experimentell umgesetzt werden, injizieren den Wirkstoff direkt an der Teilbreite bzw. direkt an der Düse (SÖKEFELD *et al.*, 2004).

2.3 Unkrautpopulationsdynamik

Nach KROPFF *et al.* (1996) ist die Basis für alle erfolgsorientierten Unkrautmanagementsysteme ein umfassendes Fachwissen über die Biologie der Unkrautarten und deren Interaktionen mit landwirtschaftlichen Anbausystemen - kurz die Unkrautpopulationsdynamik. Im herbizidfreien Nutzpflanzenanbau, wie er bis Mitte des vergangenen Jahrhunderts betrieben worden ist, galt es das Verunkrautungsproblem mit Hilfe von sorgfältig aufeinander abgestimmten ackerbaulichen Maßnahmen zu minimieren. Die Landwirte handelten nach ihrem jahrhundertlang angesammelten und seit Generationen vererbten Erfahrungswissen über die Populationsdynamik von Unkräutern. Seit den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts werden Unkräuter im Wesentlichen mit Herbiziden bekämpft - die ackerbaulich basierten Unkrautregulationskräfte wurden mehr und mehr außer Acht gelassen, und die Produktionssysteme sind vereinfacht und allein

ertragsorientiert ausgerichtet worden. Mit dem zunehmenden Druck, der seitens der Öffentlichkeit auf die Landwirte zukommt, den Herbizideinsatz zu senken, wird das alte Problem der Unkrautkontrolle wieder aktuell (vgl. KROPFF *et al.*, 1996). Anbausysteme müssen so angepasst werden, dass die Unkrautdichte auf Ackerflächen trotz eines reduzierten Herbizidaufwandes, wie durch die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle zu erwarten, nicht ansteigt. Im Folgenden wird ein Überblick über die wichtigsten Einflussgrößen auf die Populationsdynamik von Unkräutern gegeben.

2.3.1 Lebenszyklus einjähriger Unkräuter

Der Lebenszyklus einjähriger Unkräuter wird unter Abbildung 2.2 in vereinfachter Form dargestellt.

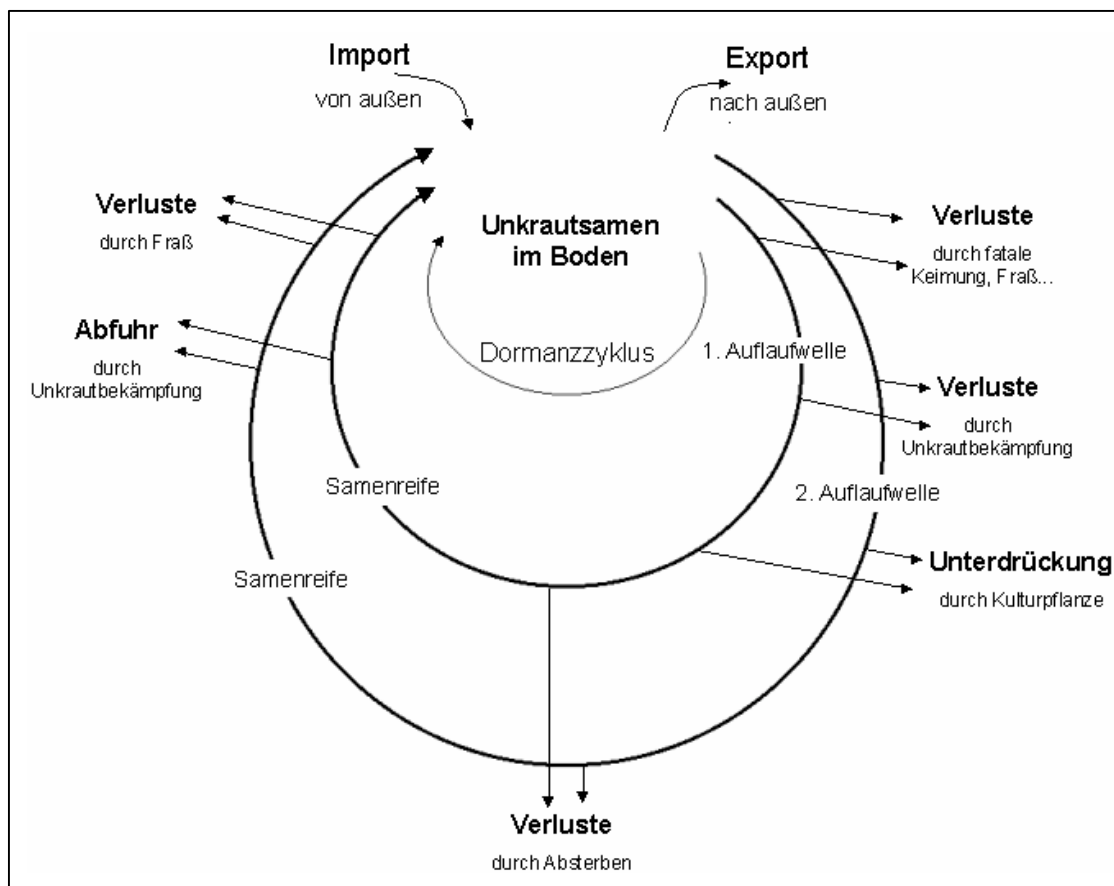


Abb. 2.2 Lebenszyklus einjähriger Unkräuter (verändert nach COUSENS und MORTIMER, 1995)

Populationsdynamische Prozesse von Unkräutern können mit Hilfe des Unkrautzykluses unter Verwendung von Prognosemodellen untersucht werden. Durch modellbasierte Simulationsläufe, in denen die Wirkung verschiedener im Unkrautzyklus beschriebener populationsdynamischer Parameter Gegenstand der Untersuchung ist, wird versucht, die optimale Kombination aus Anbausystem und Herbizideinsatz zu ermitteln.

Die wichtigsten Stationen des Unkrautzyklusses sind das Keimen und Auflaufen von Unkrautarten aus der Diasporenbank im Boden, die Etablierung und das Wachstum sowie die Samenproduktion und die Mortalitätsrate von Samen im Boden. Konkurrenzbeziehungen, sowohl zwischen einzelnen Unkrautarten als auch zwischen Unkrautarten und Kulturpflanze, beeinflussen die Populationsdynamik von Unkräutern sehr stark (PFEIFFER *et al.*, 1960; CUSSANS und WILSON, 1975).

Ein- und Austräge der Diasporenbank

Die Dynamik der Diasporenbank wird durch den Eintrag von Samen in den Boden sowie den Austrag durch Keimung und Mortalität gesteuert.

Zusätzlich reduzieren Wirbeltiere (Vögel und Nagetiere) als auch wirbellose Tiere (Schnecken, Laufkäfer), welche als Prädatoren bezeichnet werden, das Samenpotenzial annueller Unkrautarten in besonderem Maße durch ihren oberirdischen „Samenfraß“ (BRUST und HOUSE, 1988; Cardina *et al.*, 1996; ZHANG *et al.*, 1997a; CROMAR *et al.*, 1999). Die durch Prädatoren bedingte Samenverlustrate kann zwischen einzelnen Jahren (WILSON und WHELAN, 1990; TOOLEY *et al.*, 1999) und Feldern (MITTELBACH und GROSS, 1984; HULME, 1994; MARINO *et al.*, 1997) jedoch sehr stark schwanken. Daher können Landwirte diese natürliche Unkrautkontrolle bisher nur bedingt in ihren Bekämpfungsentscheidungen berücksichtigen. Aus diesem Grund müssen die Ursachen für die Variabilität der Prädation sowie der Einfluss unterschiedlicher Prädatoren auf die Samenreduktionsrate ermittelt werden, um das Wissen über die Unkrautvernichtung durch Prädatoren für Unkrautbekämpfungsstrategien nutzbar zu machen. WESTERMAN *et al.* (2003) untersuchten in zweijährigen Feldversuchen auf vier Getreideflächen, wie hoch der durch Wirbeltiere und wirbellose Tiere bedingte Verlust von Unkrautsamen ist. Die Ergebnisse zeigten, dass der durch Wirbeltiere verursachte Unkrautsamenverlust in beiden Jahren und auf allen Versuchsflächen sehr einheitlich und auch prognostizierbar war. Die Samenprädation durch Wirbeltiere war zu Vegetationsbeginn auf einem sehr niedrigen Niveau, stieg dann bis Mitte Juni an und ließ bis zum Herbst wieder nach. Die durch wirbellose Tiere bedingte Unkrautsamenreduktion war wesentlich geringer als die der Wirbeltiere, zeigte kein einheitliches Muster und war auch nicht prognostizierbar. Durch Wirbeltiere wurden Samenreduktionsraten zwischen 30% und 88% erreicht, wirbellose Tiere erreichten dagegen nur Reduktionsraten zwischen 4% und 30%. LUTMAN *et al.* (2002) untersuchten in den Jahren 1998 bis 2001 die durch Prädatoren verursachten Verluste von *Avena fatua* - Samen jeweils zwischen Ernte und Neuaussaat der Folgekultur an zwei Standorten. Sie stellten fest, dass die durch Prädation hervorgerufenen Reduktionsraten von Jahr zu Jahr stark variierten. Die Varianz zwischen den einzelnen

Wiederholungen war ebenfalls sehr hoch. Wirbellose Tiere (Würmer, Käfer und Schnecken) hatten keinen Einfluss auf die Prädationsrate. Durch Vögel und Mäuse wurden Reduktionsraten zwischen 20% und 90% erreicht. PEKRUN und CLAUPEIN (2002) stellten in ihren Untersuchungen zum Einfluss der Bodenbearbeitung nach Sonnenblumen auf die Überdauerung von Ausfallsamen und die Etablierung von Sonnenblumendurchwuchs fest, dass die Überdauerung durch die sofort nach dem Ausbringen der Sonnenblumensamen durchgeführte flache Bodenbearbeitung gefördert wurde. Andererseits waren bei Verzicht auf eine Bodenbearbeitung bis zum folgenden Frühjahr sehr geringe Samenbanken zu finden. Die Autoren vermuten, dass Prädatoren wie z.B. Mäuse für den hohen Samenverlust auf der Stoppel verantwortlich waren.

Es besteht weiterhin ein hoher Forschungsbedarf bezüglich der durch Prädatoren bedingten Unkrautsamenverluste zwischen Ernte und Neuaussaat der Folgekultur (LUTMAN *et al.*, 2002) im Vergleich zur konventionellen Stoppelbearbeitung. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich, um Folgeverunkrautungsszenarien beim Einsatz unterschiedlicher Kulturmaßnahmen einschließlich Minimalbodenbearbeitung abschätzen zu können.

Dormanzzyklus von Unkrautsamen

Im Boden können Unkrautsamen, ohne sofort keimen zu müssen, sehr lange lebensfähig bleiben. Ein charakteristisches Merkmal für die Unkrautsamen ist ihre Fähigkeit, in einen Ruhezustand, die sog. Dormanz, überzugehen. RADOSEVICH *et al.* (1997) definieren die Dormanz als einen zeitweisen Ruhezustand lebender Samen, aus welchem die Samen selbst unter günstigen Umweltbedingungen nicht keimen. Für diesen Ruhezustand sind z.B. Keimungshemmstoffe verantwortlich, die innerhalb des Samens lokalisiert und genetisch festgelegt sind. Dadurch wird verhindert, dass die Unkrautsamen bereits auf der Mutterpflanze oder in einer für das Wachstum der Unkrautart ungünstigen Jahreszeit keimen (VLEESHOUWERS, 1997). Trotzdem bilden Unkrautarten jedoch in geringer Anzahl auch Samen aus, die sofort keimbereit sind. Dieses als Polymorphismus bezeichnete Phänomen kann ebenso wie die Dormanz als eine Überlebensstrategie der Unkrautarten angesehen werden (RADOSEVICH *et al.*, 1997).

Die auf der Mutterpflanze entwickelte Keimruhe wird als primäre Dormanz bezeichnet (BEWLEY und BLACK, 1995). BASKIN und BASKIN (1989) zeigen für ihre Ausprägung drei Ursachen auf. Erstens können die Samenschale und andere Gewebe im Samen den Eintritt von Wasser und Sauerstoff zum Embryo blockieren oder die Ausdehnung des Embryos verhindern (physikalisch bedingte Dormanz). Zweitens ist es

möglich, dass der Embryo des Samens nicht vollständig entwickelt ist und eine Nachreifephase durchlaufen muß, um keimfähig zu werden. Drittens können verschiedene Mechanismen im Stoffwechsel der Samen die Dormanz verursachen (physiologisch bedingte Dormanz). Um die primäre Dormanz zu überwinden, müssen die Unkrautsamen interne Barrieren durchschreiten, wobei zusätzlich spezielle Umweltbedingungen vorherrschen müssen, damit sie keimbereit werden. Viele sommerannuelle Unkrautarten benötigen anhaltend kühle Temperaturen, um die Dormanz zu beenden und im Frühjahr keimbereit zu sein. Dagegen müssen winterannuelle Arten eine Periode hoher Temperaturen erfahren haben, damit sie im Herbst keimbereit sind (BEWLEY und BLACK, 1995).

Neben der primären Dormanz sind auch andere Ruhezustände der Samen bekannt. Viele Unkrautsamen durchlaufen innerhalb eines Jahres einen Wechsel von sehr hoher zu geringer Keimfähigkeit und tiefer Dormanz (FROUD-WILLIAMS *et al.*, 1984). Häufig wird zur Beschreibung der unterschiedlichen Dormanzzustände die Definition von BASKIN und BASKIN (1989) der physiologisch bedingten Dormanz verwendet (vgl. Abb. 2.3). Die Autoren setzen einen jahreszeitlichen Wechsel der Keimbereitschaft bei annualen Unkrautarten voraus. Verlassen die Samen den auf der Mutterpflanze induzierten Zustand der primären Dormanz (1), sind sie zunächst nur in der Lage, unter sehr speziellen Umweltbedingungen zu keimen und werden als bedingt dormant bezeichnet (2). Zu einem späteren Zeitpunkt wird die Keimruhe vollständig aufgehoben (3). Keimbereite Samen können jedoch zum Beispiel durch zu hohe oder zu niedrige Bodentemperaturen sowie bei Trockenheit wieder bedingt dormant werden (4) und in die sekundäre Dormanz (5) übertreten, welche die Keimung wieder vollständig verhindert (RADOSEVICH *et al.*, 1997). Bei Unkrautsamen, die die sekundäre Dormanz durchlaufen haben, ist es möglich, dass sie erneut bedingt dormant werden (2). Damit ist der auch im Unkrautzyklus (Abb. 2.2) erwähnte Dormanzzyklus von im Boden befindlichen Unkrautsamen geschlossen (vgl. Abb. 2.3).

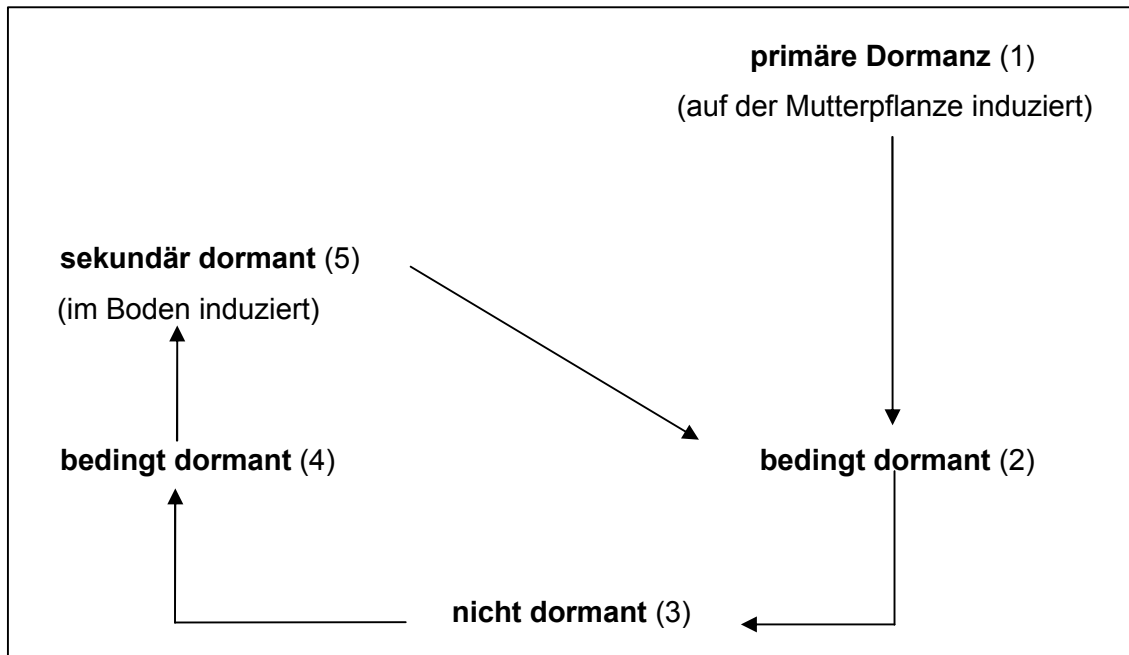


Abb. 2.3 Veränderung der Keimruhe von Unkrautsamen, ausgehend von der auf der Mutterpflanze induzierten primären Dormanz (verändert nach BASKIN und BASKIN, 1989)

Bodenbearbeitung

Durch die Art und Weise der Bodenbearbeitung wird die vertikale Verteilung von Unkrautsamen im Boden, die Abundanz sowie die Zusammensetzung der Samen nach Unkrautarten beeinflusst (CARDINA *et al.*, 2002). So werden Unkrautsamen durch pfluglose Bodenbearbeitung in der oberen Bodenschicht angereichert und durch wendende Bodenbearbeitung mehr oder weniger einheitlich vertikal im Boden verteilt (BALL, 1992; YENISH *et al.*, 1992). Unkräuter, die bevorzugt in geringer Tiefe nahe der Bodenoberfläche keimen, werden durch reduzierte Bodenbearbeitung gefördert. Dagegen sind Unkrautarten, deren Dormanz durch Vergraben gebrochen werden muss, besser an wendende Bodenbearbeitung angepasst (BUHLER, 1995). Die meisten Unkrautarten laufen jedoch nur auf, wenn sie sich relativ nahe an der Bodenoberfläche befinden. Unkräuter müssen nach der Keimung die Bodenoberfläche erreichen. Als einzige Energiequelle stehen den jungen Keimlingen die Reserven aus dem Samen zur Verfügung. Durch wendende Bodenbearbeitung werden viele Unkrautsamen so tief vergraben, dass ihre Reservestoffe nach der Keimung nicht ausreichen, um die Bodenoberfläche zu erreichen (fatale Keimung). Aus diesem Grund liegt ein Vorteil der wendenden Bodenbearbeitung in der unkrautkontrollierenden Wirkung (FORCELLA *et al.*, 2000). PEKRUN *et al.* (2000) verglichen das Auflaufverhalten von *Chenopodium album* bei wendender und reduzierter Bodenbearbeitung sowie Direktsaat. Sie stellten fest, dass bezogen auf den Samengehalt der obersten 5 cm Bodenschicht, 0,02% der Samen nach dem Pflügen, 0,8% nach reduzierter Bodenbearbeitung und 2% nach Direktsaat aufliefen. Die Autoren weisen

darauf hin, dass die Auflaufraten im Vergleich zu anderen Untersuchungen jedoch sehr niedrig waren.

KOCH (1969) führt an, dass insgesamt unter ackerbaulicher Nutzung jährlich 0,3-9% des Unkrautsamenpotenzials keimen, wobei jedoch nicht alle gekeimten Samen auch auflaufen.

Konkurrenzbeziehungen zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen

In den vergangenen Jahrzehnten lag der Forschungsschwerpunkt im Bereich der Unkrautbiologie auf dem Gebiet der Konkurrenzbeziehungen zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern. Man konzentrierte sich auf die Quantifizierung des durch Unkräuter hervorgerufenen Ertragsverlustes von Kulturpflanzen. In diesen Studien wurden Unkrautarten, Unkrautdichten sowie Zeitpunkte des Auflaufens und der Unkrautkontrolle variiert. Dies führte zu einer großen Datenmenge, welche jedoch weder eindeutig interpretiert werden konnte noch zu verlässlichen Handlungsanweisungen im Unkrautmanagement führte (vgl. NORRIS, 1992). Um die Überlebensstrategien von Unkrautarten richtig zu verstehen, wurden öko-physiologische Konkurrenzmodelle, wie z.B. INTERCOM entwickelt, welche eine Verbesserung des Wissensstandes in diesem Themenbereich versprechen (KROPFF und VAN LAAR, 1993). In diesen Modellen wird das Wachstum aller konkurrierenden Arten basierend auf dem Verhältnis aus morphologischen, physiologischen und phänologischen Prozessen zu biotischen und abiotischen Faktoren simuliert. Die Samenproduktion von Unkräutern ist neben dem Nährstoffangebot und vielen umweltbedingten Faktoren stark von den Konkurrenzverhältnissen abhängig. Mit einem steigenden Konkurrenzdruck von Nachbarpflanzen wird die Biomasse des Unkrauts, die der Samen sowie auch die Anzahl der Samen reduziert. Dieses impliziert, dass Unkräuter, die früh auflaufen, mehr Samen produzieren können als solche, die später auflaufen. Für annuelle Unkräuter existieren einfache Beziehungen zwischen der Biomasse der vegetativen Organe und ihrer Samenbildung. SAMSON und WERK (1986) entwickelten ein einfaches lineares Modell basierend auf der Beziehung zwischen Samenbiomasse und der Biomasse der vegetativen Pflanzenteile. THOMPSON *et al.* (1991) konnten das Modell am Beispiel von fünf Unkrautarten validieren.

Räumliche Dynamik von Unkräutern

Unkrautimporte von außen sind ein großes Problem und werden zwischen einzelnen Kontinenten bis hin zur Feldebene beobachtet. Die Ursache hierfür ist neben den natürlichen Verbreitungswegen wie z.B. Wind, insbesondere auf der Kontinentalebene, in der zunehmenden Internationalisierung zu sehen und ist somit zu einem hohen Anteil

anthropogener Natur. Die unterschiedlichen Mechanismen der kontinentalen Verbreitung wurden von COUSENS und MORTIMER (1995) sowie REW und CUSSANS (1995) ausführlich diskutiert. Sie kamen zu dem Schluss, dass bis auf die Studien zur Windverbreitung nur wenige Untersuchungen über die Verbreitungsmechanismen vorliegen.

Auf Feldebene sind als Ursache für die räumliche Verbreitung von Unkräutern die natürliche Samenschüttung sowie der Einsatz von Bodenbearbeitungsgeräten und Erntemaschinen zu nennen. HOWARD *et al.* (1991) führten vergleichende Untersuchungen über die Verteilungsmuster der Ungräserarten *Bromus interruptus* und *Bromus sterilis* durch. Die Ausbreitung beider Arten war sowohl durch ihre artspezifische natürliche Samenschüttung als auch die durch den Mähdrescher und durch Bodenbearbeitung bedingte Samenverteilung zu erklären. Durch den Mähdrescher wurde ein Verbreitungsmaximum von 20 m, ausgehend von den Erzeugerpflanzen, erreicht. Bodenbearbeitungsgeräte bewegten die Samen beider Arten maximal 2 m in die jeweilige Bearbeitungsrichtung. Die Samen, welche durch natürliche Samenschüttung ausgefallen sind, waren maximal einen Meter von ihren Erzeugerpflanzen entfernt und normalverteilt.

Die meisten Unkrautsamen verbleiben nach HARPER (1977) in der Nähe ihrer Mutterpflanze. Daher ändern sich die Verteilungsmuster auf ackerbaulich genutzten Feldern über die Zeit nicht sehr stark (WILSON und BRIAN, 1991). Dieses ist auch die Basis für die erfolgreiche Etablierung teilschlagspezifischer Unkrautkontrollsysteme (vgl. JOHNSON *et al.*, 1995b).

2.3.2 Modelle zur Simulation der Unkrautpopulationsdynamik

Populationsdynamische Modelle ermöglichen es, die einzelnen Wirkungen der Prozesse aus dem Unkrautzyklus zu untersuchen und können so zur Prognose von zukünftig zu erwartenden Verunkrautungssituationen in Folgejahren eingesetzt werden. Viele Modelle, die auf physiologischen Prinzipien basieren, können jedoch nur Ausschnitte des Unkrautzyklusses simulieren: z.B. Wachstum und Konkurrenz (KROPFF und VAN LAAR, 1993), Keimung und Auflaufen (VLEESHOUWERS und BOUWMEESTER, 1993). Andere populationsdynamische Prozesse wie der Eintrag neuer Samen, die Samenverteilung im Boden und der Raub/Fraß von Samen durch Prädatoren sind bisher dagegen wenig erforscht.

Abgesehen von der Detailgenauigkeit, mit welcher der Unkrautzyklus studiert wird, muss auch beachtet werden, dass es verschiedene Modellierungsansätze zur Ableitung der Populationsdynamik aus den Prozessen des Unkrautzyklusses gibt und diese auch zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können (DURRETT und LEWIN, 1994).

Grundsätzlich können drei verschiedene Modellierungsansätze unterschieden werden: 1. dichtebasierte Modelle, 2. dichtebasierte Modelle, welche räumliche Prozesse berücksichtigen und 3. individuenbasierte Modelle, welche ebenfalls räumliche Ausbreitung berücksichtigen. Der am häufigsten verwendete Modellierungsansatz berücksichtigt die Dichte von Unkräutern als Schlüsselvariable. Über einen Unkrautdichtewert zu Beginn werden der Wechsel der Unkrautdichte bzw. neue Werte für die Unkrautdichte berechnet. Hierbei wird von einem deterministischen Ansatz ausgegangen, d.h., dass die einzelnen Parameter als vorgegebene Größen in das Modell eingehen. Dabei bleibt unberücksichtigt, dass die erhobenen Daten zur Schätzung der Parameter Schwankungen aufweisen (ZWERGER und HURLE, 1988). Bei diesen Modellen wird vorausgesetzt, dass jedes Unkraut den gleichen Umweltbedingungen ausgesetzt und das System insgesamt homogen ist. Abbildung 2.4 zeigt ein Beispiel für diese Art von Modellen.

$$S_{t+1} = S_t (1-V) + (S_t a (1-m)) S_u$$

S_{t+1} = Zahl der lebensfähigen Samen vor Vegetationsbeginn im Jahre t+1
 S_t = Zahl der lebensfähigen Samen vor Vegetationsbeginn im Jahre t
 V = Verlustrate der Samen durch Bodenbearbeitung, Krankheit, Prädatoren
 a = Auflaufrate
 m = Mortalitätsrate
 S_u = Zahl der gebildeten Samen je Pflanze

Abb. 2.4 Modell zur Populationsdynamik von Unkräutern (ZWERGER und HURLE, 1988)

Ein möglicher Weg, die Ausbreitung von Unkräutern zu simulieren, ist der Einbezug von Raum in das Modell. Sogenannte diskrete Versionen eines Modelltyps mit Raumbezug sind zur Modellierung der räumlichen Unkrautmuster eingesetzt worden (AULD und COOTE, 1980; BALLARÈ *et al.*, 1987; MAXWELL und GHERSA, 1992). Die Schlüsselvariable in diesen Modellen ist wiederum die Unkrautdichte.

Modelle mit sogenannten zellulären Automaten (BARKHAM und HANCE, 1982; SILVERTOWN *et al.*, 1992) werden verwendet, um die Interaktionen zwischen Dynamik und nesterweisem Auftreten von Unkräutern zu studieren. Hierbei wird die zu betrachtende Fläche in Gitterzellen aufgeteilt. In jeder dieser Gitterzellen läuft dann eine Simulation in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Zelle selbst und der umgebenden Zellen ab (DUNKER *et al.*, 2002). So stellten unter anderem BELDE und RICHTER (1997) sowie BALZTER *et al.* (1998) verschiedene Modelle für die Entwicklung von Pflanzenbeständen vor, in denen die Einwanderung einer Art in Abhängigkeit

ihres Auftretens in den Nachbarzellen sowie des Auftretens von Konkurrenzarten simuliert wurde.

Die Ausbreitungsdynamik von Unkrautpopulationen war bisher selten Gegenstand von Modellierungen, welche edaphische Faktoren berücksichtigen. Als Ausnahmen sind die Modelle von PAICE *et al.* (1998) sowie CHRISTENSEN *et al.* (1999) zu nennen. In diesen Modellen wird die räumliche Ausbreitung von *Alopecurus myosuroides* auf Grundlage der Daten von MOSS (1990) simuliert. Darüber hinaus entwickelten RICHTER und ZWARGER (1999) ein mit einem zellulären Automaten gekoppeltes Modell zur Simulation der Resistenzausbreitung in Unkrautpopulationen. Räumlich variable Standortfaktoren, welche die Entwicklung der Pflanzen beeinflussen, blieben in diesen Modellen unberücksichtigt.

DUNKER *et al.* (2002) stellten am Beispiel von *Alopecurus myosuroides* eine Möglichkeit vor, die reine Populationsdynamik mit Annahmen über die Standortabhängigkeit und Ausbreitungsfähigkeit dieser Art zu verknüpfen, um eine flächenhafte Simulation für die Populationsentwicklung zu erreichen, die bei der Entwicklung teilflächenspezifischer Unkrautbekämpfungsstrategien verwendet werden könnte. Dabei wurde der Einfluss der Bodeneigenschaften auf das Auftreten von *Alopecurus myosuroides* anhand von Biotestversuchen geschätzt und in das Modell integriert. Zur Validierung des Modells wurden Rasterkartierungen einer Untersuchungsfläche herangezogen, welche mit Hilfe der Spearman'schen Rangkorrelation mit den prognostizierten Werten verglichen wurden. Es zeigte sich, dass für *Alopecurus myosuroides*, bei zusätzlicher Berücksichtigung der edaphischen Faktoren Bodeneigenschaften und pH-Wert, deutliche Verbesserungen des Modells erreicht wurden. Die Simulationsergebnisse zeigten jedoch auch, dass das Ausmaß dieser Verbesserung der Simulationsgenauigkeit von der gewählten Ausgangsverteilung der Unkrautpopulation abhängig war. So konnte bei einer günstig gewählten Ausgangsverteilung auch ohne Berücksichtigung der edaphischen Faktoren eine ähnliche Verteilung der Besatzdichten simuliert werden wie sie auf der Kartierungsfläche festgestellt wurde. Nach DUNKER *et al.* (2002) ist daher die genaue Kenntnis der Unkrautverteilung vorangegangener Jahre besonders wichtig, um genaue Simulationen der Unkrautverteilung berechnen zu können.

Bisher liegen noch keine langjährigen Untersuchungen zur Validierung von populationsdynamischen Modellen, welche teilschlagspezifische Unkrautkontrolle und andere Einflussfaktoren berücksichtigen können, vor. Diese sind jedoch unbedingt erforderlich, um ihre Aussagefähigkeit bewerten zu können.

3 Material und Methoden

3.1 Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle

Im Folgenden wird der Versuchsstandort, auf dem die Versuche zur teilschlagspezifischen Unkrautbekämpfung durchgeführt wurden, vorgestellt und es werden die Vorgehensweisen bei der Versuchsdurchführung behandelt.

3.1.1 Charakterisierung des Versuchsstandorts Dikopshof

Die Feldversuche zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle wurden in den Jahren 2002 und 2003 in Wesseling, auf der Versuchsstation Dikopshof der Universität Bonn, durchgeführt. Der vollarrundierte Dikopshof liegt in der Köln-Aachener Bucht 56 m - 63 m über NN. Bei den Böden der Versuchsflächen handelt es sich überwiegend um lehmigen Sand bis Lehm mit einer Lößauflage zwischen 90 cm und 120 cm. Das Relief der Flächen ist mit Ausnahme zweier Schläge (Schlag 9, Schlag GH), in denen es geringe Höhenunterschiede gibt, eben. Die maritimen Klimaeinflüsse, denen der Dikopshof unterliegt, sind geprägt durch ausgeglichene Jahresdurchschnittstemperaturen von 9,7° C und geringen Durchschnittsniederschlägen von 630 mm im Jahr (langjähriges Mittel 1958-1991). Die folgende Abbildung stellt die langjährigen monatlichen Durchschnittswerte von Temperatur und Niederschlägen den Werten aus den Versuchsjahren 2002 und 2003 gegenüber.

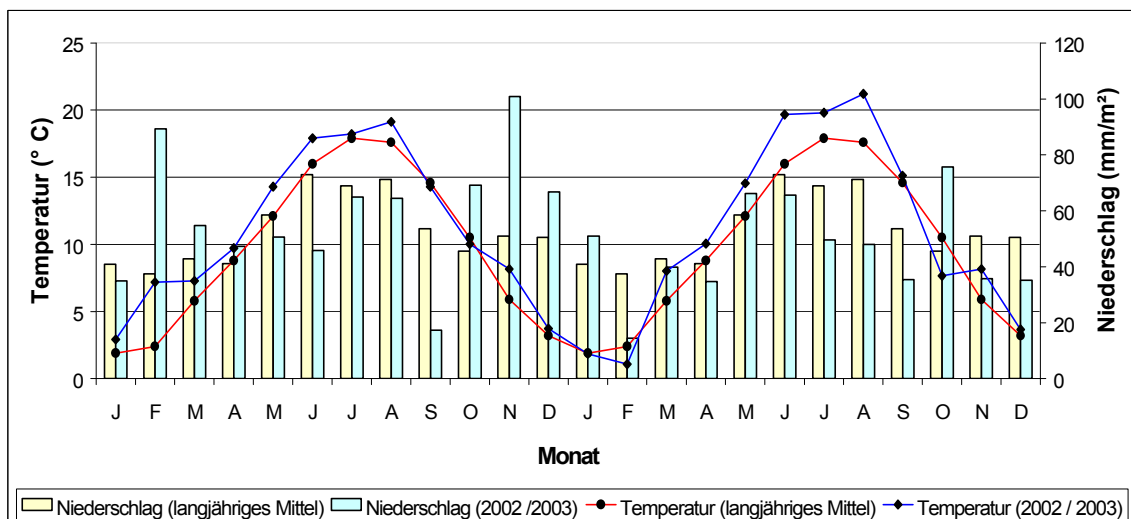


Abb. 3.1 Monatliche Temperatur- und Niederschlagsverteilung der Versuchsjahre 2002 und 2003 auf der Versuchsstation Dikopshof mit jeweiligem langjährigem Mittel

In der Vegetationsperiode 2002 waren die Klimaverhältnisse mit denen des langjährigen Mittels vergleichbar. Das Jahr 2003 zeichnete sich durch eine außergewöhnliche Sommertrockenheit mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen aus.

Zur Versuchsdurchführung standen fünf Betriebsschläge mit Größen zwischen 2,2 ha bis 5,8 ha zur Verfügung. Die folgende Abbildung zeigt einen Lageplan der Flächen des Dikopshofes mit eingezeichneten Versuchsfeldern zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle.

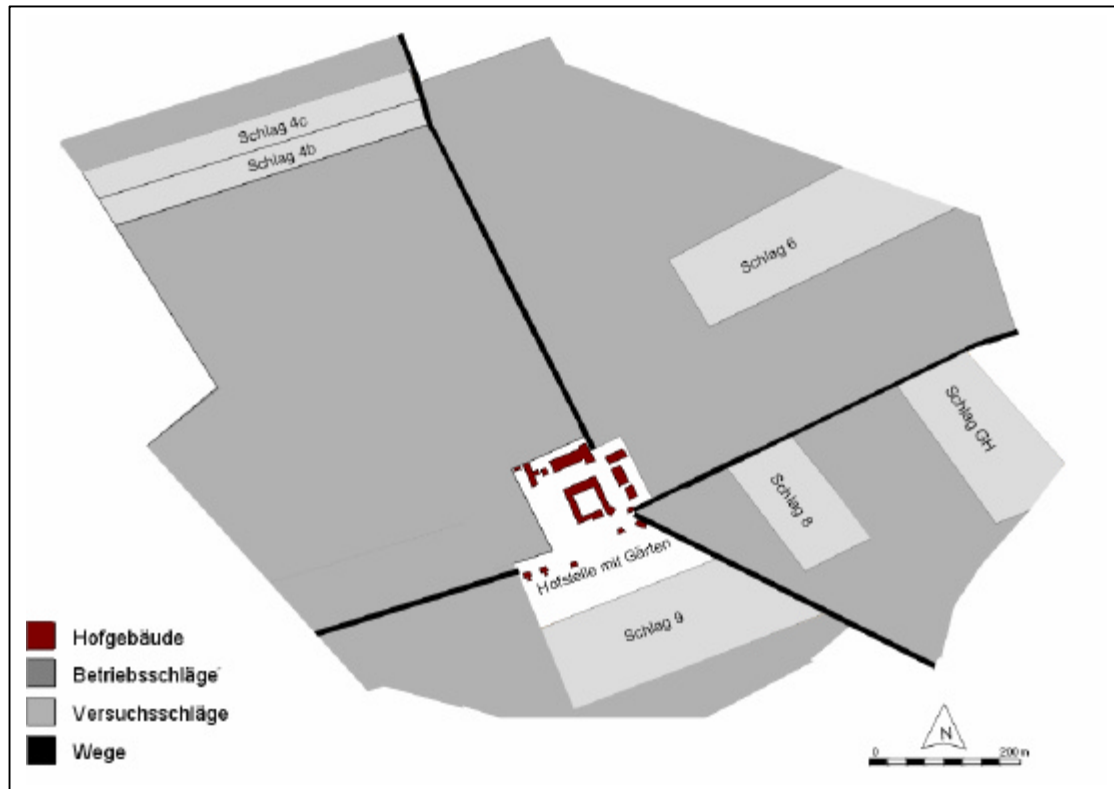


Abb. 3.2. Versuchsstation Dikopshof mit Betriebsschlägen und eingezeichneten Versuchsschlägen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle

Vier der fünf Schläge wurden bis 2003 in der Felderfolge Körnermais (KM) – Zuckerrüben (ZR) – Winterweizen (WW) – Wintergerste (WG) bewirtschaftet. Ein Versuchsschlag (Schlag 4) wurde 2002 geteilt - die Felderfolge wurde hier umgestellt. Des Weiteren wurden auf diesem Schlag im Jahr 2001 anstatt Körnermais Sonnenblumen (SB) angebaut. Die fünfte Fläche (Schlag GH) ist während des gesamten Versuchszeitraums mit Körnermais in Monokultur bestellt worden. Auf den Flächen der Felderfolge wurde in jedem Jahr gepflügt - die Maismonokultur wurde bis 2002 pfluglos bewirtschaftet. Vor der Aussaat im Frühjahr 2003 ist jedoch auch hier eine wendende Bodenbearbeitung durchgeführt worden. Versuche zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle werden seit 1997 durchgeführt. Die Daten aus den Jahren 1997 bis 2001 wurden in die Untersuchungen mit einbezogen.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über Größe und Felderfolge der Versuchsfelder.

Tabelle 3.1 Versuchsschläge mit angebauten Kulturen der Jahre 1997-2003

Schlag	Größe [ha]	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Schlag 4b*	2,75	KM	ZR	WW	WG	SB	ZR	WW
Schlag 4c*	2,75	KM	ZR	WW	WG	SB	WW	WG
Schlag 6**	5,3	ZR	WW	WG	KM	ZR	WW	WG
Schlag 8	2,4	KM	ZR	WW	WG	KM	ZR	WW
Schlag 9**	5,8	WG	KM	ZR	WW	WG	KM	ZR
SchlagGH***	2,2	KM	KM	KM	KM	KM	KM	KM

* Schlag wurde 1998 in den Versuch aufgenommen und bis 2001 einheitlich als Schlag 4 (Größe 5,5 ha) bewirtschaftet. Im Jahr 2001 wurden anstatt Körnermais Sonnenblumen angebaut

** Schlag wurde 1998 in den Versuch aufgenommen

*** Schlag wurde 1999 in den Versuch aufgenommen

Legende: KM: Körnermais, ZR: Zuckerrüben, WW: Winterweizen, WG: Wintergerste, SB: Sonnenblumen

3.1.2 Ermittlung und Kartierung der Unkrautverteilung

Die Unkrautaufnahme auf den Versuchsschlägen erfolgte über eine visuelle Rasterbonitur mit einer Maschenweite von 15 m (in Bearbeitungsrichtung) * 7,5 m (im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung). An jedem Kreuzungspunkt des Rasters wurden mit Hilfe des Göttinger Zählrahmens auf einer Boniturfläche von 0,4 m² alle Individuen der vorkommenden Unkrautarten ausgezählt und durch Multiplikation mit dem Faktor 2,5 auf einen Quadratmeter bezogen. Die Unkräuter sind jeweils unmittelbar vor den Bekämpfungsmaßnahmen erfasst worden. Nachdem die Wirkung der Herbizide im Feld zu sehen war, fand jeweils eine zweite Unkrautaufnahme statt.

Mit Hilfe des Geoinformationssystems „UNPROG“ (entwickelt am Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau der Universität Bonn) sind aus den vorliegenden Rasterboniturdaten Unkrautverteilungskarten erstellt worden. Zwischen den punktbezogenen Daten der visuellen Rasterbonitur wurde wie von GERHARDS *et al.* (1997a) beschrieben, über eine lineare Triangulation interpoliert, um die Fläche der Unkrautdichte zwischen den einzelnen Rasterpunkten zu schätzen. Unterschiedliche Unkrautdichteklassen sind farblich voneinander abgegrenzt worden.

3.1.3 Erstellung von Applikationskarten nach Schadschwellen

Mit Hilfe des am Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau entwickelten Geoinformationssystems „SPRAY CONTROL“, welches gleichzeitig zur Herbizidapplikation eingesetzt wurde, sind die Applikationskarten für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung erstellt worden. Dabei wurden die einzelnen Unkrautarten ihrer Konkurrenzkraft und

Herbizidempfindlichkeit entsprechend in Gruppen eingeteilt. In Getreide sind die drei Unkrautgruppen Ungräser, *Galium aparine* sowie die Gruppe der Unkräuter gebildet worden. Für jede Unkrautgruppe ist nach ökonomischen Schadschwellen (COBLE und MORTENSEN, 1992) über den jeweiligen Herbizideinsatz auf den Versuchsfeldern entschieden worden. Zusätzlich wurde in Getreide die Aufwandmenge der Herbizide in Abhängigkeit von der Dichte (Pfl./m²) der Unkrautgruppen „Ungräser“ sowie der „Unkräuter“ und dem optischen Eindruck des Kulturpflanzenbestandes angepasst (vgl. TIMMERMANN, 2001). Die Aufwandmenge wurde in vier festgelegten Stufen variiert und Teilflächen mit unterschiedlich hohen Aufwandmengen sind in den Applikationskarten farblich nach dem folgenden Schema differenziert worden: Rot: 100% Aufwandmenge (Stufe 1), gelb: 80% Aufwandmenge (Stufe 2), grün: 60% Aufwandmenge (Stufe 3), schwarz: kein Herbizideinsatz (Stufe 4) (vgl. Abb. 3.3).

Bei *Galium aparine* ist auf Grund der extrem niedrigen ökonomischen Schadschwelle keine Abstufung der Herbizidaufwandmenge nach Schwellenwerten vorgenommen worden. Auf ein Überschreiten der Schadschwelle von 0,1 Pfl./m² folgte die Herbizid- ausbringung gegen dieses Unkraut in der empfohlenen Herbiziddosis (100% Aufwandmenge).

In Körnermais und Zuckerrüben wurden die Gruppen Ungräser sowie Unkräuter gebildet. Bei diesen Kulturen wurde nur in unkrautfreien Teilflächen auf Herbizidapplikationen verzichtet. Sobald die gesetzte Schadschwelle von einer Pflanze je Quadratmeter überschritten war, ist die maximale Aufwandmenge (100%) des entsprechenden Herbizids appliziert worden. Die niedrige Schadschwelle wurde in diesen Kulturen aus Sicherheitsgründen gewählt, da Reihenkulturen weniger konkurrenzstark sind als Getreide und mit einer unerwünschten Samenbildung der verbleibenden Unkrautarten zu rechnen ist. Abstufungen in den Aufwandmengen nach Schwellenwerten wurden in diesen Kulturen nicht vorgenommen.

Die folgende Abbildung zeigt die Oberfläche des Applikationsprogramms „SPRAY CONTROL“, auf welcher der Landwirt während der Applikation seine aktuelle Position auf dem Feld kontrollieren kann. Exemplarisch ist eine Spritzkarte dargestellt. Mit Hilfe von Farbunterscheidungen werden unterschiedlich hohe Herbizidaufwandmengen visualisiert.

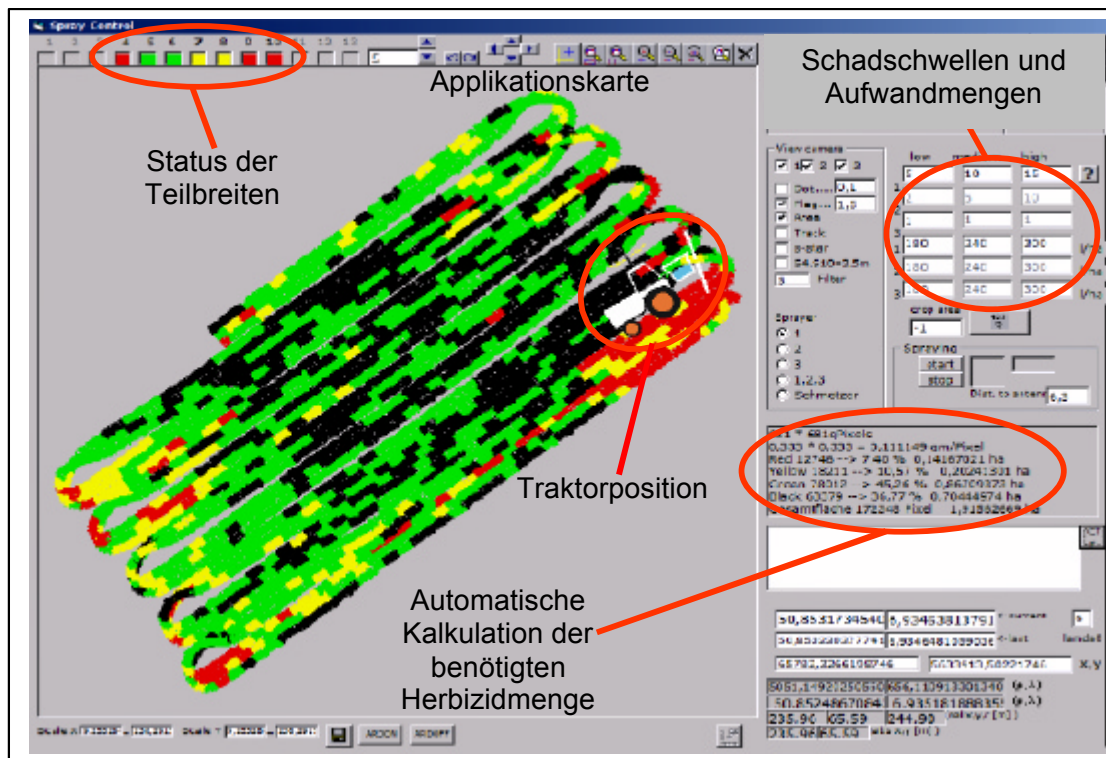


Abb. 3.3 Eingabemaske des Applikationsprogramms "SPRAY CONTROL" mit Applikationskarte, Eingabemodul für Schadschwellen und Aufwandmengen, Anzeige der benötigten Herbizidmenge sowie Kontrollanzeige über den Status der Teilbreiten während der Herbizidapplikation. Schwarze Flächenanteile werden nicht behandelt. Die wählbare Herbiziddosis erhöht sich analog der Farbreihenfolge grün, gelb und rot, wobei in den roten Flächenbereichen stets die vom Hersteller empfohlene Aufwandmenge appliziert wird.

3.1.4 Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Basis von Applikationskarten

Die Herbizidapplikation wurde im Jahr 2002 mit der von GERHARDS *et al.* (2000) beschriebenen und in Abbildung 2.1 dargestellten Feldspritze durchgeführt.

In Abbildung 3.4 wird ein Schaltplan der neuen, am Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau entwickelten dGPS-gesteuerten Dreikammerspritze gezeigt, welche erstmalig im Versuchsjahr 2003 zum Einsatz kam.

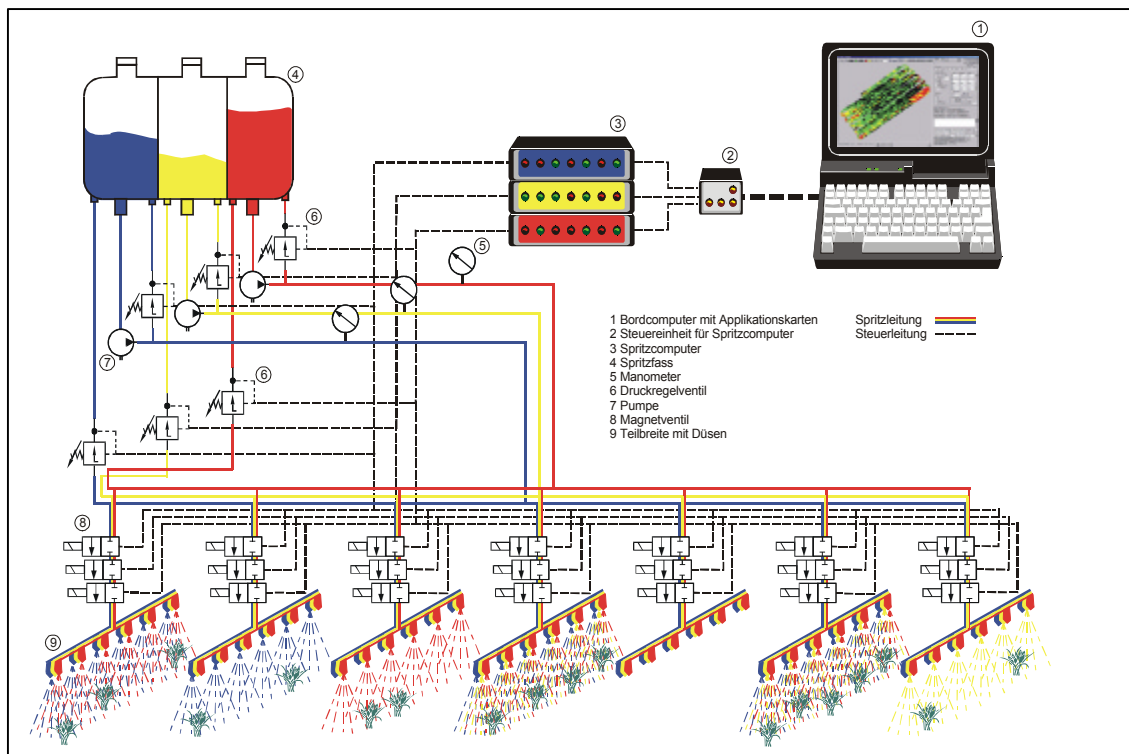


Abb. 3.4 Schaltplan der dGPS-gesteuerten Dreikammerspritze

Die Spritze beinhaltet drei getrennt voneinander arbeitende Flüssigkeitssysteme, so dass bis zu drei verschiedene Mittelkombinationen wahlweise ausgebracht werden können. Der Spritzbalken hat eine Arbeitsbreite von 21 Metern und ist in sieben automatisch und unabhängig voneinander steuerbare Teilbreiten von jeweils drei Metern segmentiert. Auf Grund der drei Flüssigkeitssysteme befinden sich jeweils drei Düsen an den Düsenstöcken. Bei der Herbizidapplikation wird jedem Flüssigkeitssystem eine unkrautgruppenspezifische Applikationskarte zugewiesen. Der zugehörige Düsenbereich wird dabei auf Informationsgrundlage der entsprechenden Applikationskarte über eine zentrale Regeleinheit, die mit dem dGPS zur Positionsbestimmung des Schlepplers verbunden ist, angesteuert. In einer Überfahrt können die vorher festgelegten drei Unkrautgruppen mit dem für sie spezifisch wirksamen Herbizid in der erforderlichen Aufwandmenge behandelt werden, wobei die Regulierung der Herbiziddosis über den Betriebsdruck erfolgt. Mit den verwendeten Injektordüsen wurden die Ausbringmengen 180 l/ha (60% Aufwandmenge), 240 l/ha (80% Aufwandmenge) und 300 l/ha (100% Aufwandmenge) realisiert.

3.1.5 Ermittlung der Bekämpfungserfolge und der Herbizideinsparungen

Die Bekämpfungserfolge in den einzelnen Versuchsschlägen wurden über den Vergleich der Verteilungskarten vor und nach der Herbizidapplikation ermittelt. Über Differenzbildungen konnte der prozentuale Bekämpfungserfolg bestimmt werden, wobei die jeweiligen Schadschwellen berücksichtigt wurden. Die Herbizideinsparungen im

Vergleich zur vollständigen Flächenbehandlung konnten über eine Funktion im Applikationsprogramm „SPRAY CONTROL“ berechnet werden.

3.2 Überprüfung von Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in Braugerste unter Verwendung eines Geoinformationssystems (GIS)

In Zusammenarbeit mit dem Verein zur Förderung des Braugerstenanbaues Voreifel wurde die unter Punkt 3.1.4 beschriebene Dreikammerspritze erstmalig für den praktischen Einsatz in Braugerste auf einer 2,8 ha großen Fläche des Vorstandsmitglieds, Herrn Hurtz, in Nideggen-Berg getestet. Im Feldversuch ist zusätzlich der Einfluss unterschiedlicher Schadschwellen auf den Ertrag sowie die Qualitätsparameter Rohproteingehalt und Vollgerstenanteil von Braugerste mit Hilfe eines Geoinformationssystems untersucht worden, da die Höhe des Preises von der Erzielung eines Rohproteingehalts bis 11,5% sowie eines Vollgerstenanteils von über 90% abhängt (MÜKE, 1990). Als Vollgerstenanteil wird die Kornfraktion mit mehr als 2,5 mm Durchmesser bezeichnet. Zusätzlich wurden die Herbizideinsparungen und Bekämpfungserfolge berechnet.

Im Folgenden werden Versuchsstandort sowie Vorgehensweisen bei der Durchführung der Untersuchungen und Arbeiten beschrieben. Angaben zur durchschnittlichen Dichte der Leitunkräuter sowie zu den Terminen der Untersuchungen und Arbeiten finden sich in den Anhangstabellen 9.19 und 9.20.

3.2.1 Charakterisierung des Versuchsstandortes Hurtz (Nideggen-Berg)

In der folgenden Abbildung wird der Versuchsstandort Hurtz dargestellt.

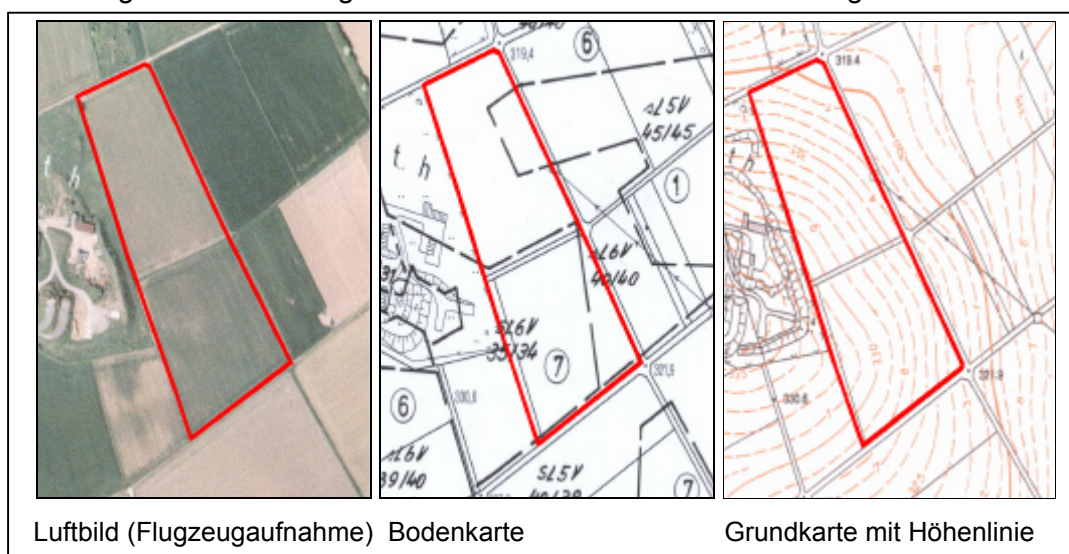


Abb. 3.5 Charakterisierung des Versuchsstandortes Hurtz (Nideggen-Berg) mit Luftbild (1998) sowie Bodenkarte (1955) und Grundkarte mit Höhenlinien (1999) im Maßstab 1:5000. Landesvermessungsamt NRW, Karte Nr. 5204/36 (Boich Süd)

Die Versuchsfläche liegt auf etwa 330 m über NN. Bei dem Boden handelt es sich um eine Braunerde aus schwach lösslehmhaltiger Fließerde/Verwitterungsmaterial aus Sandstein (Oberer Buntsandstein) mit einer Schichtung von etwa 3 dm - 5 dm mächtigem lehmigen Sand über Sandstein/Tonstein. Die Bodenzahlen liegen zwischen 34 und 45 (vgl. Abb. 3.5). Bis zum Jahr 1998, in dem das Luftbild entstanden ist, war die Fläche durch einen Weg in zwei Hälften unterteilt.

Das Klima in Nideggen-Berg wird vom Atlantik beeinflusst. Verhältnismäßig milde Winter und relativ kühle, niederschlagsreiche Sommer sind charakteristisch für diesen subatlantischen Klimabereich. Bei länger andauernden Hochdruckphasen kann es zeitweise kontinentale Züge annehmen (BROSE *et al.*, 1960).

Die Jahresdurchschnittstemperaturen des Versuchsstandorts liegen bei etwa 7,7°C und es fallen durchschnittlich 1067 mm Niederschlag im Jahr (Deutscher Wetterdienst, Witterungsreport).

Im Jahr 2003 lagen die Niederschlagsmengen, insbesondere in den Sommermonaten Juni bis September, weit unter dem langjährigen Mittel. Die Temperaturen waren dagegen überdurchschnittlich hoch. Das Versuchsjahr 2003 war das trockenste und wärmste Jahr seit 1959 im Eifel- und Voreifelraum. Das Jahresmittel betrug 10,1°C und war damit um +2,4°C zu warm. Im Gesamtjahr fielen nur 622 mm Niederschlag und somit fehlten ca. 445 mm im Vergleich zum langjährigen Mittel.

3.2.2 Ermittlung und Kartierung der Unkrautverteilung

Die Unkrautverteilung wurde analog zur unter Punkt 3.1.2 beschriebenen Vorgehensweise erfasst, jedoch mit dem Unterschied, dass eine Maschenweite von 7,5 m (in Fahrtrichtung) * 7,5 m (im rechten Winkel zur Fahrtrichtung) verwendet wurde.

3.2.3 Festlegen der Schadschwellen

Auf Grund der streuenden Angaben der in der Literatur beschriebenen Schadschwellenwerte für die einzelnen Unkrautgruppen wurden im Feldversuch zwei unterschiedlich hohe Schadschwellenwerte für die Gruppe „Unkräuter“ sowie „Ungräser“ getestet. Als Kontrolle dienten die Varianten „konventionelle Applikation“ sowie „keine Applikation“. Die Schadschwellenwerte wurden wie folgt festgelegt: Schadschwelle 1: *Galium aparine/Cirsium arvense*: 1 Pfl./m², Ungräser: 6 Pfl./m², Unkräuter: 10 Pfl./m². Schadschwelle 2: *Galium aparine/Cirsium arvense*: 1 Pfl./m², Ungräser: 25 Pfl./m², Unkräuter: 40 Pfl./m². Die konventionelle Variante wurde mit 100% gekennzeichnet, während die unbehandelte Variante mit 0% markiert worden ist.

3.2.4 Erstellung von Applikationskarten

Die ermittelten Unkrautarten wurden analog zur unter Punkt 3.1.3 aufgezeigten Vorgehensweise entsprechend ihrer Herbizidempfindlichkeit und Konkurrenzkraft in Gruppen eingeteilt. Es entstanden die drei Gruppen „Problemunkräuter“ (*Galium aparine/Cirsium arvense*), „Ungräser“ sowie „Unkräuter“. Für jede der drei Unkrautgruppen wurde nach gewählten Schadschwellen eine Applikationskarte erstellt. Auf eine Abstufung der Herbizidaufwandmengen nach Schwellenwerten ist in diesem Versuch verzichtet worden, um die dann zwangsläufig entstehenden zusätzlichen, aber unerwünschten Einflussfaktoren auszuschließen

In der folgenden Abbildung wird der Versuchsplan in Kombination mit der Bodenkarte dargestellt.

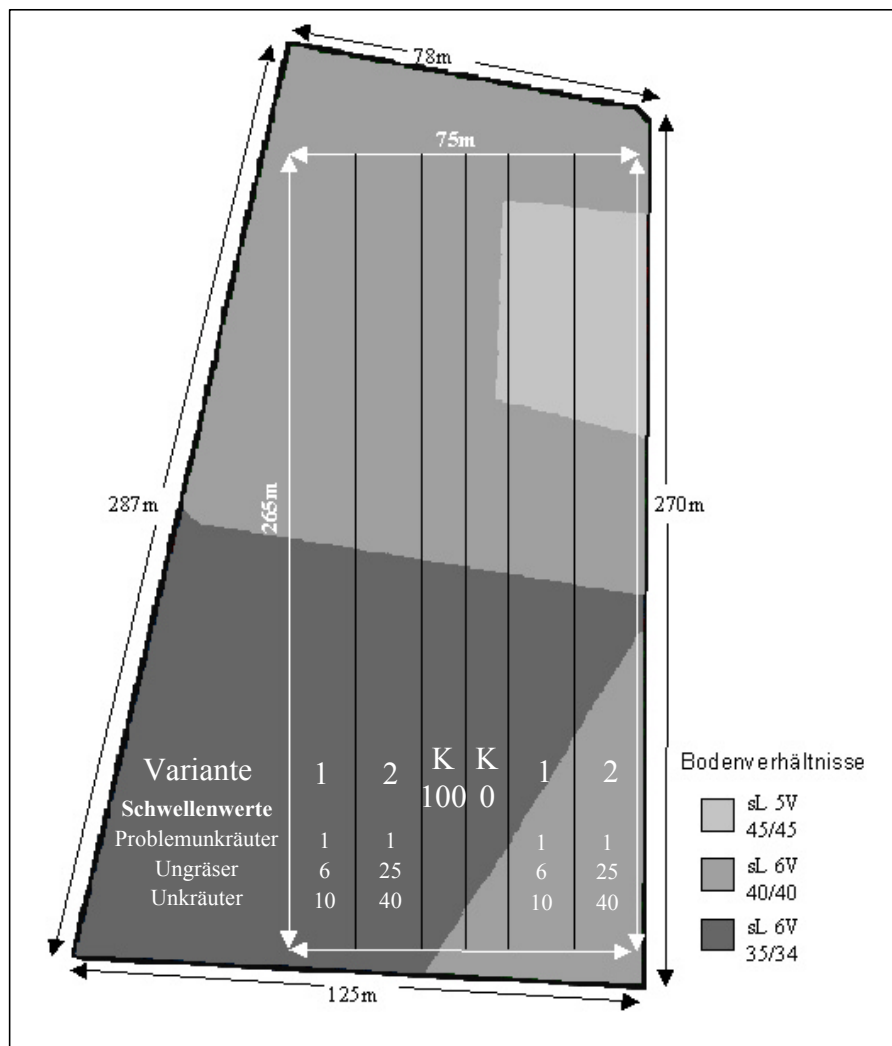


Abb. 3.6 Versuchsplan: „Schadschwellen in Braugerste“ mit Schadschwellenvarianten, Kontrollvarianten K100 als Ganzflächenbehandlung und K0 als Nullvariante, sowie unterlegter Bodenkarte

3.2.5 Umsetzung der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation

Die teilschlagspezifische Herbizidapplikation wurde analog zur unter Punkt 3.1.4 beschriebenen Vorgehensweise mit der dGPS-gesteuerten Dreikammerspritze durchgeführt.

3.2.6 Ermittlung der Bekämpfungserfolge und Herbizideinsparungen

Die Bekämpfungserfolge innerhalb der einzelnen Schadschwellenvarianten wurden analog zu Punkt 3.1.5 über den Vergleich der den Verteilungskarten vor und nach der Herbizidapplikation zugrunde liegenden Boniturdaten ermittelt, wobei die jeweiligen Schadschwellenwerte berücksichtigt worden sind. Die Herbizideinsparungen wurden mit Hilfe der in „SPRAY CONTROL“ implementierten Programmfunktion aus den einzelnen Applikationskarten abgeleitet. Hierbei wurde die ganzflächige Herbizidbehandlung gleich Null gesetzt.

3.2.7 Ermittlung der Qualitätsparameter Rohproteingehalt und Vollgerstenanteil

Zur Ermittlung des Rohproteingehalts wurden in Nestern von *Avena fatua* und *Cirsium arvense* mit einer Dichte von 5-8 Pfl./m² bei *Cirsium arvense* bzw. 15-20 Pfl./m² bei *Avena fatua* in dreifacher Messwiederholung jeweils zehn Ähren entnommen und aufbereitet. Mit Hilfe des C/N-Analysesystems von Carlo Erba sind danach die Rohproteingehalte aus den Stickstoffgehalten durch Verwendung des Umrechnungsfaktors 6,25 bestimmt worden. Der prozentuale Vollgerstenanteil der Proben aus den Unkrautnestern wurde durch Absiebung bei 2,5 mm Lochweite ermittelt.

3.2.8 Ermittlung und Kartierung des Ertrags

Während des Mähdruschs wurde mit dem Ertragserfassungssystem „CERES 2“ der Firma RDS[®] eine Ertragskarte erstellt. Das System arbeitet wie folgt: Während des Erntevorgangs werden kontinuierlich Ertragsdaten mit den zugehörigen Positionsinformationen (dGPS-Koordinaten) erfasst und gespeichert. Das Ertragserfassungssystem misst den Volumenstrom des Erntegutes indirekt über eine Lichtschranke im Elevator. Die Lichtschranke dient dazu, die Schütthöhe und daraus das Volumen des Erntegutes auf den Paddeln zu bestimmen. Durch einen Neigungssensor wird der Einfluss der ungleichförmigen Beladung der Elevatorpaddel am Seitenhang kompensiert. Über das Hektolitergewicht, welches über eine Waage ermittelt wird, wird der Massestrom berechnet. Aus dem Massestrom wird im nächsten Schritt, unter Einbezug der aktuellen Fahrgeschwindigkeit und der Schnittbreite, der Flächenertrag ermittelt. Gleichzeitig

findet kontinuierlich über die elektrische Leitfähigkeit die Ermittlung der Kornfeuchte statt, so dass der Ertrag auf Standardfeuchte korrigiert werden kann.

Aus den gespeicherten Daten können in einem weiteren Schritt Ertragskarten generiert werden, wobei die Flächeninformation durch lineare Interpolation zwischen den Messpunkten entsteht. Variierende Ertragszonen werden farblich voneinander differenziert.

3.2.9 GIS-basierte Untersuchung

Mit Hilfe des Geoinformationssystems „MINIGIS“, welches am Institut für Pflanzenbau entwickelt worden ist, wurden die Bodenkarte, die Unkrautverteilungskarte vor der Ernte sowie die Applikationskarte mit der Ertragskarte verschnitten. Damit war es möglich, unterschiedliche ertragsbeeinflussende Faktoren, wie Boden und Verunkrautung voneinander getrennt zu verrechnen. Das „MINIGIS“ arbeitet wie folgt:

In einem Messfenster (moving window) können an jeder Stelle der Ertragskarte flächenbezogene Ertragsmessungen durchgeführt werden. Der Messbereich (Größe des Messfensters) sowie die Messposition ist variabel. Zusätzlich können Karten mit weiteren Flächeninformationen, wie z.B. die Bodenkarte und Unkrautverteilungskarten, mit der Ertragskarte verschnitten werden. Bei jeder Ertragsmessung mit dem moving window werden dann die Zusatzinformationen (z.B. Bodenart, Verunkrautung, Herbizidaufwand etc.) den Ertragsdaten des jeweiligen Messbereiches angehängt und im Excelformat mit einer vom Anwender zu wählenden Bezeichnung abgespeichert. Nach Abschluss der Einzelmessungen bzw. der Analyse der gesamten Ertragskarte können die Daten dann statistisch verrechnet werden. Die unterschiedlichen Einflussfaktoren werden im Programm als „Regions of interest“ (ROI's) bezeichnet und mit unterschiedlichen Farben markiert.

In der folgenden Abbildung wird exemplarisch ein Konturoverlay der Verteilungskarte von *Galium aparine* (ROI) vor der Ernte und der Ertragskarte dargestellt.

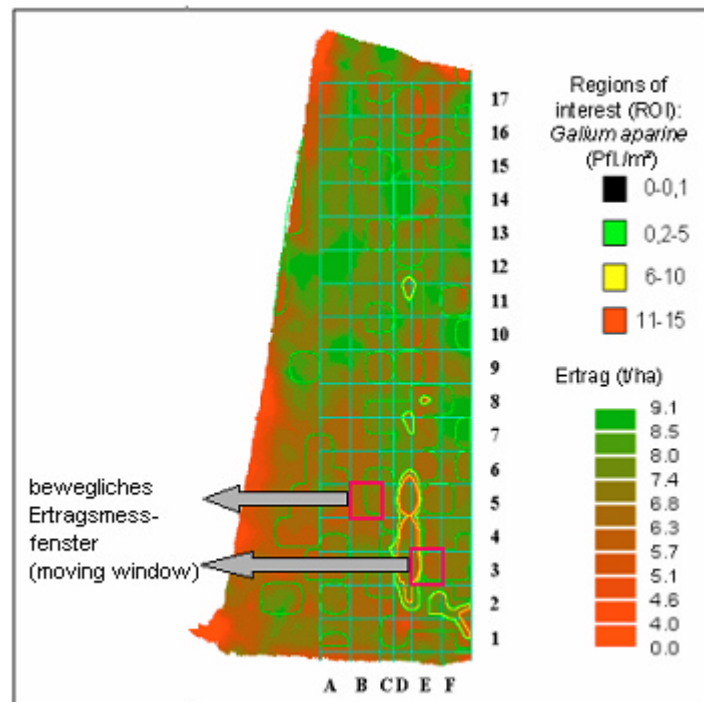


Abb. 3.7 Konturoverlay der ROI *Galium aparine* und der Ertragskarte von Braugerste mit gerastertem Schadschwellenversuchsplan, moving window zur Analyse von festgelegten Regionen (hier B5 und E3) sowie farblich markierte Ertragsklassen und als farbliche Kontur dargestellte Dichteklassen von *Galium aparine*

Die unterschiedlichen Dichteklassen der Verteilungskarte von *Galium aparine* sind durch die Farben schwarz, grün, gelb und rot umrandet, wobei die Farbe schwarz vom Programm zwar erkannt wird, jedoch in der Programmoberfläche farblos erscheint.

3.3 Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf populationsdynamische Parameter von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica*

Für eine erfolgreiche Einführung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle in die landwirtschaftliche Praxis werden Informationen über die Auswirkungen dieses Systems auf die Folgeverunkrautung benötigt. Die Handlungsanweisungen, welche in die Entscheidungsmatrix eingehen, dürfen nicht zu einem Anstieg von ertragsschädigenden Verunkrautungen auf Ackerflächen in Folgejahren führen.

Auf dem Versuchsstandort Poppelsdorf der Universität Bonn wurden Untersuchungen zur Populationsdynamik von Unkräutern durchgeführt, um daraus gültige Entscheidungskriterien für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle ableiten zu können. Die daraus resultierenden populationsdynamischen Parameter können als Grundlage für die modellbasierten Prognosen von zukünftigen Verunkrautungsszenarien dienen.

3.3.1 Charakterisierung des Versuchstandorts Poppelsdorf

Die Feldversuche zur Populationsdynamik von Unkräutern wurden in den Jahren 2002 und 2003 durchgeführt. Bei den Böden der Versuchsflächen handelt es sich überwiegend um feinsandigen Lehm mit einer Lößauflage von ca. 40 cm. Das Relief der Flächen ist eben. Die Böden haben eine Mächtigkeit zwischen 80 cm und 100 cm und ein gutes Bodengefüge mit hoher Nährstoffnachlieferung. Dementsprechend sind die Bodenpunktezahlen mit Werten zwischen 70 und 90 recht hoch.

Die Klimaeinflüsse, denen die Versuchsstation Poppelsdorf unterliegt, sind geprägt durch ausgeglichene Jahresdurchschnittstemperaturen von 11,5° C und geringen Durchschnittsniederschlägen von 632 mm im Jahr (langjähriges Mittel 1971-1995). Es handelt sich um die zweitwärmste Region Deutschlands. In der folgenden Abbildung werden die langjährigen monatlichen Durchschnittswerte von Temperatur und Niederschlägen den Werten aus den Versuchsjahren 2002 und 2003 gegenübergestellt.

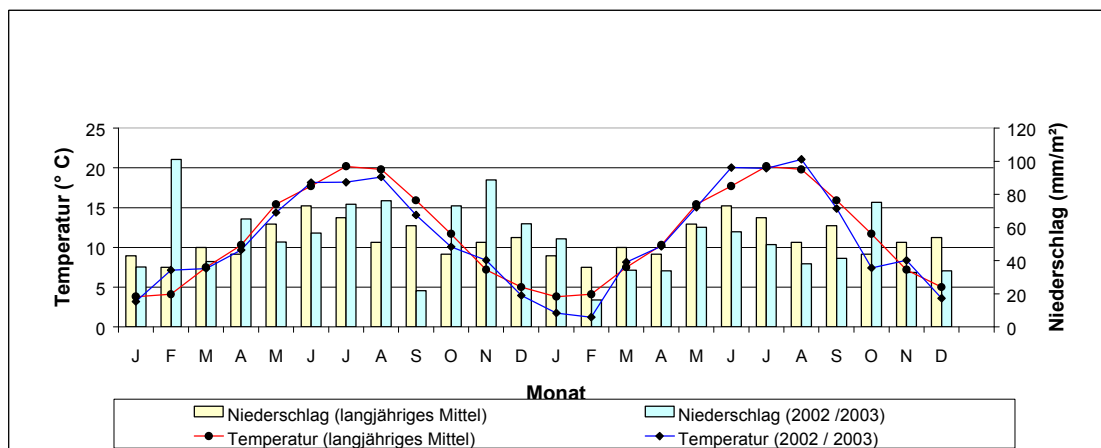


Abb. 3.8 Monatliche Temperatur- und Niederschlagsverteilung der Versuchsjahre 2002 und 2003 auf der Versuchsstation Poppelsdorf mit jeweiligem langjährigem Mittel

Die Niederschlagsverteilungen und Temperaturverläufe der Vegetationsperioden waren in beiden Versuchsjahren weitgehend mit denen des langjährigen Mittels vergleichbar. Die Trockenperiode, welche in den Sommermonaten des Jahres 2003 in nahezu allen deutschen Landesteilen vorherrschend war, zeigte sich auf der Versuchsstation Poppelsdorf nur tendenziell.

3.3.2 Versuchsdurchführung

In einer zweifaktoriellen Spaltanlage wurde der Einfluss von Herbizidaufwandmenge und Deckfrucht auf Dynamik und Samenproduktion von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica* überprüft. Hierzu wurde *Galium aparine* in randomisierten Kleinparzellen mit einer definierten Größe in einer bestimmten Pflanzendichte je Quadratmeter etabliert. Auf der Versuchsfläche ist in der Vergangenheit niemals *Galium*

aparine beobachtet worden. *Eschscholzia californica* kam in allen Versuchparzellen als Leitunkraut in hoher Dichte vor. Als Faktorstufen des Prüfungsfaktors „Herbizidaufwandmenge“ wurde die unter Punkt 3.1.3 beschriebene und bei der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle verwendete höchste Aufwandmenge von 100% und die niedrigste Aufwandmenge von 60% ausgewählt. Als Kontrolle diente die Nullvariante (0%). Der Versuch wurde mit dem Statistikprogramm SAS 8.2 verrechnet. Bei unbalancierten Wiederholungen ist auf die Darstellung der Grenzdifferenz verzichtet worden. Die einzelnen Untersuchungen und Arbeiten mit den zugehörigen Terminen befinden sich in der Anhangstabelle 9.20. Der Versuchsplan ist ebenfalls im Anhang unter Abbildung 9.2 zu finden.

3.4 Vergleichende Untersuchung zur Reduzierung des Unkrautsamenpotenzials mit und ohne Stoppelbearbeitung unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlicher Samenprädatoren zwischen Getreideernte und Herbstbestellung

Ein Ziel der Stoppelbearbeitung ist die Eliminierung von Unkräutern, die nach der Ernte auflaufen. Die Anzahl der Unkrautsamen in der Diasporenbank soll dadurch reduziert werden. Diese Untersuchung zeigt, welchen Einfluss das Unterlassen der Stoppelbearbeitung auf die Reduktionsrate des Samenpotenzials hat und welche Rolle unterschiedliche Samenprädatoren dabei spielen. Die Ergebnisse können zur Prognose von modellbasierten Verunkrautungsszenarien verwendet werden

Versuchsbeschreibung und -durchführung

In den Jahren 2002 und 2003 sind auf Weizenflächen der Versuchstation Poppelsdorf zwischen Ernte und Aussaat der nachfolgenden Winterung vergleichende Untersuchungen zur Reduzierung des Unkrautsamenpotenzials mit und ohne Stoppelbearbeitung durchgeführt worden, wobei die Rolle oberirdischer Prädatoren bei der Unkrautdezimierung näher untersucht worden ist. Zur Prüfung des Einflusses der Prädatoren auf die Reduzierung des Unkrautsamenpotenzials wurden im Jahr 2002 jeweils 300 Samen von *Viola arvensis*, *Poa annua*, *Galium aparine* sowie jeweils 100 Samen von *Avena fatua*, *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*, *Secale cereale* und *Avena sativa* in achtfacher Wiederholung zu je drei Messwiederholungen auf der Stoppel etabliert. Die Unkrautsamen wurden auf Plastikschrälchen mit Wasserabfluss gegeben, die wiederum mit selbst angefertigten Netzbarrieren unterschiedlicher Maschenweite versehen worden waren, um eine Differenzierung in a) Verluste durch Vögel, Nagetiere, Laufkäfer und Schnecken, b) Verluste durch Nagetiere, Laufkäfer und Schnecken und c) Verluste durch Laufkäfer und Schnecken zu ermöglichen.

Die folgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Netzbarrieren, welche zur Differenzierung der Prädatorengruppen verwendet wurden.

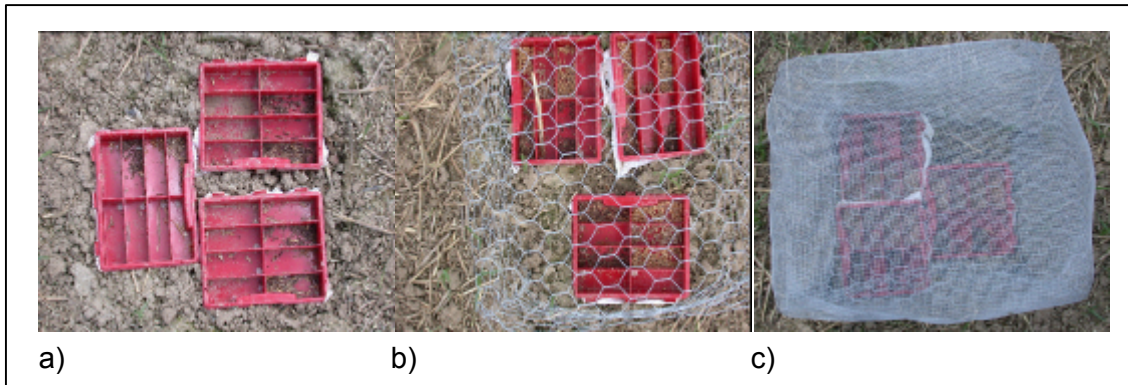


Abb. 3.9 Ausgelegte Plastikschalen mit Barrieren zur Differenzierung des Samenverlustes durch a) Vögel, Nagetiere, Laufkäfer und Schnecken, b) Nagetiere, Laufkäfer und Schnecken und c) Laufkäfer und Schnecken

Zur Simulation der Stoppelbearbeitung ist auf weiteren Weizenflächen der Versuchstation Poppelsdorf 8 cm tief gegrubbert worden. Die gleichen oben beschriebenen Unkrautsamen wurden in identischer Anzahl in wasserdurchlässige Leinensäcke eingenäht und in achtfacher Wiederholung und drei Messwiederholungen in die gegrubberte Weizenstoppel randomisiert eingegraben. Im Jahr 2003 wurde der gleiche Versuch in jeweils vierfacher Wiederholung durchgeführt. Als Neuerung wurde *Hordeum vulgare* durch *Eschscholzia californica* ersetzt. Sechs Wochen nach Versuchsbeginn erfolgte in beiden Jahren die Untersuchung der Samenverlusten in den Varianten mit und ohne Stoppelbearbeitung. Die Versuche wurden als jeweils vollständig randomisierte Blockanlagen mit dem Statistikprogramm SAS 8.2 verrechnet. Signifikante Hauptwirkungen sind mit unterschiedlichen Buchstaben markiert, während bei signifikanten Wechselwirkungen jeweils die geteilte Grenzdifferenz gezeigt wird. Bei unbalancierten Versuchen wurde auf die Darstellung der Grenzdifferenzen verzichtet.

3.5 Einsatz von Modellen zur Unkrautpopulationsdynamik unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle

Zur Prognose von zukünftigen Entwicklungen der Unkrautdynamik auf Ackerflächen werden populationsdynamische Modelle eingesetzt. Die Validierung solcher Modelle ist Grundvoraussetzung für verlässliche Prognosen.

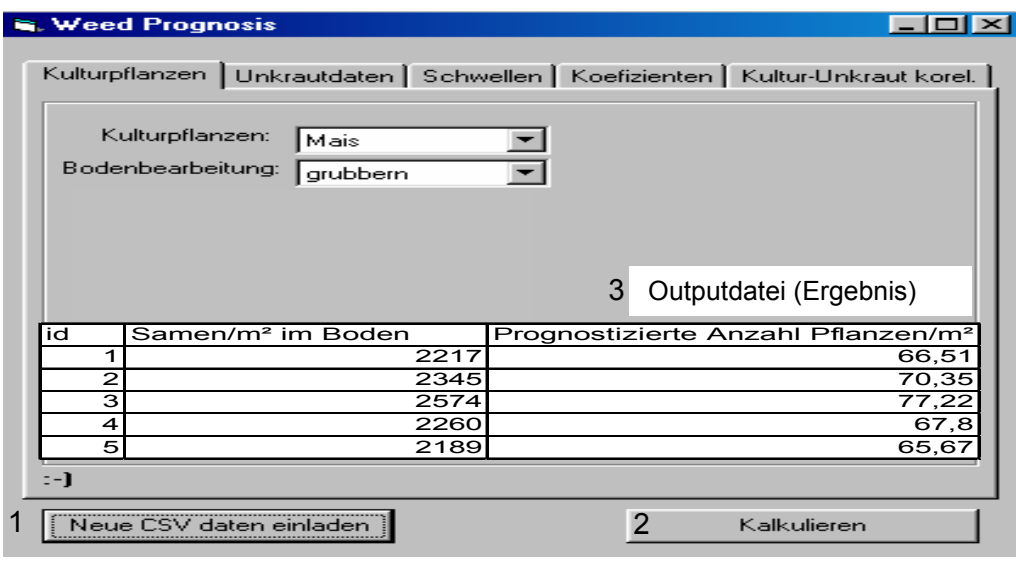
3.5.1 Validierung eines Simulationsmodells zur Populationsdynamik annualer Unkräuter ausgehend von ZWARGER und HURLE (1988)

Zur Abschätzung der zeitlichen Dynamik von Unkrautpopulationen in aufeinander folgenden Jahren ist das von ZWARGER und HURLE (1988) publizierte Unkrautpopulationsmodell (vgl. Abb. 2.3) in abgewandelter Form verwendet worden. Zwei Leitunkräuter, *Echinochloa crus-galli* und *Chenopodium album*, wurden für den Versuch selektiert. Ausgehend von den im Jahre 1997 in der visuellen Rasterbonitur erhobenen und über alle Rasterpunkte gemittelten Dichten der genannten Unkräuter wurde die Entwicklung der Populationsdynamik sowohl in einer Felderfolge als auch in einer Maismonokultur bis zum Jahr 2003 geschätzt. Zur Umrechnung der Samen je Quadratmeter in Pflanzen je Quadratmeter sind die Ergebnisse jeweils mit dem Faktor 0,03 (3% Auflauftrate) multipliziert worden. Über einen Vergleich der simulierten mit den erhobenen Daten erfolgte eine Validierung des Modells.

3.5.2 Beschreibung des Simulationsprogramms zur Populationsdynamik annualer Unkräuter „WEED PROGNOSIS“

In Zusammenarbeit mit der Universität Hohenheim und Herrn Janis Repsons von der Universität Jelgawa (Lettland) ist ein neues Unkrautsimulationsprogramm namens „WEED PROGNOSIS“ entwickelt worden. „WEED PROGNOSIS“ ist eine Erweiterung des populationsdynamischen Modells nach ZWARGER und HURLE (1988) und kann zusätzlich teilschlagspezifische Unkrautkontrolle durch Einbezug von Herbizidwirkungsgraden, Bodenbearbeitungsvarianten, den Einfluss von Kulturpflanzenarten und Samenverlusten durch Prädation berücksichtigen. Des Weiteren wird bei jeder Prognose ein Rasterdatensatz erstellt, welcher Basis für die räumliche Darstellung der prognostizierten Unkrautverteilung eines Feldes ist. Das Modell arbeitet wie folgt: Auf Basis einer rasterbasierten Inputdatei mit Unkrautboniturdichten sowie den Bekämpfungserfolgen (Herbizidwirkungsgrad) an jedem Boniturstelle wird die Unkrautdichte für jeden einzelnen Rasterpunkt für das Folgejahr geschätzt. Aus den Prognoseergebnissen, welche in einer Outputdatei abgespeichert werden, können Unkrautverteilungskarten erstellt werden, um neben der zeitlichen auch die räumliche Dynamik von Un-

kräutern analysieren zu können. Abbildung 3.10 zeigt die Programmoberfläche des Simulationsprogramms „WEED PROGNOISIS“ mit vereinfachter, exemplarischer Inputdatei als Ausgangsbasis, Eingabefunktionen für populationsdynamische Parameter sowie vereinfachter Outputdatei mit den Prognoseergebnissen für das folgende Jahr. Zuerst wird eine Inputdatei geladen (1), welche Basis der Kalkulation (2) ist, aus der als Ergebnis die Outputdatei (3) entsteht. Über die Outputdatei kann die schlagbezogene Unkrautverteilung mit Interpolationsverfahren generiert werden.



3 Outputdatei (Ergebnis)

id	Samen/m ² im Boden	Prognostizierte Anzahl Pflanzen/m ²
1	2217	66,51
2	2345	70,35
3	2574	77,22
4	2260	67,8
5	2189	65,67

1 Neue CSV daten einladen 2 Kalkulieren

Inputdatei

id	Pflanzen/m ² vor Herbizid	Pflanzen/m ² nach Herbizid	Wirkungsgrad Herbizid
1	20	3	85
2	25	10	60
3	30	0	100
4	27	2	92,6
5	36	5	86,1

Abb. 3.10 Programmoberfläche des Simulationsprogramms „WEED PROGNOISIS“ mit vereinfachter, exemplarischer Inputdatei als Ausgangsbasis und Eingabefunktionen für populationsdynamische Parameter sowie vereinfachter Outputdatei mit den Prognoseergebnissen für das folgende Jahr

In der Programmoberfläche können Parameter zur Bodenbearbeitung, Kulturart (hier werden kulturartbedingte Keimungswahrscheinlichkeiten aufgerufen), Samenproduktion der Pflanze, Samenverlustrate durch Prädation sowie simulierte Herbizidwirkungsgrade eingegeben werden. Diese Parameter werden programmintern mit den Boniturnoten der Inputdatei verrechnet.

Bodenbearbeitung

In dieser Studie wurde in jedem Jahr gepflügt. Aufgrund von streuenden Werten in der Literatur (vgl. KOCH, 1969; KAUL, 1992; PEKRUN *et al*, 2000) sowie der Diskussion von Daten aus unveröffentlichten Versuchen (MEHRTENS, 2004), welche sich mit der Auflafrate von *Chenopodium album* bei wendender Bodenbearbeitung

beschäftigten, wurde für die Bodenbearbeitungsvariante „Pflügen“ eine allgemeine Auflauftrate von 0,03 (3%) angenommen.

Wahl der Kulturart

Je nach Anbauzeitpunkt der jeweiligen Kulturarten kommen bestimmte, an diese Kulturarten angepasste Unkräuter in Keimstimmung. Winterannuelle Unkräuter, welche vorwiegend in Wintergetreide zu finden sind, keimen überwiegend im Herbst, überdauern die kalte Jahreszeit im vegetativen Zustand und kommen im späten Frühjahr in die reproduktive Phase. Als Beispiel sei hier *Apera spica-venti* und *Veronica hederifolia* genannt. Sommerannuelle Unkräuter wie z.B. *Chenopodium album* keimen im Frühjahr und schließen ihren Lebenszyklus in der gleichen Vegetationsperiode mit der Bildung von Diasporen ab (ZWERGER und AMMON, 2002). Daher gibt es in Abhängigkeit von der angebauten Kulturart für verschiedene Unkrautarten unterschiedliche Keimungswahrscheinlichkeiten, welche zu beachten sind. In dieser Arbeit wurden aus den durchschnittlichen Dichten von *Chenopodium album*, welche über mehrere Jahre in Winterweizen, Wintergerste, Mais und Zuckerrüben in allen Versuchsfeldern erhoben worden sind (vgl. Anhangstabelle 9.22), kulturartbedingte Keimungswahrscheinlichkeiten abgeleitet, welche im Modell berücksichtigt wurden. Für die einzelnen Kulturarten wurden für die Keimungswahrscheinlichkeiten für *Chenopodium album* folgende Werte verwendet: Winterweizen: 0 (0%), Wintergerste: 0,04 (4%), Zuckerrüben: 0,5 (50%) und Körnermais: 0,8 (80%). Die eingesetzten Werte wurden programmintern mit den Werten der Eingabefunktion Bodenbearbeitung verrechnet.

Samenproduktion der Pflanze

Für die Ausbreitung von Ackerunkräutern spielt die Art ihrer Vermehrung eine entscheidende Rolle. Als grundlegende Möglichkeit des Arterhalts gibt es die generative Vermehrung über Diasporen sowie die vegetative Vermehrung über Spross- und Wurzelorgane (ZWERGER und AMMON, 2002). „WEED PROGNOSIS“ berücksichtigt die generative Vermehrung über Diasporen bei annuellen Samenunkräutern. In dieser Studie wurde angenommen, dass alle ausgezählten Samen fertil sind.

Samenverluste durch Prädation

Unkrautsamen werden durch Prädatoren abgebaut. Aus diesem Grund kann die Reduktion der Diasporenbank durch Prädatoren (WESTERMANN, 2003) bei der Prognose ebenfalls über eine Eingabefunktion berücksichtigt werden.

Simulierter Herbizidwirkungsgrad

Wenn keine erhobenen Daten zum Herbizidwirkungsgrad vorliegen, können über die Programmfunktion „Schwellen“ festgelegte Bekämpfungsschwellen mit zugehörigen Herbizidaufwandmengen und Wirkungsgraden eingegeben werden. Den erhobenen Boniturwerten in der Inputdatei werden dann, je nach dem ob eine bestimmte Bekämpfungsschwelle überschritten wurde, die entsprechenden Wirkungsgrade zugeordnet. Die Wirkungsgrade bei variierenden Aufwandmengen können Dosis-Wirkungskurven entnommen werden (STREIBIG, 1988). So kann die Auswirkung teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle auf die Folgeverunkrautung auch auf Feldern simuliert werden, auf denen in den Vorjahren noch nicht teilschlagspezifisch gegen Unkräuter behandelt wurde.

In den Versuchen dieser Arbeit wurden die Bekämpfungserfolge bzw. Wirkungsgrade jedoch jedes Jahr erhoben und in die Inputdateien eingetragen.

3.5.3 Validierung des Simulationsprogramms „WEED PROGNOSIS“

Zur Validierung des Simulationsprogramms „WEED PROGNOSIS“ wurden als Ausgangsbasis die Rasterboniturwerte der selektierten Unkrautart *Chenopodium album* jeweils des Vorjahres von zwei Schlägen der Felderfolge (Schlag 8, Schlag 9) in Inputdateien eingefügt. Die Anzahl der Samen im Boden wurde für jeden Rasterpunkt bei einer unterstellten konstanten Keimrate von 3% aus den Boniturwerten des Jahres mit den höchsten Auflaufraten innerhalb des Beobachtungszeitraums (1999-2003) berechnet und als Ausgangsbasis verwendet. Populationsdynamische Parameter aus eigenen Versuchen sowie aus der Literatur wurden in die Eingabemaske des Simulationsprogramms eingebracht. Danach wurden die notwendigen Einstellungen in der Eingabemaske des Modells (Wahl der Bodenbearbeitung, Kulturart des Folgejahres etc.) vorgenommen. Im nächsten Schritt wurde jeweils ein Simulationslauf für die ausgewählte Unkrautart *Chenopodium album* zur Prognose der Unkrautverteilung des nächsten Jahres vorgenommen. Aus den Prognoseergebnissen wurden Verteilungskarten erstellt. Um Ähnlichkeiten zwischen den erhobenen und den prognostizierten Unkrautverteilungen nicht nur visuell vergleichen zu können, wurde zusätzlich der Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson berechnet, mit dem die Unkrautdichten der prognostizierten und der erhobenen Daten an jeweils identischen Zählstellen des gleichen Jahres korreliert worden sind. Zusätzlich wurde erhoben, wie präzise die prognostizierten Applikationsentscheidungen im Vergleich zu den boniturdatenbasierten Applikationsentscheidungen des jeweils gleichen Jahres, bei Annahme einer Schadschwelle für *Chenopodium album* von 1 Pfl./m² in Hackfruchtkulturen sowie

20 Pfl./m² in Getreide, übereinstimmen würden. *Chenopodium album* wurde für diese Untersuchung als Problemunkraut betrachtet.

4 Ergebnisse zur Lenkung teilschlagspezifischer Unkrautkontrollverfahren

4.1 Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrollmaßnahmen am Versuchsstandort Dikopshof in den Jahren 2002-2003

Seit 1997 wird die Unkrautkontrolle auf fünf Ackerschlägen der Versuchsstation Dikopshof teilschlagspezifisch auf Basis von GIS-basierten Applikationskarten durchgeführt und kontinuierlich weiterentwickelt. In den folgenden Abbildungen werden die Unkrautverteilungskarten und Applikationskarten für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle auf den Versuchsflächen der Jahre 2002 und 2003 visualisiert.

Die in den einzelnen Kulturen aufgetretene durchschnittliche Dichte der Leitunkräuter, die Schadschwellenwerte zur Dosisanpassung sowie die verwendeten Herbizide finden sich in den Anhangstabellen 9.1 - 9.17.

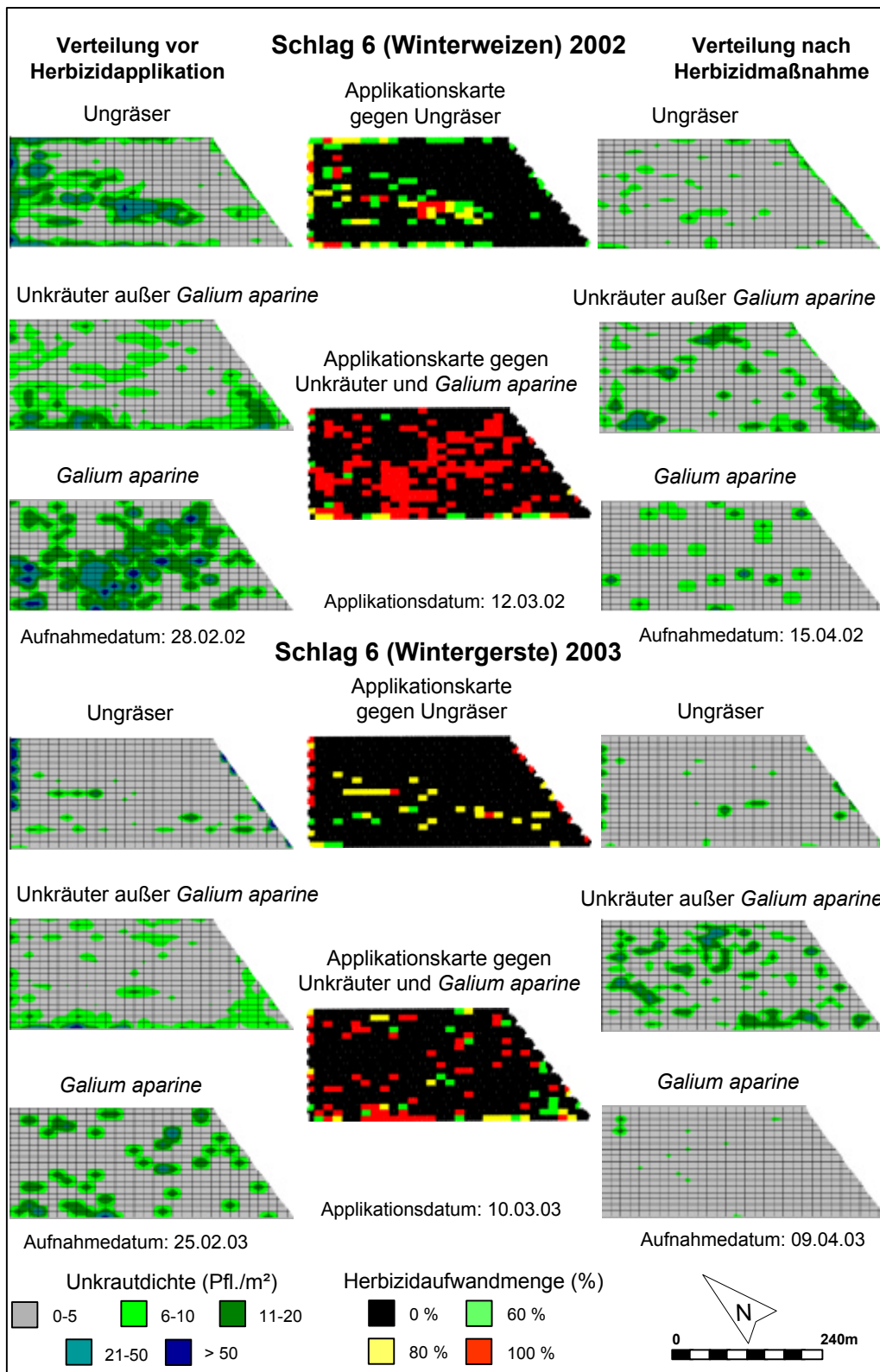


Abb. 4.1 Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag 6 in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten

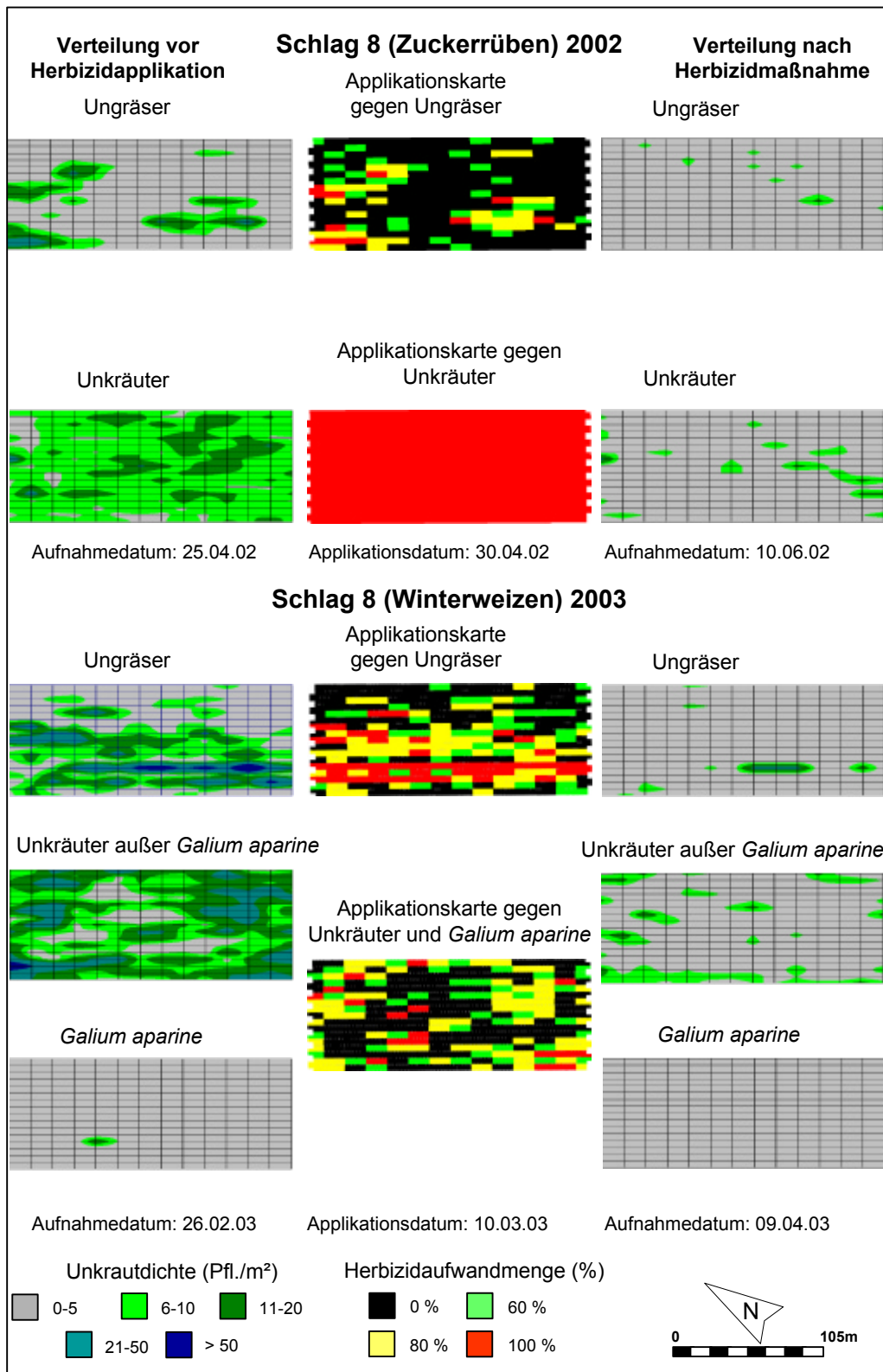


Abb. 4.2 Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag 8 in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten

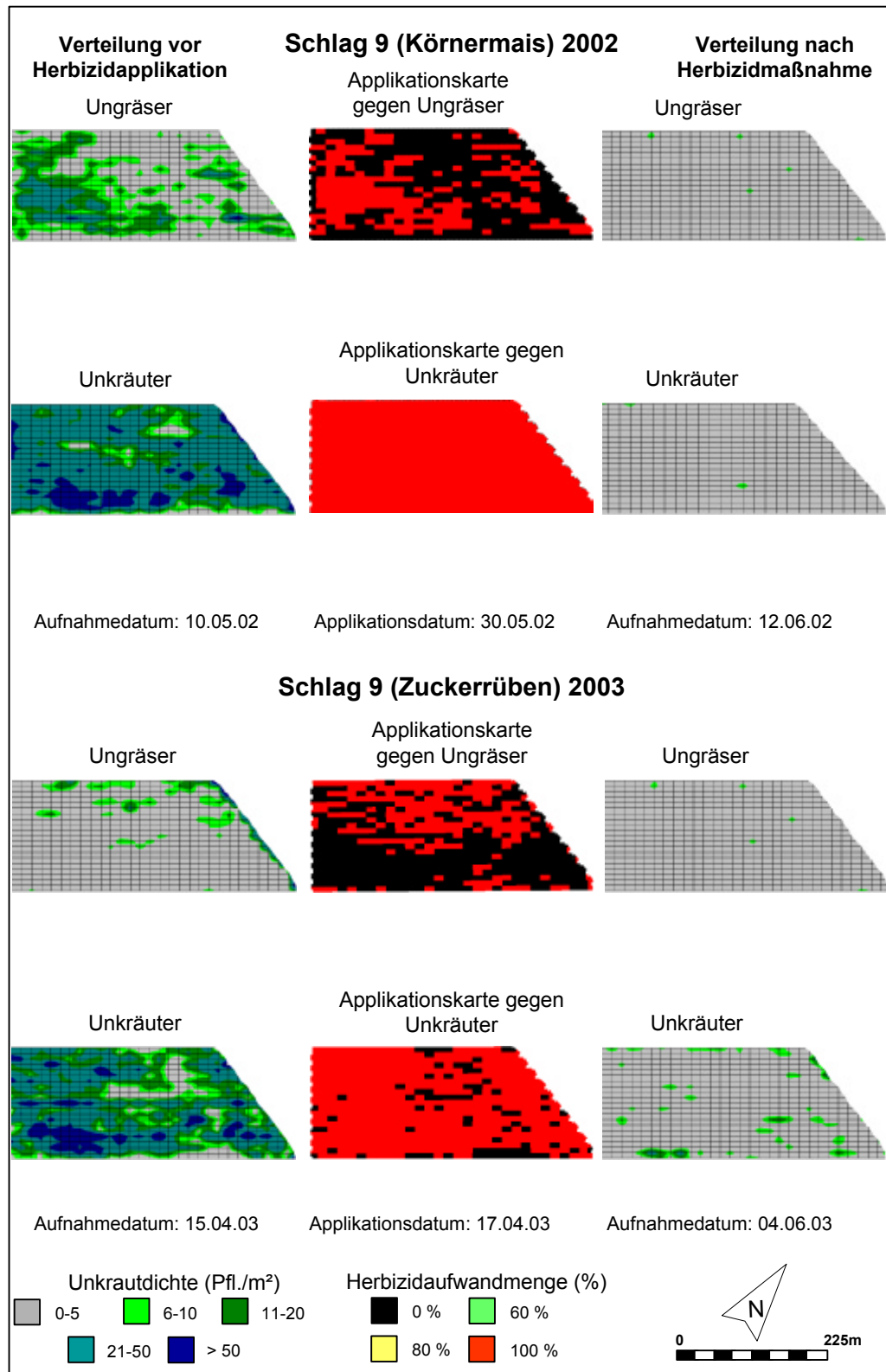


Abb. 4.3 Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag 9 in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten

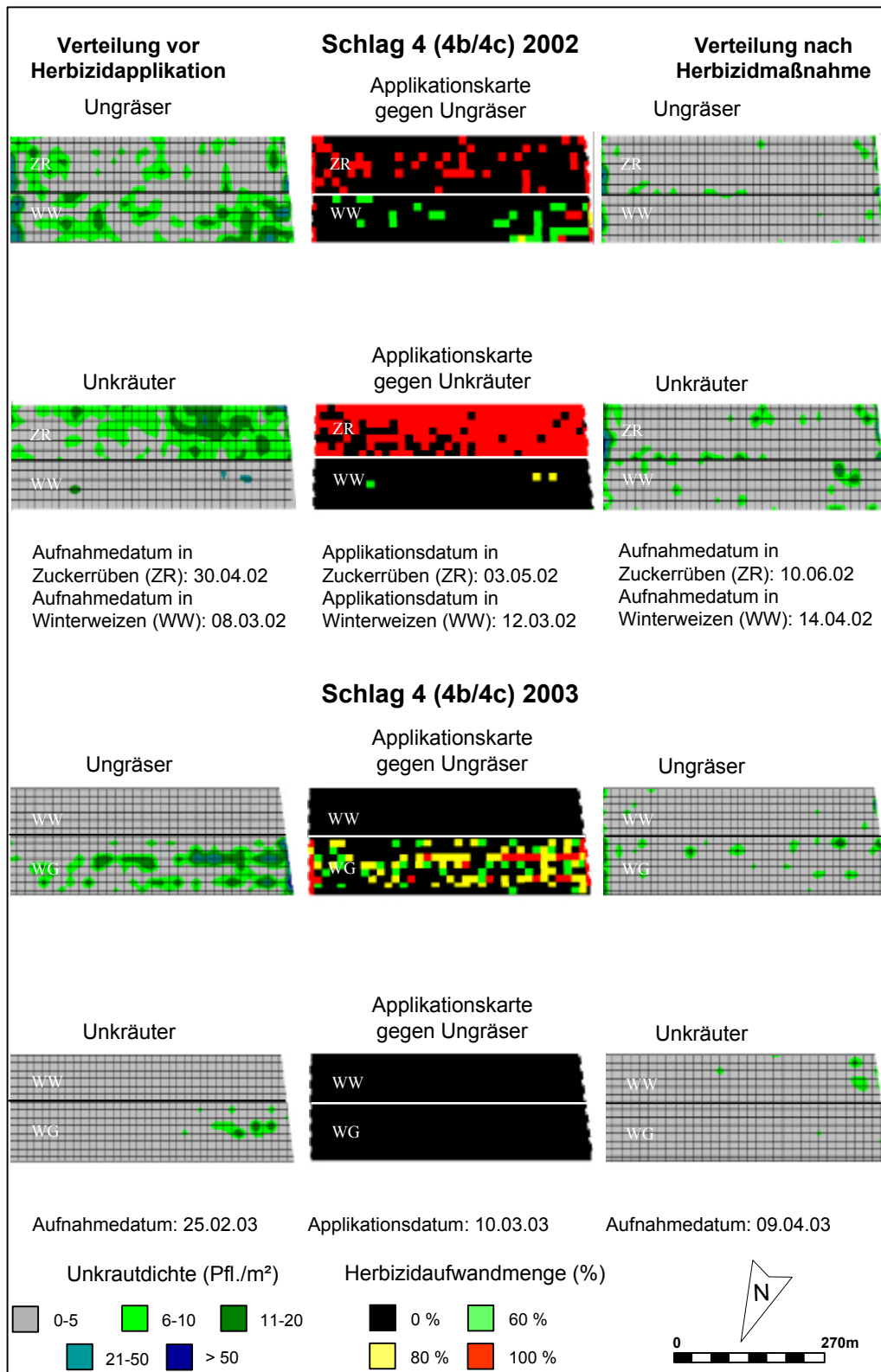


Abb. 4.4 Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag 4 in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten

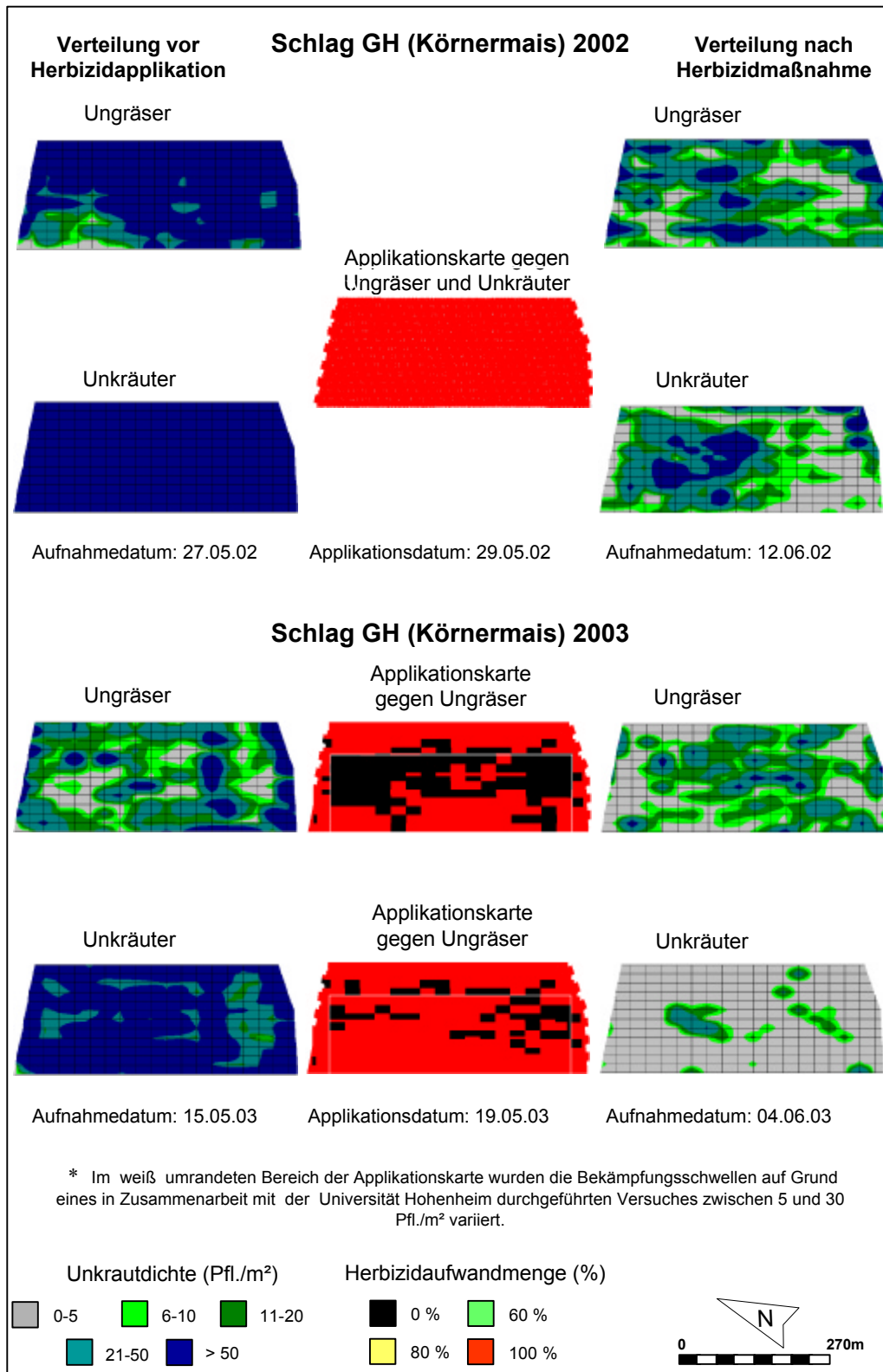


Abb. 4.5 Dokumentation der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf Schlag GH in den Jahren 2002 und 2003 mit Verteilungskarten der Zielunkrautgruppen vor und nach der Herbizidapplikation einschließlich Applikationskarten

Die Abbildungen zeigen eine lückenlose Dokumentation von der Ausgangsverunkrautungssituation über die resultierende Bekämpfungsentscheidung bis hin zur Wirkung der Unkrautkontrolle innerhalb der teilschlagspezifisch bewirtschafteten Ackerschläge auf. Es ist genau nachvollziehbar, an welcher Stelle innerhalb eines Schlages mit welcher Dosierung und mit welchem Erfolg behandelt worden ist. Auf den GIS-basierten Unkrautverteilungskarten der Schläge 4, 6, 8 und 9 sind sehr heterogene Verteilungen bezüglich Dichte und Lage der Zielunkräuter zu erkennen. Durch die Berücksichtigung dieser Heterogenitäten konnten besonders in den Getreidekulturen im Vergleich zu den Hackfrüchten große Flächenanteile von einer Herbizidapplikation ausgespart bleiben. Auf Schlag 4 war im Jahr 2003 keine Herbizidapplikation gegen Unkräuter notwendig. Ebenfalls konnte in Winterweizen und Wintergerste in weiten Flächenbereichen der genannten Schläge mit reduzierten Herbizidaufwandmengen gearbeitet werden. Bei der Applikation gegen Ungräser in den Hackfruchtkulturen blieben große Flächenanteile unbehandelt - die Applikation gegen Unkräuter wurde dagegen auf dem überwiegenden Anteil der Zuckerrüben- und Maisflächen durchgeführt. In der Maismonokultur auf Schlag GH dominierte im Jahr 2002 eine sehr hohe Gesamtunkrautdichte das Feld, so dass die gesamte Fläche konventionell mit Herbiziden behandelt werden musste. Trotz der konventionellen Behandlung konnten keine ausreichenden Bekämpfungserfolge erzielt werden. Im Jahr 2003 war die durchschnittliche Unkrautdichte geringer als im Jahr zuvor. Die Bekämpfungserfolge gegen Ungräser waren wiederum gering, während die Unkrautdichte stark reduziert werden konnten.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die durch die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung realisierten, prozentualen Herbizideinsparungen und Bekämpfungserfolge auf den Versuchsschlägen der Jahre 2002 und 2003 im Vergleich zur konventionellen Gesamtflächenbehandlung.

Tabelle 4.1 Herbizideinsparungen und Bekämpfungserfolge der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf der Versuchsstation Dikopshof in den Jahren 2002 und 2003

Schlag	Herbizid- einsparung (Unkräuter)	Bekämpfungs- erfolg (Unkräuter)	Herbizid- einsparung (Ungräser)	Bekämpfungs- erfolg (Ungräser)
Schlag 6				
2002 (WW)	67,1%	87%	79,5%	81,1%
2003 (WG)	76%	18%	89%	60%
Schlag 4c				
2002 (WW)	98,3%	79%	88,6%	84,2%
2003 (WG)	100%	-	81%	60,1%
Schlag 4b				
2002 (ZR)	36,7%	94,2%	51%	98%
2003 (WW)	100%	-	100%	-
Schlag 8				
2002 (ZR)	0%	95%	80,5%	96,2%
2003 (WW)	52%	86,1%	49,1%	89%
Schlag 9				
2002 (KM)	0%	93,2%	36,3%	94,2%
2003 (ZR)	13,8%	93%	63,7%	87%
Schlag GH				
2002 (KM)	0%	98%	0%	87%
2003 (KM)	11,3%	98,2%	51,6%	63,9%

Aus der Tabelle geht hervor, dass bei der Applikation gegen Ungräser in den Versuchsschlägen der Felderfolge sehr hohe Herbizideinsparungen realisiert werden konnten. Die Herbizideinsparungen gegen Unkräuter lagen in den Getreidekulturen Winterweizen und Wintergerste ebenfalls sehr hoch. In den Hackfruchtkulturen waren sie wesentlich geringer. In der Maismonokultur auf Schlag GH konnten insgesamt die geringsten Herbizideinsparungen realisiert werden. Die Bekämpfungserfolge, welche sich in den Reduktionsraten der durch die jeweilige Herbizidapplikation getroffenen Unkräuter widerspiegeln, lagen bis auf einige Ausnahmen in einem zufriedenstellenden Bereich. Der niedrige Bekämpfungserfolg von 18% im Jahr 2003 in Wintergerste lässt sich durch Spätverunkrautung nach Abschluss der Herbizidmaßnahmen erklären. Es ist anzunehmen, dass die Keimung dieser neuen Unkrautsamen durch feuchte Witterung nach einer längeren Trockenperiode induziert wurde. Auffällig war, dass selbst in den konventionell behandelten Schlägen niemals eine vollständige Unkrautvernichtung erreicht wurde und die Bekämpfungserfolge in Einzelfällen unter 70% lagen (vgl. Schlag GH, 2003).

4.2 Überprüfung von Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in Braugerste unter Verwendung eines Geoinformationssystems

Das mit Hilfe von Feldversuchen seit 1997 entwickelte teilschlagspezifische Unkrautkontrollsystem ist im Jahre 2003 erstmalig bei einem Landwirt in Braugerste eingesetzt worden. Zusätzlich zu den Herbizideinsparungen und Bekämpfungserfolgen wurden bestehende Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in Braugerste überprüft, wobei die Qualitätsmerkmale Rohproteingehalt und Vollgerstenanteil mit in die Prüfung eingeflossen sind. In Abbildung 4.6 werden die Verteilungs- und Applikationskarten der gewählten Zielunkrautgruppen am Beispiel der zu prüfenden Schadschwelle 2 exemplarisch dargestellt.

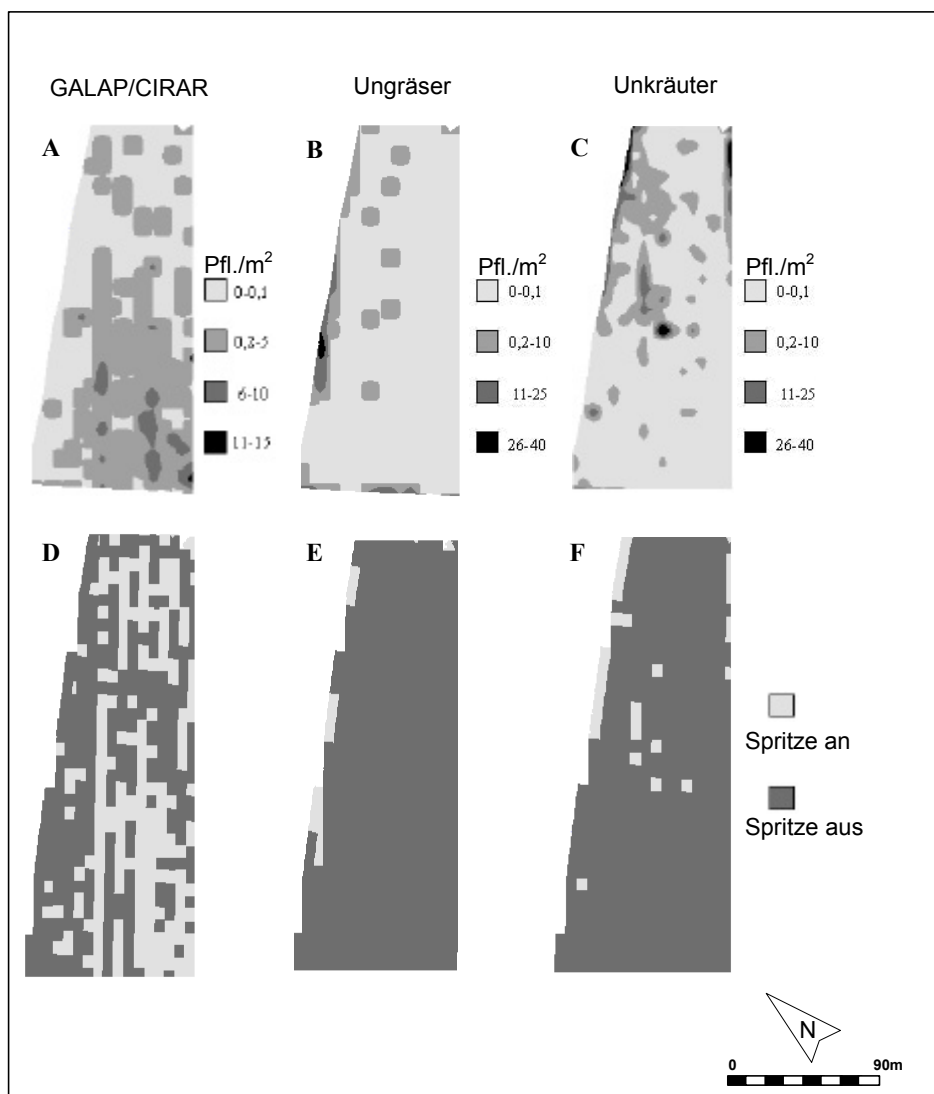


Abb. 4.6 Verteilung der Zielunkrautgruppen (A-C) (GALAP/CIRAR = Problemunkräuter *Galium aparine/Cirsium arvense*) sowie der zugehörigen Applikationskarten (D-F) auf Basis von Schadschwelle 2

Es ist zu erkennen, dass die Unkrautverteilung der einzelnen Gruppen sehr heterogen war. Besonders bei den Ungräsern sowie den Unkräutern konnte der überwiegende Anteil der Fläche unbehandelt bleiben. In der folgenden Tabelle werden die berechneten Herbizideinsparungen sowie die Bekämpfungserfolge innerhalb der einzelnen Schadschwellen im Detail dargestellt.

Tabelle 4.2 Herbizideinsparungen und Bekämpfungserfolge nach Schadschwellen und Zielunkrautgruppen mit den Problemunkräutern *Galium aparine* und *Cirsium arvense*

Schadschwellen	Problemunkräuter		Ungräser		Unkräuter	
	Einsparung	Bekämpfungserfolg	Einsparung	Bekämpfungserfolg	Einsparung	Bekämpfungserfolg
Schadschwelle 1	54%	50% / 57%	96%	95%	93%	85%
Schadschwelle 2	54%	50% / 57%	98%	96%	95%	84%
Kontrolle	100%	-	100%	-	100%	-
Konventionell	0%	67% / 67,5%	0%	95%	0%	86%

Aus der Tabelle 4.2 geht hervor, dass durch die teilschlagspezifische Bekämpfung hohe Herbizideinsparungen zu realisieren waren. Die Bekämpfungserfolge bei den Ungräsern sowie den Unkräutern lagen zwischen 84% und 96%. Gegen die Problemunkräuter *Galium aparine* und *Cirsium arvense* wurden niedrigere Bekämpfungserfolge in einem Bereich zwischen 50% und 67,5% erzielt. Dieses war analog zu den geringen Bekämpfungserfolgen in Wintergerste auf dem Versuchsstandort Dikopshof durch Spätverunkrautung nach Abschluss der Herbizidmaßnahmen zu erklären. Auch hier kann vermutet werden, dass die erneute Auflaufwelle durch Niederschläge nach einer langen Trockenphase bedingt war.

Ertragsbeeinflussende Faktoren

In Abbildung 4.7 werden die Bodenkarte sowie die Ertragskarte mit den eingezeichneten Schadschwellen gezeigt. Abbildung 4.8 zeigt den Einfluss des Bodens auf den Ertrag.

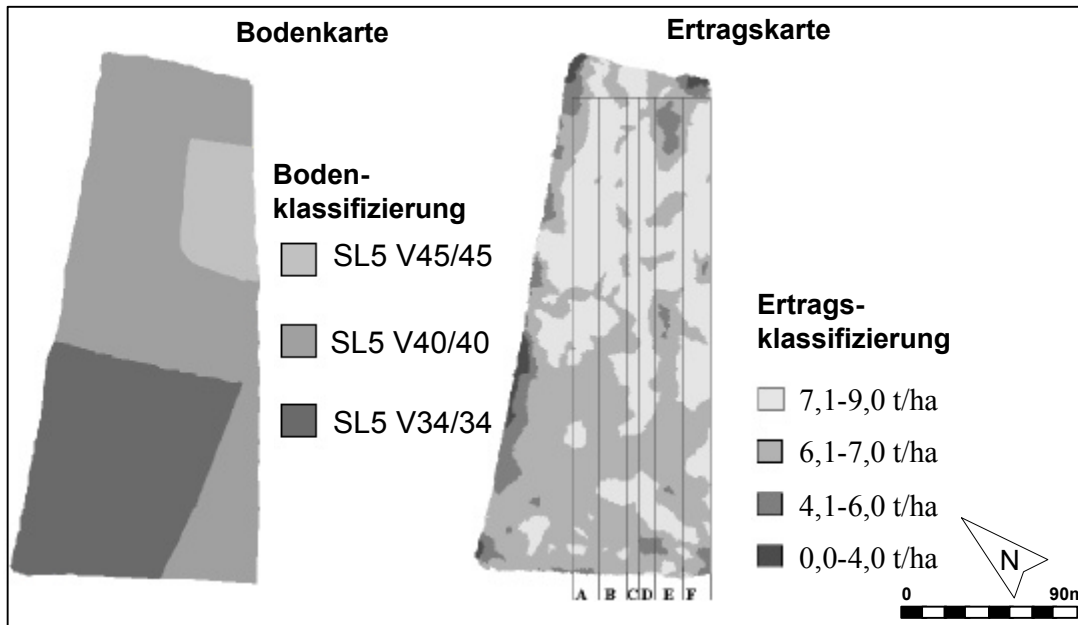


Abb. 4.7 Bodenkarte und Ertragskarte mit ökonomischen Schadschwellen (A-F)

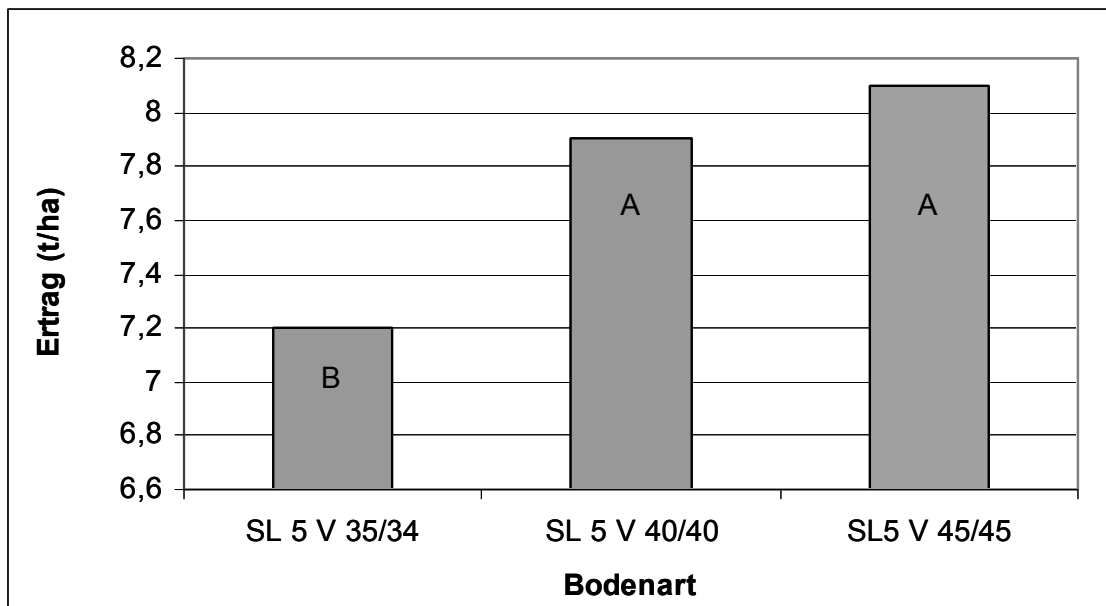


Abb. 4.8 Kornenertrag von Braugerste in unterschiedlichen Bodenklassen. Signifikante Unterschiede werden mit unterschiedlichen Buchstaben bei einer Grenzdifferenz von 5% dargestellt

Auf dem untersuchten Schlag waren drei unterschiedliche Bodenklassen vorhanden. In der Ertragskarte ist zu sehen, dass die höheren Erträge im oberen Bereich des Schlag realisiert wurden, in denen auch die besseren Böden zu finden waren.

Es lag ein signifikanter Unterschied zwischen dem niedrig bewerteten Boden und den beiden besser bewerteten Böden von 0,7 t/ha bzw. 0,9 t/ha vor. In der folgenden Tabelle werden die Erträge differenziert nach den Unkrautbekämpfungsvarianten verglichen.

Tabelle 4.3 Erträge in den Schadschwellen, differenziert nach behandelten und nicht behandelten Regionen

Schadschwellen	Ertrag (t/ha)	
	behandelt	nicht behandelt
Schadschwelle 1 (niedrig)	7,6	7,4
Schadschwelle 2 (hoch)	7,5	7,6
Konventionelle Behandlung (100 %)	7,6	-
Keine Behandlung (0 %)	-	7,5

Es ist zu erkennen, dass zwischen den mit Herbiziden behandelten sowie nicht behandelten Bereichen innerhalb der Schadschwellen keine wesentlichen Ertragsunterschiede auszumachen waren.

Tabelle 4.4 zeigt den Einfluss der nach der Herbizidbehandlung verbliebenen Restveunkrautung auf den Ertrag in verschiedenen Unkrautdichten.

Tabelle 4.4 Einfluss der Dichte ausgewählter Unkrautarten auf den Ertrag von Braugerste

Ungräser	Ertrag	Unkräuter	Ertrag	CIRAR	Ertrag	GALAP	Ertrag
(Pfl./m ²)	(t/ha)	(Pfl./m ²)	(t/ha)	(Pfl./m ²)	(t/ha)	(Pfl./m ²)	(t/ha)
0-0,1	7,1	0-3	7,4	0-0,1	7,6	0-0,1	7,6
0,2-10	7,5	3,1-10	7,6	0,2-5	7,6	0,2-5	7,5
		10,1-20	7,7	5,1-15	7,2	5,1-10	7,3
		20,1-40	8,3	15,1-25	6,8	10,1-15	7,0

Die unterschiedlichen Dichten der Ungräser führten nicht zu einer Variation des Ertrags. Höhere Unkrautdichten bei *Galium aparine* sowie *Cirsium arvense* führten jedoch tendenziell zu Ertragsreduktionen. In Bereichen mit hohen Dichten der Gruppe der Unkräuter wurden höhere Erträge erzielt.

Durch die Art der Versuchsanlage und die Verrechnung der Daten mit „MINIGIS“ kann die Variabilität des Ertrags getrennt für Boden und Unkrautwirkung ermittelt werden. Dieses ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, Schadschwellen bei der Unkrautbekämpfung überprüfen zu können.

Abbildung 4.9 zeigt den Einfluss ausgewählter Unkrautarten auf Qualitätsparameter von Braugerste.

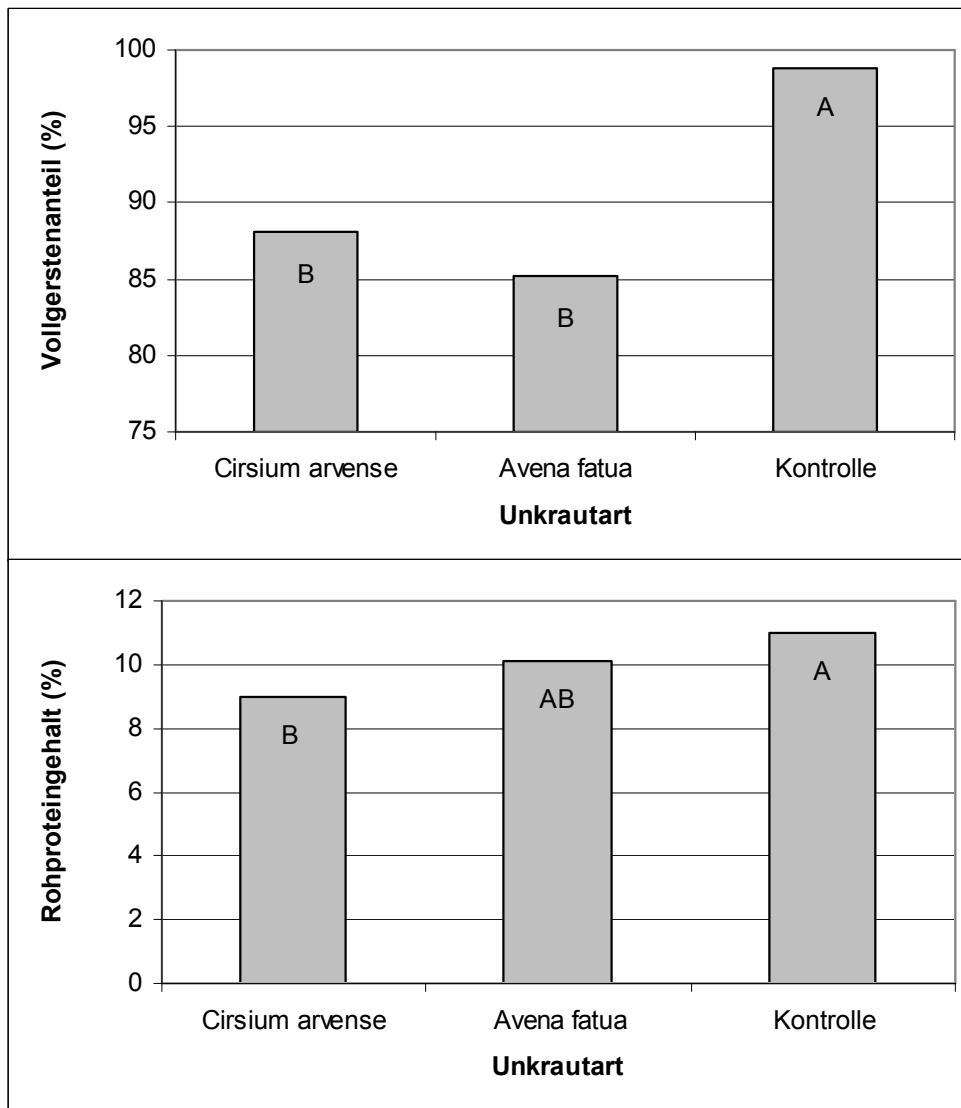


Abb. 4.9 Einfluss ausgewählter Unkrautarten auf die Qualitätsparameter Vollgerstenanteil und Rohproteingehalt von Braugerste

Der Vollgerstenanteil sank durch die Konkurrenz von *Cirsium arvense* sowie *Avena fatua* signifikant unter die geforderte Schwelle von 90%. *Cirsium arvense* sowie *Avena fatua* führten zu einer Reduktion des Rohproteingehalts, wobei der Einfluss von *Cirsium arvense* statistisch gesichert werden konnte.

4.3 Einsatz satellitengestützter Fernerkundung zur Früherkennung eines Herbizidschadens in Mais

Herbizide werden eingesetzt, um Erträge landwirtschaftlicher Kulturen zu sichern. Es kann jedoch vorkommen, dass sie neben den Unkräutern ebenfalls der Kulturpflanze Schaden zufügen (GERHARDS, 1997; DONALD, 1999). Wiederholt wurde in den Versuchsflächen festgestellt, dass Herbizide deutlich sichtbare Schäden an den Kulturpflanzen verursachten. Aus diesem Grund wurden diese Schäden auf einer Maisfläche dokumentiert, um den Einfluss des Herbizids auf die Vitalität des Pflanzenbestandes sowie den Ertrag zu quantifizieren. In dieser Untersuchung ist unter Verwendung hochauflösender Fernerkundungsdaten ein Herbizidschaden ca. vier Wochen nach der Applikation in der Kulturart Mais detektiert worden - sein Einfluss auf den Kornertrag wurde analysiert.

Am 30. Mai 2002 erfolgte auf Schlag 9 des Versuchsgutes Dikopshof eine teilschlagspezifische Herbizidmaßnahme gegen Ungräser in Mais. Dabei sind in Feldbereichen mit einer Ungrasdichte von über 5 Pfl./m² jeweils 50 g eines Sulfonylharnstoffes appliziert worden. Ein am 25. Juni vom *QuickBird*-Satelliten aufgenommenes Luftbild mit einer Auflösung von 0,7 m im panchromatischen Modus wurde auf Unterschiede zwischen behandelten und nicht behandelten Feldbereichen untersucht. Das Multispektralbild mit einer Auflösung von 3 m wurde mit der „ERDAS IMAGINE 8,4 SOFTWARE“ analysiert. Hierbei wurde der „normalized difference vegetation index“ (NDVI) $[R(\text{NIR})-R(\text{Red})]/[R(\text{NIR})+R(\text{Red})]$, welcher ein Maß für die Vitalität eines Pflanzenbestandes ist, an allen Positionen des Bildes berechnet, so dass eine NDVI-Karte erstellt werden konnte. Zusätzlich ist eine Berechnung der statistischen Verteilung der Grauwerte der *QuickBird*-Szene im panchromatischen Modus getrennt nach behandelten und nicht behandelten Teilschlägen durchgeführt worden.

Zur Ernte am 10. Oktober wurde mit der unter 3.2.8 beschriebenen Methode eine Ertragskarte erstellt. Mit Hilfe des unter 3.2.9 beschriebenen „MINIGIS“ konnte der Ertrag in den behandelten und nicht behandelten Regionen analysiert werden. Die NDVI-Werte ausgewählter Bereiche wurden den zugehörigen Ertragswerten gegenübergestellt und miteinander korreliert.

Die folgende Abbildung zeigt die Bodenkarte, die Applikationskarte, die Verschneidung des panchromatischen *QuickBird*-Bildes (Grauwertbild) mit der Applikationskarte, das NDVI-Bild sowie die Ertragskarte der Versuchsfläche, welche als Grundlage für die GIS-basierten Berechnungen zur Phytotoxizität dienen.

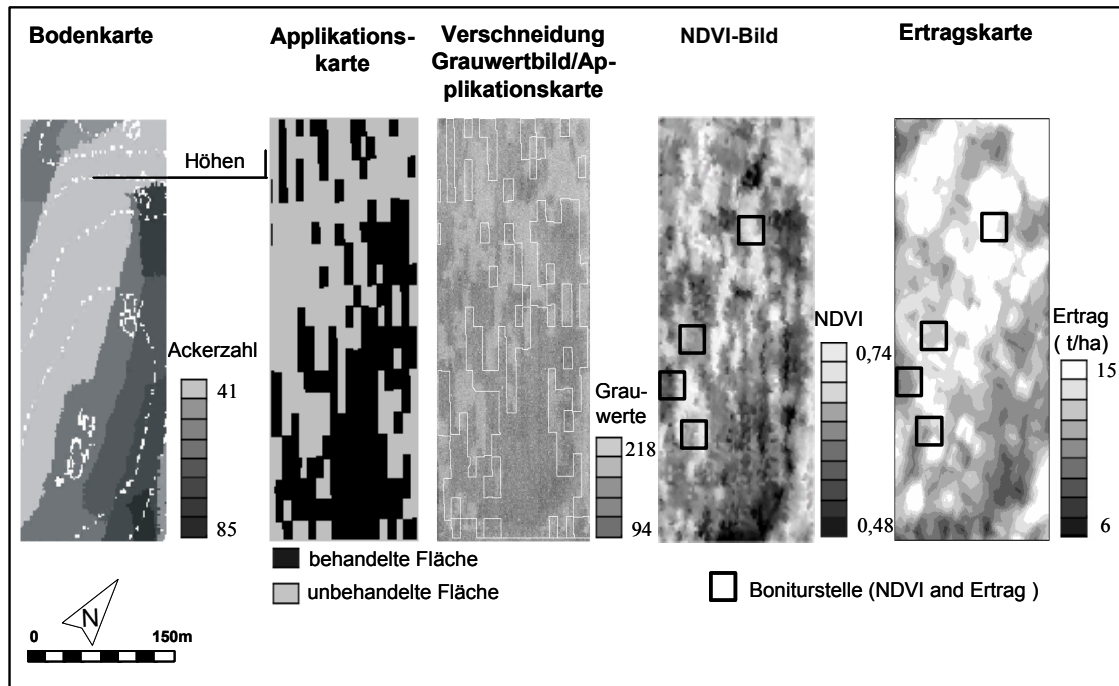


Abb. 4.10 Vergleich der Bodenkarte, Applikationskarte, Verschneidung des *QuickBird*-Bildes im panchromatischen Modus (Grauwertbild) mit Applikationskarte sowie NDVI-Bild (25 Tage nach Herbizidapplikation) und Ertragskarte mit Boniturstellen

Schon bei einem visuellen Vergleich der Applikationskarte gegen Ungräser mit dem NDVI-Bild sowie der GIS-basierten Verschneidung der Applikationskarte mit dem Grauwertbild wird ersichtlich, dass sich die mit dem Sulfonylharnstoff behandelten Flächenanteile deutlich von den unbehandelten Feldbereichen unterscheiden. Aus der Ertragskarte geht bei einem visuellen Vergleich ebenfalls partiell hervor, dass die behandelten Bereiche dunkler sind als die unbehandelten und somit einen geringeren Ertrag aufweisen.

Die Beobachtungsstellen befanden sich in Regionen mit gleichen Bodenverhältnissen (vgl. Abb. 4.10). Damit wurde gewährleistet, dass sich die Variabilität des Ertrages allein auf den Faktor „Unkrautbekämpfung“ zurückführen ließ.

In Abbildung 4.11 werden die NDVI-Werte in mit dem Sulfonylharnstoff behandelten und unbehandelten Teilschlägen den zugehörigen Ertragswerten gegenübergestellt. Abbildung 4.12 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Grauwerte der panchromatischen *QuickBird*-Szene in den mit dem Sulfonylharnstoff behandelten und unbehandelten Feldbereichen, um den visuell sichtbaren Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Feldbereichen zu quantifizieren.

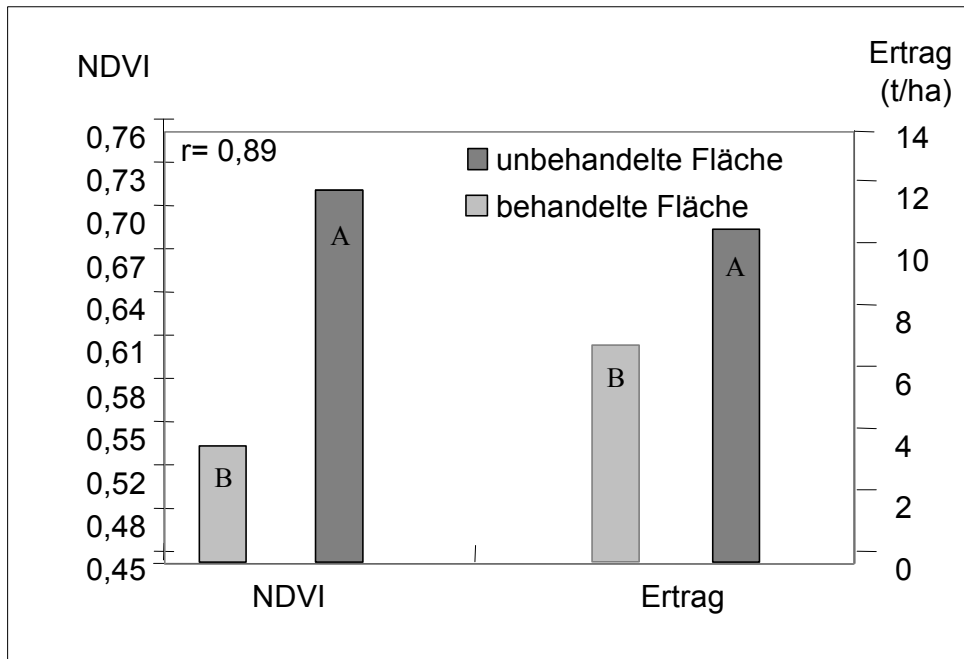


Abb. 4.11 NDVI und Ertrag von Körnermais in den behandelten und nicht behandelten Feldbereichen. Signifikante Unterschiede mit einer Grenzdifferenz von 5% werden mit unterschiedlichen Buchstaben dargestellt

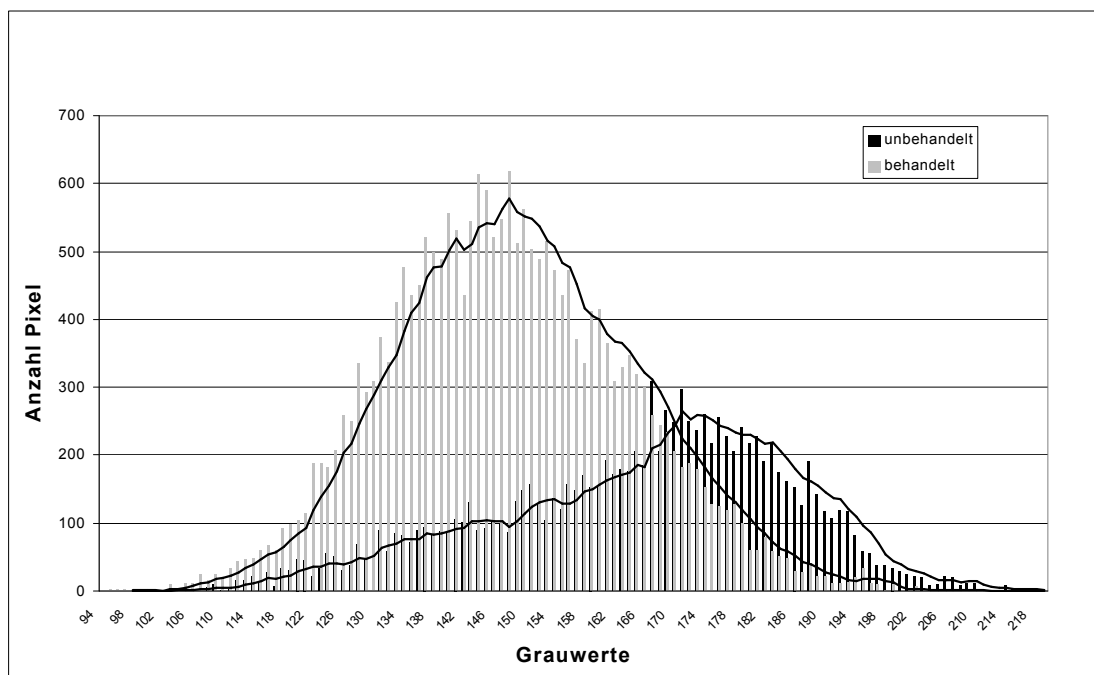


Abb. 4.12 Häufigkeitsverteilung der Grauwerte der panchromatischen *QuickBird*-Szene (Grauwertbild) in den behandelten und unbehandelten Flächenbereichen

Der applizierte Sulfonylharnstoff führte in dieser Untersuchung zu signifikanten Reduktionen in der Biomasse des Körnermaises, was durch den NDVI belegt wird. Gleichzeitig wurden in den unbehandelten Feldbereichen signifikant höhere Erträge erzielt als in den behandelten Teilschlägen. Zwischen NDVI und Ertrag wurde eine hohe Korrelation von $r = 0,89$ festgestellt.

Der überwiegende Anteil der Grauwerte in den behandelten Flächenanteilen bewegte sich in einer dimensionslosen Spannweite zwischen Grauwert 136 und Grauwert 154, während die Grauwerte der unbehandelten Feldbereiche ihr Maximum im Bereich zwischen 166 und 178 aufwiesen.

Dieses zeigt eindeutig, dass schon sehr früh zwischen gespritzten und ungespritzten Bereichen unterschieden werden kann.

5 Ergebnisse zur Populationsdynamik von Unkräutern

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den Versuchen zur Populationsdynamik von Unkräutern unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle vorgestellt. Boniturdaten aus den Jahren 1997-2001 fließen in die Ergebnisdarstellungen mit ein.

5.1 Unkrautpopulationsdynamik unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle und Kulturart auf den Versuchsflächen des Dikopshofes von 1997-2003

Die folgenden Abbildungen stellen die durchschnittliche Individuenanzahl der Zielunkrautgruppen (Ungräser, Unkräuter, *Galium aparine*) exemplarisch auf zwei Versuchsschlägen der Felderfolge (Schlag 8, Schlag 9) sowie dem Versuchsschlag mit der Maismonokultur (Schlag GH) in einer Zeitreihe dar. Des Weiteren wird das Aufnahmeverhalten einzelner Unkrautarten in den verschiedenen Kulturen der Felderfolge beleuchtet.

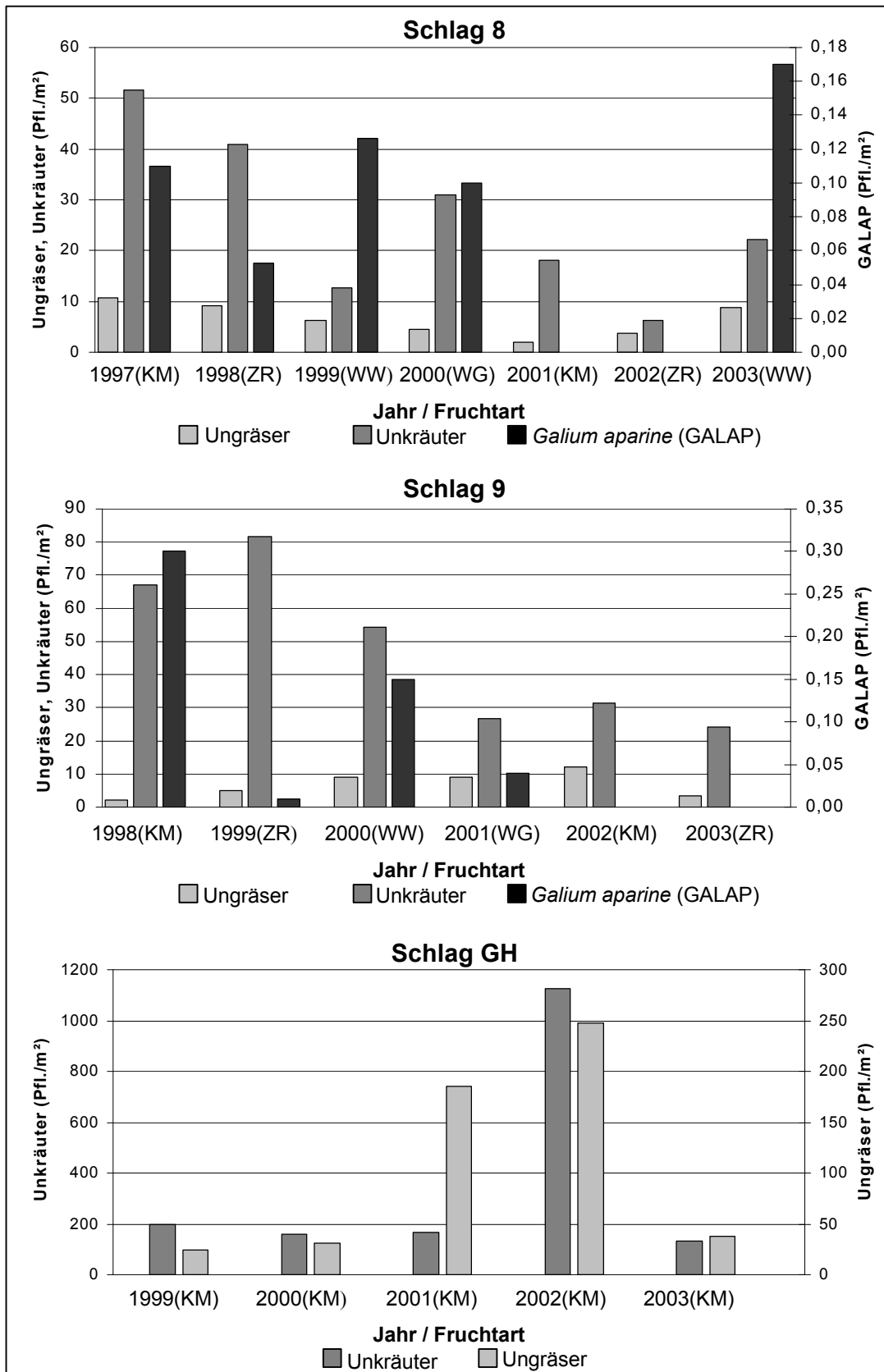


Abb. 5.1 Dynamik der teilschlagspezifisch behandelten Zielunkräuter auf den Schlägen der Felderfolge 8 und 9 sowie dem Schlag GH in der Maismonokultur im Versuchszeitraum von 1997 (Schlag 8) bis 2003

Die durchschnittliche Individuenanzahl der Ungräser sowie der Gruppe der Unkräuter hat unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf den Schlägen der Felderfolge nicht zugenommen. Auf den Schlägen 8 und 9 wird seit Beginn der Untersuchungen sogar ein Abwärtstrend bei der durchschnittlichen Anzahl der Unkräuter beobachtet.

In der Maismonokultur auf Schlag GH war schon zu Beginn der Untersuchungen im Jahre 1999 sowohl bei den Unkräutern als auch bei den Ungräsern eine sehr hohe Durchschnittsverunkrautung zu beobachten. Die Ausgangsverunkrautung beider Unkrautgruppen hat sich zwischen 2000 und 2002 versechsfacht und ist dann im Jahre 2003 wieder auf das zu Beginn der Untersuchung erhobene durchschnittliche Ausgangsniveau abgesunken.

Die folgende Abbildung stellt exemplarisch das Auflaufverhalten ausgewählter Unkrautarten in unterschiedlichen Kulturarten der Felderfolge des gleichen Untersuchungszeitraumes dar.

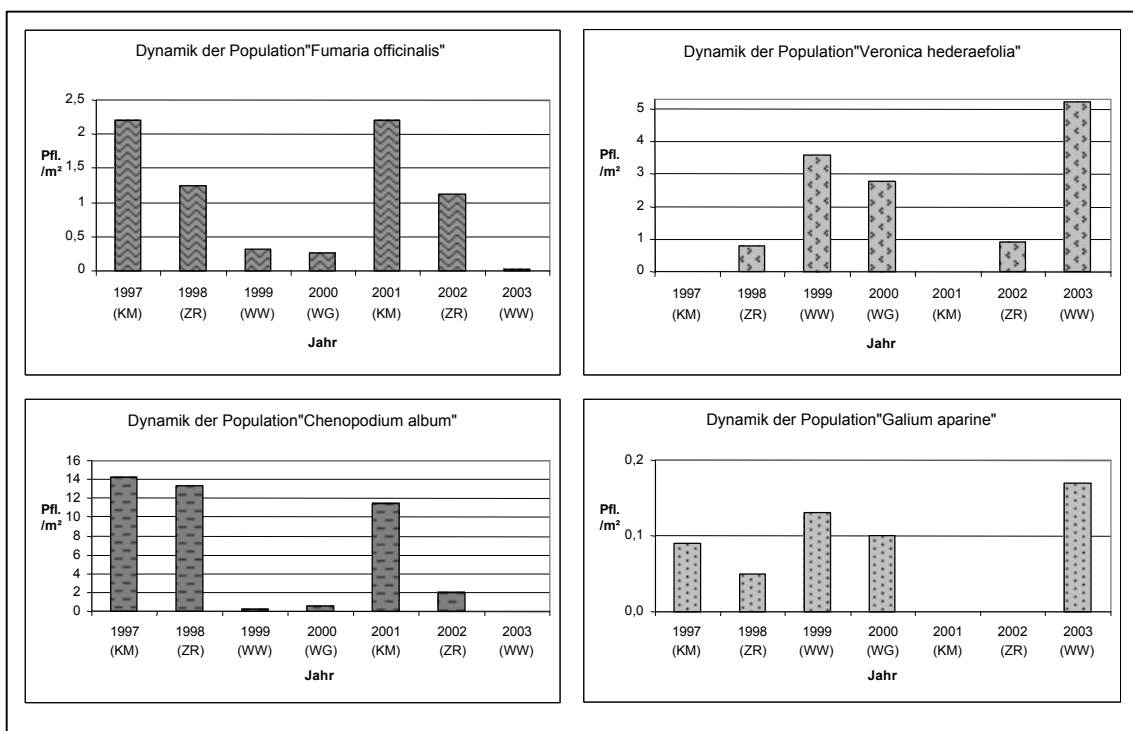


Abb. 5.2 Auflaufverhalten von *Fumaria officinalis*, *Chenopodium album*, *Veronica hederifolia* und *Galium aparine* in Abhängigkeit der Kulturart im Beobachtungszeitraum von 1997-2003 auf Schlag 8

Aus der Abbildung geht hervor, dass verschiedene Unkrautarten in ihrem Auflaufverhalten eine Affinität zu bestimmten Kulturarten zeigen. Man sieht, dass die im Beobachtungszeitraum erhobene durchschnittliche Individuendichte bezogen auf einen Quadratmeter bei *Fumaria officinalis* und *Chenopodium album* in den Hackfruchtkulturen (ZR, KM) höher war als in den Getreidekulturen (WW, WG). *Galium aparine* und *Veronica hederifolia* waren dagegen verstärkt in den Getreidekulturen anzutreffen.

Diese Informationen müssen in Prognosesystemen zur Abschätzung der Folgeverunkrautung berücksichtigt werden.

5.2 Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf die zeitliche Dynamik sowie die Samenproduktion von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica*

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Versuch „Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf die zeitliche Dynamik sowie die Samenproduktion von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica*“ erläutert. Tabelle 5.1 stellt die Anzahl der Pflanzen je Quadratmeter von *Galium aparine* in unterschiedlichen Pflanzenschutzstufen und nach Brache und Deckfrucht (Getreide) getrennt zu festgelegten Terminen dar. Die Termine T1 und T2 sowie T5 und T6 zeigen jeweils den Effekt der Herbizidapplikationen in unterschiedlichen Aufwandmengen sowohl in Brache als auch in Sommergetreide auf. Mit der Darstellung der Termine T3 und T4 soll gezeigt werden, wie sich die Dynamik über Winter zwischen spätem Herbsttermin (T3) und Frühjahr, vor der Bestellung des Sommergetreides (T4), verhält.

Tabelle 5.1 Zeitliche Dynamik von *Galium aparine* zu ausgewählten Terminen (T1-T6) in Brache und Getreide nach Pflanzenschutzaufwandmengen (Grenzdifferenzen der einzelnen Termine, GD $\alpha=0,05$)

Termin	Kontrolle		60 % Aufwandmenge		100 % Aufwandmenge		GD
	Brache (Pfl./m ²)	Getreide (Pfl./m ²)	Brache (Pfl./m ²)	Getreide (Pfl./m ²)	Brache (Pfl./m ²)	Getreide (Pfl./m ²)	
16.05.02 (T1)	1,6	3,8	1,6	2,5	8,3	1,6	3,95
19.06.02 (T2)	0	10,8	0,8	0	0	0,8	2,49
18.11.02 (T3)	0	0	0	0	0,8	1,4	
28.03.03 (T4)	0	1,6	0	0	0	0,83	
29.04.03 (T5)	5	71,6	4,1	3,3	5	11,6	31,39
02.06.03 (T6)	10,8	36,6	0	0	0	0	12,06

In der Pflanzenschutzkontrolle gab es zum Starttermin T1 keine signifikanten Unterschiede. Zum Termin T2 unterschieden sich die Dichten von *Galium aparine* in Brache und Getreide signifikant voneinander. Während sich in der Brachevariante innerhalb

der Pflanzenschutzkontrolle kein *Galium aparine* mehr befand, hatte sich die Unkrautdichte in Getreide stark erhöht. In der Pflanzenschutzstufe mit reduzierter Aufwandmenge sind ebenfalls zum Starttermin keine signifikanten Unterschiede zu erkennen gewesen. Nach der Applikation haben sich die Dichten tendenziell verringert. Innerhalb der konventionellen Herbizidbehandlungsstufe mit 100% Aufwandmenge liefen zum Starttermin in Brache mehr Pflanzen dieser Unkrautart auf als in Getreide. Der Unterschied war jedoch nicht statistisch gesichert. Nach der Herbizidbehandlung waren keine Individuen von *Galium aparine* mehr in der Brachevariante zu finden. Auch in Getreide konnte die Dichte durch die Herbizidbehandlung stark reduziert werden, jedoch nicht auf Null. Zwischen Herbst und Frühjahr konnten innerhalb der unterschiedlichen Herbizidaufwandvarianten keine Veränderungen in der Dynamik festgestellt werden. Zum Vegetationsstart im folgenden Jahr (T5) war die durchschnittliche Unkrautdichte innerhalb der Herbizidkontrolle in Getreide um mehr als das Vierzehnfache höher als in Brache. Der Unterschied konnte statistisch abgesichert werden. Auch zum Termin T6 konnten die höheren Dichten in der Getreidevariante von denen der Brache gesichert werden. Innerhalb der Pflanzenschutzstufen mit reduzierter und konventioneller Aufwandmenge waren zum Vegetationsstart (T5) nur sehr geringe Anzahlen an Pflanzen je Quadratmeter zu finden, welche durch die Herbizidbehandlung zum Termin T6 auf Null reduziert worden sind.

Die folgende Tabelle zeigt, analog zu Tabelle 5.1, die Anzahlen an Pflanzen je Quadratmeter von *Eschscholzia californica* zu festgelegten Terminen in unterschiedlichen Pflanzenschutzstufen und nach Brache und Deckfrucht (Getreide) getrennt.

Tabelle 5.2 Zeitliche Dynamik von *Eschscholzia californica* zu ausgewählten Terminen (T1-T6) in Brache und Getreide nach Pflanzenschutzaufwandmengen (Grenzdifferenzen der einzelnen Termine, GD $\alpha=0,05$)

Termin	Kontrolle		60 % Aufwandmenge		100 % Aufwandmenge	
	Brache (Pfl./m ²)	Getreide (Pfl./m ²)	Brache (Pfl./m ²)	Getreide (Pfl./m ²)	Brache (Pfl./m ²)	Getreide (Pfl./m ²)
16.05.02 (T1)	47,5	31,6	40	24,1	40,8	30
19.06.02 (T2)	33,3	30	38,3	31,6	37,5	33,3
18.11.02 (T3)	179,2**	60,8	168,3**	11,5	200	73,3
28.03.03 (T4)	1075**	87,5	70**	18,9	1150**	109,2
29.04.03 (T5)	82,5**	17,5	70**	23,3	78,3**	18,3
02.06.03 (T6)	48,3**	12,5	45,8**	5	45**	5

** signifikanter Unterschied zwischen Brache und Getreide innerhalb der einzelnen Pflanzenschutzaufwandmengen

Bei *Eschscholzia californica* gab es bezüglich der Pflanzendichten zu den ersten beiden Boniturterminen T1 und T2 keine Unterschiede zwischen Herbizidaufwandmengen und Deckfruchtvarianten. Im zeitigen Frühjahr des folgenden Jahres wurden jedoch in den Brachevarianten aller Pflanzenschutzstufen fünf mal höhere Anzahlen an Pflanzen je Quadratmeter gezählt als in Getreide. Auch zum Vegetationstermin T5 und nach der Herbizidbehandlung zum Termin T6 waren die Anzahlen an Pflanzen je Quadratmeter jeweils in allen Pflanzenschutzstufen signifikant höher als in Getreide. Die folgende Abbildung zeigt die Samenproduktion von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica* getrennt nach Deckfruchtvarianten in unterschiedlichen Pflanzenschutzstufen auf.

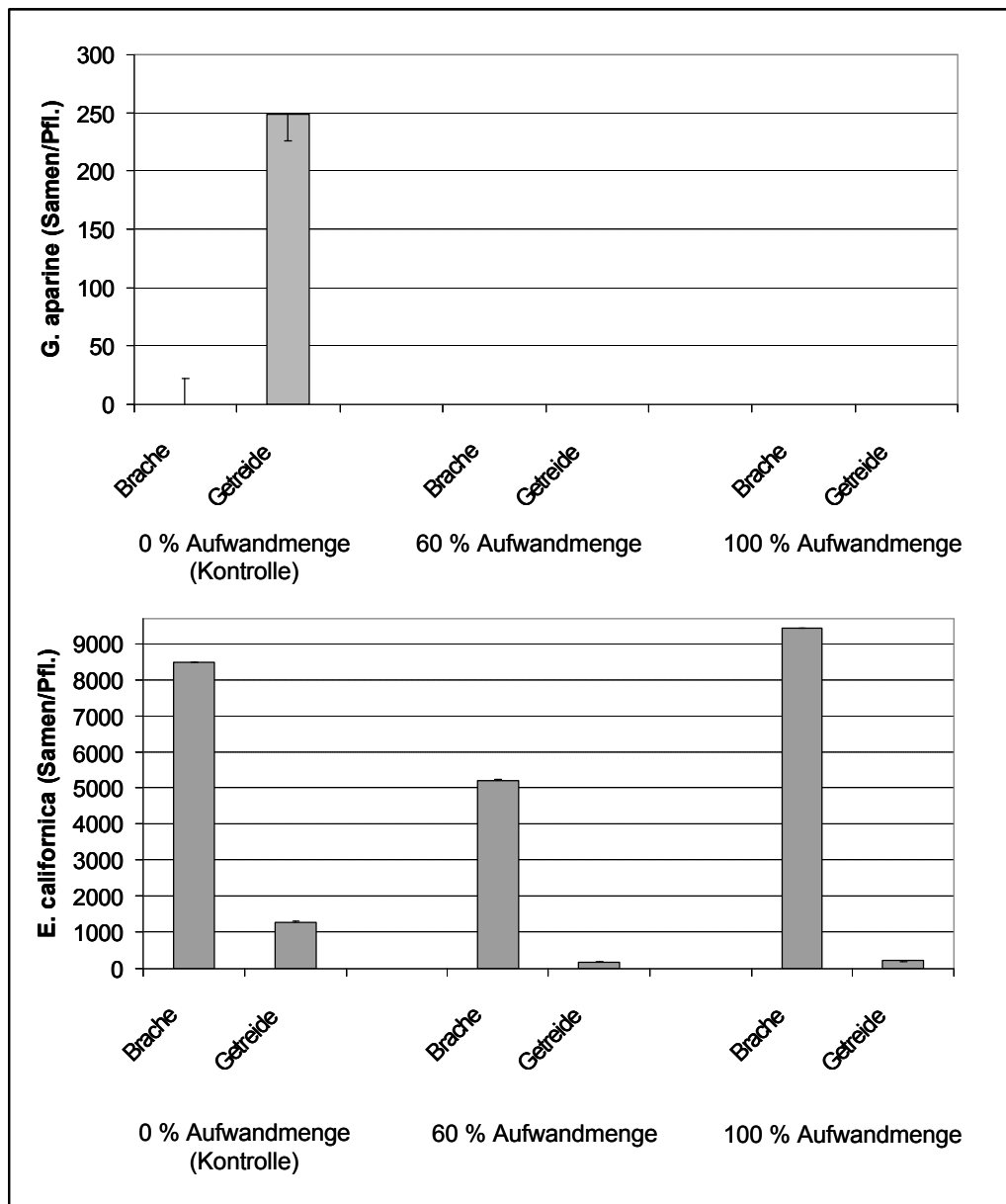


Abb. 5.3 Samenproduktion von *Eschscholzia californica* und *Galium aparine* unter dem Einfluss von Deckfrucht und Brache nach Pflanzenschutzstufen

Galium aparine hat nur in der Kontrollvariante in Getreide Samen produziert. Bei *Eschscholzia californica* war Samenproduktion in allen Pflanzenschutzstufen und zu einem erheblich höheren Anteil in Brache als in Getreide feststellbar.

Der Einfluss der Deckfrucht hat bei *Galium aparine* im Vergleich zu *Eschscholzia californica* zu gegenläufigen Ergebnissen geführt. Mit den Herbizidmischungen konnte *Galium aparine* sowohl in Getreide als auch in Brache mit reduzierter Aufwandmenge ausreichend bekämpft werden. Die Bekämpfung von *Eschscholzia californica* war mit den eingesetzten Mitteln unzureichend, jedoch konnte diese Art mit der Getreidedeckfrucht sehr stark zurückgedrängt werden. *Galium aparine* scheint durch Getreide gefördert und auf eine Stützfrucht angewiesen zu sein, um Samen zu bilden.

5.3 Einfluss der Stoppelbearbeitung auf die Reduzierung von Unkrautsamen zwischen Ernte und Herbstbestellung im Vergleich zur Wirkung von Samenprädatoren bei Verzicht auf Stoppelbearbeitung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der unter 3.5 beschriebenen Untersuchung dargestellt. Zuerst werden die erzielten Samenreduktionsraten der Jahre 2002 und 2003 innerhalb der beiden Versuchsfaktoren „Prädatoren“ und „Stoppelbearbeitung“ getrennt voneinander gezeigt. Danach wird der Vergleich zwischen den Versuchsfaktoren und den Jahren 2002 und 2003 dargestellt und erläutert.

Samenverlustrate im Versuchsfaktor „Prädatoren“

Mit Hilfe von Drahtnetzen mit unterschiedlich großen Maschenweiten sollte überprüft werden, welche Rolle bestimmte Prädatoren durch Raub bzw. Fraß bei der Verringerung von Unkrautsamen zwischen Ernte und Herbstbestellung spielen. „Grobe Maschen“ sollten die Gruppe der Vögel ausschließen, jedoch Nagetiere, Laufkäfer und kleine Bodenlebewesen sowie Schnecken zulassen. Durch feine Maschen sollten Nagetiere und Vögel ausgeschlossen werden, damit der Einfluss von kleinen Bodenlebewesen, Laufkäfern sowie Schnecken überprüft werden konnte. In der Variante „ohne Schutz“ wurden keine Netzbarrieren verwendet. Hier sollten alle Prädatoren Zugang zu den ausgelegten Samen finden. Die folgende Abbildung zeigt die durch Prädatoren verursachten Samenverlustraten ausgewählter Unkrautarten zwischen Ernte und Herbstbestellung der Jahre 2002 und 2003 getrennt nach Prädatorengruppen.

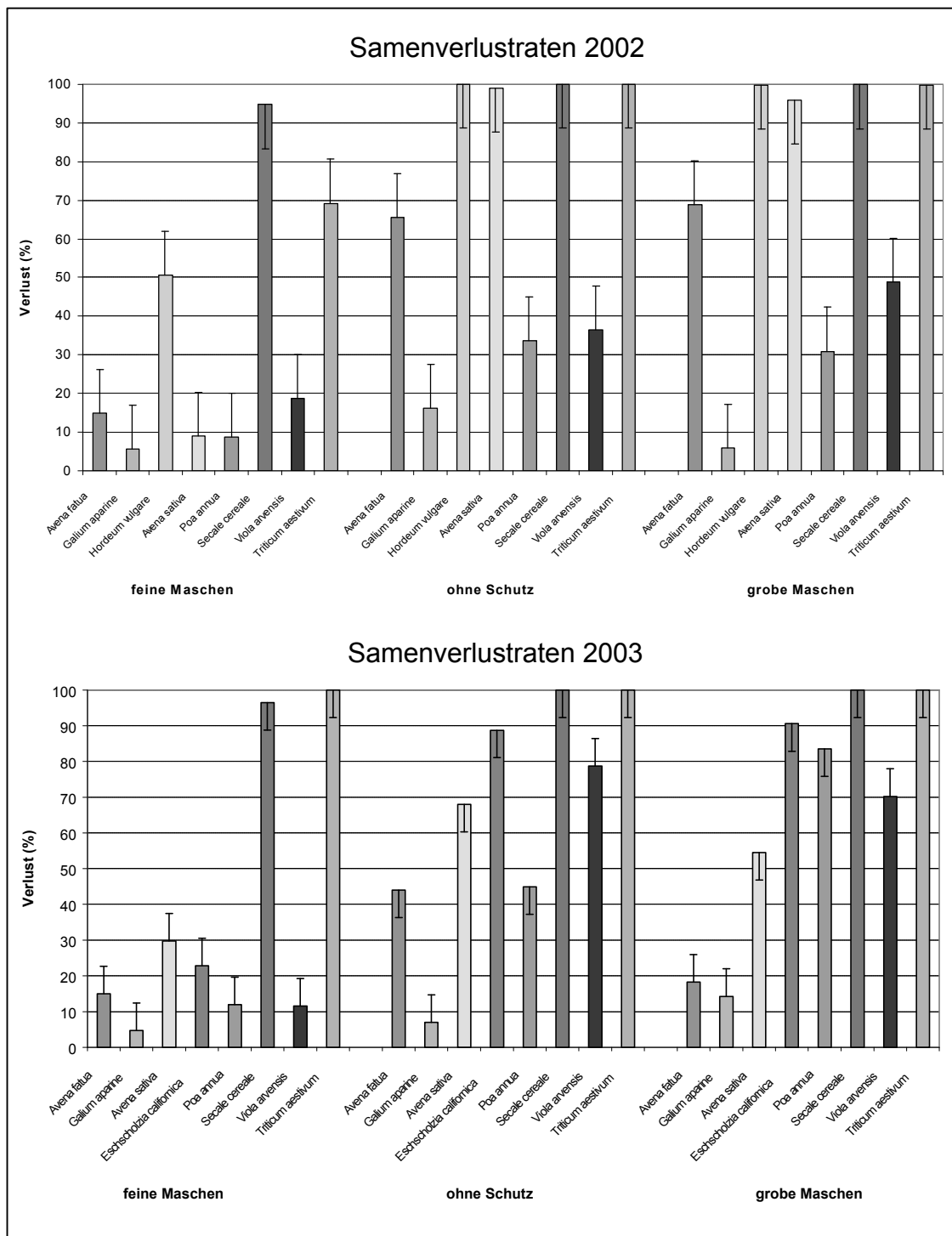


Abb. 5.4 Prozentualer Verlust ausgewählter Getreide- und Unkrautsamen durch unterschiedliche Prädatoren zwischen Ernte und Herbstbestellung in den Jahren 2002 und 2003

Es ist zu erkennen, dass die Samenverlustraten mit einer Lockerung der Netzbarrieren ansteigen. Zwischen den Varianten „ohne Schutz“ sowie „grobe Maschen“ waren im Jahr 2002 keine signifikanten Unterschiede auszumachen. Daraus wird ersichtlich, dass die Gruppe der Vögel und der Nagetiere den größten Anteil am Samenverlust ausgemacht haben. Die von kleinen Bodentieren, Laufkäfern und Schnecken verur-

sachten Samenverlusten, welche in der Variante „feine Maschen“ geprüft worden sind, lagen signifikant unter denen der anderen Varianten.

Die beiden Versuchsjahre zeigten signifikante Unterschiede in den Verlusten. So waren in den Varianten „ohne Schutz“ sowie „grobe Maschen“ bei *Avena fatua* und *Avena sativa* im Jahr 2003 wesentlich geringere Verluste zu beobachten als ein Jahr zuvor. Im Gegensatz dazu lagen die Prädationsraten in diesen Varianten im Jahr 2003 bei *Poa annua* sowie *Viola arvensis* deutlich höher als im Jahr 2002. Die Unterschiede bei *Galium aparine* waren jedoch nicht signifikant. In der Variante „feine Maschen“ waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren 2002 und 2003 in den Unkrautgruppen *Avena fatua*, *Galium aparine*, *Poa annua* und *Viola arvensis* festzustellen. Im Gegensatz zu den beiden anderen Varianten wurden jedoch bei *Avena sativa* im Jahr 2003 signifikant höhere Verluste beobachtet als im Jahr 2002.

Insgesamt bewegen sich die Samenverlusten, welche durch Laufkäfer, Schnecken und sonstige kleine Bodenlebewesen verursacht wurden, auf sehr niedrigem Niveau. Die absoluten Zahlen sowie die Verlusten der geprüften Unkrautarten finden sich in der Anhangstabelle 9.21. Bezieht man neben den Unkrautarten die Reduktionsraten der Getreidearten mit ein, fällt auf, dass die in der Variante „feine Maschen“ erzielten Verluste hier mit Ausnahme von *Avena sativa* mit den beiden Vergleichsvarianten, in denen nahezu 100% Verlust durch Raub realisiert wurden, übereinstimmen.

Die folgende Abbildung zeigt die Fraßspuren je an einer Weizen-, Gersten- sowie einer Roggenkaryopse.

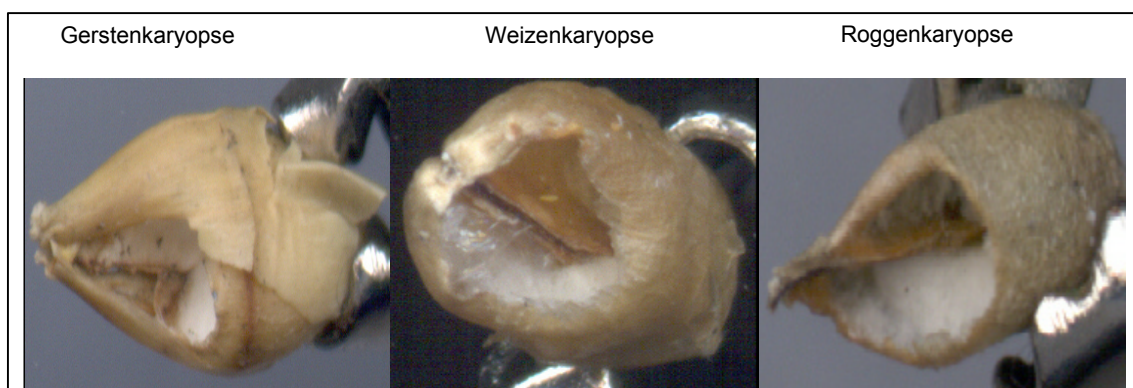


Abb. 5.5 Fraßspuren der Genetzten Ackerschnecke (*Deroceras reticulatum*) an Getreidekaryopsen

Anhand der Fraßspuren konnte als Hauptgetreideprädatoren in der Variante „feine Maschen“ die Genetzte Ackerschnecke (*Deroceras reticulatum*) ermittelt werden. Daraus lässt sich schließen, dass genetzte Ackerschnecken einen ebenso hohen Anteil an der Prädation von Getreidearten haben wie Nagetiere und Vögel.

Samenverlustrate im Versuchsfaktor „Stoppelbearbeitung“

Die durch Stoppelbearbeitung erzielten Samenverlustraten ausgewählter Unkrautarten in den Jahren 2002 und 2003 werden in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

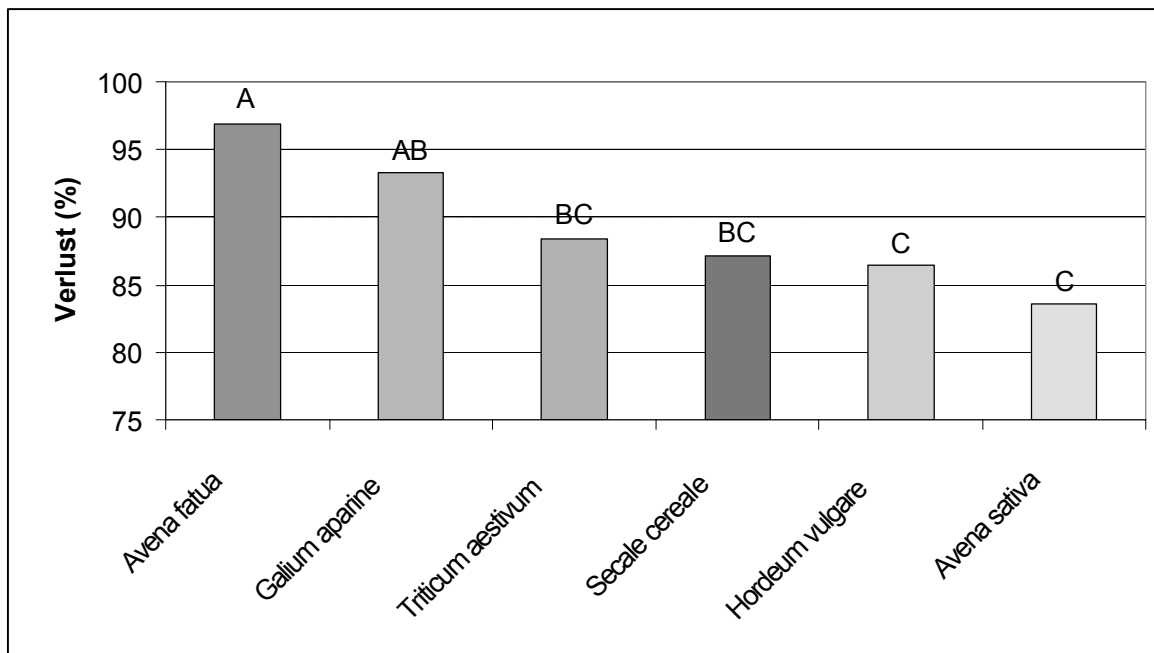


Abb. 5.6 Prozentualer Verlust ausgewählter Getreide- und Unkrautsamen durch Stoppelbearbeitung zwischen Ernte und Herbstbestellung im Jahr 2002

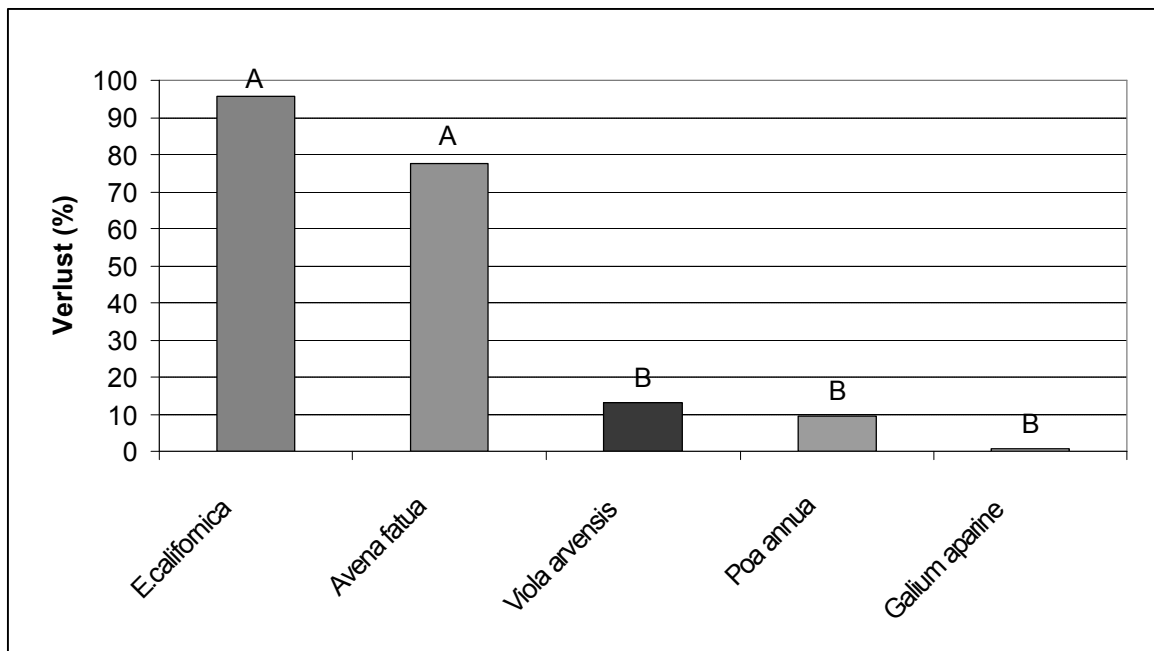


Abb. 5.7 Prozentualer Verlust ausgewählter Getreide- und Unkrautsamen durch Stoppelbearbeitung zwischen Ernte und Herbstbestellung im Jahr 2003

Insgesamt konnten im Jahr 2002 durch Stoppelbearbeitung 84%-97% der Samen zum Keimen gebracht und somit unschädlich gemacht werden. Die Samenreduktionsrate von *Avena fatua* war mit 97% signifikant am höchsten. Sie unterscheidet sich von de-

nen in *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Hordeum vulgare* und *Avena sativa* erzielten Verlusten. Samen von *Galium aparine* sind ebenfalls durch Stoppelbearbeitung zu einem sehr hohen Anteil von 93% reduziert worden. Diese Reduktionsrate lag signifikant höher als die der geprüften Getreidearten, welche sich nur tendenziell voneinander unterschieden.

Im Jahre 2003 wurden Getreidearten durch zusätzliche Unkrautarten ersetzt, da der Focus mehr auf die Reduzierung der Anzahl „klassischer“ Unkräuter durch Stoppelbearbeitung gelegt werden sollte. Durch Stoppelbearbeitung konnten die höchsten Reduktionsraten bei *Eschscholzia californica* und *Avena fatua* erzielt werden. Sie lagen zwischen 79% und 96%. Diese Reduktionsraten unterschieden sich signifikant von denen von *Viola arvensis*, *Poa annua* und *Galium aparine*, deren Reduktionsraten nur marginale Unterschiede aufwiesen.

Auffällig war, dass im Jahr 2003 bei *Avena fatua* und *Galium aparine* niedrigere Verluste zu beobachten waren als ein Jahr zuvor, wobei anzumerken ist, dass die Reduktionsrate von *Avena fatua* mit ca. 79% noch auf vergleichsweise hohem Niveau lag. Extrem große Unterschiede zum Vorjahr sind jedoch bei *Galium aparine* zu vermerken, welches durch Stoppelbearbeitung im Jahr 2003 nahezu nicht vermindert werden konnte.

In den folgenden beiden Abbildungen wird der Vergleich zwischen der Stoppelbearbeitungs- und der Prädatorenvariante in den Jahren 2002 und 2003 hinsichtlich der Reduktionsrate ausgewählter Unkrautsamen gezeigt.

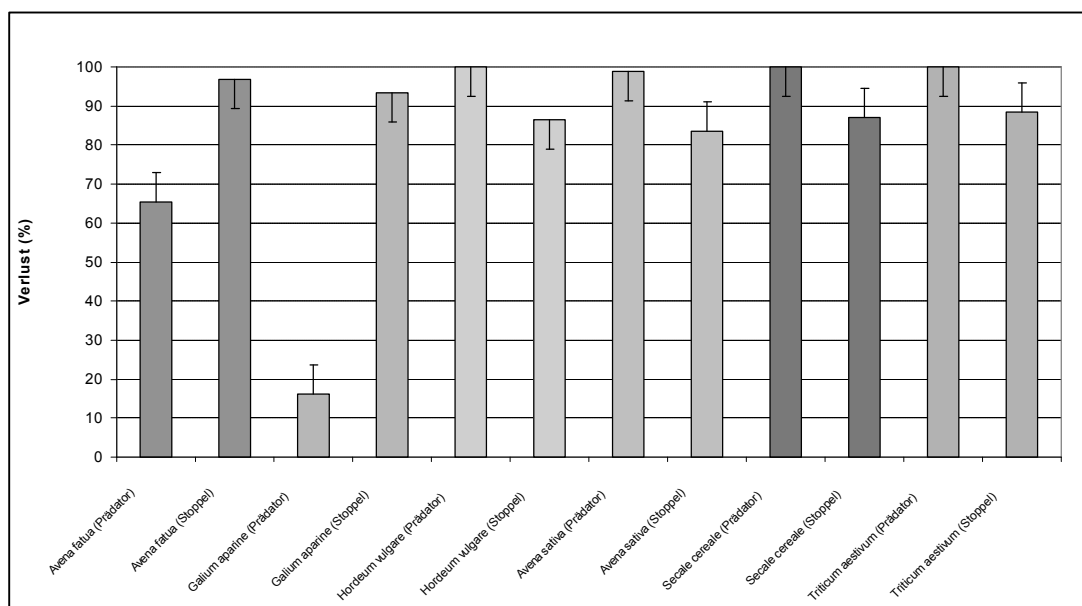


Abb. 5.8 Vergleich zwischen Stoppelbearbeitungs- und Prädatorenvariante im Jahr 2002

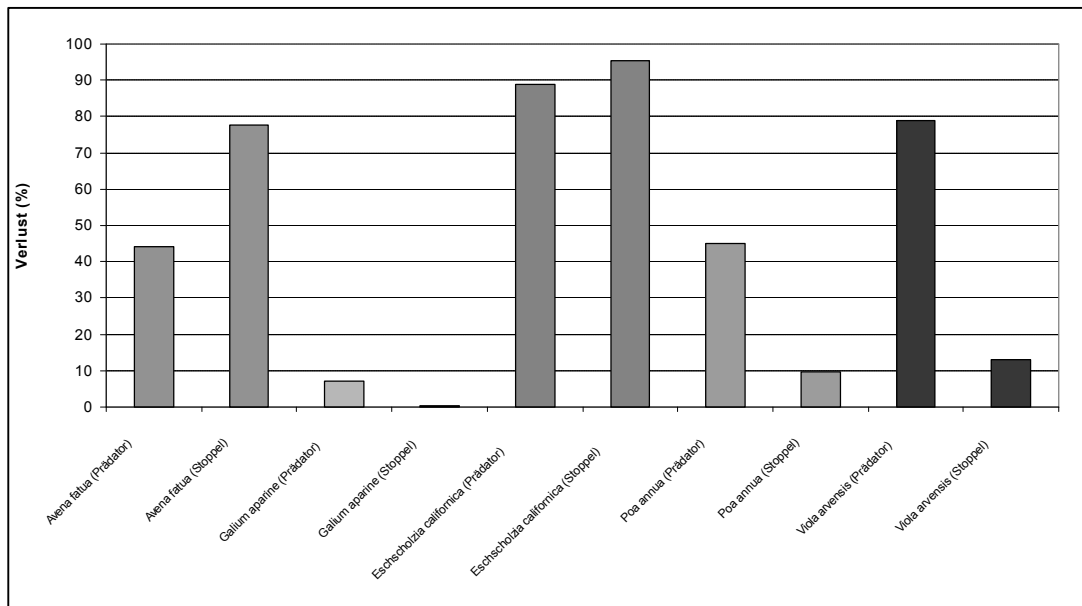


Abb. 5.9 Vergleich zwischen Stoppelbearbeitungs- und Prädatorenvariante im Jahr 2003

Im Jahr 2002 sind durch Stoppelbearbeitung bei *Avena fatua* und *Galium aparine* signifikant höhere Samenverluste realisiert worden als durch Prädation. In den Getreidearten waren jedoch die durch Prädatoren hervorgerufenen Samenverluste mit nahezu vollständiger Samenvernichtung tendenziell höher als die durch Stoppelbearbeitung realisierten Verminderungen mit ca. 82% bei *Avena sativa* und 89% bei *Triticum aestivum*. Im Jahr 2003 waren ähnliche Verhältnisse zwischen der Stoppelbearbeitungs- und der Prädatorenvariante zu beobachten wie im Jahr zuvor. Jedoch ist anzumerken, dass die absoluten Verluste in beiden Varianten 20 Prozentpunkte niedriger lagen als im Jahr 2002. Die durch Prädatoren bedingten Verlusten von *Galium aparine* lagen im Jahr 2003 ebenfalls neun Prozentpunkte niedriger als ein Jahr zuvor. Allerdings hat sich das Verhältnis zwischen den Varianten umgekehrt. Während die Stoppelbearbeitung im Jahr 2002 zu Samenverlusten von über 90% bei *Galium aparine* führte, konnten in dieser Variante im Jahr 2003 nahezu keine Verluste dieser Unkrautart beobachtet werden. Von den im Jahr 2003 neu hinzugekommenen Unkrautarten konnten die Samen von *Eschscholzia californica* mit einer Reduktionsrate von 89% in der Prädatorenvariante und 96% in der Stoppelbearbeitungsvariante am erfolgreichsten bekämpft werden. Stoppelbehandlung führte im Vergleich zur Prädatorvariante bei *Poa annua* mit ca. 10% und bei *Viola arvensis* mit ca. 12% Verlusten zu deutlich geringeren Bekämpfungserfolgen. Der in diesem Versuchsfaktor erzielte Samenverlust lag bei *Poa annua* um das Vierfache und bei *Viola arvensis* um das Siebeneinhalbfache höher als die durch Stoppelbehandlung erzielten Ergebnisse.

Zusammenfassend können zu dieser Untersuchung die folgenden Kernaussagen festgehalten werden:

Im Jahr 2002 wurden in beiden Versuchsvarianten (mit und ohne Stoppelbearbeitung) insgesamt höhere Samenverlustraten erzielt als im Jahr 2003.

Der größte Anteil der Samenreduzierung klassischer Unkrautsamen in der Variante ohne Stoppelbearbeitung ist in beiden Jahren durch Vögel und Nagetiere realisiert worden - kleine Bodenlebewesen spielten bei der Reduktion eine untergeordnete Rolle. Durch Genetzte Ackerschnecken (*Deroceras reticulatum*) wurde jedoch bei den Getreidearten in beiden Jahren eine ebenso große Verlustrate erreicht wie durch Vögel und Nagetiere.

Mit Stoppelbearbeitung wurden im Jahr 2002 bei den Unkrautarten *Avena fatua* und *Galium aparine* wesentlich höhere Reduktionsraten erzielt als ohne Stoppelbearbeitung und Prädatoren. Allein durch Prädatoren (ohne Stoppelbearbeitung) wurden jedoch wesentlich mehr Getreidekörner vernichtet als durch Stoppelbearbeitung.

Im Jahr 2003 wurde festgestellt, dass durch Stoppelbearbeitung bei den Samen der klassischen Unkräuter mit Ausnahme von *Avena fatua* und *Eschscholzia californica* wesentlich niedrigere Reduktionsraten erzielt wurden als durch Prädatoren ohne Stoppelbearbeitung. Samen des Problemunkrautes *Galium aparine* sind so gut wie nicht aufgelaufen und konnten somit in diesem Jahr durch Stoppelbearbeitung nicht reduziert werden.

5.4 Einsatz von Modellen zur Unkrautpopulationsdynamik unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle

Im Folgenden werden die Validierungsergebnisse des Prognosemodells nach ZWERTGER und HURLE (1988) und des Modells „WEED PROGNOISIS“ aufgezeigt.

5.4.1 Validierung des Prognosemodells nach ZWERTGER und HURLE (1988)

In diesem Kapitel wird der Vergleich zwischen erhobener und prognostizierter Anzahl an Pflanzen je Quadratmeter von *Echinochloa crus-galli* und *Chenopodium album* in einer Maismonokultur (Schlag GH) sowie in einer Felderfolge (Schlag 8) dargestellt. Die folgende Tabelle zeigt die für das von ZWERTGER und HURLE (1988) veröffentlichte populationsdynamische Modell verwendeten Modellparameter. Für die Samenverlustraten und Keimungsraten der einzelnen Jahre wurden Parameter aus der Literatur entnommen.

Die eingesetzten Werte bezüglich Samenverlustrate, Auflauf- und Mortalitätsrate repräsentieren Prozentzahlen (z.B. 0,4= 40%), wobei die Samenproduktion mit absoluten Zahlen (Samen je Pflanze) angegeben wird.

Die in dem jeweiligen Jahr angebauten Fruchtarten sind in Tabelle 3.1 (Schlag 8, Schlag GH) aufgeführt.

Tabelle 5.3 Samenverlustrate, Auflauftrate, Mortalitätsrate und Samenproduktion von *Echinochloa crus-galli* und *Chenopodium album* in einer Maismonokultur sowie einer Felderfolge in den Jahren 1997-2002

Parameter für *Echinochloa crus-galli*

Jahr	Samenverlustrate *		Auflauftrate **		Mortalitätsrate ×		Samenproduktion ×	
	KM-Mono	Felderfolge	KM-Mono	Felderfolge	KM-Mono	Felderfolge	KM-Mono	Felderfolge
1997	-	0,6	-	0,03	-	0,95	-	2000
1998	-	0,6	-	0	-	1	-	0
1999	0,4	0,2	0,03	0	0,83	1	200	0
2000	0,4	0,1	0,03	0	0,88	1	900	0
2001	0,4	0,6	0,03	0,03	-0,12	0,96	35	2000
2002	0,4	0,6	0,03	0	0,88	1	35	0

Parameter für *Chenopodium album*

Jahr	Samenverlustrate *		Auflauftrate **		Mortalitätsrate ×		Samenproduktion ×	
	KM-Mono	Felderfolge	KM-Mono	Felderfolge	KM-Mono	Felderfolge	KM-Mono	Felderfolge
1997	-	0,7	-	0,03	-	0,97	-	2300
1998	-	0,7	-	0,03	-	0,95	-	50
1999	0,4	0,7	0,03	0,01	0,95	1	300	0
2000	0,4	0,7	0,03	0,01	0,98	1	203	0
2001	0,4	0,7	0,03	0,03	0,74	0,93	95	100
2002	0,4	0,7	0,03	0,03	0,95	0,93	200	50

* Schweizer *et al.* (1984, modifiziert) **Kaul (1992, modifiziert) × Mittelwerte der Boniturstellen

In der folgenden Abbildung werden jeweils die erhobenen durchschnittlichen Dichten von *Echinochloa crus-galli* und *Chenopodium album* den anhand der obenstehenden Parameter prognostizierten Daten gegenübergestellt. Zu den jeweiligen Startterminen konnten den erhobenen Daten keine prognostizierten Werte gegenübergestellt werden, da diese Startdaten die Ausgangsbasis für die Prognose waren.

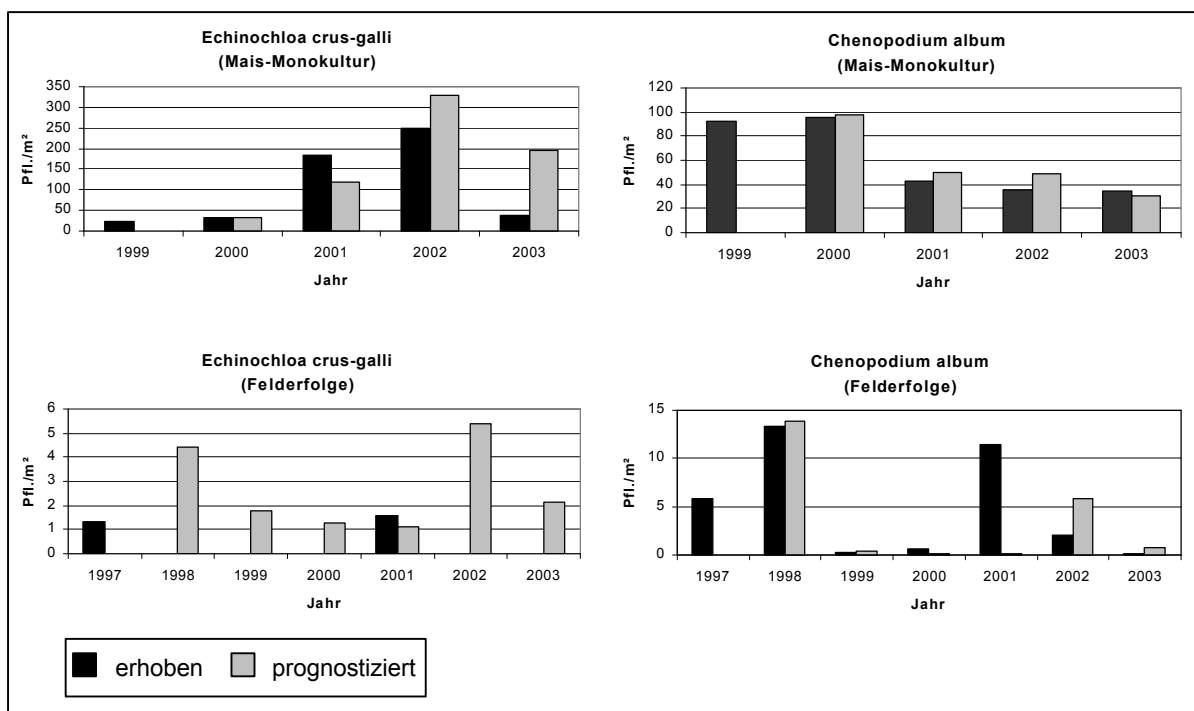


Abb. 5.10 Vergleich zwischen erhobenen und prognostizierten Anzahlen an Pflanzen je Quadratmeter von *Echinochloa crus-galli* und *Chenopodium album* in einer Maismonokultur sowie in einer Felderfolge

Die prognostizierten Werte der durchschnittlichen Unkrautdichte stimmten bei *Echinochloa crus-galli* und *Chenopodium album* im Dauermaisbau sehr gut mit den in den einzelnen Jahren erhobenen Daten überein. In der Felderfolge war dies nicht der Fall. Beispielsweise prognostizierte das verwendete Modell für die Jahre 1998 bis 2000 für *Echinochloa crus-galli* Werte, während nur in den Jahren mit Körnermais Individuen dieser Unkrautart beobachtet worden sind. Für *Chenopodium album* stimmten die Prognosen in den Jahren 2001 und 2002 mit den erhobenen Daten ebenfalls nicht überein.

5.4.2 Validierung des Prognosemodells „WEED PROGNOSES“

Die folgende Tabelle zeigt die für das populationsdynamische Modell „WEED PROGNOSES“ verwendeten Modellparameter.

Tabelle 5.4 Populationsdynamische Parameter für das Modell „WEED PROGNOSES“

Fruchtart	Kulturartbedingte Keimungsrate*	Herbizidwirkungsgangrad	Samen je Pflanze	Samenverlust (Prädatoren)
Winterweizen	0	0,86-0,93	0	0,4
Wintergerste	0,0012	0,86-0,93	0	0,4
Mais	0,024	0,93-0,96	40 - 4000	0,4
Zuckerrüben	0,015	0,93-0,96	40 - 4000	0,4

*Es wurde eine gleichbleibende Auflafrate von 3% (0,03) angenommen und mit der prozentualen kulturartbedingten Keimungswahrscheinlichkeit multipliziert, woraus als Ergebnis die kulturartbedingte Keimungsrate hervorging.

Die folgenden Abbildungen (Validierungsergebnisse) zeigen den Vergleich der erhobenen Daten mit der von „WEED PROGNOSES“ berechneten Verteilung am Beispiel von *Chenopodium album* auf den Schlägen 8 und 9.

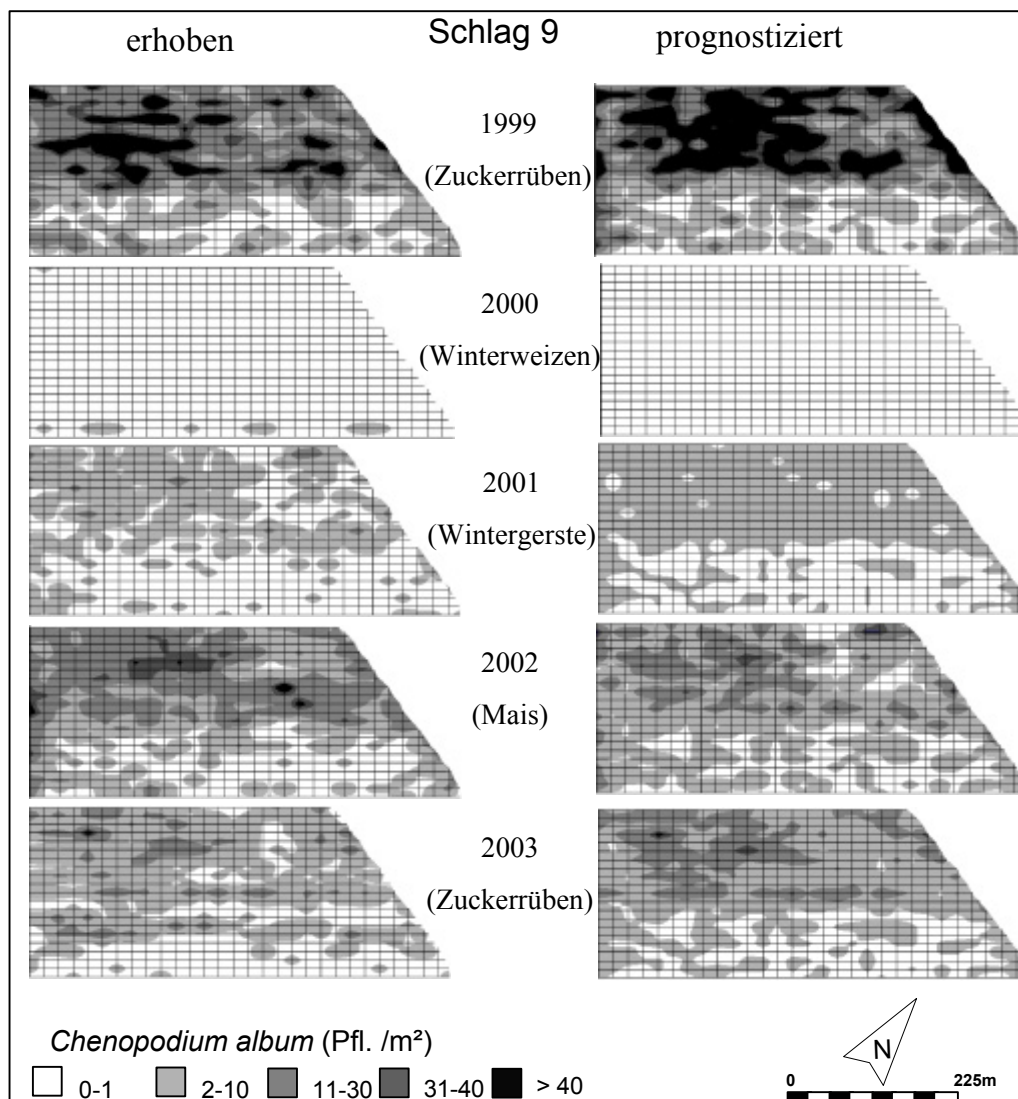


Abb. 5.11 Vergleich der erhobenen und der prognostizierten räumlichen Verteilung von *Chenopodium album* auf Schlag 9 in den Jahren 1999-2003

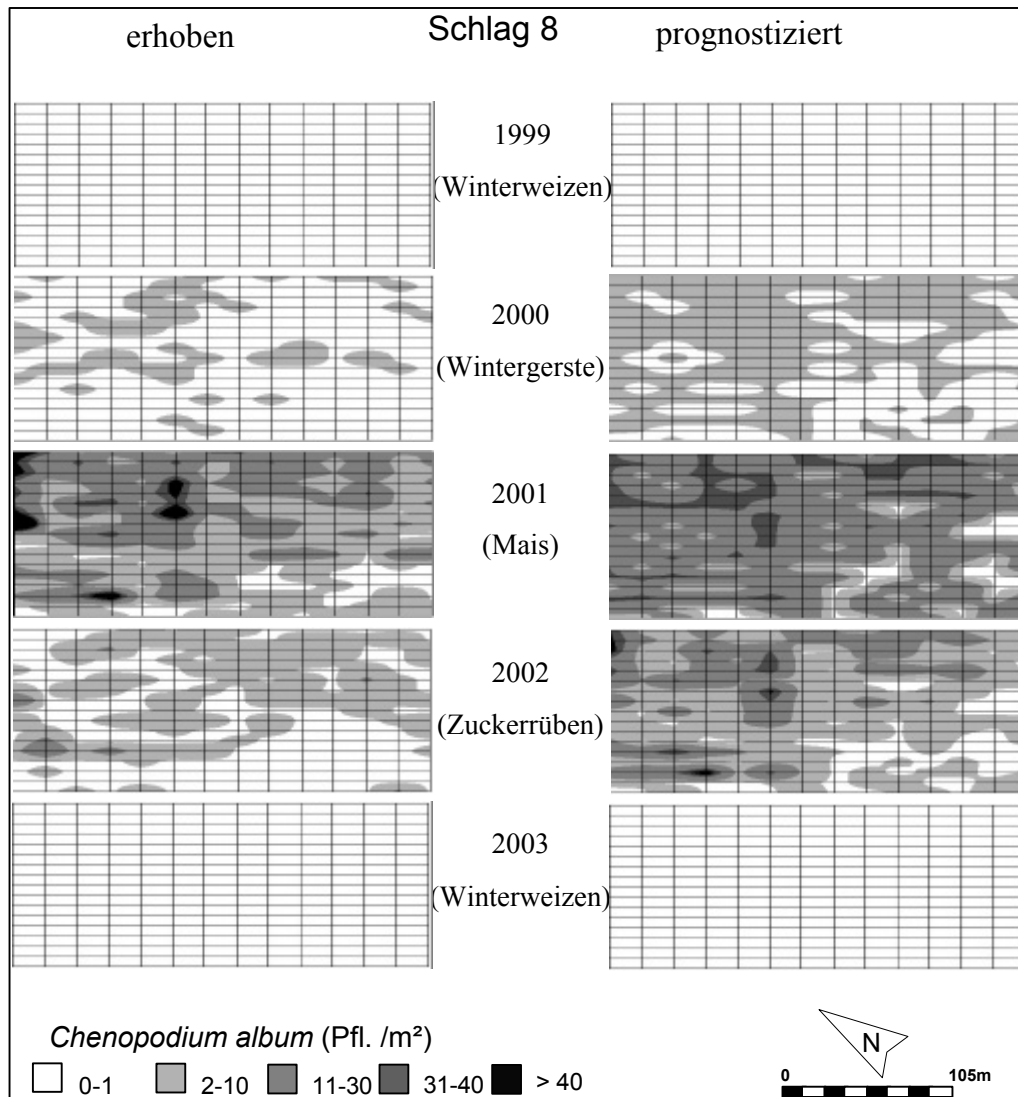


Abb. 5.5. Vergleich der erhobenen und der prognostizierten räumlichen Verteilung von *Chenopodium album* auf Schlag 8 in den Jahren 1999-2003

In den Abbildungen ist erkennbar, dass die prognostizierten Verteilungskarten von *Chenopodium album* große Ähnlichkeiten zu den beobachteten Verteilungskarten haben. Die nord-westliche Hälfte von Schlag 9 war in den einzelnen Jahren wesentlich stärker mit *Chenopodium album* verunkrautet als die süd-östliche Hälfte. Insgesamt war die Dichte in den Hackfruchtkulturen höher als in Getreide. Auf Schlag 8 lief *Chenopodium album* ebenfalls verstärkt in den Hackfruchtkulturen auf, jedoch waren anders als auf Schlag 9 auf diesem Schlag keine scharfen Abgrenzungen zwischen verunkrauteten und nicht verunkrauteten Bereichen zu erkennen.

Um die Übereinstimmung der erhobenen und prognostizierten Unkrautverteilung statistisch fassen zu können, wurde in jedem Jahr der Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson zwischen den einzelnen Zählstellen der erhobenen Boniturdaten und den für diese Positionen prognostizierten Werten berechnet (vgl. Tabelle 5.5).

Tabelle 5.5 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für den Vergleich zwischen der realen und prognostizierten Verteilung von *Chenopodium album* auf den Schlägen 9 und 8 in den Jahren 1999-2003 mit eingezeichneten Fruchtarten

Schlag 9	Korrelationskoeffizient	Schlag 8	Korrelationskoeffizient
1999 (ZR)	0,47**	1999 (WW)	1,0
2000 (WW)	1,0	2000 (WG)	0,08
2001 (WG)	0,23**	2001 (KM)	0,37**
2002 (KM)	0,39**	2002 (ZR)	0,20**
2003 (ZR)	0,61**	2003 (WW)	1,0

Auf beiden Schlägen wurden die höchsten signifikanten Korrelationskoeffizienten in den Hackfruchtkulturen Zuckerrüben (ZR) und Körnermais (KM) gefunden. Geringere Übereinstimmungen fanden sich jeweils in Wintergerste (WG). In Winterweizen (WW) lief auf beiden Schlägen niemals *Chenopodium album* auf. Dieses konnte durch das Prognosemodell auch bestätigt werden, so dass die Prognose der Dichte von *Chenopodium album* für diese Kultur auf beiden Schlägen zu einer absoluten Übereinstimmung mit den erhobenen Werten führte. Es ist anzumerken, dass hier auf Grund der Nullwerte keine Signifikanzen angegeben werden können. Auf Schlag 9 wurden insgesamt höhere Übereinstimmungen der Prognoseergebnisse mit den erhobenen Daten erreicht als auf Schlag 8.

Für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle ergibt sich die Frage, inwieweit die Applikationsentscheidungen, welche aus den prognostizierten Verteilungskarten abgeleitet werden können, mit den auf Datenerhebungen basierenden Applikationsentscheidungen übereinstimmen würden. Die folgende Tabelle stellt die prozentual richtig prognostizierten Applikationsentscheidungen für das Leitunkraut *Chenopodium album* auf Schlag 8 und Schlag 9 für die Jahre 1999 bis 2003 dar. Unterstellt wird eine Schadschwelle von 1 Pfl./m² in den Hackfruchtkulturen und 20 Pfl./m² in Getreide.

Tabelle 5.6 Prozentual richtig prognostizierte Applikationsentscheidung für alle Zählstellen der Schläge 9 und 8 für die Jahre 1999 bis 2003 mit eingezeichneten Fruchtarten sowie prozentualer Anteil von unnötigen Herbizidapplikationen (Überschätzung) und erforderlichen, jedoch unterlassenen Herbizidapplikationen (Unterschätzung)

Schlag 9	Richtige Applikationsentscheidung	Überschätzung/ Unterschätzung	Schlag 8	Richtige Applikationsentscheidung	Überschätzung/ Unterschätzung
1999 (ZR)	78%	14 % / 8 %	1999 (WW)	100%	-----
2000 (WW)	100%	-----	2000 (WG)	100%	-----
2001 (WG)	100%	-----	2001 (KM)	73%	8% / 19%
2002 (KM)	79%	14% / 7%	2002 (ZR)	51%	44% / 5%
2003 (ZR)	59%	34% / %	2003 (WW)	100%	-----

Aus der Tabelle geht hervor, dass das Modell „WEED PROGNOSIS“ Übereinstimmungsraten zwischen 51% und 100% geliefert hat. Die zu bekämpfende Fläche wurde häufiger über- als unterschätzt, was dazu führen würde, dass Herbizide an Orten auf dem Acker appliziert würden, an denen die tatsächliche Schadschwelle nicht überschritten ist. Dieses hätte zur Folge, dass geringere Herbizideinsparungen realisiert würden. Die in dieser Untersuchung gefundenen geringeren Fehleranteile der Unterschätzung würden bewirken, dass Unkräuter an Orten des Schlages, an denen die Schadschwelle überschritten ist, nicht bekämpft würden. Dieses würde zu Ertragseinbußen sowie zu einer Erhöhung des Unkrautdrucks in Folgejahren führen.

6 Diskussion und Ausblick

6.1 Das System der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle

Unkrauterfassung

Die Applikationskarten zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle basierten in allen Versuchsschlägen auf dem unter 3.1.2 beschriebenen 15 m * 7,5 m Boniturraster, in dem die Unkrautverteilung durch Auszählen erhoben wurde. Analog zu dieser Methode wurden in der Vergangenheit in vielen weltweit durchgeführten Untersuchungen Bonituren zur Erstellung von Unkrautverteilungskarten durchgeführt, deren Maschenweite stark variierte. So wird von Boniturrastern mit einer Größe von 34 m * 40 m (REW und COUSENS, 1998) bis 50 m * 50 m, bei einer Boniturfläche von 0,1 m² je Bonitурpunkt berichtet (NORDMEYER und DUNKER, 1999; HÄUSLER und NORDMEYER, 1999). Dabei wurden verschiedene Interpolationsmethoden zur Schätzung der Unkrautverteilung im unbeprobten Raum verwendet (REW und COUSENS, 2001). Die manuellen Unkrauterhebungen mit Hilfe von Boniturrastern müssen jedoch gewährleisten, dass die Wirklichkeit der Unkrautverteilung in ausreichender Genauigkeit abgebildet wird. Dabei ist die Qualität der resultierenden Unkrautverteilungskarten abhängig von der Intensität der Bonitur (REW und COUSENS, 2001). So konnten CLAY *et al.* (1999) bei Verwendung eines 15 m * 30 m Rasters eine räumliche Abhängigkeit zwischen ihren untersuchten Arten nachweisen. Bei Analyse der gleichen Daten und Vergrößerung des Rasters auf eine Maschenweite von 30 m * 30 m war diese räumliche Abhängigkeit nicht mehr festzustellen.

BACKES und PLÜMER (2004) kamen bei einem Vergleich von Interpolationsverfahren auf Basis von identischen Bonitурdaten zu differenzierten Ergebnissen. Keines der Verfahren erwies sich für die Schätzung der Unkrautverteilung im unbeprobten Raum als besonders geeignet. Sie empfehlen bei der Verwendung von manuellen Bonituren, auf die Fehleranfälligkeit der gewählten Methode hinzuweisen. Bei der Erstellung von Unkrautkarten mit der Absicht, teilschlagspezifische Applikationskarten zu generieren, ist jedoch in vielen Fällen ein hinreichender Hinweis für die Spritzentscheidung gegeben. Trotzdem sollte nach ihrer Aussage das Risiko eines Über- bzw. Unterschätzens des Befalls mit Unkräutern durch eine hochauflösende Bonitur (möglichst feines Raster) minimiert werden.

In Versuchen von OEBEL *et al.* (2004) wurden Unkrautverteilungskarten auf Basis einer hochauflösenden automatischen Kamerabonitur mit Unkrautverteilungskarten, welche in den der vorliegenden Arbeit zu Grunde liegenden Versuchen durch lineare Triangulation in einem feinen 15 m * 7,5 m Raster generiert worden sind, verglichen. Die Karten zeigten ein sehr ähnliches Muster. Insbesondere die Nester mit hoher Un-

kraut- und Ungrasdichte stimmten bei Verwendung der erwähnten Rastergröße sowie des Interpolationsverfahrens in der Position gut überein.

Daraus lässt sich schließen, dass die dieser Arbeit zu Grunde liegende Datengrundlage zur Erstellung von Applikationskarten ausreichend war. Die Tatsache, dass teilschlagspezifisches Unkrautmanagement innerhalb der Felderfolge nicht zu einem Anstieg der durchschnittlichen Unkrautdichte geführt hat, sondern sogar Rückgänge in der Unkrautdichte beobachtet wurden, ist ebenfalls ein Beleg dafür, dass mit Hilfe des in dieser Arbeit verwendeten Boniturrasters die Wirklichkeit der Unkrautverteilung adäquat abgebildet werden konnte und die Applikationsentscheidungen angemessen waren. Bei einer groben Unterschätzung des Unkrautdrucks wären Bereiche von Herbizidapplikationen ausgelassen worden, die eigentlich hätten gespritzt werden müssen. Dieses hätte durch Einträge neuer Samen in den Boden zu einem Anstieg der Verunkrautung in den Folgejahren geführt.

Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen sollte jedoch in Zukunft die sensorbasierte automatische Erfassung von Unkräutern (GERHARDS und CHRISTENSEN, 2003) für die Kartenerstellung verwendet werden, da eine erfolgreiche Praxiseinführung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle nur durch Automatisierung aller notwendigen Arbeitsabläufe erfolgen kann.

Schadschwellen

Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle basiert auf Schadschwellen, welche die unterschiedlichen Unkrautdichten innerhalb von Ackerschlägen berücksichtigen. Die richtige Handhabung und Festlegung von Schadschwellen zur Reduzierung des Einsatzes von Herbiziden wird in der Literatur stark diskutiert. BEER (1979) weist auf die eingeschränkte Gültigkeit statischer wirtschaftlicher Schadschwellen für Unkräuter in Getreide hin. Als zusätzliche Kriterien für die situationsgerechte Bemessung statischer Schwellenwerte werden z. B. der Witterungseinfluss auf Unkräuter und die Wirksamkeit von Bekämpfungsmaßnahmen (KAISER und WAHMHOFF, 1986; WILSON, 1986) sowie insbesondere die Bewertung der Unkrautpopulationsdynamik für die gesamte Fruchtfolge bei der Schadensprognose genannt (KOCH, 1974; HEYLAND, 1984; GEROWITT *et al.*, 1986; ZEDDIES, 1986). Demgegenüber schätzen BARTELS *et al.* (1984) und KAISER (1989) das Risiko einer Folgeverunkrautung bei Anwendung von statischen wirtschaftlichen Schadschwellen gering ein, da eine evtl. erhöhte Verunkrautung in einer Folgefrucht jederzeit durch Herbizide bekämpft werden kann. CUSSANS *et al.* (1986) sowie ZWERGER und HURLE (1990) schlagen die Verknüpfung von Konkurrenzmodellen für einzelne Nutzpflanzenarten mit Simulationen der resultierenden Unkrautpopulationsdynamiken als Entscheidungshilfe für langfristige Bekämpfungs-

schwelen vor. Lösungsansätze für diese Aufgabenstellung demonstrieren KUNISCH *et al.* (1988) am Beispiel von *Chenopodium album*.

GEROWITT und HEITEFUSS (1990) wiesen in mehrjährigen Versuchen zum Einsatz von statischen ökonomischen Schadschwellen in Getreide nach, dass deren Anwendung bei der Unkrautkontrolle nicht zu einer Vermehrung der Unkräuter führte. In einer neueren Untersuchung bestätigten NIEMANN *et al.* (2000), dass sich bei der Anwendung von statischen Schadschwellen in Getreide mittelfristig auch keine produktionstechnischen Nachteile als Folge der höheren Restverunkrautung zeigten. In Reihenkulturen wie Zuckerrüben und Mais sind die in der Literatur beschriebenen Schadschwellen unter Berücksichtigung der Gefahr, der von der Restverunkrautung ausgehenden Samenbildung, wesentlich niedriger als in Getreide angesetzt. HOLZMANN (1987) stellt für *Viola arvensis* ohne Unkrautbekämpfung in einer Vegetationsperiode einen Anstieg der Dichte um den Faktor 37,8 in Zuckerrüben fest. Nach HOFSTETTER (1986) bzw. HOLZMANN (1987) liegt daher die wirtschaftliche Schadschwelle für *Mercurialis annua* und *Viola arvensis* in Zuckerrüben unter Berücksichtigung der Folgeverunkrautung bei Null.

Die Frage in konkurrenzschwachen Reihenkulturen ist also nicht, ob eine Unkrautbekämpfung notwendig ist, sondern wann die Unkrautbekämpfung innerhalb der Vegetationsperiode zu erfolgen hat. Sogenannte zeitbezogene Schadschwellen suchen nach einer Zeitschwelle (kritische Periode) für die Dauer der Unkrautkonkurrenz, unterhalb der voraussichtlich kein Ertragsverlust eintritt (ZWERGER und AMMON, 2002). Für Reihenkulturen können daraus praktische Vorgaben, wann eine Unkrautbekämpfung noch nicht und wann sie nicht mehr zu erfolgen braucht, abgeleitet werden. So schaden beispielsweise im Mais im Zwei- bis Vierblattstadium keimende Unkräuter noch nicht und spätkeimende Unkräuter schaden nach dem Zehnblattstadium nicht mehr (AMMON und NIGGLI, 1990).

Reihenkulturen lassen große Bestandeslücken (Reihen) zu, in denen sich Unkräuter nahezu ohne Konkurrenz der Kulturpflanze entwickeln können. Bis zum Reihenschluss, der z.B. bei Zuckerrüben in unseren Breiten erst Ende Juni erfolgt, können sich Unkräuter daher ungestört entwickeln und Samen bilden.

Die teilschlagspezifischen Unkrautbehandlungen in Mais und Zuckerrüben erfolgten daher auf dem Versuchsgut Dikopshof ab einer Dichte von einer Pflanze je Quadratmeter. Reduktionen in der Aufwandmenge wurden hier nicht vorgenommen. Auf Herbizidbehandlungen wurde nur an den Stellen des Ackers verzichtet, an denen keine Unkräuter bonitiert worden sind. Daher wurden in diesen Kulturen geringere Herbizideinsparungen erreicht als in Getreide. TIMMERMANN (2001) stellte jedoch fest, dass aus einer niedrigen Mitteleinsparung in Mais trotzdem ein hoher finanzieller Vorteil ent-

stehen kann, wenn die Maisherbizide teilschlagspezifisch appliziert werden. Bei seiner monetären Bewertung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle zeigte sich in Übereinstimmung mit LETTNER *et al.* (2001), dass eine teilschlagspezifische Behandlungsmaßnahme durch die Variation selektiver Mittel um so lohnender war, je höher sich der Herbizidpreis darstellte. Daraus lässt sich schließen, dass teilschlagspezifische Unkrautkontrolle auch in Reihenkulturen ökonomische und ökologische Vorteile bringt.

Reduzierung der Aufwandmenge

In den Versuchen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle wurden innerhalb der Getreidearten sehr hohe Herbizideinsparungen realisiert (vgl. Tab. 4.1). Die Herbizideinsparungen in Getreide waren durch die statischen Reduktionen der Herbiziddosen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Unkrautdicke bedingt.

Bereits 1972 prüfte HORNIG reduzierte Aufwandmengen in Getreide. Er hielt das Verfahren, ebenso wie auch andere Autoren nach neueren Untersuchungen (LOVANG, 1985; PALLUT und HOFMANN, 1990), insbesondere bei geringem Unkrautbesatz, für erfolgsversprechend. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass noch ausreichend Wirkstoff für die Einzelpflanze zur Verfügung steht (vgl. WINKLE *et al.*, 1981).

Unkräuter werden durch reduzierte Aufwandmengen geschwächt, was sich mit Hilfe von Herbiziddosis-Wirkungsuntersuchungen an einer geringeren Biomasseentwicklung der Unkräuter zeigt (vgl. SEEFELD *et al.*, 1995). Bei einer Schwächung von Unkrautarten durch reduzierte Aufwandmengen sind Getreidearten als konkurrenzstarke Nutzpflanzen im Vorteil und können die Unkrautarten besser unterdrücken. Innerhalb der Getreidearten gibt es deutliche Sortenunterschiede bezüglich der Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern. CHRISTENSEN *et al.* (1995) konnten die Fähigkeit der Sorten, Unkräuter zu unterdrücken, mit Hilfe eines Modells voraussagen, welches auf der maximalen Bestandeshöhe und der maximalen Beschattungswirkung basiert. Die Überprüfung von sieben Sommergerstensorten zeigte Abweichungen der Unkraut-trockenmasse von -48% in der konkurrenzstärksten und +31% in der konkurrenzschwächsten Sorte gegenüber dem Mittelwert aller sieben Sorten. Nach CHRISTENSEN (1994) kann durch konkurrenzstarke Getreidearten bzw. -sorten insgesamt mit deutlich reduzierten Herbiziddosen eine ausreichende Unkrautbekämpfung erreicht werden. Es muss jedoch beachtet werden, dass Herbizidaufwandmengen nicht zu stark reduziert werden dürfen, da eine sehr geringe Dosierung auch zu einer Wachstumsförderung von Unkräutern beitragen kann (vgl. BRAIN und COUSENS, 1989).

Ein negativer Effekt von reduzierten Aufwandmengen kann in der Bildung von metabolischer Herbizidresistenz bei Unkräutern liegen. Dabei werden durch den Selektionsdruck der Herbizide Biotypen „herangezüchtet“, welche Herbizide schneller metabolisieren und damit entgiften können (ZWERGER und AMMON, 2002). Resistenzbildung kann jedoch mit dem richtigen Resistenzmanagement vorgebeugt werden. Grundsätzlich geht es hierbei darum, den Selektionsdruck der Herbizide auf Unkrautpopulationen durch produktionstechnische Maßnahmen zu vermindern und damit die Resistenzbildung zu vermeiden. So ist die Applikation von Wirkstoffen mit gleicher Wirkungsweise in ununterbrochener Folge zu unterlassen. Eine regelgerechte Fruchtfolge gibt die Möglichkeit einer Wirkstoffrotation und verhindert die massenhafte Vermehrung einer Problemunkrautart (ZWERGER und AMMON, 2002).

In den Feldversuchen zu dieser Arbeit konnte auf den Flächen der Felderfolge weitgehend eine Wirkstoffrotation eingehalten werden. Körnermais, Zuckerrüben und Getreide wurden mit unterschiedlichen Wirkstoffen behandelt. Lediglich zwischen Winterweizen und Wintergerste kamen gleiche Wirkstoffe zum Einsatz. In der Maismonokultur wurden dagegen über mehrere Jahre in Folge Herbizidapplikationen gegen Ungräser mit Rimsulfuron durchgeführt (vgl. KROHMANN, 2004). Die Frage nach eventuellen Resistenzbildungen in Ungraspopulationen ist in Folgeuntersuchungen zu überprüfen.

Entscheidungskriterien

Zur Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle sind verlässliche Entscheidungskriterien erforderlich, damit an jeder Stelle innerhalb eines Ackerschlags mit der geeigneten Schadschwelle und der richtigen Herbizidaufwandmenge auf die jeweilige Verunkrautungssituation angemessen reagiert werden kann. Nach PALLUTT und FLATTER (1998) muss die räumlich heterogene Unkrautverteilung im Kontext mit wechselnden Bodenverhältnissen und sich dadurch ändernden Konkurrenzverhältnissen verstanden werden, damit die ökologischen und ökonomischen Vorteile der Herbizideinsparungen bei teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle auf Dauer gewährleistet sind (REW und COUSENS, 2001) und es nicht zu einem Anstieg der Unkrautdichte in Folgejahren kommt. CHRISTENSEN *et al.* (2003) entwickelten ein Entscheidungssystem für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle. Hierbei wurde ein Modell zur ertragsbezogenen Unkrautkonkurrenz, welches den Ertragsverlust der Kulturart als Funktion von Unkrautarten und deren Dichten berechnet, mit einem Herbiziddosis-Wirkungsmodell verknüpft, wobei als Ergebnis die ökonomisch optimale Herbiziddosis über einen Algorithmus geschätzt worden ist. Über einen Zeitraum von fünf Jahren wurde die Herbiziddosis bei der Unkrautbekämpfung auf Basis der Empfeh-

lungen des Entscheidungssystems variiert. Die Unkrautdichte stieg während des Versuchszeitraums nicht an, so dass auch die Herbizidaufwandmenge nicht angehoben werden musste. Die Hypothese, dass die durch teilschlagspezifische Unkrautkontrolle zu erzielenden Herbizideinsparungen nach wenigen Jahren durch einen Anstieg der Unkrautdichte aufgehoben werden, konnte nicht bestätigt werden.

Verschiedene Autoren weisen zusätzlich darauf hin, dass der durch das Herbizid selbst verursachte Ertragsverlust in der Bekämpfungsentscheidung ebenfalls mit berücksichtigt werden muss (GERHARDS *et al.*, 1995; DONALD, 1998).

In den dieser Arbeit zu Grunde liegenden Versuchen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle flossen die Bodenverhältnisse nicht in den Entscheidungsprozess mit ein, da diese innerhalb der Versuchsflächen mit Ausnahme eines Schlages (Schlag 9) sehr homogen waren. Der durch das Herbizid selbst verursachte Ertragsverlust wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. Herbizidschäden an Kulturpflanzen wurden jedoch wiederholt beobachtet und quantifiziert. In weiteren Versuchen sollten diese Einflussfaktoren in den Entscheidungsprozess mit einfließen.

Applikationstechnik

In der landwirtschaftlichen Praxis werden zur Unkrautbekämpfung bisher Applikationstechniken eingesetzt, welche eine aus herbiziden Wirkstoffen gemischte Spritzbrühe ganzflächig gegen alle auf einem Ackerschlag vorkommenden Unkrautarten gleichmäßig ausbringen. Die Ursache liegt darin begründet, dass die kleinste Bewirtschaftungseinheit bisher der Ackerschlag ist und die heterogene Unkrautverteilung innerhalb von Ackerschlägen nicht berücksichtigt wird. So werden zwangsläufig Wirkstoffe in Nichtzielbereichen ausgebracht. Dieses ist aus ökonomischer und ökologischer Sicht nicht zu tolerieren.

Mit der dGPS gesteuerten Dreikammerspritze kann die Herbizidmischung in Abhängigkeit vom Zielunkraut auf Basis von Applikationskarten während der Fahrt automatisch gewechselt werden. Dadurch konnten in den Versuchen herbizide Wirkstoffe zielgenau gegen ausgewählte Unkräuter bzw. Unkrautgruppen eingesetzt werden und Nichtzielflächen wurden von der Unkrautbehandlung ausgelassen. Die Dosis wurde nach Schwellenwerten über die Variation des Betriebsdrucks an die jeweilige Unkrautdichte angepasst. Dieses führte zu hohen Einsparungseffekten.

Ein Problem bei diesem Ansatz liegt darin, dass die Variation der Wirkstoffdosis über einen möglichst weiten Regelbereich bei gleichbleibender Spritzqualität und einheitlicher Tropfenverteilung gewährleistet sein muss. Dieses System stößt jedoch aus zwei Hauptgründen an Grenzen und kann nicht beliebig weit ausgereizt werden. Einerseits erfordert die Quadratwurzelbeziehung zwischen dem Druck und dem Durchfluss durch

eine Düsenöffnung beispielsweise eine Erhöhung des Drucks um das Vierfache, um die doppelte Durchflussrate zu erhalten. Andererseits ist der Druckbereich, in dem herkömmliche Pflanzenschutzdüsen definierte Spritzeigenschaften aufweisen, begrenzt (MILLER, 2003a). Daher wurden anstatt der üblichen Standarddüsen, welche für eine ausreichende Tröpfchenverteilung nur eine geringe Variation des Drucks ermöglichen, luftunterstützte Düsen (Injektordüsen) verwendet. Im Gegensatz zu den Standarddüsen, die eine Dosisregulierung von +/- 20% zulassen, können luftunterstützte Düsen (z.B. Injektordüse oder Twin Fluid Düse) die Herbizidmenge um ca. +/- 50% variieren, da die Flüssigkeitstropfen in diesen Düsen mit Druckluft gemischt werden und somit eine gleichmäßigere Tropfengröße erreicht wird. Die Abdriftgefahr ist aus diesem Grunde ebenfalls reduziert (PAICE *et al.*, 1996).

Eine möglichst große Spannweite der Dosisvariation kann auch über mehrere Düsen unterschiedlicher Größe je Düsenposition am Spritzbalken erzielt werden (MILLER und PAICE, 1998). Durch eine Kombination von Düsengröße und Druck ist es möglich, für die entsprechende Aufwandmenge zu sorgen und dabei gleichzeitig bestimmte Zerstäubungs- und Verteilungseigenschaften aufrechtzuerhalten. Über einen Algorithmus wird dann die entsprechende Düse ausgewählt, bei dem die Leistungsdaten der Düsen, insbesondere Tropfengröße und Verteilungsqualität, als Grundlage für die Regelstrategie dienen. Dieser Ansatz kann erweitert werden, um anderen Einflussfaktoren, wie z.B. den Eigenschaften der Spritzflüssigkeit Rechnung zu tragen (MILLER, 2003b).

Einen sehr eleganten Lösungsweg, um Herbizide und Wirkstoffdosis an die aktuelle Verunkrautungssituation im Feld anzupassen, bieten die unter 2.2.2 angeführten Direkteinspeisungssysteme. Es ist anzunehmen, dass sich für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle zukünftig dezentrale Direkteinspeisungsvarianten durchsetzen werden. Der Vorteil dieser Variante gegenüber zentraler Direkteinspeisung liegt in der Verringerung der Reaktionszeit, da die Strecke zwischen Einspeisungsort und Zerstäuber verkürzt wird (SÖKEFELD *et al.*, 2004). Ein weiterer Vorteil von Direkteinspeisungssystemen im Allgemeinen besteht darin, dass vor der Applikation keine Information über die anzumischende Spritzmittelmenge erforderlich ist, da bei diesen Systemen keine Restmengen auftreten. Daher ist dieses System für sogenannte Onlineverfahren, in denen die Unkrautaufnahme und die Herbizidapplikation in einem Schritt erfolgt, besonders geeignet.

Nach GILES *et al.* (2002) liegt die größte Herausforderung für die präzise Applikationstechnik darin, einzelne Unkräuter innerhalb von Saatreihen gezielt mit selektiven Mitteln behandeln zu können. Dabei muss gewährleistet sein, dass Unkräuter nicht nur von der Kulturpflanze unterschieden, sondern auch effektiv bekämpft werden können,

ohne dass die Kulturpflanze vom Herbizid erfasst wird. Hierbei wird eine schnelle Reaktion der Applikationstechnik bei angemessener Fahrgeschwindigkeit und hoher räumlicher Auflösung des Zielunkrauts vorausgesetzt.

Basierend auf Arbeiten der California-Davis-Universität (LEE, 1998; LAMM, 2000) wurde ein Applikationssystem entwickelt, welches im Onlineverfahren einzelne Unkrautpflanzen innerhalb der Saatreihen bekämpfen kann. Bei diesem Ansatz wird das Ziel verfolgt, jedes Unkraut einzeln mit selektiven Mitteln erfassen zu können. Die Autoren verweisen darauf, dass zwischen den Reihen auch einfache Unkrauterfassungssysteme, welche nur Boden von Pflanzen unterscheiden können oder auch roboterbasierte mechanische Unkrautbekämpfungsvarianten eingesetzt werden können. Zuerst nimmt eine Kamera die Unkrautsituation innerhalb der Pflanzenreihe auf. Über einen Algorithmus werden dann Kulturpflanzen von Unkräutern unterschieden, wobei gleichzeitig eine „Mikrokarte“ mit Ortsbezug der Unkräuter generiert wird. Die Karte ist in Zellen mit einer Auflösung von 1,27 cm*0,64 cm aufgeteilt. Zellen, die behandelt werden müssen, werden programmintern markiert. Die Umsetzung der Applikation erfolgt über einen Mikrospritzbalken mit einer Breite von 10,61 cm, welcher in acht Mikroteilbreiten von je 1,27 cm Breite separiert ist. An jeder Mikroteilbreite befinden sich fünf Mikrodüsen. Jede Mikroteilbreite wird über ein individuelles elektrisches Hochgeschwindigkeitsmagnetventil angesteuert. Die Magnetventile können einen Puls von 10 Millisekunden Flüssigkeit realisieren.

Die Unkrautkontrolle innerhalb der Reihe wurde in Baumwolle bei einer Fahrgeschwindigkeit von 1,2 km/h im Onlineverfahren durchgeführt. Die Autoren geben an, dass eine höhere Fahrgeschwindigkeit aufgrund der benötigten Rechenzeit für die Erstellung der Spritzkarte bislang noch nicht möglich sei.

Diese Methode lässt sich sehr gut in hochwertigen Sonderkulturen einsetzen, in denen keine Unkräuter toleriert werden und selbst der Sicherheitsabstand zwischen Hackwerkzeug und Kulturpflanze chemisch behandelt werden muss.

Dokumentation

Die Landwirtschaft ist nach In-Kraft-Treten des Bundesnaturschutzgesetzes verpflichtet, ab 2005 eine schlagspezifische Dokumentation des Pflanzenschutzes durchzuführen. Laut ARTIKEL 18 der EU-VERORDNUNG 178/2002 zur Lebensmittelsicherheit ist die Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln und Futtermitteln in allen Produktions-, Verarbeitungs- und Vertriebsstufen sicherzustellen. Nach AHLERS (2003) gehören folgende Details in eine Pflanzenschutzschlagkartei:

Datum, Stadium der Kultur, Art und Weise der Maßnahme, Pflanzenschutzmittel, Witterungsbedingungen sowie Einschätzung der Wirkung des Pflanzenschutzmittels und Besonderheiten auf dem Schlag.

Bei jeder GPS-gesteuerten und kartenbasierten Herbizidapplikation mit der Dreikammerspritze fallen Dokumente in Form von Unkrautverteilungs- und Applikationskarten als Koppelprodukte an, auf denen der Applikationsjob und die Entscheidungsalgorithmen dokumentiert sind. Die Genauigkeit dieser Dokumente geht über die seit 2005 geforderte Aufzeichnungspflicht weit hinaus, da auch die Variabilität innerhalb des Schlages dokumentiert wird. Schlaginterne Besonderheiten wie die heterogene Unkrautverteilung werden erfasst und bei der Applikationsentscheidung mitbewertet. Die Applikationskarten resultieren aus der vorher aufgenommenen Unkrautverteilung nach bestimmten Entscheidungsalgorithmen. Alle Informationen und Entscheidungen sind durch die verwendeten GIS-Programme visualisiert. So lassen sich Herbizidanwendungen nachvollziehen und gegenüber der Gesellschaft begründen. Diese Art der Dokumentation ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass auf Dauer eine wettbewerbsfähige und von der Gesellschaft akzeptierte Landwirtschaft gewährleistet ist (BÖTTCHER, 2003).

Anbausystem

Aus der Dokumentation über die zeitliche Dynamik der Zielunkräuter (vgl. Abb 5.1) geht hervor, dass es in der untersuchten Felderfolge unter den beschriebenen teilschlagspezifischen Unkrautkontrollbedingungen nicht zu einer Zunahme der Populationsdichte kam. Als ein Grund ist der Einfluss der Felderfolge mit ihren natürlichen unkrautregulierenden Kräften zu nennen. DOUCET *et al.* (1999) stellen fest, dass die Felderfolge ein wichtiges zusätzliches Hilfsmittel zur Unkrautkontrolle neben dem Einsatz von Herbiziden ist. Sommerannuelle Unkrautarten wie z.B. *Chenopodium album* laufen verstärkt in Hackfruchtkulturen auf. Winterannuelle Unkrautarten sind dagegen verstärkt in Getreide zu finden (vgl. Abb. 5.2). Samen, die aus der bei der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle vorkommenden Restverunkrautung stammen und beispielsweise überwiegend in Hackfruchtkulturen keimen, überdauern in den Getreidejahren im Boden und sind somit über einen längeren Zeitraum dem Abbau unterworfen. Des Weiteren variieren in Fruchtfolgen die Art sowie die Zeit von Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle in Abhängigkeit der angebauten Kulturart, so dass es mehr Momente der Mortalität von Unkrautsamen gibt als in Monokulturen (MARTIN und FELTON, 1993). Dadurch kommt es zu Reduktionen des Samenpotenzials (LIEBMAN und DYCK, 1993; SCHREIBER, 1992).

In Monokulturen, in denen jedes Jahr die gleiche Kulturart angebaut wird, kommen die an die jeweilige Kulturart angepassten Unkrautsamen jedes Jahr in Keimstimmung. Wird zusätzlich über Jahre auf eine wendende Bodenbearbeitung verzichtet, akkumulieren ausgefallene Samen in der obersten Bodenschicht, wobei die kurzfristig zu erwartende Verunkrautung besonders vom Samengehalt der oberen 0-5 cm des Bodens beeinflusst wird (BUHLER, 1995, BUHLER *et al.*, 2001). Durch wendende Bodenbearbeitung wird dagegen eine Gleichverteilung der Samen über den gesamten bearbeiteten Horizont erreicht (KOCH, 1969; SCHMITZ, 1984; KNAB und HURLE, 1988; WAHL und HURLE, 1988; TERESIAK, 1990). In der oberen Bodenschicht sind dann wesentlich weniger Unkrautsamen zu finden, als in Anbausystemen ohne Pflug. Mit diesem Wissen lässt sich die starke Ausgangspopulation der Zielunkrautpopulationen in der pfluglos geführten Maismonokultur erklären, die schon vor den Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf dem Acker etabliert war. Nach BUHLER (1999a) ist der Einfluss von unterschiedlichen Unkrautbekämpfungsstrategien auf die Diasporenbank im Boden stark von der Ausgangsverunkrautung abhängig. Bei hohen Populationsdichten führt schon ein geringer Prozentsatz überlebender Unkräuter über die Samenbildung zu einem starken Eintrag in die Diasporenbank. Dieses führt wiederum zu einem Anstieg der Unkrautdichte.

Im Jahr 2001 wurden in der Maismonokultur (Schlag GH) nur unzureichende Bekämpfungserfolge gegen Unkräuter sowie gegen Ungräser erzielt (KROHMANN, 2004). Daraufhin wurde im Jahr 2002 ein sechs mal höherer Wert der durchschnittlichen Unkrautdichte gemessen. Die durchschnittliche Dichte der Ungräser war im Jahr 2002 eineinhalb mal höher als ein Jahr zuvor (vgl. Abb. 5.1). Dieses Ergebnis bestätigt die Aussagen von BUHLER (1999a). Aus diesem Grund wurde vor der Aussaat im Jahr 2003 eine wendende Bodenbearbeitung durchgeführt, um die Unkrautsamen in tiefere Bodenschichten zu bringen. So war es möglich, die Populationsdichte sowohl der Unkräuter als auch der Ungräser wieder auf das Ausgangsniveau zurückzuführen.

Hieraus lässt sich ableiten, dass teilschlagspezifische Unkrautkontrolle für Felderfolgen mit Getreideanteil und wendender Bodenbearbeitung empfohlen werden kann. In pfluglos geführten Maismonokulturen ist das System der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle aus den aufgeführten Gründen weniger geeignet.

Probleme der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle

Kritiker bezweifeln, dass teilschlagspezifische Unkrautkontrolle mit Managementsystemen, welche Vorauflaufbehandlungen praktizieren, vereinbar sei, da die Unkrautverteilung zuerst erfasst werden muss, um teilschlagspezifisch reagieren zu können. In

engen Felderfolgen mit Raps beispielsweise, in denen sich Unkräuter etabliert haben, welche im Nachauflauf nur mit Wirkstoffen zu bekämpfen wären, die auch dem Raps einen Schaden zufügen könnten, kann jedoch oft nicht auf Voraufaufbehandlungen verzichtet werden.

Wenn das Wissen über die Stabilität von Unkrautarten über mehrere Jahre (WILSON und BRAIN, 1991; GERHARDS *et al.*, 1997a) berücksichtigt wird, lässt sich vorstellen, dass bei ausreichendem Kartenmaterial über die Verunkrautung in einer Felderfolge, Applikationskarten abgeleitet werden und für teilschlagspezifische Voraufaufbehandlungen in Folgejahren eingesetzt werden könnten. Hierzu werden allerdings Expertensysteme benötigt, die abschätzen können, ob eine Ackerverunkrautung über Jahre hinweg stabil bleibt oder sich mit der Zeit verändert, damit die Verunkrautung für Folgejahre möglichst genau prognostiziert werden kann (vgl. COLBACH *et al.*, 2000). Ein weiteres Problem der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle ist die schlechte Verfügbarkeit von Einzelwirkstoffen. Viele Hersteller von Pflanzenschutzmitteln produzieren vorgefertigte Mischungen gegen „breite Mischverunkrautung“, sogenannte Combi-Packs, um den Landwirten eine Komplettlösung für ihre homogenen Schlagbehandlungen anbieten zu können. Die Suche nach einem geeigneten selektiven Wirkstoff gestaltet sich für einen Anwender der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle oft sehr schwierig, da die Nachfrage nach Einzelwirkstoffen, solange die Landwirte ihre Flächen noch homogen behandeln, klein bleibt. Des Weiteren kann es vorkommen, dass bestimmte Einzelwirkstoffe gegen Zielunkrautgruppen für einen bestimmten Behandlungszeitraum nicht zugelassen sind. An dieser Stelle sind die Hersteller von Pflanzenschutzmitteln sowie die Zulassungsbehörden gefragt, entsprechende Wirkstoffe bereitzustellen.

6.1.1 Die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung im praktischen Braugerstenanbau

Nachdem die Versuchsphase auf der Versuchsstation Dikopshof vielversprechende Ergebnisse zum Einsatz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle geliefert hat, wurde der Sprung in die Praxis gewagt. In Zusammenarbeit mit dem Braugerstenanbauverein Voreifel wurden auf einer Praxisfläche durch die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung zu realisierende Herbizideinsparungen ermittelt. Des Weiteren sollten unterschiedliche Schadschwellen auf ihre Eignung für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle überprüft werden.

Die Unkrautverteilungskarte auf der untersuchten Fläche zeigte ein sehr heterogenes Bild. Aus diesem Grund war eine Herbizidbehandlung auf weiten Flächenanteilen nicht erforderlich, so dass durch die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle hohe Herbizidein-

sparungsraten erreicht werden konnten. Durch den Einsatz der Dreikammerspritze war es möglich, auf die verschiedenen Herbizidempfindlichkeiten der einzelnen Unkrautgruppen mit jeweils separaten Mitteln reagieren zu können. So wurden Fehlapplikationen an Nichtzielpflanzen verhindert und Einträge von unnötig applizierten Herbizidmengen in die Umwelt, wie sie im konventionellen Pflanzenschutz üblich sind, ausgeschaltet. Die Bekämpfungserfolge bei den Gruppen der Ungräser sowie der Unkräuter lagen in einem zufriedenstellenden Bereich. Niedrige und somit nicht zufriedenstellende Bekämpfungserfolge gegen *Galium aparine* sowie *Cirsium arvense* zeigten sich sowohl in der teilschlagspezifischen Unkrautbehandlung als auch in der zum Vergleich angelegten Kontrollparzelle, in der die gesamte Fläche behandelt wurde. Daraus lässt sich schließen, dass das System der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle nicht für dieses Phänomen verantwortlich war. Als Erklärungsansatz für die geringen Bekämpfungserfolge ist die Spätverunkrautung zu nennen. Nach der Unkrautbehandlung kam es durch Regenereignisse auf dem vorher sehr trockenen Boden zu einer erneuten Auflaufwelle von *Galium aparine* sowie *Cirsium arvense*.

Im Feldversuch wurden unterschiedlich hohe Schadschwellen in einzelnen Unkrautgruppen auf ihre Eignung für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung untersucht. Hierbei wurde anstatt von klassischen Parzellenversuchsdesigns eine GIS-gestützte Versuchsanstellung zur Klärung der Forschungsfrage gewählt. Bei dieser Methodik wird die Variabilität innerhalb von Ackerschlägen, wie z.B. unterschiedliche Bodenarten, variable Unkrautdichten etc. als von der Natur vorgegebene Versuchsvarianten betrachtet und jeder Ackerschlag kann zum Versuchsstandort werden. Der Vorteil liegt darin, dass beliebig viele ertragsbestimmende Einflussfaktoren innerhalb von Ackerflächen mit Hilfe des Geoinformationssystems erfasst und getrennt voneinander studiert werden können. In klassischen Parzellenversuchen könnte diese Variabilität niemals erfasst werden. Daher wird hier versucht, Heterogenität auszuschalten und auf möglichst homogenen Standorten ausschließlich künstlich angelegte Versuchsvarianten zu überprüfen. GIS-gestütztes Versuchswesen, welches das bedeutendste Werkzeug im Bereich des „On-Farm Research“ ist (LUSCHEI *et al.*, 2001), „sucht“ dagegen die natürliche Heterogenität in Ackerflächen und bezieht diese in die Forschungsfragestellung mit ein (LEITHOLD, 2004). Diese Methodik ist besonders dazu geeignet, Auswirkungen kleinräumiger Bestandesführung, über die Verschneidung von unterschiedlichsten Informationsebenen auf allen landwirtschaftlichen Ackerschlägen zu untersuchen (daher der Name „On-Farm Research“).

Die GIS-basierten Ergebnisse zeigten, dass die Ertragswerte sowohl zwischen den untersuchten Schadschwellen als auch zwischen der homogenen Behandlung und der Nullvariante nicht stark variierten. Ebenso waren keine abgrenzbaren Ertragsunter-

schiede zwischen den mit Herbiziden behandelten und den nicht behandelten Bereichen auszumachen. Ein Erklärungsansatz für diese Beobachtung ist die Wirkung des Bodens. In Feldregionen mit besseren Böden liegen die Erträge höher, was sich sowohl in den erhobenen Ergebnissen zeigt als auch in der Literatur z. B. von KELM und TAUBE (2003) beschrieben wird. Bessere Bodenbereiche können mit ihrer Ertragswirkung somit die ertragsschädigende Wirkung von höheren Unkrautdichten in den unbehandelten Bereichen abpuffern. Da die Versuchsanordnung jedoch so gewählt worden ist, dass die Prüffaktoren relativ gleichverteilt in den Bodenklassen vorkamen, ist die Bodenwirkung hier nur von marginaler Bedeutung. Die Ergebnisse geben vielmehr einen Hinweis darauf, dass die Schadschwellen bezüglich des Ertrags noch zu niedrig angesetzt wurden und man in Braugerste einen höheren Unkrautdruck tolerieren kann.

Vergleicht man die Auswirkung der Restverunkrautung auf den Ertrag, ist festzustellen, dass lediglich bei *Galium aparine* sowie *Cirsium arvense* eine tendenzielle Ertragsreduktion, diese jedoch erst ab einer relativ hohen Dichte, auftrat. *Galium aparine* reagiert sehr stark auf Stickstoff. Da im Braugerstenanbau der Einsatz von Stickstoff auf ein notwendiges Minimum beschränkt wird, konnte *Galium aparine* die eigentliche Konkurrenzwirkung nicht entfalten. Der Ertragsanstieg mit zunehmender Dichte bei der Gruppe der sonstigen Unkräuter lässt sich durch die Bodenwirkung erklären, da eine hohe Dichte dieser Unkrautgruppe nur im Bereich des besseren Bodens gefunden wurde.

Durch *Cirsium arvense* sowie *Avena fatua* sank der Vollgerstenanteil unter den geforderten Grenzwert von 90%. Beim Eiweißgehalt war ebenfalls eine Reduktion durch die beschriebenen Unkrautgruppen zu verzeichnen. Dieses Phänomen wurde auch schon von GRUNDY *et al.* (1996) gefunden. Wenn die geforderten Qualitätskriterien im Braugerstenanbau nicht erfüllt werden, kann dieses Produkt nur noch als Futtergerste vermarktet werden und erzielt einen deutlich niedrigeren Preis. Ein niedriger Proteingehalt scheint zwar auf den ersten Blick positiv zu bewerten zu sein, bedenkt man jedoch, dass eine Eiweißmenge von über 9% für die optimale Hefeernährung während des Gärvorganges erforderlich ist (SOMMER, 1972), relativiert sich dieser erste Eindruck.

Die hohen Herbizideinsparungspotenziale zeigen, dass die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in Bezug auf die Forderung der umweltgerechten Produktion optimal für den Braugerstenanbau geeignet ist. Da die geprüften Schadschwellen nicht zu einer signifikanten Reduktion des Ertrags führten, kann man vermuten, dass hier die obere Grenze noch nicht erreicht ist. Die Ergebnisse der Restverunkrautung auf die Qualitätsparameter geben jedoch Anlass dazu, die Schadschwellen nicht mehr allein auf die

ökonomischen Verluste, die mit einer Ertragsreduktion einhergehen, zu beziehen, sondern die Qualitätsparameter in dieses Konzept mit aufzunehmen, da der erzielbare Erlös wesentlich stärker von den Qualitätskriterien abhängt als vom Ertrag.

6.1.2 Einsatz satellitengestützter Fernerkundung zur Früherkennung eines teilschlagspezifischen Herbizidschadens in Mais

Herbizidapplikationen haben in vielen Fällen negative Auswirkungen auf die Kulturpflanze (GERHARDS *et al.*, 1995; DONALD, 1998), welche sich in Ertragsdepressionen widerspiegeln (HOLZMANN, 1987; MERKELBACH und HEYLAND, 1988). Herbizidbedingte Schädigungen an Kulturpflanzen werden in der Praxis jedoch oftmals unterbewertet, da homogene Flächenbehandlungen keinen visuellen Vergleich zwischen behandelten und nicht behandelten Flächenanteilen zulassen. Durch den Einsatz hochauflösender Fernerkundung konnten in einem teilschlagspezifisch behandelten Maisschlag schon sehr früh Regionen, welche mit einem Sulfonylharnstoff behandelt wurden, von unbehandelten Feldbereichen diskriminiert werden. Der NDVI, welcher ein Maß für die Biomasse ist, zeigte ca. vier Wochen nach der Applikation in den behandelten Bereichen geringere Werte auf, als in unbehandelten. Der hohe Korrelationskoeffizient zwischen Ertrag und NDVI lieferte einen guten Hinweis darauf, dass herbizidbedingte Biomassereduktionen zu Ertragsverlusten führen und somit schon sehr früh detektiert werden können.

Methoden zur visuellen Abschätzung von Herbizidschäden an Kulturpflanzen sind in der Literatur beschrieben (CAMPER, 1986). Personengebundene visuelle Bonituren sind jedoch durch die individuellen Schätzungen der unterschiedlichen Boniteure oftmals fehlerbehaftet. Sie haben keinen absoluten Vergleichsstandard, der sich nicht über die Zeit oder bei wechselnden Boniteuren ändert und können daher auch nicht numerisch mit Ertragsverlusten in Beziehung gesetzt werden (THEUNISSEN und LEGUTOWSKA, 1992). Mit Hilfe von Fernerkundung in Verbindung mit Geoinformationssystemen sind objektive Bonituren möglich, welche sich in numerischer Art und Weise kalibrieren lassen. Dadurch können die Ergebnisse in Entscheidungsmodelle, wie bei CHRISTENSEN *et al.* (2003) beschrieben, eingesetzt werden.

In dieser Studie war die räumliche Auflösung der Ertragskarte jedoch zu gering, um eine genaue Prognose zum absoluten Ertragsverlust abgeben zu können. Dieses muss in Zukunft verbessert werden. Auf die frühzeitige Information, in welchen Feldbereichen mit einem Ertragsverlust zu rechnen ist, kann der Landwirt sehr früh in seiner weiteren Bestandesführung reagieren und den ökonomischen Verlust durch zielgenaue Gegenmaßnahmen abmildern. An dieser Stelle besteht großer Forschungsbedarf, da ermittelt werden muss, wie auf unterschiedliche Herbizidschäden zu reagieren ist.

Die gefundenen Ergebnisse untermauern die Argumente zur Reduzierung des Einsatzes von Herbiziden auf landwirtschaftlichen Schlägen und zur Weiterentwicklung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle. Zusätzlich lässt sich aus den Ergebnissen konstatieren, dass ein enormes Potenzial in satellitengestützten räumlich und zeitlich hochauflösenden Fernerkundungssystemen für den präzisen Pflanzenschutz zu sehen ist (KÜHBAUCH, 2002).

6.2 Untersuchungen zur Populationsdynamik von Unkräutern

Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle darf langfristig nicht zu einer erhöhten Folgeverunkrautung führen, da die anfangs hohen Herbizideinsparungen zwangsläufig von Jahr zu Jahr geringer ausfallen würden und so die positiven ökologischen und ökonomischen Effekte nicht nachhaltig realisierbar wären. Um die langfristigen Auswirkungen teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle zu untersuchen und Managemententscheidungen zu finden, welche ein von Kritikern befürchtetes Folgeverunkrautungsproblem abwenden, bedarf es verifizierter Prognosemodelle. Die Untersuchung der Stationen des Unkrautzyklusses und damit das Wissen über die Auswirkung von unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Unkrautpopulationsdynamik ist Basis für eine erfolgsversprechende Prognose von Verunkrautungsszenarien in Folgejahren, gerade unter teilschlagspezifischen Unkrautkontrollbedingungen.

Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse zum Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf Dynamik und Samenbildung von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica* näher beleuchtet. Des Weiteren wird der Vergleich von Stoppelbearbeitung zu unterlassener Stoppelbearbeitung und der Einfluss von Prädatoren bei der Reduktion von Unkrautsamen zwischen Ernte der Hauptfrucht und Aussaat der Folgefrucht diskutiert. Abschließend werden die Prognoseergebnisse, welche auf eigenen Untersuchungen sowie in der Literatur beschriebenen populationsdynamischen Parametern basieren, am Beispiel der für diese Untersuchungen selektierten Unkrautarten besprochen.

6.2.1 Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf die zeitliche Dynamik sowie die Samenbildung von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica*

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass *Galium aparine* auch mit einer verminderten Aufwandmenge sowohl in Sommergetreide als auch in Brache ausreichend kontrolliert werden kann. Die These, dass Getreide Unkräuter durch Konkurrenzwirkung unterdrücken kann, da es frühzeitig geschlossene Bestände bildet, die eine starke

Lichtkonkurrenz auf auflaufende Unkräuter ausüben (KLAPP, 1967; ZIMDAHL, 1980; HEITEFUSS, 1986), konnte für *Galium aparine* auf den ersten Blick nicht bestätigt werden. Ganz im Gegenteil dazu scheint die Konkurrenz des Getreides für dieses Unkraut eher förderlich gewesen zu sein, da in Getreide innerhalb der Herbizidkontrolle signifikant mehr Samen gebildet worden sind als in Brache und der gleichen Pflanzenschutzvariante. Im zweiten Versuchsjahr war zu Vegetationsbeginn nach Saat der Deckfrucht auf der Fläche in Sommergetreide ein statistisch gesichert vielfach höherer Anteil an Individuen von *Galium aparine* zu finden als in den Bracheflächen. Durch die hohe Samenbildung in der Deckfruchtvariante gab es hier einen wesentlich stärkeren Eintrag von Unkrautsamen in den Boden als in der Brachevariante, womit der hohe Anstieg der Individuendichte im zweiten Jahr in der Kontrollvariante zu erklären ist. Mit *Eschscholzia californica* verhielt es sich genau gegenteilig zu *Galium aparine*. Innerhalb der Brachevariante konnte sich *Eschscholzia californica* stark ausbreiten und seine Individuendichte durch die hohe Samenbildung in dieser Variante bis zum Vegetationsbeginn, vor der Saat des Sommergetreides im zweiten Versuchsjahr, stark erhöhen. In der Deckfrucht wurden wesentlich weniger Samen gebildet. *Eschscholzia californica* ist in dieser Variante durch die starke Konkurrenz des Sommergetreides unterdrückt worden. Die besten Bekämpfungsergebnisse wurden hier somit durch die Konkurrenzwirkung des Sommergetreides erreicht. Wie schon unter 6.1.2 erwähnt, reagiert *Galium aparine* sehr stark auf Stickstoff. FRANZ *et al.* (1990) beobachteten in Winterweizen bei *Galium aparine* eine erhöhte Samenbildung der Unkrautpflanzen nach einer Steigerung der Stickstoffgabe von 90 auf 170 kg N/ha; der Samenertrag stieg dabei relativ stärker an als der Weizenertrag. Hohe Düngung führt nach RADICS (1990) langfristig zu einer Abnahme der Unkrautartenzahl in der Ackerflora, wobei nitrophile Arten wie *Galium aparine* gefördert werden. Er konstatiert weiter, dass die Düngung die Verunkrautung jedoch nur indirekt über die Kulturpflanzenentwicklung beeinflusst. *Eschscholzia californica* dagegen gehört zu den Papaveraceen und ist eine Pflanze, welche an Magerstandorte angepasst ist.

In dieser Untersuchung wurden 80 kg N/ha innerhalb der Parzellen der Getreidevariante appliziert, während in der Brachevariante kein Stickstoff gedüngt worden ist. Die höhere Vermehrungsrate von *Galium aparine* in Getreide gegenüber der Brache lässt sich bei genauerer Betrachtung also wahrscheinlich eher durch das höhere Angebot an Stickstoff erklären und nicht nur durch die Konkurrenz des Getreides, wie auf den ersten Blick vermutet wurde. In der ungedüngten Brachevariante fand *Eschscholzia californica* optimale Wachstumsbedingungen vor, konnte sich wesentlich besser entwickeln als *Galium aparine* und dieses Unkraut stark unterdrücken, so dass *Galium aparine* innerhalb der Brachevariante in der Entwicklung gehemmt war.

Wenn man die Dynamik von *Eschscholzia californica* und *Galium aparine* zwischen Herbst 2002 und Frühjahr 2003 miteinander vergleicht, stellt man fest, dass nur extrem wenige Individuen von *Galium aparine* sowohl im Herbst als auch im Frühjahr vor der Saat der Deckfrucht aufgelaufen sind. In der Brachevariante war bei *Eschscholzia californica* eine hohe Auflaufwelle mit ca. 200 Pfl./m² im Herbst 2002 (T3) und zum Frühjahrstermin (T4) vor Saat der Deckfrucht noch einmal eine auf das Fünffache erhöhte Zunahme der Individuendichte festzustellen. Die geringen Auflaufraten von *Galium aparine* sowohl zum Herbst- (T3) als auch zum Frühjahrstermin (T4) lassen sich mit der Dormanz erklären, welcher klassische und nicht züchterisch bearbeitete Unkrautarten unterworfen sind (vgl. 2.3). Außerdem benötigt *Galium aparine* zur Keimung einen Kältereiz, der im Herbst wahrscheinlich noch nicht in ausreichendem Maße gegeben war (VÄTH, persönliche Mitteilung).

Eschscholzia californica wurde nachweislich vor fünf Jahren in die Versuchsfläche eingeschleppt, da es auf der gleichen Fläche für den Zierpflanzenanbau vermehrt wurde und der Ausfall von Samen beim Mähdrusch zu einem Sameneintrag in den Boden geführt hat. Durch die vorangegangene züchterische Bearbeitung dieser Pflanze ist wahrscheinlich die Dormanz der Samen stark herabgesetzt sowie eine hohe Keimfähigkeit erreicht worden. Dadurch lassen sich die hohen Auflaufraten zum Herbst- und Frühjahrstermin erklären. Durch die vor der Saat der Deckfrucht auch in der Brachevariante durchgeführte Bodenbearbeitung sind die aufgelaufenen Individuen dieser Unkrautart wieder vernichtet worden. Zum Vegetationstermin (T5) waren dann keine „überschüssigen“ Samen mehr im Boden, so dass die durchschnittliche Unkrautdichte in Brache wieder mit dem Vorjahresniveau vergleichbar war.

Aus den gefundenen Ergebnissen lässt sich schließen, dass Herbizide, Konkurrenz und Düngung die Dynamik von einzelnen Unkrautarten unterschiedlich beeinflussen, was bei der Prognose der Unkrautdichte für jedes Unkraut individuell berücksichtigt werden muss. Ergebnisse zur zwischenpflanzlichen Konkurrenz, zur Unterdrückung in Getreide und Zuckerrüben (WERNER, 1985; AHLERS, 1986; MERKELBACH, 1990), welche zeigen, dass die Konkurrenzverhältnisse von den beteiligten Arten sowie der Nährstoffversorgung abhängen, konnten bestätigt werden.

Des Weiteren ging aus den Untersuchungen hervor, dass das Problemunkraut *Galium aparine* auch mit der verminderten Aufwandmenge (60%) ausreichend bekämpft werden konnte, so dass abzuleiten ist, dass die Aufwandmenge bei der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle gegen diese Unkrautart noch reduziert werden kann.

In gedüngten Getreidebeständen hat eine hohe Bestandsdichte keine unterdrückende Wirkung auf *Galium aparine*, so dass die Taktik der Bekämpfung dieses Unkrauts

durch Erhöhung der Konkurrenzkraft des Kulturpflanzenbestandes nicht als natürliche Bekämpfungsstrategie berücksichtigt werden kann. Dieses sollte ebenfalls in Prognosemodellen berücksichtigt werden.

Eschscholzia californica sollte auf seine Eignung als Begrünungspflanze für Bracheflächen überprüft werden, da sich gezeigt hat, dass die resultierende Folgeverunkrautung mit einfachen ackerbaulichen Maßnahmen, ohne chemischen Pflanzenschutz, leicht zu beherrschen ist. Diese Pflanze wird in dichten und mit Stickstoff gedüngten Getreidekulturen nicht zu einem Problem. Darüber hinaus würde ihr Anbau zu einem farbenfrohen Landschaftsbild beitragen.

6.2.2 Zur Frage des Schicksals von Unkrautsamen zwischen Ernte und Herbstbestellung mit und ohne Stoppelbearbeitung unter Berücksichtigung des Einflusses von Prädatoren

Die Ergebnisse zeigen, dass die Stoppelbearbeitung nicht grundsätzlich das Mittel der Wahl ist, wenn es darum geht, in den Unkrautzyklus eingebrachte Samen zwischen Ernte und Herbstbestellung der Folgekultur unschädlich zu machen. Im Jahr 2002 wurden 97% der Samen von *Galium aparine* durch Stoppelbearbeitung zum Keimen gebracht und dadurch vernichtet. Diese hohe Unkrautbekämpfungsrate durch Stoppelbearbeitung konnte jedoch für *Galium aparine* im Jahr 2003 nicht bestätigt werden. Ganz im Gegenteil dazu ist in diesem Jahr durch Stoppelbearbeitung so gut wie kein Samen von *Galium aparine* zum Keimen gebracht worden und konnte somit dem Unkrautzyklus nicht entzogen werden. Eine alte Bauernregel besagt, dass nasse Jahre Unkrautjahre sind. Die Ursache liegt darin begründet, dass die keimungsfördernde Wirkung einer hohen Bodenfeuchte auch Problemunkräuter mit einer hohen Ertragsgefährdung, wie z.B. *Galium aparine*, bevorteilt (KOCH, 1970). In trockenen Jahren ist demgegenüber die Keimung von Unkräutern stark gehemmt (ROBERTS und POTTER, 1980). Betrachtet man das Klimadiagramm des Versuchszeitraumes, stellt man fest, dass das Jahr 2002 eher nass war, während sich das Jahr 2003 als extrem trockenes Jahr herausstellte, so dass die Bodenfeuchte mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht ausreichend war, um die Unkrautkeimung zu induzieren. Dadurch konnte durch Stoppelbearbeitung kein befriedigendes Ergebnis erzielt werden.

Wird auf Stoppelbearbeitung verzichtet, wie es z.B. bei Direktsaatsystemen der Fall ist, kann die auf dem Boden verbleibende Unkrautsamenmenge auch durch Prädatoren wie Vögel, Nagetiere und sonstigen Bodenlebewesen reduziert werden. In dieser Studie wurde u.a. untersucht, wie hoch die Reduktionsrate von Unkrautsamen bei Verzicht auf Stoppelbearbeitung durch Prädatoren ist und welche Rolle die einzelnen Prädatoren dabei spielen. Es wurde festgestellt, dass die erreichbaren Verlustraten bei den

klassischen Unkrautsamen unter Einbezug beider Versuchsjahre zwischen 9% (*Galium aparine* 2003) und ca 80% (*Viola arvensis* 2003) lagen. Die höchsten Prädationsraten wurden durch Vögel und Nagetiere erreicht - kleine Bodenlebewesen spielten bezüglich der Reduzierung von Unkrautsamen eine untergeordnete Rolle. Diese Beobachtung stimmt mit den von LUTMAN *et al.* (2002) gefundenen Ergebnissen zur Nachernteprädation von *Avena fatua*-Samen sowie der von WESTERMAN *et al.* (2003) durchgeführten Analyse zur Bedeutung von wirbellosen Prädatoren auf die Unkrautsamenreduktion überein. Die durch kleine, wirbellose Bodenlebewesen und insbesondere Genetzte Ackerschnecken (*Deroceras reticulatum*) hervorgerufenen Reduktionsraten bei Getreidekaryopsen war dagegen mit Werten bis zu 100% Verlust beachtlich hoch. Durch diese Prädatorengruppe konnten in beiden Versuchsjahren, ebenso wie durch Vögel und Nagetiere, höhere Samenreduktionsraten erreicht werden als durch Stoppelbearbeitung.

In Felderfolgen mit aufeinander folgenden Getreidekulturen ist die Bekämpfung von auflaufenden Samen der Vorfrucht insbesondere auf Vermehrungsflächen für Pflanzenzüchter, wo nur ein marginaler Prozentsatz an Fremdbesatz geduldet wird, problematisch. Es stehen keine Herbizide zur Verfügung, welche die eine Getreideart innerhalb der anderen Getreideart, wie z.B. Weizenpflanzen in einem Gerstenbestand, bekämpfen könnten. Daher ist es besonders wichtig, die beim Mähdrusch ausfallenden Samen vor der Herbstbestellung der Folgekultur unschädlich zu machen. Besonders in Gebieten, in denen alljährlich mit hoher Sommertrockenheit zu rechnen ist, wie es in weiten Teilen des Ostens von Deutschland der Fall ist, kann dieses Ziel durch Stoppelbearbeitung auf Grund von Wassermangel oftmals nicht erreicht werden. Hier sollte der Grubberverzicht und die Wirkung von Prädatoren noch näher untersucht werden. Ebenso, wie unter 6.2.1 beschrieben, müssen die Varianten mit und ohne Stoppelbearbeitung in Verbindung mit Witterungsverhältnissen bei der Prognose von Unkrautverteilungsszenarien in Folgejahren berücksichtigt werden.

6.2.3 Verifizierung von Prognosemodellen zur Vorhersage der Unkrautverteilung

Modelle zur Pflanzenökologie werden entwickelt, um Wirkungszusammenhänge zu veranschaulichen und Auswirkungen von Eingriffen in biologische Systeme abschätzen zu können. Die Zielsetzung besteht meist darin, Auswirkungen pflanzenbaulicher Maßnahmen zu simulieren, um dem landwirtschaftlichen Praktiker sowohl bei dessen langfristigen Anbauplanungen als auch bei produktionstechnischen Entscheidungen zu unterstützen (MACFADYEN, 1973; RICHTER, 1985). In der herbologischen Forschung besteht großes Interesse an verifizierten Modellen, welche sichere Prognosen von Verunkrautungsszenarien in Folgejahren bei Unterstellung festgelegter

Managementstrategien erlauben. So muss die Auswirkung teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle auf die Folgeverunkrautung abgeschätzt werden können, damit die Bestandesführung so angepasst wird, dass durch teilschlagspezifische Unkrautkontrolle auch dauerhaft hohe Herbizideinsparungen realisiert werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollten das Modell zur Populationsdynamik nach ZWARGER und HURLE (1988) sowie ein neu entwickeltes populationsdynamisches Modell namens „WEED PROGNOSIS“ mit Hilfe von erhobenen Daten über die Unkrautverteilung aus eigenen Versuchen sowie populationsdynamischen Parametern aus Literaturquellen verifiziert werden. Bisher wurden nur wenige Versuche zur Validierung von Modellen anhand unabhängig von der Parameterschätzung erhobener Datensätze vorgenommen. RAUBER (1978) konnte mit seinem dichte-basierten Flughafermodell die zeitliche Dynamik von *Avena fatua* über eine Zeitreihe von fünf Jahren im Trend sehr gut nachbilden, wobei Jahresschwankungen in der Auflafrate zu einer Streuung der real erhobenen Daten um den simulierten Befallsverlauf führten. Bei dem von ZWARGER und HURLE (1988) verwendeten Modellierungsansatz wurde ebenfalls die Dichte von Unkräutern als Schlüsselvariable berücksichtigt. Über einen Unkrautdichtewert zu Beginn der Simulation wurden der Wechsel der Unkrautdichte bzw. neue Werte für die Unkrautdichte berechnet. Mit diesem Modell verglichen ZWARGER und HURLE (1990) die erhobenen Befallsverläufe von sechs Unkrautarten in verschiedenen Fruchtfolgen mit eigenen Simulationsergebnissen und konnten die Abundanzverläufe im Trend ebenfalls gut nachbilden, während in Einzeljahren deutliche Abweichungen von den empirisch ermittelten Daten zu beobachten waren.

In der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Studie war die Schlüsselvariable des gleichen Modells jeweils die über alle Rasterpunkte gemittelte durchschnittliche Unkrautdichte des Gesamtschlages. In der Maismonokultur war jedes Unkraut nahezu den gleichen Umweltbedingungen ausgesetzt. Auf Grund der hohen Unkrautdichte, welche schon zu Beginn der Untersuchung beobachtet worden war, musste das Feld in fast jedem Jahr homogen mit Herbiziden behandelt werden. Der pfluglose Anbau von Mais in jedem Jahr führte ebenfalls zu homogenen Verhältnissen bezüglich der Samenverteilung in der obersten Bodenschicht der Diasporenbank. Für die in dieser Studie selektierten Unkrautarten *Echinochloa crus-galli* und *Chenopodium album* konnte der Trend der zeitlichen durchschnittlichen Unkrautdynamik daher gut nachgezeichnet werden und die Prognose ist hier somit gut gelungen. In der Felderfolge lagen dagegen sehr heterogene Verhältnisse vor, welche schon durch den Fruchtwechsel bedingt waren. Aus den schon beschriebenen Ergebnissen zur Populationsdynamik geht hervor, dass Unkräuter an bestimmte Kulturarten angepasst sind. Diese Tatsache konnte von dem verwendeten Modell nicht berücksichtigt werden. Ebenfalls war es mit dem Modell nicht

möglich, die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle innerhalb der Fläche zu erfassen. Damit lassen sich Fehlprognosen in der Felderfolge erklären.

Für die Abschätzung des Einflusses teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle auf die weitere Entwicklung der Unkrautdynamik sind Modelle erforderlich, welche die räumliche Unkrautverteilung sowie zusätzliche demografische Einflussfaktoren mit berücksichtigen. Dieses war bei den oben aufgeführten Modellen nicht der Fall.

DUNKER *et al.* (2002) konnten mit ihrem Modell, welches mit einem zellulären Automaten gekoppelt war, die räumliche Ausbreitung (Bodeneigenschaften, pH-Wert) in die Abschätzung der Populationsdynamik von *Alopecurus myosuroides* mit einbeziehen. Durch Berücksichtigung zusätzlicher edaphischer Faktoren (Bodeneigenschaften, pH-Wert) konnten sie die Simulationsergebnisse an die erhobenen Daten der Fläche annähern und dadurch verbessern. Sie geben an, dass diese Art von populationsdynamischen Modellen interessant für Arten ist, die eine gut zu umgrenzende, beschränkte Ausbreitungsfähigkeit besitzen. Demgegenüber ist bei spät reifenden Arten, bei denen ein hoher Anteil an Diasporen durch den Mähdrescher verteilt wird, eine Einschätzung der Ausbreitung der Diasporen schwieriger (REW und CUSSANS, 1997).

Mit Hilfe des Prognosemodells „WEED PROGNOSIS“ wurde in dieser Arbeit für jeden Rasterpunkt der herangezogenen Versuchsschläge 8 und 9 automatisch eine Einzelprognose aufgestellt, so dass in einem zweiten Schritt aus den Einzelwerten Verteilungskarten für die einzelnen Jahre erstellt werden konnten. Die prognostizierten Unkrautverteilungen von *Chenopodium album* zeigten in nahezu jedem Jahr hohe Übereinstimmungsraten mit den auf erhobenen Daten basierenden Karten. Korrelationen zwischen den realen und prognostizierten Rasterdaten waren mit einer Ausnahme in allen Fällen signifikant. Die erfreulichen Prognoseergebnisse waren insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Bekämpfungserfolge an jedem Rasterpunkt berücksichtigt wurden und kein fehlerbehafteter Durchschnittswert auf alle Rasterpunkte angewendet wurde. Des Weiteren konnten über die Verrechnung der angenommenen Auflafrate von 3% mit der kulturartbedingten Keimungswahrscheinlichkeit, die wiederum aus den durchschnittlichen Auflafraten von *Chenopodium album* von verschiedenen Schlägen in verschiedenen Jahren und Kulturen abgeleitet worden ist, zutreffende kulturartbedingte Keimungsraten ermittelt werden. Diese kulturartbedingten Keimungsraten wurden dann in jedem Jahr mit allen Rasterpunkten verrechnet.

Die aus den prognostizierten Unkrautverteilungskarten abgeleitete Applikationsentscheidungen waren im Untersuchungszeitraum an 80-100% der Zählstellen richtig. Unrichtige Applikationsentscheidungen waren in den überwiegenden Fällen durch eine

Überschätzung der Verunkrautung bedingt. In solchen Fällen würden Herbizide auf Teilflächen appliziert, die eigentlich nicht behandelt werden müssten. Dieser Fehler ist jedoch in seiner Auswirkung nicht so dramatisch wie eine modellbedingte Unterschätzung der Verunkrautung. Im ersteren Fall wäre man auf der sicheren Seite, die Herbizideinsparungen wären jedoch verringert. Bei einer Unterschätzung würde es zu Ertragseinbußen und zu Einträgen von Unkautsamen in die Diasporenbank des Bodens kommen, was sicherlich insgesamt für die Aufrechterhaltung von langfristigen Herbizideinsparungen schädlicher wäre.

Jedes Simulationsprogramm ist nur so gut wie die zu Grunde liegenden Versuchsdaten. Unsicher ist zur Zeit die Schätzung des Samenvorrats am Beginn der Simulation. In dieser Untersuchung wurde der Bodensamenvorrat je Rasterpunkt jeweils aus dem Jahr mit der höchsten Verunkrautung des Beobachtungszeitraums bei Unterstellung einer Auflauftrate von 3% berechnet und an den Beginn der Simulation gestellt. Hier sollten in Zukunft reale Erhebungen durchgeführt werden. Dieses war aus arbeitswirtschaftlichen Gründen jedoch in dieser Studie nicht möglich. Dabei sollte die Verteilung der Samen im Boden über verschiedene Tiefen berücksichtigt werden, da die Tiefenverteilung ein wesentlicher Effekt unterschiedlicher Bodenbearbeitung ist (PEKRUN *et al.*, 2000). Außerdem muss berücksichtigt werden, dass alle Populationsentwicklungen verschiedensten Zufälligkeiten unterliegen, die durch Modelle nicht vorausgesagt werden können. Solche Faktoren sind z.B. die Witterung oder Schaderreger, die räumlich und zeitlich variabel auftreten können. Stochastische Modelle (PAICE *et al.*, 1998; CHRISTENSEN *et al.*, 1999), bei denen die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den verschiedenen Stadien durch Zufallswerte ersetzt werden, um die Streuung der Simulationsausgänge zu erfassen, können diese Faktoren zumindest in einem gewissen Rahmen mit einbeziehen. Für die Entwicklung von Bewirtschaftungskonzepten und das Testen der Wirkung dieser Konzepte auf die räumliche und zeitliche Dynamik von Unkrautarten dürfte ein Modell wie „WEED PROGNOSIS“ jedoch völlig ausreichen.

Die Validierungsergebnisse am Beispiel von *Chenopodium album* haben insgesamt gezeigt, dass das Modell funktioniert und es zur Abschätzung von Folgeverunkrautungsszenarien eingesetzt werden kann. Somit steht ein neues Werkzeug zur Verfügung, welches einen wichtigen Beitrag zur Optimierung von Managementstrategien leisten kann, um die durch teilschlagspezifische Unkrautkontrolle zu erzielenden ökonomischen und ökologischen Vorteile langfristig zu sichern.

6.3 Ausblick

Es hat sich gezeigt, dass durch teilschlagspezifische Unkrautkontrolle hohe Herbizideinsparungen zu realisieren sind. Durch die neue Dreikammerspritze wurde ein praxistauglicher Wirkstoffwechsel realisiert. Der Ansatz, einen Wirkstoffwechsel während der Überfahrt durchzuführen, sollte durch neue Direkteinspeisungssysteme verbessert werden (vgl. SÖKEFELD *et al.*, 2004). In Verbindung mit automatischen, kameragestützten Unkrautbonitursystemen, wie unter Punkt 2.2.1 beschrieben, könnten so schlagkräftige Onlineverfahren entwickelt werden, welche die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in einer Überfahrt möglich machen würden. Das Restmengenproblem von Spritzmittelbrühen, welches bei einer Online-Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle mit der Dreikammerspritze gegeben wäre, könnte durch bedarfsgerechte Direkteinspeisung von konzentrierten Wirkstoffen in den Wasserstrom gelöst werden, da hier ein Anmischen von Spritzbrühen, deren Mengen vor der Applikation an die zu behandelnde Fläche angepasst werden müssten, entfällt.

Wenn es in Zukunft gelingen sollte, die Verteilung auch anderer Unkrautarten zu prognostizieren, könnten mit Hilfe des Modells „WEED PROGNOSIS“ Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden. So könnte ermittelt werden, welchen Einfluss die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle unter wechselnden Anbaubedingungen auf die Folgeverunkrautung hat. Hierbei sollte verstärkt die räumliche Dynamik von Unkrautpopulationen innerhalb von Ackerflächen berücksichtigt werden. Die Beschreibung von Größe, Ausbreitungsrichtung und Form eines Unkrautnestes ist mit den bisher üblichen Verfahren noch unzureichend (KROHMANN, 2003). Wenn überhaupt eine Definition für ein Unkrautnest besteht, so wird eine Aggregation von Unkräutern in einer bestimmten Dichte, die rein durch den optisch subjektiven Eindruck des Betrachters wahrgenommen wird, als Unkrautnest bezeichnet. Vielfach wird mit Hilfe von Variogrammen versucht, das heterogene bzw. nesterförmige Auftreten von Unkräutern zu untermauern (JOHNSON *et al.*, 1995b; COLBACH, 2000). Mit Hilfe von Bildanalysesoftware in Verbindung mit Geoinformationssystemen ist es möglich, objektive Zahlen zur Beschreibung einzelner Unkrautnester zu erheben. So lassen sich präzise Aussagen über Flächengröße, Ausdehnungsrichtung und Schwerpunkt ausgewählter Unkrautaggregationen je Schlag und Versuchsjahr bestimmen (KROHMANN, 2003). Diese „neuen“ Kenngrößen könnten als zusätzliche Parameter in das Modell „WEED PROGNOSIS“ zur Prognose von Unkrautszenarien in Folgejahren einfließen und somit die Aussagefähigkeit weiter verbessern. Des Weiteren könnte „WEED PROGNOSIS“ an ein GIS gekoppelt werden, welches die Unkrautverteilungen direkt visualisieren, Applikationskarten ableiten und Herbizideinsparungen berechnen kann. Die Erhebung

von Unkrautverteilungen könnten zumindest zeitweise durch Prognosen ersetzt werden.

Weiterhin sollten die in dieser Arbeit gefundenen Ergebnisse über ertragsschädigende Einflüsse von Herbiziden genauer überprüft und Maßnahmen zur frühzeitigen Prognose und Abmilderung durch entsprechende Bestandesführung erforscht werden. Schwellenmodelle müssen an die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle angepasst und mit Prognosesystemen gekoppelt werden. Hierbei sollten Faktoren wie Qualitätsbeeinflussung des Erntegutes, ertragsschädigender Nebeneffekt von Herbiziden etc. mitberücksichtigt werden.

Es hat sich gezeigt, dass in räumlich und zeitlich hochauflösender Fernerkundung ein enormes Potenzial zur Detektierung von ertragsschädigenden Nebeneffekten von Herbiziden liegt. In diesem Gebiet besteht ebenfalls erheblicher Forschungsbedarf.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden neue Ansätze in der technischen Umsetzung, der Dokumentation sowie der Entwicklung von Entscheidungsalgorithmen für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle unter besonderer Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Unkrautpopulationsdynamik entwickelt. Die Arbeit gliedert sich in zwei Schwerpunktbereiche. Im ersten Schwerpunktbereich „Lenkung teilschlagspezifischer Unkrautkontrollverfahren“ wurden Herbizideinsparungen und Bekämpfungserfolge der Versuchsjahre 2002 und 2003 ermittelt und dokumentiert. Zusätzlich wurden mit einem neu entwickelten Geoinformationssystem (GIS) unterschiedliche Entscheidungsalgorithmen (Schadsschwellen) auf ihre Eignung für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung mit Hilfe einer neu entwickelten Dreikammerspritze im praktischen Braugerstenanbau überprüft. In einer Zusatzuntersuchung ist mit Hilfe von fernerkundlichen Methoden die Früherkennung eines teilschlagspezifischen Herbizidschadens in Mais analysiert worden. Der Herbizideinfluss ist ebenfalls in Entscheidungsmodellen für teilschlagspezifisches Bestandesführungsmanagement zu berücksichtigen.

Im zweiten Schwerpunktbereich wurde die Populationsdynamik von Unkräutern näher untersucht.

Zur Frage der Auswirkung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle auf die Folgeverunkrautung ist hier in Parzellenversuchen der Einfluss unterschiedlicher Herbiziddosen sowie die Konkurrenz von Kulturpflanzen auf die Abundanz ausgewählter Unkrautarten analysiert worden. Ferner wurde im Zeitraum zwischen Ernte und Herbstbestellung eine vergleichende Untersuchung über die Unkrautsamenverlustrate mit und ohne Stoppelbearbeitung durchgeführt, wobei die Rolle von Samenprädatoren besonders berücksichtigt worden ist. Die aus den Versuchen abgeleiteten, sowie der Literatur entnommenen populationsdynamischen Parameter sind in ein von ZWARGER und HURLE (1988) bestehendes Modell zur Vorhersage der zeitlichen Unkrautdynamik, sowie in ein neues Modell „WEED PROGNOISIS“, welches Kulturmaßnahmen, teilschlagspezifische Unkrautkontrolle, den Einfluss unterschiedlicher Kulturarten und die räumliche Verteilung von Unkrautpopulationen in einem Raster auf Ackerschlägen berücksichtigen kann, eingebracht worden. Über den Vergleich der prognostizierten mit den erhobenen Daten eines Versuchszeitraumes von sieben Jahren erfolgte eine Validierung der Modelle.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit lassen sich, nach Schwerpunktbereichen getrennt, folgende Kernaussagen ableiten:

Lenkung teilschlagspezifischer Unkrautkontrollverfahren

- Die neu entwickelte Dreikammerspritze ermöglicht einen praxistauglichen Wechsel von drei Wirkstoffkombinationen während einer Überfahrt gegen Unkrautgruppen mit unterschiedlicher Herbizidsensitivität. Dadurch ist es möglich, Unkrautklassen selektiv nach Herbizidsensitivität zu bekämpfen, wodurch Fehlapplikationen von Wirkstoffen in Nichtzielbereichen von Ackerflächen vermieden werden.
- Bei jeder teilschlagspezifischen Herbizidapplikation werden systembedingt Dokumente über die schlaginterne Unkrautverteilung sowie Datum, Ort, Wirkstoff und Dosierung von Herbizidapplikationen erstellt. So kann der Anwender automatisch seine Dokumentationspflicht erfüllen und die Applikationsentscheidungen gegenüber der Gesellschaft begründen.
- Durch teilschlagspezifische Unkrautkontrolle konnten hohe Herbizideinsparungen realisiert werden. Die Bekämpfungserfolge waren bis auf wenige Ausnahmen zufriedenstellend. In Getreide wurden höhere Herbizideinsparungsraten erreicht als in Zuckerrüben und Mais. Die Herbizideinsparungen in der Kulturart Mais lagen in der Felderfolge wesentlich höher als im Dauermaisbau.
- Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle lässt sich sehr gut in die praktische Braugerstenbestandesführung integrieren, um die Auflagen zur Erlangung von Qualitätszeichen zu erfüllen. Entscheidungsalgorithmen (Schadsschwellen) für die Unkrautbekämpfung müssen jedoch so angepasst werden, dass die vorgegebenen Grenzen im Rohproteingehalt und im Vollgerstenanteil eingehalten werden.
- Durch hochauflösende, satellitengestützte Fernerkundung konnte ein negativer Nebeneffekt eines Gräserherbizids auf Mais kurze Zeit nach der Herbizidapplikation detektiert werden. Der NDVI war in gespritzten Bereichen deutlich niedriger als in ungespritzten. Die hohe Korrelation mit der Ertragsverteilung zur Ernte scheint es zu ermöglichen, herbizidbedingte Ertragsverluste schon früh prognostizieren zu können. Dieses sollte in Entscheidungsmodellen für teilschlagspezifische Bestandesführung berücksichtigt werden

Populationsdynamik von Unkräutern

- Die durchschnittliche Individuendichte der Zielunkrautgruppen unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle hat in der Felderfolge nicht zugenommen. Es kann konstatiert werden, dass teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in der Felderfolge mittelfristig nicht zu einem Anstieg der Verunkrautung in Folgejahren führt.
- Unterschiedliche Unkrautarten zeigten in ihrem Auflaufverhalten eine Affinität zu bestimmten Kulturarten. So war beispielsweise die durchschnittliche Unkrautdichte bei *Chenopodium album* und *Fumaria officinalis* in Zuckerrüben wesentlich höher als in Getreide. *Galium aparine* und *Veronica hederaefolia* waren dagegen verstärkt in den Getreidekulturen anzutreffen.
- Durch Getreidekonkurrenz konnte *Galium aparine* nicht unterdrückt werden. Diese Unkrautart entwickelte sich besser in Sommergetreide als in Brache. Die Samenbildung von *Galium aparine* war in Sommergetreide ebenfalls wesentlich höher als in Brache. Durch reduzierte Unkrautkontrolle konnte *Galium aparine* jedoch schon ausreichend bekämpft werden. *Eschscholzia californica* verhielt sich in allen Parametern gegenläufig zu *Galium aparine*. Durch Konkurrenz von Getreide konnte diese Unkrautart sehr gut unterdrückt werden. In Brache wurden von dieser Art sehr viele Samen gebildet. Hieraus lässt sich ableiten, dass sich die Bestandesführung unterschiedlich auf einzelne Unkrautarten auswirkt. Dieses muss in Prognosemodellen berücksichtigt werden.
- Zwischen Ernte und Herbstbestellung wurde die Anzahl ausgefallener und am Boden liegender Unkrautsamen besonders durch Prädatoren wie Vögel und Nagetiere stark reduziert. Im sehr trockenen Jahr 2003 sind durch Prädatoren mehr Samen reduziert worden als durch Stoppelbearbeitung. Ausfallgetreide konnte in beiden Jahren zu einem höheren Anteil durch Prädatoren als durch Stoppelbearbeitung reduziert werden. Als hauptverantwortliche Prädatoren ließen sich hier anhand von Fraßspuren die Gruppe der Vögel sowie die Genetzte Ackerschnecke (*Deroceras reticulatum*) identifizieren.
- Mit Hilfe des von ZWARGER und HURLE (1988) entwickelten Prognosemodells konnten die durchschnittlichen Populationsdichten von *Chenopodium album* und *Echinochloa crus-galli* im Dauermaisbau für Folgejahre geschätzt und anhand des Vergleichs mit erhobenen Daten des gleichen Untersuchungszeitraums validiert werden. In der Felderfolge gab es jedoch geringere Übereinstimmungen zwischen prognostizierten und erhobenen Daten. Das neue Prognosemodell „WEED PROGNOSIS“ konnte dagegen wesentlich mehr

Parameter wie teilschlagspezifische Unkrautkontrolle und Kulturart für jeden Rasterpunkt berücksichtigen. Es gelang eine Validierung dieses Modells am Beispiel von *Chenopodium album* in der Felderfolge sowie eine räumliche Darstellung der simulierten Unkrautverteilung. Mit diesem Modell besteht nun die Möglichkeit, Sensitivitätsanalysen auch für weitere Unkrautarten durchzuführen und zu testen, wie sich teilschlagspezifische Unkrautkontrolle bei Änderungen in der Bestandesführung auf die Folgeverunkrautung auswirkt.

8 Literaturverzeichnis

- AHLERS, G. (1986): Unkrautunterdrückung durch Untersaaten sowie Konkurrenzwirkung von Unkraut und Untersaaten auf die Zuckerrübe in Abhängigkeit der Konkurrenzdauer und N-Düngung. *Dissertation*, Universität Bonn.
- AHLERS, D. (2003): Pflanzenschutz-Praxis. Schreiben sie alles auf. *DLG-Mitteilungen* H. 8, 48-49.
- AHRENS, W.H. (1994): Relative costs of a weed-activated versus conventional sprayer in northern great-plains fallow. *Weed Technology* 8, 50-57.
- AMMON, H.U. & NIGGLI, U. (1990): Unkrautbekämpfung im Wandel. *Landwirtschaft Schweiz* 3, 33-34.
- ANONYMOUS (2002): EU-VERORDNUNG 178 / 2002, Artikel 18.
- AULD, B.A. & COOTE, B.G. (1980): A model of a spreading plant population. *Oikos* 34, 287-292.
- AULD, B.A. & TISDELL, C.A. (1988): Influence of spatial distribution on weeds on crop yield loss. *Plant Prot. Q.*, 3 (2), 81-85.
- BACKES, M. & PLÜMER, L. (2004): Vergleichende Untersuchung zur Erstellung von Unkrautkarten mit verschiedenen Interpolationsmethoden. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*, 371-381.
- BALL, D.A. (1992). Weed seedbank response to tillage, herbicides, and crop rotation sequence. *Weed Science* 40, 654-659.
- BALLARÉ, C.P., SCOPEL, A.L., GHERSA, C.M. & SANCHEZ, R.A. (1987): The population ecology of *datura ferox* in soybean crops. A simulation approach incorporating seed dispersal. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 19, 177-188.
- BALZTER, H., P., BRAUN, W. & KÖHLER, W. (1998): Cellular automata models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling* 107, 113-125.
- BARKHAM, J.P. & HANCE C.E. (1982): Population dynamics of the wild daffodil (*Narcissus pseudonarcissus*). III: Implications of a computer model of 1000 years of population change. *Journal of Ecology* 70, 88-94.
- BARTELS, J., WAHMHOF, W. & HEITEFUSS, R. (1983): So kann der Praktiker Schadensschwelen feststellen. *DLG-Mitteilungen* Heft 5, 389-408.

- BARTELS, J., WAHMHOFF, W. & HEITEFUSS, R. (1984): Was ist bei der gezielten Unkrautbekämpfung nach Schadensschwellen noch zu beachten? *DLG-Mitteilungen* Heft **5**, 236-240.
- BASKIN, J.M. & BASKIN, C.C. (1989): Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. In: LECK, M.A., PARKER, V.T., SIMPSON, R.L. (eds.), *Ecology of soil seed banks*, *Academic Press*, San Diego, 53-66.
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (2003/2004): Pflanzenschutzmittelverzeichnis, Teil 6. Anerkannte Pflanzenschutzgeräte **51**.
- BEAUMONT, P. (1993): Pesticides, Policies and People. *The Pesticides Trust*, London.
- BEER, E. (1979): Ermittlung der Bekämpfungsschwellen und wirtschaftlichen Schadensschwellen von monokotylen und dikotylen Unkräutern in Winterweizen und Wintergerste anhand von Daten aus der amtlichen Mittelprüfung. *Dissertation*, Universität Göttingen.
- BELDE, M. & RICHTER, O. (1997): Zellulärer Automat zur Simulation der Sukzession auf Niedermoorstandorten bei unterschiedlichen Managementmaßnahmen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* (Osnabrück 1989) **27**, 1-9.
- BEWLEY, J.D. & BLACK, M. (1995): *Seeds - physiology of development and germination*, second edition. *Plenum Press*, New York and London.
- BILLER, R.H. (1998): Reduced input of herbicides by use of optoelectronic sensors. *Journal of Agricultural Engineering Research* **71**, 357-362.
- BILLER, R.H., HOLLSTEIN, A. & SOMMER, C. (1997): Precision application of herbicides by use of optoelectronic sensors. In: STAFFORD, J.V. (ed.) *Precision Agriculture*, 1st European Conference on Precision Agriculture, Warwick University, UK, 451-458.
- BLACK, I.D. & DYSON, C.B. (1993): An economic threshold model for spraying herbicides in cereals. *Weed Research* **33**, 279-290.
- BLACKSHAW, R.E. (1996): Weed sensing sprayer reduces herbicide use in conservation tillage. In: *Proceedings 2nd International Weed Control Congress*, Copenhagen, Denmark, 13-16.
- BÖRNER, H. (1995): *Unkrautbekämpfung*. Fischer-Verlag, Jena.
- BÖTTCHER, O. (2003): Pflanzenschutz-Praxis. Bald weniger Pflanzenschutz? *DLG-Mitteilungen* Heft **8**, 38-40.

- BROSE, K., MANIG, M., NOLL, H., HOLZAPFEL, R., SCHIRMER, H., JOHANNSEN, H.H., SCHNELLE, F., WITTERSTEIN, F., HELBIG, E., WEIHER, M. & ZELBECK, G. (1960): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. Deutscher Wetterdienst, Offenbach/M.
- BRAIN, P. & COUSENS, R. (1989): An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. *Weed Research* **29**, 93-96.
- BRUST, G.E. & HOUSE, G.J. (1988): Weed seed destruction by arthropods and rodents in low-input soybean agroecosystems. *Amer. Journal Alter. Agric.* **3**, 19-25.
- BUHLER, D.D. (1995): Influence of tillage system on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. *Crop Sci.* **35**: 1247-1258.
- BUHLER, D.D.(1999): Weed population responses to weed control practices.I. Seed bank, weed populations, and crop yields. *Weed Science.* **47**: 416-422.
- BUHLER, D. D., LIEBMAN, M. & OBRYCKI, J. J. (2000): Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. *Weed Science*, **48**, 274-280.
- BUHLER, D. D., KOHLER, K.A. & THOMPSON, R.L. (2001): Weed Seed Bank Dynamics During a Five-Year Crop Rotation. *Weed Technology*, **15**, 170-176.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ; ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2005): Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. Referat 518.
- BURROUGH, P.A. & MCDONNELL, R.A. (Eds.) (1998): Principles of Geographical Information Systems. *Oxford University Press*, New York.
- CAMPER, N.D. (1986): Research Methods in Weed Science, 3rd Ed. Edited by Southern *Weed Science Society*, (Champaign, IL), 37-38.
- CARDINA, J., NORQUAY, H.M., STINNER, B.R. and MCCARTNEY, D.A. (1996): Postdispersal predation of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seeds. *Weed Science* **44**, 534-539.
- CARDINA, J. & NORQUAY, H.M. (1997): Seed production and seedbank dynamics in subthreshold velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) populations. *Weed Science* **45**, 85-90.
- CARDINA, J., HERMS, C.P. & DOOHAN, D.J. (2002): Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks. *Weed Science* **50**, 448-460.
- CARTER, A.D. (2000): Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes. *Weed Research* **40**, 113-122.

- CHAPRON, M., REQUENA-ESTESO, M., BOISSARD, P. & ASSEMAT, L. (1999): A method for recognizing vegetal species from multispectral images. In: STAFFORD, J.V. (ed.): *Precision Agriculture*, 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, DK, 39-47.
- CHRISTENSEN, S. (1994): Crop weed competition and herbicide performance in cereal species and varieties. *Weed Research* **34**, 29-36.
- CHRISTENSEN, S. (1995): Weed suppression ability of spring barley varieties. *Weed Research* **35**, 241-247.
- CHRISTENSEN, S., HEISEL, T. & WALTER, A.M. (1996): Patch spraying in cereals. In: *Proceedings 2nd International Weed Control Congress*, Copenhagen, DK, Volumes 1-4. 963-968.
- CHRISTENSEN, S., HEISEL, T. & PAICE, M. (1999): Simulation of long term *Alopecurus myosuroides* population using three patch spraying strategies. In: STAFFORD, J.V. (Eds.) *Precision Agriculture*, 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, DK, 977-987.
- CHRISTENSEN, S., HEISEL, T., WALTER, A. M. & GRAGLIA, E. (2003): A decision algorithm for patch spraying. *Weed Research* **43**, 276-284.
- CLAY, S.A., LEMS, G.J., CLAY, D.E., FORCELLA, F., ELLSBURY, M.M. & CARLSON, C. G. (1999): Sampling weed spatial variability on a fieldwide scale. *Weed Science* **47**, 674-681.
- COBLE, H.D. & MORTENSEN D.A. (1992): The threshold concept and its application to weed science. *Weed Technology* **6**, 191-195.
- COLBACH, N., FORCELLA, F. & JOHNSON, G.A. (2000): Spatial and temporal stability of weed populations over five years. *Weed Science* **48**, 366-377.
- COLLIVER, C.T., MAXWELL, B.D., TYLER, D.A., ROBERTS, D.W. & LONG, D.S. (1996): Georeferencing wild oat infestations in small grain: accuracy and efficiency of three weed survey techniques. *Precision Agriculture. Proceedings of the 3rd International Conference*, Minneapolis, Minnesota, USA, 453-464.
- COUSENS, R. & MORTIMER, R. (1995): Dynamics of weed populations. *New York, Cambridge University Press*.
- COUSENS, R. (1987): Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection Quarterly* **2**, 13-20.
- COUSENS, R. & CROFT, A.M. (2000): Weed populations and pathogens. *Weed Research* **40**, 63-82.

- COUSENS, R.D., BROWN, R.W., MC BRATNEY, A.B., WHELAN, B. & MOERKERK, M., (2002): Sampling strategy is important for producing weed maps: A case study using kriging. *Weed Science* **50**, 542-546.
- CROMAR, H.E., MURPHY, S.D. & SWANTON, C.J. (1999): Influence of tillage and crop residue on postdispersal predation of weed seeds. *Weed Science* **47**, 184-194.
- CUSSANS, G.W. & WILSON, B.J. (1975): Some effects of crop row width and seedrate on competition between spring barley and wild-oat *Avena fatua* L. or common couch *Agropyron repens* (L.) Beauv. *Proceedings EWRS Symposium Status, Biology and Control of Grassweeds in Europe* **1**, 77-86.
- CUSSANS, G.W., COUSENS, R.D. & WILSON, B.J. (1986): Thresholds for weed control- the concepts and their interpretation. *Proceedings EWRS Symposium Economy Weed Control*, 253-260.
- DAVIES, D. H. K. & WHITING, A.J. (1990): Effect of reducing herbicide dose on weed growth and crop safety in cereals, consequences for grain quality and harvesting. *Proceedings EWRS-Symposium Integrated Weed management in Cereals*, 331-338.
- DAVIES, K. (1999): Spring barley weed control. SAC. www.sac.ac.uk/info/External/About/publicns/TN/tn477.pdf.10.07.04.
- DICKE, D., FRIES, A. & GERHARDS, R. (2004): Ermittlung von Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung im Braugerstenanbau. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*, 413-421.
- DIELEMAN, J.A. & MORTENSEN, D.A. (1999): Characterizing the spatial pattern of *Abutilon theophrasti* seedling patches. *Weed Research* **39**, 455-467.
- DILLE, A.J., MILNER, M., GROETEKE, J.J., MORTENSEN, D.A. & WILLIAMS, M.M. (2002): How good is your weed map? A comparison of spatial interpolators. *Weed Science* **51**, 44-55.
- DONALD, W.W. (1994): Geostatistics for mapping weeds, with a Canada thistle (*Cirsium arvense*) patch as a case study. *Weed Science* **42**, 648-657.
- DONALD, W.W. (1998): Estimating relative crop yield loss resulting from herbicide damage using crop ground cover or rated stunting, with maize and sethoxidim as a case study. *Weed Research* **38**, 425-431.
- DOUCET, C., WEAVER, S.E., HAMILL, A.S. and ZHANG, J.H. (1999): Separating the effects of crop rotation from weed management on weed density and diversity. *Weed Science* **47**, 729-735.

- DUNKER, M., NORDMEYER, H. & RICHTER, O. (2002): Modellierung der Ausbreitungsdynamik von *Alopecurus myosuroides* HUDS. Für eine teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 359-366.
- DURRETT, R. & LEWIN S.A., (1994): The importance of being discrete (and spatial). *Theoretical Population Biology* **46**, 363-394.
- EGGERS, T. & NIEMANN, P., (1980): Zum Begriff des Unkrauts aus phytomedizinischer Sicht und über Schadensschwellen bei der Unkrautbekämpfung. *Gesunde Pflanzen* **32**, 1-7.
- EKSTRÖM, G. & BERNSON, V. (1995): Swedish pesticide policies 1972-1993: risk reduction and environmental charges. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* **141**, 27-70.
- ELLIOTT, B.R., LUMB, J.M., REEVES, T.G. & TELFORD, T.E., (1975): Yield losses in weed-free wheat and barley due to post-emergence herbicides. *Weed Research* **15**, 107-111.
- FELTON, W.L. & MC CLOY, K.R. (1992): Spot spraying. *Agricultural Engineering* **73**, 9-12.
- FORCELLA, F., ARNOLD, R.L.B., SANCHEZ, R. & GHERSA, C.M. (2000): Modeling seedling emergence. *Field Crops research* **67**, 123-139.
- FRANZ, K., KAISER, F. & GEROWITT, B. (1990): Wirkung unterschiedlich hoher Stickstoffdüngung auf Entwicklung und Samenproduktion ausgewählter Unkrautarten im Winterweizen. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XII*, 127-135.
- FROUD-WILLIAMS, R.J., DRENNAN, D.S.H. & CHANCELLOR, R.J. (1984): The influence of burial and dry-storage upon cyclic changes in dormancy, germination and response to light in seeds of various arable weeds. *New Phytologist* **96**, 473-481.
- GARIBAY, S.V., RICHNER, W., STAMP, P., NAKAMOTO, T., YAMAGISHI, J., ABIVARDI, C. & EDWARDS, P.J. (2001): Extent and Implications of Weed Spatial Variability in Arable Crop Fields. *Plant Production Science* **4**, 259-269.
- GERHARDS, R., SCHULZE-LOHNE, K. & KÜHBAUCH, W. (1995): Unkrautbekämpfung kann Ertrag kosten. *Pflanzenschutz-Praxis* **4**, 33-35.
- GERHARDS, R., SÖKEFELD, M., KNUF, D. & KÜHBAUCH, W. (1996a): Kartierung und geostatistische Analyse der Unkrautverteilung in Zuckerrübenschlägen als Grundlage für eine teilschlagspezifische Bekämpfung. *Journal of Agronomy and Crop Science* **176**, 259-266.

- GERHARDS, R., WYSE PESTER, D.Y. MORTENSEN, D.A. & JOHNSON, G.A. (1997a): Characterizing spatial stability of weed populations using interpolated maps. *Weed Science* **45**, 108-119.
- GERHARDS, R., SÖKEFELD, M., SCHULZE LOHNE, K., MORTENSEN, D.A. & KÜHBAUCH, W. (1997b): Site-specific weed control in winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* **178**, 219-255.
- GERHARDS, R., SÖKEFELD, M., TIMMERMANN, C., KROHMANN, P. & KÜHBAUCH, W. (2000): Precision weed control - more than just saving herbicides, *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*, 179-186.
- GERHARDS, R., SÖKEFELD, M., TIMMERMANN, C., WILLIAMS II, M. M. & KÜHBAUCH, W. (2002): Site-specific weed control in maize, sugar Beet, winter wheat, and winter barley. *Precision Agriculture* **3**, 25-35.
- GERHARDS, R. & CHRISTENSEN, S. (2003): Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugar-beet, winter wheat and winter barley. *Weed Research* **43**, 385-392.
- GEROWITT, B., HEITEFUSS, R., FISCHER, A. & REINER, L. (1986): Experiments to develop computer supported decision criteria for weed control in winter cereals based on economic thresholds. *Proceedings, EWRS Symposium on Economic Weed Control*, 351-360.
- GEROWITT, B. & HEITEFUSS, R. (1990): Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. *Crop Protection* **9**, 323-331.
- GILES, D.K., SLAUGHTER, D.C. & UPADHYAYA, S.K. (2002): Biological target sensing and sprayer control. *Aspects of Applied Biology* **66**, 129-138.
- GRUNDY, A.C., BOATMAN, N.D. & FROUD-WILLIAMS, R.J. (1996): Effects of herbicide and nitrogen fertilizer application on grain yield and quality of wheat and barley. *Journal Agric. Science Cambr.* **126**(4), 379-386.
- GUSTAFSON, D.I. (1993): Use of soil property data and computer models to minimize agricultural impacts on water quality. In: ROBERT, P.C., RUST, R.H. & LARSON, W.E. (eds.) *Proceedings of soil specific crop management: a workshop on research and development issues*, Minneapolis, Minnesota, USA, 287-292.
- HARPER, J.L. (1977): Population biology of plants.: *Academic Press*, London, GB.
- HÄUSLER, A. & NORDMEYER, H. (1999): Characterizing spatial and temporal dynamics of weed seedling populations. In: *Proceedings Precision Agriculture 1999 Conference*, Odense, Denmark, 463-472.
- HEISEL, T., ANDREASEN, C. & ERSBÖLL, A.K. (1996): Annual weed distributions can be mapped with kriging. *Weed Research* **36**, 325-337.

- HEITFUSS, R. (1986): Auswirkungen von Unkräutern und Maßnahmen der Unkrautbekämpfung auf andere Kriterien als den Ertrag. *Proceedings EWRS Symposium Economic Weed Control*, Stuttgart, 189-199.
- HEYLAND, K.-U. (1984): Kriterien zur Aufstellung von Schadschwellen aus populationsdynamischer und arbeitswirtschaftlicher Sicht mit dem Ziel der Verminderung des Einsatzes von Pflanzenbehandlungsmitteln im Zuckerrübenbau. *Forschung und Beratung Reihe C 38*, „Umweltfreundliche Tier- und Pflanzenproduktion“. Landw.Verl. Münster-Hiltrup, 20-34.
- HOCK, B., FEDTKE, C. & SCHMIDT, R.R. (1995): Herbizide- Entwicklung, Anwendung, Wirkungen, Nebenwirkungen. Georg Thieme Verlag Stuttgart / New York.
- HOFSTETTER, W. (1986): Untersuchungen zur Schadwirkung und zur Populationsdynamik von Einjährigem Bingelkraut (*Mercurialis annua L.*). *Dissertation*, Universität Gießen.
- HOLZMANN, A. (1987): Zur Populationsdynamik und Schadwirkung des Ackerstiefmütterchens (*Viola arvensis Murr.*) als Grundlagen einer wirtschaftlichen Bekämpfung. *Dissertation*, Universität Hannover.
- HORNIG, M. (1972): Unkrautbekämpfung mit reduzierten Aufwandmengen in Getreide? *Gesunde Pflanzen 9*, 145-150.
- HOWARD, C.L., MORTIMER, A.M., GOULD, P., PUTWAIN, P.D., COUSENS, R. & CUSSANS, G.W. (1991): The dispersal of weeds: Seed movement in arable agriculture. *Brighton Crop Protection Conference: Weeds 2*, 821-828.
- HULME, P.E. (1994): Post-dispersal seed predation in grassland: its magnitude and sources of variation. *Journal Ecology 82*, 645-652
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. (1989): An Introduction to Applied Geostatistics. *Oxford University Press*, New York.
- JANSMA, J.E., VAN KEULEN, H. & ZADOKS, J.C. (1993): Crop protection in the year 2000: A comparison of the current policies towards agrochemical usage in four West European countries. *Crop Protection 12*, 483-489.
- JENSEN, J.E. (2004): Weed Control: presence and future - the Danish view. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*, 19-26.
- JOHNSON, G.A., MORTENSEN, D.A., YOUNG, L.J. & MARTIN, A.R. (1995a): The stability of weed seedling population models and parameters in eastern Nebraska corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) fields. *Weed Science 43*, 604-611.
- JOHNSON, G.A., MORTENSEN, D.A. & MARTIN, A.R. (1995b): A simulation of herbicide use based on weed spatial distribution. *Weed Research 35*, 197-203.

- JOHNSON, G.A., MORTENSEN, D.A. & GOTWAY, C.A. (1996): Spatial and temporal analysis of weed seedling populations using geostatistics. *Weed Science* **44**, 704-710.
- KAISER, F. (1989): Langfristige Beurteilung und Vorausschätzung der Unkrautdichte in der Fruchtfolge Rüben – Winterweizen - Wintergerste bei unterschiedlicher Bekämpfungshäufigkeit im Getreide unter Berücksichtigung von Schadschwellen. *Dissertation*, Universität Göttingen.
- KAISER, F. & WAHMHOFF, W. (1986): Untersuchungen zur Konkurrenz zwischen Winterweizen und ausgewählten Unkrautarten im Gefäßversuch. *Proceedings EWRS Symposium Economic Weed Control*, Stuttgart, 99-104.
- KAUL, H.P. (1992): Möglichkeiten der Optimierung des Anbauverfahrens mit Hilfe eines Modells der Unkraut-Populationsdynamik unter Berücksichtigung spezieller Anbaumassnahmen in einer Fruchtfolge mit Wintergetreide und Zuckerrüben (Optimising cultivation strategies by use of a weed population model with consideration of special crop growing strategies in a rotation of winter grains and sugar beet). *Dissertation*, Universität Bonn.
- KELM, M. & TAUBE, F. (2003): Erträge im konventionellen und ökologischen Getreideanbau in Abhängigkeit von der Standortgüte. *Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **15**, 244-245.
- KETEL, D.H. & LOTZ, L.A.P. (1997): A new research method for application of minimum lethal herbicide dose rate. *Proceedings of the 10th Symposium of the European Weed Research Society*, Poznan, PL, 150.
- KLAPP, E. (1967): Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. Parey-Verlag, Berlin, 14-70.
- KNAB, W. & HURLE, K. (1988): Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf Ackerfuchschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds). *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XI*, 97-108.
- KOCH, W. (1969): Einfluß von Umweltfaktoren auf die Samenphase annualer Unkräuter, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Unkrautbekämpfung. *Arbeiten der Univ. Hohenheim* **50**, Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- KOCH, W. (1970): Unkrautbekämpfung. Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- KOCH, W. (1974): A comparison of various methods for competition studies between crop plants and weeds. *EPPO Bulletin* **4**, 339-346.
- KROHMANN, P. (2003): Effizienz teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle und räumlich – zeitliche Dynamik der Unkrautpopulationen in einer Felderfolge und Monokultur. *Dissertation*, Universität Bonn.

- KROPFF, M.J., WALLINGA, J. & LOTZ, L.A.P. (1996): Weed population dynamics. 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, DK, 3-13.
- KROPFF, M.J. & VAN LAAR, H.H. (1993): Modelling Crop-Weed Interactions. Wallingford, CAB International.
- KÜHBAUCH, W. (2002): Fernerkundung - eine Zukunftstechnologie im Präzisionspflanzenbau. *KTBL-Sonderveröffentlichung* **038**, Precision Agriculture, 79-88.
- KUNISCH, M., RICHTER, O. & KOCH, W. (1988): Ein mathematisches Modell der Populationsdynamik von *Chenopodium album* L.. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **245**, 194.
- LAMB, D.W., WEEDON, M.M. & REW, L.J. (1999): Evaluating the accuracy of mapping weeds in seedling crops using airborne digital imaging: *Avena* spp. in seedling triticale. *Weed Research* **39**, 481-492.
- LAMM, R.D. (2000): Robotic weed control for cotton. PhD. Thesis, Biological and Agricultural Engineering Department, University of California, Davis, USA.
- LEE, W.S. (1998): Robotic weed control systems for tomatoes. PhD Thesis, Biological and Agricultural Engineering Department, University of California, Davis, USA.
- LEITHOLD, P. (2004), persönliche Mitteilung.
- LETTNER, J., HANK, K. & WAGNER, P. (2001): Ökonomische Potenziale der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung. *Berichte über Landwirtschaft* **79**, 107-139.
- LIEBMAN, M. & DYCK, E. (1993): Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecol Appl.* **3**: 92-122.
- LOVANG, T. (1985): Practical experience of low doses of dicot herbicides in cereals. *Proceedings 26th Swedish Weed conference Weeds and Weed control* **1**, Uppsala, SWE, 23-25.
- LUSCHEI, E.C., VAN WYCHEN, L.R., MAXWELL, B.D., BUSSAN, A.J., BUSCHENA, D. & GOODMAN, D. (2001): Implementing and conducting on-farm research with the use of GPS. *Weed Science* **49**: 536-542.
- LUTMAN, P.J.W., Peters, N.C.B. & Freeman, S.E. (2002): Post-harvest weed seed predation: An *Avena fatua* case study. *Proceedings 12th EWRS Symposium*, Wageningen, NL, 270-271.
- MACFADYEN, A. (1973): Some thoughts on the behaviour of ecologists. *Journal Ecology* **63** 379-391.

- MARINO, P.C., GROSS, K.L. & LANDIS, D.A. (1997): Weed seed loss due to predation in Michigan maize fields. *Agriculture Ecosyst. Environment* **66**, 189-196.
- MARSHALL, E.J.P. (1989): Distribution patterns of plants associated with arable field edges. *Journal of Applied Ecology* **26**, 247-257.
- MARTIN, R.J. & FELTON, W.L. (1993): Effect of crop rotation, tillage practice, and herbicides on the population dynamics of wild oats in wheat. *Aust. J. Exp. Agric.* **33**, 159-165.
- MAXWELL, B.D. & GHERSA, C.M. (1992): The influence of weed seed dispersion versus the effect of competition on crop yield. *Weed Technology* **6**, 196-204.
- MEDLIN, C.R., SHAW, D.R., GERARD, P.D. & LA MASTUS, F.E. (2000): Using remote sensing to detect weed infestations in *Glycine max.*. *Weed Science* **48**, 393-398.
- MEINERT, G. & MITTNACHT, A. (1992): Integrierter Pflanzenschutz. Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- MERKELBACH, H. (1990): Die Möglichkeiten des Einsatzes von Untersaaten zur Unkrautunterdrückung sowie Konkurrenzwirkungen von Unkraut und Untersaat auf die Ertragsbildung des Winterweizens. *Dissertation*, Universität Bonn.
- MERKELBACH, H. & HEYLAND, K.-U. (1988): Unkrautunterdrückung durch Untersaaten im Winterweizen und deren Auswirkung auf Ertrag und Verunkrautung der Folgekulturen Wintergerste und Zuckerrüben. *Z. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XI*, 313-321.
- MEHRTENS, J. (2004). Persönliche Mitteilung.
- MILLER, M. S. & SMITH, D. B. (1992): A direct nozzle injection controlled rate spray boom. *Transactions of the ASAE* **35**, 3.
- MILLER, P.C.H., STAFFORD, J.V., PAICE, M.E.R. & REW, L.J. (1995): The patch spraying of herbicides in arable crops. Brighton crop protection conference: *weeds*, Brighton, UK, 1077-1086.
- MILLER, P.C.H. & PAICE, M.E.R. (1998): Patch spraying approaches to optimise the use of herbicides applied to arable crops. *Royal Agric. Soc. England* **159**, 70-81.
- MILLER, P.C.H. (2003a): Patch spraying: future role of electronics in limiting pesticide use. *Pest Manag Sci* **59**, 566-574
- MILLER, P.C.H. (2003b): Plant Protection and Plant Cultivation. *Yearbook Agricultural Engineering*, **15**, 105-113.

- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM (1995): Richtlinie für den integrierten und kontrollierten Anbau von Braugerste (SG) und Brauweizen in Baden-Württemberg zur Verwendung des Herkunfts- und Qualitätszeichens, Anlage R, Stuttgart.
- MITCHELL, B.J. (1998): Reduced Herbicide Inputs in Cereals. www.teagasc.ie/research/reports/crops/4136/eopr-4136.htm.
- MITTELBACH, G.G. & GROSS, K.L. (1984): Experimental studies of seed predation in old-fields. *Oecologia* **65**, 7-13.
- MORTENSEN, D.A., JOHNSON, G.A. & YOUNG, L.J. (1993): Weed distribution in agricultural fields. In: ROBERT, P.C., RUST, R.H. & LARSON, W.E. (eds.): *Proceedings of soil specific crop management: a workshop on research and development issues*, Minneapolis, Minnesota, USA, 113-124.
- MOSS, S.R. (1990): The seed cycle of *Alopecurus myosuroides* in winter cereals: a quantitative analysis. *Proceedings EWRS Symposium 1990, Integrated Weed Management in Cereals*, 27-35.
- MÜKE, O. (1990): Qualitätsansprüche an Braugerste. *Feldwirtschaft* **31**, 517-518.
- NAGY, S., REISINGER, P. & ANTAL, K. (2004): Mapping of perennial weed species distribution in maize. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*, 383-389.
- NIEMANN, P., HURLE, K., BEER, E. & KAKAU, J. (2000): Medium-term consequences of enhanced weed-thresholds in cereals on weed infestation in the succeeding crops. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*, 281-290.
- NORDMEYER, H., HÄUSLER, A. & NIEMANN, P. (1997): Patchy weed control as an approach in precision farming. Precision Agriculture. *Proceedings 1st European Conference on Precision Agriculture I*, Warwick University, UK, 307-314.
- NORDMEYER, H. & DUNKER, M. (1999): Variable weed densities and soil properties in a weed mapping concept for a patchy weed control. In: *Proceedings Precision Agriculture 1999 Conference*, Odense, Denmark, 453-462.
- NORDMEYER, H. & HÄUSLER, A. (2000): Erfahrungen zur teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung in einem Praxisbetrieb. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*, 195-205.
- NORRIS, R.F. (1992): Have ecological and biological studies improved weed control strategies? *Proceedings of the 1st International Weed Control Congress* **1**, 7-33.
- NORRIS, R.F. (1999): Ecological implications of using thresholds for weed management. *Journal of Crop Production* **2**, 31-58.

- OEBEL, H., GERHARDS, R., BECKERS, G., DICKE, D., SÖKEFELD, M., LOCK, R., NABOUT, A. & THERBURG, R.D. (2004): Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline (und Online)-Verfahren (TURBO) - erste Erfahrungen aus der Praxis. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **Sonderheft XIX**, 459-465.
- PACALA, S.W. & SILANDER J.A. Jr. (1985): Neighborhood models of plant population dynamics. I: Single-species models of annuals. *American Naturalist* **125**, 385-411.
- PAICE, M.E.R., MILLER, P.C.H. & DAY, W. (1996): Control requirements for spatially selective herbicide sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture* **14**, 163-177.
- PAICE, M.E.R., DAY, W., REW, L. J. & HOWARD, A. (1998): A stochastic simulation model for evaluating the concept of patch spraying. *Weed Research* **38**, 373-388.
- PALLUTT, B. & HOFMANN, B., (1990a): Zur Wirkung ein- und zweimaliger Applikation reduzierter Aufwandmengen blattaufnehmbarer Herbizide in Wintergerste. *Mitteilungen Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **266**, 376.
- PALLUTT, B., & HOFMANN, B., (1990b) Flexibler Herbizideinsatz im Getreide- ein wesentlicher Bestandteil einer integrierten Unkrautbekämpfung. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.- Wiss. **286**, 7-20.
- PALLUTT, B., (1993): Population dynamics and competition of weeds depending on crop rotation and mechanical and chemical control measures in cereals. Brighton Crop Protection Conf.- Weeds. 1197-1204.
- PALLUTT, B. & FLATTER, A., (1998): Variabilität der Konkurrenz von Unkräutern in Getreide und daraus resultierende Auswirkungen auf die Sicherheit von Schwellenwerten. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **Sonderheft XVI**, 333-344.
- PEKRUN, C., GRIESSER, M. & CLAUPEIN, W. (2000): Feldaufgang von *Chenopodium album* als Funktion von Samenvorrat, Keimbereitschaft und Umweltbedingungen. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **Sonderheft XVII**, 69-76.
- PEKRUN, C. & CLAUPEIN, W. (2002): The effect of soil cultivation after sunflowers on seed persistence and establishment of volunteers. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **Sonderheft XVIII**, 329-334.
- PEISL, S. & ESTLER, M. (1993): Vom Kanister in die Düse-ist die Direkteinspeisung praxisreif ? *profi* **4**, 54-57.

- PETERSEN, J., SÖCHTING, H.-P., ZWARGER, P. & HURLE, K. (2004): Reduktion des Herbizideinsatzes in Zuckerrüben auf das absolut notwendige Maß - die MLHD-Methode als möglicher Weg? *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft 19*, 959-967.
- PFEIFFER, R.K., BAKER, C. & HOLMES, H.M. (1960): Factors affecting the selectivity of barban for the control of *Avena fatua* in wheat and barley. *Proceedings 5th British Weed Control Conference*, 441-452.
- PFLANZENSCHUTZGESETZ – PflSchG - Fassung vom 14. Mai 1998. In: BGBl. I 1998, berichtigt am 27. November 1998.
- PHILIPP, I., RATH, H. & NORDMEYER, H. (2002): Computerbildanalytische Unkrautkartierung in Zuckerrübenbeständen. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 429-436.
- PINTHUS, M.J. & NATHOWITZ, Y. (1967): Response of spring wheat to application of 2,4-D at various growth stages. *Weed Research 7*, 95-101.
- RADICS, L. (1990): Untersuchungen zum Langzeiteinfluß der Düngung auf die Unkrautflora bei unterschiedlichen NPK-Versorgungsstufen im Boden. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XII*, 101-105.
- RADOSEVICH, S., HOLT, J. & GHERSA, C. (1997): Weed ecology, implications for management, second edition. John Wiley und Sons, Inc., New York.
- RAUBER, R. (1978): Möglichkeiten der Erarbeitung von Modellen zur Befallsprognose bei Unkräutern, dargelegt am Beispiel von Flughafer (*Avena fatua* L.) in Getreide. *Dissertation*, Universität Stuttgart-Hohenheim.
- REW, L.J. & CUSSANS, G.W. (1995): Patch ecology and dynamics - how much do we know? Brighton Crop Protection Conference: Weeds. *Proceedings of an International Conference 3*, Brighton, UK, 1059-1068.
- REW, L. J., CUSSANS, G.W., MUGGLESTONE, M.A. & MILLER, P.C.H. (1996): A technique for mapping the spatial distribution of *Elymus repens*, with estimates of the potential reduction in herbicide usage from patch spraying. *Weed Research 36*, 283-292.
- REW, L.J. & COUSENS, R.D. (1998): What do we know about the spatial distribution of arable weeds ? In: *Precision Weed management in Crops and Pastures*, 20-26. CRC for Weed Management Systems, Adelaide, Australia.
- REW, L.J. & COUSENS, R.D. (2001): Spatial distribution of weeds in arable crops: are current sampling and analytical methods appropriate? *Weed Research, 41*, 1-18.
- RICHTER, O. (1985): Simulation des Verhaltens ökologischer Systeme. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.

- RICHTER, O. & ZWERTGER, P. (1999): Temporal and spatial dynamics of herbicide resistance: a new approach combining population dynamics, population genetics and cellular automata. *Proc. XI Symposium Pesticide Chemistry*, 599-608.
- ROBERTS, H.A. & POTTER, M.E. (1980): Emergence patterns of weed seedlings in relation to cultivation and rainfall. *Weed Research* **20**, 377-386.
- SALONEN, J. (1990): Reduced herbicide doses in spring cereals. *Proc. EWRS-Symposium*, "Integrated Weed management in Cereals", Helsinki, 359-365.
- SAMSON, D.A. & WERK, K.S. (1986): Size – dependent effects in the analysis of reproductive effort in plants. *American Naturalist* **127**, 667-680.
- SCHMITZ, P.H. (1984): Der Einfluss von Unkrautbekämpfungssystemen auf Unkrautpopulation und Ertragsstruktur in einer Fruchtfolge mit Zuckerrüben, Winterweizen und Wintergerste. *Dissertation*, Universität Bonn.
- SCHREIBER, M. (1992): Influence of tillage, crop rotation, and weed management on giant foxtail (*Setaria faberi*) population dynamics and corn yield. *Weed Science*. **40**, 645-653.
- SCHUMACHER, W. (1992): Zur Effizienz der Schutzmaßnahmen für Ackerbiozöten - mit Empfehlungen zur Vereinheitlichung der bisherigen Schutzprogramme. Internationales Symposium Flora und Fauna der Äcker und Weinberge, Universität Bonn und Rheinisches Freilichtmuseum Kommern, 201-218.
- SCHWEIZER, E.E. & ZIMDAHL R.L. (1984): Weed seed decline in irrigated soil after six years of continuous corn (*Zea mays*) and herbicides. *Weed Science* **32**, 76-83.
- SEEFELD, S.S., JENSEN, J.E. & FUERST, P. (1995): Log-Logistic Analysis of herbicide Dose-Response Relationships. *Weed Technology* **9**, 218-227.
- SIBSON, R. (1981): A brief description of natural neighbor interpolations. In: BARNETT, V.: *Interpreting Multivariate Data*, John Wiley und Sons Inc., Chichester, 21-36.
- SILVERTOWN, J., HOLTIER, S., JOHNSON, J. & DALE, P. (1992): Cellular automaton models of interspecific competition for space - the effect of pattern on process. *Journal of Ecology* **80**, 527-534.
- SÖKEFELD, M., GERHARDS, R. & KÜHBAUCH, W. (1997): Automatische Erkennung von Unkräutern im Keimblattstadium mit digitaler Bildverarbeitung. KTBL-Tagung, Techniken zur Erkennung von Unkräutern, Hohenheim, Arbeitspapier **236**, 47-58.
- SÖKEFELD, M., GERHARDS, R. & KÜHBAUCH, W. (2000): Site-specific weed control - from weed recording to herbicide application. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*, 227-233.

- SÖKEFELD, M., GERHARDS, R., THERBURG, R.D., NABOUT, A., JACOBI, J., LOCK, R. & KÜHBAUCH, W. (2002): Multispektrale Bildanalyse zur Erfassung von Unkraut und Blattkrankheiten. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 437-442.
- SÖKEFELD, M., HLOBEN, P. & SCHULZE LAMMERS, P. (2004). Möglichkeiten und Grenzen der Direkteinspeisung von Herbiziden zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*, 431-437.
- SOMMER, G. (1972): Malzeiweiß und Bierqualität. *Monatsschrift für Brauerei* **25**, 173-177.
- SPAHILLARI, M., HAMMER, K., GLADIS, T. & DIEDERICHSEN, A. (1999): Weeds as part of agrobiodiversity. *Outlook on Agriculture* **28**, 227-232.
- STAFFORD, J.V. & MILLER, P.C.H. (1993): Spatially selective application of herbicide to cereal crops. *Computers and Electronics in Agriculture* **9**, 217-229.
- STREIBIG, J.C., (1988): Herbicide bioassay. *Weed Research* **28**, 479-484.
- SWANTON, C.J. & MURPHY, S.D. (1996): Weed science beyond the weeds: The role of integrated weed management (IWM) in Agroecosystem health. *Weed Science* **44**, 437-445.
- TERESIAK, H. (1990): Development of the seedpool in soil in relation to crop rotation. Schlagbezogene Entwicklung des Bodensamenvorrates in einer Fruchtfolge. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XII*: 205-209.
- THEUNISSEN, J. & LEGUTOWSKA, H. (1992): Observers`bias in the assessment of pest and disease symptoms in leek. *Entomologia Experimentalis Applicata* **64**, 101-109.
- THOMPSON, J.F., STAFFORD, J.V. & MILLER, P.C.H. (1991): Potential for automatic weed detection and selective herbicide application. *Crop Protection* **10**, 254-259.
- THORNTON, P.K., FAWCETT, R.H., DENT, J.B. & PERKINS, T.J. (1990): Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control. *Crop Protection* **9**, 337-342.
- TIMMERMANN, C. (2001): Teilflächenspezifische Unkrautkontrolle im präzisen Pflanzenbau unter Berücksichtigung von Ertragsdaten und Bodenparametern. *Dissertation*, Universität Bonn.
- TIMMERMANN, C., GERHARDS, R. & KÜHBAUCH, W. (2003): The economic impact of site-specific weed control. *Precision Agriculture* **4**, 241-252.

- TOOLEY, J.A., FROUD-WILLIAMS, R.J., BOATMEN, N.D. & HOLLAND, J.M. (1999): Weed seed predation in arable field margins by carabid beetles (Carabidae: Coleoptera). *Applied Biology* **54**, 211-216.
- VÄTH, D. (2002) : Persönliche Mitteilung.
- VLEESHOUWERS, L.M. (1997): Modelling weed emergence patterns. PhD thesis, *Agricultural University, Wageningen, NL*.
- VLEESHOUWERS, L.M. & BOUWMEESTER, H.J. (1993): A simulation model for the dormancy cycle of weed seeds in the seed bank. *Proceedings 8th European Weed Research Society, Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application, Braunschweig*, 593-600.
- VRINDTS, E. & DE BAERDEMAEKER, J. (1997): Optical discrimination of crop, weed and soil for online weed detection. *Precision agriculture '97. Volume II. Technology, IT and management.*, Warwick University, UK, 537-544.
- WAHL, S.A. & HURLE, K. (1988): Einfluss langjähriger pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Verunkrautung - Ergebnisse aus dem Lautenbach-Projekt.- *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XI*, 109-119.
- WAHMHOFF, W. (1986): Erfahrungen mit der praktischen Anwendung von Schadensschwelen bei der Unkrautbekämpfung im Getreide. *Proceedings, EWRS Symposium Economic Weed Control*, 379-384.
- WALLINGA, J. (1995): A closer look at the spatial distribution of weeds- perspectives for patch spraying. In: *Proceedings 9 th EWRS Symposium: Challenges for Weed Science in a Changing Europe, Budapest, Hungary*, 647-653.
- WALLINGA, J. (1998): Dynamics of weed populations: spatial pattern formation and implications for control. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- WEAVER, S.E. & IVANY, J.A. (1997): Economic thresholds for wild radish, wild oat, hemp-nettle and corn spurry in spring barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 357-361.
- WELLMANN, A. & FEUCHT, D. (2002): Control of *Alopecurus myosuroides* Huds. and *Apera spica-venti* (L.) Beauv. with propoxycarbazone-sodium. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* **55**,1.
- WERNER, A. (1985). Die Nutzung zwischenpflanzlicher Konkurrenz in Form von Mischkultursystemen zur biologischen Unkrautbekämpfung in Mais und der Einfluß der Beipflanzen auf die Ertragsbildung der Kulturpflanze. *Dissertation*, Universität Bonn.

- WESTERMAN, P.R., HOFMANN, A., VET, L.E.M. & VAN DER WERFT, W. (2003): Relative importance of vertebrates and invertebrates in epigeaic weed seed predation in organic cereal fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **95**, 417-425.
- WILES, L.J., WILKENSEN, G.G. & GOLD, H.J. (1992): Value of information about weed distribution for improving post emergence control decisions. *Crop Protection*, **11**, 547-554.
- WILLSON, M.F. & WHELAN, C.J. (1990): Variation in postdispersal survival of vertebrate-dispersed seeds: effects of density, habitat, location, and species. *Oikos* **57**, 191-198.
- WILSON, B.J. (1986): Yield responses of winter cereals to the control of broadleaved weeds. *Proceedings, EWRS Symposium Economic Weed Control*, 75-82.
- WILSON, B.J. & BRAIN, P. (1991): Long-term stability of distribution of *Alopecurus myosuroides* Huds. within cereal fields. *Weed Research* **31**, 367-373.
- WINKLE, M.E., LEAVITT, R.C. & BURNSIDE, O.C. (1981): Effects of Weed Density on Herbicide Absorption and Bioactivity. *Weed Science* **29**, 405-409.
- YENISH, J.P., DOLL, D. & BUHLER, D.D. (1992): Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil. *Weed Science* **40**, 429-433.
- ZANIN, G., BERTI, A. & TONIOLO, L. (1993): Estimation of economic thresholds for weed control in winter wheat. *Weed Research* **33**, 459-467.
- ZEDDIES, J. (1986): Wirtschaftliche Bedeutung der Unkrautbekämpfung unter zukünftigen Rahmenbedingungen. *Proceedings EWRS Symposium Economic Weed Control*, 39-45.
- ZHANG, J., DRUMMOND, A., LIEBMAN, M. & HARTKE, A. (1997a): Insect predation of seeds and plant population dynamics. *MAFES Technical Bulletin*, 163.
- ZIMDAHL, Z.L. (1980): Weed - Crop Competition: A review. International Plant Protection Center, USA.
- ZWERGER, P & HURLE, K. (1988): Simulationsstudien zum Einfluß von Fruchtfolge und Bekämpfungsmaßnahmen auf die Verunkrautung. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **Sonderheft XI**, 71-82.
- ZWERGER, P. & HURLE, K. (1990): Untersuchungen zur Abbildungsgüte simulierter Befallsverläufe bei Unkräutern. (Experiments for closeness of simulated weed infestation runs). *Journal of Plant diseases and Protection* **97**, 133-141.
- ZWERGER, P & AMMON, H.U. (2002): Unkraut- Ökologie und Bekämpfung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

- ZWERGER, P., MALKOMES, H.-P., NORDMEYER, H., SÖCHTING, P. & VERSCHWELE, A. (2004): Unkrautbekämpfung: Gegenwart und Zukunft - aus deutscher Sicht. *Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, **Sonderheft XIX**, 27-38.

9 Anhang

9.1 Verzeichnis der Anhangstabellen

Anhangstabelle 9.1	Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf Schlag 4 in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.	139
Anhangstabelle 9.2	Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf Schlag 6 in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.	139
Anhangstabelle 9.3	Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf Schlag 8 in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.	140
Anhangstabelle 9.4	Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf Schlag 9 in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.	140
Anhangstabelle 9.5	Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf Schlag GH in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.	140
Anhangstabelle 9.6	Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m ²) für die Gruppen Ungräser, Unkräuter und <i>Galium aparine</i> in Winterweizen (Schlag 4c, Schlag 6) im Jahr 2002.	141
Anhangstabelle 9.7	Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m ²) für die Gruppen Ungräser und Unkräuter in Zuckerrüben (Schlag 4b, Schlag 8) im Jahr 2002.	141
Anhangstabelle 9.8	Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m ²) für die Gruppen Ungräser und Unkräuter in Körnermais (Schlag 9) im Jahr 2002.	141
Anhangstabelle 9.9	Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m ²) für die Gruppen Ungräser, Unkräuter und <i>Galium aparine</i> in Wintergerste (Schlag 6) im Jahr 2002/2003 (Herbstbehandlung).	141
Anhangstabelle 9.10	Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m ²) für die Gruppen Ungräser, Unkräuter und <i>Galium aparine</i> in Wintergerste (Schlag 4c) im Jahr 2003.	142
Anhangstabelle 9.11	Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m ²) für die Gruppen Ungräser, Unkräuter und <i>Galium aparine</i> in Winterweizen (Schlag 8) im Jahr 2003.	142
Anhangstabelle 9.12	Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m ²) für die Gruppen Ungräser und Unkräuter in Zuckerrüben (Schlag 9) im Jahr 2003.	142
Anhangstabelle 9.13	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in Schlag 4b/4c (<u>Gesamtfeld</u>) in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).	143
Anhangstabelle 9.14	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in Schlag 6 (<u>Gesamtfeld</u>) in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).	143
Anhangstabelle 9.15	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in Schlag 8 (<u>Gesamtfeld</u>) in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).	144
Anhangstabelle 9.16	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in Schlag 9 (<u>Gesamtfeld</u>) in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).	144
Anhangstabelle 9.17	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in Schlag GH (<u>Gesamtfeld</u>) in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).	145
Anhangstabelle 9.18	Untersuchungen und Arbeiten am Versuchsstandort Hurtz.	146

Anhangstabelle 9.19	Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf dem Praxisschlag Hurtz im Jahr 2003 nach Rangfolge gelistet.	146
Anhangstabelle 9.20	Untersuchungen und Arbeiten im Versuch „Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf populationsdynamische Parameter von <i>Galium aparine</i> und <i>Eschscholzia californica</i> “ (Versuchsstandort Poppelsdorf)	148
Anhangstabelle 9.21	Vergleich der Samenverlusten ausgewählter Unkraut- und Kulturarten in den Jahren 2002 und 2003 nach Schutzvarianten	149
Anhangstabelle 9.22	Durchschnittliche Unkrautdichte in Pfl./m ² nach Jahren und Kulturarten als Grundlage zur Berechnung der kulturartbedingten Keimungswahrscheinlichkeit	151
Anhangstabelle 9.23	Verzeichnis von Unkräutern und Nutzpflanzen (EPPO-Code; lateinischer und deutscher Art- und Gattungsname)	151

9.2 Verzeichnis der Anhangsabbildungen

Anhangsabb. 9.1	Versuchsplan „Einfluss unterschiedlich hoher Schadschwellen auf den Ertrag von Körnermais (in Zusammenarbeit mit Uni Hohenheim).....	145
Anhangsabb. 9.2	Erträge in den mit Herbiziden behandelten und nicht behandelten Bereichen innerhalb der Schadschwellen	146
Anhangsabb. 9.3	Versuchsplan: „Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf Abundanz und Samenproduktion von <i>Galium aparine</i> und <i>Eschscholzia californica</i> “ (Versuchsstandort Poppelsdorf).....	147
Anhangsabb. 9.4	Versuchsplan 2002 „Untersuchung zur Reduzierung des Unkrautsamenpotenzials ohne Stoppelbearbeitung unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlicher Samenprädatoren zwischen Getreideernte und Herbstbestellung“	149

Anhangstabelle 9.1 Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf **Schlag 4** in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.

Zuckerrüben 2002 (Schlag 4b)			Winterweizen 2002 (Schlag 4c)		
Rang	Arten	Pfl./m ²	Rang	Arten	Pfl./m ²
1	Ungräser	5	1	STEME	0,6
2	VIOAR	2,1	2	GALAP	0,4
3	CHEAL	1,9	3	FUMOF	0,2
4	FUMOF	1,4	4	MATSS	0,2
5	AMARE	1	5	Ungräser	0,1
6	MATSS	0,2	6	VERHE	0,09
7	STEME	0,1			
8	POLAV	0,1			

Winterweizen 2003 (Schlag 4b)			Wintergerste 2003 (Schlag 4c)		
Rang	Arten	Pfl./m ²	Rang	Arten	Pfl./m ²
	Unkrautfrei		1	Ungräser	4,9
			2	MATSS	0,2
			3	STEME	0,1
			4	VERHE	0,1
			5	VIOAR	0,1

Anhangstabelle 9.2 Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf **Schlag 6** in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.

Winterweizen 2002			Wintergerste 2003		
Rang	Arten	Pfl./m ²	Rang	Arten	Pfl./m ²
1	Ungräser	7,5	1	Ungräser	9,43
2	VERSS	5,2	2	VERSS	4,15
3	GALAP	1,6	3	GALAP	0,42
4	MATSS	1,2	4	POLAV	0,4
5	STEME	0,6	5	STEME	0,3
6	POLAV	0,2	6	MATSS	0,14

Anhangstabelle 9.3 Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf **Schlag 8** in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.

Zuckerrüben 2002			Winterweizen 2003		
Rang	Arten	Pfl./m ²	Rang	Arten	Pfl./m ²
1	Ungräser	3,6	1	Ungräser	8,9
2	VIOAR	2,04	2	VIOAR	6,7
3	CHEAL	2,0	3	VERSS	5,14
4	FUMOF	1,12	4	GALAP	0,17
5	VERSS	0,09	5	FUMOF	0,01
6	POLAV	0,06	6	POLAV	0,01

Anhangstabelle 9.4 Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf **Schlag 9** in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.

Körnermais 2002			Zuckerrüben 2003		
Rang	Arten	Pfl./m ²	Rang	Arten	Pfl./m ²
1	POLAV	12,6	1	POLAV	6,6
2	Ungräser	12,2	2	Ungräser	3,5
3	CHEAL	9,96	3	CHEAL	3,8
4	VIOAR	5,73	4	VIOAR	1,76
5	ECHCG	1,58			
6	MATSS	0,2			

Anhangstabelle 9.5 Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf **Schlag GH** in den Jahren 2002-2003 nach Rangfolge gelistet.

Körnermais 2002			Körnermais 2003		
Rang	Arten	Pfl./m ²	Rang	Arten	Pfl./m ²
1	ECHCG	247,2	1	GASPA	52,2
2	SOLNI	149,7	2	ECHCG	37,6
3	Ungräser	71,6	3	CHEAL	34,2
4	CHEAL	35,3	4	SOLNI	12,5
5	GASPA	27,5	5	MATSS	1,1
6	MATSS	2	6	Ungräser	0,8

Anhangstabelle 9.6 Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m²) für die Gruppen Ungräser, Unkräuter und *Galium aparine* in Winterweizen (Schlag 4c, Schlag 6) im Jahr 2002

Ungräser	10	20	30
Unkräuter	15	25	40
<i>Galium aparine</i>	----	----	0,1
Herbizidaufwandmenge (l/ha)	180 (60%)	240 (80%)	300 (100%)

Anhangstabelle 9.7 Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m²) für die Gruppen Ungräser und Unkräuter in Zuckerrüben (Schlag 4b, Schlag 8) im Jahr 2002

Ungräser	---	---	1
Unkräuter	---	---	1
Herbizidaufwandmenge (l/ha)	180 (60%)	240 (80%)	300 (100%)

Anhangstabelle 9.8 Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m²) für die Gruppen Ungräser und Unkräuter in Körnermais (Schlag 9) im Jahr 2002

Ungräser	---	---	5
Unkräuter	---	---	1
Herbizidaufwandmenge (l/ha)	180 (60%)	240 (80%)	300 (100%)

Anhangstabelle 9.9 Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m²) für die Gruppen Ungräser, Unkräuter und *Galium aparine* in Wintergerste (Schlag 6) im Jahr 2002/2003 (Herbstbehandlung)

Ungräser	10	15	20
Unkräuter	15	25	40
<i>Galium aparine</i>	----	----	0,1
Herbizidaufwandmenge (l/ha)	180 (60%)	240 (80%)	300 (100%)

Anhangstabelle 9.10 Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m²) für die Gruppen Ungräser, Unkräuter und *Galium aparine* in Wintergerste (Schlag 4c) im Jahr 2003

Ungräser	3	5	15
Unkräuter	15	25	35
<i>Galium aparine</i>	----	----	0,1
Herbizidaufwandmenge (l/ha)	180 (60%)	240 (80 %)	300 (100%)

Anhangstabelle 9.11 Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m²) für die Gruppen Ungräser, Unkräuter und *Galium aparine* in Winterweizen (Schlag 8) im Jahr 2003

Ungräser	3	5	15
Unkräuter	15	25	35
<i>Galium aparine</i>	----	----	0,1
Herbizidaufwandmenge (l/ha)	180 (60%)	240 (80 %)	300 (100%)

Anhangstabelle 9.12 Teilschlagspezifisch applizierte Herbizidaufwandmengen nach Schadschwellen in Abhängigkeit von der Pflanzendichte (Pfl./m²) für die Gruppen Ungräser und Unkräuter in Zuckerrüben (Schlag 9) im Jahr 2003

Ungräser	---	---	1
Unkräuter	---	---	1
Herbizidaufwandmenge (l/ha)	180 (60%)	240 (80 %)	300 (100%)

Auf Schlag GH wurde im Jahr 2003 ein Feldversuch durchgeführt. Die Schadschwellen wurden nach Gesamtunkrautdichten variiert (Siehe Anhangsabb. 9.3). Die Restfläche wurde ab einer Gesamtunkrautdichte von 5 Pfl./m² mit Herbiziden behandelt.

Anhangstabelle 9.13 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag 4b/4c (Gesamtfeld)** in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
2002 (4b)	Zuckerrüben	04.04.02	1,2l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) (20cm Band)
		03.05.02	1l Betanal Progress OF (25 g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) + 1,5l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) + 1,5l Fusilade MAX (125 g/l Fluazifop-p-butyl) (NAK 1)
		15.05.02	1l Betanal Progress OF (25 g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) + 1l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) + 30g Debut (485,7g/kg Triflursulfuron) + 1,5l Fusilade MAX (125 g/l Fluazifop-p-butyl) (NAK 2)
		27.05.02	1l Betanal Progress OF (25 g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) + 1l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) + 0,5l Lontrel (100g/l Clopyralid) + 0,5l Oleo (NAK 3)
2002 (4c)	Winterweizen	13.03.02	2,5l Tolkán Flo (500g/l Isoproturon) + 1kg Plattform S (Carfentrazone-ethyl + Mecoprop-P)
2003 (4b)	Winterweizen	-----	Keine Herbizidapplikation
2003 (4c)	Wintergerste	10.03.03	2,5l Tolkán Flo (500g/l Isoproturon), 1kg Plattform S (Carfentrazone-ethyl + Mecoprop-P)

Anhangstabelle 9.14 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag 6 (Gesamtfeld)** in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
2002	Winterweizen	12.03.02	3l Tolkán Flo (500g/l Isoproturon)+ 1kg Plattform S (Carfentrazone-ethyl + Mecoprop-P)
2003	Wintergerste	24.10.02	2,5l Fenikan (500 g/l Isoproturon; 62,50 g/l Diflufenican)+ 0,5l Tolkán Flo (500g/l Isoproturon)

Anhangstabelle 9.15 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag 8 (Gesamtfeld)** in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
2002	Zuckerrüben	04.04.02	1,2l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) (20cm Band)
		30.04.02	1,5l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) + 1l Betanal Progress OF (25 g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) + 0,4l Oleo + 1,5l Fusilade Max (125 g/l Fluazifop-p-butyl) (NAK 1)
		15.05.02	0,7l Betanal Progress OF (25 g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) + 0,7l Tornado (700g/l Metamitron) + 0,7l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) + 0,4l Oleo (NAK 2)
		27.05.02	1l Betanal Progress OF (25 g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) + 1,5l Tornado (700g/l Metamitron) + 0,5l Oleo + 0,4l Debut (485,7g/kg Triflusufuron) (NAK 3)
2003	Winterweizen	10.03.03	2,5l Tolkan Flo (500g/l Isoproturon), 1kg Plattform S (Carfentrazone-ethyl + Mecoprop-P)

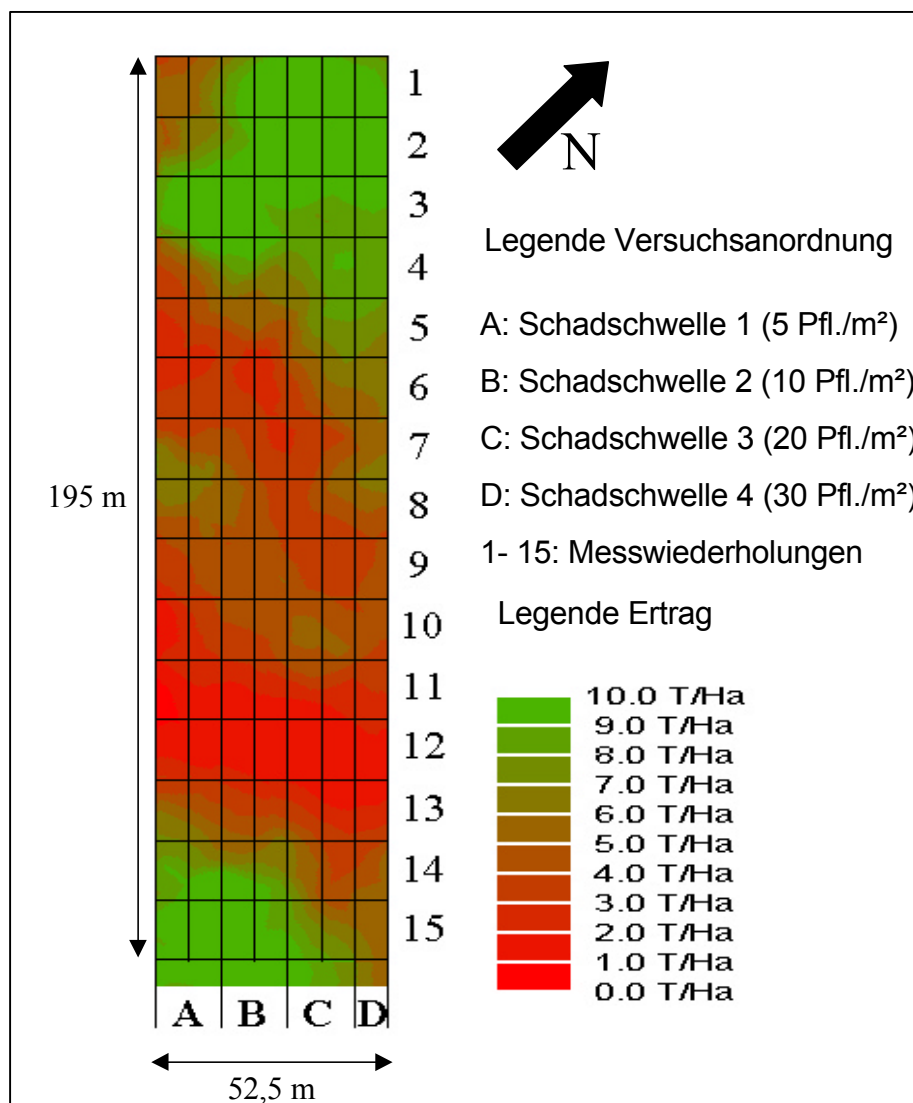
Anhangstabelle 9.16 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag 9 (Gesamtfeld)** in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
2002	Körnermais	30.05.02	50g Cato (250g/kg Rimsulfuron) 2l Gardobuc (333 g/l Terbutylazin, 150g/l Bromoxynil)
		13.06.02	Rollkuli (mechanische Unkrautkontrolle)
2003	Zuckerrüben	17.04.03	1,5l Betanal Progress OF (25 g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) + 1,5l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) + 0,4l Oleo (NAK 1)
		28.04.03	1,5l Betanal Progress OF (25 g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) + 1l Rebell (400g/l Chloridazon, 50 g/l Quinmerac) + 25g Debut (485,7g/kg Triflusufuron) + FHS (NAK 2)

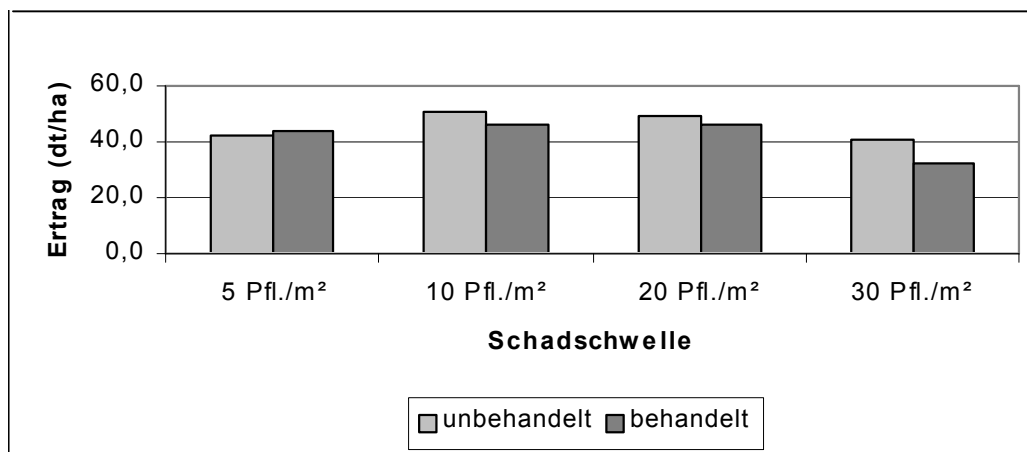
Anhangstabelle 9.17 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag GH (Gesamtfeld)** in den Jahren 2002-2003 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
2002	Körnermais	29.05.02	50g Cato (250g/kg Rimsulfuron)+ 4l Artett (150g/l Bentazon + 150 g/l Terbuthylazin)
		18.06.02	40g Cato (250g/kg Rimsulfuron)
2003	Körnermais	19.05.03	2l Gardo Gold (312,5g/l S Metolachlor, 187,5g/lTerbothylazin)+ 30g Cato (250g/kg Rimsulfuron)

Die in den Tabellen 9.4-9.8 aufgeführten Herbizide wurden teilschlagspezifisch in variierender Aufwandmenge appliziert. Die aufgeführten Dosen geben die maximale Herbiziddosis an, die bei starker Verunkrautung appliziert wurden.



Anhangsabb. 9.1 Versuchsplan „Einfluss unterschiedlich hoher Schadschwellen auf den Ertrag von Körnermais (in Zusammenarbeit mit Uni Hohenheim)



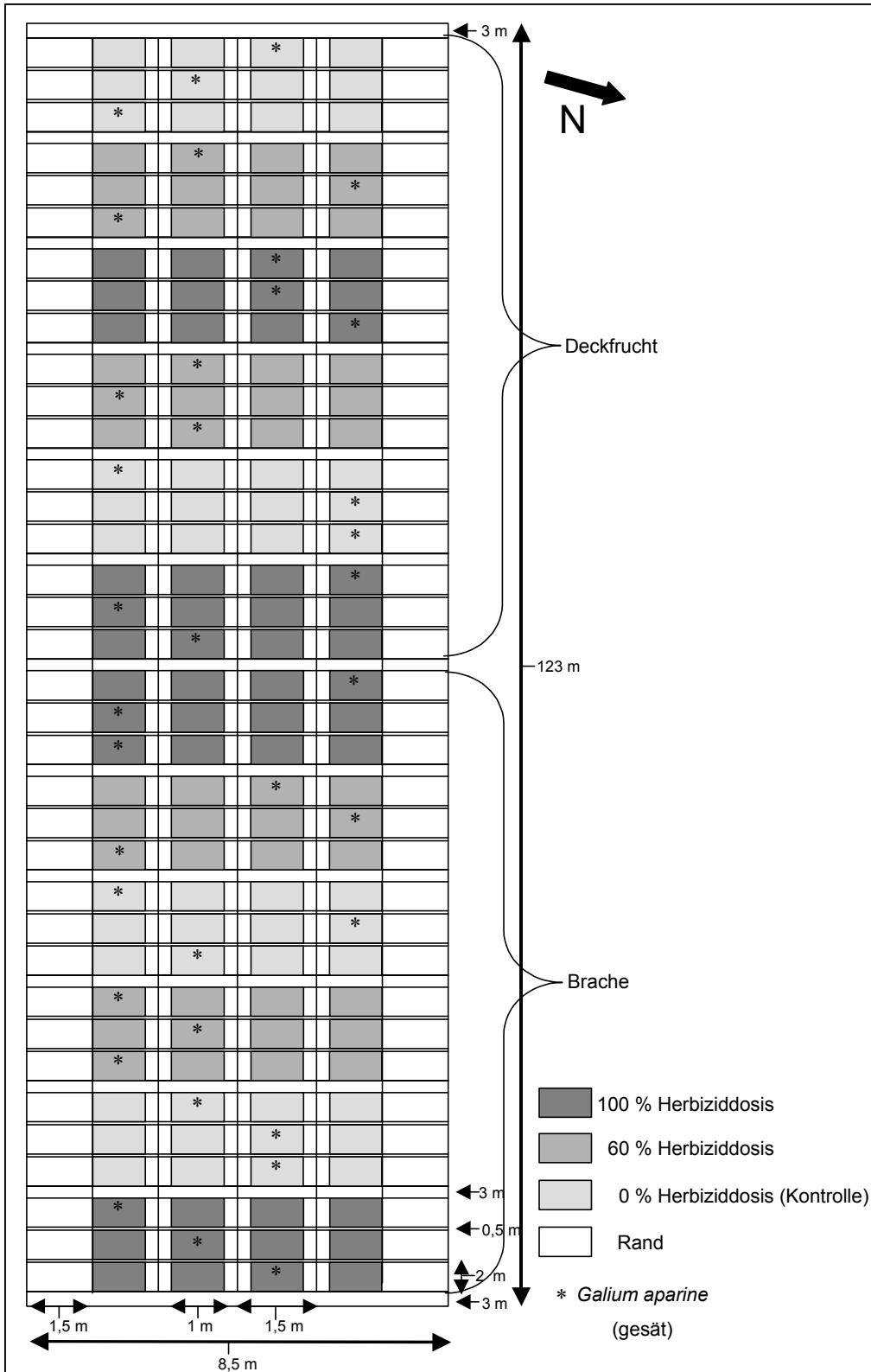
Anhangsabb. 9.2 Erträge in den mit Herbiziden behandelten und nicht behandelten Bereichen innerhalb der Schadschwellen

Anhangstabelle 9.18 Untersuchungen und Arbeiten am Versuchsstandort Hurtz (Nideggen-Berg)

Datum	Maßnahme
28.02.03	Aussaat Braugerste (Sorte Barke, 300 Körner/ m²)
05.05.03	Bonitur der Unkrautverteilung
12.05.03	Teilschlagspezifische Herbizidapplikation mit Dreikammerspritze 0,7 l Primus (50 g/l Florasulam) gegen Unkräuter, 1 l Ralon Super (Fenoxaprop-P-ethyl 69 g/l, Mefenpyr-Diethyl (Safener) 75 g/l) gegen Ungräser
21.05.03	Bonitur der Unkrautverteilung (Erfolgsbonitur)
15.07.03	Bonitur der Unkrautverteilung, Probenahme für Analyse des Rohproteingehalts sowie des Vollgerstenanteils, Mähdrusch mit Ertragskartierung

Anhangstabelle 9.19 Übersicht über die durchschnittliche Anzahl der Leitunkrautarten auf dem **Praxisschlag Hurtz** (Nideggen-Berg) im Jahr 2003 nach Rangfolge gelistet.

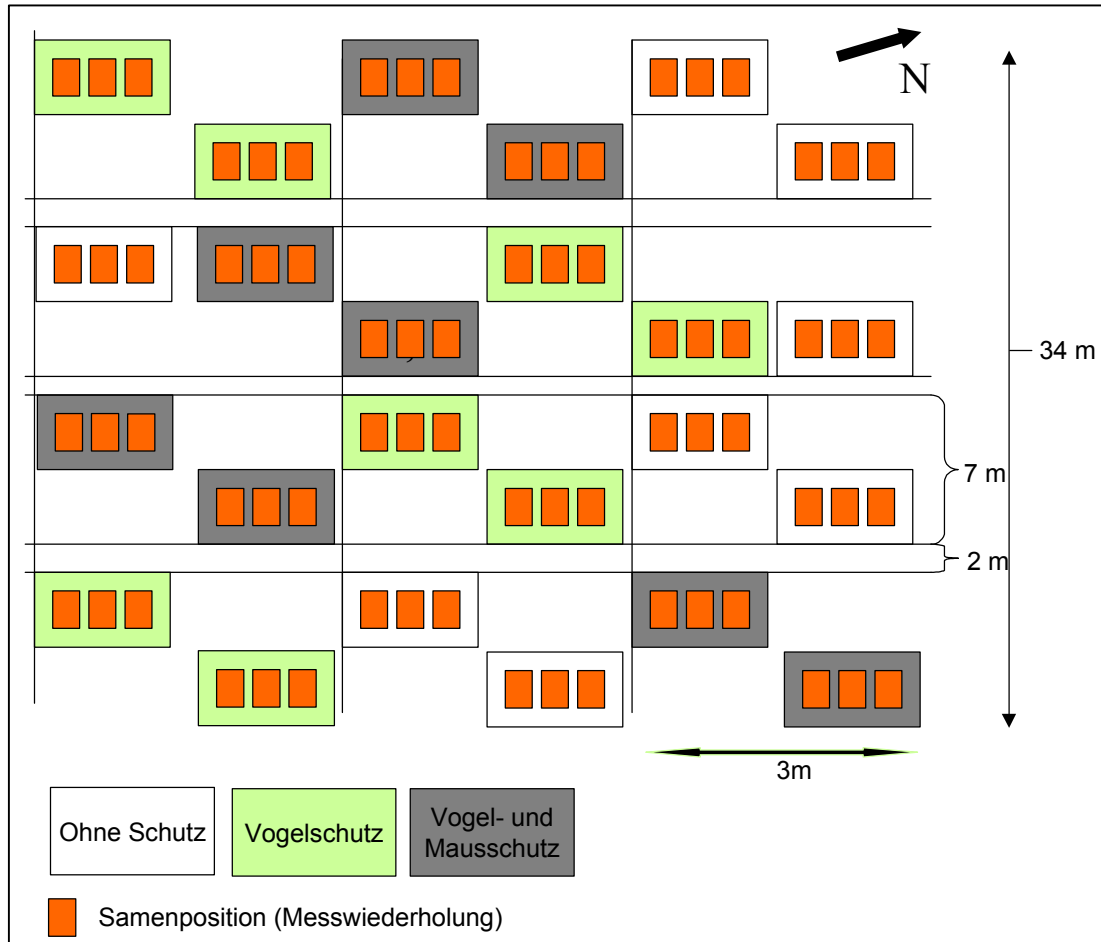
Sommergerste 2003		
Rang	Arten	Pfl./m²
1	GALAP	1,3
2	Ungräser	1,1
3	CONAR	0,8
4	FUMOF	0,6
5	CIRAR	0,5
6	VIOAR	0,3



Anhangsabb. 9.3 Versuchsplan: „Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf Abundanz und Samenproduktion von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica*“ (Versuchsstandort Poppelsdorf)

Anhangstabelle 9.20 Untersuchungen und Arbeiten im Versuch „Einfluss von Sommergetreidekonkurrenz und Herbiziddosis auf populationsdynamische Parameter von *Galium aparine* und *Eschscholzia californica* (Versuchsstandort Poppelsdorf)

Datum	Maßnahme
09.04.02	Aussaat von <i>Galium aparine</i> (250 Samen/m ²)
15.04.02	Aussaat von Sommerweizen der Sorte Pico in der Deckfruchtvariante (150 Körner/m ²)
16.05.02 (T1)	Bonitur der Unkrautverteilung (Startbonitur)
17.05.02	Herbizidapplikation nach Versuchsplan: 0,4 l Topik (Clodinafop-Propargyl mit Safener Cloquintocet-Mexyl), 0,8 l Starane (180 g/l Fluroxypyr), 25 g Pointer (75% Tribenuron Methyl) = 100% Aufwandmenge
19.06.02 (T2)	Erfolgsbonitur (Unkrautverteilung in Versuchspartellen)
09.07.02	Bonitur Samen/Pflanze (<i>Eschscholzia californica</i>)
19.07.02	Bonitur Samen/Pflanze (<i>Galium aparine</i>)
14.08.02	Ernte der Deckfrucht mit Partellenmähdrescher (Sommerweizen)
18.11.02 (T3)	Bonitur der Unkrautverteilung (vor Winter)
28.03.03 (T4)	Bonitur der Unkrautverteilung (vor Aussaat der Deckfrucht)
31.03.03	Bodenbearbeitung (Fräse 14 cm Tiefe), Aussaat von Sommergerste als Deckfrucht (Sorte Barke 300 Körner/m ²)
29.04.03 (T5)	Bonitur der Unkrautverteilung (nach Auflauf der Deckfrucht)
03.05.03	Applikation von 1,5 l/ha Tristar (100 g/l Fluroxypyr, 100 g/l Ioxynil, 100 g/l Bromoxynil) = 100% Aufwandmenge, nach Versuchsplan
02.06.03 (T6)	Bonitur der Unkrautverteilung (Erfolgsbonitur)
14.07.03	Ernte der Deckfrucht mit Partellenmähdrescher (Sommergerste)



Anhangsabb. 9.4 Versuchsplan 2002 „Untersuchung zur Reduzierung des Unkrautsamenpotenzials ohne Stoppelbearbeitung unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlicher Samenprädatoren zwischen Getreideernte und Herbstbestellung“

Anhangstabelle 9.21 Vergleich der Samenverlusten ausgewählter Unkraut- und Kulturarten in den Jahren 2002 und 2003 nach Schutzvarianten

Unkraut- und Kulturart	Schutzvariante	Verlustrate (%)
<i>Avena fatua</i> 02	OhneSchutz	65,5
<i>Avena fatua</i> 03	OhneSchutz	44,0
<i>Galium aparine</i> 02	OhneSchutz	16,2
<i>Galium aparine</i> 03	OhneSchutz	7,0
<i>Avena sativa</i> 02	OhneSchutz	98,9
<i>Avena sativa</i> 03	OhneSchutz	68,0
<i>Poa annua</i> 02	OhneSchutz	33,7
<i>Poa annua</i> 03	OhneSchutz	44,9
<i>Secale cereale</i> 02	OhneSchutz	100,0
<i>Secale cereale</i> 03	OhneSchutz	100,0
<i>Viola arvensis</i> 02	OhneSchutz	36,4

<i>Viola arvensis</i> 03	OhneSchutz	78,8
<i>Triticum aestivum</i> 02	OhneSchutz	100,0
<i>Triticum aestivum</i> 03	OhneSchutz	100,0
<i>Avena fatua</i> 02	Vogelschutz (grobe Maschen)	68,9
<i>Avena fatua</i> 03	Vogelschutz (grobe Maschen)	18,3
<i>Galium aparine</i> 02	Vogelschutz (grobe Maschen)	6,0
<i>Galium aparine</i> 03	Vogelschutz (grobe Maschen)	14,3
<i>Avena sativa</i> 02	Vogelschutz (grobe Maschen)	95,8
<i>Avena sativa</i> 03	Vogelschutz (grobe Maschen)	54,5
<i>Poa annua</i> 02	Vogelschutz (grobe Maschen)	31,0
<i>Poa annua</i> 03	Vogelschutz (grobe Maschen)	83,5
<i>Secale cereale</i> 02	Vogelschutz (grobe Maschen)	99,9
<i>Secale cereale</i> 03	Vogelschutz (grobe Maschen)	100,0
<i>Viola arvensis</i> 02	Vogelschutz (grobe Maschen)	48,8
<i>Viola arvensis</i> 03	Vogelschutz (grobe Maschen)	78,8
<i>Triticum aestivum</i> 02	Vogelschutz (grobe Maschen)	99,8
<i>Triticum aestivum</i> 03	Vogelschutz (grobe Maschen)	100,0
<i>Avena fatua</i> 02	Nagetierschutz (feine Maschen)	14,9
<i>Avena fatua</i> 03	Nagetierschutz (feine Maschen)	15,0
<i>Galium aparine</i> 02	Nagetierschutz (feine Maschen)	5,7
<i>Galium aparine</i> 03	Nagetierschutz (feine Maschen)	4,6
<i>Avena sativa</i> 02	Nagetierschutz (feine Maschen)	9,0
<i>Avena sativa</i> 03	Nagetierschutz (feine Maschen)	29,8
<i>Poa annua</i> 02	Nagetierschutz (feine Maschen)	8,8
<i>Poa annua</i> 03	Nagetierschutz (feine Maschen)	11,9
<i>Secale cereale</i> 02	Nagetierschutz (feine Maschen)	94,8
<i>Secale cereale</i> 03	Nagetierschutz (feine Maschen)	96,5
<i>Viola arvensis</i> 02	Nagetierschutz (feine Maschen)	18,7
<i>Viola arvensis</i> 03	Nagetierschutz (feine Maschen)	11,6
<i>Triticum aestivum</i> 02	Nagetierschutz (feine Maschen)	69,3
<i>Triticum aestivum</i> 03	Nagetierschutz (feine Maschen)	100,0

Anhangstabelle 9.22 Durchschnittliche Unkrautdichte in Pfl./m² nach Jahren und Kulturarten als Grundlage zur Berechnung der kulturartbedingten Keimungswahrscheinlichkeit

Jahr	Feld	Kultur	CHEAL	FUMOF	GALAP	VIOAR	MATSS	POLAV	ECHCG	VERSS	GRAS	DIK	GES
1997	8	KM	14,3	2,2	0,11	18,1	0	1,82	1,3	0	10,8	51,6	
1998	8	ZR	13,37	1,25	0,05	20,80	0,04	1,08	0	1,79	9,19	40,96	
1999	8	WW	0	0,32	0,13	3,92	0,04	0	0	3,58	6,24	12,71	
2000	8	WG	0,56	0,25	0,10	24,30	0,00	0,01	0	2,82	4,40	30,90	
2001	8	KM	11,53	2,21	0,00	0,63	0,00	0,58	1,56	0,00	1,88	18,15	
2002	8	ZR	2,00	1,12	0,00	2,04	0,00	0,06	0	0,09	3,66	6,30	
2003	8	WW	0	0,01	0,17	6,7	0,00	0,01	0	5,14	8,86	22,28	
1998	9	KM	26,09	0	0,3	21,42	0,97	16,2	0,37	0,79	2,04	66,93	
1999	9	ZR	16,4	0	0,01	32,5	0	26,6	0	0,49	4,99	81,77	
2000	9	WW	0	0	0,15	29,6	0	4,63	0	5,4	8,9	54,3	
2001	9	WG	2,07	0	0,04	9,67	0	0,4	0	2,42	9,06	26,8	
2002	9	KM	9,96	0	0	5,73	1,18	12,6	1,58	0,2	12,2	31,42	
2003	9	ZR	3,8	0	0	1,67	0	6,6	0	0	3,5	24,29	
1998	6	WW	0,00	0,03	0,37	0,21	2,26	6,60	0	2,62	3,32	12,46	
1999	6	WG	0,00	0,01	1,22	0,61	0,68	0,18	0	2,06	2,80	1,38	
2000	6	KM	4,3	0	1,2	0	0,4	1,5	0	0,4	1,4	9,10	
2001	6	ZR	5,77	0,1	1,4	0	0	4,6	0	0,6	10,8	15,7	
2002	6	WW	0	0	1,57	0	1,2	0,15	0	5,2	7,5	8,1	
2003	6	WG	0	0	0,42	0	0,14	0,4	0	4,15	9,43	5,36	
1999	GH	KM	93,05	0	0	0,1	0	1,4	24,5	0	0,84	200	
2000	GH	KM	94,51	0	0	0	0,04	1,56	31,40	0	1,49	157,94	
2001	GH	KM	43	0	0	0,13	0	0,67	185	0	7,4	168,88	
2002	GH	KM	35,27	0	0	0	2,02	0,6	247	0	71,6	1124,5	
2003	GH	KM	34,2	0	0	0	1,08	0,4	37,6	0	0,83	131,8	

Anhangstabelle 9.23 Verzeichnis von Unkräutern und Nutzpflanzen (EPPO-Code; lateinischer und deutscher Art- und Gattungsname)

<u>EPPO-Code</u>	<u>Lateinischer Name</u>	<u>Deutscher Name</u>
ABUTH	<i>Abutilon theopasti</i> Medik.	Schönmalve
ALOMY	<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.	Acker-Fuchsschwanz
AMARE	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Zurückgekrümmter Amaranth
ANGAR	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Acker-Gauchheil
APESV	<i>Apera spica venti</i> (L.) P.B.	Gemeiner Windhalm
APHAR	<i>Aphanes arvensis</i> L.	Gemeiner Ackerfrauenmantel
AVEFA	<i>Avena fatua</i> L.	Flug-Hafer
AVEST	<i>Avena sterilis</i> L.	Tauber Hafer
BRSNN	<i>Brassica napus</i> L.	Raps
CAPBU	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med.	Hirtentäschelkraut
CHEAL	<i>Chenopodium album</i> L.	Weißer Gänsefuß

CHEHY	<i>Chenopodium hybridum</i> L.	Bastard-Gänsefuß
CIRAR	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Acker-Kratzdistel
DATFE	<i>Datura ferox</i> L.	Gemeiner Stechapfel
DATSI	<i>Datura stramonium</i> L.	Weißer Stechapfel
ECHCG	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.B.	Gemeine Hühnerhirse
EPHHE	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	Sonnenwend-Wolfsmilch
EQUAR	<i>Equisetum arvense</i> L.	Acker-Schachtelhalm
FUMOF	<i>Fumaria officinalis</i> L.	Echter Erdrauch
GALAP	<i>Galium aparine</i> L.	Kletten-Labkraut
GASPA	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Kleinblütiges Franzosenkraut
GERSS	<i>Geranium</i> spp.	Storchschnabel-Arten
HELAN	<i>Helianthus annuus</i> L.	Sonnenblume
LAMSS	<i>Lamium</i> spp.	Taubnessel-Arten
LOLPE	<i>Lolium perenne</i> L.	Deutsches Weidelgras
MATSS	<i>Matricaria</i> spp.	KamilleArten
MERAN	<i>Mercurialis annua</i> L.	Einjähriges Bingelkraut
POAAN	<i>Poa annua</i> L.	Einjähriges Rispengras
POLAV	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Vogel-Knötreich
POLCO	<i>Polygonum convolvulus</i> L.	Gemeiner Winden-Knöterich
SETFA	<i>Setaria faberi</i> Herrm.	Faber-Borstenhirse
SETVI	<i>Setaria viridis</i> (L.) P.B.	Grüne Borstenhirse
SINAR	<i>Sinapis arvensis</i> L.	Acker-Senf
SOLNI	<i>Solanum nigrum</i> L.	Schwarzer Nachtschatten
SONAR	<i>Sonchus arvensis</i> L.	Acker-Gänsedistel
SONAS	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Raue Gänsedistel
STEME	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Vogelmiere
TAROF	<i>Taraxacum officinalis</i> Wiggers	Gemeiner Löwenzahn
THLAR	<i>Thlaspi arvense</i> L.	Acker-Hellerkraut
TRFRE	<i>Trifolium repens</i> L.	Weißklee
URTUR	<i>Urtica urens</i> L.	Kleine Brennessel
VERAR	<i>Veronica arvensis</i> L.	Feld-Ehrenpreis
VERHE	<i>Veronica hederaefolia</i> L.	Efeublättriger Ehrenpreis
VIOAR	<i>Viola arvensis</i> Murray	Acker-Stiefmütterchen

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. R. Gerhards, der mir die interessante Themenstellung für meine Arbeit ermöglicht und mich über den gesamten Zeitraum wissenschaftlich und persönlich betreut hat.

Bei Herrn Prof. Dr. H. W. Scherer sowie Herrn Prof. Dr. K. Hurlle bedanke ich mich für die Übernahme der Korreferate.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Lehrstuhl sowie den Mitarbeitern auf dem Versuchsgut Dikopshof und den studentischen Hilfskräften danke ich für die Hilfe bei der Durchführung und Umsetzung der Versuche.

Besonders möchte ich mich an dieser Stelle bei Frau H. Bartels, Frau A. Reinders, Herrn R. Lock sowie Herrn G. Beckers bedanken.

Meinen Kollegen Jan, Peter, Eva und Tobias möchte ich danken, da sie über das Fachliche hinaus zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Freundin Nicole, die mich über den gesamten Zeitraum durch alle Höhen und besonders die Tiefen während der Anfertigung dieser Arbeit begleitet hat und niemals die Geduld verlor.

Zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern Regina und Gerhard Dicke bedanken, die mir das Studium ermöglicht haben.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert