

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

**Effizienz teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle und räumlich-zeitliche Dynamik der Unkrautpopulationen in einer Felderfolge und Monokultur**

**In 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 17. Oktober 2003

von

Dipl.-Ing. agr. Peter Krohmann

aus Hüttental jetzt Siegen

Referent: Prof. Dr. W. Kühbauch

Korreferent: Prof. Dr. H.-W. Dehne

Tag der mündlichen Prüfung: 15. April 2004

D 98

## **Effizienz teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle und räumlich-zeitliche Dynamik der Unkrautpopulationen in einer Felderfolge und Monokultur.**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Untersuchungen zur Dynamik von Unkrautpopulationen unter dem Einfluss der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle in einer viergliedrigen Felderfolge Körnermais-Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste sowie in einer Maismonokultur über vier Jahre durchgeführt.

Eine Zunahme der Unkräuter infolge teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle über den Versuchszeitraum kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht hergeleitet werden; die Unkräuter unterlagen in ihrer Dichte jährliche Schwankungen, die vor allem auf den Einfluss der angebauten Fruchtart sowie des Anbaujahres zurückgeführt werden konnten.

Um Unkrautnester mit hoher Populationsdichte zu beseitigen, sollte verhindert werden, dass dort Unkräuter zur Samenreife gelangen. Die in Parzellenversuchen getesteten verschiedenen Kontrollmaßnahmen zur Reduzierung der Restverunkrautung und Samenproduktion zeigten kein eindeutiges Ergebnis, oftmals hatten weniger intensive Maßnahmen in den Parzellen einen höheren Rückgang der Unkrautdichte zur Folge.

Weiterhin wurde eine objektive Definition für ein Unkrautnest festgelegt. Demnach waren Unkrautnester verunkrautete Feldbereiche innerhalb der Verteilungskarten, deren Entfernung zueinander die maximale Entfernung zwischen zwei Zählstellen (in der vorliegenden Arbeit: 15 Meter) nicht überschritt. Alle diese verunkrauteten Flächen wurden zu einem Unkrautnest zusammengefasst. Bei der Interpretation der Unkrautpopulationen eines Feldes wurden die Verteilungsmuster des gesamten Versuchszeitraums berücksichtigt. Feldbereiche, die in mindestens einem Jahr als Unkrautnest definiert wurden, wurden auch in den übrigen Jahren auf Unkrautvorkommen untersucht. Mithin ergab sich ein zu untersuchender Teilbereich des Feldes, dessen Grenzen von der räumlichen Ausdehnung der Nester in allen Jahren bestimmt wurden.

Durch verschiedene statistische Parameter („Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson“, „Vierfelder- $\chi^2$ -Testes auf Unabhängigkeit“) wurde die Stabilität von Unkrautpopulationen belegt. Änderungen innerhalb von Unkrautpopulationen konnten durch diese Parameter jedoch nicht lokalisiert werden. Zu diesem Zweck war die visuelle Interpretation von Unkrautverteilungskarten unerlässlich.

Zur weiteren Analyse der aus der visuellen Interpretation gewonnenen Informationen war die bildanalytische Auswertung der Verteilungskarten ein geeignetes Hilfsmittel. Durch dieses Verfahren ist es möglich, auch geringfügige Änderungen innerhalb der Unkrautpopulationen auszumachen. Zur Interpretation der Ergebnisse der Bildanalyse fehlen aber bislang noch präzise Entscheidungsmodelle.

Die untersuchten Unkrautpopulationen waren in ihrem Vorhandensein in den ausgewählten Feldsegmenten über den Versuchszeitraum stabil. Die Nester variierten jedoch in ihrer Flächengröße in Abhängigkeit von angebauter Fruchtart und Anbaujahr. Eine langfristige Abschätzung der Entwicklung der Unkrautpopulationen unter dem Einfluss teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle ist aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht möglich.

## **The efficacy of site-specific weed control and spatio-temporal dynamics of weed populations in a rotation and continuous crop.**

In this study, the effects of site-specific weed control on the dynamics of weed populations in a rotation of maize, sugar-beet, winter wheat and winter barley over four years and in continuous maize were evaluated.

The results show, that an increase of the weeds over the study period due to site-specific weed control cannot be observed. However, the weeds varied in their density from year to year under the influence of the grown crop and the year.

For eliminating weed patches with high population density, seed production of weeds within these patches should be prevented. In plot trials different weed control measures to reduce late weed infestation and subsequent seed production were carried out. The tested variations showed no distinct results: less intensive measures often led to a higher reduction of weed density.

Furthermore a objective definition for a weed patch was specified. According to this, weed patches were weed infested field areas within the distribution maps, whose distance to each other not exceeded the maximum distance between two sampling points (in this study: 15m). All these weedy areas were combined to one weed patch. For the interpretation of the weed populations the dispersal patterns of the complete period of the study were considered. Field areas, that were defined as a weed patch in at least one year, were investigated for weed occurrence in the other years, too. Therefore, the boundaries of the resulting field area were determined by the spatial expansion of weed infestation of all years.

By statistics ("Pearsons correlation coefficient", "Chi-squared test for two by two contingency tables") the stability of weed populations was substantiated. Localisation of the changes within the weed populations by the use of statistical values was not possible. For these purposes the visual interpretation of weed distribution maps was necessary. Image analysis was a helpful tool for further investigation of the visual obtained information. With this method, marginal changes within the weed populations could be determined. However, exact decision models for the interpretation of the results of the image analysis have to be developed. The analysed weed populations were stable in their existence within the selected field areas throughout the period of the study. Still, the patches varied in their size within the selected field segments depending on the crop and year. Founded on the obtained results, a long-term prediction of the development of the weed populations under the influence of site-specific weed control is not possible.



**A Inhaltsverzeichnis**

<b>A</b>	<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>C</b>	<b>VERZEICHNIS DER TABELLEN .....</b>	<b>IX</b>
<b>D</b>	<b>VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN .....</b>	<b>XII</b>
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>3</b>
2.1	Die heterogene Verteilung von Unkrautpopulationen in Acker- schlägen .....	3
2.2	Verfahren zur Kartierung der Unkräuter .....	4
2.3	Beschreibung der räumlichen Verteilung und Stabilität von Unkrautpopulationen .....	8
2.4	Entscheidungsalgorithmen für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle .....	9
2.5	Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle .....	11
2.6	Die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle als Teil des Gesamt- konzeptes „Präziser Pflanzenbau“ .....	15
<b>3</b>	<b>PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>20</b>
4.1	Versuchsstandort .....	20
4.2	Versuchsdurchführung .....	21
4.2.1	Datenerhebung (Feldversuche) .....	22
4.2.1.1	Erfassung der Unkrautpopulationen .....	22
4.2.1.2	Kartierung der Unkrautpopulationen .....	22
4.2.2	Unkrautkontrollmaßnahmen (Gesamtfläche) .....	22
4.2.3	Teilschlagspezifische Herbizidapplikation .....	23
4.2.3.1	Erstellung der Applikationskarten .....	23
4.2.3.2	Umsetzung der Applikationskarten .....	24
4.2.3.3	Ermittlung des Bekämpfungserfolges .....	24
4.2.4	Datenerhebung (Parzellenversuche) .....	25
4.2.4.1	Auswahl der Parzellen .....	25
4.2.4.2	Unkrautkontrollmaßnahmen (Parzellen) .....	26
4.2.4.3	Erfassung der Unkrautpopulationen .....	27
4.2.4.4	Ermittlung des Bekämpfungserfolges .....	27
4.2.4.5	Bestimmung der Samenproduktion .....	27
4.2.5	Zusätzliche Flächeninformationen .....	28
4.2.5.1	Ackerschlagkartei .....	28
4.2.6	Auswertung der Datensätze .....	28
4.3	Parameter zur Beschreibung der Dynamik von Unkraut- populationen .....	28
4.3.1	Auswahl der Unkrautpopulationen .....	28
4.3.2	Statistische Parameter .....	28
4.3.3	Visuelle Interpretation und bildanalytische Auswertung der Verteilungskarten .....	30
4.3.4	Statistische Auswertung der Daten .....	34

## Untersuchungen zur Effizienz teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle und zur Persistenz von Unkrautpopulationen

<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>35</b>
5.1	Die Verunkrautungssituation vor Beginn der Maßnahmen (Feldversuche).....	35
5.1.1	Durchschnittliche Verunkrautung der Versuchsfelder und Unterschiede in der Artenzusammensetzung.....	35
5.1.2	Räumliche und zeitliche Verteilung einzelner Unkrautarten in den Versuchsfeldern.....	45
5.2	Die Verunkrautung nach der Unkrautkontrolle und Bekämpfungserfolg (Feldversuche).....	59
5.3	Einfluss des Anteils der mit Herbiziden behandelten Fläche auf den Erfolg der Unkrautkontrolle.....	62
5.4	Veränderung der Unkrautdichten in den mit Herbiziden behandelten und nicht behandelten Teilflächen.....	64
5.5	Bekämpfungserfolg der verschiedenen Maßnahmen über den gesamten Versuchszeitraum 1997-2001 in allen Feldern (Parzellenversuche).....	68
5.5.1	Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor Beginn der ersten Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Maßnahmen).....	68
5.5.2	Die Unkrautdichte in den Parzellen unmittelbar vor der Ernte der Kulturfrucht (Termin3) in Abhängigkeit von den durchgeführten Maßnahmen.....	72
5.6	Erhebungen zur Samenproduktion der Restverunkrautung.....	76
<b>6</b>	<b>DISKUSSION UND AUSBLICK</b> .....	<b>79</b>
6.1	Bewertung der Effizienz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle.....	79
6.2	Faktoren mit Einfluss auf Verteilungsmuster und Stabilität der Unkrautpopulationen und Wege zum Gegensteuern.....	81
6.3	Ausblick.....	90

## Die Stabilität von Unkrautpopulationen und Parameter zu deren Beschreibung

<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>94</b>
7.1	Lloyds <i>patchiness</i> Index als Maß für die Aggregation von Unkrautpopulationen.....	94
7.2	Visuelle Interpretation der Stabilität der untersuchten Unkrautpopulationen in den Verteilungskarten.....	95
7.3	Parameter zur Beschreibung der Ähnlichkeit von Unkrautpopulationen über mehrere Jahre.....	106
7.3.1	Der Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson.....	106
7.3.2	Der Vierfelder- $\chi^2$ -Test auf Unabhängigkeit.....	107
7.4	Bildanalytische Auswertung der Unkrautverteilungskarten.....	108
<b>8</b>	<b>DISKUSSION UND AUSBLICK</b> .....	<b>113</b>
8.1	Bewertung verschiedener statistischer Parameter zur Beschreibung der räumlichen Verteilung und zeitlichen Stabilität von Unkrautpopulationen.....	113

---

8.2 Vergleich der bildanalytischen Auswertung der Unkrautverteilungskarten mit den Ergebnissen der visuellen Interpretation .....	114
8.3 Bewertung und Schwierigkeiten des Verfahrens der bildanalytischen Auswertung von Unkrautverteilungskarten .....	116
8.4 Ausblick .....	119
<b>9 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>121</b>
<b>10 LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>124</b>
<b>11 ANHANG .....</b>	<b>134</b>
11.1 Verzeichnis der Anhangstabellen .....	134

## B Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 2.1	Verteilung einiger Zeigerpflanzen für Staunässe und Luftarmut auf einem Haferstoppfeld (ELLENBERG 1950).....	3
Abb. 2.2	Möglichkeiten der Verteilung von Einzelindividuen einer Population.....	4
Abb. 2.3	Flussdiagramm für die Anwendung des präzisen Pflanzenbaus (verändert nach MURPHY et al. 1994).....	15
Abb. 2.4	Ertragskarte von Winterweizen (Dikopshof, Schlag 9) aus dem Jahr 2000 (TIMMERMANN 2001). ....	16
Abb. 4.1	Schema der dGPS-gesteuerten Pflanzenschutzspritze mit separat geschalteten Teilbreiten und Regulierung der Ausbringmenge (GERHARDS et al. 2000). ....	24
Abb. 4.2	Schematische Darstellung zur Definition von Nestern am Beispiel der Verteilungskarten von Ungräsern in Feld 8 in den Jahren 1998 und 1999 (Schwellenwert: „mittel“ [ $>5^\circ$ Pflanzen/m <sup>2</sup> ]) (Abb. A und C) sowie der untersuchten Feldbereiche nach der Kombination der beiden Verteilungskarten der beiden Jahre (Abb. C). ....	31
Abb. 4.3	Schematische Darstellung eines Feldes sowie der Gradzahlen zur Angabe der Bewegungsrichtung des Schwerpunktes in Relation zur Bearbeitungsrichtung.....	33
Abb. 5.1	Mittlere Dichte der jeweils drei häufigsten dikotylen Unkrautarten sowie <i>Galium aparine</i> in den vier untersuchten Fruchtarten aller Felder der Felderfolge über den gesamten Untersuchungszeitraum (1997-2001). ....	36
Abb. 5.2	Dichte des jeweiligen dikotylen Leitunkrautes, der Ungräser sowie von <i>Galium aparine</i> in <b>Feld 4</b> in den Jahren 1998-2001. ....	37
Abb. 5.3	Dichte des jeweiligen dikotylen Leitunkrautes, der Ungräser sowie von <i>Galium aparine</i> in <b>Feld 6</b> in den Jahren 1998-2001. ....	38
Abb. 5.4	Dichte des jeweiligen dikotylen Leitunkrautes, der Ungräser sowie von <i>Galium aparine</i> in <b>Feld 8</b> in den Jahren 1997-2001. ....	39
Abb. 5.5	Dichte des jeweiligen dikotylen Leitunkrautes, der Ungräser sowie von <i>Galium aparine</i> in <b>Feld 9</b> in den Jahren 1998-2001. ....	40

Abb. 5.6	Dichte der jeweiligen zwei dikotylen Leitunkräuter sowie der Hirse-Arten in <b>Feld GH</b> in den Jahren 1999-2001. ....	41
Abb. 5.7	Verteilung von <i>Chenopodium album</i> in <b>Feld 4</b> in den Jahren 1998–2001.....	47
Abb. 5.8	Verteilung der Ungräser (überwiegend ALOMY und POAAN) in <b>Feld 6</b> in den Jahren 1998–2001. ....	48
Abb. 5.9	Verteilung von <i>Galium aparine</i> in <b>Feld 6</b> in den Jahren 1998–2001.....	49
Abb. 5.10	Verteilung der Ungräser (überwiegend ALOMY) in <b>Feld 8</b> in den Jahren 1997-2001. ....	50
Abb. 5.11	Verteilung von <i>Viola arvensis</i> in <b>Feld 8</b> in den Jahren 1997-2001. ....	51
Abb. 5.12	Verteilung von <i>Chenopodium album</i> in <b>Feld 9</b> in den Jahren 1998-2001.....	52
Abb. 5.13	Verteilung von <i>Polygonum aviculare</i> in <b>Feld 9</b> in den Jahren 1998-2001.....	53
Abb. 5.14	Verteilung von <i>Viola arvensis</i> in <b>Feld 9</b> in den Jahren 1998-2001.....	54
Abb. 5.15	Verteilung von <i>Chenopodium album</i> in <b>Feld GH</b> in den Jahren 1999-2001. ....	55
Abb. 5.16	Verteilung der Hirse-Arten (überwiegend ECHCG) in <b>Feld GH</b> in den Jahren 1999-2001. ....	56
Abb. 5.17	Verteilung von <i>Solanum nigrum</i> in <b>Feld GH</b> in den Jahren 1999-2001.....	57
Abb. 5.18	Durchschnittlicher Bekämpfungserfolg in den untersuchten Unkrautgruppen in Hackfrüchten und Getreide aller Felder über den gesamten Versuchszeitraum 1997-2001.....	59
Abb. 5.19	Erfolg der Unkrautkontrolle in den <b>herbizidbehandelten Teilflächen</b> der Felder der Felderfolge (maximale und minimale Werte aus dem gesamten Versuchszeitraum). (*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben) .....	65
Abb. 5.20	Erfolg der Unkrautkontrolle in den <b>nicht mit Herbiziden behandelten Teilflächen</b> der Felder der Felderfolge (maximale und minimale Werte aus dem gesamten Versuchszeitraum). (*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben).....	67

Abb. 5.21: Einfluss des Einsatzes der Hacke auf den Bekämpfungserfolg in Körnermais und Zuckerrüben am Beispiel von monokotylen Unkräutern, <i>Chenopodium album</i> und <i>Galium aparine</i> .....	69
Abb. 5.22: Einfluss des Einsatzes des Striegels auf den Bekämpfungserfolg in Winterweizen und Wintergerste am Beispiel von monokotylen Unkräutern, <i>Viola arvensis</i> und <i>Chenopodium album</i> . .....	70
Abb. 5.23: Veränderung des Bekämpfungserfolges durch zusätzlichen Einsatz eines Herbizides in den untersuchten Kulturarten am Beispiel von monokotylen Unkräutern, <i>Viola arvensis</i> und <i>Chenopodium album</i> . .....	71
Abb. 5.24: Dichte der vier untersuchten Unkräuter in Feld GH im Jahr 2001 im ungepflügten Gesamtfeld sowie in den ungepflügten bzw. gepflügten Parzellen vor der ersten Unkrautkontrollmaßnahme. ....	72
Abb. 5.25: Dichte der Restverunkrautung (Alt- und Neuverunkrautung) in Sonnenblumen (Feld 4) und Zuckerrüben (Feld 6) im Jahr 2001 in den ungehackten bzw. gehackten Parzellen vor der Ernte der Kulturfrucht. ....	73
Abb. 5.26 Dichte der Restverunkrautung (Alt- und Neuverunkrautung) in Körnermais in Feld 8 im Jahr 2001 in den ungehackten bzw. gehackten Parzellen vor der Ernte der Kulturfrucht.....	74
Abb. 5.27 Dichte der Restverunkrautung (Alt- und Neuverunkrautung) in der Körnermaismonokultur in den Jahren 2000 und 2001 in den ungehackten bzw. gehackten Parzellen vor der Ernte der Kulturfrucht. ....	75
Abb. 5.28: Veränderung der mittleren Dichte der vier untersuchten Unkräuter in den ungepflügten bzw. gepflügten Parzellen in Feld GH im Jahr 2001 vom Zeitpunkt unmittelbar vor der ersten Unkrautkontrollmaßnahme bis kurz vor der Ernte. ....	76
Abb. 6.1 Veränderung der Dichte der drei dikotylen Leitunkräuter, der Ungräser sowie von <i>Galium aparine</i> in Feld 8 über den Versuchszeitraum 1997-2001.....	79

- Abb. 6.2 Einfluss von zwei Unkrautkontrollmaßnahmen ( : Standardherbizid ohne Maschinenhacke, ' : Standardherbizid und Maschinenhacke und Untersaat) auf das Verhältnis zwischen Ausgangsverunkrautung (*Chenopodium album*) und der Anzahl überlebender Pflanzen in Feld GH (Parzellen) im Jahr 2001. .... 86
- Abb. 6.3 Zusammenhang zwischen Ausgangsverunkrautung (*Chenopodium album*) und der Anzahl überlebender Pflanzen in Feld GH in den Jahren 1999 ( ( ), 2000 ( ' ) und 2001 ( + )..... 87
- Abb. 7.1: Kombination der Verteilungskarte der Ungräser (überwiegend *Alopecurus myosuroides*) (**Schwellenwert: „hoch“ [ $>20^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1997 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre in Feld 8..... 97
- Abb. 7.2: Kombination der Verteilungskarte der Ungräser (überwiegend *Alopecurus myosuroides*) (**Schwellenwert: „mittel“ [ $>5^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1997 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre in Feld 8..... 98
- Abb. 7.3: Kombination der Verteilungskarte der Ungräser (überwiegend *Alopecurus myosuroides*) (**Schwellenwert: „niedrig“ [ $>1^\circ$ Pflanze/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1997 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre in Feld 8..... 99
- Abb. 7.4: Kombination der Verteilungskarte von *Viola arvensis* (**Schwellenwert: „hoch“ [ $>50^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 9 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes. .... 100
- Abb. 7.5: Kombination der Verteilungskarte von *Viola arvensis* (**Schwellenwert: „mittel“ [ $>20^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 9 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes. .... 101
- Abb. 7.6: Kombination der Verteilungskarte von *Viola arvensis* (**Schwellenwert: „niedrig“ [ $>5^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 9 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes. .... 102

- Abb. 7.7: Kombination der Verteilungskarte von *Galium aparine* (**Schwellenwert: „hoch“ [ $>5^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 6 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes. .... 103
- Abb. 7.8: Kombination der Verteilungskarte von *Galium aparine* (**Schwellenwert „mittel“: [ $>2^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 6 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes. .... 104
- Abb. 7.9: Kombination der Verteilungskarte von *Galium aparine* (**Schwellenwert „niedrig“: [ $>0,1^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 6 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes. .... 105

## C Verzeichnis der Tabellen

Tab. 2.1	Faktoren mit Einfluss auf die Ertragsvariabilität (nach EARL et al. 1996) .....	16
Tab. 4.1	Größe und Felderfolge der Versuchsflächen.....	20
Tab. 4.2	Pflanzenbauliche Maßnahmen in den Versuchsflächen nach der Ernte der Vorfrucht bis zur Saatbettbereitung der Folgefrucht. ....	21
Tab. 4.3	Übersicht zu den Parzellenversuchen in den Jahren 1999-2001 .....	26
Tab. 4.4	Exemplarische Darstellung einer Vierfelder-Tafel (Ungräser in Feld 8 in den Jahren 1998 (Zuckerrüben) und 1999 (Winterweizen)). ....	29
Tab. 4.5	Schwellenwerte der Verunkrautungsklassen für die drei untersuchten Unkräuter.....	30
Tab. 5.1	Mittlere Unkrautdichten (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) der für die Spritzentscheidung relevanten Unkrautgruppen (monokotyle bzw. dikotyle Unkräuter) über den Versuchszeitraum in allen fünf Feldern. ....	35
Tab. 5.2	Mittlere Dichte der drei dikotylen Leitunkräuter, der Ungräser und <i>Galium aparine</i> in <b>Feld 8</b> über den Versuchszeitraum sowie in den einzelnen Jahren (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) und deren prozentuale Abweichung von der mittleren Verunkrautung.....	42
Tab. 5.3	Mittlere Dichte der dikotylen Leitunkräuter, der Ungräser und <i>Galium aparine</i> in <b>Feld 4</b> und <b>Feld 8</b> über den Versuchszeitraum sowie in den einzelnen Jahren (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) und deren prozentuale Abweichung von der mittleren Verunkrautung.....	43
Tab. 5.4	Mittlere Dichte der dikotylen Leitunkräuter und der Ungräser in der Maismonokultur ( <b>Feld GH</b> ) über den Versuchszeitraum sowie in den einzelnen Jahren (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) und deren prozentuale Abweichung von der mittleren Verunkrautung.....	44
Tab. 5.5	Veränderung der Dichte der drei Unkrautgruppen „monokotyle Unkräuter“, „dikotyle Unkräuter ohne <i>Galium aparine</i> “ und „ <i>Galium aparine</i> “ vom Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn (Termin1) bis zum Abschluss der Kontrollmaßnahmen (Termin2) in den einzelnen Feldern. ....	61

Tab. 5.6	Zusammenhang zwischen herbizidbehandelten Flächenanteilen (in % der Fläche eines Schlages) und der Effizienz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle (prozentuale Verringerung der Unkrautdichte im Gesamtfeld) in den vier Fruchtarten ( $r_s$ : Spearmanscher Rang-Korrelationskoeffizient; ** $p < 0,01$ ).....	63
Tab. 5.7	Mittlere Veränderung der Unkrautdichten vom ersten zum zweiten Termin in allen Feldern in den herbizidbehandelten und unbehandelten Teilflächen über den Versuchszeitraum. ....	64
Tab. 5.8	Ergebnis der statistischen Auswertung der Veränderung der Unkrautdichte von Termin 1 zu Termin 2 in den mit Herbiziden <b>behandelten Teilflächen</b> aller Schläge der Felderfolge (n = Anzahl der untersuchten Teilflächen).....	66
Tab. 5.9	Ergebnis der statistischen Auswertung der Veränderung der Unkrautdichte von Termin 1 zu Termin 2 in den <b>nicht mit Herbiziden behandelten Teilflächen</b> aller Schläge der Felderfolge (n = Anzahl der untersuchten Teilflächen).....	67
Tab. 5.10	Ergebnisse der Erhebungen zur Samenproduktion der vier untersuchten Unkräuter.....	77
Tab. 6.1	Werte zur Samenproduktion von <i>Chenopodium album</i> in der Literatur .....	88
Tab. 7.1	Mittlere Verunkrautung (Pflanzen/m <sup>2</sup> ), Standardabweichung und Lloyds <i>patchiness</i> Index der Ungräser in Feld 8, <i>Viola arvensis</i> in Feld 9 und <i>Galium aparine</i> in Feld 6 über den Versuchszeitraum (KM: Körnermais, ZR: Zuckerrüben, WW: Winterweizen, WG: Wintergerste).....	94
Tab. 7.2	Korrelationskoeffizienten nach Pearson für den Vergleich der Unkrautdichten zu Vegetationsbeginn (** $p < 0,01$ ).....	106
Tab. 7.3	$\chi^2$ -Werte, ermittelt aus Vierfeldertafeln (vgl. Tab. 4.4, S.29) der verunkrauteten und unkrautfreien Zählstellen für jedes Paar von Jahren (** $p < 0,001$ ; ** $p < 0,01$ ; * $p < 0,05$ ).....	107
Tab. 7.4	Anzahl und Gesamtfläche der Unkrautnester (nach der Definition in Kap. 4.3.3, S.30ff.) in Feld 8 in den Jahren 1997-2001 in Abhängigkeit von der Höhe des Schwellenwertes (vgl. Unkrautverteilungskarten Abb. 7.1 und Abb. 7.2).....	109

Tab. 7.5	Anzahl und Größe der Nester der Verunkrautungsklassen „hoch“ und „mittel“, die in den Feldbereichen lagen, die innerhalb der Grenzen der größtmöglichen Ausdehnung der Unkrautnester der einzelnen Jahre lagen (vgl. (Abb. 7.1; Abb. 7.2). ....	110
Tab. 7.6	Distanz zwischen den Schwerpunkten und Richtung der Verlagerung der Schwerpunkte sowie die Veränderung der Flächengröße der zu einer Population verbundenen und zusammengefassten Unkrautnester innerhalb des „Feldbereiches 1“ für die <b>Verunkrautungsklasse «hoch»</b> in Feld 8 (Abb. 7.1, S.97). (Die Richtung der Verlagerung von 0° (360°) bzw. 180° bedeutet in Bearbeitungsrichtung, Werte von 90° bzw. 270° im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung (vgl. Abb. 4.3, S.34).).....	111
Tab. 7.7	Distanz zwischen den Schwerpunkten und Richtung der Verlagerung der Schwerpunkte sowie die Veränderung der Flächengröße der zu einer Population verbundenen und zusammengefassten Unkrautnester innerhalb der Feldbereiche 1 und 2 für die <b>Verunkrautungsklasse «mittel»</b> in Feld 8 (vgl. Abb. 7.2, S.98). (Die Richtung der Verlagerung von 0° (360°) bzw. 180° bedeutet in Bearbeitungsrichtung, Werte von 90° bzw. 270° im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung (vgl. Abb. 4.3, S.34).).....	112

**D Verzeichnis der Abkürzungen**

Abb.	<b>Abbildung</b>
bzw.	<b>beziehungsweise</b>
$\chi$	<b>Chi</b>
ca.	<b>circa</b>
CCD	Halbleitersensor ( <b>charge coupled device</b> )
d.h.	<b>das heißt</b>
def.	<b>definiert</b>
DGM	<b>Digitales Geländemodell</b>
dGPS	<b>differenzielles Globales Positionierungssystem</b>
DIKO	<b>dikotyle Unkräuter</b>
et al.	und andere ( <b>et alii</b> )
etc.	und weitere ( <b>et cetera</b> )
FHS	<b>Formulierungshilfsstoff</b>
g	<b>Gramm</b>
GPS	<b>Globales Positionierungssystem</b>
GIS	<b>Geo-Informationssystem</b>
Kap.	<b>Kapitel</b>
KM	<b>Körnermais</b>
l	<b>Liter</b>
m	<b>Meter</b>
max.	<b>maximal</b>
Max.	<b>Maximum</b>
mech.	<b>mechanisch</b>
min	<b>Minute</b>
Min.	<b>Minimum</b>
ml	<b>Milliliter</b>
MONOKO	<b>monokotyle Unkräuter</b>
n.a.	nicht ermittelt (engl. <b>not assessed</b> )
NAK	<b>Nachauflaufkontrolle</b>
NN	<b>normal Null (Meereshöhe)</b>
o.a.	<b>oben angeführt</b>
o.ä.	<b>oder ähnlich</b>
PI	<b>patchiness Index</b>

---

s.	<b>siehe</b>
s.o.	<b>siehe oben</b>
s.u.	<b>siehe unten</b>
S.	<b>Seite</b>
SB	<b>Sonnenblumen</b>
sog.	<b>so genannt</b>
spp.	Bezeichnung aller Arten innerhalb dieser Familie oder Gattung
T	<b>Termin</b>
Tab.	<b>Tabelle</b>
UKK	<b>Unkrautkontrollmaßnahme</b>
überw.	<b>überwiegend</b>
VAK	<b>Vorauflaufkontrolle</b>
vgl.	<b>vergleiche</b>
WG	<b>Wintergerste</b>
WW	<b>Winterweizen</b>
z.B.	<b>zum Beispiel</b>
ZR	<b>Zuckerrüben</b>



## 1 Einleitung

Das Konzept der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung beruht auf dem Wissen, dass landwirtschaftlich genutzte Flächen keineswegs homogen sind, sondern boden- und reliefbedingt kleinräumige Unterschiede in den Standortbedingungen aufweisen. Diese Standortunterschiede zeigen sich beispielsweise in dem heterogenen Aufwuchs und der Ertragsvariabilität der Kulturpflanzen innerhalb einzelner Ackerschläge. Durch die Karten der Reichsbodenschätzung, aber auch durch Fernerkundungsaufnahmen oder die Interpretation von Ertragskarten wird die Heterogenität von Ackerschlägen bestätigt. Ähnlich dem Aufwuchs der Kulturpflanzen wird auch das Auftreten und Wachstum von Unkrautpflanzen und -populationen innerhalb eines Feldes durch kleinräumige Standortunterschiede beeinflusst. Die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle und hier vor allem die Herbizidausbringung stellt eine Möglichkeit dar, mit der der Praktiker diesem Umstand Rechnung tragen kann.

In der Vergangenheit war es aufgrund fehlender Technik kaum möglich, Heterogenitäten ortskodiert zu erfassen und erforderliche Maßnahmen ortsgenau durchzuführen. Durch die Einführung des Globalen-Positionierungs-Systems (GPS) wurde dieses Problem beseitigt. Mit Hilfe dieser Technik sowie der Entwicklung von elektronisch gesteuerten Pflanzenschutzspritzen ist es möglich, die Herbizide präzise und ortsgenau auszubringen. Bislang fehlen jedoch angemessene Entscheidungsmodelle und Expertenwissen für eine Optimierung der kleinräumigen Unkrautkontrolle. Hier ist vor allem an die Anpassung von Schadensschwellenkonzepten an die kleinräumige Bewirtschaftung zu denken. Darüber hinaus ist aufgrund der relativen Neuartigkeit des Verfahrens bisher weitgehend ungeklärt, welche positiven und negativen Folgen der Einsatz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle in der praktischen Anwendung hat.

Der dieser Arbeit zugrundeliegende Versuchszeitraum von 1997-2001 zur Anwendung der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation im praktischen Einsatz erlaubt eine erste Einschätzung der Effizienz dieses Verfahrens. In einem weiteren Schritt soll die dem System der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle zugrundeliegende Heterogenität der Unkrautpopulationen in ihrer zeitlichen und räumlichen Dynamik untersucht und beschrieben werden. Die Persistenz von Unkrautpopulationen über mehrere Jahre in gleichen Bereichen eines Feldes sowie der Begriff des „Unkrautnestes“ konnte bislang nur aufgrund von visueller Interpretation des Betrachters von Unkrautverteilungskarten subjektiv beschrieben werden. Verschiedene Arbeitsgruppen konnten anhand von statistischen Maßzahlen die Tendenz zur Aggregation und zur Stabilität von Unkrautpopulationen bestätigen. Geringfügige Änderungen, die in den Verteilungskarten verschie-

dener Jahre bei visueller Interpretation offensichtlich werden, konnten durch diese Methoden jedoch nicht hinreichend erfasst und lokalisiert werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Die heterogene Verteilung von Unkrautpopulationen in Ackerschlägen

ELLENBERG (1950) beschreibt in seinem Buch „Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie“ den Einfluss des Wasser- und Lufthaushaltes des Bodens auf die räumliche Verteilung der Unkräuter. Er zeigt eine Unkrautverteilungskarte eines Haferstoppfeldes, in dem Zeigerpflanzen für Staunässe und kalkliebende Arten eingezeichnet sind (Abb. 2.1). Neben dem Einfluss des Bodens wies er auf andere Ursachen wie Klima, Fruchtart, Bodenbearbeitung und Bestandesführung als wichtige Faktoren für die Zusammensetzung der Unkrautgemeinschaft hin.

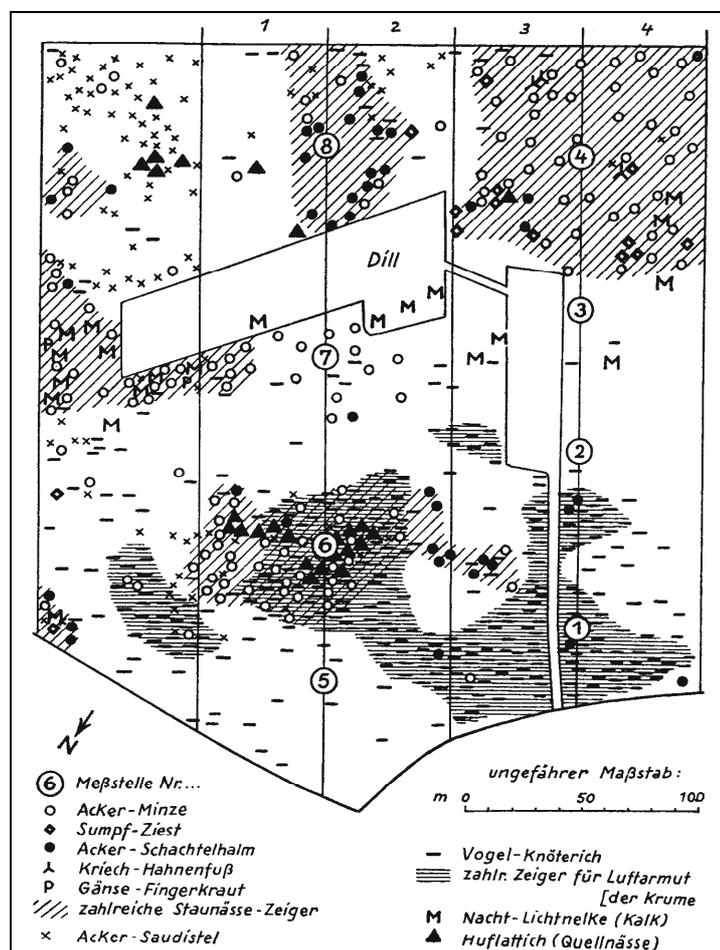


Abb. 2.1 Verteilung einiger Zeigerpflanzen für Staunässe und Luftarmut auf einem Haferstoppfeld (ELLENBERG 1950)

Diese seit langem bekannte Heterogenität in den Verteilungsmustern von Unkräutern innerhalb von Ackerschlägen wurden in jüngerer Zeit wieder aufgegriffen: z.B. GROENENDAEL (1988), MARSHALL (1989), THORNTON et al. (1990), MORTENSEN et al. (1993), CARDINA et al. (1997) und GERHARDS et al. (1997a) beschrieben, dass die Unkrautpopulationen sehr häufig nester- oder streifenweise in

hoher Dichte auftraten, während andere Teile des Feldes wenig oder überhaupt nicht verunkrautet waren. RADOSEVICH et al. (1997) zeigen verschiedene mögliche Verteilungsmuster der Einzelindividuen von Unkrautpopulationen auf (Abb. 2.2) und stellen fest, dass die Pflanzen in natürlichen Beständen entweder zufällig verteilt sind (Abb. 2.2A) oder, abweichend von der rein zufälligen Verteilung, häufig nesterförmig vorliegen (Abb. 2.2B und D).

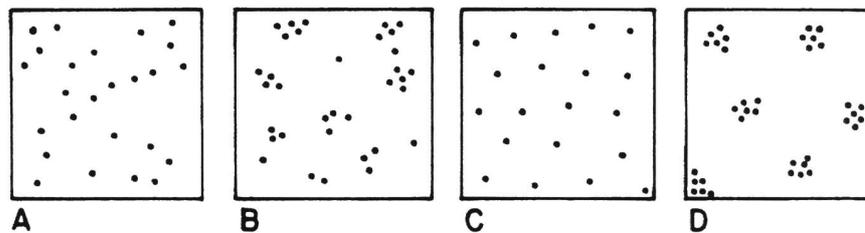


Abb. 2.2 Möglichkeiten der Verteilung von Einzelindividuen einer Population.

- A) Zufallsverteilung
- B) gruppenweise, zusammenhängende Verteilung
- C) regelmäßige oder negativ zusammenhängende Verteilung
- D) Kombination des starken Anhäufens der Einzelindividuen in Kolonien und regelmäßige Verteilung der Kolonien.

(nach RADOSEVICH et al. 1997)

Aus diesem Phänomen resultieren Überlegungen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle. Um eine präzise Unkrautkontrolle zu ermöglichen, müssen die Unkräuter innerhalb einer Fläche erfasst (Kap. 2.2) und die Verteilungsmuster berücksichtigt werden.

## 2.2 Verfahren zur Kartierung der Unkräuter

Um ein System zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle für die landwirtschaftliche Praxis verfügbar zu machen, ist es unerlässlich, zuverlässige Ergebnisse über die Verteilung von Unkräutern und das Artenspektrum der Unkrautpopulation im Feld zu bekommen. Zu diesem Zweck werden zwei verschiedene Methoden angewendet: die manuelle Kartierung und die sensorgestützte Erkennung der Unkräuter.

REW und COUSENS (2001) geben einen Überblick über drei verschiedene manuelle Kartierungsmethoden und unterscheidet zwischen diskreter („discrete sampling“), stetiger („continuous sampling“) und Punktkartierung. Die diskrete Kartierung ist die meistverbreitete Methode: bei diesem Verfahren werden die Unkräuter in einem vorher definierten Raster bzw. Teilflächen gezählt, die Daten für die nicht kartierten Flächen werden mit Hilfe von verschiedenen Interpolationsmethoden geschätzt. Aufgrund der besseren Erkennbarkeit in einem frühen Entwicklungsstadium des Kulturpflan-

zenbestandes werden die Unkräuter üblicherweise kurz nach dem Auflaufen nach der Aussaat der Kulturpflanze gezählt. Mit dieser Vorgehensweise wurden auch die Verteilungskarten der vorliegenden Arbeit erstellt. Die Genauigkeit, aber auch der Zeitaufwand und damit auch der monetäre Aufwand für diese Methodik ist sowohl von der Größe und Anzahl der auszuzählenden Quadrate an jedem Rasterpunkt als auch von der Rasterweite und der zu kartierenden Fläche abhängig. REW und COUSENS (1998) recherchierten, dass die Fläche der ausgezählten Quadrate an den einzelnen Rasterpunkten in bislang veröffentlichten Studien zwischen 0,0025 m<sup>2</sup> und 1,46 m<sup>2</sup> lag (überwiegend 0,1 - 1 m<sup>2</sup>). Die Unterschiede in der Rasterweite beziffern sie mit 1,8 m x 1,8 m bis hin zu 50 m x 50 m. Die untersuchten Flächen schwankten zwischen 0,019 und 173 ha. In dem o.a. Artikel rechnen REW und COUSENS (2001) vor, dass bei einer ausgezählten Fläche von 1 m<sup>2</sup> in einem Raster von 20 m x 20 m lediglich 0,25% der Fläche aufgenommen werden. Aufgrund dieser Problematik können kleinere Unkrautnester oft nicht erkannt werden - die große Rasterweite kann auch nicht durch die fortschrittlichsten Interpolationsmethoden kompensiert werden. GERHARDS et al. (1997a) weisen beispielsweise daraufhin, dass selbst bei einem Raster von 7 m x 7 m kleinere Nester häufig zwischen den Aufnahmepunkten liegen.

Im Gegensatz zum diskreten Verfahren wird bei der stetigen Kartierung die gesamte Fläche kartiert, so dass hier alle Unkrautpopulationen erkannt werden. Da dieses Verfahren äußerst arbeitsintensiv ist, kann es in der Praxis nur sehr eingeschränkt eingesetzt werden. Durch die Entwicklung von sensorgestützten Kartierungssystemen wird dieses Verfahren in Zukunft zur praktischen Anwendung kommen. Für einzelne Unkrautarten können mit diesem Verfahren Unkrautverteilungen kartiert werden. Beispielsweise BARROSO et al. (2001) teilten ein Wintergerstefeld komplett in 12 m x 6 m (Schnittbreite des Mähdeschers) -Teilflächen auf und zählten aus der Mähdescherkabine die bei der Ernte überstehenden Rispen von Taubem Hafer (*Avena sterilis* L.) in jeder Teilfläche. Die Dichten jeder Parzelle wurden zu einem Wert zusammengefasst. Bei der Punktkartierung wird jede einzelne Pflanze mit einer genauen Ortsangabe mit Hilfe eines dGPS (differenzielles Globales-Positionierungssystem) erfasst. TIMMERMANN (2001) erstellte auf diese Weise Verteilungskarten der bei der Ernte vom Mähdescher aus sichtbaren Klettenlabkrautpflanzen während der Überfahrt.

Daneben beschreiben COLLIVER et al. (1996) als weitere Möglichkeit der Unkrautkartierung ohne Sensoren das Umlaufen von Flughafenernester in Sommergetreidefeldern. Die Ortskoordinaten der Unkrautnester wurden mit Hilfe eines GPS-Empfängers aufgezeichnet. Voraussetzung für die Durchführung dieses Verfahrens ist die gute Erkennbarkeit der Nesterkonturen.

Die Lösung des Problems besteht darin, die Unkräuter sensorgestützt zu erfassen. Bei der sensorgestützten Unkrautkartierung unterscheidet man zwischen klassischen Fernerkundungsaufnahmen, die von einer flugzeug- oder satellitengetragenen Kamera stammen und Verfahren zur Unkrauterkenntnis im Nahbereich mit Sensoren, die an einem Fahrzeug angebracht sind.

MEDLIN et al. (2000) konnten mit Hilfe von multispektralen Aufnahmen mit einer geometrischen Auflösung von 1 m die drei dominierenden Unkrautarten eines Sojabohnenfeldes kartieren. Die Unkräuter waren zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits 5-10 cm groß und befanden sich daher schon in einem kritischen Stadium für eine erfolgreiche Herbizidkontrolle. Trotz der Größe der Unkrautpflanzen konnten bei einer Bekämpfungsschwelle von 1 Pflanze/m<sup>2</sup> aufgrund der geringen räumlichen Auflösung nur Populationen mit einer Pflanzendichte von mehr als 10 Pflanzen/m<sup>2</sup> ausgemacht werden. REW et al. (1999) konnten anhand der Reflektionswerte eines Getreidefeldes eine Unkrautverteilungskarte erstellen, räumten aber ein, dass dieses Verfahren nur geeignet sei, wenn die vorherrschende Unkrautart (in diesem Fall: *Avena spp.*) bekannt ist oder eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Arten nicht nötig ist. Ebenso wie bei MEDLIN et al. (2000) konnten nicht alle Teilflächen, sondern nur solche mit mehr als 20 Pflanzen/m<sup>2</sup> sicher erkannt werden. Diese Teilflächen konnten mit Hilfe eines dGPS aufgefunden werden und in einem weiteren Arbeitsschritt genauer untersucht werden. LAMB und BROWN (2001) konstatieren in einem Überblick zu Fernerkundungsverfahren zur Unkrautkartierung, dass die gegenwärtige Generation von Satellitensystemen auf Grund ihrer zu geringen räumlichen Auflösung und zu langer Überflugintervalle zur Unkrautkartierung und Nestererkennung nicht geeignet sind.

Multispektrale Systeme werden auch für Nahbereichssensoren verwendet und befinden sich für vergleichsweise einfache Applikationen bereits in der praktischen Anwendung. Um grüne Pflanzen vom Boden zu unterscheiden entwickelten FELTON und MCCLOY (1992) und AHRENS (1994) das Onlinesystem Detectspray<sup>®</sup>, das die Unterschiede in der Reflexion von Boden und Pflanze aufgrund der unterschiedlichen Absorption des Sonnenlichts im Spektralbereich von Rot und Nah-Infrarot (NIR) ausnutzt. Da dieses System nicht nach Pflanzenarten differenziert, liegt sein Einsatzbereich in der teilschlagspezifischen Ausbringung von nicht selektiv wirkenden Herbiziden im Voraufverfahren vor einer Mulch- oder Direktsaat. Im außer-landwirtschaftlichen Bereich wurde das System WEEDSEEKER<sup>®</sup> angewendet, welches ebenfalls die Unterschiede im Reflexionsverhalten von Boden und grüner Blattmasse nutzt und zur Applikation von Totalherbiziden auf Bahngleisen zum Einsatz kam (DOHMEN 1996). Verschiedene Arbeitsgruppen (VRINDTS und BAERDEMAEKER 1997; BILLER 1998) versuchten mit ähnlicher Technik über die Unterscheidung von Boden und Pflanze hin-

aus auch die minimalen Unterschiede in den Reflexionsspektren von Feldfrüchten und Unkräutern zu erkennen. Beide Autoren sehen Potenzial für die Anwendung dieses Verfahrens in weitstehenden Reihenfrüchten wie Mais und Zuckerrüben, nicht zuletzt weil, wie BILLER schreibt, „alle grünen Pflanzen, die zwischen den Reihen stehen, Unkräuter sind“. Durch die Kombination verschiedener Wellenbereiche gelang es VRINDTS und BAERDEMAEKER (1997), die Feldfrucht und sieben verschiedene Unkrautarten zu differenzieren. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist, dass das gesamte System vor jedem Einsatz geeicht werden muss, da die spektrale Reflexion der Pflanzen in Abhängigkeit von Wasserversorgung, Ernährungszustand etc. stark variieren kann.

Ein weiterer Ansatz zur automatischen Unkrauterkenntung im Nahbereich ist es, mit Hilfe der digitalen Bildanalyse Unkräuter und Kulturpflanzen anhand von Form-, Textur- und Farbmerkmalen zu erkennen.

SÖKEFELD et al. (2002) erzeugten mit einem multispektralen CCD-Kamerasystem (CCD: charge coupled device) digitale Bilder von Unkräutern. Die Aufnahmen wurden mit einer Bildverarbeitungssoftware durch Divisionen und Subtraktionen kombiniert. Durch dieses Verfahren konnten bei variierenden Aufnahmebedingungen Grauwertbildvorlagen von gleichbleibender Qualität produziert werden. Aus den Grauwertdifferenzbildern wurden durch Schwellenwertsetzung Binärbilder erzeugt, die, wie bei GERHARDS et al. (1998) beschrieben, nach einer Konturextraktion als Grundlage für eine wissensbasierte Bildauswertung zur Erkennung von Unkräutern dienen. In Kombination mit dem in Kap. 2.5 beschriebenen System zur teilschlagspezifischen Herbizidausbringung könnte diese Technologie zur bildanalytischen Unkrauterkenntung erfolgreich zur kleinräumigen Unkrautkontrolle in Echtzeit genutzt werden.

SOGAARD und HEISEL (2002) nutzten zur Erkennung von Unkräutern in farbigen Bildern, die die Unterscheidung von Pflanzen und Boden erleichtern, so genannte „Aktive Form Muster“ (COOTES et al. 1994). Bei diesem bildanalytischen Verfahren werden die phänotypischen Formvariationen einer Unkrautart durch eindeutige Parameter beschrieben und in einer Wissensbasis gespeichert. Die Formen der Umriss der in einer Aufnahme gefundenen Pflanzen werden mit den Parametern in der Wissensbasis verglichen und so die Unkräuter klassifiziert.

Es hat sich gezeigt, dass aufgrund der stärkeren Überlappung der Blätter von Kultur- und Unkrautpflanzen in Getreide, die Erkennung von Unkräutern vor allem mit Hilfe der Bildanalyse in weitstehenden Reihenfrüchten leichter zu handhaben und exakter ist als in engstehenden Reihenfrüchten (GERHARDS et al. 1998). Aufgrund des oben dargelegten Potenzials der sensorgestützten Erkennung von Unkräutern, insbesondere im Nahbereich, ist es absehbar, dass in naher Zukunft Erkennungssysteme zur Praxisreife gelangen werden, mit denen eine großräumige Unkrautkartierung in verschiedenen

Fruchtarten möglich sein wird. Dennoch ist es aus arbeitswirtschaftlichen und finanziellen Gründen sinnvoll, gestützt auf eine oder wenige konkrete Kartierungen der Unkrautpopulation, die Unkrautausbreitung in den Folgejahren zu prognostizieren, soweit eine relative Ortstreue der betreffenden Unkrautpopulation angenommen werden darf. Denkbar wäre die einmalige Kartierung pro Rotation in einer weitstehenden Reihenfrucht, nicht zuletzt aus o.g. Gründen der größeren Präzision bei der Bildverarbeitung in diesen Feldfrüchten.

Übereinstimmend wird in den Veröffentlichungen verschiedener Autoren die Heterogenität der Unkrautverteilung innerhalb von Ackerschlägen (vgl. Kap. 2.1) als auch die Persistenz von Unkrautpopulationen über mehrere Jahre konstatiert. Jedoch wurde nur in wenigen Fällen versucht, die Stabilität der Nester zu quantifizieren und dieses Wissen für Unkrautkontrollmaßnahmen in den Folgejahren zu nutzen (vgl. Kap. 2.3).

### **2.3 Beschreibung der räumlichen Verteilung und Stabilität von Unkrautpopulationen**

Zur Beschreibung der räumlichen Verteilung (Aggregation) von Organismenpopulationen schlug LLOYD (1967) den *patchiness* Index (PI) (zur Berechnung des *patchiness* Index vgl. Kap. 4.3.2, S.28ff.) vor: während LLOYD den PI für Insektenpopulationen ermittelte, berechneten beispielsweise DESSAINT et al. (1991), NORDBO et al. (1994), WALTER (1996) und HÄUSLER und NORDMEYER (1999) den *patchiness* Index als Maß für die nesterweise Verteilung von Unkrautpopulationen. Werte größer 1 zeigen eine nesterweise Verteilung an, Werte kleiner 1 ein regelmäßiges oder gleichförmiges Muster und ein *patchiness* Index von genau 1 eine Aggregation.

Um die Ähnlichkeit von *Abutilon theophrasti* - Populationen innerhalb eines Feldes über drei Jahre zu vergleichen, berechneten DIELEMAN und MORTENSEN (1999) den „Maßkorrelationskoeffizienten nach Pearson“. Sie zeigten, dass die zeitliche Stabilität der Nester statistisch signifikant war. Mit Hilfe von statistischen Methoden untersuchten WILSON und BRAIN (1991) die Stabilität von Ackerfuchsschwanznestern in einem Feld über 10 Jahre anhand des Vorhandenseins oder Fehlens der Unkrautart an den gleichen Punkten des Feldes. Sie stellten fest, dass bei der Auswertung der so gewonnenen Vierfelder-Kontingenztafeln mit dem  $\chi^2$ -Test die räumliche Verteilung von Jahr zu Jahr signifikant korrelierte. WALTER (1996) bestätigte die Stabilität von verschiedenen Unkrautarten über drei Jahre. Zur Abschätzung der Stabilität verwendete sie ebenso sowohl den „Maßkorrelationskoeffizienten nach Pearson“ als auch den Vierfelder- $\chi^2$ -Test.

HÄUSLER und NORDMEYER (1999) verwendeten verschiedene Parameter zur Charakterisierung der räumlichen und zeitlichen Dynamik von Unkrautpopulationen. Die zeitliche Stabilität der Unkrautpopulationen beschrieben sie durch die Analyse von Kontingenztafeln mit Hilfe des „Rangkorrelationskoeffizienten nach Kendall“ sowie dem „exakten Test nach Fisher“.

Einen Überblick über verschiedene statistische Methoden zur Quantifizierung der räumlichen Stabilität von Unkrautpopulationen geben WYSE-PESTER et al. (1995): Um die Beziehung zwischen Unkrautdichten an festgelegten Messpunkten über Raum und Zeit zu beschreiben, berechneten sie den „Kontingenzkoeffizienten nach Pearson“, den „Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman“ und führten einen  $\chi^2$ -Test durch. Die Ergebnisse zeigten, dass alle drei Tests gute Instrumente zur Beschreibung der räumlichen Stabilität der Unkräuter waren.

Im Gegensatz zu den o.g. Autoren nutzten beispielsweise JOHNSON et al. (1996) geostatistische Verfahren um die Stabilität von Unkrautpopulationen in Sojabohnen und Mais über zwei Jahre zu analysieren. Nach visueller Interpretation der Verteilungskarten der beiden untersuchten Unkrautarten *Abutilon theophrasti* und *Helianthus annuus* L. fanden sie heraus, dass sich die beobachtete räumliche Ausrichtung der Nester in den empirischen Semivariogrammen widerspiegelte. COLBACH et al. (2000) konnten anhand der Semivariogramme der Unkrautverteilungen der Vorjahre in einer Monokultur für eine Unkrautart (*Setaria viridis* (L.) P.B.) die Verunkrautungssituation für das Folgejahr vorhersagen.

Einen anderen Ansatz zur Beschreibung der Stabilität wählten GERHARDS et al. (1997a). Sie ermittelten mit einem GIS Umfang, Fläche, Zusammenhang und maximalen Durchmesser von Populationen verschiedener Unkrautarten über drei Jahre. Auf Grund der Persistenz der untersuchten dikotylen Unkrautpopulationen nahmen sie an, dass zukünftige Verteilungsmuster der Unkräuter vorhergesagt werden können, räumen jedoch ein, dass die Kartierungsverfahren verbessert und effizienter werden müssen.

#### **2.4 Entscheidungsalgorithmen für die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle**

Zur Erstellung von Herbizidapplikationskarten aus den Unkrautverteilungskarten als Grundlage der teilschlagspezifischen Herbizidausbringung sind Regeln oder Algorithmen erforderlich, die pflanzenbaulich sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll und zuverlässig sind. Hier ist vor allem an die Schadensschwellenkonzepte zu denken, die auf die Ursprünge des Integrierten Pflanzenschutzes zurückgehen. Sie beruhen auf Untersuchungen zur Konkurrenz zwischen den Kulturpflanzen und Unkrautarten.

COUSENS (1985) konnte anhand eines hyperbolischen Modells zur Ermittlung des Ertragsverlustes darstellen, dass der Ertragsverlust durch Unkrautkonkurrenz regelmäßig überschätzt wird. Ursache hierfür ist, dass mit zunehmender Unkrautdichte der Ertragsverlust je Unkrautpflanze abnimmt. PALLUTT und RODER (1992) berechneten Besatz-Verlust-Relationen für Unkräuter in Getreide. Diese Konkurrenzindizes wurden außerdem nach Standorten differenziert und mit steigender Gesamtunkrautdichte nach unten korrigiert, um der Überschätzung bei hohen Verunkrautungsdichten vorzubeugen.

Das oben beschriebene Wissen über die Konkurrenzvorgänge zwischen Unkräutern und Kulturarten „vermittelt...unverzichtbare prinzipielle Erkenntnisse für ein Integriertes Unkrautmanagement, bei dem versucht wird, den Einsatz chemischer Unkrautbekämpfung zu begrenzen“ (ZWERGER und AMMON 2002). Die Entscheidung über die Notwendigkeit einer Bekämpfung nach dem Auflaufen von Kulturpflanzen und Unkräutern erfolgt aufgrund einer Einschätzung der bis zur Ernte entstehenden Verluste. Schwellenbereiche kennzeichnen demnach Befallssituationen, bei deren Unterschreiten eine Bekämpfung nicht notwendig erscheint. Feste Schadensschwellenbereiche, bezogen auf eine bestimmte Unkrautdichte pro Flächeneinheit, existieren bislang nur für Getreide. Dagegen gelten für Reihenkulturen wie Mais „zeitbezogene Schadensschwellen“, die vorgeben, wann eine Unkrautbekämpfung noch nicht und wann sie nicht mehr zu erfolgen braucht.

Die einer ganzflächigen Herbizidausbringung in Getreide üblicherweise zugrunde gelegten Modelle einer ökonomischen Schadensschwelle (z.B. BEER 1986, GEROWITT und HEITEFUSS 1990, BLACK und DYSON 1993) gehen von der Annahme einer gleichmäßigen Unkrautdichte über die gesamte Fläche aus und sind für eine teilschlagspezifische Unkrautkontrolle nicht praktikabel. Die ökonomische Schadensschwelle ist für eine Vorauflaufkontrolle der Unkräuter auf Grund der Unkenntnis über die zu erwartende Unkrautdichte nicht zu ermitteln. Zusätzliche Schwierigkeiten bei der Festlegung der Bekämpfungsschwelle entstehen durch Unsicherheiten bei der Bestimmung der zu erwartenden Ertragsverluste bzw. des Verkaufserlöses der Feldfrucht. Daher ist das Schadensschwellenkonzept auch bei der in den bisherigen Versuchen zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle üblicherweise praktizierten Nachauflaufkontrolle äußerst problematisch. Darüber hinaus werden die Heterogenitäten der Unkräuter und des Kulturpflanzenertrages innerhalb von Ackerschlägen nicht ausreichend berücksichtigt.

## 2.5 Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle

CHRISTENSEN et al. (1996) erfassten in Feldversuchen die Verteilung von dikotylen Unkräutern in einem Sommergestenfeld und simulierten die teilschlagspezifische Ausbringung verschiedener Herbiziddosen. Als Parameter für die Auswahl und Dosierung des Herbizides flossen die Konkurrenzkraft und Dichte der Unkrautarten, der Herbizidpreis, der Verkaufspreis der Feldfrucht, aber auch die über das Feld variable Ertragshöhe in das Modell ein. Durch dieses Vorgehen hätten sie im Vergleich zur konventionellen ganzflächigen Ausbringung ca. 68% der Herbizidmenge eingespart. NORDMEYER et al. (1997) brachten in den Jahren 1994 bis 1997 Herbizide gegen Ungräser und 38 dikotyle Unkrautarten auf Grundlage der ökonomischen Schadensschwellen teilschlagspezifisch aus und sparten zwischen 0 und 80% der üblichen Herbizidmenge ein. Bei dieser Untersuchung wurde eine Pflanzenschutzspritze verwendet, deren Spritzbalken manuell ein- bzw. ausgeschaltet wurde; die aktuelle Position der Feldspritze wurde per dGPS bestimmt. Ebenfalls NORDMEYER und HÄUSLER (2000) arbeiteten in den Jahren 1998 und 1999 mit einer Feldspritze mit automatischer Ansteuerung des Spritzbalkens, allerdings noch ohne Mengenregulierung und ohne Teilbreitensteuerung.

GERHARDS et al. (2000) führen seit 1994 Versuche zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle in einer Felderfolge Körnermais-Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste durch. Seit 1998 erfolgt die Applikation der Herbizide gemäß einer zuvor erstellten Spritzkarte auf Basis des Schadensschwellenkonzepts durch eine Microcontroller-Einheit zur Ansteuerung der einzelnen Teilbreiten sowie zur Dosisregulierung. Die vorliegende Arbeit ist Teil dieser mehrjährigen Untersuchungen.

Alternative Modelle beziehen die heterogene Unkrautverteilung in die Berechnung des Schwellenwertes für eine bekämpfungswürdige Unkrautdichte mit ein. Bei starker Aggregation der Unkräuter innerhalb einer Fläche kann die Schadensschwelle für die ganzflächige Herbizidapplikation höher sein (THORNTON et al. 1990, MAXWELL und COLLIVER 1995). In der Literatur finden sich nur wenige Beispiele für Schadensschwellenkonzepte bei teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle. CHRISTENSEN et al. (1996) berücksichtigten in ihrem Simulationsmodell die über das Feld variierende Ertragshöhe. Grundlage für die Prognosen der Ertragshöhe waren mehrjährige Ertragskarten. Durch dieses Vorgehen konnten in den Schlägen verschiedene Unkrautmanagementzonen realisiert werden, in denen verschiedene Bekämpfungsstrategien mit variierenden Wirkstoffmischungen und Herbizid-Dosen umgesetzt wurden (CHRISTENSEN und HEISEL 1999).

Nach PALLUTT und FLATTER (1998) ändern sich die Konkurrenzindizes der Unkrautarten mit wechselnden Bodenverhältnissen und können damit teilschlagspezifisch be-

wertet werden. Daher sollten in Zukunft neben der Applikation der Herbizide weitere Bekämpfungsstrategien in den Unkrautmanagementzonen berücksichtigt werden. Folglich sollte die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle nicht nur auf die teilschlagspezifische Herbizidapplikation beschränkt bleiben, sondern hier ist an den gesamten pflanzenbaulichen Produktionsprozess mit an den Standort angepassten Aussaatdichten und Düngergaben bis hin zur Pestizidanwendung zu denken (vgl. Kap. 2.6 und Abb. 2.3, S.15).

Die Entwicklung der letzten zehn Jahre hat gezeigt, dass eine teilschlagspezifische Herbizidapplikation als Bestandteil der kleinräumigen Unkrautkontrolle grundsätzlich möglich ist, wenn auch in diesem Bereich noch erhebliche Verbesserungspotenziale vorhanden sind. Hier ist vor allem an die Regulierung der Ausbringmenge und Wirkstoffvariation entsprechend dem Unkrautbestand per Direkteinspeisungssystem zu denken. Ein Überblick über verschiedene mögliche Direkteinspeisungssysteme ist den Artikeln von MILLER und SMITH (1992) und PEISL und ESTLER (1993) zu entnehmen. MILLER und SMITH (1992) beschreiben ein System, bei dem das Pflanzenschutzmittel unmittelbar an der Düse der Trägerflüssigkeit beigemischt wird. Dagegen stellen PEISL und ESTLER drei Systeme vor, bei denen die Pflanzenschutzmittel schon vor der Teilbreitenschaltung, in einem Fall drucklos vor der Pumpe, in Leitungs- bzw. Behältersysteme eingespeist und so dem Wasser zugemischt werden. Durch die vier beschriebenen Direkteinspeisungssysteme wäre das Problem der Restmengen im Spritztank wie bei bisher üblicher Praxis gelöst. Dennoch sollten einige Probleme dieser vergleichsweise neuen Technik beachtet werden: Die Präparate, die dem Wasser zugemischt werden, werden in konzentrierter Form auf der Spritze transportiert. Die Schläuche, Ventile und Pumpen, die mit den konzentrierten Spritzmitteln in Berührung kommen, müssen ebenfalls gereinigt werden, wodurch sich der ökologische Vorteil bezüglich der Restmengen relativiert. Darüber hinaus sind Probleme mit den verschiedenen Formulierungen (Viskosität, Löslichkeit) der Pflanzenschutzmittel zu erwarten. Während flüssige Mittel relativ problemlos in den Kreislauf eingespeist werden können, müssten beispielsweise granuliert Präparate erst in Wasser aufgelöst werden. Dadurch ergeben sich Probleme mit dem nicht verwendeten Konzentrat bezüglich Lagerung und Haltbarkeit. Ein weiterer Aspekt ist die Reaktionszeit der Direkteinspeisung. Das System benötigt eine gewisse Zeit bis geänderte Einstellungen umgesetzt werden. Es stellt sich die Frage, ob die Systemsteuerung rasch genug erfolgen kann, um die Mittelwahl und -dosis während der Arbeit dem unterschiedlichen Bestand anzupassen. Dieses Problem ist bei der Einspeisung des Wirkstoffes direkt an der Düse weitgehend gelöst; ermöglicht werden damit sensorgesteuerte Online-Anwendungen. Die anderen

Systeme könnten aufgrund der Verzögerung nur in kartenbasierten Offline-Verfahren eingesetzt werden, da hier die Dosis vorausschauend (mit Vorschaltzonen) reguliert werden kann.

Die Unterscheidung zwischen Online- und Offline-Verfahren erfolgt in Abhängigkeit davon, inwieweit die Schritte zeitlich getrennt voneinander ablaufen.

Im Offline-Verfahren kann zwischen den Verfahrensschritten ein zeitlicher Verzug liegen. Im ersten Schritt werden die Unkräuter kartiert und die Ergebnisse ortsgenau gespeichert. Nach der Datenauswertung wird die Behandlungsentscheidung getroffen und anschließend wird im letzten Schritt das Herbizid teilschlagspezifisch appliziert. Das Offline-Verfahren ist nur unter Verwendung des differenziellen Globalen-Positionierungs-Systems (dGPS) durchführbar. Dadurch ist es möglich, die auf dem Feld erfassten Daten mit genauen Ortskoordinaten zu versehen und bei der späteren Umsetzung der Behandlungsmaßnahmen die Position des Arbeitsgerätes zu bestimmen. Das von SÖKEFELD et al. (2000) beschriebene Verfahren zur kartenbasierten präzisen Herbizidapplikation ist ein Beispiel für die praktische Umsetzung des Offline-Verfahrens.

Im Online-Verfahren werden Informationsgewinn, Datenverarbeitung und die Reaktion am ausführenden Gerät in Echtzeit während einer Überfahrt durchgeführt. Eine Speicherung der Sensordaten und eine Positionsbestimmung mit Hilfe eines dGPS ist bei diesem Verfahrensansatz lediglich zur Dokumentation und Überprüfung der durchgeführten Maßnahmen erforderlich.

Durch die praktische Anwendung und Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle durch verschiedene Arbeitsgruppen in den letzten Jahren haben sich neue Fragenstellungen ergeben, die bei einer ganzflächigen Unkrautkontrolle entweder außer acht gelassen werden konnten oder erst durch die Kartierung der Unkrautpopulationen evident wurden.

TIMMERMANN et al. (2003) stellten fest, dass durch die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle in Abhängigkeit von Kulturart und Unkrautauflkommen zum Teil erhebliche Potenziale bestehen, Herbizide einzusparen. In Wintergetreide lagen die durchschnittlichen Einsparungen an Gräserherbiziden bei ca. 90%, im Mais bei 78% und in Zuckerrüben bei 36%. Bei der Applikation von Herbiziden gegen dikotyle Unkräuter konnten in Wintergetreide 60%, im Mais 11% und in Zuckerrüben 41% der Herbizidmenge bei ganzflächiger Ausbringung eingespart werden. Neben dem monetären Effekt ist auch der ökologische Nutzen der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle hervorzuheben. In den Bereichen des Feldes in denen keine Herbizidapplikation erfolgte, können sich Flora und Fauna ungestört entwickeln, zudem kann durch eine teilschlagspezifische Unkrautkontrolle der Eintrag von Herbiziden in

Unkrautkontrolle der Eintrag von Herbiziden in Grund- und Oberflächenwasser reduziert werden.

Da die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle eine sehr junge Disziplin innerhalb der landwirtschaftlichen Forschung darstellt, gibt es bislang wenig Ergebnisse zur Effizienz dieses Verfahrens bezüglich des Erfolges der durchgeführten Maßnahmen aus pflanzenbaulicher Sicht. GOUDY et al. (2001) konnten in einem zweijährigen Parzellenversuch keinen signifikanten Unterschied zwischen teilschlagspezifischer und ganzflächiger Unkrautkontrolle in Mais und Sojabohnen feststellen: dies galt sowohl für die Unkrautreduktion ausgewählter Unkrautarten als auch für den Ertrag. Die Autoren geben jedoch keine Zahlen zur Restverunkrautung an.

Die Restverunkrautung setzt sich nach HABERLAND (1994) aus zwei Gruppen zusammen.

1. „Unkräuter, die zwar früh auflaufen, die aber infolge Widerstandsfähigkeit gegen die Herbizide, bei deren unsachgemäßer Anwendung oder ungünstiger Bedingungen bei ihrem Einsatz alle bisherigen Bekämpfungsmaßnahmen überlebt haben.“
2. Unkräuter, die erst nach Abklingen der Herbizidwirksamkeit nach der letzten Maßnahme auflaufen.

Da die Restverunkrautung meist nicht mehr ertragsrelevant ist (BRANDES 2000), wird ihr häufig wenig Beachtung geschenkt. Unbestreitbar kann die Restverunkrautung aber zu einer Vermehrung der Samen im Boden beitragen. Dieser Einfluss auf die Unkrautvegetation ist nur schwer zu quantifizieren und bleibt nicht selten unbearbeitet; den Folgen der Restverunkrautung und der daraus resultierenden Samenproduktion für das Samenpotenzial im Boden wird häufig nicht genug Aufmerksamkeit gegeben (GHERSA et al. 2000). Welche Konsequenzen samenproduzierende Pflanzen langfristig haben können, zeigt HARTZLER (1996) am Beispiel der Schönmalve (*Abutilon theophrasti* Medik.) auf: eine samenbildende Pflanze erzeugte in den vier folgenden Jahren 1000 Nachkommen. Dieser Umstand ist eine mögliche Ursache für die von DIELEMAN und MORTENSEN (1999) beschriebene Stabilität von Unkrautpopulationen über mehrere Jahre trotz andauernder Kontrollmaßnahmen. REW und COUSENS (2001) hingegen stellen in einem Überblick zur räumlichen Verteilung von Unkrautpopulationen zusammenfassend fest, dass die Gründe für die Stabilität von Unkrautpopulationen bislang weitgehend ungeklärt sind.

## 2.6 Die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle als Teil des Gesamtkonzeptes „Präziser Pflanzenbau“

Wie erwähnt, ist die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle als Teil eines Gesamtkonzeptes zur gezielten Unkrautregulierung zu betrachten, deren wesentliche Bestandteile in Abb. 2.3 dargestellt sind.

Ähnlich wie die Unkrautverteilungskarten spiegeln auch Ertragskarten die Variabilität eines Schlages wider. Die Unkrautflora hat sich den standörtlichen Wachstumsbedingungen über die Jahre angepasst; ebenso wie die Heterogenitäten in der Unkrautdichte und der Artenzusammensetzung kann die Variabilität der Ertragshöhe sowohl natürliche als auch anthropogene Ursachen haben.

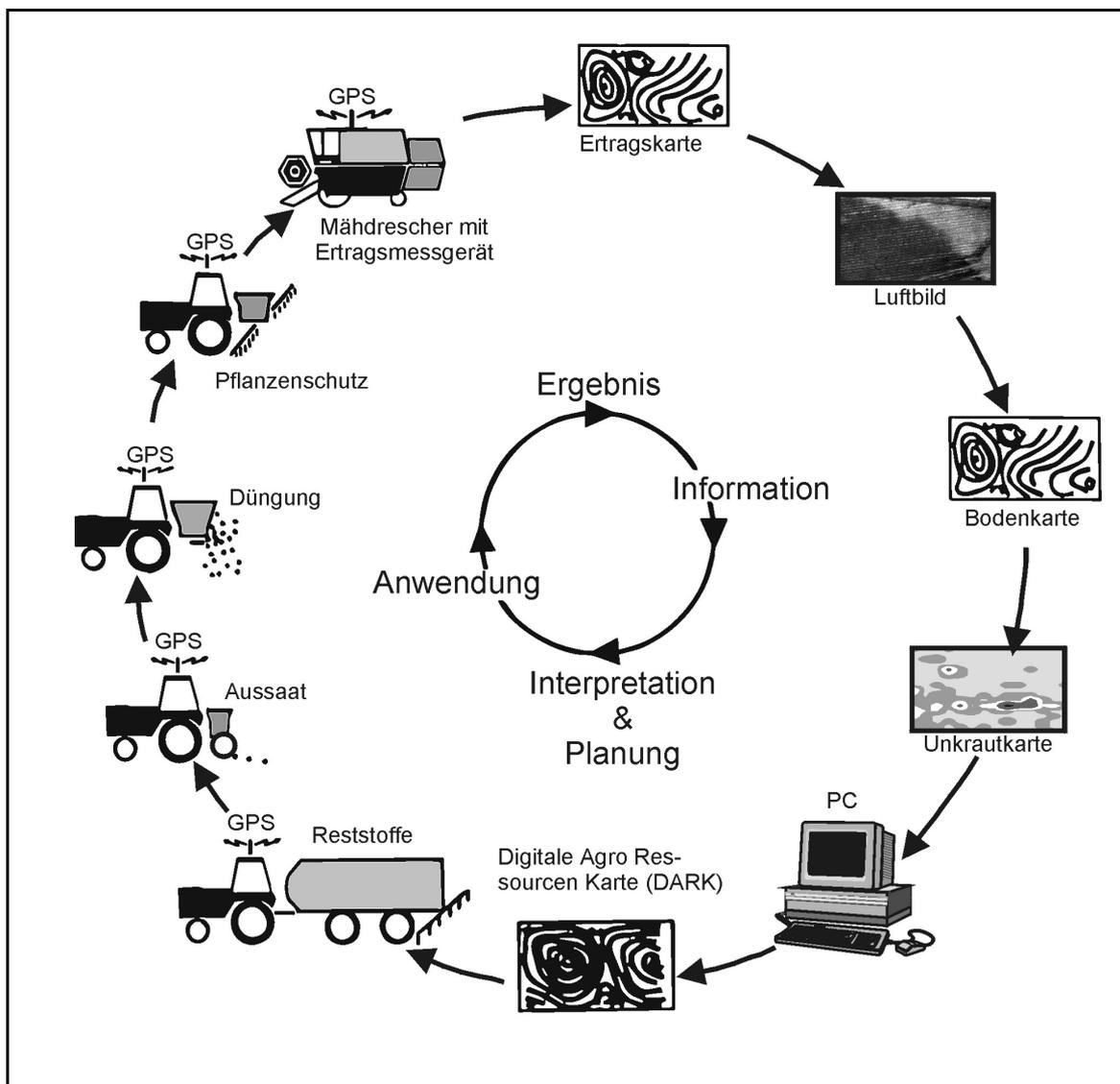


Abb. 2.3 Flussdiagramm für die Anwendung des präzisen Pflanzenbaus (verändert nach MURPHY et al. 1994)

Die Technologie zur Kartierung des Ertrages mit dem Mähdrescher hat sich in der Praxis durchgesetzt (EHLERT 2000). Die bislang kommerziell vorwiegend in der Getreide-

ernte eingesetzten Systeme messen entweder den Massenstrom (z.B. durch die Kraftentwicklung des Gutstromes auf ein Prallblech) oder den Volumenstrom, d.h. die Füllhöhe des Erntegutes auf den Elevatorpaddeln. Zur Ermittlung des Ertrages von Kartoffeln beschreibt EHLERT (2000) ein System per Massenstromermittlung, bei der das Erntegut auf eine Prallplatte geleitet wird. Ähnliche Messsysteme sind für Zuckerrüben und Häckselgut (Mais- und Grassilage) in der Erprobung. Durch diese Sensoren und über den Ortsbezug mit Hilfe von dGPS kann die Ertragsverteilung als Karte (Abb. 2.4) dargestellt werden.

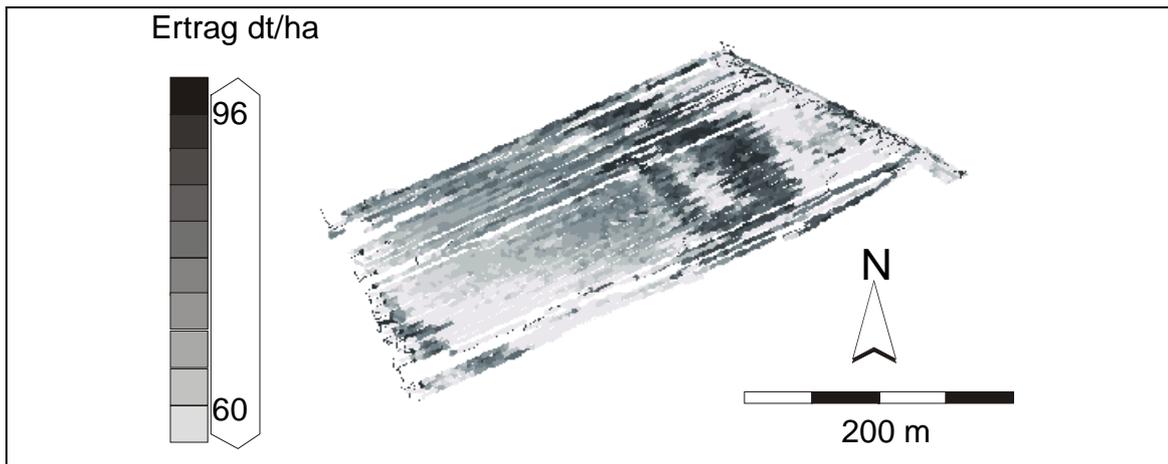


Abb. 2.4 Ertragskarte von Winterweizen (Dikopshof, Schlag 9) aus dem Jahr 2000 (TIMMERMANN 2001).

Die in den Ertragskarten auftretenden Ertragsunterschiede können natürliche oder durch das pflanzenbauliche Management bedingte Ursachen haben (vgl. Tab. 2.1). Die Karten zeigen nur die räumliche Verteilung des Ertrages, ohne die Gründe für die Variabilität erklären zu können (DOERGE 1999).

Tab. 2.1 Faktoren mit Einfluss auf die Ertragsvariabilität (nach EARL et al. 1996)

<i>nicht bis wenig beeinflussbare Faktoren</i>	<i>beeinflussbare Faktoren</i>	
Bodenart	Bodenstruktur	pH-Wert
Klima	verfügbares Wasser	Managementfehler
Topographie	Vernässung	Unkrautkonkurrenz
	Nährstoffverfügbarkeit	Schädlinge und Krankheiten

Abgesehen von der Ertragskartierung sind daher verschiedene Methoden zur Identifikation und Beschreibung der standörtlichen Heterogenität entwickelt worden, die zum Teil jedoch noch in der Erprobungsphase sind. Durch neue Technologien und Sensoren ist es möglich, einen Teil potenzieller Ursachen für Ertragsunterschiede zu detektieren. Hierzu gehören die Verteilung der Nährstoffe und des Humus sowie die Textur des Bodens (MAIDL et al. 1999, KRAVCHENKO und BULLOCK 2000). Daneben haben Hangneigung und Relief von Ackerflächen vor allem Einfluss auf die Wasserver-

sorgung der Kulturpflanzen und damit auf die Höhe des Ertrages (FIEZ et al. 1994, CHANGERE und LAL 1997).

SCHMIDTHALTER et al. (2002) konnten mit Hilfe elektromagnetischer Induktion die räumliche Variation des Ton- und Wassergehaltes nichtdestruktiv kartieren und so Bereiche verschiedener Bodeneigenschaften besser abgrenzen als durch die Reichsbodenschätzung. Bei diesem Verfahren wurde die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens gemessen und die Messwerte kalibriert. Hierzu induziert eine Spule ein magnetisches Wechselfeld im Boden, das ein sekundäres Feld erzeugt, welches von einer zweiten Spule registriert wird. Aus dem Verhältnis beider Felder lässt sich die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens bestimmen, die primär durch Korngrößenfraktionen (Tongehalt) sowie den Wasser- und Salzgehalt des Bodens beeinflusst wird. LAMP et al. (2002) hingegen beschreiben noch Schwierigkeiten bei dieser angewandten Methodik, insbesondere durch Wechselwirkungen der Bodenart (Tongehalt) mit dem Wassergehalt und anderen Faktoren. Zur Erstellung sog. „Digitaler Hof-Bodenkarten“ sind nach ihrer Meinung Bohrstock-Kartierungen zur Profildifferenzierung unumgänglich. Darüber hinaus arbeiten sie mit einem hochauflösenden Zweikanal-Spektralscanner und einer PC-gesteuerten Digitalkamera zur spektralen Naherkundung der Böden. Auf diesem Wege möchten sie den Humusgehalt des Oberbodens als weitere pflanzenbaulich relevante Größe erfassen.

Ebenfalls im Bereich der Naherkundung, jedoch mit ganz anderer Problemstellung, ist bereits eine Technologie zur Marktreife gelangt: Zur sensorgesteuerten Stickstoffausbringung im Wintergetreide im „Online-Verfahren“ wird per radiometrischer Messung der Chlorophyllgehalt der Blätter bestimmt, um aus diesem Wert Rückschlüsse auf die Stickstoffversorgung der Pflanzen zu ziehen (HEEGE und REUSCH 1997).

KÜHBAUCH (2002) sieht Anwendungspotenzial von Fernerkundungssystemen im Präzisionspflanzenbau in folgenden Bereichen: Auffinden von Teilflächen mit abnormen Erscheinungsbild, Unterteilung der Flächen in einheitliche Bewirtschaftungszonen, Kartierung der Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen, stadienbezogene Kartierung des Nährstoffbedarfes der Pflanzen sowie in der Erfolgskontrolle aller Maßnahmen in den Flächen. Dies soll vor allem durch die Verfügbarkeit von Fernerkundungsdaten mit für den Präzisionspflanzenbau ausreichender räumlicher, zeitlicher und spektraler Auflösung realisiert werden. KÜHBAUCH (2002) betont, dass es sich bei den Ertragskarten um eine Retrospektive auf den Erfolg der pflanzenbaulichen Maßnahmen und Standorteigenschaften handelt. Zur Umsetzung des präzisen Pflanzenbaus werden jedoch fortlaufende aktuelle Informationen benötigt: hier hat die Fernerkundung ein sehr großes Potenzial. Durch den Einsatz flugzeuggetragener multispektraler Sensorsysteme konnten

raler Sensorsysteme konnten SCHMIDTHALTER und SELIGE (2002) Informationen über die Oberbodeneigenschaften (Humus- und Tongehalt), den Zustand der Pflanzenbestände, Stresssymptome sowie zur Ertragsabschätzung gewinnen. Darüber hinaus zeigten sie Ansätze zur Ableitung des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers mittels der multispektralen Aufnahmedaten. Die räumliche Auflösung der Daten von 5 m ist - im Gegensatz zu bisher verwendeten Systemen - für den Einsatz in weiten Bereichen des Präzisionspflanzenbaus praktikabel. Als weiteren wesentlichen Faktor der standörtlichen Differenzierung erwähnen BILL und SCHMIDT (2002) das Relief als „Hauptumsatzfläche für Strahlung und Wasserhaushalt“. Da die Form der Erdoberfläche bislang weitgehend visuell interpretiert wurde, bildeten sie diese als digitales Geländemodell (DGM) in einem Geo-Informationssystem nach: die Datengrundlage zur Erstellung eines DGM lieferten entweder ein modifiziertes mobiles GPS-Gerät (RTK-GPS), flugzeuggetragene Laserscanner oder topographische Karten der Landesvermessungsämter. Auf der Basis von Abflussalgorithmen des Niederschlages könnten mit Hilfe der DGM Aussagen über die potenzielle Verteilung des Bodenwassers getroffen und so die Interpretation der Karten der elektrischen Leitfähigkeit verbessert werden.

In den meisten Fällen ist es jedoch nicht möglich, eine Ertragsdepression innerhalb eines Feldes konkret auf nur eine dieser Ursachen zurückzuführen, da der Ertrag oftmals das Ergebnis vieler und in Wechselwirkung miteinander stehender Faktoren ist (SADLER et al. 2000). PLANT (2001) bemerkt hierzu, dass es „die ernüchterndste Aufgabe der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung ist, die ertragslimitierenden Faktoren zu identifizieren und auszusortieren“. Da der Ertrag in den meisten Fällen von mehr als einem Faktor beeinflusst wird, schlägt er vor, für die Festlegung von Management-Zonen den Wachstumsfaktor, der den Ertrag am stärksten beeinflusst, zu selektieren. Neben den Problemen bei der Interpretation der Ertragskarten und der Erklärung der Variabilität bestehen in vielen Bereichen große Schwierigkeiten bei der Anpassung der pflanzenbaulichen Maßnahmen an bekannte standörtliche Wachstumsbedingungen. Durch die landtechnische Industrie werden dem Praktiker Geräte zur teilflächendifferenzierten Bestandesführung (Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz) zur Verfügung gestellt, jedoch fehlen nach wie vor zuverlässige Algorithmen und Regeln, um die angestrebten Anbauziele zu erreichen. Neben der Optimierung des Deckungsbeitrages in den einzelnen Teilflächen ist hier im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft vor allem an eine Minimierung der ökologischen Auswirkungen zu denken.

### 3 Problemstellung und Zielsetzung

Verschiedene Studien konnten bereits den ökonomischen und ökologischen Nutzen der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle, insbesondere im Hinblick auf die Herbizideinsparung, bestätigen. Weitgehend ungeklärt ist hingegen wie sich die Unkrautpopulationen unter dem Einfluss reduzierter Herbiziddosen in den behandelten und vor allem in den unbehandelten Teilflächen bis zur Ernte der Kulturpflanze entwickeln. Dieser Aspekt ist auch für eine erfolgreiche praktische Anwendung der Technik relevant.

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, die Auswirkung der kleinräumigen Unkrautkontrolle auf die Abundanz des Unkrauts in Ackerschlägen über einen Zeitraum von vier bzw. fünf Jahren abzuschätzen. Unter dem Einfluss üblicher Unkrautkontrollmaßnahmen liegen die in den Ackerschlägen kartierten Unkrautnester über mehrere Jahre stabil vor. Als Ursache für diese Persistenz der Unkrautpopulationen muss die Restverunkrautung und die daraus resultierende Samenproduktion angesehen werden. Durch eine Intensivierung oder Variation der Unkrautkontrollmaßnahmen sollte geklärt werden, ob es möglich ist, das Wachstum und die Samenproduktion der Unkräuter bis unmittelbar vor der Ernte der Kulturart zu verhindern und den Eintrag von Samen in den Boden zu reduzieren. Die Arbeitshypothese geht davon aus, dass durch die Beseitigung der Restverunkrautung die Unkrautnester langfristig zurückgedrängt werden können.

Im zweiten Kapitel der vorliegenden Arbeit wird die räumliche und zeitliche Dynamik von Unkrautpopulationen analysiert. Es wird ein neuer bildanalytischer Ansatz zur objektiven Beschreibung der Unkrautaggregationen in den Verteilungskarten vorgestellt, der auf der Technik der Bildverarbeitung beruht. Die auf diesem Weg gewonnenen Informationen über Fläche, Ausdehnung und Schwerpunkt der Unkrautnester könnten als Parameter in Prognosemodelle zur zukünftigen Entwicklung der Unkrautpopulationen dienen. Dies ist vor allem unter dem Aspekt von Bedeutung, dass es über die räumliche Veränderung von Unkrautnestern und die relative Ortstreue von Unkräutern bisher kaum georeferenzierte Daten gibt.

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Versuchsstandort

Die praktischen Versuche, die dieser Arbeit zugrunde liegen, wurden in den Jahren 1997 bis 2001 auf der Versuchsstation Dikopshof der Universität Bonn in Wesseling bei Bonn durchgeführt. Die Flächen des Dikopshofes liegen in der Köln-Aachener Bucht 56-63 m über NN. Zur Versuchsdurchführung standen fünf Betriebsschläge in der Größe von 2,2 ha bis 5,8 ha zur Verfügung. Vier der fünf Flächen wurden in der Felderfolge Körnermais - Zuckerrüben - Winterweizen – Wintergerste bewirtschaftet. Auf einer der vier Flächen wurden im Jahr 2001 statt Körnermais Sonnenblumen angebaut. Die fünfte Fläche wurde dauernd mit Körnermais in Monokultur bestellt (Tab. 4.1).

Tab. 4.1 Größe und Felderfolge der Versuchsflächen

	Schlag 4*	Schlag 6*	Schlag 8	Schlag 9*	Schlag GH**
Größe [ha]	5,5	5,3	2,4	5,8	2,2
1997	Körnermais	Zuckerrüben	Körnermais	Wintergerste	Körnermais
1998	Zuckerrüben	Winterweizen	Zuckerrüben	Körnermais	Körnermais
1999	Winterweizen	Wintergerste	Winterweizen	Zuckerrüben	Körnermais
2000	Wintergerste	Körnermais	Wintergerste	Winterweizen	Körnermais
2001	Sonnenblumen	Zuckerrüben	Körnermais	Wintergerste	Körnermais

\* Schlag wurde ab 1998 in den Versuch aufgenommen

\*\* Schlag wurde ab 1999 in den Versuch aufgenommen

Die Aussaat, Düngung sowie die Pflanzenschutzmaßnahmen mit Ausnahme der Unkrautkontrolle erfolgten in allen Schlägen betriebsüblich. In den vier Feldern der Felderfolge erfolgte die Grundbodenbearbeitung in allen Jahren konventionell mit Pflugfurche; die Maismonokultur wurde aufgrund der Flachgründigkeit großer Teile des Feldes pfluglos bewirtschaftet (vgl. Tab. 4.2)

Bei den Böden der Versuchsfläche handelt es sich überwiegend um lehmigen Sand bis Lehm aus Löß. Das Relief der Flächen ist weitgehend eben; lediglich in den Schlägen 9 und GH gibt es nennenswerte Höhenunterschiede.

Tab. 4.2 Pflanzenbauliche Maßnahmen in den Versuchsfeldern nach der Ernte der Vorfrucht bis zur Saatbettbereitung der Folgefrucht.

Körnermais (Vorfrucht WG)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Häckseln des WG-Strohs</li> <li>- Grubber (1-2x) <b>oder</b></li> <li>- Grubberfräse (2x) und Grubber</li> <li>- Zwischenfrucht:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Senf in 97/98 (Aussaat: 4.9.97; gehäckselt: 26.11.97)</li> <li>Senf in 99/00 (Aussaat: 23.8.99; gehäckselt: 30.11.99)</li> <li>Ölrettich in 00/01 (Aussaat: 9.8.00; gehäckselt: 17.11.00)</li> </ul> </li> <li>- Pflug (Winterfurche)</li> <li>- Garegge</li> <li>- Saatbettkombination</li> </ul>
Zuckerrüben (Vorfrucht KM bzw. SB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Häckseln des Maisstrohs</li> <li>- Pflug (Winterfurche)</li> <li>- Garegge <b>oder</b></li> <li>- Grubber + Cambridgewalze</li> <li>- Saatbettkombination</li> </ul>
Winterweizen (Vorfrucht ZR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Häckseln des Rübenblattes</li> <li>- Grubber + Walze</li> <li>- Grubberfräse</li> <li>- Pflug (Winterfurche)</li> <li>- Saatbettkombination</li> </ul>
Wintergerste (Vorfrucht WW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grubber (1-2x)</li> <li>- Grubberfräse</li> <li>- Pflug</li> <li>- Saatbettkombination</li> </ul>
Sonnenblumen (Vorfrucht WG)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- WG-Stroh gehäckselt</li> <li>- Grubber (2x)</li> <li>- Grubberfräse</li> <li>- Zwischenfrucht:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Ölrettich in 00/01 (Aussaat: 11.8.00; gehäckselt: 10.11.00)</li> </ul> </li> <li>- Pflug (Winterfurche)</li> <li>- Garegge</li> <li>- Saatbettkombination</li> </ul>
Körnermais (Monokultur)-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in 98/99: Stroh häckseln (Nov)</li> <li>- Grubberfräse (Jan und April)</li> <li>- Saatbettkombination</li> <li>- in 99/00: Grubberfräse (Dezember)</li> <li>- Grubberfräse (April)</li> <li>- Saatbettkombination</li> <li>- in 00/01: Grubber (Februar)</li> <li>- Grubberfräse</li> <li>- Federzahngrubber</li> <li>- Saatbettkombination</li> </ul>

## 4.2 Versuchsdurchführung

Die Daten zur Populationsdynamik und Effizienz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle wurden ganzflächig über die gesamte o.a. Flächen erhoben (Kap. 4.2.1.1). Daneben wurden innerhalb dieser Flächen Parzellenversuche zur Erhebung der

Restverunkrautung, Samenproduktion und Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Unterdrückung von Unkrautnestern durchgeführt (Kap. 4.2.4, S.25)

#### 4.2.1 Datenerhebung (Feldversuche)

##### 4.2.1.1 Erfassung der Unkrautpopulationen

Die Erfassung der Unkräuter erfolgte visuell in einem Raster von 15 m (in Bearbeitungsrichtung) \* 7,5 m (quer zu Bearbeitungsrichtung) durch Abgehen des Feldes. Im Jahr 1997 wurden die Unkräuter in Feld 8 in einem Raster von 15 m \* 15 m kartiert. Das Raster wurde in jedem Jahr mit Hilfe eines Maßbandes und Winkelspiegels von einem Fixpunkt am Feldrand (Grenzstein o.ä.) eingemessen. An jedem Kreuzungspunkt des Rasters wurden alle Individuen der vorkommenden Arten mit Hilfe des „Göttinger Schätzrahmens“ auf einer Fläche von 0,4 m<sup>2</sup> ausgezählt. Die Unkräuter wurden unmittelbar vor Beginn der ersten sowie nach Abschluss der Unkrautkontrollmaßnahmen - unter Berücksichtigung des Zeitraumes bis die herbizide Wirkung eintrat - an den selben Zählstellen erfasst. Die Dauerwirkung von applizierten Bodenherbiziden konnte auf diese Weise nur bedingt erfasst werden.

##### 4.2.1.2 Kartierung der Unkrautpopulationen

Aus den so gewonnenen Daten wurden mit Hilfe des Programms UNPROG Karten der Unkrautverteilung erstellt. Zwischen den punktbezogenen Daten wurde über eine lineare Triangulation interpoliert, um die Unkrautdichte für jeden Punkt der Fläche zu schätzen (GERHARDS et al. 1997b). Die Klassifizierung der Unkrautdichte erfolgte in Abhängigkeit von der mittleren Verunkrautung und variierte in Abhängigkeit von Unkrautart und Fruchtart.

#### 4.2.2 Unkrautkontrollmaßnahmen (Gesamtfläche)

Die Unkrautbekämpfungsmaßnahmen in den Versuchsschlägen wurden nach Absprache mit dem Verwalter des Dikopshofes praxisrelevant ausgewählt. Die Applikation der Herbizide erfolgte teilschlagspezifisch, zusätzlich wurden in Zuckerrüben und Sonnenblumen Herbizide im Band über der Kulturpflanze ganzflächig appliziert. In Zuckerrüben, Körnermais und Sonnenblumen waren infolge starker Verunkrautung in einigen Jahren zusätzlich zu der chemischen Unkrautkontrolle mechanische Maßnahmen erforderlich. In Körnermais und Sonnenblumen wurde nach der Herbizidapplikation zweimal mit der Rollhacke gehackt: bei der ersten Überfahrt von der Pflanzenreihe weg, in der nächsten Behandlung zur Reihe hin. In den Zuckerrüben folgte, wenn nötig,

auf die erste teilschlagspezifische Herbizidmaßnahme eine mechanische Unkrautkontrolle mit der Hacke, kombiniert mit einer Bandspritzung über der Kulturpflanzenreihe. Eine Übersicht aller durchgeführten Maßnahmen in der Gesamtfläche findet sich im Anhang (Anhangstab. 9 - Anhangstab. 14, S.145ff.).

#### 4.2.3 Teilschlagspezifische Herbizidapplikation

Die teilschlagspezifische Herbizidapplikation außerhalb der Parzellen erfolgte in allen Kulturen im Nachauflaufverfahren „offline“, d.h. auf Basis der vorab ermittelten Unkrautverteilungskarten sowie der übrigen Flächeninformationen.

##### 4.2.3.1 Erstellung der Applikationskarten

Ebenso wie die Unkrautverteilungskarten wurden die Applikationskarten für die teilschlagspezifische Herbizidapplikation im Programm UNPROG erstellt. Hierzu wurden die gefundenen Unkrautarten entsprechend ihrer Konkurrenzkraft und Herbizidempfindlichkeit in Gruppen eingeteilt. Für jede der Gruppen wurde Art und Dosis des anzuwendenden Herbizids entsprechend der ökonomischen Schadensschwelle (COBLE und MORTENSEN 1992) bestimmt.

In Getreide wurden die Arten üblicherweise in „Ungräser“, „dikotyle Unkräuter ohne *Galium aparine* L.“ und „*Galium aparine*“ gruppiert. Ab 1999 wurden die Herbizide teilschlagspezifisch in vier verschiedenen Konzentrationen ausgebracht. In Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Unkräuter wurden 100% der empfohlenen Herbiziddosis gegen Ungräser bei einer Dichte von mehr als 50 Pflanzen/m<sup>2</sup> (Verunkrautungsklasse „hoch“) ausgebracht. Bei einer Dichte von mindestens 20-35 Pflanzen/m<sup>2</sup> (Verunkrautungsklasse „mittel“) wurden 80% und bei einer Dichte von mindestens 15-20 Pflanzen/m<sup>2</sup> (Verunkrautungsklasse „gering“) wurden 60% der Standarddosis appliziert. Analog zu den Werten für Ungräser lagen die Werte für *Galium aparine* bei 5-10 („hoch“), 0,1-5 („mittel“) und 0,1 Pflanzen/m<sup>2</sup> („gering“) und für die übrigen dikotylen Unkräuter bei 40-60 („hoch“), 30-45 („mittel“) und 20 Pflanzen/m<sup>2</sup> („gering“).

In den Reihenfrüchten Zuckerrüben und Körnermais wurden nur die Gruppen „Ungräser“ und „dikotyle Unkräuter“ gebildet. In den Feldern der Rotation wurde - im Gegensatz zur Monokultur - die volle empfohlene Herbiziddosis sowohl gegen einkeimblättrige als auch gegen zweikeimblättrige Unkräuter bei einer Dichte von mindestens 25-50 Pflanzen/m<sup>2</sup> ausgebracht, 80% der empfohlenen Dosis bei mehr als 6-12 Pflanzen/m<sup>2</sup> und bei einer Verunkrautung von mindestens einer Pflanze/m<sup>2</sup> wurden 60% der Herbizidmenge appliziert. Folglich wurde nur in unkrautfreien Teilflächen auf die chemische Unkrautkontrolle verzichtet. In der Monokultur wurde eine Verunkrautung von maximal 3-4 Pflanzen/m<sup>2</sup> toleriert.

#### 4.2.3.2 Umsetzung der Applikationskarten

Die Herbizidapplikation erfolgte mit einer Feldspritze der Maschinenfabrik RAU, die mit einem in fünf Teilbreiten eingeteilten 15m breiten Spritzgestänge ausgerüstet war (Abb. 4.1).

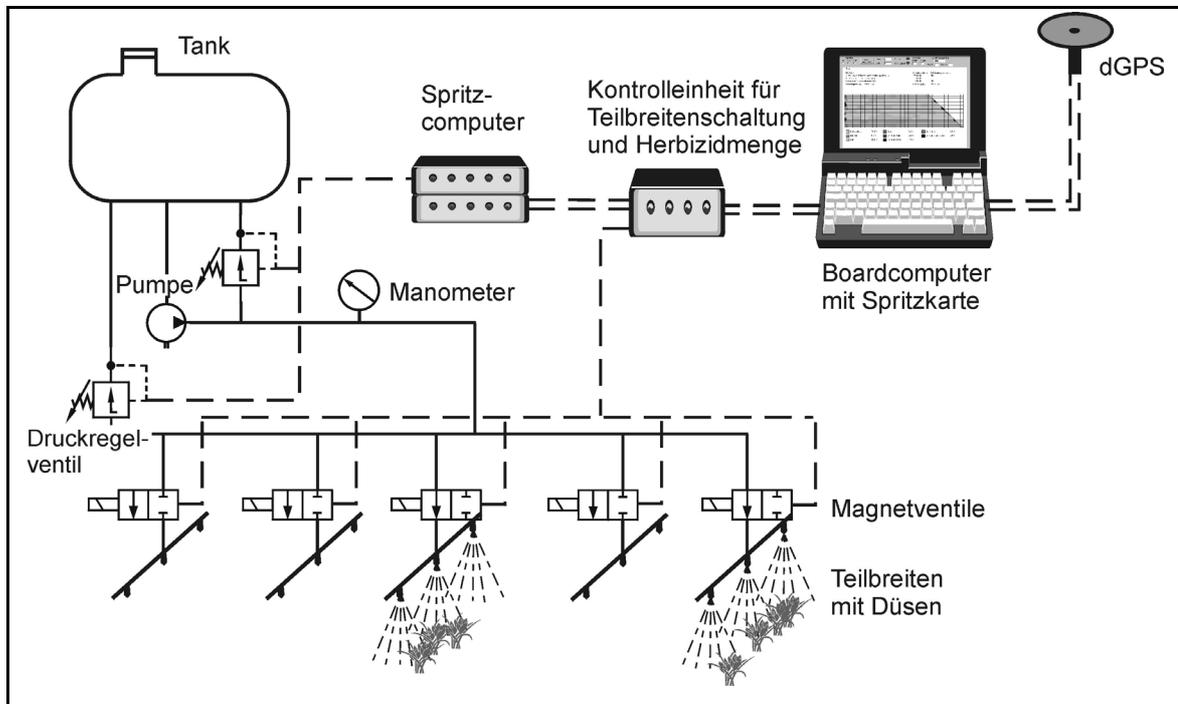


Abb. 4.1 Schema der dGPS-gesteuerten Pflanzenschutzspritze mit separat geschalteten Teilbreiten und Regulierung der Ausbringmenge (GERHARDS et al. 2000).

Über eine Kontrolleinheit, die mit dem Spritzcomputer verbunden war, konnte jede Teilbreite über Magnetventile separat an- und ausgeschaltet werden. Über die gleiche Kontrolleinheit konnte über eine Änderung des Drucks im hydraulischen System der Spritze die Ausbringmenge für jede Teilbreite geregelt werden. Durch diese technische Ausstattung der Spritze war es möglich, die Ausbringmengen entsprechend der Verunkrautungssituation und den Schadensschwellen zu variieren.

Die Daten der Applikationskarte wurden von einem Bordcomputer an das Spritzsystem übertragen. Mit Hilfe eines dGPS-Empfänger, der die aktuelle Position des Schleppers bestimmte, und der o.g. Kontrolleinheit konnten die Daten aus der Applikationskarte ortsgenau in eine teilschlagspezifische Spritzentscheidung umgesetzt werden.

#### 4.2.3.3 Ermittlung des Bekämpfungserfolges

Zur Bestimmung der Effizienz der Kontrollmaßnahmen wurde die durchschnittliche Veränderung der Unkrautdichte an den gleichen Zählstellen zwischen dem ersten Kartierungstermin unmittelbar vor Beginn der Unkrautkontrolle und dem zweiten Termin

nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen - unter Berücksichtigung einer ausreichenden Wirkzeit - berechnet. Bei der Kontrolle von Unkräutern im Voraufbau (Sonnenblumen im Jahr 2001) konnte kein Bekämpfungserfolg ermittelt werden.

Zusätzlich zum Bekämpfungserfolg im gesamten Feld wurde die Veränderung der Unkrautdichte sowohl in den mit Herbiziden behandelten als auch in den unbehandelten Teilflächen ermittelt. Zu diesem Zweck wurden die Daten aufgrund der Schadensschwellen in behandelte und nicht behandelte Kartierungspunkte gruppiert und die Differenz in der Unkrautdichte an o.g. Terminen bestimmt. Die Wirkung der unterschiedlichen Herbizidkonzentrationen (vgl. Kap. 4.2.3.1) wurde bei diesen Berechnungen nicht berücksichtigt. Da die herbiziden Wirkstoffe sowohl gegen die dikotylen Unkräuter als auch gegen *Galium aparine* in einer Überfahrt ausgebracht wurden, ist der Anteil der behandelten und unbehandelten Kartierungspunkte bei diesen Gruppen jeweils gleich. Der Effekt der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation wurde in den Mais- und Zuckerrübensschlägen von der in diesen Kulturen durchgeführten ganzflächigen mechanischen Unkrautkontrolle überlagert.

#### 4.2.4 Datenerhebung (Parzellenversuche)

In den Parzellenversuchen wurden verschiedene Kontrollmaßnahmen mit dem Ziel der Unterdrückung der Restverunkrautung durchgeführt und getestet. Neben einer Intensivierung der Unkrautkontrolle durch zusätzliche Herbizidapplikation oder dem Einsatz mechanischer Maßnahmen wurde in einer Variante in den Hackfrüchten auf die Unkrauthacke verzichtet. Durch dieses Vorgehen sollte geprüft werden, ob durch die Durchmischung und Bewegung des Bodens durch die Hacke weitere Samen zur Keimung angeregt werden und so die Unkrautdichte erhöht wird. Durch die Reduktion der Restverunkrautung sollten die Unkrautnester langfristig zurückgedrängt werden können. Anders als im Gesamtfeld wurde in den Parzellen zusätzlich die Restverunkrautung unmittelbar vor der Ernte der Kulturart kartiert. Weiterhin wurden Daten zur Samenproduktion der Restverunkrautung erhoben.

##### 4.2.4.1 Auswahl der Parzellen

Die Parzellen wurden in den Jahren 1999-2001 innerhalb von vier der fünf Versuchsfelder in jedem Jahr an der gleichen Position eingemessen. Die Größe und die Lage der Parzellen innerhalb des Schlages wurde aufgrund des Vorkommens von einem bis drei Leitunkräutern in den Versuchsfeldern im Jahr 1998 festgelegt; für den Schlag GH aufgrund der Unkrautverteilung des Jahres 1999. In dem fünften Feld (Schlag 6) wurden im Jahr 2001 nach der gleichen Vorgehensweise Parzellen für ein Leitunkraut festgelegt (vgl. Tab. 4.3).

Tab. 4.3 Übersicht zu den Parzellenversuchen in den Jahren 1999-2001

Schlag- bezeichnung	Beprobungs- zeitraum	Anzahl Parzellen	Parzellen- größe	Raster	Leitunkräuter
Schlag 4	1999-2001	8 (in 2001: 4)	45m x 30m	8m x 3m	Gräser <sup>1</sup> VIOAR <sup>4</sup>
Schlag 6	2001	4	30m x 15m	6m x 3m	GALAP <sup>4</sup>
Schlag 8	1999-2001	8 (in 2001: 4)	30m x 15m	5m x 4m	Gräser <sup>2</sup> VIOAR <sup>4</sup>
Schlag 9	1999-2001	18 (in 2001: 8)	45m x 15m	8m x 4m	CHEAL <sup>4</sup> POLAV <sup>4</sup>
Schlag GH	1999-2001	12 (in 2001: 4+2 <sup>3</sup> )	30m x 15m	6m x 3m	CHEAL <sup>4</sup> GASPA <sup>4</sup> SOLNI <sup>4</sup>

<sup>1</sup> überwiegend *Poa annua* L.

<sup>2</sup> überwiegend *Alopecurus myosuroides* Huds. und *Poa annua* L.

<sup>3</sup> 2001 in Schlag GH zusätzlich zwei gepflügte Parzellen (je 45 m x 15 m, Raster: 5 m x 3 m)

<sup>4</sup> Abkürzung der Unkrautarten in der vorliegenden Arbeit nach EPPO-Codes (Anhangstab. 1, S.137)

#### 4.2.4.2 Unkrautkontrollmaßnahmen (Parzellen)

Die Unkrautbekämpfung in den Parzellen erfolgte ganzflächig ebenfalls mechanisch und chemisch. Neben der betriebsüblichen „Standardherbizidmaßnahme“ wurden in den Parzellen die Kontrollmaßnahmen durch die zusätzliche Ausbringung eines weiteren Herbizides gegen die jeweiligen Problemunkräuter, durch die Anwendung oder das Weglassen mechanischer Maßnahmen (Striegel, Maschinehacke) oder durch die Aussaat einer Untersaat modifiziert. In der Maismonokultur wurden im Jahr 2001 im tiefgründigeren Bereich des Schlages zusätzlich zwei Parzellen als indirekte Kontrollmaßnahme gepflügt. Die Festlegung der zu pflügenden Flächen erfolgte aufgrund des Wissens des Betriebsleiters des Dikopshofes. Im Jahr 1999 wurden in einzelnen Varianten mit Hilfe einer Handhacke nach Abschluss der chemischen oder maschinellen Maßnahmen übrig gebliebene Unkräuter beseitigt, um eine Samenproduktion zu verhindern. Diese Maßnahmen flossen nicht in die Berechnung des Bekämpfungserfolges des gleichen Jahres ein.

Ein Überblick über alle durchgeführten Maßnahmen in den Parzellen findet sich im Anhang (Anhangstab. 14 - Anhangstab. 18, S.150ff.).

#### 4.2.4.3 Erfassung der Unkrautpopulationen

Analog zur Erfassung der Unkrautpopulationen in der gesamten Fläche wurden die Unkräuter in den Parzellen ebenfalls an den Schnittpunkten des jeweiligen Rasters gezählt. In den Jahren 1999 und 2000 wurden nur die jeweiligen Problemunkräuter erfasst, im Jahr 2001 wurden alle in den Parzellen gefundenen Unkräuter ausgezählt. Die ausgezählte Fläche betrug aus arbeitswirtschaftlichen Gründen 0,2 m<sup>2</sup>. Die Rasterweite variierte in Abhängigkeit von der Parzellengröße zwischen 5 m und 8 m in Bearbeitungsrichtung und zwischen 3 m und 4 m quer zur Arbeitsrichtung. Um zu gewährleisten, dass das Wachstum der Unkrautpflanzen nicht durch Schlepperüberfahrten im Zuge der Pflegemaßnahmen beeinflusst wurde, wurden Fahrspuren und Reihenabstand der Feldfrucht bei der Einmessung des Messrasters berücksichtigt. Die Unkräuter wurden unmittelbar vor der ersten und nach Abschluss der Unkrautkontrollmaßnahmen gezählt. Zusätzlich wurde im Jahr 2000 für die erwähnten Problemunkräuter in den Schlägen 8, 9 und GH sowie im Jahr 2001 in allen Feldern die Restverunkrautung unmittelbar vor der Ernte erfasst. Hierbei wurde zwischen bereits samentragenden (mindestens BBCH-Stadium 71 nach HESS et al. (1997) und nicht samentragenden Unkräutern unterschieden, um die Anzahl der Pflanzen zu quantifizieren, die zur Vergrößerung der Samenbank im Boden beitragen

#### 4.2.4.4 Ermittlung des Bekämpfungserfolges

Entsprechend der in Kap. 4.2.3.3 (S.24ff.) beschriebenen Methode wurde der Bekämpfungserfolg der verschiedenen Maßnahmen in den Parzellenversuchen ermittelt. Im Unterschied zu den Zahlen des Gesamtfelds wurde in den Jahren 2000 und 2001 in einzelnen Parzellen zusätzlich die Unkrautdichte an einem dritten Termin unmittelbar vor der Ernte bestimmt, so dass in diesen Werten die Dauerwirkung der bodenwirksamen Herbizide als auch die Restverunkrautung stärker berücksichtigt wurde.

#### 4.2.4.5 Bestimmung der Samenproduktion

Um das Potenzial des Neueintrags von Unkrautsamen abschätzen zu können, wurde in den Jahren 2000 und 2001 die Samenproduktion von *Chenopodium album* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Polygonum aviculare* L. und *Solanum nigrum* L. ermittelt. Zu diesem Zweck wurde vor dem Samenausfall in allen Fruchtarten der Felderfolge sowie in der Monokultur randomisiert der Samenertrag der Unkräuter geerntet und ausgezählt.

#### 4.2.5 Zusätzliche Flächeninformationen

##### 4.2.5.1 Ackerschlagkartei

Aus der Ackerschlagkartei des Dikopshofes konnten alle weiteren Informationen zur Bewirtschaftung der einzelnen Versuchsschläge entnommen werden: hierzu gehörten die Termine und Art der Pflanzenschutzmaßnahmen ebenso wie Zeitpunkte und Daten zur Bodenbearbeitung, Ernte oder zum möglichen Anbau von Zwischenfrüchten.

##### 4.2.6 Auswertung der Datensätze

Zur Berechnung der statistischen Maßzahlen zur Effizienz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle wurde das Programmpaket *SAS System for Windows Version 8* verwendet. Als Maß für den Zusammenhang zwischen behandelter Fläche und Bekämpfungserfolg wurde der Spearmansche Rang-Korrelationskoeffizient berechnet. Die Veränderung der Unkrautdichte in den behandelten bzw. unbehandelten Teilflächen vom ersten zum zweiten Termin wurde mit Hilfe des Zwei-Stichproben-t-Tests für verbundene Stichproben getestet.

### 4.3 Parameter zur Beschreibung der Dynamik von Unkrautpopulationen

#### 4.3.1 Auswahl der Unkrautpopulationen

Die Auswahl der drei den statistischen Untersuchungen zugrundeliegenden Datensätze erfolgte aufgrund der Unkrautverteilungskarten, die in Kap.1 (Abb. 5.7 - Abb. 5.17, S.47-S.57) dargestellt sind. Aus diesen Karten wurden exemplarisch die Daten und Verteilungskarten von *Galium aparine* in Feld 6 (Abb. 5.9), der Ungräser in Feld 8 (Abb. 5.10) sowie von *Viola arvensis* in Feld 9 (Abb. 5.14) ausgewählt. Als Auswahlkriterien wurden das räumliche Verteilungsmuster der Unkrautpopulationen sowie die Unkrautart zugrundegelegt, so dass jede Unkrautgruppe in der Versuchsreihe vertreten war. Zur bildanalytischen Auswertung der Unkrautpopulationen wurden nur die Verteilungskarten der Ungräser in Feld 8 zugrundegelegt, da die Populationen in diesem Feld aufgrund der visuellen Interpretation die klarste Tendenz zur Nesterbildung zeigten.

#### 4.3.2 Statistische Parameter

Zur Beschreibung der räumlichen Verteilung der Unkrautpopulationen wurde für die vorliegenden Daten Lloyds *patchiness* Index (LLOYD 1967) berechnet. Der *patchiness* Index (PI) gilt als Maß für das Verteilungsmuster von Organismenpopulationen; mit

dem PI kann zugleich das räumliche Verteilungsmuster der Unkrautpopulationen statistisch abgesichert werden.

Die Formel zur Berechnung des *patchiness* Index lautet:

$$PI = \frac{m + \left(\frac{s^2}{m}\right) - 1}{m}$$

mit  $m$  arithmetisches Mittel der stichprobenweisen Unkrautzählung (Anzahl Unkräuter/m<sup>2</sup>)

$s$  Standardabweichung der stichprobenweisen Unkrautzählung

Um Ähnlichkeiten in der Verteilung der Verunkrautung von einem Jahr zum anderen zu vergleichen, wurde der „Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson“ berechnet. Der „Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson“ korreliert die Unkrautdichten (unmittelbar vor der Herbizidapplikation) von jeweils zwei Jahren an den gleichen Zählstellen paarweise.

Außerdem wurden zur Beschreibung der zeitlichen Stabilität der räumlichen Verteilung der Unkräuter Vierfelder-Kontingenztafeln der Unkrautdaten erstellt und mit Hilfe des Vierfelder- $\chi^2$ -Test auf Unabhängigkeit analysiert (Tab. 4.4).

Tab. 4.4 Exemplarische Darstellung einer Vierfelder-Tafel (Ungräser in Feld 8 in den Jahren 1998 (Zuckerrüben) und 1999 (Winterweizen)).

		WW99		Gesamt
		unkrautfrei	verunkrautet	
ZR98	unkrautfrei	42	33	75
	verunkrautet	51	112	163
Gesamt		93	145	238

In diesen Tafeln wurde die Anzahl der verunkrauteten und unkrautfreien Zählstellen für jedes Paar von Jahren untersucht. Es kann damit gezeigt werden, ob die Verunkrautung oder Unkrautfreiheit an einer Zählstelle abhängig von der Verunkrautungssituation an der gleichen Zählstelle in einem der Vorjahre war. Ein signifikanter  $\chi^2$ -Wert zeigt eine Kontingenz (bei nominalskalierten Variablen spricht man von „Kontingenz“ statt von „Korrelation“) zwischen den Werten zweier Jahre an. Der  $\chi^2$ -Test zeigt lediglich die Existenz eines Zusammenhanges auf, über die Stärke des Zusammenhanges sagt er nichts aus.

Die Daten von Feld 8 aus dem Jahr 1997 wurden bei der Berechnung der Korrelationen nicht berücksichtigt, da in diesem Jahr die Unkräuter im Raster von 15m \* 15m kartiert wurden.

#### 4.3.3 Visuelle Interpretation und bildanalytische Auswertung der Verteilungskarten

Die Klassifizierung der verunkrauteten Flächen innerhalb der untersuchten Felder und die Erstellung der Unkrautverteilungskarten erfolgte aufgrund der in Tab. 4.5 dargestellten Schwellenwerte. Die so erhaltenen Verteilungskarten konnten visuell interpretiert werden. Die in diesen Karten als Flächen dargestellten Unkrautpopulationen zeigen ähnliche Eigenschaften wie die von RADOSEVICH et al. (1997) beschriebenen Verteilungsmuster der als Punkte oder Punktwolken dargestellten Einzelindividuen der Populationen (vgl. Abb. 2.2, S.4).

Bestimmte geometrische Berechnungen wie die Bestimmung der Lage des Schwerpunktes der Flächen, d.h. der Unkrautpopulationen, konnten mit dem Programm UNPROG nicht durchgeführt werden. Die für solche Berechnungen erforderlichen Informationen können aus den UNPROG-Karten (Bitmaps) gewonnen werden.

Tab. 4.5 Schwellenwerte der Verunkrautungsklassen für die drei untersuchten Unkräuter.

	Verunkrautungsklasse		
	niedrig	mittel	hoch
Ungräser	>1-5 Pflanzen/m <sup>2</sup>	>5-20 Pflanzen/m <sup>2</sup>	>20 Pflanzen/m <sup>2</sup>
<i>Viola arvensis</i>	>5-20 Pflanzen/m <sup>2</sup>	>20-50 Pflanzen/m <sup>2</sup>	>50 Pflanzen/m <sup>2</sup>
<i>Galium aparine</i>	>0,1-2 Pflanzen/m <sup>2</sup>	>2-5 Pflanzen/m <sup>2</sup>	>5 Pflanzen/m <sup>2</sup>

Um die visuell gewonnenen subjektiven Informationen über die Unkrautpopulationen zu objektivieren, wurde am Beispiel der Unkrautverteilungskarten der Ungräser in Feld 8 über den Versuchszeitraum 1997-2001 (neben der Berechnung der statistischen Parameter aus den der Karte zugrundeliegenden Daten und der visuellen Interpretation) zusätzlich eine bildanalytische Auswertung vorgenommen.

Bislang liegt keine zufriedenstellende Definition eines „Nestes“ innerhalb von Unkrautverteilungskarten vor. Für die vorliegende Arbeit wurde folgende Definition verwendet: Alle verunkrauteten Flächen, deren Entfernung zueinander die maximale Entfernung zwischen zwei Zählstellen (in der vorliegenden Arbeit 15 Meter) nicht überschritt, wurden zu einem Unkrautnest zusammengefasst. Ein engeres Raster würde eine andere und möglicherweise präzisere Definition eines Unkrautnestes zulassen. In Abb. 4.2 wird die Festlegung der Nester am Beispiel der Verteilungskarten von Ungräsern in Feld 8 in den Jahren 1998 und 1999 grafisch erläutert. In Abb. 4.2 A sind nach dieser Definition vier Unkrautnester zu erkennen. Im Folgejahr (Abb. 4.2 B) wurden drei Un-

krautnester gezählt, von denen zwei Nester aus mehreren separaten Unkrautpopulationen zusammengefasst wurden, die näher als 15 m zusammenlagen.

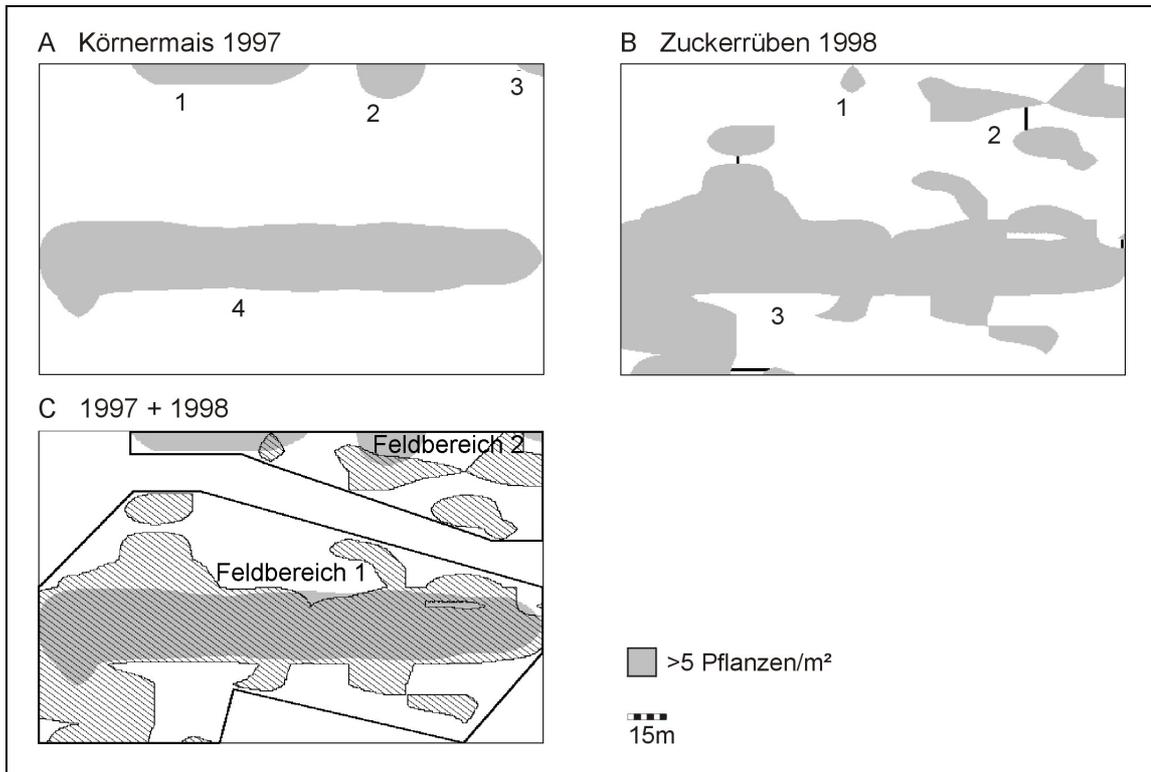


Abb. 4.2 Schematische Darstellung zur Definition von Nestern am Beispiel der Verteilungskarten von Ungräsern in Feld 8 in den Jahren 1998 und 1999 (Schwellenwert: „mittel“ [ $>5^{\circ}$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]) (Abb. A und C) sowie der untersuchten Feldbereiche nach der Kombination der beiden Verteilungskarten der beiden Jahre (Abb. C).

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, variierte die Dichte und Zusammensetzung der Unkrautpopulationen in Abhängigkeit von Jahr und angebaute Fruchtart stark. Aufgrund der o.g. Definition eines Unkrautnestes war es möglich, dass in einem Jahr ein gesamtes Feld als „ein Unkrautnest“ angesehen wurde, wenngleich in den übrigen Jahren einzelne Aggregationen zu erkennen waren. Daher wurden bei der Interpretation der Unkrautpopulationen eines Feldes die Verteilungsmuster des gesamten Versuchszeitraums berücksichtigt. Feldbereiche, die in mindestens einem Jahr als Unkrautnest definiert wurden, wurden auch in den übrigen Jahren auf Unkrautvorkommen untersucht. Daher ergab sich ein zu untersuchender Teilbereich des Feldes, dessen Grenzen von der räumlichen Ausdehnung der Nester in allen Jahren bestimmt wurden und das ganze Feld umfassen konnte. Innerhalb dieser Grenzen konnten in einzelnen Jahren des Versuchszeitraumes mehrere Unkrautpopulationen vorliegen, die per Definition separate Unkrautnester waren. Die quantitative Bildanalyse ermöglichte es, die Veränderung der so erhaltenen Aggregationen in einem definier-

ten Feldbereich über die Zeit und unter dem Einfluss der Felderfolge numerisch zu erfassen und deren räumliche Veränderung zu quantifizieren. Um die Entwicklung der Unkrautpopulationen besser zu veranschaulichen, wurden für jede Verunkrautungsklasse die jeweiligen Verteilungskarten des ersten Jahres der Versuchsreihe, d.h. für die Ungräser die Karte des Jahres 1997, mit den vektorisierten Karten der Folgejahre kombiniert. Die Kombination der Verteilungskarten des gesamten Versuchszeitraumes erfolgte mit Hilfe eines Geo-Informationssystems. Dadurch konnten Feldbereiche, die in mehreren oder allen Jahren des Versuchszeitraumes verunkrautet waren, besser ausgemacht werden. In Abb. 4.2 C ist diese Methodik anhand der Kombination der Verteilungskarten aus den Jahren 1997 und 1998 dargestellt, in der vorliegenden Arbeit wurden nach diesem Vorgehen alle Verteilungskarten des gesamten Versuchszeitraumes kombiniert und die Feldbereiche abgegrenzt. Die Entwicklung der Unkrautpopulationen innerhalb dieser Feldbereiche über den Versuchszeitraum wurde bildanalytisch ausgewertet.

Die Farbdarstellung im Computer erfolgt nach dem RGB-Farbsystem (R=Rot, G=Grün, B=Blau). Dabei werden alle darstellbaren Farben durch Kombination der drei Elementarfarben Rot, Grün und Blau mit einer Auflösung von 8 Bit (entsprechend einem Wertebereich von 0 bis 255) je Kanal dargestellt.

Das Bildverarbeitungsprogramm erhält die Informationen über die örtliche Unkrautdichte in der Verteilungskarte, indem einer der Kanäle (hier Rot) entsprechend der Höhe der mittleren Unkrautdichte der einzelnen Verunkrautungsklassen kodiert wurde. Die entsprechenden Teilflächen wurden in den neu erstellten Verteilungskarten in dieser Farbe dargestellt.

Die Bestimmung des Wertes des roten Farbkanals erfolgte nach der Formel

$$R = d \cdot \frac{255}{d_{\max}}$$

mit     R     = Wert roter Farbkanal (0...255)  
           d     = durchschnittliche Verunkrautung der zu kodierenden Verunkrautungsklasse (Pflanzen/m<sup>2</sup>)  
           d<sub>max</sub> = durchschnittliche Verunkrautung der höchsten Verunkrautungsklasse (Pflanzen/m<sup>2</sup>)

Daraus ergibt sich, dass die Teilflächen mit den höchsten mittleren Unkrautdichten mit den Komponentenwerten 255:0:0 (R:G:B) dargestellt werden, für Teilflächen mit einer durchschnittlichen Verunkrautung von 0 Pflanzen/m<sup>2</sup> ergeben sich die Werte 0:0:0. Damit wäre diese in der Verteilungskarte schwarz.

Mit Hilfe des Bildverarbeitungsprogramms konnten verschiedene Merkmale der auf diesem Wege in den Verteilungskarten dargestellten Unkrautpopulationen innerhalb

der definierten Feldbereiche berechnet werden. Nach Georeferenzierung der eingelesenen Karten wurden objektive Parameter wie Fläche und „gewichteter Flächenschwerpunkt“ der Unkrautpopulationen ermittelt und die Veränderung der Nester über den Versuchszeitraum verfolgt. Zur Berechnung dieser Parameter konnten Unkrautpopulationen, die nicht aneinander grenzen, verbunden werden, so dass auf diesem Weg die Flächengröße oder der gemeinsame Flächenschwerpunkt für eine Aggregation von Unkrautpopulationen ermittelt wurde. Darüber hinaus wurden bei der Berechnung des Schwerpunktes für eine Fläche, die mehr als eine Unkrautklasse vereint, die durchschnittlichen Verunkrautungsichten der Klassen, die durch den Wert des roten Farbkodals kodiert sind, berücksichtigt, so dass der berechnete Schwerpunkt entsprechend den Unkrautdichten „gewichtet“ war.

Um Unterschiede im Unkrautbesatz in den ausgewählten Feldbereichen zu dokumentieren, wurde die Fläche der Unkrautpopulationen in den einzelnen Jahren verglichen. Daneben wurden Veränderungen der Lage der Unkrautpopulationen innerhalb des Feldes untersucht. Zu diesem Zweck wurde die Distanz zwischen den Positionen der ermittelten Schwerpunkte von einem Jahr zum anderen berechnet. Weiterhin wurde die Richtung der Verlagerung der Schwerpunkte von einem Jahr zum anderen in Relation zur Bearbeitungsrichtung bestimmt (Abb. 4.3).

Da die Karten für die Untersuchungen nicht genordet wurden, bedeutet ein Wert von  $0^\circ$  eine Änderung der Position des Schwerpunktes von einem Jahr zum anderen parallel zur Bearbeitungsrichtung nach „rechts“,  $180^\circ$  eine Richtungsänderung nach „links“. Analog bewegt sich der Schwerpunkt bei einem Wert von  $90^\circ$  bzw.  $270^\circ$  im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung nach „oben“ bzw. nach „unten“.

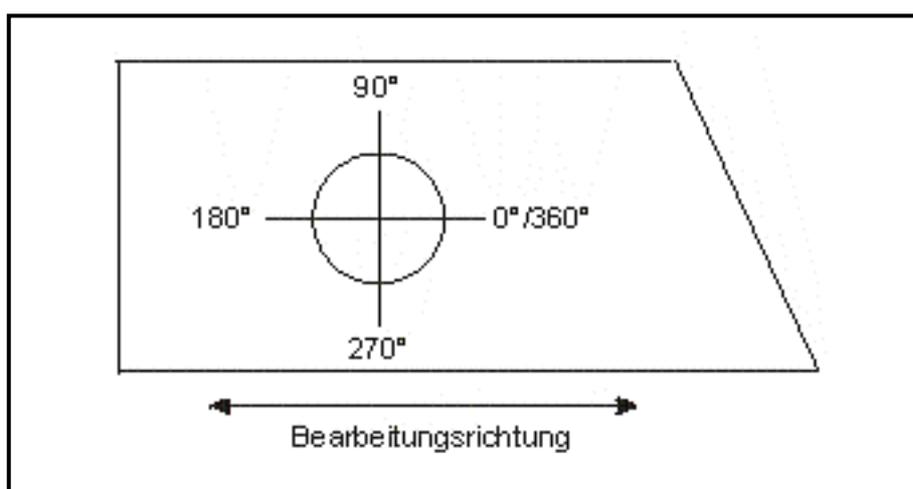


Abb. 4.3 Schematische Darstellung eines Feldes sowie der Gradzahlen zur Angabe der Bewegungsrichtung des Schwerpunktes in Relation zur Bearbeitungsrichtung.

#### 4.3.4 Statistische Auswertung der Daten

Die statistische Auswertung der Daten zur Beschreibung der Stabilität der Unkrautpopulationen erfolgte mit den Programmen Microsoft Excel und SPSS 11.0 für Windows. Mit dem Programm IDRISI 32 wurden die Unkrautverteilungskarten, die im Rasterformat vorlagen, vektorisiert und anschließend kombiniert. Die bildanalytische Auswertung der Unkrautverteilungskarten erfolgte mit dem institutseigenen Bildverarbeitungsprogramm *RL-Imalysis* (LOCK 2002, pers. Mitteilung).

## Untersuchungen zur Effizienz teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle und zur Persistenz von Unkrautpopulationen

### 5 Ergebnisse

#### 5.1 Die Verunkrautungssituation vor Beginn der Maßnahmen (Feldversuche)

Zur Festlegung der Unkrautkontrollmaßnahmen wurden, wie in Kap. 4.2.3.1 (S.23ff.) beschrieben, die Unkräuter entsprechend ihrer Herbizidempfindlichkeit in Getreide üblicherweise in Ungräser, *Galium aparine* und die übrigen dikotylen Unkräuter gruppiert; bei den Hackfrüchten wurden die beiden Gruppen monokotyle und dikotyle Unkräuter gebildet. Ebenso wie die Herbizidempfindlichkeit der Unkräuter die Auswahl der Wirkstoffe beeinflusste, wurde die auf dem Gesamtfeld ausgebrachte Menge der Herbizide der Dichte der verschiedenen Gruppen angepasst. In Tab. 5.1 sind die mittleren Dichten der beiden Unkrautgruppen „monokotyle“ und „dikotyle Unkräuter“ dargestellt.

Tab. 5.1 Mittlere Unkrautdichten (Pflanzen/m<sup>2</sup>) der für die Spritzentscheidung relevanten Unkrautgruppen (monokotyle bzw. dikotyle Unkräuter) über den Versuchszeitraum in allen fünf Feldern.

	1997	1998	1999	2000	2001
<b>Feld4</b>		<b>ZR</b>	<b>WW</b>	<b>WG</b>	<b>KM</b>
MONOKO		10,9	9,0	7,4	1,3
DIKO		31,8	7,5	10,5	4,8
<b>Feld6</b>		<b>WW</b>	<b>WG</b>	<b>KM</b>	<b>ZR</b>
MONOKO		3,3	12,2	1,4	10,9
DIKO		12,8	5,6	13,6	17,4
<b>Feld8</b>	<b>KM</b>	<b>ZR</b>	<b>WW</b>	<b>WG</b>	<b>KM</b>
MONOKO	4,4	9,2	6,2	5,8	1,9
DIKO	21,0	41,0	12,7	22,1	18,2
<b>Feld9</b>		<b>KM</b>	<b>ZR</b>	<b>WW</b>	<b>WG</b>
MONOKO		67,2	81,8	45,5	26,9
DIKO		2,0	49,9	9,0	9,1
<b>FeldGH</b>			<b>KM</b>	<b>KM</b>	<b>KM</b>
MONOKO			25,3	32,9	192,5
DIKO			200,1	157,9	168,9

##### 5.1.1 Durchschnittliche Verunkrautung der Versuchsfelder und Unterschiede in der Artenzusammensetzung

Die durchschnittliche Unkrautartendichte auf den verschiedenen Feldern variierte in den meisten Fällen erwartungsgemäß sehr stark von Jahr zu Jahr und in Abhängigkeit von der angebauten Feldfrucht (vgl. Abb. 5.1). Weiterhin zeigten sich sehr starke Un-

terschiede in der Verunkrautung zwischen den vier Feldern, die in der Felderfolge Körnermais - Zuckerrüben – Winterweizen – Wintergerste angebaut wurden und der Monokultur Körnermais (vgl. Abb. 5.2 - Abb. 5.6).

Abb. 5.1 zeigt die mittlere Dichte der dikotylen Unkräuter, die in allen vier Feldern der Felderfolge während des Versuchszeitraumes am häufigsten gefunden wurden, sowie von *Galium aparine*. In allen vier Fruchtarten gehörte *Viola arvensis* Murray zu den Leitunkräutern, dazu kamen in Körnermais und Zuckerrüben mit *Chenopodium album* und *Polygonum aviculare* zwei typische Unkrautarten der Hackfrüchte (Anhangstab. 2, S.139). In Wintergetreide fanden sich mit *Veronica*- und *Kamille*-Arten ebenfalls zusätzlich zwei typische Unkräuter dieser Fruchtarten. Lediglich das verstärkte Vorkommen von Vogelknöterich in Winterweizen war atypisch.

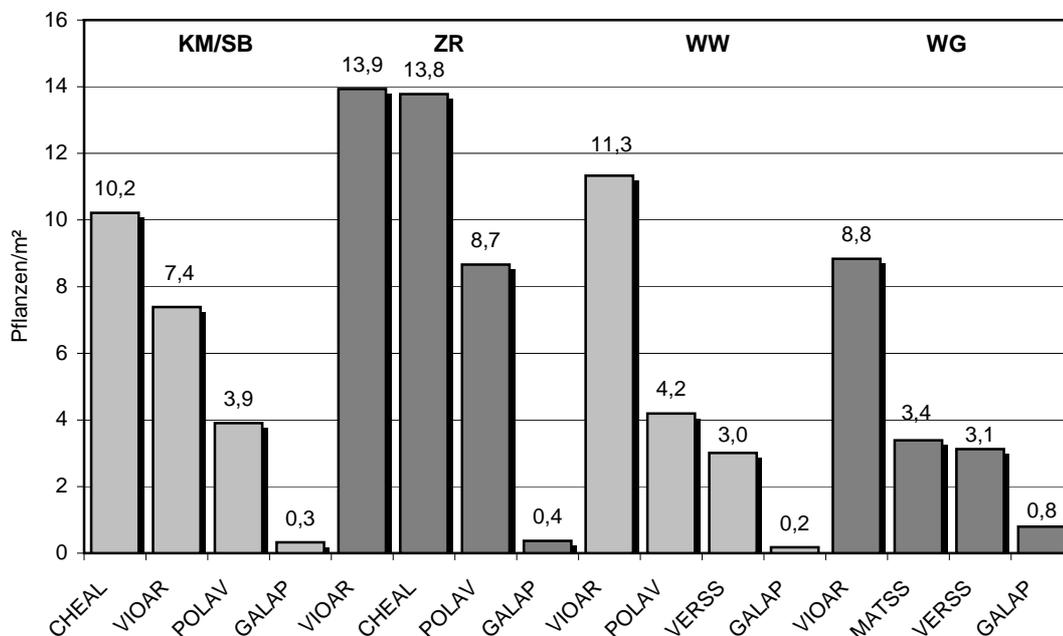


Abb. 5.1 Mittlere Dichte der jeweils drei häufigsten dikotylen Unkrautarten sowie *Galium aparine* in den vier untersuchten Fruchtarten aller Felder der Felderfolge über den gesamten Untersuchungszeitraum (1997-2001). (Abkürzung der Unkrautarten nach EPPO-Codes (Anhangstab. 1, S.137))

Für die einzelnen Felder ergab sich folgendes Bild: In **Feld 4** zeigten sich auffällige Unterschiede bei der mittleren Verunkrautung des Gesamtfeldes in Zuckerrüben mit höheren Werten sowohl bei den Ungräsern (10,9 Pflanzen/m²) als auch bei den dikotylen Unkräutern (31,8 Pflanzen/m²). Vergleichsweise niedrige Werte wurden in Sonnenblumen zwischen den Reihen, allerdings nach der Vorauflaufkontrolle, gezählt (Ungräser: 1,3 Pflanzen/m², dikotyle Unkräuter: 4,8 Pflanzen/m²). Die Unkrautdichten in den

beiden Getreidefeldern waren zwischen den Werten der aufgeführten Dichten in den Hackfrüchten einzuordnen (vgl. Tab. 5.1).

*Chenopodium album* war sowohl in Zuckerrüben 1998 mit 45,8% der Gesamtverunkrautung (19,5 Pflanzen/m<sup>2</sup>) als auch in Sonnenblumen 2001 mit 54,7% (bei niedriger mittlerer Dichte von 3,4 Pflanzen/m<sup>2</sup>) Hauptbestandbilder. In den beiden Getreidearten dominierten *Matricaria*-Arten und Ungräser. Mithin konnten sowohl *Chenopodium album* als Leitunkraut der Hackfrüchte mit einer Präferenz für höhere Keimtemperaturen als auch *Matricaria*-Arten als typische Unkrautarten des Wintergetreides als charakteristische Leitunkräuter für die jeweiligen Fruchtarten ausgemacht werden (vgl. Abb. 5.2).

Einen detaillierten Überblick über die typischen Leitunkräuter in den untersuchten Fruchtarten in Deutschland (Anhangstab. 2, S.139) sowie das Vorkommen einzelner Unkrautarten in Feld 4 findet sich im Anhang (Anhangstab. 3, S.140).

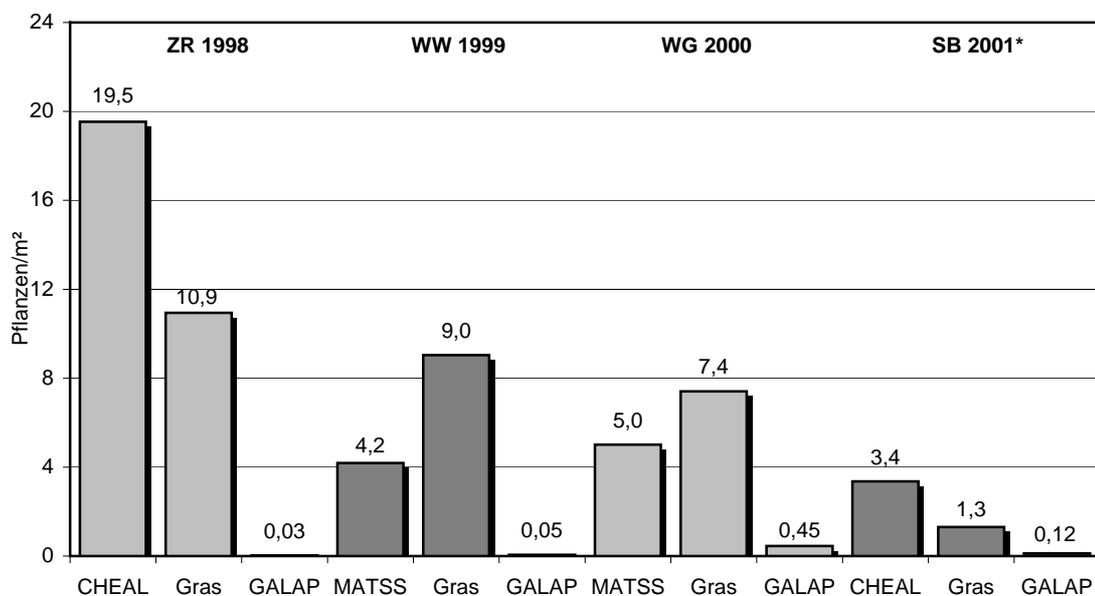


Abb. 5.2 Dichte des jeweiligen dikotylen Leitunkrautes, der Ungräser sowie von *Galium aparine* in **Feld 4** in den Jahren 1998-2001.

\* nach Voraufaufbehandlung

In **Feld 6** (vgl. Tab. 5.1) fanden sich in den Jahren 1998 und 2000 für Ungräser vergleichsweise niedrige Werte (3,3 Pflanzen/m<sup>2</sup> in WW bzw. 1,4 Pflanzen/m<sup>2</sup> in KM), während die durchschnittliche Ungrasdichte in den beiden anderen Jahren (12,2 Pflanzen/m<sup>2</sup> in WG bzw. 10,9 Pflanzen/m<sup>2</sup> in ZR) um das 3 bis über 7,5-fache höher lag. Die Gräser (überwiegend POAAN und ALOMY) gehörten in jedem Versuchsjahr zu den Leitunkräutern. In den Jahren 1999 und 2001 waren sie mit 47,3%

bzw. 38,4% der Gesamtverunkrautung Hauptbestandsbildner (bei ähnlicher Dichte von 12,2 bzw. 10,9 Pflanzen/m<sup>2</sup>).

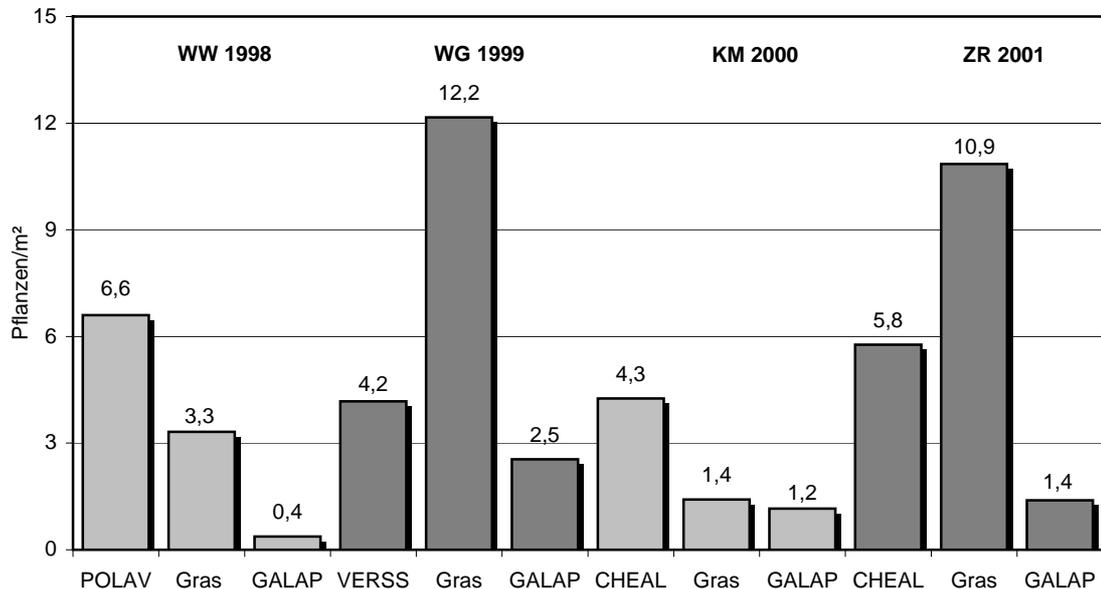


Abb. 5.3 Dichte des jeweiligen dikotylen Leitunkrautes, der Ungräser sowie von *Galium aparine* in **Feld 6** in den Jahren 1998-2001.

Die Werte für die dikotylen Unkräuter lagen im Untersuchungszeitraum zwischen durchschnittlich 10,2 und 17,4 Pflanzen/m<sup>2</sup>. Als stärkste Fraktionen an dieser Gruppe waren *Polygonum aviculare* (6,6 Pflanzen/m<sup>2</sup>, 40,9% der Gesamtverunkrautung) in Winterweizen, *Veronica*-Arten (4,2 Pflanzen/m<sup>2</sup>, 16,2%) in Wintergerste sowie *Chenopodium album* in Körnermais (4,3 Pflanzen/m<sup>2</sup>, 36,6%) und Zuckerrüben (5,8 Pflanzen/m<sup>2</sup>, 20,4%) zu beobachten. Das vergleichsweise starke Vorkommen von POLAV als Leitunkraut in den beiden Wintergetreidekulturen war überraschend, da diese Art zu den typischen Unkräutern der Sommerkulturen zählt. Dagegen war die Dominanz von CHEAL in den Hackfrüchten, analog zu Feld 4, nicht außergewöhnlich (vgl. Abb. 5.3) Erwähnenswert ist die Verunkrautung mit *Galium aparine* in allen vier Jahren. Die durchschnittliche Dichte lag bei Werten zwischen 0,37 und 2,54 Pflanzen/m<sup>2</sup>. Aufgrund der ökonomischen Bedeutung von *Galium aparine* als Problemunkraut wurde jedoch trotz gemitteltem Wert die niedrigste empfohlene ökonomische Schadensschwelle von 0,1 Pflanzen/m<sup>2</sup> in Getreide (GEROWITT und HEITEFUSS 1990) weit übertroffen. Darüber hinaus machte *Galium aparine* in den Jahren 1999 und 2000 fast 10% der Gesamtverunkrautung aus. Zahlen zu allen beobachteten Unkräutern finden sich in Anhangstab. 4 (S.140).

Die mittleren Ungrasdichten in Getreide in **Feld 8** (vgl. Tab. 5.1) lagen mit 6,2 Pflanzen/m<sup>2</sup> in Winterweizen 1999 und 5,8 Pflanzen/m<sup>2</sup> in Wintergerste 2000 in

einem ähnlichen Bereich. In den Hackfrüchten hingegen variierten die Werte zwischen 9,2 Pflanzen/m<sup>2</sup> in Zuckerrüben 1998 und 1,9 Pflanzen/m<sup>2</sup> in Körnermais 2001 ganz erheblich. Die dikotylen Unkräuter wurden ebenfalls in Zuckerrüben 1998 in der höchsten Dichte gezählt (41,0 Pflanzen/m<sup>2</sup>). Im Jahr zuvor sowie in den drei Folgejahren konnten sich die zweikeimblättrigen Unkräuter nicht so stark etablieren.

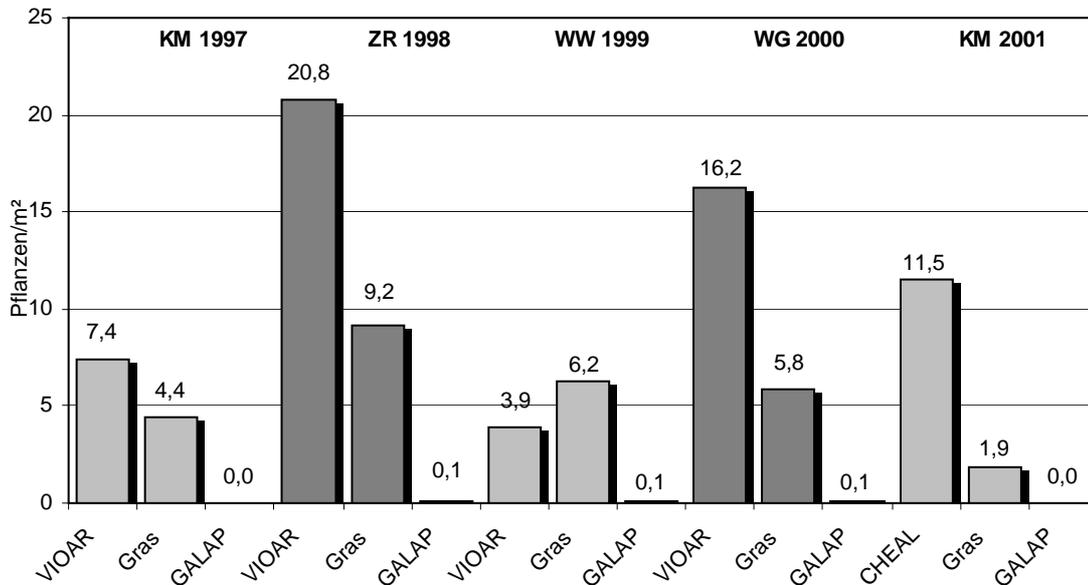


Abb. 5.4 Dichte des jeweiligen dikotylen Leitunkrautes, der Ungräser sowie von *Galium aparine* in **Feld 8** in den Jahren 1997-2001.

Während die Ungräser nur im Jahr 1999 mit vergleichsweise niedriger Unkrautdichte Hauptbestandbildner waren (32,9% der Gesamtverunkrautung), war *Viola arvensis* im gleichen Feld in den Jahren 1997 (29,1%), 1998 (41,5%) und 2000 (58,0%) dominierend (Abb. 5.4). Aufgrund der Tatsache, dass VIOAR ganzjährig keimt, war diese Beobachtung nicht außergewöhnlich, wenngleich diese Unkrautart eher als Unkraut des Getreides beschrieben wird. Im Jahr 2001 lief *Chenopodium album* im Mais in der größten Dichte auf und war damit Hauptbestandbildner in der Hackfrucht Körnermais. Da CHEAL in den Jahren 1997 in Körnermais und 1998 und Zuckerrüben nach VIOAR in der zweitgrößten Dichte auflief, war es auch in diesem Feld als typisches Leitunkraut der Hackfrüchte zu bezeichnen (vgl. Abb. 5.4 und Anhangstab. 5, S.141)

Ebenso wie in Feld 4 und Feld 8 fanden sich in **Feld 9** in Zuckerrüben 1999 sowohl bei den dikotylen (81,8 Pflanzen/m<sup>2</sup>) als auch bei den monokotylen (49,9 Pflanzen/m<sup>2</sup>) Unkräutern die höchsten durchschnittlichen Dichten (vgl. Tab. 5.1). In den übrigen Jahren lagen die Ungrasdichten vergleichsweise niedrig, die Werte für die dikotylen Unkräuter

waren vor allem auch im Mais 1998 (67,2 Pflanzen/m<sup>2</sup>) und im Winterweizen 2001 (45,5 Pflanzen/m<sup>2</sup>) sehr hoch.

In der Gruppe der zweikeimblättrigen Unkräuter war in allen vier Versuchsjahren VIOAR (24,7% bis 54,5% der Gesamtverunkrautung, 9,7 bis 32,6 Pflanzen/m<sup>2</sup>) vornehmlich zu beobachten. In Körnermais 1998 trat CHEAL (41,3%, 26,1 Pflanzen/m<sup>2</sup>) als Hauptbestandbildner hinzu (vgl. Abb. 5.5 und Anhangstab. 6, S.142)

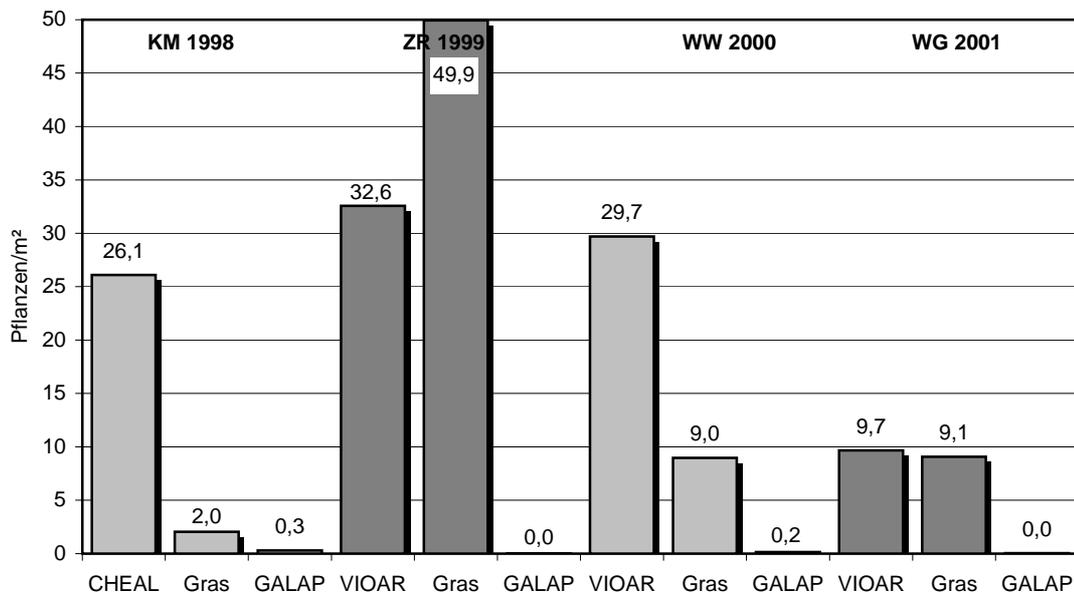


Abb. 5.5 Dichte des jeweiligen dikotylen Leitunkrautes, der Ungräser sowie von *Galium aparine* in **Feld 9** in den Jahren 1998-2001.

In drei der vier untersuchten Schläge (Schlag 4, Schlag 8 und Schlag 9) der Felderfolge zeigt sich eine tendenzielle Abnahme der Unkrautdichte gleicher dikotyler Leitunkräuter sowie v.a. der Ungräser über den Versuchszeitraum 1998-2001 bzw. 1997-2001 (Abb. 5.2, Abb. 5.4 und Abb. 5.5) infolge der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle. Es sollte jedoch beachtet werden, dass gleiche (Leit-)Unkrautarten in verschiedenen Fruchtarten und Jahren unterschiedliche Wachstumsbedingungen haben, so dass die Bewertung einer Ab- oder Zunahme der Dichte erschwert wird und durch zukünftige weitere Erhebungen verifiziert werden sollte. Für *Galium aparine* ist eine Tendenz zur Abnahme der Unkrautdichte nicht zu erkennen.

In **Feld GH**, das in der Maismonokultur bewirtschaftet wurde, wurden die mit Abstand höchsten durchschnittlichen Unkrautdichten gezählt (vgl. Tab. 5.1). Die Werte für die dikotylen Unkräuter lagen zwischen 168,9 Pflanzen/m<sup>2</sup> im Jahr 2001 und 200,1 Pflanzen/m<sup>2</sup> im Jahr 1999. Bei den einkeimblättrigen Unkräutern lagen die Werte zwischen 25,3 Pflanzen/m<sup>2</sup> (11,2% der Gesamtverunkrautung) im Jahr 1999 und 192,5 Pflanzen/m<sup>2</sup> (53,3% der Gesamtverunkrautung) im Jahr 2001. Den größten An-

teil an diese Gruppe bildeten in allen Jahren Hirse-Arten (überwiegend *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.), die in den Feldern der Rotation gefundenen Gräser (ALOMY, POAAN) traten in der Monokultur nur selten auf. In der Gruppe der zweikeimblättrigen Unkräuter waren in allen Jahren typische Unkräuter des Mais (*Chenopodium album*, *Galinsoga parviflora* und *Solanum nigrum*) Hauptbestandsbildner. Die übrigen dikotylen Unkräuter machten nur zwischen 1,3% und 3,8% der Gesamtverunkrautung aus, GALAP wurde in diesem Feld nicht kartiert.

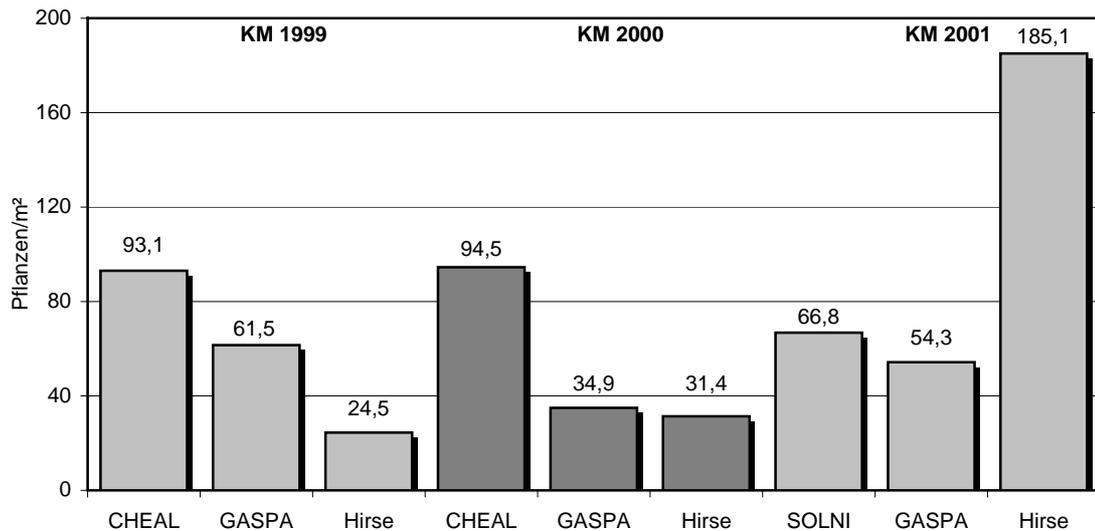


Abb. 5.6 Dichte der jeweiligen zwei dikotylen Leitunkräuter sowie der Hirse-Arten in **Feld GH** in den Jahren 1999-2001.

Im Gegensatz zur Felderfolge war in den Jahren 1999-2001 in der Monokultur vor allem für die Ungräser eine starke Zunahme der Unkrautdichte zu erkennen, während die CHEAL-Dichte abnahm. Vermutlich konnte sich die Hirse aufgrund des sehr heißen und trockenen Spätfrühjahrs 2001 und damit günstigeren Witterungsverhältnissen für die C4-Pflanzen besser etablieren (vgl. Abb. 5.6 und Anhangstab. 7, S.137)

Wie bereits erwähnt, bestimmte in allen Feldern jeweils die angebaute Fruchtart, das Feld mit seinen jeweiligen spezifischen Standorteigenschaften (Topographie, Boden) sowie das Anbaujahr (v.a. Klima) die Dichte der Unkräuter. Um die Dynamik der Unkrautpopulationen, d.h. die Zusammensetzung und Stärke der Verunkrautung, über mehrere Jahre besser zu verstehen und zu erklären, wäre es interessant, den Einfluss der drei genannten Faktoren „Fruchtart“, „Feld“ sowie „Anbaujahr“ zu gewichten.

Die relative Einflussstärke der Fruchtart genauer zu quantifizieren gestaltete sich für die Versuchsreihe als schwierig, da mit Ausnahme von Körnermais in Feld 8 (1997 und 2001) alle untersuchten Fruchtarten während des Versuchszeitraumes felderfolgebedingt nur einmal auf dem gleichen Feld angebaut wurden. Durch den Vergleich der

Verunkrautung in der gleichen Fruchtart in zwei verschiedenen Feldern würde der Einfluss der Standorteigenschaften nicht hinreichend berücksichtigt.

Tab. 5.2 Mittlere Dichte der drei dikotylen Leitunkräuter, der Ungräser und *Galium aparine* in **Feld 8** über den Versuchszeitraum sowie in den einzelnen Jahren (Pflanzen/m<sup>2</sup>) und deren prozentuale Abweichung von der mittleren Verunkrautung.

<b>mittlere Unkrautdichte 1997-2001</b>		<b>VIOAR</b>	<b>CHEAL</b>	<b>Ungräser</b>	<b>BRANA</b>	<b>GALAP</b>
		<b>9,8</b>	<b>6,1</b>	<b>5,5</b>	<b>2,3</b>	<b>0,1</b>
KM1997	mittlere Unkrautdichte	7,4	5,8	4,4	4,7	0,05
	Abweichung in %	-24,7	-5,1	-20,4	101,4	-36,0
ZR1998	mittlere Unkrautdichte	20,8	13,4	9,2	1,2	0,05
	Abweichung in %	112,5	117,5	67,0	-47,8	-29,4
WW1999	mittlere Unkrautdichte	3,9	0,0	6,2	2,4	0,13
	Abweichung in %	-60,0	-100,0	13,4	4,9	69,5
WG2000	mittlere Unkrautdichte	16,2	0,0	5,8	0,9	0,15
	Abweichung in %	65,7	-100,0	5,8	-63,0	95,9
KM2001	mittlere Unkrautdichte	0,6	11,5	1,9	2,4	0,0
	Abweichung in %	-93,6	87,6	-65,8	4,5	-100,0

Tab. 5.2 zeigt, dass in Feld 8 kein eindeutiger Einfluss der Fruchtart auf die Zusammensetzung und Höhe der Verunkrautung gefunden werden kann. *Viola arvensis* kann keiner der untersuchten Fruchtarten als typisches Unkraut zugeordnet werden (vgl. Anhangstab. 2, S.139) und schwankt in der Dichte jahresabhängig. Auffällig ist vor allem der starke Unterschied in den beiden Wintergetreidearten in den Jahren 1999 und 2000, aber auch in Körnermais in den Jahren 1997 und 2001, in denen die mittlere Verunkrautung von 7,4 auf 0,6 Pflanzen/m<sup>2</sup> abnimmt. Die Ergebnisse für *Chenopodium album* in Körnermais sind ähnlich: Während die Dichte im Jahr 1997 ungefähr im Bereich des fünfjährigen Mittels liegt, nimmt sie im Jahr 2001 auf den annähernd doppelten Wert zu. Dennoch lässt sich feststellen, dass *Chenopodium album* sich als typisches Unkraut der Reihenfrüchte etablieren konnte (vgl. Anhangstab. 2, S.139); in den beiden Wintergetreidearten wurde diese Unkrautart nicht kartiert.

Wie bereits erwähnt, ist ein Feldversuch wie er der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt kein probates Mittel, um die Wirkung der Fruchtart auf die Höhe der Verunkrautung zu klären. Um den Zusammenhang zwischen Fruchtart und Unkrautauftreten besser zu quantifizieren, wäre die Durchführung von Gefäßversuchen mit ceteris paribus-Bedingungen (Klima, Boden) oder die Auswertung von langfristigen Feldversuchen denkbar, da durch dieses Vorgehen der Einfluss der übrigen Faktoren über den langen Versuchszeitraum annähernd kompensiert würde.

Der Einfluss der Standorteigenschaften auf die Verunkrautung kann ansatzweise durch den Vergleich der Felder 4 und 8 beschrieben werden. Diese beiden Schläge wurden in den Jahren 1998-2000 jeweils mit den gleichen Fruchtarten bestellt, im Jahr 2001 wurden mit Sonnenblumen in Schlag 4 und Körnermais in Schlag 8 auf beiden Feldern Reihenfrüchte angebaut.

Tab. 5.3 Mittlere Dichte der dikotylen Leitunkräuter, der Ungräser und *Galium aparine* in **Feld 4** und **Feld 8** über den Versuchszeitraum sowie in den einzelnen Jahren (Pflanzen/m<sup>2</sup>) und deren prozentuale Abweichung von der mittleren Verunkrautung.

<b>Feld4</b>		Ungräser	CHEAL	MATSS	VIOAR	VERSS	GALAP
<b>mittlere Unkrautdichte 1998-2001</b>		<b>7,2</b>	<b>5,7</b>	<b>3,2</b>	<b>0,5</b>	<b>1,4</b>	<b>0,2</b>
ZR1998	mittlere Unkrautdichte	10,9	19,5	3,6	1,0	2,3	0,0
	Abweichung in %	52,5	241,3	12,0	83,5	63,6	-80,5
WW1999	mittlere Unkrautdichte	9,0	0,0	4,2	0,4	0,4	0,1
	Abweichung in %	26,0	-100,0	31,1	-29,0	-69,5	-66,6
WG2000	mittlere Unkrautdichte	7,4	0,0	5,0	0,6	2,9	0,5
	Abweichung in %	3,2	-100,0	56,9	20,3	105,9	174,6
SB2001	mittlere Unkrautdichte	1,3	3,4	0,0	0,1	0,0	0,1
	Abweichung in %	-81,8	-41,3	-100,0	-74,8	-100,0	-27,4

<b>Feld8</b>		Ungräser	CHEAL	MATSS	VIOAR	VERSS	GALAP
<b>mittlere Unkrautdichte 1998-2001</b>		<b>5,8</b>	<b>6,2</b>	<b>0,0</b>	<b>10,4</b>	<b>2,1</b>	<b>0,1</b>
ZR1998	mittlere Unkrautdichte	9,2	13,4	0,0	20,8	1,8	0,05
	Abweichung in %	58,9	114,8		100,2	-14,5	-35,2
WW1999	mittlere Unkrautdichte	6,2	0,0	0,0	3,9	3,6	0,13
	Abweichung in %	7,9	-100,0		-62,3	71,6	55,5
WG2000	mittlere Unkrautdichte	5,8	0,0	0,0	16,2	3,0	0,15
	Abweichung in %	0,6	-100,0		56,0	42,9	79,8
KM2001	mittlere Unkrautdichte	1,9	11,5	0,0	0,6	0,0	0,00
	Abweichung in %	-67,5	85,2		-93,9	-100,0	-100,0

Aus Tab. 5.3 geht hervor, dass der Standort einen erheblichen Einfluss auf die Zusammensetzung der Unkrautpopulationen haben kann. Obwohl die beiden untersuchten Felder zum gleichen Betrieb gehören und sowohl in Topographie als auch in den Bodeneigenschaften (Bodenzahl, Bodentyp) sehr ähnlich sind, zeigten sich Unterschiede in der Verunkrautung. Während die Ungräser, *Chenopodium album*, *Veronica*-Arten und *Galium aparine* in beiden Schlägen in vergleichbarer Dichte vorkamen, zeigten sich für andere Unkräuter größere Unterschiede: *Matricaria*-Arten, die auf Feld 4 in höherer Dichte gezählt wurden, wurden in Feld 8 nicht gefunden. Andererseits war *Viola arvensis* in Feld 8 Hauptbestandbildner, in Feld 4 hingegen kam diese Art nur in geringer Anzahl vor. Dieses Ergebnis bestätigt den Einfluss verschiedener Standorte auf die Zusammensetzung der Unkrautpopulationen in gleichen Jahren und Fruchtarten.

ten, wenngleich aufgrund der vorliegenden Informationen keine Erklärung für diese Beobachtung gefunden werden konnte.

Ein weiterer wesentlicher Faktor für die Stärke und Zusammensetzung der Unkräuter ist das Anbaujahr. Die Einflussstärke des Anbaujahres mit verschiedenen Klimaverhältnissen zu bestimmen war in der Maismonokultur ansatzweise möglich, da in diesem Schlag (Feld GH) sowohl der Einfluss der Fruchtart als auch der des Feldes konstant war.

Tab. 5.4 Mittlere Dichte der dikotylen Leitunkräuter und der Ungräser in der Maismonokultur (**Feld GH**) über den Versuchszeitraum sowie in den einzelnen Jahren (Pflanzen/m<sup>2</sup>) und deren prozentuale Abweichung von der mittleren Verunkrautung.

		Ungräser	CHEAL	GASPA	SOLNI
<b>mittlere Unkrautdichte 1999-2001</b>		<b>83,6</b>	<b>76,9</b>	<b>50,3</b>	<b>42,3</b>
1999	mittlere Unkrautdichte	25,3	93,1	61,5	36,8
	Abweichung in %	-69,7	21,1	22,5	-12,9
2000	mittlere Unkrautdichte	32,9	94,5	34,9	23,2
	Abweichung in %	-60,6	23,0	-30,5	-45,2
2001	mittlere Unkrautdichte	192,5	43,0	54,3	66,8
	Abweichung in %	130,3	-44,0	8,0	58,1

Der Einfluss des Anbaujahres lässt sich in Tab. 5.4 am besten an der Veränderung der Dichte der Ungräser ablesen: im Jahr 2001 stieg die Dichte der monokotylen Unkräuter (vorwiegend Hirsen) im Vergleich zu den Vorjahren sprunghaft auf den ungefähr sechsfachen Wert der Vorjahre an. Mögliche Ursache waren die höheren Temperaturen und die Trockenheit im Frühling des Jahres und den damit besseren Wachstumsbedingungen für die Hirsen als C4-Pflanzen im Vergleich zu den übrigen Unkräutern. Die Dichte von *Chenopodium album* nahm im Jahr 2001 ab, möglicherweise infolge der Verdrängung durch die Hirsen.

Auch wenn sich die Einflussstärke der Fruchtart auf die Zusammensetzung der Unkrautpopulationen aufgrund der genannten Schwierigkeiten nur schwer quantifizieren lässt, bleibt auf jeden Fall festzuhalten, dass das Vorkommen einzelner Unkrautarten auf den untersuchten Schlägen von der angebauten Feldfrucht abhängig ist (Kap.5.1). Die Höhe der Verunkrautung wird jedoch auch von den jeweiligen Standort- und Klimafaktoren beeinflusst.

### 5.1.2 Räumliche und zeitliche Verteilung einzelner Unkrautarten in den Versuchsfeldern

Aus der mittleren Unkrautdichte kann nicht auf die tatsächlich teilflächenspezifisch applizierte Herbizidmenge geschlossen werden. Zu diesem Zweck war es nötig, die räumliche Verteilung der Unkräuter bzw. der Unkrautgruppen (monokotyle -, dikotyle Unkräuter, *Galium aparine*) zu betrachten.

TIMMERMANN et al. (2003) haben anhand der Verteilungskarten der verschiedenen Unkräuter bereits die Einsparpotenziale der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation (auf den selben Versuchsfeldern) in den einzelnen Jahren aufgezeigt. Ebenso konnte er in einigen Fällen Gründe für die räumliche Variabilität von Unkrautpopulationen innerhalb eines Feldes und Jahres Jahr darlegen.

Im Folgenden soll die räumliche und zeitliche Entwicklung einzelner Unkrautarten bzw. -gruppen über den Versuchszeitraum exemplarisch dargestellt werden.

Wie bereits erwähnt, zeigte sich *Chenopodium album* in **Feld 4** (Abb. 5.7, S.47) als typisches Unkraut der Hackfrüchte. Auffällig war die Zweiteilung dieses Schlages in einen stärker und weniger stark verunkrauteten Bereich. Gründe hierfür lagen in der Bewirtschaftungshistorie. In dem nördlichen Bereich des Feldes, in dem sich CHEAL besser etablieren konnte, wurde vor über zehn Jahren eine stärker hackfruchtbetonte Felderfolge Zuckerrüben – Winterweizen – Körnermais – Körnermais angebaut. In der anderen Hälfte des Feldes hingegen war die Rotation mit Zuckerrüben, Kartoffeln, Winterweizen und Sommergerste stärker halmfruchtbetont. In der Felderfolge mit Körnermais und Zuckerrüben konnte sich *Chenopodium album* besser etablieren und es ist anzunehmen, dass bereits zu der Zeit ein höheres Samenpotenzial im Boden aufgebaut wurde. Zusätzlich findet das Unkraut bis heute aufgrund des höheren Humusgehaltes in der nördlichen Hälfte bessere Wachstumsbedingungen vor (näheres hierzu bei TIMMERMANN et al. 2002).

Während in allen vier Versuchsjahren in **Feld 6** (Abb. 5.8, S.48) eine kleinere Gräserpopulation in stark unterschiedlichen Dichten ortsstabil im Feld zu erkennen ist (vgl. Markierung), erstreckt sich in den Jahren 1999 und 2001 eine Ungraspopulation an ähnlicher Position vom westlichen und südlichen Feldrand bis zur Mitte des Feldes.

Als einziges der Versuchsfelder zeigte **Feld 6** (Abb. 5.9, S.49) höhere *Galium aparine*-Verunkrautungen in allen vier Versuchsjahren. Eine ausgeprägte Nesterbildung ließ sich bei diesem Unkraut nicht beobachten, wengleich in allen vier Jahren Bereiche mit konstant stärkerer Verunkrautung ebenso zu erkennen waren wie Feldbereiche in denen sich das Unkraut in keinem der Versuchsjahre etablieren konnte.

Abb. 5.10 (S.50) zeigt die Verteilungskarten von Ungräsern (überwiegend *Alopecurus myosuroides*) unmittelbar vor der ersten Herbizidapplikation in **Feld 8** in den Jahren 1997 – 2001. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich in allen fünf Jahren ein Ungrasstreifen von Nordwest- in Südostrichtung über die gesamte Feldlänge erstreckte. In der Verteilungskarte aus dem Jahr 2001 war die Verunkrautung deutlich schwächer und die Unkrautnester waren weniger stark ausgeprägt als in den Vorjahren. Dies war darauf zurückzuführen, dass aufgrund der späten Aussaat von Körnermais (08.05.01) die Verunkrautung später als in den Vorjahren kartiert wurde. Die nach der Grundbodenbearbeitung im Winter bereits im Frühjahr aufgelaufenen Ungräser wurden durch Bodenbearbeitung mit dem Grubber am 02.05.01 mechanisch beseitigt. Nach diesem Termin keimten wegen der höheren Temperaturen nur wenige Ungräser.

*Viola arvensis* zeigte in den Jahren 1997-2000 eine starke Aggregierung im südwestlichen Teil des Feldes (Abb. 5.11, S.51), im Jahr 2001 trat es nur in Spuren auf.

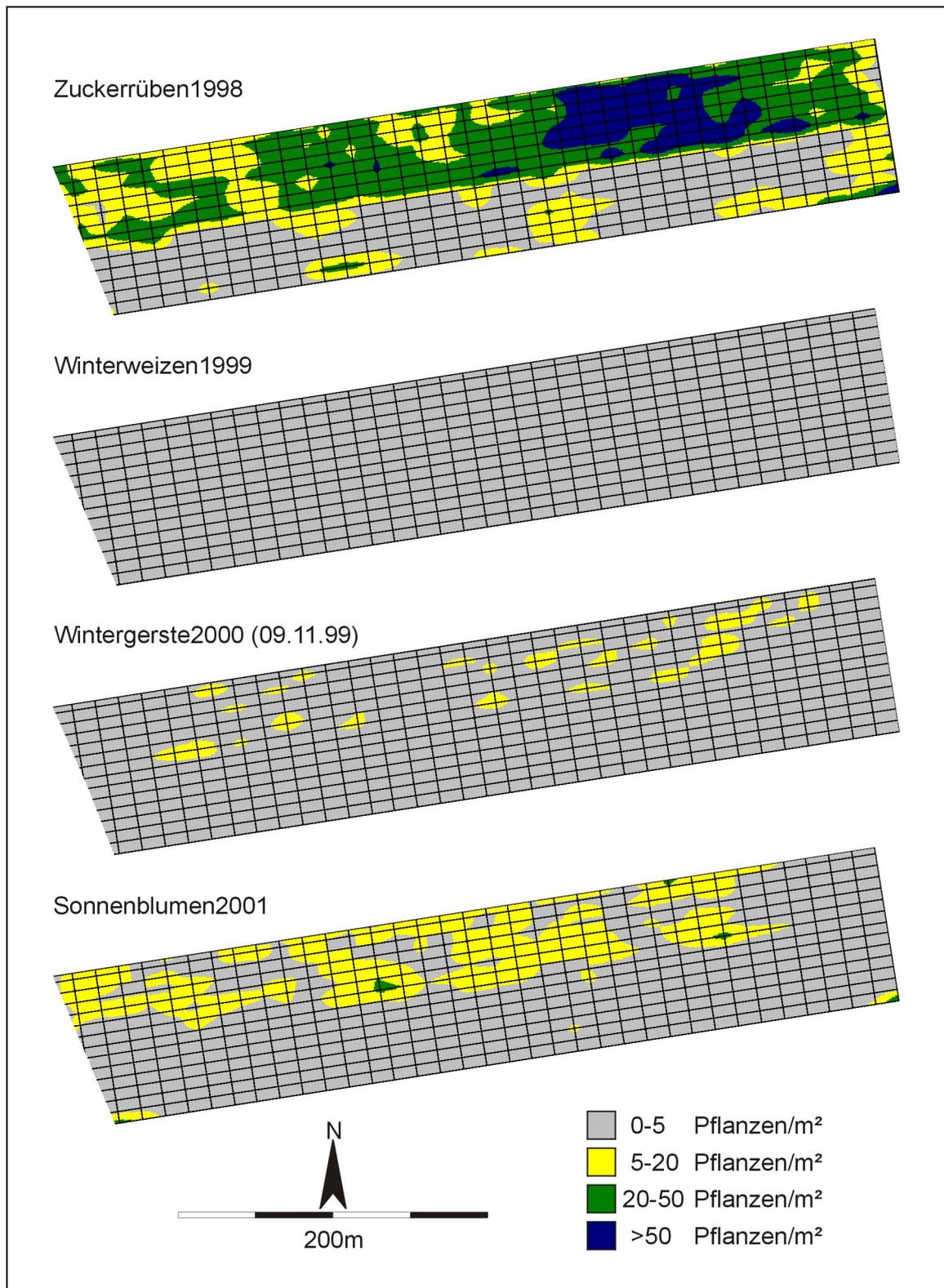


Abb. 5.7 Verteilung von *Chenopodium album* in **Feld 4** in den Jahren 1998–2001. (Die Daten, die der Karte aus dem Anbaujahr 1999/2000 zugrunde liegen, wurden bereits im Herbst erhoben; unmittelbar vor der Unkrautkontrollmaßnahme im Frühjahr wurden keine Unkräuter dieser Art gezählt.)

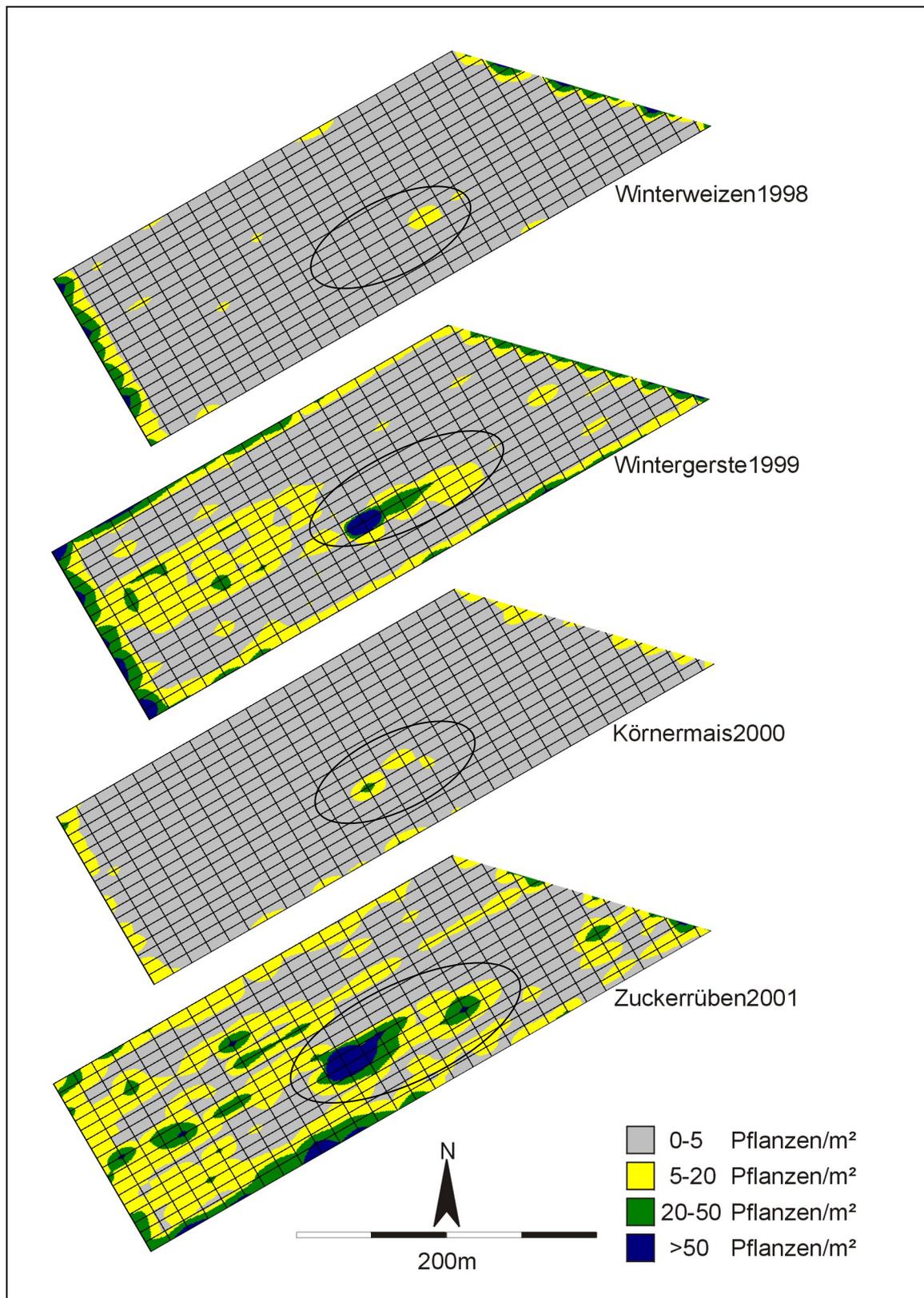


Abb. 5.8 Verteilung der Ungräser (überwiegend ALOMY und POAAN) in **Feld 6** in den Jahren 1998–2001.

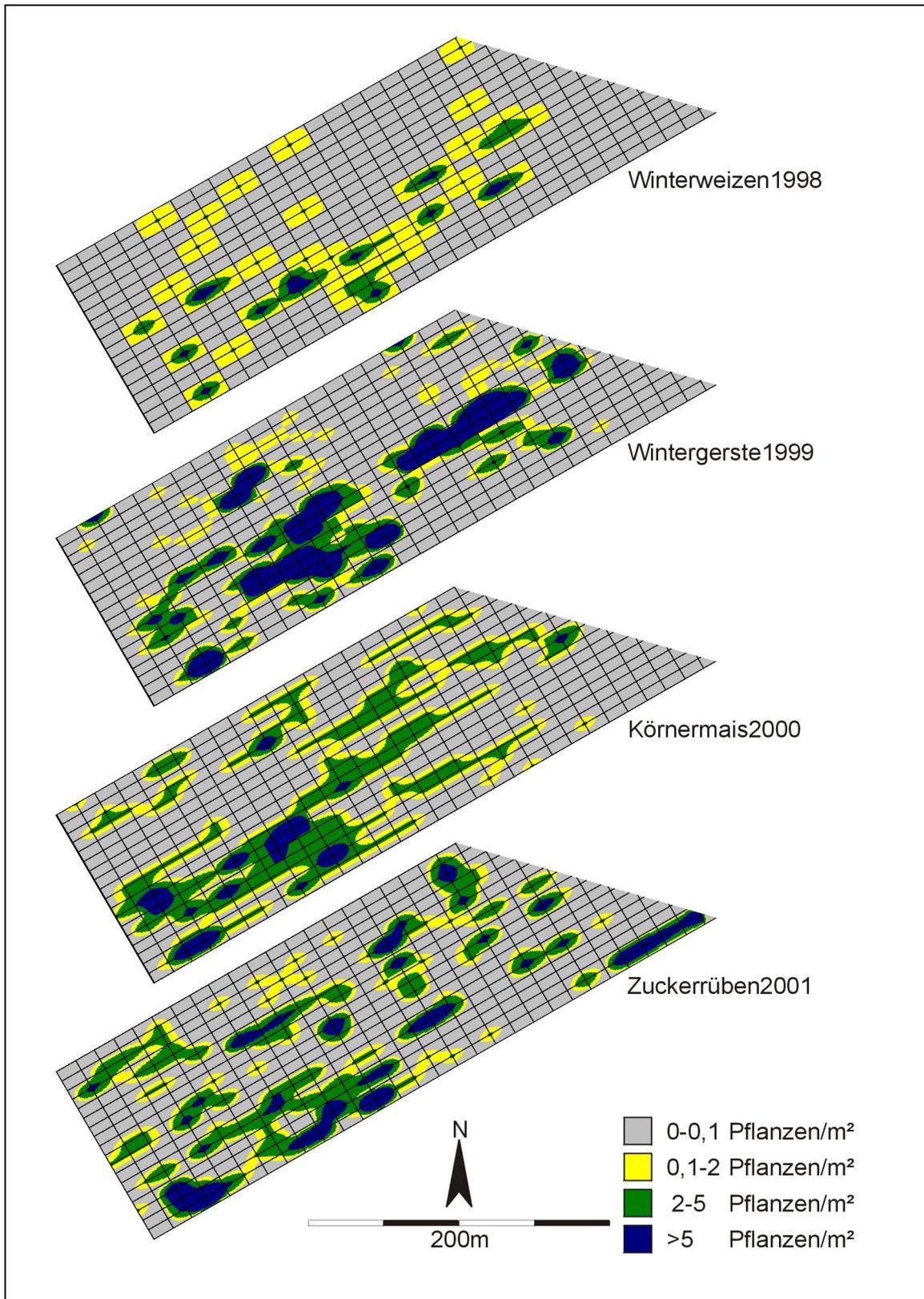


Abb. 5.9 Verteilung von *Galium aparine* in **Feld 6** in den Jahren 1998–2001.

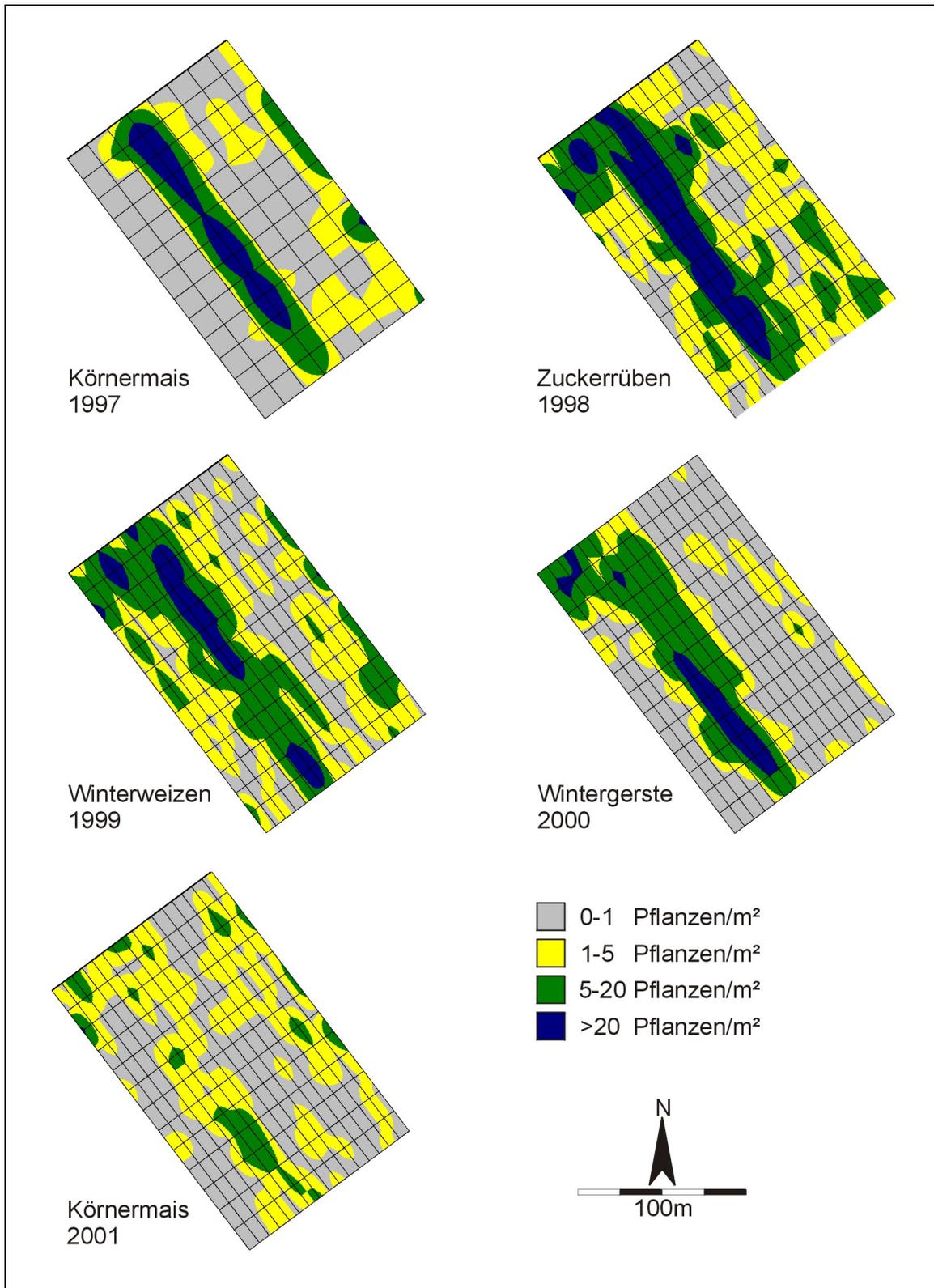


Abb. 5.10 Verteilung der Ungräser (überwiegend ALOMY) in **Feld 8** in den Jahren 1997-2001.

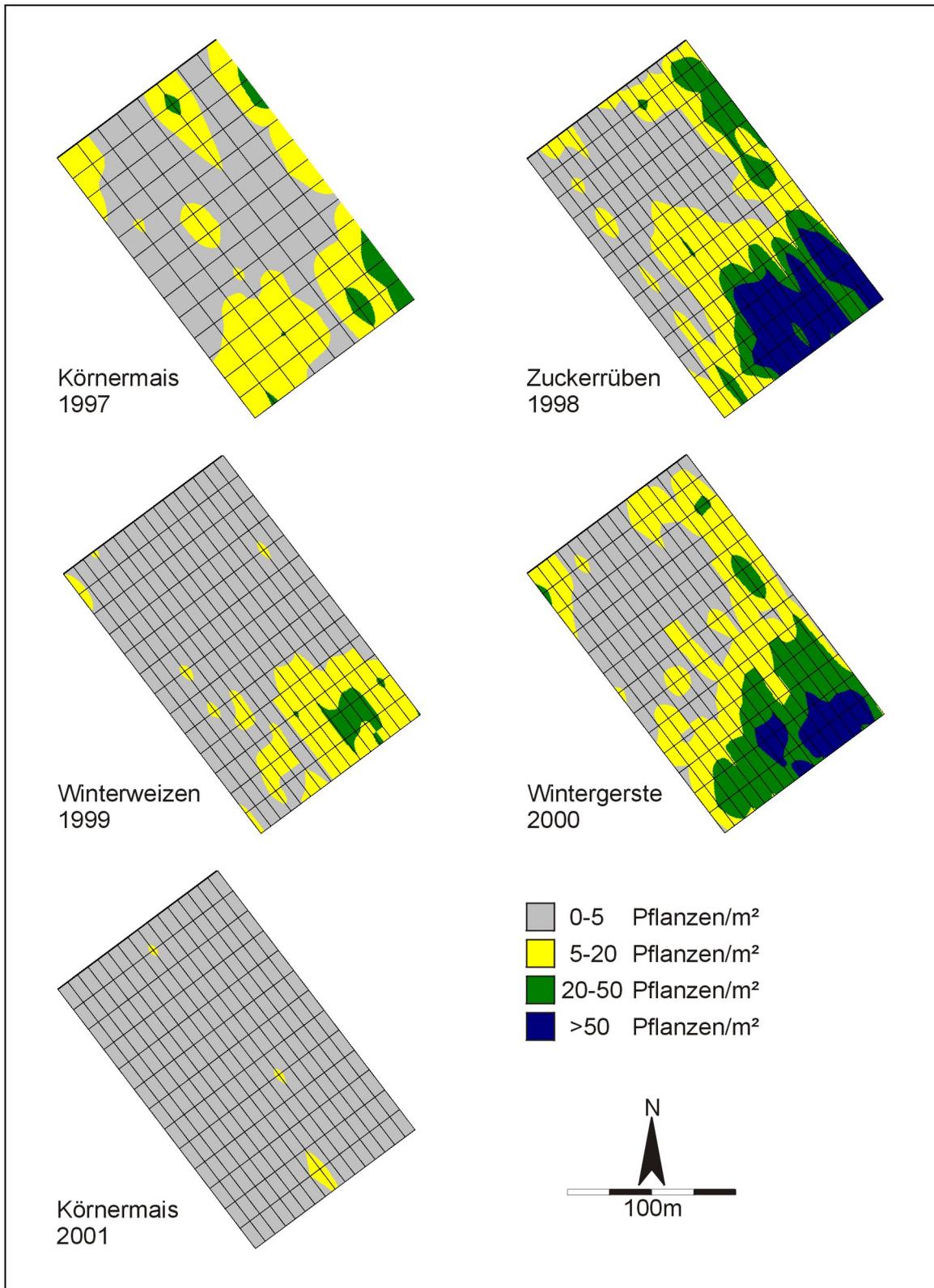


Abb. 5.11 Verteilung von *Viola arvensis* in **Feld 8** in den Jahren 1997-2001.

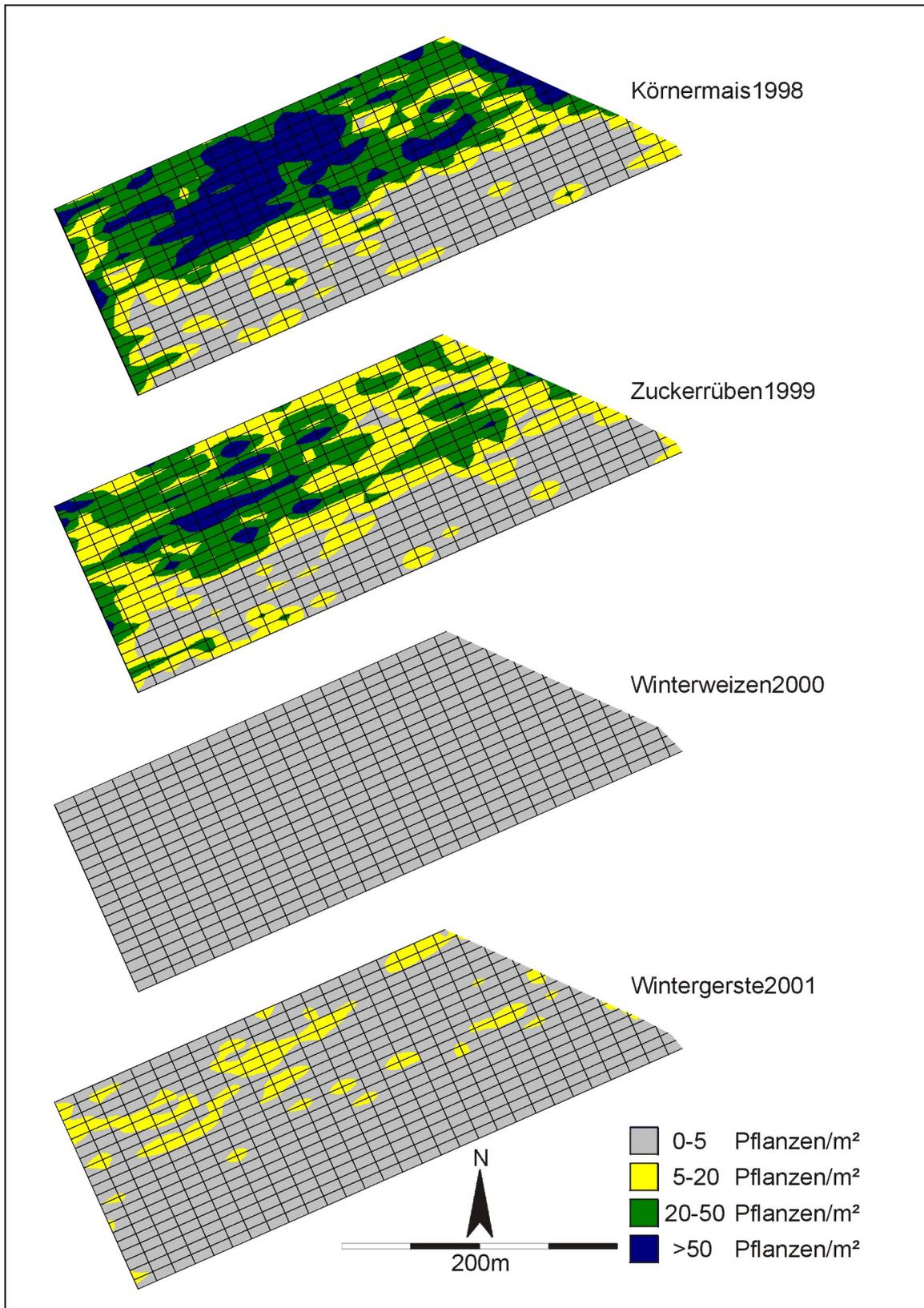


Abb. 5.12 Verteilung von *Chenopodium album* in **Feld 9** in den Jahren 1998-2001.

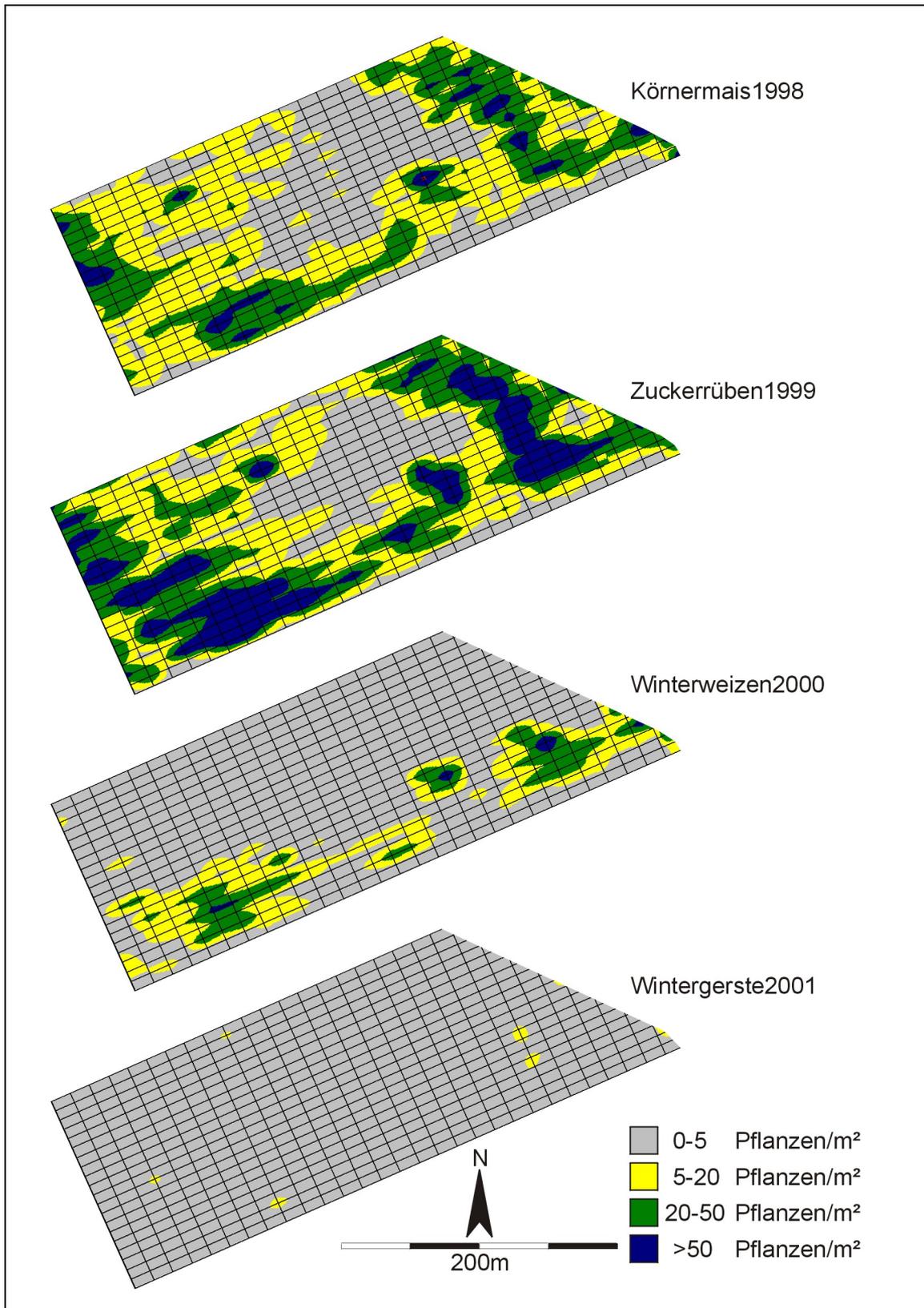


Abb. 5.13 Verteilung von *Polygonum aviculare* in **Feld 9** in den Jahren 1998-2001.

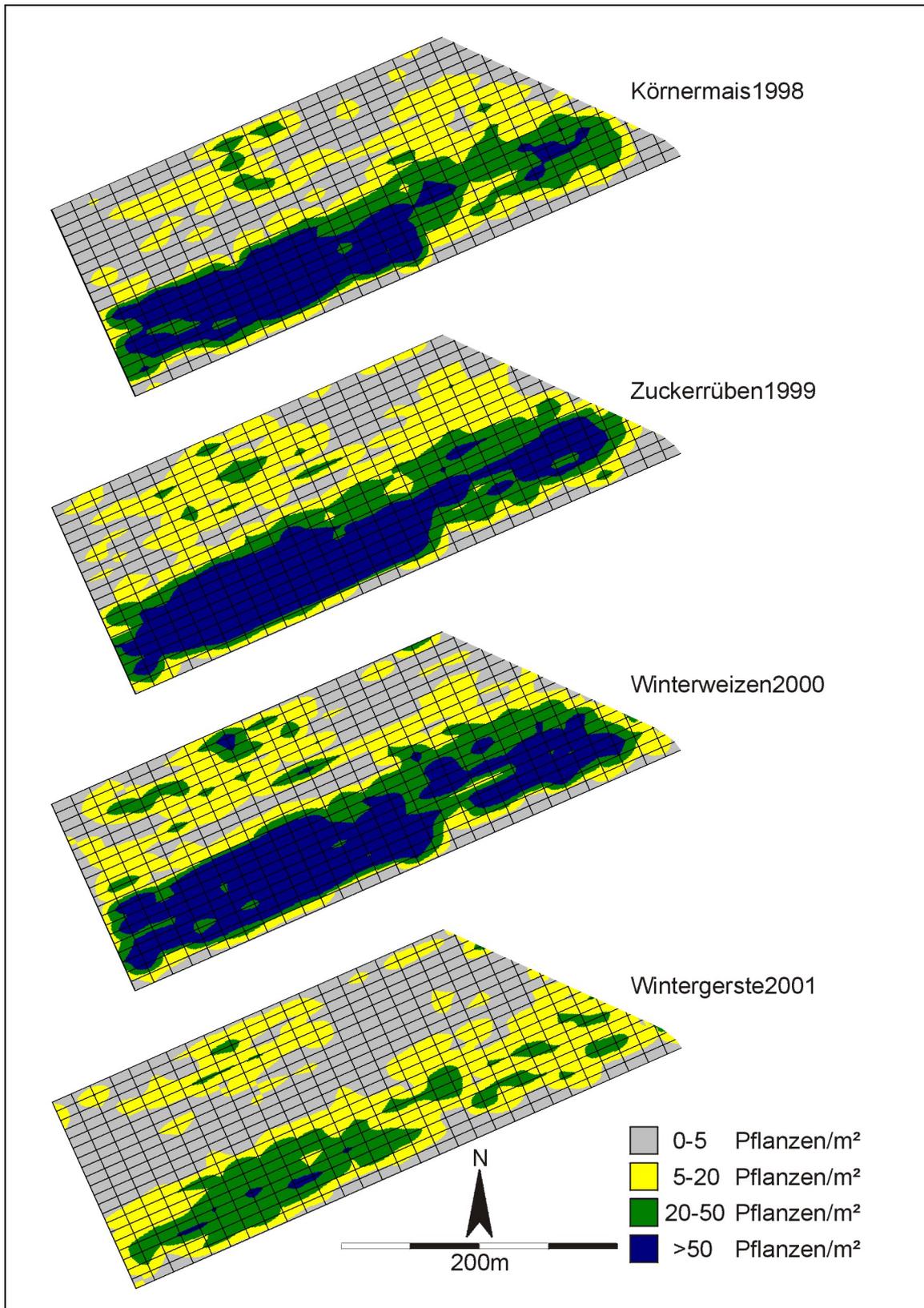


Abb. 5.14 Verteilung von *Viola arvensis* in **Feld 9** in den Jahren 1998-2001.

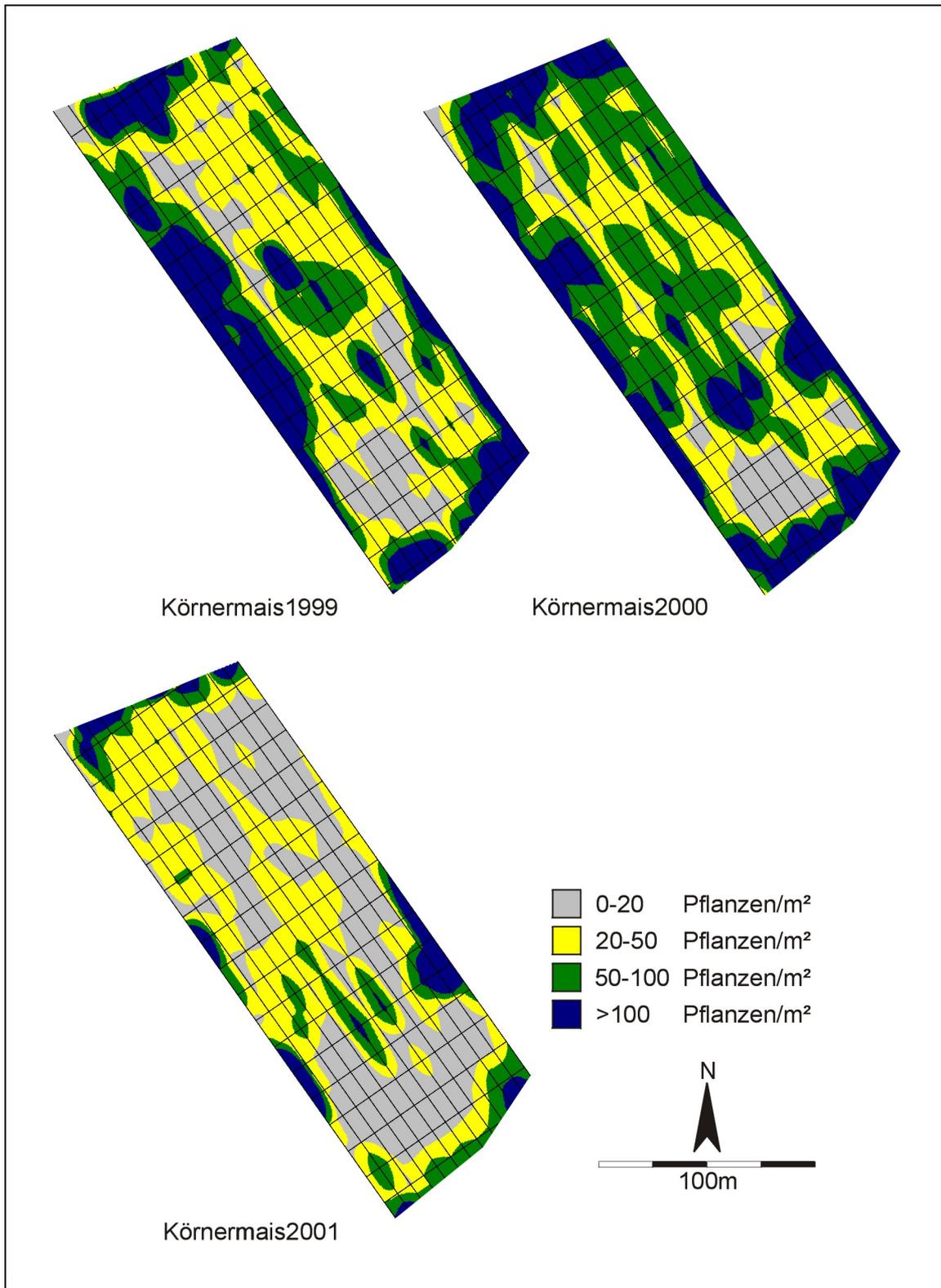


Abb. 5.15 Verteilung von *Chenopodium album* in **Feld GH** in den Jahren 1999-2001.

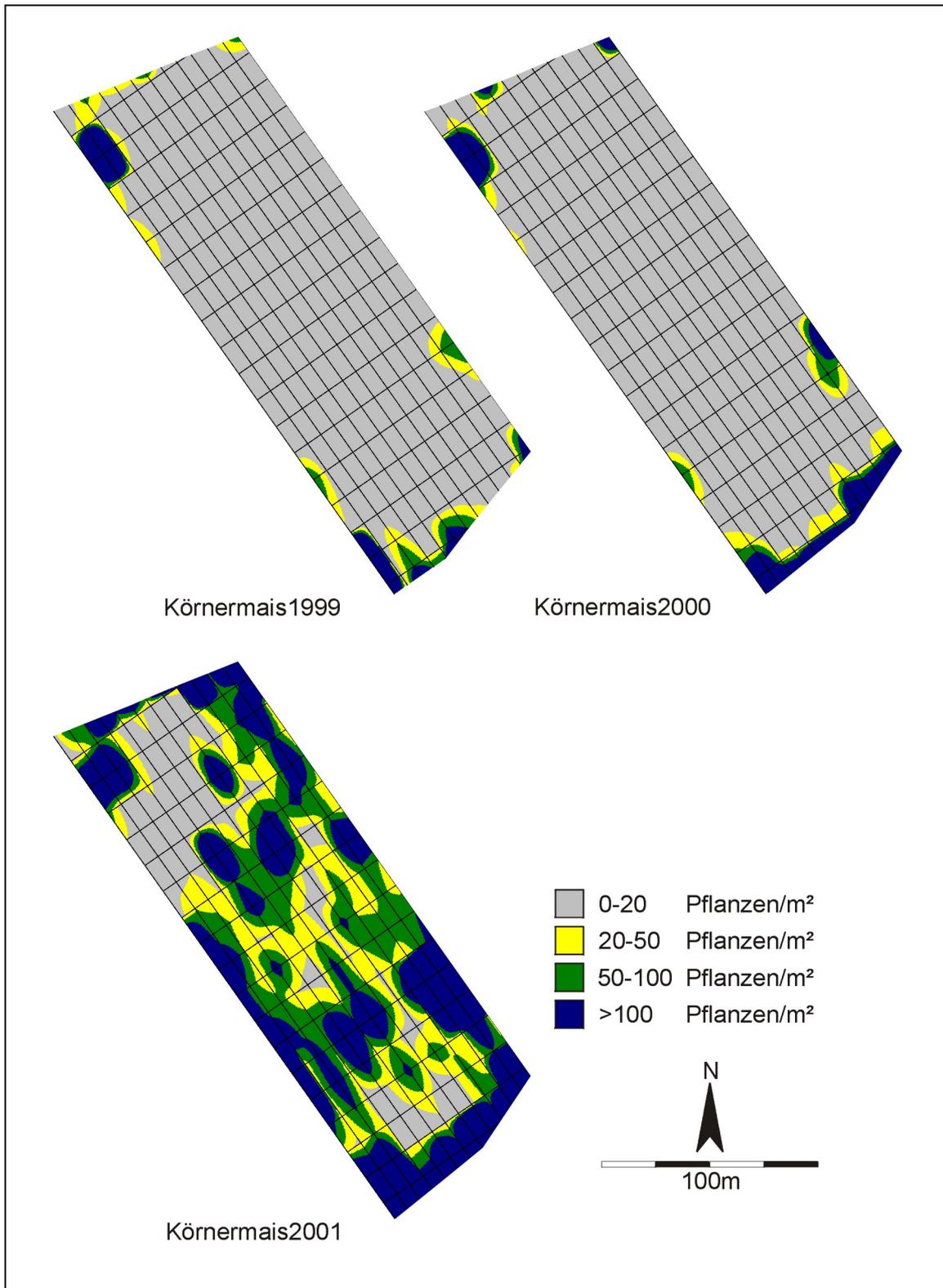


Abb. 5.16 Verteilung der Hirse-Arten (überwiegend ECHCG) in **Feld GH** in den Jahren 1999-2001.

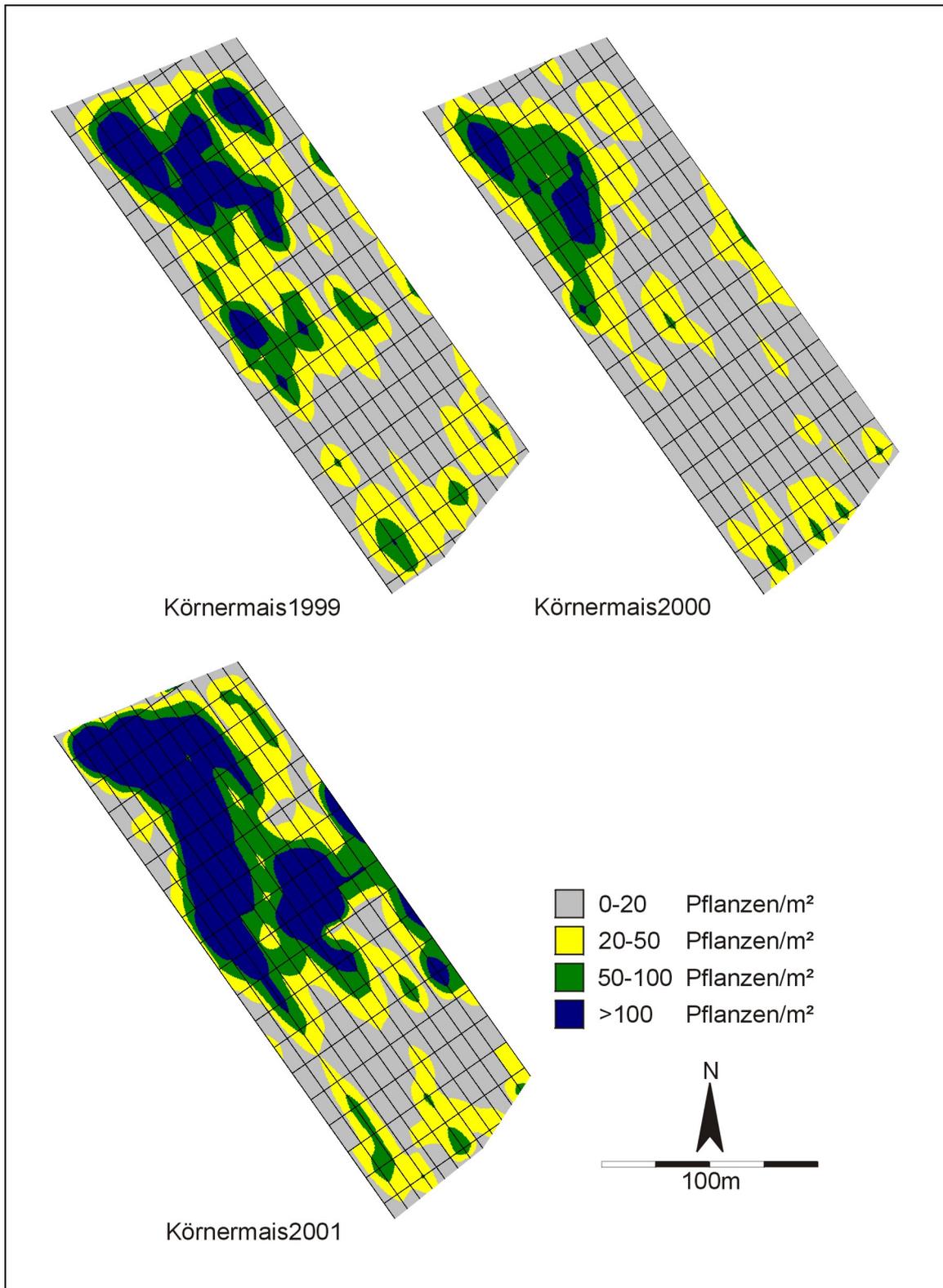


Abb. 5.17 Verteilung von *Solanum nigrum* in **Feld GH** in den Jahren 1999-2001.

Die Abb. 5.12 bis Abb. 5.14 zeigen die Verteilungskarten von *Chenopodium album*, *Polygonum aviculare* sowie *Viola arvensis* in **Schlag 9**. CHEAL konnte sich vor allem in den Hackfrüchten etablieren und wurde in Winterweizen 2000 nicht kartiert. Das Unkraut trat in drei der vier untersuchten Jahre in unterschiedlichen Dichten in der nördlichen Hälfte des Schlages auf; im Gegensatz dazu konnte sich *Viola arvensis* in allen vier Jahren in der südlichen Hälfte des Schlages besser etablieren. Analog zu Schlag 4 fanden TIMMERMANN et al. (2002) auch hier Gründe für diese Beobachtungen in der Bewirtschaftungshistorie. Für *Polygonum aviculare* waren für den gesamten Beobachtungszeitraum keine klaren Verteilungsmuster der Populationen erkennbar: in Körnermais 1998 und Zuckerrüben 1999 war in der Feldmitte ein größerer weitgehend unkrautfreier Bereich auszumachen, in Winterweizen 2000 fand sich die größte Dichte in der südlichen Hälfte und im Folgejahr trat diese Unkrautart nur noch in Spuren auf.

In **Feld GH**, das in der Monokultur bewirtschaftet wurde, waren vor allem für *Chenopodium album* (Abb. 5.15) und die Hirse-Arten (Abb. 5.16) auffällige Unterschiede zwischen den Verteilungsmustern der Unkrautpopulationen der Jahre 1999 und 2000 auf der einen Seite und dem Jahr 2001 auf der anderen Seite zu beobachten. Die monokotylen Unkräuter waren in den ersten beiden Jahren in hoher Dichte nur in einzelnen Randbereichen zu erkennen, im folgenden Jahr erstreckte sich die Verunkrautung hingegen über den größten Teil des Feldes, nur ein geringer Bereich des Schlages im nördlichen Teil war unkrautfrei. Für *Chenopodium album* indes zeigte sich ein entgegengesetztes Bild: während dieses Unkraut in den ersten beiden Jahren in weiten Teilen des Feldes in großer Dichte aufgelaufen war, nahm die Verunkrautung im Jahr 2001 sehr stark ab. Die Abnahme von *Chenopodium album* war, wie bereits oben erwähnt, vermutlich auf eine Verdrängung durch die Hirsen zurückzuführen. Weiterhin konnte sich *Solanum nigrum* 2001 in dem Bereich des Feldes am stärksten etablieren, in dem sowohl CHEAL als auch die Hirsen in geringerer Dichte auftraten (Abb. 5.17). In den beiden Jahren zuvor fand sich *Solanum nigrum* im gleichen Bereich des Feldes in niedrigerer Dichte und konnte als annähernd ortsstabil angesehen werden.

## 5.2 Die Verunkrautung nach der Unkrautkontrolle und Bekämpfungserfolg (Feldversuche)

Der Erfolg der Unkrautkontrollmaßnahmen im Gesamtfeld in den einzelnen Unkrautgruppen und Fruchtarten variierte sehr stark (Abb. 5.18 und Tab. 5.5).

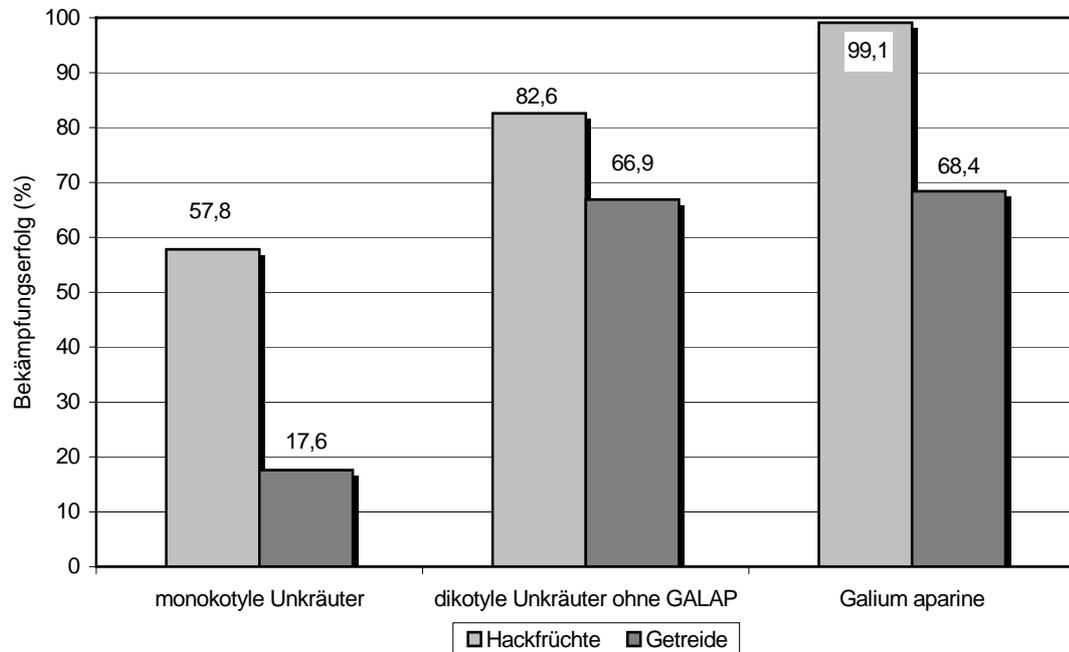


Abb. 5.18 Durchschnittlicher Bekämpfungserfolg in den untersuchten Unkrautgruppen in Hackfrüchten und Getreide aller Felder über den gesamten Versuchszeitraum 1997-2001.

Vor allem in den Hackfrüchten Körnermais und Zuckerrüben fanden sich bei den dikotylen Unkräutern hohe durchschnittliche Werte (82,6% bzw. 99,1%) für die Reduktion der Unkrautpopulationen vom Zeitpunkt unmittelbar vor der Herbizidapplikation bis nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen (Abb. 5.18). Die Ungräser in den Hackfrüchten konnten durchschnittlich nur um 57,8% verringert werden.

In Feld 9 im Jahr 1998 blieb die Dichte der Ungräser annähernd konstant (Reduktion von 0,2%), in Feld GH konnte im Jahr 2001 die Dichte der zweikeimblättrigen Unkräuter nur um 9,3% reduziert werden. In zwei Fällen (Feld 8 im Jahr 2001 sowie Feld GH im Jahr 2001) stieg die Zahl der monokotylen Unkräuter vom ersten zum zweiten Termin um 41,3% bzw. 7,8% an (Tab. 5.5).

Ein anderes Bild zeigte sich in den beiden Wintergetreidearten: in einigen Feldern konnte die Ausgangsverunkrautung um mehr als 80% reduziert werden, im allgemeinen lag die Erfolgsrate der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle aber niedriger als in den Hackfrüchten (Abb. 5.18). In zwei Fällen (Winterweizen Feld 4 und Feld 6) war die Ungrasdichte nach der Herbizidapplikation höher als zuvor. In drei anderen Fällen

konnte die Unkrautdichte nur um wenige Prozent gesenkt werden (Winterweizen Feld 4 gegen *Galium aparine*, Wintergerste Feld 4 und Winterweizen Feld 8 gegen Monokotyle) (Tab. 5.5). Trotz der überwiegend bedeutend höheren Ausgangsverunkrautung in der Gruppe der dikotylen Unkräuter in den Hackfrüchten, konnte in den meisten Fällen die Unkrautdichte vom ersten bis zum zweiten Termin aufgrund der höheren Bekämpfungserfolge stärker reduziert werden als in Getreide. Ausnahmen bildeten 12,7 Pflanzen/m<sup>2</sup> in Zuckerrüben im Jahr 1999 in Feld 9 trotz 84,5% Reduktion sowie v.a. 154,4 Pflanzen/m<sup>2</sup> bei lediglich 9,3% Bekämpfungserfolg nach Abschluss der Kontrollmaßnahme in der Monokultur im Jahr 2001 - letzteres allerdings ohne zusätzliche Unkrauthacke (Tab. 5.5). Eine mögliche Ursache für die höheren Bekämpfungserfolge in den Reihenfrüchten liegt in der üblicherweise zusätzlich durchgeführten ganzflächigen mechanischen Unkrautkontrolle, die in Körnermais und Zuckerrüben durchgeführt wurde und den Effekt der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation möglicherweise überlagert. Darüber hinaus waren die mit Herbiziden behandelten Flächenanteile in den Reihenfrüchte höher als in Getreide, so dass höhere Reduktionsraten zu erwarten waren (vgl. Kap. 5.3).

Ähnlich wie bei der Gruppe der zweikeimblättrigen Unkräuter war die Ungrasdichte in den Hackfrüchten nach Abschluss der Unkrautkontrolle im Durchschnitt geringer als in den Getreidearten.

Bei allen Fruchtarten ist zu berücksichtigen, dass bei niedriger Ausgangsverunkrautung bereits eine geringe Ab- oder Zunahme einen stärkeren Einfluss auf die prozentuale Veränderung der Unkrautdichte hat als bei höheren Verunkrautungen.

Eine Auflistung des Bekämpfungserfolges der einzelnen Unkrautarten in allen Fruchtarten und Jahren befindet sich im Anhang (Anhangstab. 19 - Anhangstab. 23, S.156ff.)

Neben der Höhe des Bekämpfungserfolges in den einzelnen Jahren ist vor allem die Höhe der Unkrautdichte zu Beginn der nächsten Vegetationsperiode ein Maß zur Beurteilung des Erfolges der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle. Wie in Kap. 5.1.1 (S.35ff.) erwähnt, zeigt sich bei gleichen Leitunkräutern sowie bei den Ungräsern eine leicht abnehmende Tendenz der Verunkrautung und damit ein Erfolg der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation.

Tab. 5.5 Veränderung der Dichte der drei Unkrautgruppen „monokotyle Unkräuter“, „dikotyle Unkräuter ohne *Galium aparine*“ und „*Galium aparine*“ vom Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn (Termin1) bis zum Abschluss der Kontrollmaßnahmen (Termin2) in den einzelnen Feldern.

		1997	1998	1999	2000	2001	
<b>Feld 4</b>			<b>ZR</b>	<b>WW</b>	<b>WG</b>	<b>SB</b>	
MONOKO	Termin1		10,9	9,0	7,4	1,3	
	Termin2		2,2	11,1	7,0	n.a.	
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-80,1</b>	<b>22,4</b>	<b>-4,8</b>		
	behandelte Fläche		0%	4%	3%	100% (VAK)	
DIKO ohne GALAP	Termin1		31,7	7,4	10,1	4,7	
	Termin2		4,0	5,9	4,3	n.a.	
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-87,5</b>	<b>-20,1</b>	<b>-56,9</b>		
	behandelte Fläche		86%	12%	16%	100% (VAK)	
GALAP	Termin1		0,03	0,055	0,45	0,12	
	Termin2		0,00	0,050	0,14	n.a.	
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-100,0</b>	<b>-8,3</b>	<b>-69,4</b>		
	behandelte Fläche		86%	12%	16%	100% (VAK)	
	mech. UKK		ja	nein	nein	ja	
<b>Feld 6</b>			<b>WW</b>	<b>WG</b>	<b>KM</b>	<b>ZR</b>	
MONOKO	Termin1		3,3	12,2	1,4	10,9	
	Termin2		5,3	6,8	0,3	0,9	
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>60,0</b>	<b>-43,9</b>	<b>-80,1</b>	<b>-91,8</b>	
	behandelte Fläche		0%	13%	10%	28%	
DIKO ohne GALAP	Termin1		12,5	11,0	9,1	16,0	
	Termin2		3,8	1,9	0,7	1,9	
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-69,6</b>	<b>-83,1</b>	<b>-92,4</b>	<b>-88,1</b>	
	behandelte Fläche		29%	59%	90%	100%	
GALAP	Termin1		0,37	2,54	1,15	1,39	
	Termin2		0,05	0,04	0,00	0,02	
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-85,5</b>	<b>-98,4</b>	<b>-100,0</b>	<b>-98,6</b>	
	behandelte Fläche		29%	59%	90%	100%	
	mech. UKK		nein	nein	ja	nein	
<b>Feld 8</b>		<b>KM</b>	<b>ZR</b>	<b>WW</b>	<b>WG</b>	<b>KM</b>	
MONOKO	Termin1		4,4	9,2	6,2	5,8	1,9
	Termin2		0,7	1,5	5,9	2,6	2,7
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-85,4</b>	<b>-83,9</b>	<b>-5,6</b>	<b>-55,4</b>	<b>41,3</b>
	behandelte Fläche		35%	100%	8%	9%	88%
DIKO ohne GALAP	Termin1		21,0	40,9	12,6	22,0	18,2
	Termin2		4,4	3,4	6,9	2,5	1,8
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-79,1</b>	<b>-91,7</b>	<b>-45,2</b>	<b>-88,8</b>	<b>-90,2</b>
	behandelte Fläche		100%	100%	31%	50%	96%
GALAP	Termin1		0,05	0,05	0,13	0,15	0,00
	Termin2		n.a.	0,00	0,03	0,07	0,00
	<b>Veränderung(%)</b>			<b>-100,0</b>	<b>-75,0</b>	<b>-49,5</b>	
	behandelte Fläche		100%	100%	31%	50%	96%
	mech. UKK		ja	ja	nein	nein	ja

		1997	1998	1999	2000	2001
<b>Feld 9</b>			<b>KM</b>	<b>ZR</b>	<b>WW</b>	<b>WG</b>
MONOKO	Termin1		2,05	49,9	9,0	9,1
	Termin2		2,04	0,9	6,0	1,7
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-0,2</b>	<b>-98,2</b>	<b>-32,6</b>	<b>-81,0</b>
	behandelte Fläche		2%	64%	35%	64%
DIKO ohne GALAP	Termin1		66,9	81,8	45,3	17,8
	Termin2		1,3	12,7	2,2	4,2
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-98,0</b>	<b>-84,5</b>	<b>-95,3</b>	<b>-76,1</b>
	behandelte Fläche		95%	100%	80%	46%
GALAP	Termin1		0,30	0,01	0,15	0,04
	Termin2		0,01	n.a.	0,01	0,01
	<b>Veränderung(%)</b>		<b>-97,0</b>		<b>-94,1</b>	<b>-66,7</b>
	behandelte Fläche		95%	100%	80%	46%
mech. UKK			ja	ja	nein	nein
<b>Feld GH</b>			<b>KM</b>	<b>KM</b>	<b>KM</b>	<b>KM</b>
MONOKO	Termin1			25,3	32,9	192,5
	Termin2			4,1	5,7	209,3
	<b>Veränderung(%)</b>			<b>-83,7</b>	<b>-82,6</b>	<b>8,7</b>
	behandelte Fläche			45%	25%	97%
DIKO ohne GALAP	Termin1			200,1	157,9	168,9
	Termin2			18,2	5,4	154,4
	<b>Veränderung(%)</b>			<b>-91,0</b>	<b>-96,6</b>	<b>-9,3</b>
	behandelte Fläche			100%	100%	100%
mech. UKK				ja	nein	nein

### 5.3 Einfluss des Anteils der mit Herbiziden behandelten Fläche auf den Erfolg der Unkrautkontrolle

Aufgrund der niedrigeren Schadensschwellen waren in den Hackfrüchten die Anteile der mit Herbiziden teilschlagspezifisch behandelten Flächen (Tab. 5.5) fast durchweg höher als in den Getreidefeldern – mithin konnten hier auch höhere Erfolge durch die Herbizidkontrollmaßnahmen erwartet werden.

Vor allem die Herbizide gegen dikotyle Unkräuter wurden in Körnermais und Zuckerrüben auf größeren Flächenanteilen des Gesamtfeldes appliziert. In einigen Feldern und Jahren war aufgrund der Verunkrautungssituation nur eine in der Wirkstoffdosis variierende teilflächenspezifische Ausbringung möglich, d.h., die Felder wurden mit verschiedenen Aufwandmengen komplett behandelt. Der größte Flächenanteil, der während des Versuchszeitraumes in Hackfrüchten unbehandelt blieb, waren 14% im Jahr 1998 in Feld 4 in Zuckerrüben.

Dagegen lagen die Anteile der mit Herbiziden gegen zweikeimblättrige Unkräuter behandelten Flächen in Getreide in einem weiten Bereich zwischen 12% (Feld 4: WW in 1999) und 80% (Feld 9: WW in 2000). Eine ganzflächige Nachauflaufkontrolle gegen

dikotyle Unkräuter in Getreide musste während des gesamten Versuchszeitraum nicht durchgeführt werden.

Die mit Gräserherbiziden behandelten Flächenanteile variierten im gesamten Versuchszeitraum sehr stark. Analog zu den o.g. Werten waren die Anteile in Körnermais und Zuckerrüben höher als in Winterweizen und Wintergerste. In den Hackfrüchten lagen die Werte zwischen 0% behandelter Fläche in Zuckerrüben in Feld 4 in 1998 und komplett behandelt (100%) ebenfalls in Zuckerrüben in Feld 8. In Getreide wurden in Feld 6 im Jahr 1998 (Winterweizen) keine Herbizide gegen Ungräser appliziert. Mit 64% behandelter Fläche von Feld 9 findet sich der größte Anteil der gegen Ungräser behandelten Flächenanteile in Wintergerste im Jahr 2001.

Tab. 5.6 Zusammenhang zwischen herbizidbehandelten Flächenanteilen (in % der Fläche eines Schlages) und der Effizienz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle (prozentuale Verringerung der Unkrautdichte im Gesamtfeld) in den vier Fruchtarten ( $r_s$ : Spearmanischer Rang-Korrelationskoeffizient; \*\*  $p < 0,01$ )

	Wertepaare	$r_s$
Körnermais	16	0,380
Zuckerrüben	12	0,319
Winterweizen	12	0,880**
Wintergerste	12	0,782**

Wie aus Tab. 5.6 hervorgeht, war der Zusammenhang zwischen herbizidbehandelten Flächenanteilen (in % der Fläche eines Schlages) und der Effizienz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle (prozentuale Verringerung der Unkrautdichte im Gesamtfeld) für die Hackfrüchte nicht signifikant (Die Sonnenblumen wurden aufgrund der VAK nicht getestet.) Im Gegensatz dazu war in beiden Getreidearten ein hoch signifikanter Zusammenhang feststellbar. Dieses Ergebnis zeigt, dass der höhere Bekämpfungserfolg in den Hackfrüchten (Abb. 5.18) in keinem Zusammenhang mit der Größe der behandelten Flächenanteile steht. Eine mögliche Ursache für die schwächere Korrelation ist vor allem in der zusätzlichen ganzflächigen mechanischen Unkrautkontrolle zu suchen, da diese auch in unbehandelten Teilflächen die Unkrautdichte reduzierte. Darüber hinaus können, unabhängig vom Anteil der behandelten Fläche, ungünstige Applikationszeitpunkte und Witterungseinflüsse sowie Wirkungsschwächen der Herbizide gegenüber einzelnen Unkräuter zu nicht ausreichenden Bekämpfungserfolgen führen. Möglicherweise treten diese Schwierigkeiten in den Hackfrüchten, in denen das Unkrautmanagement aufgrund mehrerer Herbizidapplikationen komplexer ist als in Getreide, stärker zutage.

#### 5.4 Veränderung der Unkrautdichten in den mit Herbiziden behandelten und nicht behandelten Teilflächen

Aus Tab. 5.7 gehen die mittleren Veränderungen der monokotylen und dikotylen Unkräuter in den Hackfrucht- und Getreidefelder in den herbizidbehandelten und unbehandelten Teilflächen hervor.

Tab. 5.7 Mittlere Veränderung der Unkrautdichten vom ersten zum zweiten Termin in allen Feldern in den herbizidbehandelten und unbehandelten Teilflächen über den Versuchszeitraum.

		MONOKO	DIKO ohne GALAP
<b>Hackfrüchte</b>	behandelt	-76,1%	-89,4%
	unbehandelt	26,0%	-43,2%
<b>Getreide</b>	behandelt	-48,1%	-82,0%
	unbehandelt	17,2%	-36,8%
Monokultur	behandelt	-56,7%	-65,7%
	unbehandelt	2423,1%	

Erwartungsgemäß waren die Reduktionsraten in den mit Herbiziden behandelten Teilflächen höher als in den unbehandelten Teilflächen.

In den behandelten Teilflächen der Monokultur war der Bekämpfungserfolg gegen dikotyle Unkräuter geringer als in den Hackfrüchten der Felderfolge. Die Abnahme der zweikeimblättrigen Unkräuter in den nicht mit Herbiziden behandelten Teilflächen der Felderfolge ist auf die Konkurrenz durch die Kulturpflanzen zurückzuführen, die in Getreide stärker ist als in den Hackfrüchten. Die dennoch höhere Reduktionsrate in Körnermais und Zuckerrüben ist Folge des Einsatzes der Unkrauthacke. Die Dichte der Ungräser nahm in den unbehandelten Teilflächen sowohl in Getreide als auch in den Hackfrüchten vom ersten zum zweiten Termin zu. Die sehr hohe Zunahme der monokotylen Unkräuter der Monokultur basiert auf einem Einzelwert, da in der Monokultur nur in einem Jahr die prozentuale Veränderung in den unbehandelten Flächen berechnet werden konnte. In den übrigen Versuchsjahren wurden zum ersten Termin keine dikotylen Unkräuter gefunden (Ausgangsverunkrautung 0 Pflanzen/m<sup>2</sup>), während zum zweiten Termin Unkrautpflanzen kartiert wurden. Die prozentuale Zunahme konnte daher nicht berechnet werden. Folglich wurden die in der Monokultur ermittelten Ergebnisse in den folgenden Untersuchungen zur Veränderung der Unkrautdichte in behandelten und unbehandelten Teilflächen nicht berücksichtigt.

Abb. 5.19 bestätigt, dass in allen Feldern die Dichte der dikotylen Unkräuter in den **mit Herbiziden behandelten Teilflächen** im gesamten Versuchszeitraum abgenommen hat. Der Wirkungsgrad der Behandlungen lag in den Hackfrüchten der Felderfolge bei

hohen Werten zwischen 81% (Feld 8: Körnermais 1997) und 98,1% (Feld 9: Körnermais 1998), in der Monokultur konnte die Unkrautdichte durch die Herbizidapplikation im Jahr 2001 lediglich um 9,3% reduziert werden. In Getreide war der Erfolg in den chemisch behandelten Teilflächen ähnlich: einer maximalen Reduktion der Unkrautdichte von 98,1% (Feld 9: Winterweizen 2000) steht in Feld 4 ebenfalls in Winterweizen im Jahr 1999 mit 57,3% die geringste Verringerung gegenüber (Anhangstab. 25, S.162 und Anhangstab. 28, S.164).

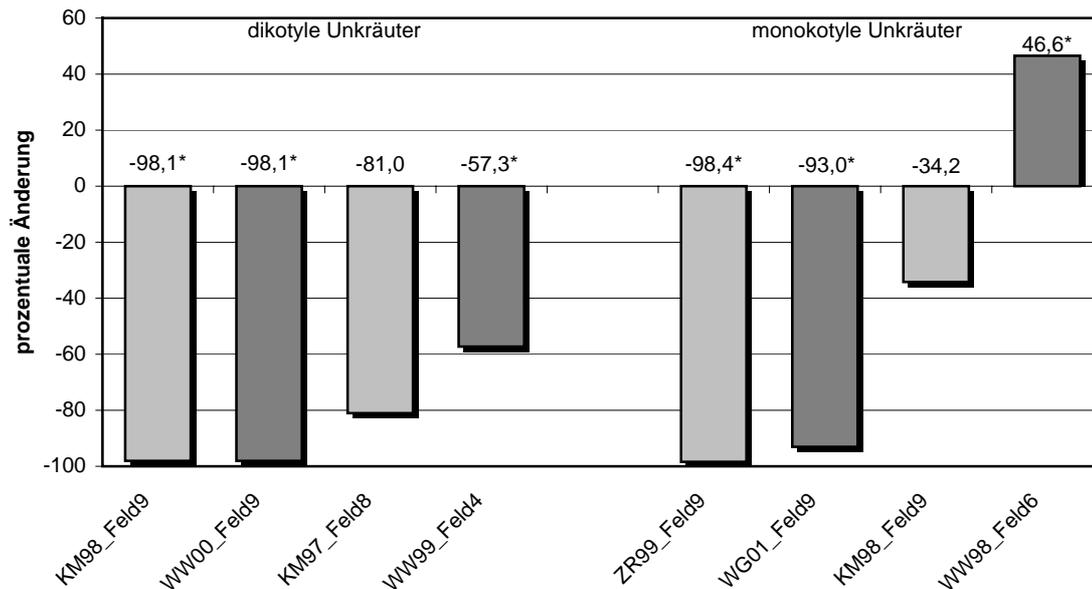


Abb. 5.19 Erfolg der Unkrautkontrolle in den **herbizidbehandelten Teilflächen** der Felder der Felderfolge (maximale und minimale Werte aus dem gesamten Versuchszeitraum). (\* $p < 0,05$ : Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben)

Bei den Ungräsern zeigt sich ein anderes Bild: in den Hackfrüchten wurde in den Feldern der Rotation durch die Herbizidausbringung die Dichte verringert, jedoch mit stark variierendem Erfolg zwischen 98,4% in Zuckerrüben (Feld 9, 1999) und 34,2% (Feld 9, 1998) bzw. 35,3% (Feld 8, 2001) in Körnermais. In der Monokultur nahm die Ungrasdichte vom ersten zum zweiten Kartierungstermin trotz chemischer Kontrollmaßnahmen um 6,4% zu (Anhangstab. 24, S.161).

Ebenfalls eine Zunahme in der Dichte der monokotylen Unkräuter fand sich in Getreide: in Feld 6 nahmen die Ungräser im Winterweizen 1998 in den behandelten Teilflächen um 46,6% zu. Insgesamt waren die Wirkungsgrade der Ungrasherbizide in Getreide im Mittel geringer als in den Hackfrüchten (Anhangstab. 27, S.164).

Die statistische Auswertung der Veränderung der Unkrautdichten in den behandelten Teilflächen ergab folgendes Ergebnis: die Ungrasdichte in Getreide nahm in einem Fall nicht signifikant zu, die Dichte von *Galium aparine* blieb vom ersten zum zweiten Ter-

min einmal konstant, in allen übrigen Fällen nahm die Dichte der drei untersuchten Unkrautgruppen ab, in den meisten Fällen signifikant (Tab. 5.8).

Tab. 5.8 Ergebnis der statistischen Auswertung der Veränderung der Unkrautdichte von Termin 1 zu Termin 2 in den mit Herbiziden **behandelten Teilflächen** aller Schläge der Felderfolge (n = Anzahl der untersuchten Teilflächen).

Fruchtart	Unkrautgruppe	n	Zunahme der Unkrautdichte	davon signifikant	Abnahme der Unkrautdichte	davon signifikant	Dichte unverändert
Hackfrüchte	MONOKO	7	0	0	7	5	0
	DIKO	8	0	0	8	5	0
	GALAP	6	0	0	5	5	1
Getreide	MONOKO	8	1	0	7	5	0
	DIKO	8	0	0	8	8	0
	GALAP	8	0	0	8	8	0

Um die Effektivität der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle abzuschätzen, ist es auch bedeutsam, wie sich die Unkrautpopulationen in den **nicht mit Herbiziden behandelten Teilflächen** entwickeln. Die in Abb. 5.20 dargestellten Ergebnisse zeigen große Unterschiede auf: in den Hackfrüchten der Felderfolge schwankten die Veränderungen zwischen einer Abnahme der dikotylen Ausgangsverunkrautung um 90% in Körnermais in Feld 9 (1998) und einer Zunahme um 23,1% in Körnermais in Feld 8 (2001). In den beiden Getreidearten konnte bis auf einen Fall (Feld 4 Winterweizen (1999): +30,4%) in allen Feldern und Jahren eine Verringerung der Unkrautdichte beobachtet werden – trotz ausgebliebener Unkrautkontrolle.

Die maximale Verringerung der Ungrasdichte in den Hackfrüchten lag bei 93,5% in Zuckerrüben in Feld 9 im Jahr 1999, auf der anderen Seite nahm die Dichte in Körnermais in Feld 8 in den Jahren 1997 und 2001 ungefähr auf die dreifache Dichte, in der Monokultur im Jahr 2000 um das 24-fache zu. Die Abnahme der Gräser in Feld 4 im Jahr 1998 ist auch auf den applizierten Wirkstoff gegen dikotyle Unkräuter zurückzuführen, dessen Wirkungsspektrum auch *Poa annua* umfasste. In Getreide ist in den vier Fällen eine Zunahme der Ungräser zu beobachten, ebenfalls in vier Feldern sank die Verunkrautung trotz ausgebliebener Herbizidapplikation.

*Galium aparine* blieb in seiner Dichte in den Hackfrüchten in allen Jahren unverändert, in Getreide nahm die Zahl in fünf Feldern zu, in den übrigen Feldern blieb die Dichte ebenfalls konstant.

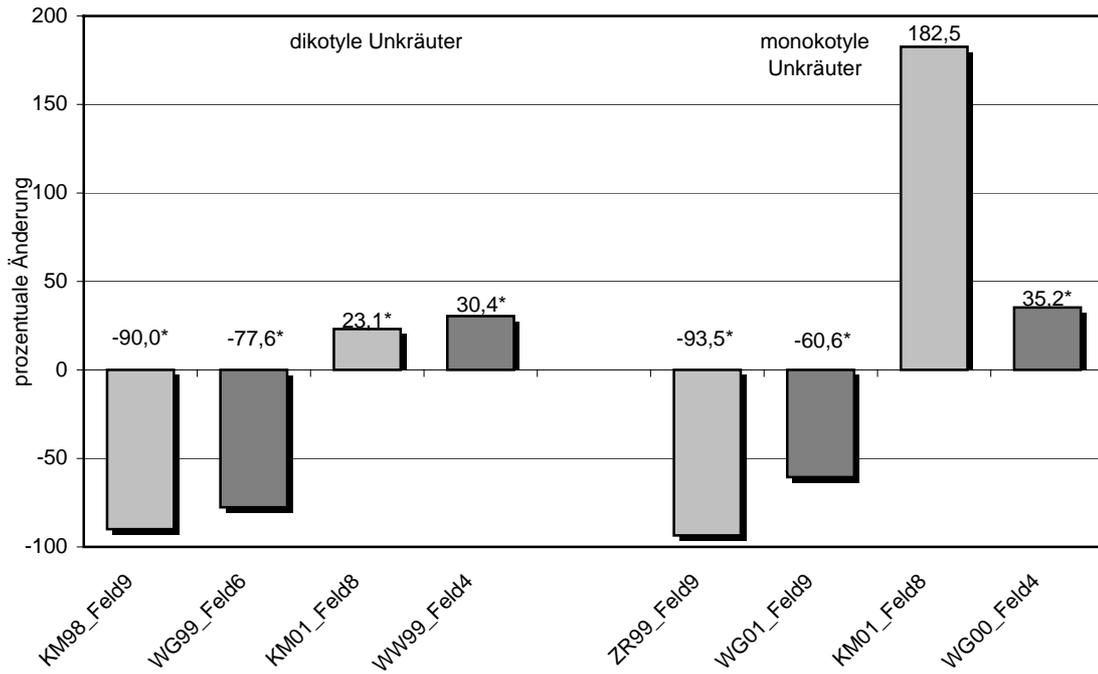


Abb. 5.20 Erfolg der Unkrautkontrolle in den **nicht mit Herbiziden behandelten Teilflächen** der Felder der Felderfolge (maximale und minimale Werte aus dem gesamten Versuchszeitraum). (\* $p < 0,05$ : Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben)

Tab. 5.9 zeigt, dass die Abnahme der dikotylen Unkräuter ohne GALAP sowie der Ungräser in Getreide meistens signifikant war. Die Zunahme von *Galium aparine* hingegen war stets signifikant. Diese Beobachtung kann dadurch erklärt werden, dass die Zählstellen zum Termin 1 unkrautfrei waren und bereits ein aufgelaufenes Unkraut zu einem signifikanten Anstieg der Dichte führt.

Im Gegensatz zu den behandelten Teilflächen konnte an den unbehandelten Zählstellen in den Hackfrüchte häufiger ein signifikanter Anstieg der Unkrautdichte festgestellt werden.

Tab. 5.9 Ergebnis der statistischen Auswertung der Veränderung der Unkrautdichte von Termin 1 zu Termin 2 in den **nicht mit Herbiziden behandelten Teilflächen** aller Schläge der Felderfolge (n = Anzahl der untersuchten Teilflächen).

Fruchtart	Unkrautgruppe	n	Zunahme der Unkrautdichte		Abnahme der Unkrautdichte		Dichte unverändert
			davon signifikant	davon signifikant			
Hackfrüchte	MONOKO	8	4	2	4	4	0
	DIKO	5	2	1	3	2	0
	GALAP	5	0	0	0	0	5
Getreide	MONOKO	8	4	4	4	3	0
	DIKO	8	1	1	7	6	0
	GALAP	8	5	5	0	0	3

## 5.5 Bekämpfungserfolg der verschiedenen Maßnahmen über den gesamten Versuchszeitraum 1997-2001 in allen Feldern (Parzellenversuche)

### 5.5.1 Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor Beginn der ersten Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Maßnahmen)

Keine der in den Parzellen untersuchten Bekämpfungsmaßnahmen zeigte eine generell höhere oder geringere Reduktion der Unkrautdichte als die betriebsübliche Standardmaßnahme, die auf dem Gesamtfeld angewandt wurde. Dennoch war bei einigen Maßnahmen, häufig in Abhängigkeit von angebauter Fruchtart und untersuchter Unkrautart, eine Tendenz zu einem veränderten Bekämpfungserfolg zu erkennen. Im Folgenden soll auf die verschiedenen Maßnahmen näher eingegangen werden. Die Ergebnisse aller Felder und Jahre sind im Anhang dargestellt (Anhangstab. 31 - Anhangstab. 45, S.167ff.).

Die häufigste zusätzlich durchgeführte Variante in den Parzellen war der zusätzliche Einsatz bzw. das Weglassen der **Maschinenhacke** in Körnermais oder Zuckerrüben oder des **Striegels** in Getreide. Weiterhin wurde die Anzahl der Überfahrten mit Hacke bzw. Striegel und der Zeitpunkt des Einsatzes variiert. Durch diese Maßnahmen sollte untersucht werden, ob durch die Hacke eine Steigerung des Bekämpfungserfolges erreicht werden kann oder durch die Durchmischung und Bewegung des Bodens durch die Hacke weitere Samen zur Keimung angeregt werden. Der Einsatz der Hacke gehörte in den Reihenfrüchten Körnermais und Zuckerrüben häufig bereits zur betriebsüblichen Maßnahme im Gesamtfeld, so dass in den Parzellen in einer Variante auf den Einsatz der Hacke verzichtet wurde.

Durch den zusätzlichen Einsatz der Hacke in den Reihenfrüchten konnte der hohe Bekämpfungserfolg nur durch die Herbizidapplikation (ohne Hacke) meist nicht erhöht werden (Abb. 5.21).

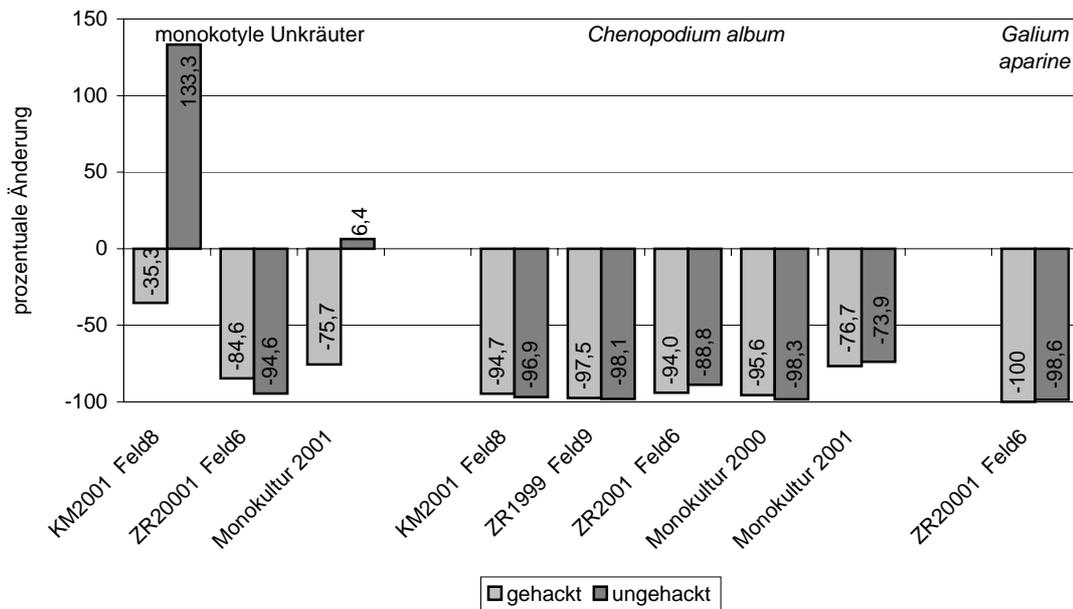


Abb. 5.21: Einfluss des Einsatzes der Hacke auf den Bekämpfungserfolg in Körnermais und Zuckerrüben am Beispiel von monokotylen Unkräutern, *Chenopodium album* und *Galium aparine*

Vor allem bei der Bekämpfung der Ungräser zeigen sich sehr unterschiedliche Ergebnisse: in Zuckerrüben im Jahr 2001 in Feld 8 war der Bekämpfungserfolg durch den zusätzlichen Einsatz der Hacke geringer als in der ungehackten Variante. Dem gegenüber stehen zwei Körnermaiskfelder, in denen die Ungrasdichte durch den Verzicht auf die zusätzliche mechanische Unkrautkontrolle im Vergleich zur Ausgangsverunkrautung zunahm. Am Beispiel von *Chenopodium album* lässt sich erkennen, dass in der Körnermaismonokultur im Jahr 2000 sowie in Körnermais in Feld 8 in 2001 und in Zuckerrüben in Feld 9 in 1999 die sehr hohe Reduktion der Unkrautdichte (meist über 90%) durch zusätzlichen Einsatz der mechanischen Unkrautkontrolle geringfügig niedriger war als in den ungehackten, aber mit Herbiziden behandelten Flächen. In den übrigen beiden Feldern war der Bekämpfungserfolg gegen zweikeimblättrige Unkräuter durch den zusätzlichen Einsatz der Hacke etwas höher.

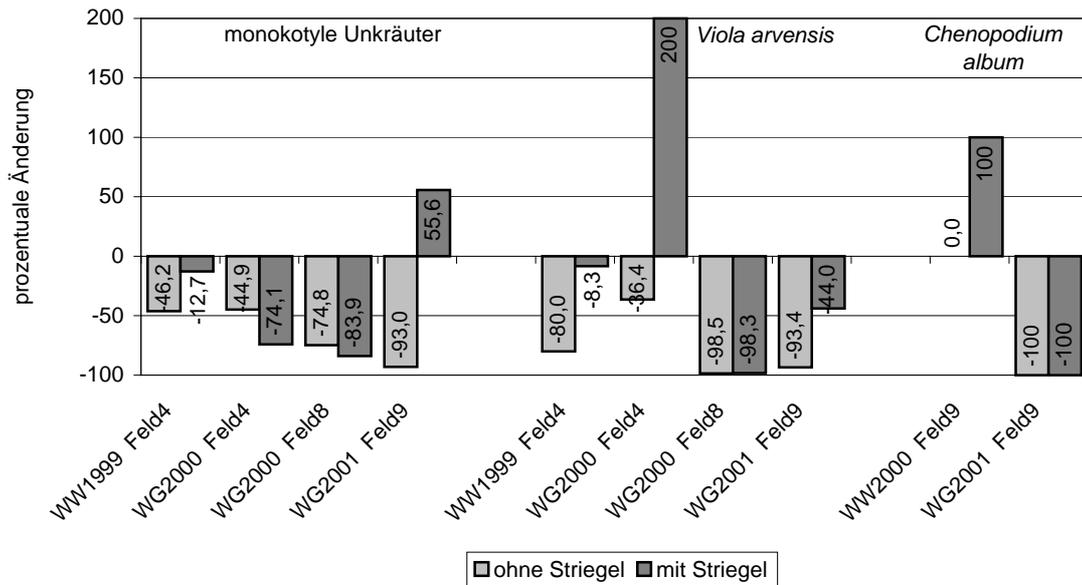


Abb. 5.22: Einfluss des Einsatzes des Striegels auf den Bekämpfungserfolg in Winterweizen und Wintergerste am Beispiel von monokotylen Unkräutern, *Viola arvensis* und *Chenopodium album*.

Ähnlich wie in den Reihenfrüchten konnte auch in den Getreidearten durch die zusätzliche mechanische Unkrautkontrolle der Bekämpfungserfolg nicht immer gesteigert werden, im Gegenteil: sowohl bei den Ungräsern als auch bei den dikotylen Unkräutern war die Reduktion der Ausgangsverunkrautung durch den Einsatz des Striegels (und vorheriger Herbizidapplikation) häufig geringer als im Gesamtfeld, in dem nur Herbizide appliziert wurden. Aus Abb. 5.22 geht hervor, dass von den dargestellten Unkräutern in Getreide nur die Ungräser in zwei Feldern durch den zusätzlichen Einsatz des Striegels stärker reduziert werden konnten als durch den ausschließlichen Einsatz von Herbiziden. Einen Überblick über den Bekämpfungserfolg in allen untersuchten Unkräutern geben die Anhangstab. 31 - Anhangstab. 45 (S.167ff.).

Aufgrund dieser Ergebnisse ist keine generelle positive oder negative Bewertung des zusätzlichen Einsatzes der mechanischen Unkrautkontrolle hinsichtlich einer Steigerung des Bekämpfungserfolges möglich. Dies gilt sowohl für Getreide als auch für die Reihenfrüchten.

Die Intensivierung der Standardmaßnahme durch die **Applikation eines zusätzlichen Herbizides** wurde nur in Getreidefeldern durchgeführt. Diese Variante führte, vor allem bei der Anwendung gegen dikotyle Unkräuter, zu einer teilweise starken Erhöhung des Bekämpfungserfolges. Im Gegensatz dazu konnte durch die zusätzliche Applikation eines Herbizides bei der Bekämpfung der Ungräser nur in zwei der drei dargestellten

Parzellen eine höhere Reduktion als durch die betriebsübliche Maßnahme im Gesamtfeld erreicht werden (Abb. 5.23).

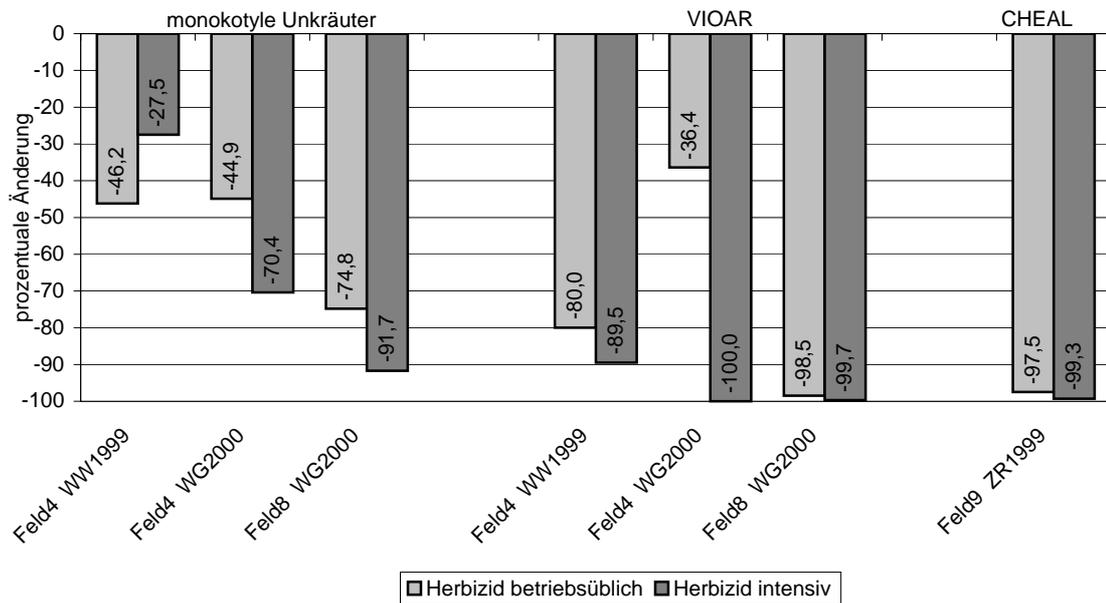


Abb. 5.23: Veränderung des Bekämpfungserfolges durch zusätzlichen Einsatz eines Herbizides in den untersuchten Kulturarten am Beispiel von monokotylen Unkräutern, *Viola arvensis* und *Chenopodium album*.

Von den übrigen in den Parzellen zusätzlich durchgeführten Maßnahmen ist vor allem der Einsatz des Pfluges vor der Aussaat des Mais in der Körnermaismonokultur im Jahr 2001 positiv zu bewerten. Durch diese Maßnahme konnte bereits die Ausgangsverunkrautung vor Beginn der Unkrautkontrolle im Vergleich zum gleichen Termin im Gesamtfeld stark reduziert werden. Aus Abb. 5.24 geht hervor, dass durch den Einsatz des Pfluges in den Parzellen die Anzahl der aufgelaufenen Unkräuter bereits vor der ersten Kontrollmaßnahme im Kulturpflanzenbestand im Vergleich zu den ungepflügten Bereichen des Feldes deutlich gesenkt werden konnte. Die später durchgeführten Kontrollmaßnahmen Herbizidapplikation mit bzw. ohne zusätzlichen Einsatz der Hacke zeigten ähnlich hohe Bekämpfungserfolge und lagen überwiegend im Bereich zwischen 75 und 100%.

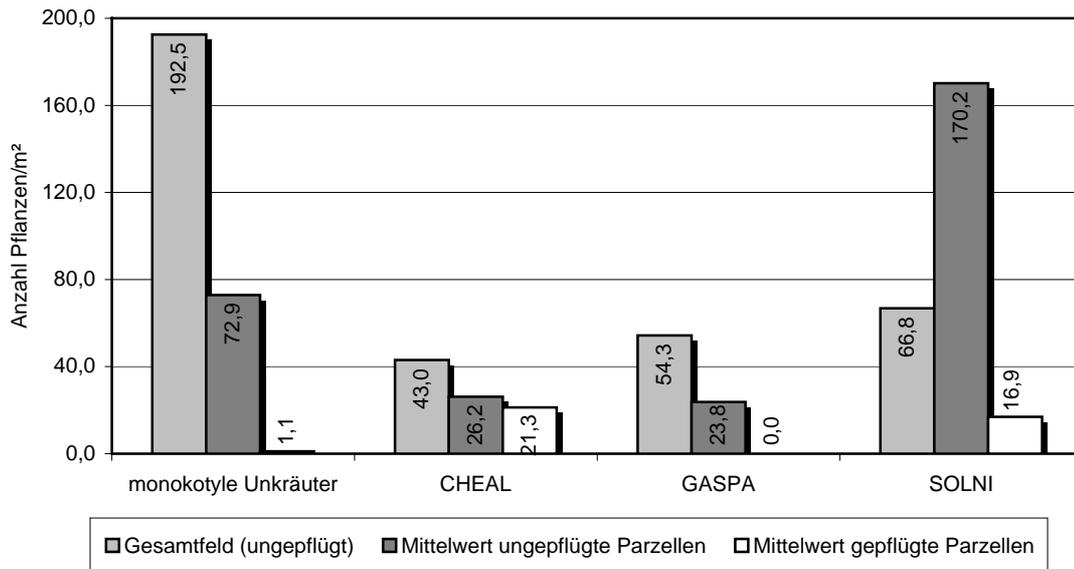


Abb. 5.24: Dichte der vier untersuchten Unkräuter in Feld GH im Jahr 2001 im ungepflügten Gesamtfeld sowie in den ungepflügten bzw. gepflügten Parzellen vor der ersten Unkrautkontrollmaßnahme.

Die in verschiedenen Parzellen ausgesäte Untersaat als weitere Maßnahme zur Unterdrückung der Restverunkrautung und damit zur langfristigen Unkrautreduktion konnte sich in keinem Feld und Jahr etablieren und blieb daher ohne Einfluss auf die Unkrautdichte.

### 5.5.2 Die Unkrautdichte in den Parzellen unmittelbar vor der Ernte der Kulturfrucht (Termin3) in Abhängigkeit von den durchgeführten Maßnahmen

Die in allen Parzellen am zusätzlichen dritten Boniturtermin gefundenen Pflanzen wurden in „Alt“- und „Neuverunkrautung“ unterschieden, d.h., Unkräuter, die bereits Samen trugen und wahrscheinlich von der Unkrautkontrolle nicht erfasst worden waren sowie Pflanzen, die noch nicht in die generative Phase übergegangen waren und erst nach Abschluss der letzten Maßnahme gekeimt waren. Vor allem die erste Gruppe der Unkräuter ist unter dem Gesichtspunkt der Effizienz der Kontrolle und Populationsdynamik interessant, da diese Pflanzen zu einem Sameneintrag in das Bodensamenpotenzial führen. Die Beseitigung der nicht samentragenden Unkräuter durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen direkt nach der Ernte der Kulturpflanze (z.B. Stoppelbearbeitung) führen hingegen zu einer Verringerung der Samen im Boden.

In den beiden Getreidearten (Winterweizen im Jahr 2000 und Wintergerste im Jahr 2001; jeweils Feld 9) wurden unmittelbar vor der Ernte die untersuchten Unkräuter nur in sehr geringer Anzahl gefunden. Die wenigen gezählten Pflanzen waren nicht samentragend, so dass bei den Unkräutern kein Sameneintrag in den Boden zu erwarten war (vgl. Kap. 5.6).

In den Reihenfrüchten Körnermais, Zuckerrüben und Sonnenblumen wurden dagegen unmittelbar vor der Ernte samentragende Unkräuter gefunden.

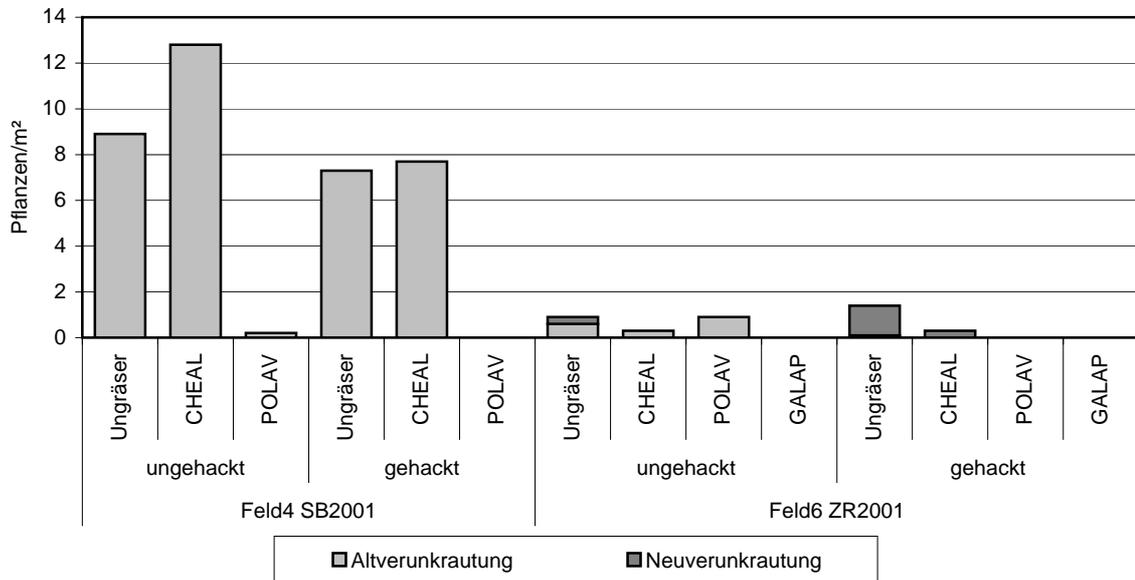


Abb. 5.25: Dichte der Restverunkrautung (Alt- und Neuverunkrautung) in Sonnenblumen (Feld 4) und Zuckerrüben (Feld 6) im Jahr 2001 in den ungehackten bzw. gehackten Parzellen vor der Ernte der Kulturfrucht.

Während in den Zuckerrüben (Feld 6 im Jahr 2001) die Dichte der gefundenen Individuen sehr niedrig war und die Folgen der Restverunkrautung als sehr gering eingeschätzt werden können, fand sich vor allem in den Sonnenblumen in Feld 4 im Jahr 2001 eine hohe Anzahl samentragender Unkräuter (Abb. 5.25). Sowohl in den gehackten als auch in den nicht gehackten Parzellen stieg die Unkrautdichte - mit Ausnahme von *Polygonum aviculare* - bis zum Zeitpunkt unmittelbar vor der Ernte erheblich. Eine Ursache hierfür lag vor allem in der Bandspritzung der Sonnenblumenreihen im Vorauf- lauf. Folglich blieben die Flächen zwischen den Reihen von der Herbizidapplikation ausgespart, mithin fehlte auch die unkrautreduzierende Dauerwirkung von Bodenherbi- ziden zwischen den Pflanzenreihen. Die in Sonnenblumen gefundenen Unkräuter wa- ren alle samentragend, es zeigte sich jedoch, dass die Unkräuter in den ungehackten Parzellen besser entwickelt waren und mehr Samen trugen (vgl. Kap. 5.6).

Im Körnermais der Felderfolge (Feld 8 im Jahr 2001) ergaben sich für die Ungräser und *Viola arvensis* in beiden Varianten (Herbizidapplikation mit zusätzlicher Hacke und Herbizidapplikation ohne Hacke) Zunahmen in der Unkrautdichte im Vergleich zur Ausgangsverunkrautung an Termin 1 (Anhangstab. 43, S.173). Während nur von VIOAR und CHEAL samentragende Pflanzen in größerer Dichte gefunden wurden, war der überwiegende Teil der übrigen gefundenen Unkräuter nicht samentragend (Abb. 5.26).

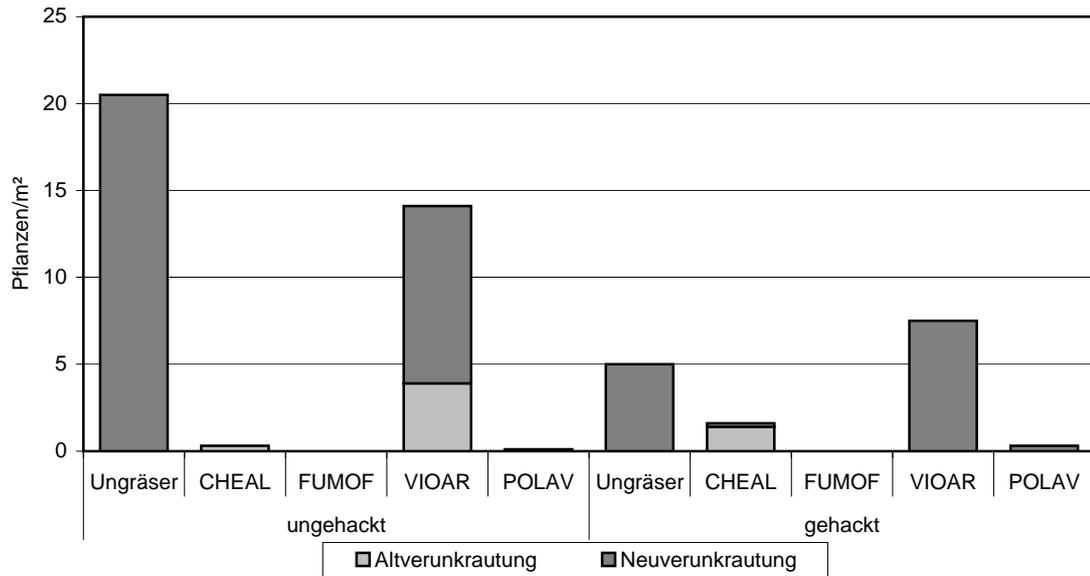


Abb. 5.26 Dichte der Restverunkrautung (Alt- und Neuverunkrautung) in Körnermais in Feld 8 im Jahr 2001 in den ungehackten bzw. gehackten Parzellen vor der Ernte der Kulturfrucht.

In der Maismonokultur wurden in beiden Jahren (2000 und 2001) samentragende Unkräuter gezählt, im Jahr 2001 in stark erhöhter Dichte im Vergleich zum Vorjahr. Beispielsweise wurden in 2000 von *Chenopodium album* maximal 0,5 Pflanzen/m<sup>2</sup> gezählt, im Folgejahr stieg die Dichte auf 36,9 Pflanzen/m<sup>2</sup> an. Bei den übrigen untersuchten Unkräuter war die Zunahme ähnlich. Die Dichte von *Galinsoga parviflora* nahm in einer Parzelle vom ersten zum dritten Boniturtermin zu; bei allen anderen Unkräutern in den übrigen Parzellen konnte die Ausgangsverunkrautung reduziert werden. Im Vergleich zum zweiten Termin (nach Abschluss der Kontrollmaßnahme) nahm die Verunkrautung jedoch häufig bis unmittelbar vor der Ernte wieder zu (Anhangstab. 40 - Anhangstab. 45, S.171ff.). Die in den Parzellen der Maismonokultur im Jahr 2001 gefundenen Unkräuter waren alle samentragend, so dass mit einem erheblichen Eintrag von Samen in den Boden gerechnet werden musste (Abb. 5.27).

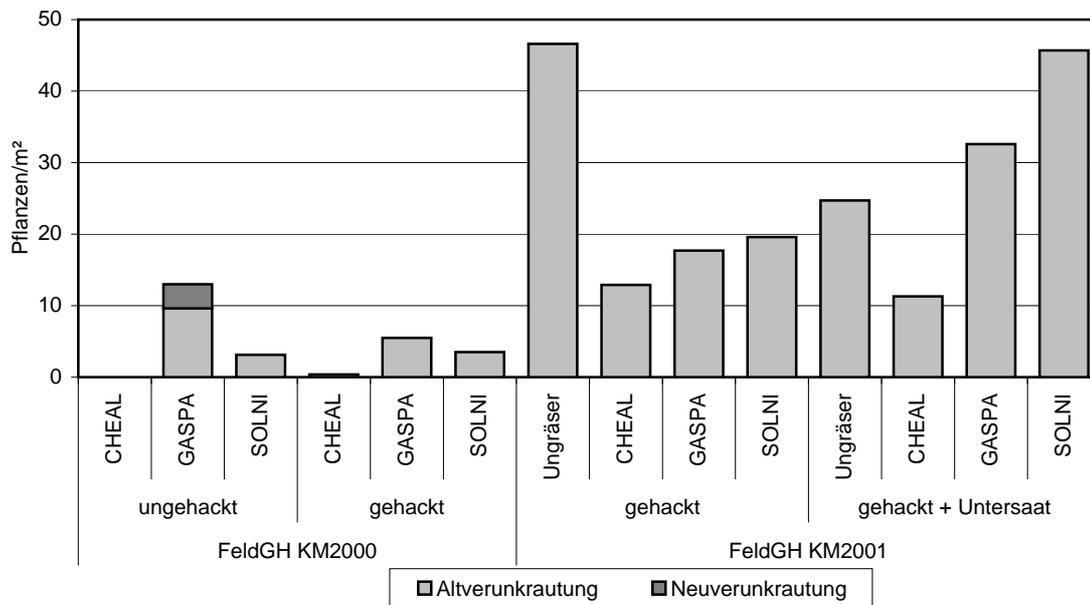


Abb. 5.27 Dichte der Restverunkrautung (Alt- und Neuverunkrautung) in der Körnermaismonokultur in den Jahren 2000 und 2001 in den ungehackten bzw. gehackten Parzellen vor der Ernte der Kulturfrucht.

Durch den Einsatz der Hacke im Jahr 2000 konnte nur die Dichte von *Galinsoga parviflora* im Vergleich zu der ungehackten Parzelle geringfügig verringert werden, die Anzahl der beiden übrigen Unkräuter war vergleichbar (Abb. 5.27). Im Jahr 2001 wurde in allen nicht gepflügten Parzellen zusätzlich zu der Herbizidapplikation die Hacke eingesetzt, die als zusätzliche Maßnahme ausgesäte Untersaat konnte sich nicht etablieren.

In Kapitel 5.5.1 wurde bereits erwähnt, dass durch den zusätzlichen Einsatz des Pfluges in der Monokultur die Ausgangsverunkrautung in den Parzellen im Vergleich zu den ungepflügten Bereichen geringer war. Auch zum dritten Termin unmittelbar vor der Ernte des Körnermaises wurde in den gepflügten Varianten bedeutend geringere Unkrautdichten beobachtet als in den ungepflügten Varianten (Abb. 5.28). Der Vergleich mit dem Gesamtfeld entfällt, da auf der Gesamtfläche keine Daten zur Restverunkrautung erhoben wurden. Der zusätzliche Einsatz der Hacke (neben der Herbizidapplikation) zeigte keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zu den ungehackten Varianten.

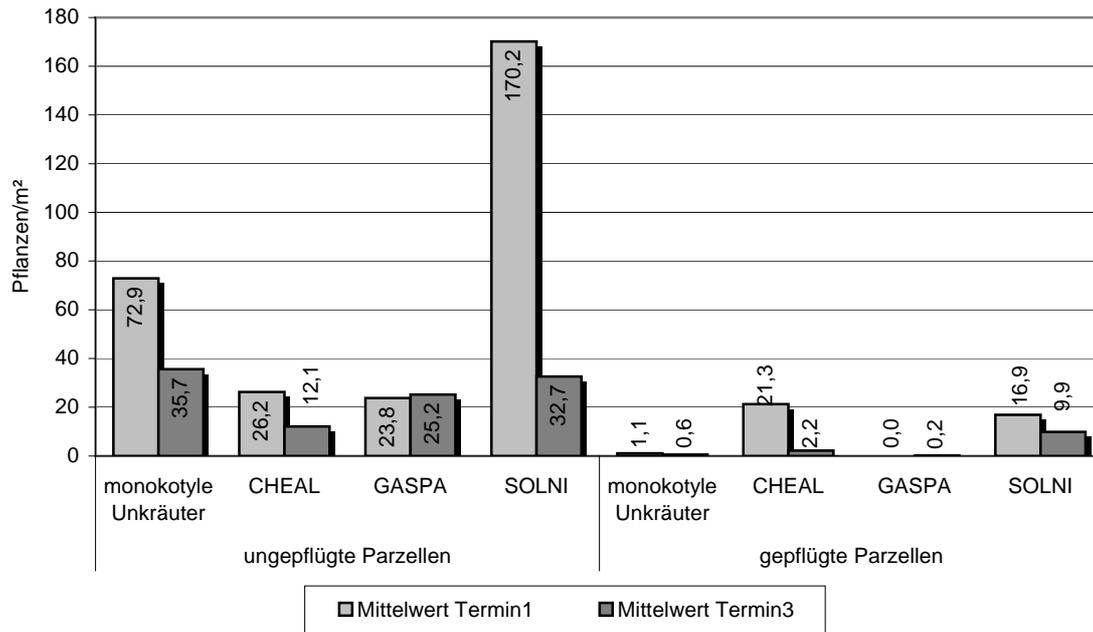


Abb. 5.28: Veränderung der mittleren Dichte der vier untersuchten Unkräuter in den ungepflügten bzw. gepflügten Parzellen in Feld GH im Jahr 2001 vom Zeitpunkt unmittelbar vor der ersten Unkrautkontrollmaßnahme bis kurz vor der Ernte.

## 5.6 Erhebungen zur Samenproduktion der Restverunkrautung

Zur Ermittlung der Samenproduktion wurde in den Jahren 2000 (in Feld GH) und 2001 (in allen Feldern) der Samenertrag von *Chenopodium album*, *Galinsoga parviflora*, *Polygonum aviculare* und *Solanum nigrum* vor der Ernte der Hauptfrucht bestimmt. Die Daten zur Dichte der Restverunkrautung ergaben sich aus der Auswertung der Parzellenversuche (Kap. 5.5.2).

CHEAL-Pflanzen kamen in allen Hackfrüchten zur Samenreife, die Zahl der produzierten Samen variierte jedoch erheblich. Ein sehr wichtiges Ergebnis in Bezug auf eine Prognose der Unkrautverteilung in den Folgejahren war, dass CHEAL in Wintergetreide nicht zur Samenreife gelangen konnte.

POLAV konnte in Körnermais unmittelbar vor der Ernte nicht gefunden werden; in Sonnenblumen und Zuckerrüben war die Samenproduktion hoch. Die in den beiden Wintergetreidearten gefundenen Pflanzen waren sehr kümmerlich, blühten aber bereits; ihre Samenproduktion war jedoch nur sehr gering.

Tab. 5.10 Ergebnisse der Erhebungen zur Samenproduktion der vier untersuchten Unkräuter.

<b><i>Chenopodium album</i></b>	Samen/ Pflanze	Ø Samen- produktion/ Pflanze			
Körnermais	70-7300	3160			
Zuckerrüben	0-170	51			
Sonnenblumen	60-24000	3780			
gehackt	60-1000	320			
nicht gehackt	3800-24000	14100			
Getreide	0	0			
<b><i>Polygonum aviculare</i></b>	Samen/ Pflanze	Ø Samen- produktion/ Pflanze			
Körnermais					
Zuckerrüben	8-320	144			
Sonnenblumen	105-140	123			
Getreide	0-4	2			
<b><i>Solanum nigrum</i></b>	Beeren/ Pflanze	Samen/ Beere:	Ø Samen/ Beere	Samen/ Pflanze	Ø Samen- produktion/ Pflanze
Körnermais	65-330	14-56	39,8	2788-11154	5150
<b><i>Galinsoga parviflora</i></b>	Blüten- köpfchen/ Pflanze	Samen/ Blüten- köpfchen	Ø Samen/ Blüten- köpfchen	Samen / Pflanze	Ø Samen- produktion/ Pflanze
Körnermais	14-121	7-26	20,3	198-2697	1500

Die beiden übrigen Unkräuter wurden, teils in erheblicher Dichte, nur in Feld GH vor der Ernte des Körnermais gefunden.

In Wintergetreide ist für die untersuchten Unkräuter aufgrund der geringen Restverunkrautung und der geringen Samenproduktion nur mit einem geringen Eintrag in das Samenbodenpotenzial zu rechnen. Für POLAV ergibt sich bei Dichten zwischen 0,4 und 2,3 Pflanzen/m<sup>2</sup> und durchschnittlich zwei neu produzierten Samen pro Pflanze ein theoretischer Eintrag zwischen einem und maximal fünf Samen/m<sup>2</sup>. Bei CHEAL war aufgrund der Erhebungen in den untersuchten Feldern keine Samenproduktion in Wintergetreide zu erwarten.

Anders sieht die Situation in den Hackfrüchten aus: In Zuckerrüben ergab sich für *Chenopodium album* und *Polygonum aviculare* die niedrigste Samenproduktion. Während CHEAL bei einer maximalen Dichte von 0,5 Pflanzen/m<sup>2</sup> bis zu 25 Samen/m<sup>2</sup> produziert, sind für POLAV bis zu über 140 Samen/m<sup>2</sup> zu erwarten. Für dieses Unkraut ist in Sonnenblumen mit maximal 37 neu produzierten Samen/m<sup>2</sup> zu rechnen, dagegen ist aufgrund der erhobenen Daten bei *Chenopodium album* in den gehackten Flächen (maximal 8 Pflanzen/m<sup>2</sup>; durchschnittliche Samenproduktion: 320 Samen/Pflanze) ein Eintrag von 2560 Samen/m<sup>2</sup> möglich, in den nicht gehackten Flächen (maximal

13 Pflanzen/m<sup>2</sup>; durchschnittliche Samenproduktion: 14100 Samen/Pflanze) ergibt sich ein Wert von über 180000 Samen/m<sup>2</sup>.

*Polygonum aviculare* wurde in Körnermais nicht gefunden, die übrigen untersuchten Unkräuter wurden teilweise in erheblichen Dichten gezählt. CHEAL trat in der Felderfolge vor der Ernte nur in geringer Anzahl auf (max. 2,8 Pflanzen/m<sup>2</sup>), bei durchschnittlich 3160 Samen/Pflanze ergab sich eine Samenproduktion von über 8800 Samen/m<sup>2</sup>. Sehr unterschiedlich waren die Unkrautdichten in der **Monokultur** in den Jahren 2000 und 2001. CHEAL trat in 2000 nur in Spuren auf (0,5 Pflanzen/m<sup>2</sup>), im Folgejahr konnten bis zu 16,3 Pflanzen/m<sup>2</sup> gezählt werden. Basierend auf diesen Dichten war mit einem Sameneintrag zwischen ca. 1500 und über 51000 Samen/m<sup>2</sup> zu rechnen. Bei *Galinsoga parviflora* lagen die Werte zwischen maximal 13,3 Pflanzen/m<sup>2</sup> in 2000 und 65,3 Pflanzen/m<sup>2</sup> in 2001, so dass für dieses Unkraut die maximale Anzahl der neu produzierten Samen zwischen annähernd 20000 Samen/m<sup>2</sup> und 100000 Samen/m<sup>2</sup> lag (bei einer durchschnittlichen Samenproduktion von 1500 Samen/Pflanze). *Solanum nigrum* konnte aufgrund der erhobenen Daten in den beiden Jahren zwischen 24720 (im Jahr 2000: 4,8 Pflanzen/m<sup>2</sup>, 5150 Samen/Pflanzen) und über 250000 Samen/m<sup>2</sup> (im Jahr 2001: 48,7 Pflanzen/m<sup>2</sup>) neu pr

## 6 Diskussion und Ausblick

### 6.1 Bewertung der Effizienz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle

Während TIMMERMANN et al. (2003) in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten (CHRISTENSEN et al. 1996, NORDMEYER et al. 1997, HEISEL et al. 1997, MEDLIN und SHAW 2000, GERHARDS et al. 1997b, TIAN et al. 1999) den ökonomischen Nutzen der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle bezüglich monetärer Einsparungen bestätigen konnten, fehlen bisher Untersuchungen zur Effizienz dieses Verfahren weitgehend.

Ein wichtiges Kriterium zur Einschätzung der Effizienz der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle ist die Veränderung der Unkrautdichte über den Versuchszeitraum.

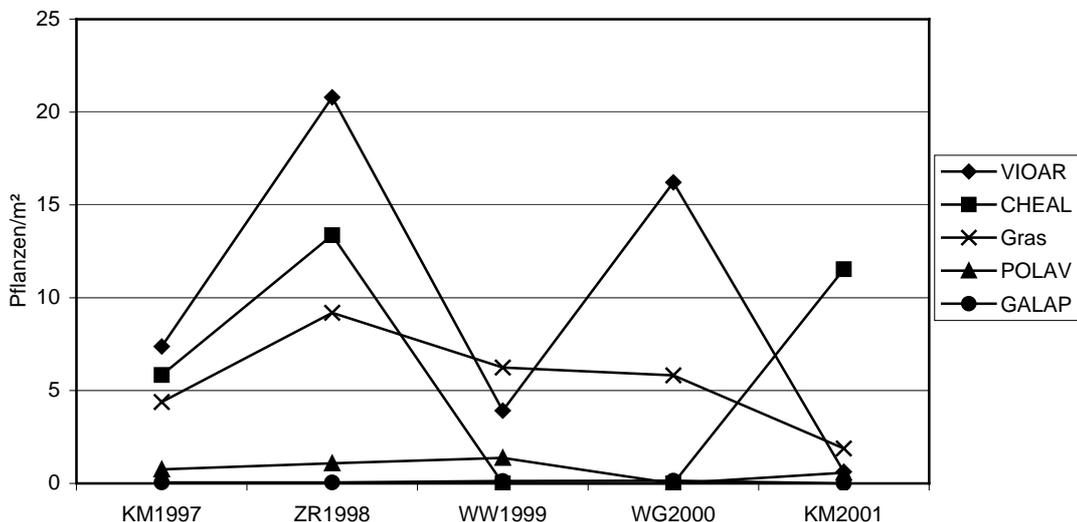


Abb. 6.1 Veränderung der Dichte der drei dikotylen Leitunkräuter, der Ungräser sowie von *Galium aparine* in Feld 8 über den Versuchszeitraum 1997-2001.

Abb. 6.1 zeigt exemplarisch die Dichteveränderung der drei dikotylen Leitunkräuter, der Ungräser sowie von *Galium aparine* über den Versuchszeitraum 1997-2001 in Feld 8 (vgl. Abb. 5.4, S.39 und Anhangstab. 5, S.141). Feld 8 war als einziges Feld bereits seit 1997 in der Versuchsreihe, so dass in diesem Schlag die Verunkrautung zweimal in der gleichen Fruchtart (Körnermais) kartiert wurde. Der Verlauf der Kurven des Diagramms zeigt, dass keine der untersuchten Unkrautarten über den Versuchszeitraum kontinuierlich zugenommen hat; vielmehr zeigen sich jährliche Schwankungen in der Unkrautdichte, die vor allem auf den Einfluss der angebauten Fruchtart sowie jährliche Unterschiede in den klimatischen Verhältnissen zurückgeführt werden können (s.u.). Eine Zunahme der Unkräuter infolge teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle über die

Zeit kann aus dieser Abbildung nicht hergeleitet werden; im Gegenteil, die Trends weisen eher auf einen anhaltenden Rückgang der Verunkrautung hin. Die tendenzielle Abnahme der Dichte der beschriebenen Unkräuter infolge der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle über den Versuchszeitraum konnte ebenfalls für die Schläge 4 und 9 beobachtet werden (vgl. Kap. 5.1.1 (S.35ff.) sowie Abb. 5.2 (S.37) und Abb. 5.5 (S.40)).

Die genauere Betrachtung der Ergebnisse aller dieser Arbeit zugrundeliegenden Datensätze zeigte, dass die Ausgangsverunkrautung vor der Kontrollmaßnahme in der Felderfolge im allgemeinen gering war, aber in Abhängigkeit von der angebauten Feldfrucht sowohl in Dichte als auch Zusammensetzung stark variierte. Besonders deutlich wird der Einfluss des Bewirtschaftungssystems auf die Unkrautdichten z.B. im Verfahren „Monokultur“. Dieses Feld zeigte über den gesamten Versuchszeitraum bedeutend höhere Unkrautdichten als die übrigen vier Felder. Diese Ergebnisse bestätigen das Wissen der alten Meister des Pflanzenbaus, die den positiven Einfluss einer Rotation im besonderen, aber auch der wendenden Bodenbearbeitung auf die Verunkrautungssituation beschrieben haben (ROEMER 1929, KLAPP 1941, RADEMACHER 1963). Auch jüngere Untersuchungen bestätigen diesen Sachverhalt (u.a. BUHLER et al. 1998, LIEBMAN und DYCK 1993).

In einer neueren Studie stellten DOUCET et al. (1999) fest, dass der Einfluss der Felderfolge allein auf die Unkrautdichte nur gering ist, jedoch ein wichtiges zusätzliches Hilfsmittel zur Unkrautkontrolle neben dem Einsatz von Herbiziden ist. Für ihre Untersuchungen teilten sie ein Feld in mit Herbiziden behandelte und unbehandelte Parzellen ein, die in verschiedenen Felderfolgen bzw. Monokulturen bewirtschaftet wurden. Vor diesem Hintergrund war es interessant, der Frage nachzugehen, wie sich die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle auf die Unkrautdichte auswirkte, vor allem, weil bei diesem Verfahren ebenfalls Teile des Feldes unbehandelt blieben.

In einem ersten Schritt wurde der Wirkungsgrad der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle im gesamten Feld, d.h. auch in den unbehandelten Teilflächen, bestimmt. Zu diesem Zweck wurde die Veränderung der Unkrautdichte von dem Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn bis zum zweiten Termin nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen - unter Berücksichtigung einer ausreichenden Wirkzeit - berechnet. In diesen Wert flossen neben dem Einfluss der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation auch ganzflächige mechanische Kontrollmaßnahmen ein. Die auf diesem Weg errechneten Wirkungsgrade schwankten sehr stark: in über der Hälfte der berechneten Fälle konnte die Verunkrautung im Gesamtfeld um mehr als 80% gesenkt werden (Tab. 5.5, S.61). Damit lag der Erfolg der Unkrautkontrolle im gleichen Bereich wie bei GREEN et al. (1997),

der die Herbizide ebenfalls teilschlagspezifisch applizierte. Andererseits stieg in vier Feldern die Verunkrautung vom ersten zum zweiten Termin an.

Während in den Hackfrüchten Körnermais und Zuckerrüben kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Anteil der behandelten Fläche und dem Erfolg der Unkrautkontrolle festgestellt werden konnte, hing der Bekämpfungserfolg in den beiden Getreidearten Winterweizen und Wintergerste signifikant von der behandelten Fläche ab (Tab. 5.6, S.63). Eine mögliche Ursache für diese Beobachtung ist, dass die mit Hackfrüchten angebaute Flächen in den meisten Fällen nach Abschluss der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation zusätzlich mit einer Maschinenhacke behandelt wurden. Durch die zusätzliche ganzflächige mechanische Unkrautkontrolle wurden Unkräuter in den nicht chemisch behandelten Flächen beseitigt und der Effekt der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation möglicherweise überlagert. Der Zusammenhang zwischen behandelter Fläche und Abnahme der Unkrautpopulation war zu erwarten. Wichtig ist es jedoch zu klären, ob in den nicht behandelten Flächen die Unkrautdichte durch die Konkurrenzkraft der Kulturpflanzen und natürliche Verluste nicht über die ökonomische Schadensschwelle steigt und toleriert werden kann.

Um den tatsächlichen Erfolg der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle abzuschätzen, wurde in einem zweiten Schritt die Veränderung der Unkrautdichten an den tatsächlich behandelten und an den unbehandelten Zählstellen ermittelt (Tab. 5.7 - Tab. 5.9, S.64ff.). Durch diese Berechnungen sollte die Entwicklung der Unkrautpopulationen in den unbehandelten Teilflächen abgeschätzt werden. Vor allem in Getreide konnte die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle der Gruppe „dikotyle Unkräuter ohne *Galium aparine*“ auch in den unbehandelten Flächen als unproblematisch bewertet werden. Ein möglicher Grund hierfür ist die stärkere Konkurrenzkraft von Getreide im Vergleich zu den Reihenfrüchten; lediglich in einem Fall war die mittlere Verunkrautung am zweiten Termin höher als die Ausgangsverunkrautung. Bei den übrigen Unkrautgruppen („Ungräser“ und „*Galium aparine*“) und in den Reihenfrüchten wurde häufig eine Zunahme der Unkrautdichte zum zweiten Termin festgestellt, mehrfach in einer mittleren Dichte oberhalb der der Herbizidapplikation zugrunde gelegten Schadensschwelle. Unter diesem Gesichtspunkt ist vor allem die signifikante Zunahme des Problemkrautes *Galium aparine* in den unbehandelten Teilflächen der Getreideschläge kritisch zu bewerten.

## **6.2 Faktoren mit Einfluss auf Verteilungsmuster und Stabilität der Unkrautpopulationen und Wege zum Gegensteuern**

Die visuelle Interpretation der Unkrautverteilungskarten bekräftigte prinzipiell die Erkenntnisse zur Stabilität von Unkrautpopulationen über mehrere Jahre (REW und

CUSSANS 1995, WALTER 1996, WILSON und BRAIN 1990). Die behandelten Unkrautpopulationen blieben in ihrer räumlichen Ausdehnung weitgehend stabil, die Variationen in der Dichte waren fruchtartabhängig. Dagegen entstanden in den unbehandelten Teilflächen keine neuen Unkrautpopulationen. So zeigte beispielsweise die Karte der Ungräser in Schlag 8 über den gesamten Versuchszeitraum eine Aggregation der Unkräuter von nordwestlicher in südöstliche Richtung (Abb. 5.10, S.50). Ursachen für die Lage und Stabilität von Unkrautnestern sind häufig schwierig zu quantifizieren. Ein wichtiger Ansatzpunkt zur Erklärung der Stabilität von Unkrautpopulationen, die exemplarisch für einzelne Unkrautarten in den Verteilungskarten (Abb. 5.7 - Abb. 5.17, S.47-57) dargestellt ist, ist die Entwicklung der Restverunkrautung bis unmittelbar vor der Ernte und die daraus resultierende Samenproduktion.

Als ein wesentlicher Grund für die erwähnten stabilen Verteilungsmuster muss auf jeden Fall der Vorrat an Samen im Boden genannt werden. Allerdings bleibt die Frage offen, warum sich in einigen Bereichen des Feldes das Samenpotenzial im Boden bereits vor Versuchsbeginn derart erhöhen konnte, dass in diesen Bereichen bis heute Unkrautnester vorliegen, während in anderen Bereichen des Feldes die Unkrautdichte konstant niedrig blieb. Eine Ursache für die Anreicherung von Samen im Boden und damit der Persistenz von Unkrautpopulationen ist die Samenproduktion durch die Restverunkrautung. Die Samen werden vorwiegend von den Pflanzen produziert, die, aufgrund unzureichenden Bekämpfungserfolges, bis zur Ernte der Kulturpflanze überleben.

Zur Problematik der Restverunkrautung bei teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle gibt es aufgrund der relativen Neuartigkeit dieses Verfahren bislang nur wenig Arbeiten. CAVERS (1983) nannte die Pflanzen, die durch Kontrollmaßnahmen nicht beseitigt werden, die größte Quelle für die Anreicherung von Samen im Boden, ohne näher auf die Konsequenzen einzugehen. GREEN et al. (1997) bestimmten den Erfolg der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle in einem Jahr; Erhebungen zu Restverunkrautung und Verunkrautungssituation im Folgejahr werden nicht erwähnt. Die Ergebnisse anderer Veröffentlichungen, die v.a. aus Untersuchungen zur Schadensschwellenproblematik resultieren, sind aber zum Teil übertragbar.

Aufgrund von mehrjährigen Versuchen zum Einsatz von ökonomischen Schadensschwellen in Getreide wiesen GEROWITT und HEITEFUSS (1990) nach, dass deren exakte Anwendung bei der Unkrautkontrolle nicht zu einer Vermehrung der Unkräuter führt. In einer neueren Untersuchung bestätigten NIEMANN et al. (2000), dass sich bei der Anwendung von Schadensschwellen in Getreide mittelfristig keine produktionstechnischen Nachteile als Folge der höheren Restverunkrautung zeigten.

Zur Anwendung von Schadensschwellenkonzepten in Hackfrüchte gibt es bisher wenige Arbeiten. WELLMANN et al. (2000) schreiben, „dass im Gegensatz zu Getreide... in Zuckerrüben generell nicht auf eine Unkrautbekämpfung verzichtet werden kann. Es war demzufolge nicht mehr entscheidend ob, sondern wann und wie oft eine Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben durchgeführt werden muss.“ Die Autoren stellten jedoch mehr die Frage nach Ertrags- und Qualitätsverlusten der Zuckerrübe in den Mittelpunkt ihrer Untersuchungen als die Problematik der Restverunkrautung und Samenproduktion. BRANDES (2000) konstatiert, dass aufgrund fehlender Schadensschwellen in Zuckerrüben und mangelnder Wirkung der zugelassenen Herbizide zum eigentlich optimalen Applikationstermin (4-8 Wochen nach Aufgang der Zuckerrüben) die Unkrautregulierung zu einem zu frühen Zeitpunkt erfolgt, zu dem die tatsächlich auflaufende Unkrautflora noch nicht abgeschätzt werden kann. Das Verbleiben einer gewissen Restverunkrautung nach Bestandesschluss hält er für tolerabel, erachtet einen unkrautfreien Bestand während des Keimblattstadiums der Zuckerrübe aus Ertragsgründen aber für unbedingt notwendig.

CARDINA et al. (1995) bestimmten für *Abutilon theophrasti* in Mais ökonomische Schadensschwellenwerte und berücksichtigten hierbei sowohl die Samenproduktion der Unkräuter als auch Ertragsverluste. Vor allem aufgrund der Samenproduktion der Pflanzen unterhalb der Schadensschwelle stellten sie die eigenen Schadensschwellenwerte in Frage. HARTZLER (1996) stellten bei Untersuchungen ebenfalls mit *Abutilon theophrasti* in einer Mais-Sojabohnen-Felderfolge fest, dass pro samentragender Pflanze innerhalb von vier Jahren ca. 1000 Nachkommen entstanden. Um Populationen dieser Unkrautart nach einmaligem Aussamen über die fünf folgenden Jahre unterhalb der Schadensschwelle in Mais zu halten, ist eine jährliche Reduktion von 90% erforderlich, bei jährlichem Aussamen sind 95% nötig (CARDINA und NORQUAY 1997).

Nicht nur aufgrund dieser Ergebnisse sieht NORRIS (1999) Probleme bei der Anwendung der ökonomischen Schadensschwelle und stellt dieses Konzept in Frage: Ähnlich wie CLARKE (2000) und JONES und MEDD (2000) befürchtet er zusätzlich einen Anstieg von herbizidresistenten Unkräutern bei der Anwendung der ökonomischen Schadensschwelle und vor allem infolge der Ausbringung von reduzierten Herbiziddosen. NORRIS (1999) schlägt daher zwei andere Schadensschwellenkonzepte vor. Um den Ausfall von Unkrautsamen bis zur Ernte zu verhindern, befürwortet er eine „Keine-Samen-Schwelle“ (NST: No-Seed-Threshold). Er räumt ein, dass dieses Konzept nur durch zusätzliche manuelle Unkrautbeseitigung realisiert werden kann und daher nur für hochwertigere Reihenfrüchte in Frage kommt. Als Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung dieses Konzeptes nennt er einen 60000 ha-Betrieb, der seit über 40 Jahren

auf 30000 ha Baumwollfläche die Unkräuter manuell beseitigt sowie einen Gemüsebaubetrieb mit 180 ha Bewirtschaftungsfläche, der ebenfalls die Unkrautregulierung zusätzlich manuell durchführt. Als Alternative, die besser zu realisieren ist, greift er die von COUSENS (1987) vorgeschlagene „Ökonomische-Optimum-Schadensschwelle“ (EOT: Economic-Optimum-Threshold) auf. Bei deren Festlegung werden im Gegensatz zur ökonomischen Schadensschwelle langfristige ökonomische Auswirkungen der Populationsdynamik von Unkräutern, besonders im Hinblick auf die Samenproduktion, berücksichtigt. Erste Ergebnisse zur Anwendung dieses Konzepts beschreiben u.a. DOYLE et al. (1986) für *Alopecurus myosuroides* in Winterweizen und BAUER und MORTENSEN (1992) in Sojabohnen. Diese Arbeiten haben gezeigt, dass die EOT niedriger liegt als die übliche ökonomische Schadensschwelle. JONES und MEDD (2000) schließen daraus, dass die ganzflächige Anwendung der EOT im Vergleich zur kontinuierlichen, prophylaktischen Herbizidkontrolle (d.h. Schadensschwelle=0) nur einen minimalen ökonomischen Profit bringt. JONES und MEDD diskutieren in ihren Ausführungen nur ganzflächige Behandlungskonzepte; teilschlagspezifische Unkrautkontrollmaßnahmen lassen sie unberücksichtigt.

Durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit konnten die genannten Bedenken gegenüber der ökonomischen Schadensschwelle mittelfristig nicht bestätigt werden (vgl. Abb. 6.1, S.79).

Neben Fehlern im Unkrautmanagement (ungünstiger Zeitpunkt der Herbizidapplikation, schlechte Witterung) und Wirkungsschwächen der Herbizide gegenüber einzelnen Unkräutern können weitere Gründe zu nicht ausreichenden Bekämpfungserfolgen führen. Hierbei ist beispielsweise an den von DIELEMAN et al. (1999) beobachteten dichteabhängigen linearen Bekämpfungserfolg zu denken: Sie stellten fest, dass mit steigender Unkrautdichte die Anzahl der Individuen, die die Unkrautkontrolle überlebten, zunahm. Physiologische Untersuchungen einzelner Unkrautpflanzen zeigten, dass die Aufnahme von Bodenherbiziden je Pflanze mit steigender Unkrautdichte abnahm (HEINRICH 1992) und aufgrund dessen die Wirkung der Herbizide in stark verunkrauteten Teilflächen abnimmt. Als Ursache für den geringeren Bekämpfungserfolg von Blattherbiziden nehmen DIELEMAN et al. (1999) eine „Beschattung“ von kleineren Unkrautpflanzen durch die Blätter der größeren Pflanzen an, so dass die kleineren Individuen von den Herbizidtropfen abgeschirmt sind. Daneben können Resistenzen einzelner Unkrautarten gegen Herbizide zu niedrigeren Bekämpfungserfolgen führen. Vor allem bei *Alopecurus myosuroides* wurde in den vergangenen Jahren die Problematik der Herbizidresistenz, speziell gegen Phenylharnstoffe (Chlortoluron, Isoproturon), verstärkt beobachtet (MILLS und RYAN 1995).

Als letztes soll auf eine weitere mögliche Ursache für die Heterogenität und Persistenz der Unkrautpopulationen eingegangen werden, die vor allem im Hinblick auf die teilschlagspezifische Herbizidapplikation von Bedeutung ist. Als Folge von Spritzfehlern bei der Herbizidapplikation in den Vorjahren, z.B. aufgrund technischer Probleme, die nicht dokumentiert sind, ist es möglich, dass Teile eines Feldes nicht mit Herbiziden behandelt wurden. In diesen Feldbereichen können Unkräuter, mit den Kulturpflanzen um die Wachstumsfaktoren konkurrierend, bis zur Ernte der Kulturpflanze relativ ungestört aufwachsen und Samen produzieren. Bei der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle werden ebenfalls, allerdings bewusst, Teilflächen eines Feldes von der Herbizidapplikation ausgespart, so dass Kritiker dieses Konzeptes auf die Gefahr einer Zunahme der Unkrautpopulationen in diesen Bereichen hinweisen (s. hierzu NORRIS 1992b). Bislang liegen jedoch wenige Vergleiche zur Entwicklung der Unkrautpopulationen zwischen nicht behandelten und behandelten Teilflächen vor, um abzuschätzen, ob die Anwendung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle im Vergleich zur ganzflächigen Herbizidapplikation langfristig zu einer stärkeren Verunkrautung führte.

GOUDY et al. (2001) verglichen in ihrer Studie erstmals teilschlagspezifische und ganzflächige Unkrautkontrolle bezüglich Effizienz sowie Ertrag anhand von Parzellenversuchen im gleichen Feld. In diesen Untersuchungen umfasste der Untersuchungszeitraum jedoch lediglich zwei Jahre (in den Fruchtarten Mais und Sojabohnen). Für *Chenopodium album*, *Sonchus asper* L. sowie *Equisetum arvense* L. konnten sie keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Verfahren im Hinblick auf die o.a. Parameter feststellen. Die Berechnung des Erfolges der Unkrautkontrolle erfolgte analog zu der vorliegenden Arbeit durch den Vergleich zwischen Ausgangsverunkrautung und der Verunkrautungssituation ca. 3-4 Wochen nach Herbizidapplikation. Die Aufnahme der Restverunkrautung wurde nicht durchgeführt. Die Erfolgsraten für die Kontrolle von CHEAL lagen bei GOUDY et al. (2001) in beiden Jahren in einem Bereich zwischen 28 und 70% (Ausgangsverunkrautung: 1,4-5,2 Pflanzen/m<sup>2</sup>). Die Effizienz der Unkrautkontrolle war damit bedeutend niedriger als die Werte der vorliegenden Versuche (93,7-99,9% in Körnermais der Felderfolge, 73,9-99,9% in allen Feldern und Fruchtarten; vgl. Anhangstab. 30, S.166). Für die beiden anderen Unkräuter lagen die Bekämpfungserfolge bei GOUDY et al. bei 76-92% bzw. 68-99% und damit in Bereichen die in der vorliegenden Arbeit bei den übrigen Unkräutern mit Ausnahme der Ungräser ebenfalls häufig erreicht wurden. Die Autoren beschrieben diese Ergebnisse der verschiedenen Kontrollmaßnahmen als „exzellent“. Unter dem Aspekt der negativen Folgen eines stärkeren Unkrautbesatzes auf den Ertrag (v.a. in Körnermais und Zuckerrüben) ist der in den eigenen Versuchen erzielte Erfolg der Unkrautkontrolle ausreichend wie TIMMERMANN et al. (2002) nachwies. Möglicherweise verbleiben aber

selbst bei niedriger Ausgangsverunkrautung nach Abschluss der Maßnahmen genug Unkräuter auf dem Feld, um aufgrund ihrer Samenproduktion bis zur Ernte den Verlust an Samen aus der Samenbank auszugleichen. NORRIS (1992b) erachtet in diesem Zusammenhang bereits ein einzelnes Unkraut, das zur Samenproduktion kommt, langfristig für nachteilig.

Die Problematik der Restverunkrautung wurde in der vorliegenden Arbeit im Rahmen von zusätzlichen Parzellenversuchen genauer untersucht und soll im folgenden speziell am Beispiel von *Chenopodium album* dargelegt werden.

In Zuckerrüben und Körnermais der Felderfolge und vor allem in der Maismonokultur kam *Chenopodium album* trotz hoher Bekämpfungserfolge - sowohl in der teilschlag-spezifisch behandelten Gesamtfläche als auch in den Parzellen - zur Samenreife. Es stellt sich die Frage, ob die hohen Bekämpfungserfolge im Hinblick auf die Restverunkrautung nicht ausreichend sind und welche Gründe für teilweise geringere Reduktionsraten ausgemacht werden können.

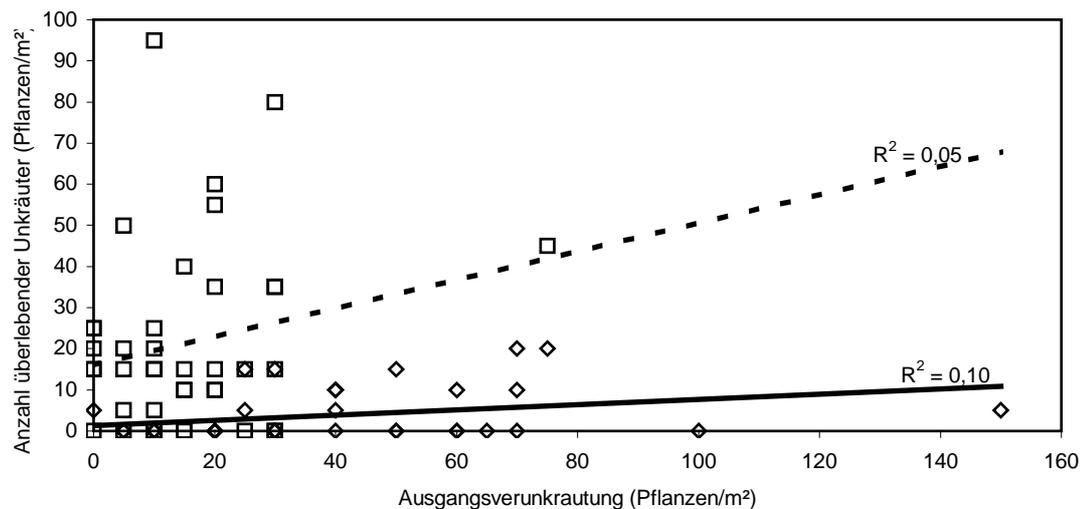


Abb. 6.2 Einfluss von zwei Unkrautkontrollmaßnahmen (□ : Standardherbizid ohne Maschinenhacke, ◇ : Standardherbizid und Maschinenhacke und Untersaat) auf das Verhältnis zwischen Ausgangsverunkrautung (*Chenopodium album*) und der Anzahl überlebender Pflanzen in Feld GH (Parzellen) im Jahr 2001.

Anders als bei DIELEMAN et al. (1999) war der Erfolg der Unkrautkontrolle in den Parzellen und im Gesamtfeld nicht ausgeprägt dichteabhängig. Die Berechnung der Bestimmtheitsmaß zeigt nur einen minimalen linearen Zusammenhang zwischen der Höhe der Ausgangsverunkrautung und der Anzahl der die Unkrautkontrolle überlebenden Pflanzen (Abb. 6.2 und Abb. 6.3).

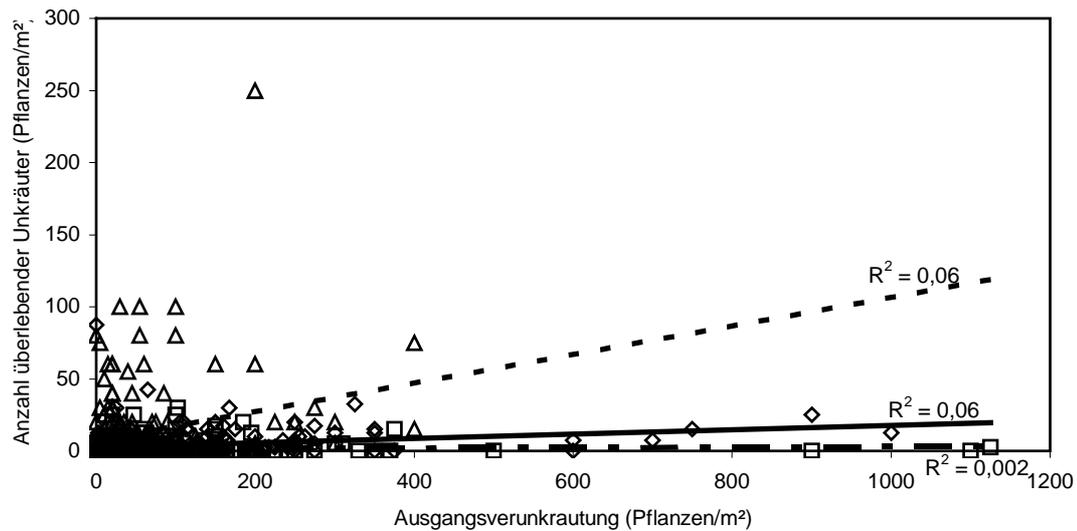


Abb. 6.3 Zusammenhang zwischen Ausgangsverunkrautung (*Chenopodium album*) und der Anzahl überlebender Pflanzen in Feld GH in den Jahren 1999 (○), 2000 (◻) und 2001 (△).

DIELEMAN et al. (1999) erwarteten statt des beobachteten positiv linearen einen kurvenförmigen Zusammenhang zwischen Ausgangsverunkrautung und überlebenden Unkräutern, bei dem der Bekämpfungserfolg bei sehr hohen Unkrautdichten unproportional abnehmen würde. Als Ursache für den linearen Zusammenhang führten sie an, dass die Unkrautkontrollmaßnahmen für die behandelten Populationen „zu stark“ bzw. die Populationsdichten so gering waren, dass für jedes Unkraut die gleiche Wahrscheinlichkeit bestand, eine biologisch wirksame Herbiziddosis abzubekommen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigten, dass durch eine Intensivierung der chemischen Maßnahmen meist keine wesentliche Steigerung des ohnehin meist sehr hohen Bekämpfungserfolges möglich war (vgl. Kap. 5.5, S.68ff.); die beobachteten Unkrautpopulationen konnten unabhängig von ihrer Höhe ausreichend dezimiert werden. Aufgrund dieser Ergebnisse scheinen die ausgebrachten Herbizidmengen unterhalb der zugelassenen Herbiziddosis unproblematisch und für die beobachteten Unkrautdichten empfehlenswert. Geringere Bekämpfungserfolge waren nicht auf höhere Verunkrautungsdichten zurückzuführen.

Aus Anhangstab. 30 (S.166) geht hervor, dass CHEAL in den behandelten Teilflächen der beiden Getreidearten unproblematisch war, da dieses Unkraut durch die Kontrollmaßnahmen komplett beseitigt werden konnte. Doch sowohl in Getreide als auch in den Hackfrüchten zeigte sich, dass in den unbehandelten Teilflächen die Dichte teilweise geringfügig zugenommen hatte. Vor allem unter diesem Aspekt könnten die Kritiker des „ökonomischen Schadensschwellenkonzeptes“ und auch der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle, die Probleme mit der Restverunkrautung aufgrund neu pro-

duzierter Samen in unbehandelten Flächen vorhersagen, durch die vorliegende Arbeit bestätigt werden. Aus ertragswirtschaftlichen Gründen ist die Zunahme der Unkräuter unbedeutend, wie TIMMERMANN (2001) in seiner Arbeit feststellte, so dass nicht von einem unmittelbaren ökonomischen Schaden gesprochen werden kann. Diese Erkenntnis und das Wissen um die monetären Einsparungen aufgrund der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle sollte als wesentliches Argument für den Nutzen dieses Verfahren in die Diskussion um zukünftige Unkrautkontrollstrategien einfließen. Bezüglich der Stabilität der Unkrautpopulationen könnte die Restverunkrautung jedoch langfristig relevant sein. Die Ermittlung der Samenproduktion der gefundenen Pflanzen vor der Ernte der Hackfrüchte lässt einen erheblichen Eintrag von Samen in das Bodensamenpotenzial erwarten. In Sonnenblumen, in denen die gesamte Fläche mit Herbiziden behandelt wurde, wurde die höchste Restverunkrautung in den fünf Fruchtarten der Felderfolge ermittelt. Die in den drei Hackfrüchten ermittelten Samenerträge lagen z.T. bedeutend niedriger als die in der Literatur angegebenen Werte für *Chenopodium album* (vgl. Tab. 6.1). Dies lag zum einen an der Konkurrenz durch die Kulturpflanzen, die in Tab. 6.1 teilweise auch berücksichtigt wurde, unter Umständen aber auch an der Behandlung der Parzellen mit Herbiziden. Ähnliche Ergebnisse beobachteten BINIAK und ALDRICH (1986) bei *Abutilon theophrasti* und *Setaria faberi* Herrm. nach der Applikation von Herbiziden in Sojabohnen.

Tab. 6.1 Werte zur Samenproduktion von *Chenopodium album* in der Literatur

Autor	Samen/Pflanze	
DU RETAIL (1983)	120000-870000	Gefäßversuch
STEVENS (1932)	72450	
HARRISON (1990)	30000-176000	in Sojabohnen
HANF (1982)	3000(-20000)	
HARTLEY (1991)	2400-42000	in Zuckermais

In Getreide konnte CHEAL in den Parzellen nicht zur Samenreife gelangen, so dass sowohl in Winterweizen als auch in Wintergerste kein Eintrag in das Samenpotenzial zu erwarten war.

Die genaue Ermittlung der Samenproduktion im Bestand ohne Störung des Wachstums der zu untersuchenden Pflanzen und Veränderung der Konkurrenzbedingungen ist sehr schwierig. Aus den ermittelten Werten lässt sich jedoch ableiten, dass in Mais und Zuckerrüben mehr Samen neu produziert wurden als nur durch das Auflaufen der Unkräuter und anschließende Unkrautkontrolle verloren gingen. Daneben müssen jedoch weitere Faktoren, die zu einer Reduktion des Samenpotenzials im Boden führen berücksichtigt werden: hierzu gehören vor allem der Fraß der Samen durch verschiedene Tiere, fatale Keimung, Absterben von Pflanzen, Abfuhr mit dem Erntegut etc..

Darüber hinaus ist der Anteil der fertilen Samen an den neu produzierten Samen unbekannt. Bei genauerer Kenntnis der Größenordnungen dieser Faktoren wäre es möglich, die Dynamik einer Unkrautpopulation besser zu verstehen und die Stabilität von Unkrautnestern zu erklären. Als Folge der Menge der unvorhersehbaren und spezifischen Einflüsse (Klima, Bodenart etc.) ist es jedoch nahezu unmöglich, ein Modell zu entwickeln, das die komplexen Vorgänge innerhalb einer Unkrautpopulation hinreichend berücksichtigt. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse bleibt aber festzuhalten, dass in den unbehandelten Teilflächen keine signifikante Zunahme der Unkrautpopulationen beobachtet werden konnte. Das heißt für zukünftige Modelle, dass die Mortalitätsrate der Pflanzen in schwach verunkrauteten Bereichen als Folge der Konkurrenz durch die Kulturpflanzen sowie samenreduzierender Einflüsse im Boden sehr hoch ist und daher mit keinem oder nur sehr geringem Eintrag von Samen in den Boden zu rechnen ist. Bisher wurde häufig davon ausgegangen, dass diese Unkrautpopulationen ohne den Einsatz von Herbiziden nach mehreren Jahren stark zunehmen. FRECKLETON und WATKINSON (1998) stellten beispielsweise ein Modell zur Populationsdynamik von CHEAL in Zuckerrüben vor, in dem sie unter anderem die Mortalitätsrate der Unkräuter infolge der Kontrollmaßnahmen als einen der „Schlüsselparameter“ für die langfristigen Veränderungen von Unkrautpopulationen ansehen.

Andererseits scheint es sehr schwierig, mit konventionellen Kontrollmaßnahmen Unkrautnester zu beseitigen oder zumindest zu reduzieren: Während SCHWEIZER und ZIMDAHL (1984) nur durch den Einsatz von Herbiziden (u.a. mit dem in Deutschland verbotenen Atrazin) über sechs Jahre das Samenreservoir verschiedener Unkräuter im Boden um bis zu 99% senken konnten, beobachteten andere Autoren die Stabilität von Unkrautnestern über ähnliche Zeiträume trotz andauernder Kontrollmaßnahmen (WILSON und BRAIN 1991, REW und CUSSANS 1995, DIELEMAN und MORTENSEN 1999). Diese Ergebnisse waren Hinweise auf das persistente Samenpotenzial im Boden.

Es bleibt festzuhalten, dass die Unkrautkontrolle als eine der wenigen Möglichkeiten der direkten und unmittelbaren Einflussnahme auf die Unkrautpopulationen in ihrer Effizienz - bei geringem Aufwand - weitgehend optimiert ist. Trotzdem stellt sich die Frage wie der Praktiker die Bekämpfungsstrategien und -erfolge mit zumutbarem finanziellem Aufwand weiter verbessern kann. Dies gilt vor allem unter der Annahme, dass der Landwirt bei niedrigen Erzeugerpreisen für landwirtschaftliche Produkte und sinkenden Deckungsbeiträgen aus Profitabilitätsgründen wenig Möglichkeiten hat, die Kontrollmaßnahmen zu intensivieren.

### 6.3 Ausblick

Da der zunehmende Herbizideinsatz von der Gesellschaft zunehmend kritisch bewertet wird, besteht ein Bedarf für pflanzenbauliche Maßnahmen und Technologien, um Pflanzenschutzmittel einzusparen, die sowohl vom Landwirt als auch von Bevölkerung und Gesetzgeber akzeptiert werden. In vielen Ländern Westeuropas gibt es bereits Bestrebungen seitens der Politik, die zu einem verminderten Pflanzenschutzmitteleinsatz führen sollen (FALCONER 1998), um die negativen Folgen des Herbizideinsatzes (Eintrag ins Grundwasser und Trinkwasser, Schäden für Nicht-Zielorganismen) zu reduzieren. Mögliche Ansätze wären eine erhöhte Besteuerung von Pflanzenschutzmitteln oder die Förderung umweltschonenderer Technologien (FALCONER und HODGE 2000). In Dänemark, Schweden und den Niederlanden wurden bereits Programme zur Reduzierung der ausgebrachten Wirkstoffmenge pro Hektar um bis zu 50% auf den Weg gebracht (BEAUMONT 1993, JANSMA et al. 1993 EKSTRÖM und BERNSON 1995). Daher wird es umso wichtiger, die Herbizide an der richtigen Stelle innerhalb des Feldes einzusetzen, d.h. richtig zu platzieren, wie es mit der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation möglich ist.

VANGESSEL et al. (1996) verglichen verschiedene Unkrautkontrollkonzepte und stellen fest, dass der intensive Einsatz von Herbiziden durch eine Kosten-Nutzen-Analyse nicht gerechtfertigt sei. Sie kommen anhand eines bioökonomischen Modells zu dem Schluss, dass integrierte Unkrautkontrollmaßnahmen mit „multiplen Kontrolloptionen“ erforderlich sind. Der empfohlene Ansatz mit zusätzlichen pflanzenbaulichen und mechanischen Maßnahmen ist zeitaufwendiger als die konventionelle Unkrautkontrolle und erfordert größeres Können des Anwenders. Ihrer Meinung nach sollte das Ziel aller Kulturmaßnahmen langfristig die Verringerung bzw. Beseitigung der Samen im Boden sein und nicht allein die jährliche Sicherung des Ertrages in jeder einzelnen Kulturart. In diesem Zusammenhang kritisieren sie das Konzept der ökonomischen Schadschwelle, da oftmals nur die Alternative „Ausbringung“ oder „keine Ausbringung“ eines einzelnen Herbizides in Erwägung gezogen wird. Der volle ökonomische Nutzen verfügbarer multipler chemischer und nicht chemischer Maßnahmen wird oftmals außer Acht gelassen.

Im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes, bei dem der chemische Pflanzenschutz weiterhin einen unverzichtbaren Bestandteil bildet, ist beispielsweise an das Konzept der „minimalen letalen Herbizid Dosis“ (Minimum Lethal Herbicide Dose: MLHD) zu denken: das MLHD-Konzept wurde von COUSENS und MORTIMER (1995) vorgestellt. Mit Hilfe von tragbaren Sensoren maßen sie die Effizienz stark reduzierter Dosen von photosynthesehemmenden Herbiziden (Wirkstoff: Metribuzin) kurz nach der Applikation. Aufgrund der ermittelten Photosyntheserate der Unkräuter entschieden sie, ob eine

weitere Maßnahme nötig war. Diese Methode ist - bei geringem Risiko eines niedrigen Bekämpfungserfolges - in den Niederlanden mittlerweile zu einem Entscheidungssystem zur Unkrautkontrolle geworden, mit dessen Hilfe der Herbizidverbrauch und -eintrag weiter gesenkt werden kann. Durch das Konzept der MLHD wird somit die Effizienz reduzierter Herbiziddosen, wie sie ebenfalls der vorliegenden Arbeit zugrunde liegen, weiter bestätigt und als wichtiger Bestandteil des integrierten Pflanzenschutzes gesehen. Auf die Problematik der Herbizidresistenz infolge der reduzierten Aufwandmengen gehen die Autoren nicht ein. Dies wäre vor allem unter dem Aspekt wichtig, dass das HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) bei der ausgebrachten Wirkstoffgruppe (Triazinone), zu der der Wirkstoff Metribuzin gehört, eine Selektion von resistenten Biotypen als besonders wahrscheinlich erachtet (ZWERGER und AMMON 2002).

Die Unkrautkontrolle nach Schadensschwellen ist eine der zentralen Ansätze der integrierten Landbewirtschaftung zur Verminderung von Boden-, Wasser- und Luftbelastung. Besonders die teilschlagspezifische Herbizidausbringung ermöglicht die Reduktion von Herbiziden, da es mit dieser Technologie möglich ist, geringere Wirkstoffmengen auf die Teilflächen auszubringen, auf denen sie nötig sind. Da es für Hackfrüchte bislang kein brauchbares Schadensschwellenkonzept gibt, sollten die ausgebrachten Herbizide an die vorhandene Unkrautdichte und Unkrautarten angepasst werden. Durch die Anpassung und Variation der ausgebrachten Dosis sowie die Auswahl selektiver Herbizide (Ungräser, Klettenlabkraut, Disteln) können, wie die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, Herbizide eingespart werden, ohne dass Probleme in den Folgejahren zu beobachten waren. Vor allem in Zuckerrüben, die in Deutschland den höchsten Deckungsbeitrag erzielen, wird der Praktiker einer nicht ganzflächigen Unkrautkontrolle skeptisch gegenüber treten. Dieser Problematik wurde in den Versuchen auf dem Dikopshof bereits Rechnung getragen: in allen Jahren lag der Anteil der mit Herbiziden behandelten Fläche nahe 100%, die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle wurde lediglich bezüglich der Variation der ausgebrachten Herbizidmenge realisiert. Ob sich durch dieses Vorgehen herbizidresistente Populationen entwickeln, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht absehbar und wurde auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht getestet. Dennoch sollte diese Problematik bei zukünftiger Anwendung der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation mit reduzierten Dosen beachtet werden.

Der von TIMMERMANN et al. (2003) beschriebene ökonomische Nutzen dieses Verfahrens spiegelt sich sowohl in monetären Einsparungen als auch in den mit konventionellen Maßnahmen erwirtschafteten vergleichbaren Erträgen wider. Da sich über den Beobachtungszeitraum in den unbehandelten Teilflächen keine auffällige Vermehrung

der Unkrautpopulationen zeigte, scheint die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle als Standardmaßnahme geeignet zu sein.

Trotz der genannten Bedenken anderer Autoren sehen auch SWANTON et al. (1999) in Unkrautschadensschwellen einen wesentlichen Bestandteil der integrierten Unkrautkontrolle, fordern aber in Übereinstimmung mit JONES und MEDD (2000) sowie O'DONOVAN (1996), dass die Schadschwellenkonzepte durch weitere integrierte Pflanzenschutzpraktiken unterstützt werden müssen, um die Folgen des Sameneintrages infolge der Restverunkrautung zu reduzieren. Hierbei denken die genannten Autoren an eine Anpassung des Anbausystems mit modifizierten Felderfolgen und Saatterminen, zusätzlicher Bodenbearbeitung, variablen Saaddichten, flacher Aussaat und Banddüngung. Die der vorliegenden Arbeit zugrundeliegenden Bewirtschaftungsmaßnahmen auf dem Dikopshof neben der chemischen Unkrautkontrolle können im Sinne einer integrierten Bewirtschaftung sicherlich weiter optimiert werden. Andererseits wurden bereits einige Aspekte integrierter Unkrautkontrolle im Sinne der von VANGESSEL ET AL. (1996) vorgeschlagenen Empfehlungen berücksichtigt: hierzu gehört neben der Felderfolge v.a. auch die mechanische Unkrautkontrolle in den Hackfrüchten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigten, dass nur die Variation oder Intensivierung der Maßnahmen (chemisch und/oder mechanisch) nur geringen Einfluss auf den Bekämpfungserfolg hatte (Abb. 5.21 (S.69) - Abb. 5.23 (S.71)). Die Intensivierung der Maßnahmen führte nicht stets zu höheren Reduktionsraten, oftmals hatten weniger intensive Maßnahmen in den Parzellen einen höheren Rückgang der Unkrautdichte zur Folge. Aufgrund der verbleibenden Restverunkrautung und der daraus resultierenden Samenproduktion in den Parzellen war nicht mit einer Verringerung der Samen im Boden zu rechnen. Erfolgreiche Maßnahmen anderer Arbeitsgruppen zur Senkung der Samenproduktion, hier ist v.a. an die Applikation von Atrazin in Mais oder die Anwendung der „Null-Samen-Schwelle“ zu denken, sind in Deutschland verboten oder vom ökologischen oder ökonomischen Standpunkt indiskutabel. Da mit den bisher durchgeführten Maßnahmen die Unkrautnester kurzfristig nicht reduziert werden konnten, sollten in Zukunft teilschlagspezifische Bewirtschaftungskonzepte entwickelt werden, die den Inhomogenitäten und der Persistenz der Unkrautpopulationen innerhalb eines Feldes Rechnung tragen: diese sollten weit über die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung hinausgehen und zusätzlich bei Aussaat und Düngung berücksichtigt werden, um in jedem Teil des Feldes den optimalen „Erlös“ zu erwirtschaften. Das heißt, in Feldbereichen mit schlechteren Bodeneigenschaften sollte die Aussaatstärke reduziert werden, um die intraspezifische Konkurrenz der Kulturpflanzen zu senken und damit gegebenenfalls die Konkurrenz gegenüber den Unkräutern zu steigern. Ähnliches gilt für die Düngung, da, wie bereits erwähnt, PALLUTT und FLATTER (1998) nachwiesen,

die Konkurrenzkraft von Unkräutern gegenüber den Kulturpflanzen auf schlechteren Böden nachlässt. Durch die Düngung würden in diesen Feldbereichen spezielle Unkrautarten stärker gefördert als die angebaute Feldfrucht.

Langfristig ist durch die teilschlagspezifische Bewirtschaftung von Ackerschlägen als Gesamtkonzept eine weitere Optimierung der landwirtschaftlichen Produktion zu erwarten. Hier ist an eine Integration von kleinräumigem Pflanzenschutz, aber auch der Düngung, Aussaat und Bodenbearbeitung in den integrierten Pflanzenproduktionsprozess zu denken. Dieses Konzept würde den Heterogenitäten innerhalb eines Feldes besser Rechnung tragen und könnte dazu beitragen, die Ertragsunterschiede durch geeignete Maßnahmen auszugleichen oder zumindest zu relativieren. Da, wie TIMMERMANN et al. (2002) nachweisen konnten, die Ursachen für die Ertragsvariabilität häufig auch die Verteilung von Unkräutern beeinflussen, könnte dieses Vorgehen einen positiven Einfluss auf die Unkrautpopulationen haben. Analog zu den Ertragsunterschieden ist es jedoch sehr schwierig, die Ursachen für die Verteilungsmuster der Unkräuter zu identifizieren, da meist mehr als ein Faktor das Auftreten der Unkräuter beeinflusst.

Die Ausarbeitung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit hat gezeigt, dass weitere Fragestellungen zur Persistenz von Unkrautpopulationen zu klären sind. Um die Dynamik der Unkrautnester langfristig modellieren zu können, sind genauere Zahlen zu Sameneintrag und -verlusten während des Jahres nötig. In diesem Zusammenhang muss auch die mögliche Samenproduktion der nach der Ernte gekeimten Unkräuter berücksichtigt werden (siehe hierzu auch HOWARD et al. 1991). Darüber hinaus sind weitere Untersuchungen zur Restverunkrautung und Samenproduktion in behandelten und unbehandelten Teilflächen sowie zum Samenpotenzial im Boden dringend erforderlich. Die Problematik der Restverunkrautung relativieren allerdings NIEMANN et al. (2000) und sehen als Vorteile neben dem verminderten Herbizideintrag in die Umwelt den geringeren Selektionsdruck auf die Unkrautpopulationen.

Das Fehlen von geeigneten Sensoren sehen SYLVESTER-BRADLEY et al. (1999) als Haupthindernis für eine bessere Akzeptanz des Präzisionspflanzenbaus. Diese Problematik ist auch in der Anwendung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle evident: die bisher angewandeten Methoden zur Kartierung der Unkräuter eines Feldes sind entweder zu arbeitsintensiv und daher unrentabel oder nicht präzise genug. Dazu kommen auf dem gesamten Gebiet der kleinräumigen Bewirtschaftung Schwierigkeiten bei der Interpretation der Daten (z.B. Ertragskarten). Auf die Problematik der Kartierung von Unkräutern und vor allem der Interpretation der Verteilungskarten soll im nächsten Kapitel näher eingegangen werden.

## Die Stabilität von Unkrautpopulationen und Parameter zu deren Beschreibung

### 7 Ergebnisse

#### 7.1 Lloyds *patchiness* Index als Maß für die Aggregation von Unkrautpopulationen

Tab. 7.1 zeigt die mittlere Verunkrautung (Pflanzen/m<sup>2</sup>), Standardabweichung sowie Lloyds *patchiness* Index für die Ungräser in Feld 8, *Viola arvensis* in Feld 9 und *Galium aparine* in Feld 6 über den Versuchszeitraum (vgl. Kap. 4.3.2, S.28ff.).

Tab. 7.1 Mittlere Verunkrautung (Pflanzen/m<sup>2</sup>), Standardabweichung und Lloyds *patchiness* Index der Ungräser in Feld 8, *Viola arvensis* in Feld 9 und *Galium aparine* in Feld 6 über den Versuchszeitraum (KM: Körnermais, ZR: Zuckerrüben, WW: Winterweizen, WG: Wintergerste)

<b>Feld 8</b>	<b>Gras</b>		Mittelwert $\bar{x}$	Standardabweichung s	PI
1997		KM	4,4	10,0	6,0
1998		ZR	9,2	17,8	4,7
1999		WW	6,2	9,8	3,3
2000		WG	4,4	9,1	5,0
2001		KM	1,9	3,3	3,6
<b>Feld 9</b>	<b>VIOAR</b>		Mittelwert $\bar{x}$	Standardabweichung s	PI
1998		KM	21,4	29,8	2,9
1999		ZR	32,6	47,2	3,1
2000		WW	29,7	38,2	2,6
2001		WG	9,7	11,9	2,4
<b>Feld 6</b>	<b>GALAP</b>		Mittelwert $\bar{x}$	Standardabweichung s	PI
1998		WW	0,4	1,4	12,1
1999		WG	2,6	8,6	11,9
2000		KM	1,2	2,4	4,4
2001		ZR	1,4	3,3	6,3

Für alle drei untersuchten Unkräuter liegt der *patchiness* Index in allen Jahren und Feldern über einem Wert von 1, d.h., dass die Unkräuter auf den drei Feldern aggregiert sind und zur Nesterbildung tendieren. Die Aggregation von *Galium aparine* war vergleichsweise am höchsten, die der Ungräser war höher als die von *Viola arvensis*.

## 7.2 Visuelle Interpretation der Stabilität der untersuchten Unkrautpopulationen in den Verteilungskarten

Es zeigte sich, dass die visuelle Interpretation der Nester stark abhängig von der Höhe der Schwellenwerte war. Bei einer Klassifizierung der Unkrautdichte mit Orientierung an den Schwellenwerten entsprechend Tab. 4.5 (S.30) wurden die verunkrauteten Flächen im ersten Schritt über die Höhe dieser Schwellenwerte definiert; im zweiten Schritt ist die Aggregation der über den Schadschwellen liegenden Unkrautpopulationen zu untersuchen. Die Schwellenwerte wurden so festgelegt, dass Unkrautaggregationen in gleichen Feldbereichen unabhängig von der angebauten Fruchtart in den Verteilungskarten abgebildet wurden. Für Ungräser und *Galium aparine* erfolgte die Festlegung in Anlehnung an die ökonomische Schadensschwelle und infolgedessen auch an die Höhe der ausgebrachten Herbiziddosis. In den Verteilungskarten aller drei untersuchten Unkräuter wurden einzelne Feldbereiche und die daran liegenden Populationen nach subjektiven Gesichtspunkten zur visuellen Interpretation in den Verunkrautungsklassen „hoch“ und „mittel“ ausgewählt. Ein objektives Verfahren zur Auswahl zu untersuchender Feldbereiche wird in Kap.7.4 dargestellt (s. S.108). Für die Verunkrautungsklasse „gering“ konnten in den Verteilungskarten nur schwache Aggregationen beobachtet werden; aufgrund der geringen Populationsdichte waren die Übergänge der Populationen häufig fließend, so dass es problematisch war, die Nester abzugrenzen (vgl. Abb. 7.3 (S.99), Abb. 7.6 (S.102), Abb. 7.9 (S.105)). Aus diesem Grund wurden die Verteilungskarten der niedrigen Verunkrautungsklasse zur weiteren visuellen Interpretation der drei untersuchten Unkrautarten sowie bei der bildanalytischen Auswertung der Verteilungskarte der Ungräser nicht berücksichtigt.

Die Ungraspopulation in Feld 8 oberhalb des hohen Schwellenwertes (Abb. 7.1 (S.97), Feldbereich 1) zeigte von 1997 zu 1998 eine Zunahme im nordwestlichen Bereich und vergrößerte sich entgegen der Arbeitsrichtung in ihrer Ausdehnung. In den beiden Folgejahren blieb die neue Population im nordwestlichen Bereich annähernd konstant. Im Jahr 1999 war die Population im Vergleich zu den übrigen Jahren gesplittet. Darüber hinaus war eine Ausdehnung der Population in südöstliche Richtung des Feldes festzustellen. In 2001 fand sich nur eine sehr kleine Population am nordwestlichen Rand des Feldes.

Für die mittlere Unkrautklasse (Abb. 7.2, S.98) waren ähnliche Ergebnisse zu beobachten: eine Zunahme der Population in „Feldbereich 1“ im nordwestlichen ebenso wie im südöstlichen Bereich, vor allem im Vergleich des Jahres 1997 mit den drei Folgejahren. Auch hier wich das Verteilungsmuster des Jahres 2001 im Vergleich zu den Vorjahren stark ab. Neben der Population im „Feldbereich 1“ erstreckte sich eine weitere Popula-

tion parallel zu der beschriebenen am östlichen Feldrand („Feldbereich 2“; Abb. 7.2, S.98), diese war jedoch nicht so stark ausgeprägt und stabil wie die Unkrautaggregation in „Feldbereich 1“. Vor allem in den Jahren 2000 und 2001 nahm sie in ihrer Größe ab.

Insgesamt ließ sich eine Ausrichtung der beiden Populationen in Bearbeitungsrichtung feststellen, aufgrund der visuellen Interpretation kann die Population im „Feldbereich 1“, vor allem für die Jahre 1998-2000, als stabil bezeichnet werden.

Die *Viola arvensis*-Population 1 wurde nur in einem Jahr (2000) oberhalb der höchsten Schadensschwelle kartiert (Abb. 7.4, S.100). In der mittleren Verunkrautungsklasse lag die Population stark gesplittet in dem untersuchten Feldsegment vor (Abb. 7.5, S.101), wurde aber in allen vier Jahren beobachtet, wenn auch im Jahr 2001 nur schwach.

Die Population in Feldbereich 2 in der südlichen Hälfte konnte bezüglich ihrer Flächengröße vor allem für die mittlere Verunkrautungsklasse (Abb. 7.5, S.101) in den ersten drei Jahren als stabil bezeichnet werden, die Flächengröße scheint ungefähr konstant. Im Jahr 2001 nahm die Größe stark ab, die Ähnlichkeit mit den Vorjahren war geringer. Wie bei Population 1 zeigte sich auch hier eine Ausrichtung in Bearbeitungsrichtung in allen Jahren.

Die *Galium aparine*-Populationen (Abb. 7.7, S.103, Abb. 7.8, S.104) zeigten vor allem in der mittleren Verunkrautungsklasse keine ausgeprägten Verteilungsmuster über den Versuchszeitraum wie bei den beiden zuvor genannten Unkräutern. Die Auswahl von zu untersuchenden Populationen und Feldbereichen war daher sehr schwierig. Die *Galium aparine*-Population 1 nahm in beiden untersuchten Verunkrautungsklassen in ihrer Fläche über die vier Jahre kontinuierlich zu und kann in ihrer Lage als annähernd stabil bezeichnet werden. Im Gegensatz dazu war die zweite Population in der Verunkrautungsklasse „hoch“ im Jahr 1999 am größten, während das Unkraut im Folgejahr oberhalb des hohen Schwellenwertes nicht kartiert wurde (Abb. 7.7). Die Lage der Nester variierte in allen Jahren sehr stark. Die Fläche mit mittlerer *Galium aparine*-Verunkrautung war im Jahr 1999 am höchsten, in 1998 und 2001 war die Population in dem Feldsegment gesplittet (Abb. 7.8).

Die GALAP-Populationen zeigten ebenfalls eine Ausrichtung in Bearbeitungsrichtung.

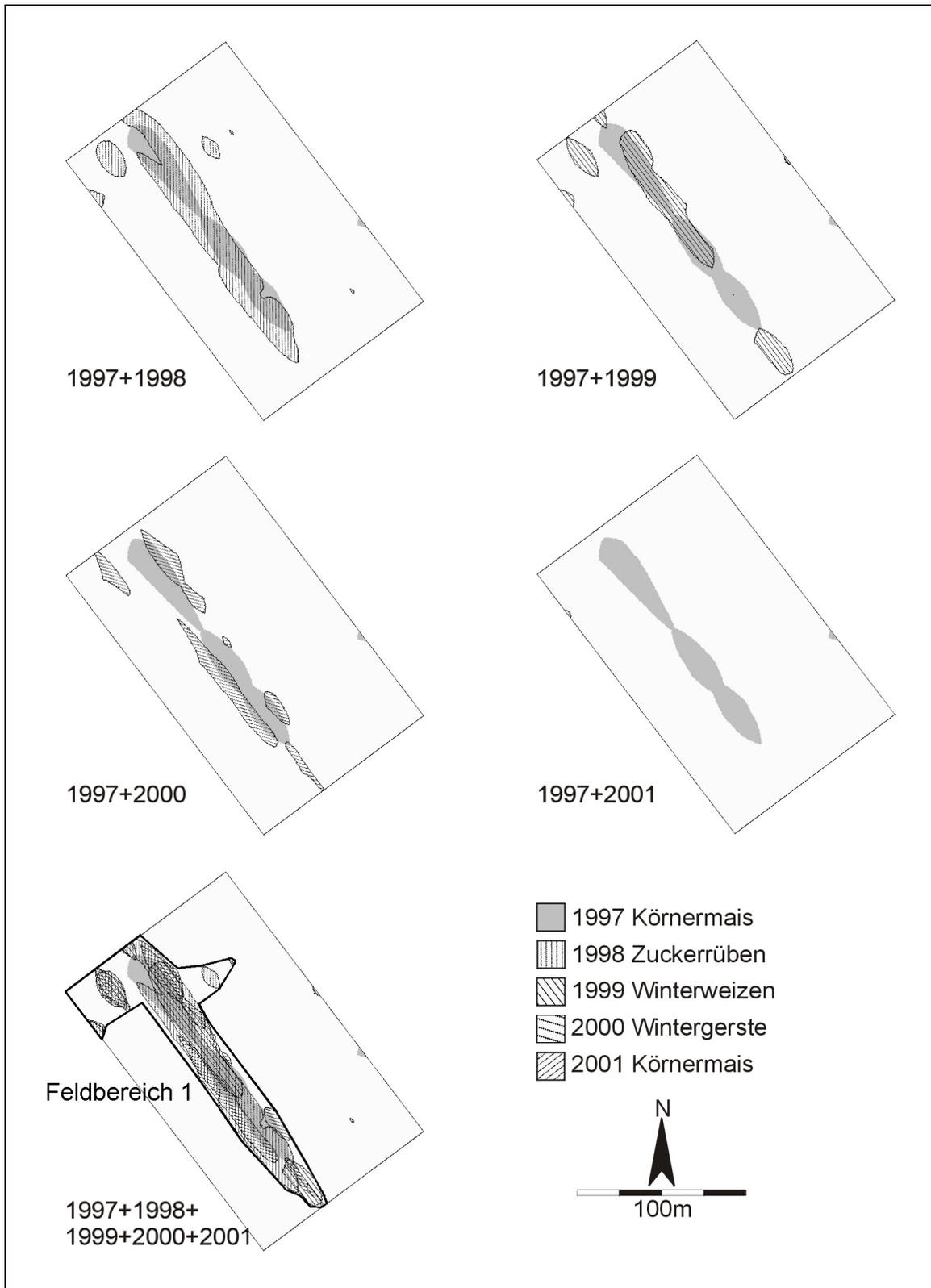


Abb. 7.1: Kombination der Verteilungskarte der Ungräser (überwiegend *Alopecurus myosuroides*) (**Schwellenwert: „hoch“ [ $>20^{\circ}$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1997 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre in Feld 8.

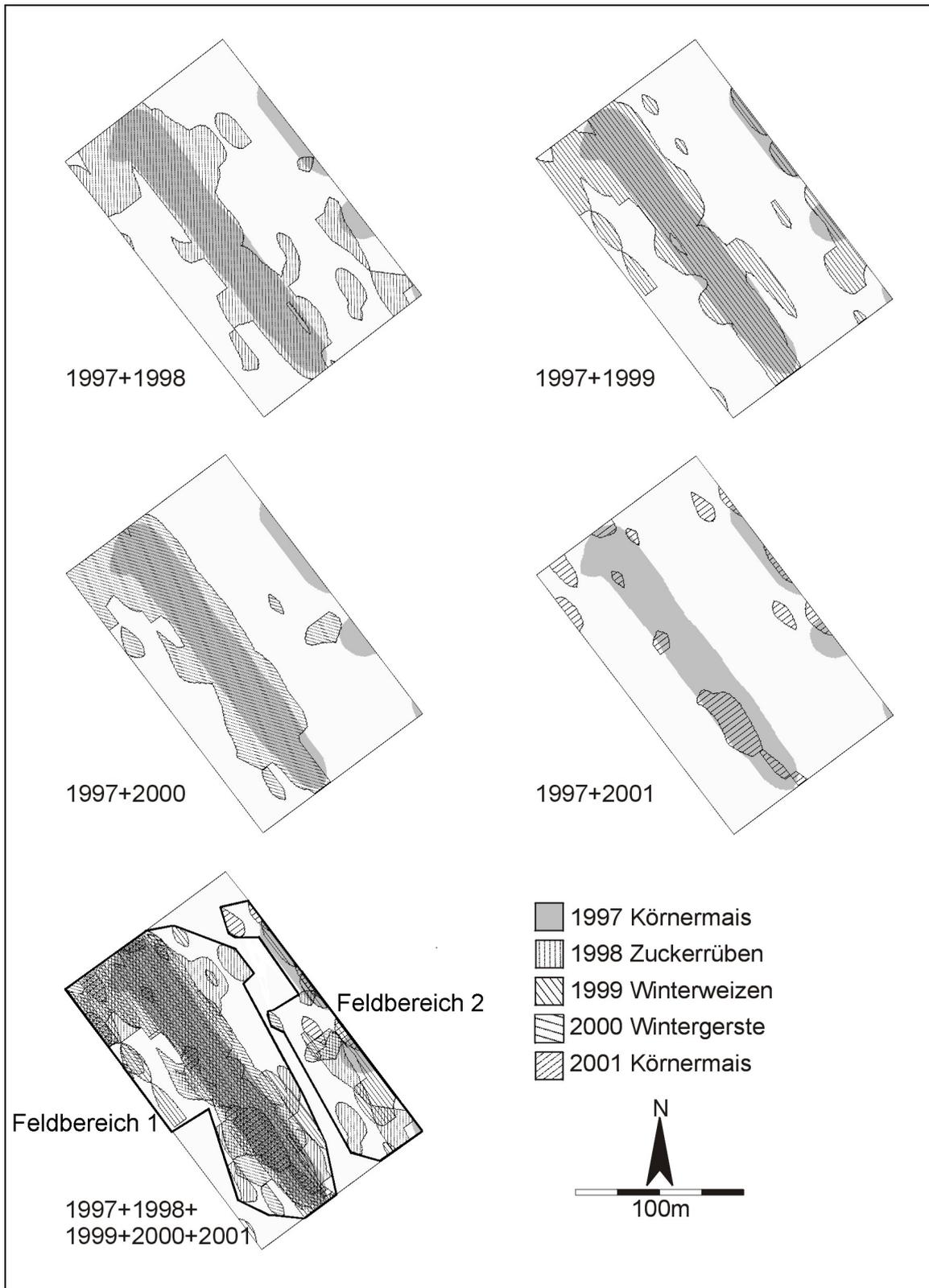


Abb. 7.2: Kombination der Verteilungskarte der Ungräser (überwiegend *Alopecurus myosuroides*) (**Schwellenwert: „mittel“ [ $>5^\circ\text{Pflanzen}/\text{m}^2$ ]**) des Jahres 1997 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre in Feld 8.

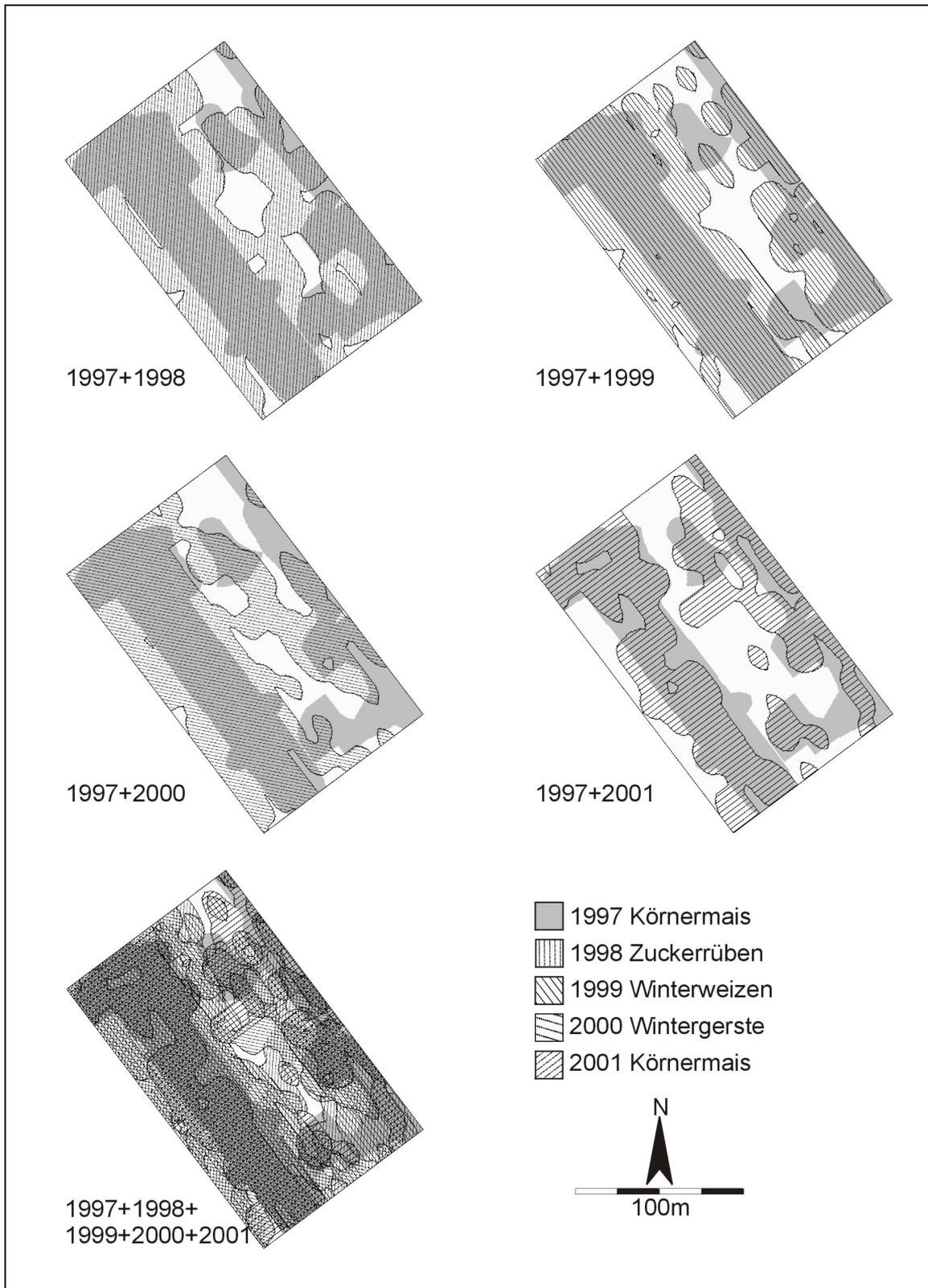


Abb. 7.3: Kombination der Verteilungskarte der Ungräser (überwiegend *Alopecurus myosuroides*) (**Schwellenwert: „niedrig“ [ $>1^\circ\text{Pflanze/m}^2$ ]**) des Jahres 1997 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre in Feld 8.

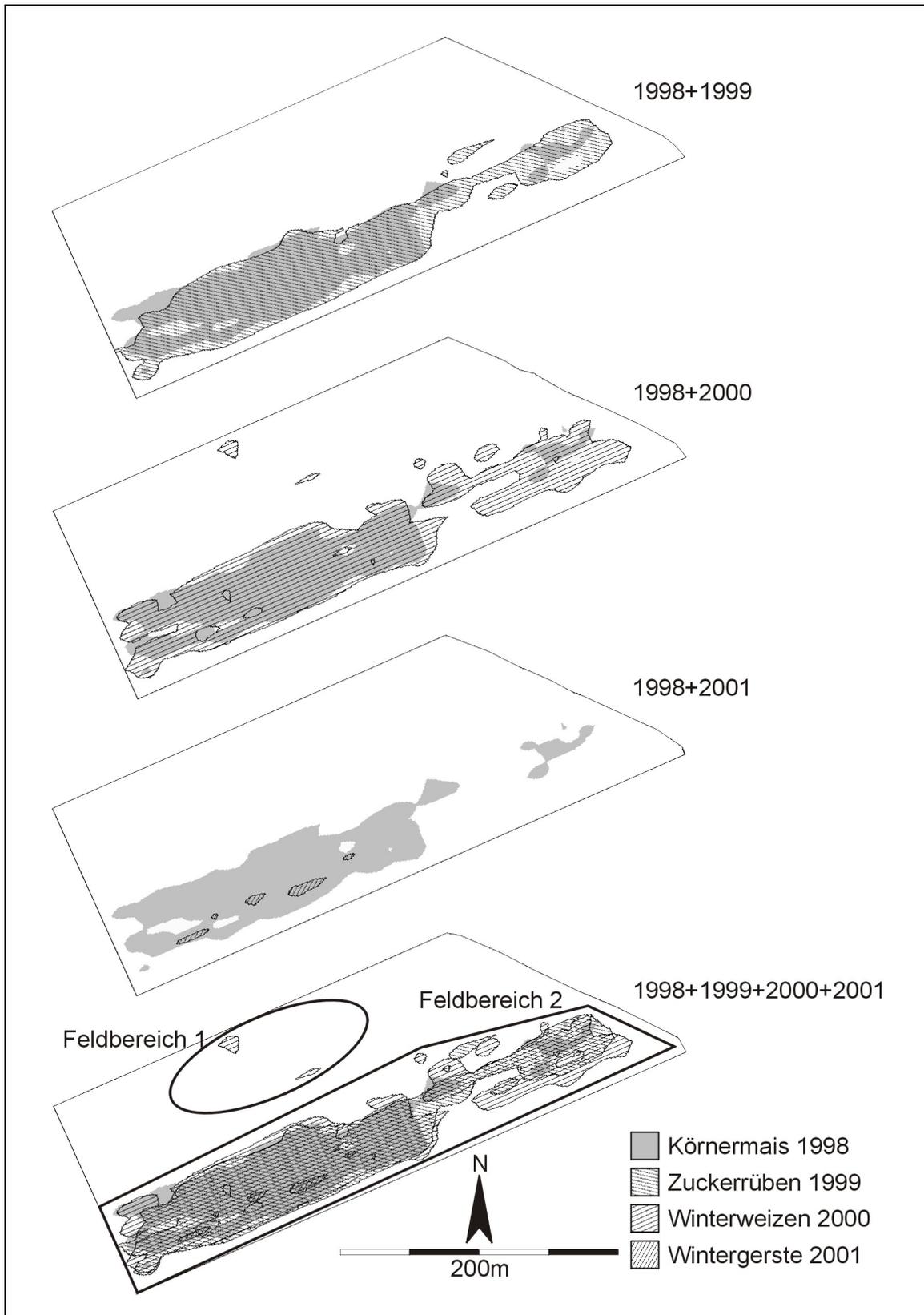


Abb. 7.4: Kombination der Verteilungskarte von *Viola arvensis* (**Schwellenwert: „hoch“ [ $>50$  Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 9 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes.

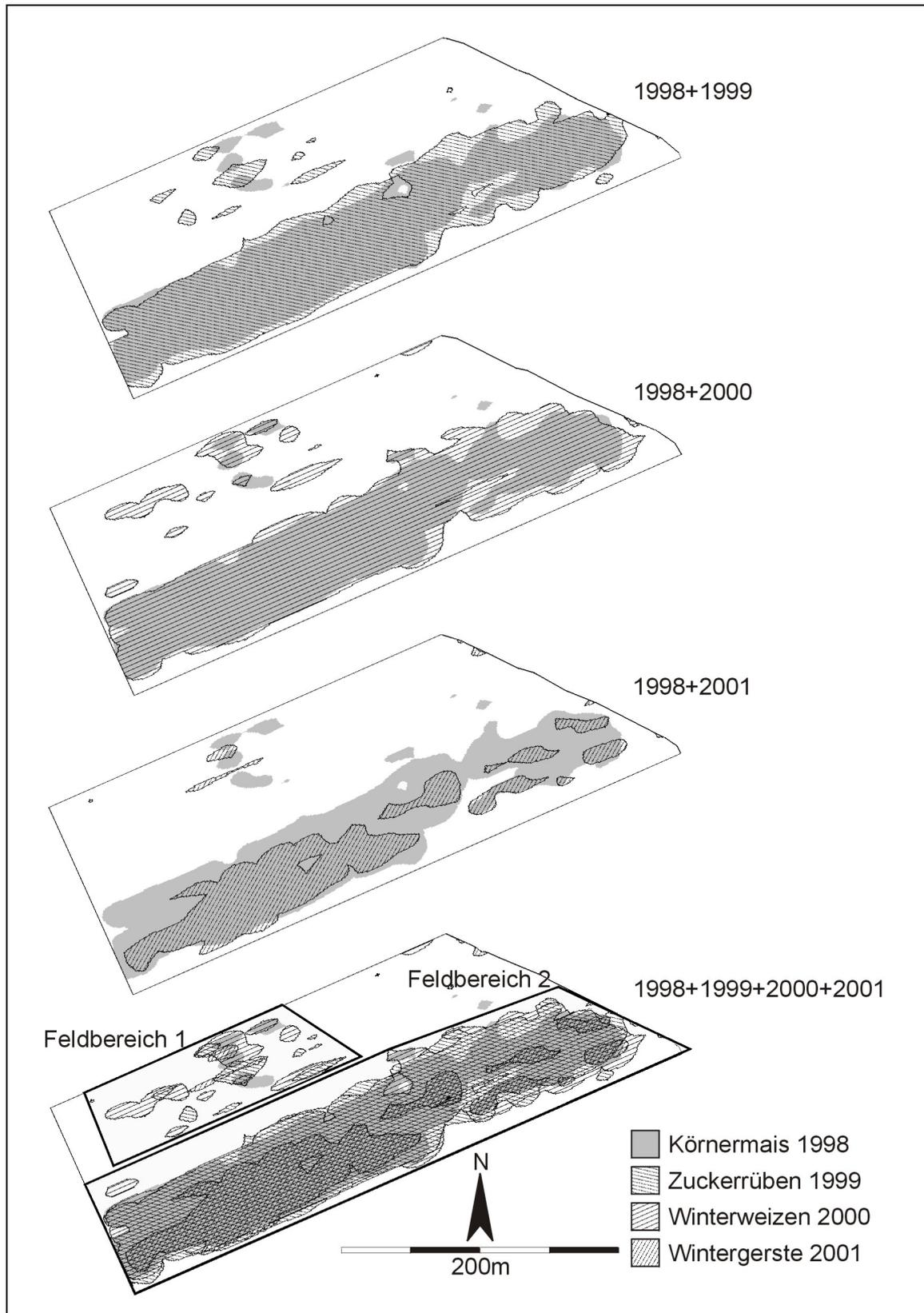


Abb. 7.5: Kombination der Verteilungskarte von *Viola arvensis* (**Schwellenwert: „mittel“ [ $>20^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 9 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes.

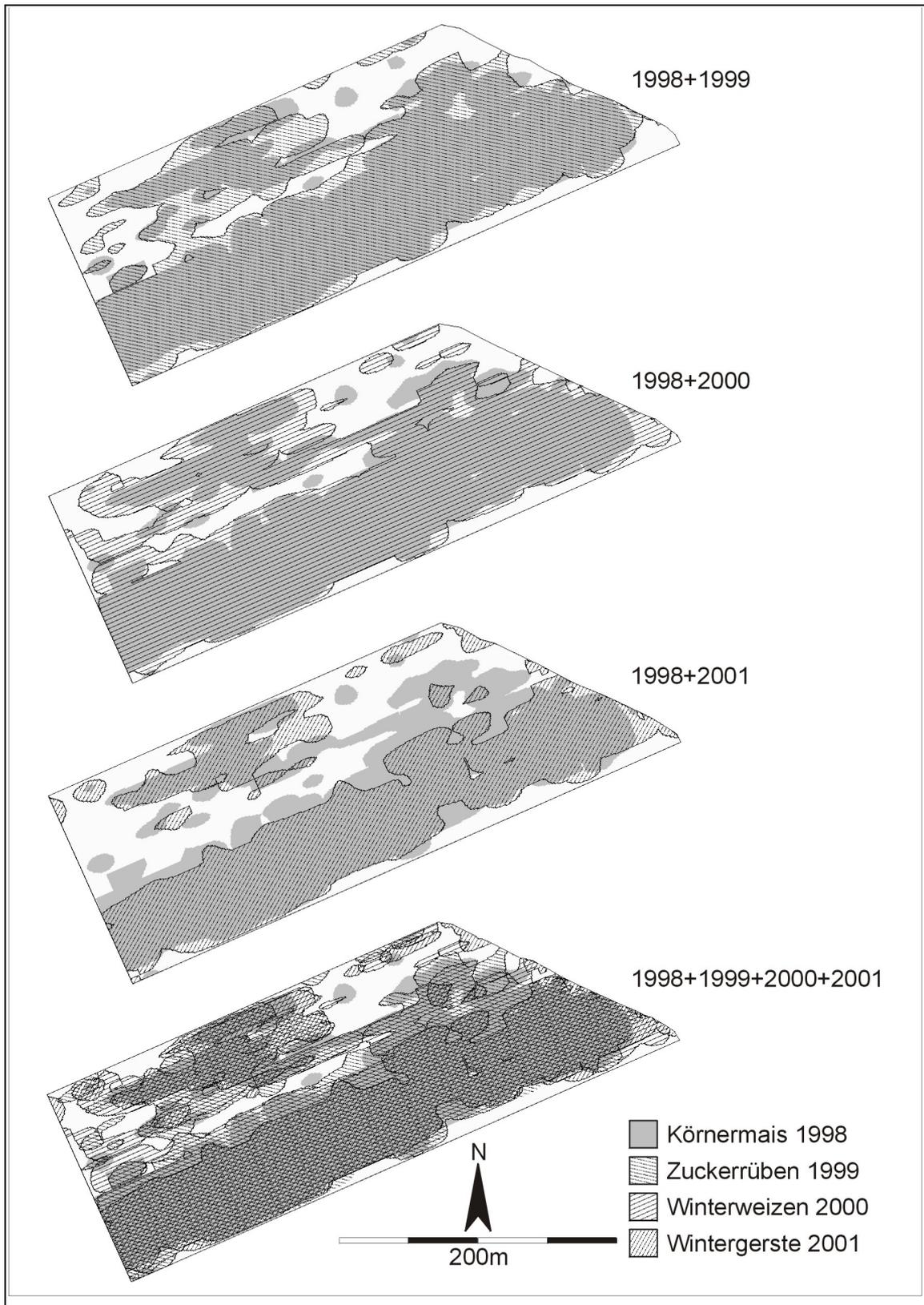


Abb. 7.6: Kombination der Verteilungskarte von *Viola arvensis* (**Schwellenwert: „niedrig“ [ $>5^\circ$  Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 9 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes.

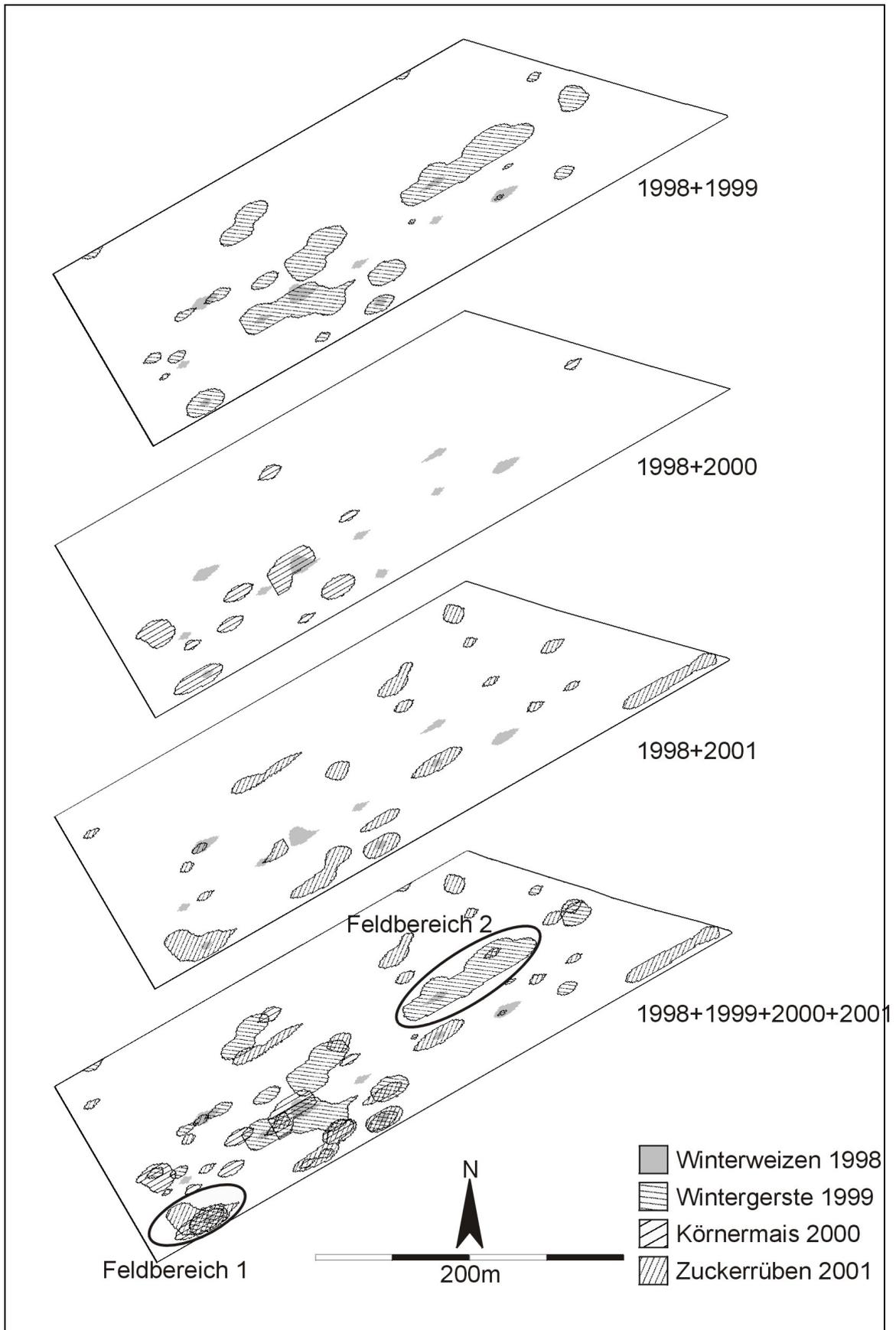


Abb. 7.7: Kombination der Verteilungskarte von *Galium aparine* (**Schwellenwert: „hoch“ [ $>5^\circ$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 6 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes.

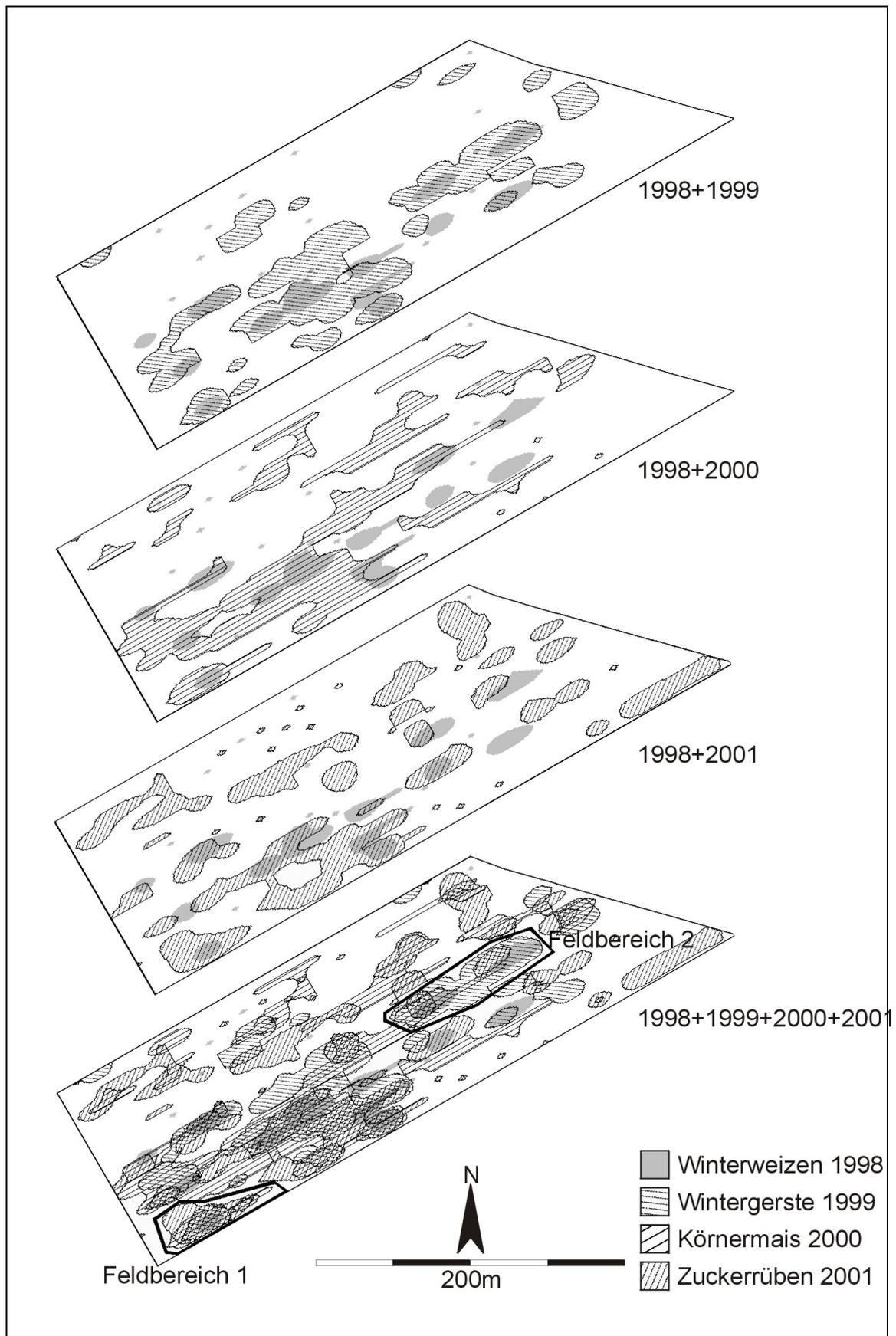


Abb. 7.8: Kombination der Verteilungskarte von *Galium aparine* (**Schwellenwert „mittel“: [ $>2^{\circ}$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]**) des Jahres 1998 in Feld 6 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes.

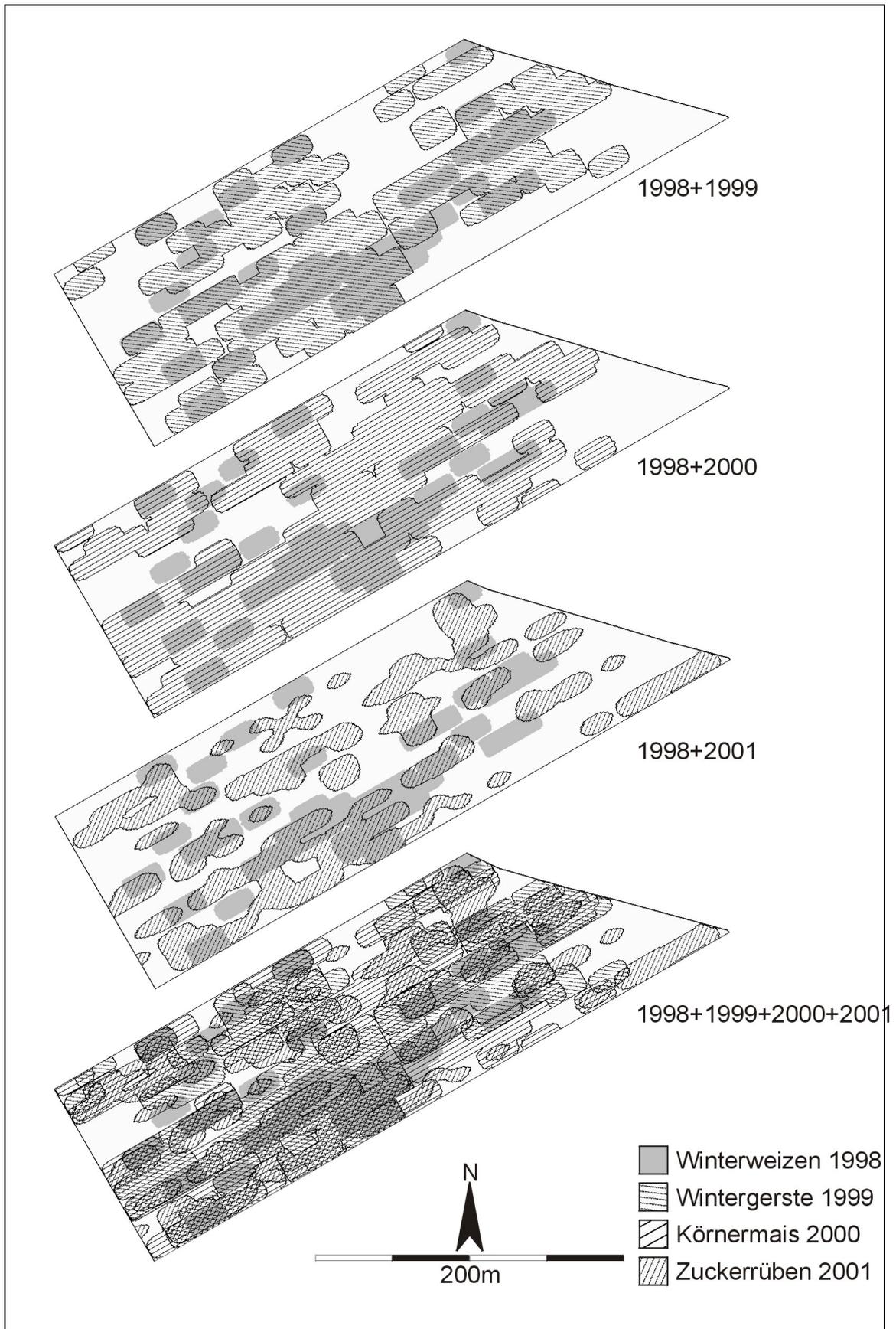


Abb. 7.9: Kombination der Verteilungskarte von *Galium aparine* (**Schwellenwert** „niedrig“: [ $>0,1^{\circ}$ Pflanzen/m<sup>2</sup>]) des Jahres 1998 in Feld 6 mit den Unkrautverteilungskarten der übrigen Jahre des gleichen Feldes.

### 7.3 Parameter zur Beschreibung der Ähnlichkeit von Unkrautpopulationen über mehrere Jahre

Während bei der visuellen Interpretation der Verteilungskarten die Veränderung einzelner Feldbereiche ausgewählt und beschrieben wurde, flossen bei der Berechnung der statistischen Parameter die Datensätze des gesamten Feldes eines Jahres in die resultierenden Werte ein. Pro Jahr und Feld ergab sich daher eine statistische Maßzahl. Die Daten für Feld 8 aus dem Jahr 1997 wurden aufgrund des größeren Kartierungsraster nicht berücksichtigt.

#### 7.3.1 Der Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson

Die ermittelten „Maßkorrelationskoeffizienten nach Pearson“ zeigten für alle Felder und Unkrautarten eine zeitliche Stabilität der Verunkrautung an (Tab. 7.2). Alle berechneten Werte waren auf dem 1%-Niveau signifikant.

Tab. 7.2 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für den Vergleich der Unkrautdichten zu Vegetationsbeginn (\*\*  $p < 0,01$ ).

<b>Feld 8 Ungräser</b>			
	ZR 1998	WW 1999	WG 2000
WW 1999	0,47**		
WG 2000	0,64**	0,53**	
KM 2001	0,30**	0,25**	0,23**

<b>Feld 9 <i>Viola arvensis</i></b>			
	KM 1998	ZR 1999	WW 2000
ZR 1999	0,80**		
WW 2000	0,77**	0,79**	
WG 2001	0,64**	0,68**	0,63**

<b>Feld 6 <i>Galium aparine</i></b>			
	WW 1998	WG 1999	KM 2000
WG 1999	0,38**		
KM 2000	0,24**	0,21**	
ZR 2001	0,28**	0,19**	0,32**

Die höchsten Werte wurde für *Viola arvensis* in Feld 9 ermittelt. Damit wurden die Ergebnisse aus der visuellen Interpretation der Verteilungskarte dieses Unkrautes (Abb. 5.14, S.54) bestätigt. *Viola arvensis* zeigt über den gesamten Versuchszeitraum ein ähnliches Verteilungsmuster und trat verstärkt in der südlichen Hälfte des Feldes auf; daneben konnte sich das Unkraut in den Jahren 1998-2000 zusätzlich in der nördlichen Hälfte in annähernd gleichen Bereichen etablieren. Im Jahr 2001 nahm die Dichte von *Viola arvensis* im Gesamtfeld (Anhangstab. 6, S.142) sowie die Fläche der VIOAR-

Population in der Nordhälfte des Feldes ab und folglich verringerten sich die berechneten Korrelationskoeffizienten.

Ein ähnliches Ergebnis zeigten die Korrelationskoeffizienten der Ungräser in Feld 8. Während die Werte in den Jahren 1998-2000 vergleichsweise hoch waren, nahm die Korrelation mit den Unkrautdichten des Jahres 2001 ab. Auch hier wurde das Ergebnis der Betrachtung der Verteilungskarten (Abb. 5.10, S.50) bestätigt. Die Verteilungsmuster der Ungraspopulationen der Jahre 1998-2000 waren relativ ähnlich, im Jahr 2001 nahm vor allem die Ausprägung des Unkrautnestes von Nordwest- in Südostrichtung ab.

Für *Galium aparine* in Feld 6 lagen die Korrelationskoeffizienten am niedrigsten. Damit wurde das Ergebnis der visuellen Interpretation bestätigt, dass in diesem Feld über den Versuchszeitraum keine ausgeprägte Nesterbildung des Unkrautes zu erkennen war (Abb. 5.9, S.49).

### 7.3.2 Der Vierfelder- $\chi^2$ -Test auf Unabhängigkeit

Mit Hilfe des „Vierfelder- $\chi^2$ -Testes auf Unabhängigkeit“ wurde getestet, ob die Verunkrautung oder Unkrautfreiheit einer Zählstelle von der Verunkrautungssituation in einem der Vorjahre unabhängig ist.

Tab. 7.3  $\chi^2$ -Werte, ermittelt aus Vierfeldertafeln (vgl. Tab. 4.4, S.29) der verunkrauteten und unkrautfreien Zählstellen für jedes Paar von Jahren (\*\*\*)  $p < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$ )

<b>Feld 8 Ungräser</b>			
	ZR 1998	WW 1999	WG 2000
WW 1999	13,176***		
WG 2000	17,547***	18,78***	
KM 2001	1,916	2,887	3,471

<b>Feld 9 <i>Viola arvensis</i></b>			
	KM 1998	ZR 1999	WW 2000
ZR 1999	125,955***		
WW 2000	137,109***	113,413***	
WG 2001	78,345***	28,984***	53,472***

<b>Feld 6 <i>Galium aparine</i></b>			
	WW 1998	WG 1999	KM 2000
WG 1999	40,522***		
KM 2000	10,748**	48,535***	
ZR 2001	5,516*	9,917**	44,099***

Aus der statistischen Auswertung (Tab. 7.3) geht hervor, dass die Verunkrautungssituation der Ungräser in Feld 8 im Jahr 2001 unabhängig von der Verunkrautung der Vor-

jahre war. Ein ähnliches Ergebnis wurde bereits für den „Maßkorrelationskoeffizienten nach Pearson“ (vgl. Kap. 7.3.1) beobachtet. Das heißt, dass sich die Unkrautdichte im Jahr 2001 infolge der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle im Vergleich zu den Vorjahren an den einzelnen Zählstellen geändert hat. Ob die Dichte der Unkräuter zu- oder abgenommen hat, lässt sich aufgrund der berechneten Werte nicht erkennen. Die visuelle Interpretation der Verteilungskarten legt aber nahe, dass die Unkrautdichte im Jahr 2001 abgenommen hat.

Für die übrigen Unkräuter und Jahre konnte die Nullhypothese abgelehnt werden, mithin war die beobachtete Verunkrautung eines Jahres abhängig von der zuvor kartierten Verunkrautung. In diesen Fällen war die Höhe der Ausgangsverunkrautung in den einzelnen Jahren abhängig von der Verunkrautung der Vorjahre - die Populationen waren sich laut statistischer Auswertung ähnlich. Durch die teilschlagspezifische Herbizidapplikation konnte die Verunkrautung nicht statistisch auswertbar reduziert werden, die Unkrautdichten an den einzelnen Zählstellen nahmen allerdings auch nicht signifikant zu.

#### 7.4 Bildanalytische Auswertung der Unkrautverteilungskarten

Neben der statistischen Auswertung der Datensätze der Ungräser in Feld 8, deren Ergebnisse in den Kapiteln 7.1 und 7.3 zuvor dargelegt worden sind, wurden für die Ungräser in diesem Feld die aus den gleichen Daten gewonnenen Unkrautverteilungskarten (Abb. 7.1; Abb. 7.2, S.97f.) bildanalytisch ausgewertet. Die bildanalytische Auswertung der Ungraspopulationen erfolgte nur für die Verteilungskarten auf Grundlage des mittleren und hohen Schwellenwertes (Tab. 4.5, S.30). Die Definition und Festlegung der Nester erfolgte nach den in Kap. 4.3.3 (S.30ff.) festgelegten Parametern. Anders als in Kap. 7.2, in dem die Festlegung der zu untersuchenden Feldbereiche im Ermessen des Betrachters lag, erfolgte die Festlegung der Feldbereiche nach der ebenfalls in Kap. 4.3.3 (S.30ff.) festgelegten Methodik.

Aus Tab. 7.4 geht die Veränderung der Größe der gesamten mit Ungräsern verunkrauteten Fläche in Feld 8 sowie die Gesamtzahl der Unkrautnester über den Versuchszeitraum in Abhängigkeit von der Unkrautklasse hervor. Im Jahr 1999 war die Anzahl der Nester, in denen **mehr als 20 Pflanzen/m<sup>2</sup>** gezählt wurden, im Vergleich zu den übrigen Jahren, in denen sich mit 1-2 Nestern nur eine geringere Anzahl fand, erhöht. Die stark verunkrautete Fläche war in den Jahren 1997, 1999 und 2001 annähernd konstant, im Jahr 1998 nahm sie auf das ungefähr Doppelte zu, im Jahr 2001 war sie verschwindend gering.

Für die **Verunkrautungsklasse „mittel“ (>5 Pflanzen/m<sup>2</sup>)** lag die Anzahl der Nester in den Jahren 1997-2000 ungefähr konstant bei drei bis vier Nestern, im Jahr 2001 wurde für sieben Nester der geringste Flächenanteil ermittelt. Die Unkrautpopulation war in diesem Jahr stärker gesplittet als in den übrigen Jahren. In den Jahren 1998-2000 lagen die Flächenanteile bedeutend höher in einem ähnlichen Größenbereich, 1997 war die Fläche etwas geringer.

Tab. 7.4 Anzahl und Gesamtfläche der Unkrautnester (nach der Definition in Kap. 4.3.3, S.30ff.) in Feld 8 in den Jahren 1997-2001 in Abhängigkeit von der Höhe des Schwellenwertes (vgl. Unkrautverteilungskarten Abb. 7.1 und Abb. 7.2).

Verunkrautungsklasse		KM1997	ZR1998	WW1999	WG2000	KM2001
hoch	Anzahl	2	2	5	2	1
	Gesamtfläche	1885m <sup>2</sup>	3518m <sup>2</sup>	1829m <sup>2</sup>	1601m <sup>2</sup>	7m <sup>2</sup>
mittel	Anzahl	4	3	3	3	7
	Gesamtfläche	5662m <sup>2</sup>	9808m <sup>2</sup>	9136m <sup>2</sup>	8747m <sup>2</sup>	1954m <sup>2</sup>

Um die Veränderung größerer Nester besser zu beurteilen, wurden die Feldbereiche, in denen über den gesamten Versuchszeitraum 1997-2001 in mindestens einem Jahr ein Nest beobachtet wurde, eingegrenzt und die Anzahl und Größe der Nester in den einzelnen Feldbereichen ermittelt (vgl. Abb. 4.2, S.31). Für die Verunkrautungsklasse „hoch“ ergab sich ein „Feldbereich 1“, dessen Grenzen durch die maximalen Ausmaße der Nester aller Jahre bestimmt wurde und erstreckte sich von der nordwestlichen Ecke des Feldes in südöstliche Richtung (Abb. 7.1, S.97); für die Unkrautpopulationen oberhalb des mittleren Schwellenwertes wurden zwei Teilbereiche festgelegt (Abb. 7.2, S.98): der „Feldbereich 1“ lag in etwa in dem Feldbereich der Verunkrautungsklasse „hoch“; der „Feldbereich 2“ lag parallel dazu von der nordöstlichen Ecke des Feldes in südöstliche Richtung.

Während sich für die Unkrautnester oberhalb des **hohen Schwellenwertes** in den Jahren 1997-1999 jeweils ein kleines Nest außerhalb des „Feldbereiches 1“ fand (Tab. 7.5), lag in den Jahren 2000 und 2001 die gesamte verunkrautete Fläche innerhalb des definierten Feldbereiches. Diese außerhalb liegenden Nester liegen mehr als 15 m auseinander, so dass sie jeweils als eigenes Nest betrachtet werden.

Für die Unkrautpopulationen der **Verunkrautungsklasse „mittel“** wurden zwei Feldbereiche festgelegt. Die Fläche der Nester innerhalb des „Feldbereiches 2“ war in allen Jahren geringer als die des „Feldbereiches 1“, die Flächengrößen nahmen über den Versuchszeitraum nicht zu. Mit Ausnahme des Jahres 2001 waren die Nester im „Feldbereich 2“ stärker gesplittet als die Nester in „Feldbereich 1“ – in den Jahren 1997-2000 wurde in diesem Segment des Feldes nur ein Nest gefunden. Weiterhin erwäh-

nenswert ist, dass sich nur im Jahr 1999 ein Unkrautnest außerhalb der beiden Feldbereiche befand, in den übrigen Jahren lagen alle Nester, die in einzelnen Jahren kartiert wurden, innerhalb der Grenzen der Feldbereiche.

Tab. 7.5 Anzahl und Größe der Nester der Verunkrautungsklassen „hoch“ und „mittel“, die in den Feldbereichen lagen, die innerhalb der Grenzen der größtmöglichen Ausdehnung der Unkrautnester der einzelnen Jahre lagen (vgl. (Abb. 7.1; Abb. 7.2).

		1997	1998	1999	2000	2001
<b>Verunkrautungsklasse“ hoch“</b> Feldbereich 1 (Abb. 7.1)	Anzahl	1	1	4	2	1
	Gesamtfläche	1867m <sup>2</sup>	3514m <sup>2</sup>	1823m <sup>2</sup>	1601m <sup>2</sup>	7m <sup>2</sup>
<b>Verunkrautungsklasse“ mittel“</b> Feldbereich1 (Abb. 7.2)	Anzahl	1	1	1	1	5
	Gesamtfläche	4859m <sup>2</sup>	8551m <sup>2</sup>	7964m <sup>2</sup>	8386m <sup>2</sup>	1453m <sup>2</sup>
<b>Verunkrautungsklasse“ mittel“</b> Feldbereich 2 (Abb. 7.2)	Anzahl	3	2	1	2	2
	Gesamtfläche	803m <sup>2</sup>	1257m <sup>2</sup>	1130m <sup>2</sup>	361m <sup>2</sup>	501m <sup>2</sup>

Tab. 7.6 und Tab. 7.7 zeigen die Flächenunterschiede und Änderungen in der Lage des gewichteten Flächenschwerpunktes der zu einer Population verbundenen und zusammengefassten Unkrautnester innerhalb der o.a. Feldbereiche für die beiden Verunkrautungsklassen „hoch“ und „mittel“. Die Flächen oberhalb des hohen Schwellenwertes innerhalb der „mittel“-verunkrauteten Flächen wurden bei der Berechnung des Flächenschwerpunktes entsprechend stärker gewichtet (vgl. Kap. 4.3.3, S.30ff.).

Für die **hohe Verunkrautungsklasse** nahm die verunkrautete Fläche von 1997 zum Jahr 1998 zu, in allen übrigen Jahren nahm die Verunkrautung ab. Die Schwerpunkte der Unkrautnester der Jahre 1997-2000 in „Feldbereich 1“ lagen relativ dicht zusammen (Distanz: 2,9m-11,4m). In drei Jahren (1998x1999: 180°, 1998x2000: 356°, 1999x2000: 358°) veränderte sich die Lage des Schwerpunktes näherungsweise parallel zur Bearbeitungsrichtung, die Berechnungen für die übrigen Jahre dieses Zeitraumes belegten unterschiedliche Richtungen der Verlagerung. Im Jahr 2001 bewegte sich der Schwerpunkt im Vergleich zur Position der vorherigen Jahre über größere Entfernung nach Nordwesten. Es bleibt festzuhalten, dass die Population des Jahres 2001 allein aufgrund ihrer geringen Größe nur schwer mit den übrigen Population vergleichbar war.

Tab. 7.6 Distanz zwischen den Schwerpunkten und Richtung der Verlagerung der Schwerpunkte sowie die Veränderung der Flächengröße der zu einer Population verbundenen und zusammengefassten Unkrautnester innerhalb des „Feldbereiches 1“ für die **Verunkrautungsklasse «hoch»** in Feld 8 (Abb. 7.1, S.97). (Die Richtung der Verlagerung von 0° (360°) bzw. 180° bedeutet in Bearbeitungsrichtung, Werte von 90° bzw. 270° im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung (vgl. Abb. 4.3, S.33).)

	<b>Verunkrautungsklasse «hoch» „Feldbereich 1“</b>			
	Distanz	Richtung	Veränderung Fläche	Veränderung (%)
1997_1998	2,9m	231°	1647m <sup>2</sup>	88,2
1997_1999	6,8m	200°	-44m <sup>2</sup>	-2,4
1997_2000	5,7m	331°	-266m <sup>2</sup>	-14,2
1997_2001	67,1m	221°	-1860m <sup>2</sup>	-99,6
1998_1999	4,6m	180°	-1691m <sup>2</sup>	-48,1
1998_2000	6,9m	356°	-1913m <sup>2</sup>	-54,4
1998_2001	64,2m	221°	-3507m <sup>2</sup>	-99,8
1999_2000	11,4m	358°	-222m <sup>2</sup>	-12,2
1999_2001	60,8m	223°	-1816m <sup>2</sup>	-99,6
2000_2001	69,2m	217°	-1594m <sup>2</sup>	-99,6

Durch die zusätzliche Berücksichtigung des **mittleren Schwellenwertes** wurden die für die hohe Verunkrautungsklasse ermittelten starken Unterschiede zwischen den Werten der Jahre 1997-2000 einerseits und dem Jahr 2001 für den „**Feldbereich 1**“ andererseits in geringem Maße kompensiert (Tab. 7.7). Dennoch war die Unkrautpopulation des letzten Versuchsjahres mit denen der übrigen Jahre in diesem Feldbereich ebenfalls nur schwer vergleichbar. Die Entfernung zwischen den Schwerpunkten der Jahre 1997-2000 einerseits und dem Jahr 2001 andererseits nahm auf Werte zwischen 38m und 45m ab. Ebenso nahm die Größe der verunkrauteten Flächen prozentual weniger stark ab als für die Flächen auf Grundlage des hohen Schwellenwertes.

Der Schwerpunkt der Unkrautpopulation des Jahres 1997 verschob sich in den Jahren 1998, 1999 und 2000 ebenso wie der Schwerpunkt des Jahres 1998 zum Jahr 1999 in nordwestliche Richtung, in den übrigen Jahren bewegte sich die Position des Schwerpunktes in südöstliche Richtung, jeweils annähernd parallel zur Bearbeitungsrichtung (mit Ausnahme des Jahres 2001).

Im Vergleich zum Jahr 1997 war für die nachfolgenden drei Jahre eine Zunahme der Flächengröße zu beobachten. Das gleiche gilt für die Population des Jahres 1999 zum Folgejahr. In den übrigen Jahren nahm die Größe der Unkrautnester in „Feldbereich 1“ ab.

Für die Unkrautnester oberhalb des mittleren Schwellenwertes konnte zusätzlich ein „**Feldbereich 2**“ (Abb. 7.2, S.98) eingegrenzt werden. Die Ergebnisse der bildanalytischen Auswertung sind in Tab. 7.7 dargestellt. Aus Tab. 7.5 geht hervor, dass die Gesamtgröße der Unkrautnester in diesem Bereich des Feldes im Vergleich zur eingegrenzten Teilfläche gering war. Folglich sind die Entfernungen zwischen den Positionen der Schwerpunkte aller Kombinationen von Jahren groß. Die großen Distanzen zwischen den Schwerpunkten bestätigen die visuelle Interpretation: die Verteilungsmuster der Populationen in diesem Segment des Feldes sind weniger stabil und unregelmäßiger als die oben beschriebene Population im „Feldbereich 1“. Auch hier verlagerte sich der Schwerpunkt überwiegend annähernd parallel zur Bearbeitungsrichtung mit Ausnahme des Jahres 2000 zu den übrigen Jahren.

Tab. 7.7 Distanz zwischen den Schwerpunkten und Richtung der Verlagerung der Schwerpunkte sowie die Veränderung der Flächengröße der zu einer Population verbundenen und zusammengefassten Unkrautnester innerhalb der Feldbereiche 1 und 2 für die **Verunkrautungsklasse «mittel»** in Feld 8 (vgl. Abb. 7.2, S.98). (Die Richtung der Verlagerung von 0° (360°) bzw. 180° bedeutet in Bearbeitungsrichtung, Werte von 90° bzw. 270° im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung (vgl. Abb. 4.3, S.33).)

<b>Verunkrautungsklasse «mittel» „Feldbereich 1“</b>				
	Distanz	Richtung	Veränderung Fläche	Veränderung (%)
1997_1998	6,5m	192°	3692m <sup>2</sup>	76,0
1997_1999	8,4m	202°	3105m <sup>2</sup>	63,9
1997_2000	6,0m	238°	3528m <sup>2</sup>	72,6
1997_2001	38,1m	346°	-3346m <sup>2</sup>	-68,9
1998_1999	2,3m	233°	-587m <sup>2</sup>	-6,9
1998_2000	4,9m	311°	-164m <sup>2</sup>	-1,9
1998_2001	44,0m	350°	-7038m <sup>2</sup>	-82,3
1999_2000	4,9m	338°	423m <sup>2</sup>	5,3
1999_2001	45,1m	352°	-6451m <sup>2</sup>	-81,0
2000_2001	40,3m	354°	-6874m <sup>2</sup>	-82,0

<b>Verunkrautungsklasse «mittel» „Feldbereich 2“</b>				
	Distanz	Richtung	Veränderung Fläche	Veränderung (%)
1997_1998	58,2m	346°	455m <sup>2</sup>	56,6
1997_1999	34,0m	353°	328m <sup>2</sup>	40,8
1997_2000	21,7m	317°	-441m <sup>2</sup>	-55,0
1997_2001	23,3m	192°	-299m <sup>2</sup>	-37,2
1998_1999	24,7m	203°	-127m <sup>2</sup>	-10,1
1998_2000	40,6m	181°	-896m <sup>2</sup>	-71,3
1998_2001	79,8m	174°	-753m <sup>2</sup>	-59,9
1999_2000	20,7m	211°	-769m <sup>2</sup>	-68,0
1999_2001	56,6m	181°	-626m <sup>2</sup>	-55,4
2000_2001	39,9m	166°	143m <sup>2</sup>	39,5

## 8 Diskussion und Ausblick

### 8.1 Bewertung verschiedener statistischer Parameter zur Beschreibung der räumlichen Verteilung und zeitlichen Stabilität von Unkrautpopulationen

Die in der vorliegenden Studie errechneten *patchiness* Indizes als Maß für die räumliche Verteilung zeigen für die drei untersuchten Unkräuter eine nesterweise Verteilung (Tab. 7.1, S.94) an. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen vorangegangener Studien anderer Autoren (DESSAINT et al. 1991, NORDBO et al. 1994, WALTER 1996, HÄUSLER und NORDMEYER 1999), die ebenfalls für alle in ihren Arbeiten untersuchten Unkrautarten eine aggregierte Verteilung konstatierten. Die eindeutigen Ergebnisse dieser Vielzahl von Untersuchungen untermauern durch statistische Berechnungen das Wissen um die nesterweise Verteilung von Unkräutern (vgl. Kap. 2.1, S.3ff.). Es kann daher mit hoher Sicherheit davon ausgegangen werden, dass Unkräuter in Ackerschlägen aggregiert vorliegen.

Durch die Berechnung weiterer Parameter sollte in der vorliegenden Studie geklärt werden, wie stabil Unkrautpopulationen über einen längeren Zeitraum vorliegen.

Durch den „Maßkorrelationskoeffizienten nach Pearson“ sowie den „Vierfelder- $\chi^2$ -Test auf Unabhängigkeit“ können Ähnlichkeiten von Unkrautpopulationen innerhalb eines Feldes über mehrere Jahre statistisch abgesichert werden. Für alle drei untersuchten Unkrautarten war der „Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson“ als Maß für die zeitliche Stabilität der Verunkrautung hoch signifikant (Tab. 7.2, S.106), die Ergebnisse des  $\chi^2$ -Tests (Tab. 7.3, S.107) hingegen variierten. Die Ergebnisse für *Viola arvensis*, die Ungräser und *Galium aparine* zeigten, dass die genannten statistischen Maßzahlen als gutes Hilfsmittel zur statistischen Absicherung der in den Verteilungskarten beobachteten Unterschiede in den Verteilungsmustern von Unkrautpopulationen herangezogen werden konnten. Dabei komplementierten sich die Berechnung statistischer Parameter und die visuelle Interpretation der Verteilungskarten.

Die Ergebnisse des  $\chi^2$ -Tests, der lediglich die Existenz eines Zusammenhanges aufzeigt, über dessen Stärke aber nichts aussagt, war im Falle von *Viola arvensis* für alle Jahre höchst signifikant.

Für die Korrelationskoeffizienten der Ungräser in Feld 8 konnten abnehmende Werte im Jahr 2001 durch die Veränderung des Verteilungsmusters der Populationen erklärt werden. Durch den  $\chi^2$ -Test konnte kein Zusammenhang zwischen der Verunkrautungssituation des Jahres 2001 und den Vorjahren bestätigt werden. Für die übrigen Jahre war der Zusammenhang höchst signifikant.

Die Stabilität der *Galium aparine*-Populationen über den Versuchszeitraum war ebenfalls signifikant, hier waren die Korrelationskoeffizienten jedoch geringer als für die beiden zuvor genannten Unkräuter und variierten stärker. Aus den Verteilungskarten wird ersichtlich, dass über den Versuchszeitraum keine klaren Verteilungsmuster wie für die zuvor genannten Unkräuter ersichtlich waren.

Es bleibt festzuhalten, dass durch die Berechnung der beiden statistischen Parameter Änderungen in den Unkrautpopulationen statistisch belegt, aber nicht lokalisiert werden konnten. Auf diesen Umstand wiesen bereits LIEBHOLD et al. (1993) für die Berechnung des *patchiness* Index für Insektenpopulationen hin. Die Lokalisierung dieser Veränderungen war in der vorliegenden Arbeit durch die visuelle Interpretation der Verteilungskarten ansatzweise möglich.

WALTER (1996) und HÄUSLER und NORDMEYER (1999) belegten durch die Berechnung verschiedener statistischer Parameter die zeitliche Stabilität von einigen Unkrautpopulationen. Zusätzliche Informationen aus Unkrautverteilungskarten, die die Veränderungen veranschaulichen, ziehen die Autoren nicht hinzu. DIELEMAN und MORTENSEN (1999) begründeten niedrigere Korrelationskoeffizienten zwischen *Abutilon theophrasti*-Populationen mit der Abnahme der Unkrautdichte in einem der untersuchten Jahre. Eine visuelle Interpretation der vorliegenden Verteilungskarten zur Erklärung der schwächeren Korrelationen wurde nicht vorgenommen.

## **8.2 Vergleich der bildanalytischen Auswertung der Unkrautverteilungskarten mit den Ergebnissen der visuellen Interpretation**

REW und COUSENS (2001) konstatierten, dass der einfachste und häufigste Ansatz zur Beschreibung der Änderung von Unkrautpopulationen in Verteilungskarten von mehreren Jahren der visuelle Vergleich ist. Es scheint aber sinnvoll, die in Kapitel 7.1 und 7.3 berechneten statistischen Parameter als objektives Verfahren zur Beschreibung der Stabilität aller Unkrautpopulationen eines Feldes hinzu zu ziehen. Die Nachteile dieser Berechnungen sind oben aufgeführt. Die Analyse aller Unkrautpopulationen in ihrer Gesamtheit über mehrere Jahre in einem Arbeitsschritt war nicht möglich. Daher musste zur bildanalytischen Auswertung zuerst eine Definition für ein Unkrautnest innerhalb einer Verteilungskarte eines Jahres gefunden werden, die auf alle vorliegenden Karten übertragbar war. Während die Ursachen für das Vorkommen von Unkräutern weitgehend untersucht sind, fehlt bislang eine objektive und reproduzierbare Definition für ein Unkrautnest. Dies ist jedoch dringend erforderlich, um die Kausalität für das Vorkommen von Unkrautpopulationen genauer zu untersuchen. Die in der vorliegenden Arbeit angewandte Definition eines Unkrautnestes (vgl. Kap. 4.3.3, S.30ff.) orientierte sich an dem den Verteilungskarten zugrundeliegenden Raster bei der

Kartierung der Unkräuter im Feld (Kap. 4.2.1, S.22ff.). Durch dieses Vorgehen wurden in einem ersten Schritt einzelne Unkrautpopulationen entweder zu einem Nest zusammengefasst oder als separates Nest betrachtet. In einem zweiten Schritt wurden die so ermittelten Nester in den Verteilungskarten einzelner Jahre mit den Nestern der übrigen Jahren verglichen. Durch das in Kap. 4.3.3 beschriebene Vorgehen wurden Feldbereiche bestimmt, deren Grenzen sich durch die maximalen Ausmaße der Nester aller Jahre ergaben. Im Extremfall konnte durch die Anwendung eines der beiden Arbeitsschritte oder deren Kombination ein komplettes Feld als ein Feldbereich mit einer Unkrautpopulation angesehen werden. Die maximal mögliche Anzahl der Feldbereiche als anderes Extrem ergab sich aus der Entfernung zwischen zwei Unkrautpopulationen als Kriterium für die Definition eines Nestes (in der vorliegenden Arbeit 15m) und der Feldgröße.

Die Unkrautpopulationen innerhalb dieser Feldbereiche wurden mit Hilfe des Bildverarbeitungsprogramms einzeln analysiert. Diese Ergebnisse werden im folgenden mit den Ergebnissen der visuellen Interpretation (Kap. 7.2) verglichen.

Bei den Veränderungen der Flächengröße als einer Maßzahl für die Stabilität der Unkrautnester war zu berücksichtigen, dass die Größe der Unkrautpopulationen in Abhängigkeit von der angebauten Fruchtart stark variieren konnte, da einzelne Unkrautarten bevorzugt in winter- bzw. sommerannuellen Kulturarten auflaufen (vgl. Anhangstab. 2, S.139). Andererseits ist zu untersuchen, ob dennoch die Fläche der Unkrautnester konstant blieb und sich nur die Dichte der Unkräuter in den Flächen änderte.

Da es in Feld 8 als einzigem Feld möglich war, Unkrautpopulationen über die komplette Felderfolge zweimal in der gleichen Kulturart (Körnermais) zu kartieren, sind die Ergebnisse vor allem unter dem Aspekt der Stabilität von Unkrautnestern interessant: sowohl die Interpretation der Verteilungskarten als auch der Vergleich der berechneten Werte aus 1997 und 2001 legte eine Abnahme der Verunkrautung und Instabilität der Populationen nahe, dennoch ist es dringend erforderlich, die Ergebnisse der Folgejahre nach 2001 in die Untersuchungen einzubeziehen. Durch die Kartierung der Unkräuter in gleichen Fruchtarten ist eine objektivere Analyse der Veränderung der Nester möglich, da so der Einfluss unterschiedlicher Entwicklungsrhythmen und Konkurrenzbedingungen in verschiedenen Kulturarten reduziert wird.

Während der „Feldbereich 1“ bereits nur durch die visuelle Interpretation als Unkrautaggregation erkannt werden konnte, war die Festlegung des „Feldbereiches 2“ nur aufgrund der Betrachtung der Verteilungskarte schwierig. Hier zeigt sich der Nutzen der vorgestellten objektiven und reproduzierbaren Definition der Nester in einem Jahr und Unkrautpopulationen über den Versuchszeitraum.

Die bei der Betrachtung des „Feldbereiches 1“ in den Verteilungskarten beider Verunkrautungsklassen (Abb. 7.1, Abb. 7.2, S.97f.) aller Jahre beobachteten Veränderungen in der Fläche der Unkrautpopulationen wurden durch die bildanalytisch berechneten Flächengrößen bestätigt. Die Verlagerungen des Schwerpunktes bei der Kombination der einzelnen Jahren waren in den Jahren 1997-2000 so gering, dass es nicht möglich war, diese in den Verteilungskarten zweifelsfrei zu beobachten. Auch die Zunahme der verunkrauteten Fläche im nordwestlichen Bereich des Feldes in den Jahren 1998, 1999 und 2000 im Vergleich zur verunkrauteten Fläche des Jahres 1997 spiegelte sich in der berechneten Verlagerung des Schwerpunktes nicht wider. Dieser optische Eindruck wurde durch die Zunahme der verunkrauteten Fläche im südöstlichen Bereich der Population kompensiert. Hingegen konnte die offensichtliche Verlagerung der Population der Jahre 1997-2000 zum Jahr 2001 durch die Berechnung der Distanz zwischen den jeweiligen Schwerpunkten verifiziert werden. Insgesamt bestätigen die geringen Entfernungen zwischen den Positionen der Schwerpunkte der Unkrautnester in den einzelnen Jahren den Eindruck der visuellen Interpretation der Verteilungskarten, dass die untersuchte Population in den ersten vier Jahren stabil war. Die Änderung der Fläche hingegen sprach für eine instabile Aggregation.

Der Eindruck des unregelmäßigen und instabilen Verteilungsmusters der Unkrautpopulationen im „Feldbereich 2“ wird durch die bildanalytische Auswertung bestätigt. Hierfür sprechen die relativ großen Entfernungen zwischen den Schwerpunkten und die verschiedenen Richtungen der Verlagerungen der Schwerpunkte ebenso wie die variierenden Flächengrößen und Anzahl der Nester in diesem Feldsegment. Es bleibt festzuhalten, dass die Unkrautpopulationen aufgrund der vorliegenden Definition entgegen der visuellen Interpretation zu „Feldbereich 2“ zusammengefasst wurden.

### **8.3 Bewertung und Schwierigkeiten des Verfahrens der bildanalytischen Auswertung von Unkrautverteilungskarten**

Die quantitative Bildanalyse ist eine zusätzliche, neuartige Methode zur Beschreibung der Dynamik von Unkrautpopulationen. Bislang gibt es keine Untersuchungen zum Nutzen dieses Verfahrens. Das Bildverarbeitungsprogramm *RL-Imalysis* wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstmals angewendet. Es scheint ein hilfreiches Instrument zur weiteren Analyse der aus der visuellen Interpretation der Verteilungskarten gewonnenen Informationen zur Dynamik von Unkrautnestern zu sein. Dies gilt vor allem für die Berechnung der Flächengröße, die ein wichtiges Indiz für die Stabilität der identifizierten Populationen ist. In Kombination mit den Berechnungen zur Verlagerung

der Schwerpunkte, konnten die subjektiven Eindrücke der visuellen Interpretation mit Zahlen belegt oder widerlegt werden.

Es ist nötig, die Änderungen in der Flächengröße oder Lage der Schwerpunktes zu quantifizieren, um einzuschätzen, ob eine Population noch als stabil bezeichnet werden kann oder über den beobachteten Zeitraum stärker variiert. Zu diesem Zweck wäre die Entwicklung eines Entscheidungsmodells sinnvoll.

Darüber hinaus konnten durch das Bildverarbeitungsprogramm Änderungen der Populationen ausgemacht werden, die durch die visuelle Interpretation nicht erkannt werden konnten oder einzelne Populationen zu einer Aggregation festgelegt werden, die aufgrund des optischen Eindrucks separat betrachtet wurden.

Schwierigkeiten bei der Anwendung dieses neuen Verfahrens gab es vor allem bei der Festlegung einer objektiven und nachvollziehbaren Definition für ein Unkrautnest. In der Literatur finden sich einige Ansätze zur Definition eines Unkrautnestes, die jedoch häufig von der Interpretation des Betrachteten abhängig sind, so z.B. bei DIELEMAN und MORTENSEN (1999): sie beschreiben „intuitiv“ ein Nest als eine Fläche, in der die Unkrautpflanzen aggregiert als einzelne, abgetrennte Population innerhalb eines Feldes vorliegen. Nach WILSON und BRAIN (1990) ist ein Nest eine Gruppe von (Beobachtungs)punkten, an denen ein Unkraut in mehr als der Hälfte der Versuchsjahre kartiert wird.

GERHARDS et al. (1997a) kartierten die Unkräuter eines Feldes in einem Raster von 7m x 7m und erstellten aus diesen Ergebnissen Verteilungskarten. Ein Nest war per Definition eine Fläche angrenzender Verunkrautungszone in den Unkrautverteilungskarten. Alternativ wurde ein Bereich, in dem sich die Verunkrautung über 14m (entsprechend der Größe von zwei Rasterzellen) erstreckte, ebenfalls als Nest bezeichnet. Vor allem die zweite Definition beschreibt einen Ansatz zur objektiv nachvollziehbaren Identifikation von Unkrautnestern innerhalb von Verteilungskarten. Aufbauend auf dieser zweiten Definition wurden Unkrautnester eines Jahres in der vorliegenden Arbeit auf Basis der Rastergröße der Unkrautkartierung festgelegt. Im nächsten Schritt wurden die Nester in einzelnen Jahren über den gesamten Versuchszeitraum festgelegt und auf diese Weise zu untersuchende Feldbereiche festgelegt. Die so festgelegten Feldbereiche können im Extremfall mit jedem weiteren untersuchten Jahr größer werden, eine Reduktion der Fläche der Feldbereiche von einem zum nächsten Jahr ist nicht möglich. Da aber nur die Populationen innerhalb dieser Feldbereiche analysiert werden, kann auch die Abnahme von Unkrautpopulationen über mehrere Jahre mit Zahlen belegt werden. Bei stets in der Fläche größer werdenden Feldbereichen, ist es möglich, dass über einen längeren Zeitraum mehrere Feldbereiche und mit diesen die

darin liegenden Nester „zusammenwachsen“, so dass im Extremfall ein ganzes Feld als ein Nest betrachtet wird. Es bleibt festzuhalten, dass in der vorliegenden Arbeit zwei Arten von Unkrautpopulationen definiert wurden: zum einem wurden in jedem Jahr Nester aufgrund der Entfernung zwischen einzelnen verunkrauteten Feldbereichen bestimmt. Diese, für die einzelnen Jahre definierten, Nester wurden in einem zweiten Schritt über den Versuchszeitraum verglichen und kombiniert, so dass sich ein verunkrauteter Feldbereich ergab, dessen Veränderung über mehrere Jahre mithilfe der quantitativen Bildanalyse interpretiert werden konnte.

Weiterhin bereitet die Interpretation der Entfernung zwischen den Positionen von Schwerpunkten noch Schwierigkeiten: sehr große Entfernungen (in Relation zur Größe des definierten Feldbereiches) sprechen, wie die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, für instabile und stark variierende Verteilungsmuster über den Untersuchungszeitraum. Andererseits sollte definiert werden, bei welcher Entfernung zwischen den Positionen von Schwerpunkten noch von einem stabilen Unkrautnest gesprochen werden kann und ab welcher Entfernung die Verlagerung des Unkrautnestes so hoch ist, dass die Unkrautpopulation nicht mehr als ortsstabil bezeichnet werden kann.

Ähnliches gilt für die Flächengröße der Unkrautpopulationen. Auch hier fehlt eine Maßzahl, bei welcher Größenveränderung die Populationen noch als stabil bezüglich ihrer Größe gelten und ab wann die Verunkrautung signifikant zu- oder abnimmt.

Um Änderungen in der Form und Größe der untersuchten Unkrautnester genauer zu beschreiben, sollten zukünftig zusätzliche Parameter in Betracht gezogen werden. Eine Änderung der Position des Schwerpunktes sagt nichts über die Form der Populationen aus. Beispielsweise können Unkrautpopulationen trotz konstanter Flächengrößen und Positionen des Schwerpunktes in zwei Versuchsjahren unterschiedliche Formen haben. Die in den Verteilungskarten dargestellten Unkrautpopulationen zeigten häufig eine näherungsweise elliptische Form, die sich in Bearbeitungsrichtung orientiert. Diese Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen anderer Arbeitsgruppen, die ebenfalls eine Ausrichtung der Unkrautnester in Bearbeitungsrichtung beobachteten (JOHNSON et al. 1996, DIELEMAN und MORTENSEN 1999, COLBACH et al. 2000). Durch die Berechnung des maximalen Durchmessers der Unkrautnester parallel zur Bearbeitungsrichtung und im rechten Winkel zur Bearbeitungsrichtung könnte die elliptische Form der Nester belegt werden.

Durch die Lokalisation dieser Entfernungsvektoren wäre ebenfalls eine genauere Beschreibung der Änderung der Lage der untersuchten Populationen möglich.

## 8.4 Ausblick

Durch die Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte unter anderem untersucht werden, ob die Stabilität von Unkrautpopulationen ausreichend ist, um aus gegebenen Verteilungskarten zukünftige Unkrautverteilungsmuster vorherzusagen. In den meisten Fällen widersprachen allein die Veränderungen der Flächengröße der untersuchten Populationen der Möglichkeit, die Verteilungskarten ohne weitere Bearbeitung für die Folgejahre zu übernehmen. Hinzu kam häufig eine Verlagerung der Unkrautnester. Daher scheint die quantitative Bildanalyse ein sinnvolles Hilfsmittel, um die Dynamik von Unkrautpopulationen in der Vergangenheit zu beschreiben. Um die Entwicklung von Unkrautpopulationen in den Folgejahren abzuschätzen fehlen jedoch bislang weitere Informationen, auf die im folgenden eingegangen werden soll und die nicht durch den Einsatz der elektronischen Bildverarbeitung erhalten werden können. Folglich ist es dringend erforderlich, ein Modell zu erstellen, das die Entwicklung von gegebenen Unkrautpopulationen unter dem Einfluss der Unkrautkontrolle erklärt und vorhersagen kann. Um mit einem einfachen Modell, wie es beispielsweise von ZWARGER und HURLE (1990) beschrieben wurde, die Entwicklung der Befallsverläufe von Unkräutern zu simulieren, fehlen bislang häufig noch zuverlässige Daten, die in die Berechnungen einfließen. Als Beispiel seien hier Zahlen zur Auflafrate von Unkräutern genannt, die in Abhängigkeit von den klimatischen Verhältnissen, Bodenverhältnissen und angebauter Fruchtart stark variieren können. Ebenfalls problematisch ist die arbeits- und zeitintensive Ermittlung des Bodensamenpotenzials, v.a. unter dem Gesichtspunkt, dass die Samenbank im Boden im gleichen Raster wie die Verunkrautung kartiert werden muss.

Die Arbeiten von PAICE et al. (1998) verdeutlichen die Komplexität der Dynamik bestehender Unkrautpopulationen. Sie entwickelten ein Modell, das die Entwicklung bereits bestehender *Alopecurus myosuroides*-Populationen unter dem Einfluss teilschlag-spezifischer Herbizidapplikation simuliert. Die durchschnittliche Anzahl der Samen im Boden entnahm er Arbeiten von DESSAINT et al. (1991). Die Keimfähigkeit der Samen und die Rate der Pflanzen, die die Herbizidapplikation überlebten, leitete er aus den Ergebnissen von MOSS (1990) ab. Die Sterblichkeitsrate der Samen im Boden sowie die natürlichen Verluste der aufgelaufenen Pflanzen beruhten auf Annahmen. Daneben modellierte er die Verlagerung der Samen durch natürliche Prozesse und Bodenbearbeitungs- und Erntemaßnahmen aufgrund der Arbeiten von HOWARD et al. (1991). Der Algorithmus für die Samenproduktion, basierend auf MOSS (1990), wurde ebenfalls in das Modell integriert. Die aus der Kombination dieser Werte simulierte Entwicklung der Ungraspopulationen verglichen sie mit tatsächlich beobachteten Daten aus Felderhebungen. In den simulierten Populationen waren teilweise unkrautfreie Bereiche

zu beobachten, die in der Realität verunkrautet waren, andererseits waren tatsächlich unkrautfreie Flächen in dem Modell verunkrautet. Dennoch wurde die Verunkrautungssituation im größten Bereich des Feldes richtig vorhergesagt, so dass das Simulationsmodell durchaus als ein zuverlässiges Hilfsmittel angesehen werden kann.

Ein Motiv für die Vorhersage der Entwicklung der Unkrautpopulationen ist zweifelsfrei die mögliche Erstellung von Applikationskarten zur teilschlagspezifischen Herbizidausbringung aus den so gewonnenen Daten. Für den Fall, dass in der Zukunft ein sensorgestütztes System geschaffen wird, das Unkräuter in allen Fruchtarten automatisch erkennt und kartiert, würde die Vorhersage von Unkrautpopulationen zur Erstellung von Applikationskarten unter diesem Aspekt in den Hintergrund treten. Die Applikation von Herbiziden würde bei entsprechender Ausbringungstechnik „online“ erfolgen (vgl. Kap. 2.5, S.11ff.). Dennoch sind Untersuchungen zur Stabilität sowie die Simulation der Entwicklung von Unkrautpopulationen aus unkrautbiologischer Sicht nach wie vor interessant und bedürfen weiterer Arbeiten. Hier ist vor allem an den verstärkten Einsatz neuartiger Methoden wie Geo-Informationssysteme oder der Bildverarbeitung bzw. geostatistische Verfahren zu denken.

## 9 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Untersuchungen zur Dynamik von Unkrautpopulationen unter dem Einfluss teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle in einer viergliedrigen Felderfolge Körnermais-Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste sowie in einer Maismonokultur durchgeführt. Die Ergebnisse des ersten Kapitels geben Aufschluss über die Effizienz der kleinräumigen Herbizidapplikation bezüglich der Unkrautreduktion. In zusätzlichen Parzellenversuchen wurden verschiedene Kontrollmaßnahmen getestet, um auch bei höherer Unkrautdichte ausreichende Bekämpfungserfolge zu erzielen. Darüber hinaus wurden Erkenntnisse zur Restverunkrautung und Samenproduktion der Unkräuter am Beispiel von *Chenopodium album*, *Solanum nigrum* und *Galinsoga parviflora* während der Vegetationsphase der Kulturarten gewonnen.

Die Ergebnisse des ersten Kapitels lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In Abhängigkeit von der angebauten Kulturart etablierten sich in den einzelnen Feldern und Jahren typische Unkrautarten. In den Hackfrüchten Körnermais und Zuckerrüben wurde *Chenopodium album* mit hoher Stetigkeit kartiert, in den Wintergetreidearten fanden sich neben Ungräsern (vornehmlich *Alopecurus myosuroides*) vor allem *Matricaria*-Arten. *Viola arvensis* zählte in allen Fruchtarten zu den Leitunkräutern. Weiterhin auffällig war das verstärkte Auftreten von Hirse-Arten in der Maismonokultur.
- Die vergleichsweise hohen Unkrautdichten in der Monokultur mit reduzierter, nicht wendender Bodenbearbeitung bestätigten den positiven Einfluss einer Rotation und der wendenden Bodenbearbeitung auf die Höhe der Verunkrautung.
- Durch die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle konnten Herbizide in erheblichem Umfang eingespart werden.
- Die Erfolgsrate der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle war in den Hackfrüchten höher als in den Wintergetreidearten. In den Hackfrüchten konnte die Dichte der Ungräser im Gesamtfeld um 58% (in Getreide: 18%), die dikotylen Unkräuter ohne *Galium aparine* um 83% (in Getreide: 67%) und *Galium aparine* um 99% (in Getreide: 68%) gesenkt werden.
- Für die Wintergetreidearten war der Zusammenhang zwischen herbizidbehandelter Fläche und Erfolg der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle hoch signifikant, in den Hackfrüchten hingegen nicht signifikant.
- In den Hackfrüchten nahm die Dichte der monokotylen Unkräuter in den behandelten Teilflächen um durchschnittlich 76% ab, in Getreide um 48%. Die vergleichbaren Werte für die dikotylen Unkräuter lagen in den Hackfrüchten bei 89%, in Ge-

treide bei 82%. In den unbehandelten Teilflächen nahm die Dichte der Ungräser in den Hackfrüchten um 26%, in Getreide um 17% zu. Die Dichte der zweikeimblättrigen Unkräuter sank trotz ausgebliebener Unkrautkontrolle in den Hackfrüchten um 43% bzw. um 37% in Getreide.

- Die Intensivierung oder Variation der Maßnahmen in den Parzellen brachte kein eindeutiges Ergebnis, der Einfluss auf den Bekämpfungserfolg war meist nur gering. Die Intensivierung der Maßnahmen führte nicht zwangsläufig zu höheren Reduktionsraten; oftmals hatten weniger intensive Maßnahmen in den Parzellen einen höheren Rückgang der Unkrautdichte zur Folge.
- Der Erfolg der Unkrautkontrollmaßnahmen war nicht dichteabhängig. Für die beobachteten Dichten war die ausgebrachte Herbiziddosis unterhalb der empfohlenen Menge auch in den stärker verunkrauteten Bereichen ausreichend und unproblematisch, geringere Bekämpfungserfolge waren nicht auf höhere Verunkrautungsichten zurückzuführen.
- Die Ermittlung der Samenproduktion und Spätverunkrautung von *Chenopodium album* vor der Ernte der Hackfrüchte ließ einen erheblichen Eintrag von Samen in das Bodensamenpotenzial erwarten. Aus ertragswirtschaftlichen Gründen ist dieses Ergebnis sicherlich unbedeutend, aber bezüglich der Stabilität der Unkrautpopulationen könnte diese Restverunkrautung langfristig relevant sein. In Getreide war kein Sameneintrag von *Chenopodium album* in das Samenpotenzial des Bodens zu beobachten.

Die Ergebnisse zeigten, dass die teilschlagspezifische Unkrautkontrolle im Hinblick auf ihre Effizienz bezüglich der Unkrautreduktion und die Restverunkrautung eine sinnvolle Alternative zur ganzflächigen Herbizidapplikation darstellt. Aus ertragswirtschaftlichen Gründen war die Restverunkrautung unbedeutend, so dass nicht von einem unmittelbaren ökonomischen Schaden gesprochen werden konnte. Unter diesem Aspekt war die ökonomische Schadensschwelle ein probates Entscheidungskriterium für oder gegen eine Herbizidbehandlung. Unter dem Gesichtspunkt der Stabilität von Unkrautpopulationen sollte in Zukunft zusätzlich mehr Augenmerk auf die Samenproduktion infolge der Restverunkrautung gelegt werden.

Im zweiten Kapitel wurde eine objektive und nachvollziehbare Definition für ein Unkrautnest auf Grundlage der bildanalytischen Auswertung der Unkrautverteilungskarten festgelegt. Demnach waren Unkrautnester verunkrautete Feldbereiche innerhalb der Verteilungskarten, deren Entfernung zueinander die maximale Entfernung zwischen zwei Zählstellen (in der vorliegenden Arbeit - aufgrund des Kartierungsrasters -

15 Meter) nicht überschritt. Alle diese verunkrauteten Flächen wurden zu einem Unkrautnest zusammengefasst. In Abhängigkeit von Jahr und angebauter Fruchtart war es möglich, dass in einem Jahr ein gesamtes Feld als „ein Unkrautnest“ angesehen wurde, wenngleich in den übrigen Jahren einzelne Aggregationen zu erkennen waren, die per Definition separate Unkrautnester waren. Daher wurden bei der Interpretation der Unkrautpopulationen eines Feldes die Verteilungsmuster des gesamten Versuchszeitraums berücksichtigt. Feldbereiche, die in mindestens einem Jahr als Unkrautnest definiert wurden, wurden auch in den übrigen Jahren auf Unkrautvorkommen untersucht. Mithin ergab sich ein zu untersuchender Teilbereich des Feldes, dessen Grenzen von der räumlichen Ausdehnung der Nester in allen Jahren bestimmt wurden. Weiterhin wurden verschiedene Parameter und Methoden zur Analyse der Dynamik von Unkrautpopulationen untersucht und bewertet.

- Durch die berechneten Parameter („Maßkorrelationskoeffizient nach Pearson“, „Vierfelder- $\chi^2$ -Testes auf Unabhängigkeit“) wurde die Stabilität von Unkrautpopulationen statistisch belegt. Änderungen innerhalb von Unkrautpopulationen konnten durch diese Parameter jedoch nicht lokalisiert werden. Zu diesem Zweck war die visuelle Interpretation von Unkrautverteilungskarten unerlässlich.
- Zur weiteren Analyse der aus der visuellen Interpretation gewonnenen Informationen war die bildanalytische Auswertung der Verteilungskarten ein geeignetes Hilfsmittel. Durch dieses Verfahren war es möglich, auch geringfügige Änderungen innerhalb der Unkrautpopulationen auszumachen. Zur Interpretation der Ergebnisse der Bildanalyse fehlen aber bislang noch präzise Entscheidungsmodelle.
- Die untersuchten Unkrautpopulationen waren in ihrem Vorhandensein in den ausgewählten Feldsegmenten über den Versuchszeitraum stabil. Die Nester variierten jedoch in ihrer Flächengröße innerhalb der ausgewählten Teilflächen in Abhängigkeit von angebauter Fruchtart und Anbaujahr. Eine langfristige Abschätzung der Entwicklung der Unkrautpopulationen unter dem Einfluss teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle ist aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht möglich.

## 10 Literaturverzeichnis

- AHLERS, D. (2001): Gänsefuß ist nicht alles. *DLG-Mitteilungen*, 4/2001: 46-47.
- AHRENS, W.H. (1994): Relative Costs of a Weed-Activated Versus Conventional Sprayer in Northern Great-Plains Fallow. *Weed Technology*, 8, 1: 50-57.
- BARROSO, J., D. RUIZ, C. FERNANDEZ-QUINTANILLA, A. RIBEIRO & B. DIAZ (2001): Comparison of various sampling methodologies for site specific sterile wild oat (*Avena steirilis*) management. *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture (ECPA), June 18-20, 2001, Montpellier, France*, 575-580.
- BAUER, T.A. & D.A. MORTENSEN (1992): A comparison of economic and economic optimum thresholds for two annual weeds in soybeans. *Weed Technology*, 6, 1: 228-235.
- BEAUMONT, P. (1993): Pesticides, Policies and People. The Pesticides Trust, London, 211S..
- BEER, E. (1986): Practical use of economic thresholds in winter rye. Praktische Anwendung von Schadensschwelen in Winterroggen. *Proceedings, EWRS symposium on economic weed control.*, 361-370.
- BEHRENDT, S. (1975): Die wichtigsten zweikeimblättrigen Unkrautarten in Winter- und Sommergetreide, ihre regionale Verteilung und ihre Abhängigkeit von Bodenarten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 82: 388-397.
- BILL, R. & F. SCHMIDT (2002): Relief. *Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13.-15. März 2002 in Bonn, KTBL-Sonderveröffentlichung 038*, 65-76.
- BILLER, R.H. (1998): Reduced input of herbicides by use of optoelectronic sensors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, 4: 357-362.
- BINIYAK, B.M. & R.J. ALDRICH (1986): Reducing velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and giant foxtail (*Setaria faberi*) seed production with simulated-roller herbicide applications. *Weed Science*, 34, 2: 256-259.
- BLACK, I.D. & C.B. DYSON (1993): An economic threshold model for spraying herbicides in cereals. *Weed Research Oxford*, 33, 4: 279-290.
- BRANDES, A. (2000): Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Restverunkrautung und Standort. *Dissertation Universität Göttingen*.
- BUHLER, D.D., R.G. HARTZLER & F. FORCELLA (1998): Weed seed bank dynamics: implications to weed management. *Journal of Crop Production*, 1, 1: 145-168.
- CARDINA, J., E. REGNIER & D. SPARROW (1995): Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) competition and economic thresholds in conventional and no-tillage corn (*Zea mays*). *Weed Science*, 43, 1: 81-87.

- CARDINA, J., G.A. JOHNSON & D.H. SPARROW (1997): The nature and consequence of weed spatial distribution. *Proceedings of a symposium of the Weed Science Society of America 1997: Importance of weed biology to weed management. Norfolk, Virginia, USA, 6 February 1996.*, 45, 3: 364-373.
- CARDINA, J. & H.M. NORQUAY (1997): Seed production and seedbank dynamics in subthreshold velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) populations. *Weed Science*, 45, 1: 85-90.
- CAVERS, P.B. (1983): Seed demography. *Canadian Journal of Botany*, 61: 3578-3590.
- CHANGERE, A. & R. LAL (1997): Slope position and erosional effects on soil properties and corn production on a Miamian soil in Central Ohio. *Journal of Sustainable Agriculture*, 11, 1: 5-21.
- CHRISTENSEN, S., T. HEISEL & A.M. WALTER (1996): Patch spraying in cereals. *Proceedings of the second international weed control congress, Copenhagen, Denmark, 25-28 June 1996.*, Volumes 1-4.: 963-968.
- CHRISTENSEN, S. & T. HEISEL (1999): Simulation of long term *Alopecurus myosuroides* population using three patch spraying strategies. *Precision agriculture '99, Part 2. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11-15 July 1999.* 977-987.
- CLARKE, J.H. (2000): Weed management for the new millennium. *Aspects of Applied Biology*, 62: 221-230.
- COBLE, H.D. & D.A. MORTENSEN (1992): The threshold concept and its application to weed science. *Weed Technology*, 6, 1: 191-195.
- COLBACH, N., F. FORCELLA & G.A. JOHNSON (2000): Spatial and temporal stability of weed populations over five years. *Weed Science*, 48, 3: 366-377.
- COLLIVER, C.T., B.D. MAXWELL, D.A. TYLER, D.W. ROBERTS & D.S. LONG (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, 23-26 June 1996.*, 453-464.
- COOTES, T.F., A. HILL & C.J. TAYLOR (1994): The use of active shape models for locating structures in medical images. *Image and Vision Computing*, 12, 6: 355-366.
- COUSENS, R. (1985): An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 105: 513-521.
- COUSENS, R. (1987): Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection Quarterly*, 2, 1: 13-20.
- COUSENS, R. & R. MORTIMER (1995): Dynamics of weed populations. *New York, Cambridge University Press*, 332 S..

- DESSAINT, F., R. CHADOEUF & G. BARRALIS (1991): Spatial pattern analysis of weed seeds in the cultivated soil seed bank. *Journal of Applied Ecology*, 28: 721-730.
- DIELEMAN, J.A. & D.A. MORTENSEN (1999): Characterizing the spatial pattern of *Abutilon theophrasti* seedling patches. *Weed Research Oxford*, 39, 6: 455-467.
- DIELEMAN, J.A., D.A. MORTENSEN & A.R. MARTIN (1999): Influence of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and common sunflower (*Helianthus annuus*) density variation on weed management outcomes. *Weed Science*, 47, 1: 81-89.
- DOERGE, T.A. (1999): Yield Map Interpretation. *Journal of Production Agriculture*, 12, 1: 54-61.
- DOHMEN, B. (1996): Optoelektronisch gesteuerte Applikation von Herbiziden - Erfahrungen mit dem amerikanischen System WEEDSEEKER® bei der Unkrautbekämpfung auf Bahngleisen. *Innovative Verfahren zur Unkrauterkenntung - KTBL-Arbeitspapier 236*, 86-94.
- DOUCET, C., S.E. WEAVER, A.S. HAMILL & J.H. ZHANG (1999): Separating the effects of crop rotation from weed management on weed density and diversity. *Weed Science*, 47, 6: 729-735.
- DOYLE, C.J., R. COUSENS & S.R. MOSS (1986): A model of the economics of controlling *Alopecurus myosuroides* Huds. in winter wheat. *Crop Protection*, 5, 2: 143-150.
- DU RETAIL, F. (1983): La multiplication des adventices dans la culture betteravière. *Comptes Rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France*, 69, 11: 761-767.
- EARL, R., P.N. WHEELER, B.S. BLACKMORE & R.J. GODWIN (1996): Precision farming - the management of variability. *Landwards*, 51, 4: 18-23; 12 ref.
- EHLERT, D. (2000): Measuring mass flow by bounce plate for yield mapping of potatoes. *Precision agriculture '99, Part 1. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11-15 July 1999.*, 119-130.
- EHLERT, D. (2000): Sensorik zur Gewinnung von Bodenparametern, Pflanzenparametern und Ertragsdaten. *Elektronik in der Landwirtschaft. Elektronikeinsatz zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktion und des Managements: Erfahrungen und neue Ansätze. KTBL-LAV-Vortragstagung am 12. April 2000 in Veitshochheim. KTBL-Schrift.*, No. 390: 59-66.
- EKSTRÖM, G. & V. BERNSON (1995): Swedish pesticide policies 1972-93: risk reduction and environmental charges. *Reviews-of-Environmental-Contamination-and-Toxicology.*, 141: 27-70.
- ELLENBERG, H. (1950): Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie. *Band 1: Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden*, Stuttgart.
- FALCONER, K.E. (1998): Managing diffuse environmental contamination from agricultural pesticides: an economic perspective on issues and policy options, with particular reference to Europe. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 69, 1: 37-54.

- FALCONER, K. & I. HODGE (2000): Using economic incentives for pesticide usage reductions: responsiveness to input taxation and agricultural systems, *Agricultural Systems*, 63, 3: 175-194.
- FELTON, W.L. & K.R. MCCLOY (1992): Spot spraying. *Agricultural Engineering*, 73, 6: 9-12.
- FIEZ, T.E., B.C. MILLER & W.L. PAN (1994): Winter wheat yield and grain protein across varied landscape positions. *Agronomy Journal*, 86, 6: 1026-1032.
- FRECKLETON, R.P. & A.R. WATKINSON (1998): Predicting the determinants of weed abundance: a model for the population dynamics of *Chenopodium album* in sugar beet. *Journal of Applied Ecology*, 35, 6: 904-920.
- GERHARDS, R., D.Y. WYSE PESTER, D. MORTENSEN & G.A. JOHNSON (1997a): Characterizing spatial stability of weed populations using interpolated maps. *Weed Science*, 45, 1: 108-119.
- GERHARDS, R., M. SÖKEFELD, K. SCHULZE LOHNE, D.A. MORTENSEN & W. KÜHBAUCH (1997b): Site specific weed control in winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 178, 4: 219-255.
- GERHARDS, R., M. SÖKEFELD & W. KÜHBAUCH (1998): Einsatz der digitalen Bildverarbeitung bei der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XVI: 273-278.
- GERHARDS, R., M. SÖKEFELD, C. TIMMERMANN, P. KROHMANN & W. KÜHBAUCH (2000): Precision weed control - more than just saving herbicides, *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XVII: 179-186.
- GEROWITT, B. & R. HEITEFUSS (1990): Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany, *Crop Protection*, 9, 5: 323-331.
- GHERSA, C.M., R.L. BENECH-ARNOLD, E.H. SATORRE & M.A. MARTINEZ-GHERSA (2000): Advances in weed management strategies. *Field Crops Research*, 67, 2: 95-104.
- GOUDY, H.J., K.A. BENNETT, R.B. BROWN & F.J. TARDIF (2001): Evaluation of site-specific weed management using a direct-injection sprayer. *Weed Science*, 49, 3: 359-366; 27 ref.
- GREEN, H.M., W.K. VENCILL, C.K. KVIEN, B.C. BOYDELL & S. POCKNEE (1997): Precision Management of Spatially Variable Weeds. *Precision Agriculture '97, First European Conference on Precision Agriculture*, 2: 983-989.
- GROENENDAEL, J.M.v. (1988): Patchy distribution of weeds and some implications for modelling population dynamics: a short literature review. *Weed Research Oxford*, 28, 6: 437-441.
- HABERLAND, R. (1994): Auftreten und Auswirkungen der Restverunkrautung in Zuckerrüben. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XIV: 477-486.
- HANF, M. (1982): Ackerunkräuter Europas. *BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen*.

- HARRISON, S.K. (1990): Interference and seed production by common lambsquarters (*Chenopodium album*) in soybeans (*Glycine max*)., *Weed Science*, 38: 2, 113-118.
- HARTLEY, M.J. (1991): Density dependence of weed seed production in two field crops. *Proceedings of the 44th New Zealand Weed and Pest Control Conference*, 125-128.
- HARTZLER, R.G. (1996): Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) population dynamics following a single year's seed rain., *Weed Technology*, 10, 3: 581-586.
- HÄUSLER, A. & H. NORDMEYER (1999): Characterizing spatial and temporal dynamics of weed seedling populations. *Precision agriculture '99, Part 1. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11-15 July 1999.*, 463-472.
- HEEGE, H.J. & S. REUSCH (1997): Zur teilflächenspezifischen Stickstoff-Kopfdüngung. *Landtechnik*, 52, 3: 126-127.
- HEINRICH, U. (1992): Zur Methodik der räumlichen Interpolation mit geostatistischen Verfahren: Untersuchungen zur Validität flächenhafter Schätzungen diskreter Messungen kontinuierlicher raumzeitlicher Prozesse. *Wiesbaden, 1992*.
- HEISEL, T., S. CHRISTENSEN & A.M. WALTER (1997): Validation of weed patch spraying in spring barley - preliminary trial. *Precision Agriculture '97, First European Conference on Precision Agriculture*, 2: 879-886.
- HESS, M., G. BARRALIS, H. BLEIHOLDER, L. BUHR, T. EGGERS, H. HACK & R. STAUSS (1997): Use of the extended BBCH scale - general for the descriptions of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species. *Weed Research Oxford*, 37, 6: 433-441.
- HOWARD, C.L., A.M. MORTIMER, P. GOULD, P.D. PUTWAIN, R. COUSENS & G.W. CUSSANS (1991): The dispersal of weeds: seed movement in arable agriculture., *Brighton Crop Protection Conference: Weeds. 1991*, Vol. 2: 821-828.
- JANSMA, J.E., H. VAN KEULEN & J.C. ZADOKS (1993): Crop protection in the year 2000: a comparison of the current policies towards agrochemical usage in four West European countries. *Crop Protection*, 12, 7: 483-489.
- JOHNSON, G.A., D.A. MORTENSEN & C.A. GOTWAY (1996): Spatial and temporal analysis of weed seedling populations using geostatistics. *Weed Science*, 44, 3: 704-710.
- JONES, R.E. & R.W. MEDD (2000): Economic thresholds and the case for longer term approaches to population management of weeds. *Weed Technology*, 14, 2: 337-350.
- KLAPP, E. (1941): Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. Berlin.
- KRAVCHENKO, A.N. & D.G. BULLOCK (2000): Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal*, 92, 1: 75-83.

- KÜHBAUCH, W. (2002): Fernerkundung - eine Zukunftstechnologie im Präzisionspflanzenbau. *Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13.-15. März 2002 in Bonn, KTBL-Sonderveröffentlichung 038*, 79-88.
- LAMB, D.W. & R.B. BROWN (2001): Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 2: 117-125.
- LAMP, J., R. HERBST & G. REIMER (2002): Digitale Hof-Bodenkarten. *Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13.-15. März 2002 in Bonn, KTBL-Sonderveröffentlichung 038*, 35-52.
- LIEBHOLD, A.M., R.E. ROSSI & W.P. KEMP (1993): Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, 38: 303-327.
- LIEBMAN, M. & E. DYCK (1993): Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications*, 3, 1: 92-122.
- LOCK, R. (2002): Persönliche Mitteilung. Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau, Universität Bonn.
- LLOYD, M. (1967): Mean crowding. *Journal of Animal Ecology*, 36: 1-30.
- MAIDL, F.X., R. BRUNNER, E. STICKSEL & G. FISCHBECK (1999): Ursachen kleinräumiger Ertragsschwankungen im bayerischen Tertiärhügelland und Folgerungen für eine teilschlagbezogene Düngung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 162, 3: 337-342.
- MARSHALL, E.J.P. (1989): Distribution patterns of plants associated with arable field edges. *Journal of Applied Ecology*, 26, 1: 247-257.
- MAXWELL, B.D. & C.T. COLLIVER (1995): Expanding economic thresholds by including spatial and temporal weed dynamics. *Brighton Crop Protection Conference: Weeds. Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 20-23 November 1995.*, Vol. 3: 1069-1076.
- MEDLIN, C.R. & D.R. SHAW (2000): Economic comparison of broadcast and site-specific herbicide applications in nontransgenic and glyphosate-tolerant *Glycine max*. *Weed Science*, 48, 5: 653-661.
- MEDLIN, C.R., D.R. SHAW, P.D. GERARD & F.E. LAMASTUS (2000): Using remote sensing to detect weed infestations in *Glycine max*. *Weed Science*, 48, 3: 393-398.
- MILLER, M.S. & D.B. SMITH (1992): A direct nozzle injection controlled rate spray boom. *Transactions of the ASAE*, 35, 3.
- MILLS, C.E. & P.J. RYAN (1995): The control of herbicide-resistant *Alopecurus myosuroides* (blackgrass). *Brighton Crop Protection Conference: Weeds. Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 20-23 November 1995*, Vol. 3: 1153-1160.

- MORTENSEN, D.A., G.A. JOHNSON & L.J. YOUNG (1993): Weed distribution in agricultural fields. *Proceedings of soil specific crop management: a workshop on research and development issues, April 14-16, 1992, Minneapolis, MN, USA*, 113-124.
- MOSS, S.R. (1990): The seed cycle of *Alopecurus myosuroides* in winter cereals: a quantitative analysis. *Symposium on Integrated Weed Management in Cereals. Proceedings of an EWRS Symposium, Helsinki, Finland, June 4-6, 1990*, 27-35.
- MURPHY, D.P.L., H. OESTERGAARD & E. SCHNUG (1994): Lokales Ressourcen Management - Ergebnisse und Ausblick. *Technik für die kleinräumige Bestandesführung; ATB/KTBL-Arbeitspapier 214*, 90-101.
- NIEMANN, P., K. HURLE, E. BEER & J. KAKAU (2000): Medium-term consequences of enhanced weed-thresholds in cereals on weed infestation in the succeeding crops. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII*, 281-290.
- NORDBO, E., S. CHRISTENSEN, K. KRISTENSEN & M. WALTER (1994): Patch spraying of weeds in cereal crops. *Aspects of Applied Biology*, 40: 325-334.
- NORDMEYER, H., A. HÄUSLER & P. NIEMANN (1997): Patchy weed control as an approach in precision farming. *Precision Agriculture '97, First European Conference on Precision Agriculture*, Volume I: 307-314.
- NORDMEYER, H. & A. HÄUSLER (2000): Experiences with site-specific weed control on a farm. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft 17*: 195-205.
- NORRIS, R.F. (1992): Have ecological and biological studies improved weed control strategies? *Proceedings of the 1st International Weed Control Congress*, Vol. 1: 7-33.
- NORRIS, R.F. (1999): Ecological implications of using thresholds for weed management. *Journal of Crop Production*, 2, 1: 31-58.
- O' DONOVAN, J.T. (1996): Weed economic thresholds: useful agronomic tool or pipe dream? *Phytoprotection*, 77, 1: 13-28.
- PAICE, M.E.R., W. DAY, L.J. REW & A. HOWARD (1998): A stochastic simulation model for evaluating the concept of patch spraying. *Weed Research Oxford*, 38, 5: 373-388.
- PALLUTT, B. & W. RODER (1992): Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von unkrautbedingten Kornertragsverlusten bei Wintergetreide. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIII*: 129-137.
- PALLUTT, B. & A. FLATTER (1998): Variabilität der Konkurrenz von Unkräutern in Getreide und daraus resultierende Auswirkungen auf die Sicherheit von Schwellenwerten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI*: 333-344.
- PEISL, S. & M. ESTLER (1993): Vom Kanister in die Düse - ist die Direkteinspeisung praxisreif? *profi*, 4: 54-57.

- PETERSEN, J. & K. HURLE (1998): Einführung von herbizidresistenten Sorten: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderh. XVI: 365-372.
- PLANT, R.E. (2001): Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30: 9-29.
- RADEMACHER, B. (1963): Entwicklungslinien in der Unkrautbekämpfung. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, 40, Sonderheft 3: 77-95.
- RADOSEVICH, S., J. HOLT & C. GHERSA (1997): Weed ecology, implications for management, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- REW, L.J. & G.W. CUSSANS (1995): Patch ecology and dynamics - how much do we know? *Brighton Crop Protection Conference: Weeds. Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 20-23 November 1995*, Vol. 3: 1059-1068.
- REW, L.J. & R.D. COUSENS (1998): What do we know about the spatial distribution of arable weeds? *Precision Weed Management in Crops and Pastures, CRC for Weed Management Systems, Adelaide, Australia.*, 20-26.
- REW, L.J., D.W. LAMB, M.M. WEEDON, J.L. LUCAS, R.W. MEDD & D. LEMERLE (1999): Evaluating airborne multispectral imagery for detecting wild oats in a seedling triticale crop. *Precision agriculture '99, Part 1. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11-15 July 1999*, 265-274.
- REW, L.J. & R.D. COUSENS (2001): Spatial distribution of weeds in arable crops: are current sampling and analytical methods appropriate? *Weed Research Oxford*, 41, 1: 1-18.
- ROEMER, T. (1929): Handbuch der Landwirtschaft: Zweiter Band: Ackerbaulehre. Berlin.
- SADLER, E.J., P.J. BAUER & W.J. BUSSCHER (2000): Site-specific analysis of a droughted corn crop: I. Growth and grain yield. *Agronomy Journal*, 92, 3: 395-402.
- SCHMIDTHALTER, U., J. RAUPENSTRAUCH, T. SELIGE & J. BOBERT (2002): Geophysikalische Erfassung von Standorteigenschaften. *Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13.-15. März 2002 in Bonn, KTBL-Sonderveröffentlichung 038*, 53-64.
- SCHMIDTHALTER, U. & T. SELIGE (2002): Multispektrale Fernerkundung von Bodeneigenschaften und Aufwuchszuständen. *Precision Agriculture. Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13.-15. März 2002 in Bonn, KTBL-Sonderveröffentlichung 038*, 117-128.
- SCHWEIZER, E.E. & R.L. ZIMDAHL (1984): Weed seed decline in irrigated soil after six years of continuous corn (*Zea mays*) and herbicides. *Weed Science*, 32: 76-83.
- SOGAARD, H.T. & T. HEISEL (2002): Machine vision identification of weed species based on active shape models. *12th EWRS Symposium, Wageningen 2002*, 402-403.

- SÖKEFELD, M., R. GERHARDS & W. KÜHBAUCH (2000): Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle - von der Unkrauterfassung bis zur Herbizidapplikation. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft 17: 227-233.
- SÖKEFELD, M., R. GERHARDS, R.-D. THERBURG, A. NABOUT, J. JACOBI, R. LOCK & W. KÜHBAUCH (2002): Multispektrale-Bildanalyse zur Erfassung von Unkraut und Blattkrankheiten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft 18: 437-442.
- STEVENS, O.A. (1932): The number and weight of seeds produced by weeds. *American Journal of Botany*, 19: 784-794.
- SWANTON, C.J., S. WEAVER, P. COWAN, R. VAN ACKER, W. DEEN & A. SHRESTHA (1999): Weed thresholds: theory and applicability. *Journal of Crop Production*, 2, 1: 9-29.
- SYLVESTER-BRADLEY, R., E. LORD, D.L. SPARKES, R.K. SCOTT, J.J.J. WILTSHIRE & J. ORSON (1999): An analysis of the potential of precision farming in Northern Europe. *Soil Use and Management*, 15, 1: 1-8.
- THORNTON, P.K., R.H. FAWCETT, J.B. DENT & T.J. PERKINS (1990): Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control. *Crop Protection*, 9, 5: 337-342.
- TIAN, L., J.F. REID & J.W. HUMMEL (1999): Development of a precision sprayer for site-specific weed management., *Transactions of the ASAE*, 42, 4: 893-900.
- TIMMERMANN, C. (2001): Teilflächenspezifische Unkrautkontrolle im präzisen Pflanzenbau unter Berücksichtigung von Ertragsdaten und Bodenparametern. Dissertation Universität Bonn, 2001.
- TIMMERMANN, C., R. GERHARDS & W. KÜHBAUCH (2002): Analyse der Ertrags- und Unkrautverteilung in Ackerschlägen mit einem Geo-Informationssystem (GIS). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188: 34-42.
- TIMMERMANN, C., R. GERHARDS & W. KÜHBAUCH (2003): The economic impact of site-specific weed control. *Precision Agriculture*, 4: 241-252, *im Druck*.
- VANGESSEL, M.J., E.E. SCHWEIZER, D.W. LYBECKER & P. WESTRA (1996): Integrated weed management systems for irrigated corn (*Zea mays*) production in Colorado - a case study. *Weed Science*, 44: 423-428.
- VRINDTS, E. & J. de BAERDEMAEKER (1997): Optical discrimination of crop, weed and soil for on-line weed detection. *Precision agriculture '97. Volume II. Technology, IT and management. Papers presented at the First European Conference on Precision Agriculture, Warwick University, UK, 7-10 September 1997.*, 537-544.
- WALTER, A.M. (1996): Temporal and spatial stability of weeds. *Proceedings of the second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 25-28 June 1996*, Volumes 1-4: 125-130.
- WELLMANN, A., W.R. SCHÄUFELE & B. MÄRLÄNDER (2000): Schadensschwellenkonzepte für eine zeitlich variierte Verunkrautung in Zuckerrüben. *Göttinger Zuckerrübenagung 2000. Hauptversammlung des Vereins der Kaufleute der Deutschen Zuckerindustrie, Göttingen, Germany, 31 August-1 September, 2000*. 125, 9: 702-714.

- WILSON, B.J. & P. BRAIN (1990): Weed monitoring on a whole farm - patchiness and the stability of distribution of *Alopecurus myosuroides* over a ten year period. *Symposium on Integrated Weed Management in Cereals. Proceedings of an EWRS Symposium, Helsinki, Finland, 4-6 June 1990.*, 45-52.
- WILSON, B.J. & P. BRAIN (1991): Long-term stability of distribution of *Alopecurus myosuroides* Huds. within cereal fields. *Weed Research Oxford*, 31, 6: 367-373.
- WYSE-PESTER, D.Y., D.A. MORTENEN & C.A. GOTWAY (1995): Statistical methods to quantify spatial stability of weed populations. *North-Central Weed Science Society Proceedings*, 50: 152.
- ZWERGER, P. & K. HURLE (1990): Untersuchungen zur Abbildungsgüte simulierter Befallsverläufe bei Unkräutern. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 97, 2: 133-141.
- ZWERGER, P. & H. U. AMMON (2002): Unkraut - Ökologie und Bekämpfung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

## 11 Anhang

### 11.1 Verzeichnis der Anhangstabellen

Anhangstab. 1	Verzeichnis der aufgeführten Unkräuter und Nutzpflanzen (EPPO-Code; lateinischer und deutscher Art- und Gattungsname).....	137
Anhangstab. 2	Die häufigsten Unkrautarten in Mais, Zuckerrüben und Wintergetreide in Deutschland (nach BEHRENDT 1975, PETERSEN und HURLE 1998, AHLERS 2001) .....	139
Anhangstab. 3	Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in <b>Feld 4</b> in den Jahren 1998-2001.....	140
Anhangstab. 4	Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in <b>Feld 6</b> in den Jahren 1998-2001.....	140
Anhangstab. 5	Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in <b>Feld 8</b> in den Jahren 1997-2001.....	141
Anhangstab. 6	Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in <b>Feld 9</b> in den Jahren 1998-2001.....	142
Anhangstab. 7	Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in der Monokultur <b>Feld GH</b> in den Jahren 1999-2001.....	142
Anhangstab. 8	Übersicht der verwendeten Herbizide und Zusatzstoffe in den Jahren 1998-2001.....	143
Anhangstab. 9	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in <b>Schlag 4</b> (Gesamtfeld) in den Jahren 1998-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	145
Anhangstab. 10	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in <b>Schlag 6</b> (Gesamtfeld) in den Jahren 1998-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	146
Anhangstab. 11	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in <b>Schlag 8</b> (Gesamtfeld) in den Jahren 1997-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	147
Anhangstab. 12	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in <b>Schlag 9</b> (Gesamtfeld) in den Jahren 1998-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	148
Anhangstab. 13	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in <b>Schlag GH</b> (Gesamtfeld) in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	149
Anhangstab. 14	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in <b>Schlag 4</b> (Parzellen) in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	150
Anhangstab. 15	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in <b>Schlag 6</b> (Parzellen) im Jahr 2001 (Mengenangaben pro ha) .....	151
Anhangstab. 16	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in <b>Schlag 8</b> (Parzellen) in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	152
Anhangstab. 17	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in <b>Schlag 9</b> (Parzellen) in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	154
Anhangstab. 18	Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in <b>Schlag GH</b> (Parzellen) in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha) .....	155
Anhangstab. 19	Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in <b>Körnermais bzw. Sonnenblumen</b> .....	156
Anhangstab. 20	Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in <b>Zuckerrüben</b> .....	157
Anhangstab. 21	Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in <b>Winterweizen</b> .....	158

Anhangstab. 22	Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in <b>Wintergerste</b> .....	159
Anhangstab. 23	Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in der <b>Monokultur Körnermais</b> .....	160
Anhangstab. 24	Veränderung der Dichte der <b>monokotylen Unkräuter</b> (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in den <b>Hackfrüchten</b> . (*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben).....	161
Anhangstab. 25	Veränderung der Dichte der <b>dikotylen Unkräuter ohne Galium aparine</b> (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in den <b>Hackfrüchten</b> . (*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben) .....	162
Anhangstab. 26	Veränderung der Dichte von <b>Galium aparine</b> (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in den <b>Hackfrüchten</b> . (*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben).....	163
Anhangstab. 27	Veränderung der Dichte der <b>monokotylen Unkräuter</b> (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in <b>Getreide</b> . (*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben) .....	164
Anhangstab. 28	Veränderung der Dichte der <b>dikotylen Unkräuter ohne Galium aparine</b> (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in <b>Getreide</b> . (*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben) .....	164
Anhangstab. 29	Veränderung der Dichte von <b>Galium aparine</b> (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in <b>Getreide</b> . (*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben) .....	165
Anhangstab. 30	Veränderung der Chenopodium album-Dichte in den teilschlagspezifisch behandelten bzw. unbehandelten Flächen von Termin 1 zu Termin 2 über den gesamten Versuchszeitraum (* p<0,05).....	166
Anhangstab. 31	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 4</b> (Parzellen) im Jahr <b>1999</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung. ....	167
Anhangstab. 32	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 8</b> (Parzellen) im Jahr <b>1999</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung. ....	167
Anhangstab. 33	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 9</b> (Parzellen) im Jahr <b>1999</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung. ....	168
Anhangstab. 34	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in Feld GH (Parzellen) im Jahr 1999 zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.....	168
Anhangstab. 35	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 4</b> (Mittelwert Parzellen) im Jahr <b>2000</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung. ....	169
Anhangstab. 36	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 8</b> (Parzellen) im Jahr <b>2000</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung. ....	169
Anhangstab. 37	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 9</b> (Mittelwert Parzellen) im Jahr <b>2000</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung. ....	170
Anhangstab. 38	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 9</b> (Einzelparzellen) im Jahr <b>2000</b> an den drei Terminen, deren prozentuale Veränderung von Termin 1 zu Termin 3 und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“ .....	170
Anhangstab. 39	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld GH</b> (Mittelwert Parzellen) im Jahr <b>2000</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung. ....	171
Anhangstab. 40	Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld GH</b> (Einzelparzellen) im Jahr <b>2000</b> an den drei Terminen, deren prozentuale Veränderung von Termin 1 zu Termin 3 und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“. ....	171

Anhangstab. 41	Dichte der drei untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 4</b> (Mittelwert Parzellen) im Jahr <b>2001</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung. ....	172
Anhangstab. 42	Dichte der vier untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 6</b> (Mittelwert Parzellen) im Jahr <b>2001</b> zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“. ....	172
Anhangstab. 43	Dichte der fünf untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 8</b> (Mittelwert Parzellen) im Jahr <b>2001</b> an den drei Terminen sowie deren prozentuale Veränderung und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“. ....	173
Anhangstab. 44	Dichte der vier untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m <sup>2</sup> ) in <b>Feld 9</b> (Mittelwert Parzellen) im Jahr <b>2001</b> an den drei Terminen sowie deren prozentuale Veränderung und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“. ....	174
Anhangstab. 45	Dichte der vier untersuchten Unkräuter in <b>Feld GH</b> (Mittelwert Parzellen) im Jahr <b>2001</b> an den drei Terminen sowie deren prozentuale Veränderung und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“. ....	175

Anhangstab. 1 Verzeichnis der aufgeführten Unkräuter 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. <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A.Löve	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 hederifolia</i> L.	Efeublättriger Ehrenpreis
VIOAR	<i>Viola arvensis</i> Murray	Acker-Stiefmütterchen

Anhangstab. 2 Die häufigsten Unkrautarten in Mais, Zuckerrüben und Wintergetreide in Deutschland (nach BEHRENDT 1975, PETERSEN und HURLE 1998, AHLERS 2001)

<b>Mais</b>	<u>monokotyle Unkräuter:</u> Hirse-Arten (überwiegend Gemeine Hühnerhirse) Quecke	<u>dikotyle Unkräuter:</u> Gänsefuß-Arten Windenknöterich Vogelmiere Schwarzer Nachtschatten Acker-Stiefmütterchen Vogel-Knöterich Kamille-Arten Hirtentäschel Franzosenkraut
<b>Zuckerrüben</b>	<u>monokotyle Unkräuter:</u> Hirse-Arten Ackerfuchsschwanz	<u>dikotyle Unkräuter:</u> Weißer Gänsefuß Kletten-Labkraut Kamille-Arten Vogelmiere Knöterich-Arten Gemeine Melde Taubnessel-Arten Raps Acker-Stiefmütterchen Ehrenpreis-Arten
<b>Wintergetreide</b>	<u>monokotyle Unkräuter:</u> Gemeiner Windhalm Acker-Fuchsschwanz Einjähriges Rispengras Trespe-Arten Gemeine Quecke	<u>dikotyle Unkräuter:</u> Kletten-Labkraut Taubnessel-Arten Ehrenpreis-Arten Vogelmiere Gemeines Hirtentäschel Kamille-Arten Acker-Stiefmütterchen

Anhangstab. 3 Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in **Feld 4** in den Jahren 1998-2001.

Zuckerrüben1998				Winterweizen1999			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
CHEAL	19,5	45,8	45,8	Gras	9,0	54,7	54,7
Ungräser	10,9	25,6	71,4	MATSS	4,2	25,3	80,0
MATSS	3,6	8,4	79,8	POLAV	1,1	6,4	86,4
VERSS	2,3	5,4	85,2	CAPBU	0,5	3,1	89,5
POLAV	2,3	5,3	90,5	VERSS	0,4	2,6	92,2
FUMOF	1,8	4,2	94,7	VIOAR	0,4	2,3	94,4
VIOAR	1,0	2,3	97,0	FUMOF	0,3	2,0	96,4
sonstige	1,3	2,9	99,9	sonstige	0,5	3,2	99,7
GALAP	0,03	0,07	100	GALAP	0,05	0,33	100,0

Wintergerste2000				Sonnenblumen2001			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
Gras	7,4	41,3	41,3	CHEAL	3,4	54,7	54,7
MATSS	5,0	27,9	69,2	Gras	1,3	21,3	75,9
VERSS	2,9	16,3	85,5	POLAV	0,5	8,6	84,5
FUMOF	0,8	4,5	89,9	FUMOF	0,4	6,2	90,7
VIOAR	0,6	3,5	93,4	VIOAR	0,1	2,2	92,9
CAPBU	0,4	2,0	95,4	CIRAR	0,1	1,9	94,7
sonstige	0,4	2,0	97,5	sonstige	0,2	3,4	98,1
GALAP	0,45	2,51	100,0	GALAP	0,12	1,94	100,0

Anhangstab. 4 Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in **Feld 6** in den Jahren 1998-2001.

Winterweizen1998				Wintergerste1999			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
POLAV	6,6	40,9	40,9	Gras	12,2	47,3	47,3
Gras	3,3	20,5	61,4	VERSS	4,2	16,2	63,5
VERSS	2,6	16,2	77,6	MATSS	3,7	14,3	77,8
MATSS	2,3	14,0	91,6	STEME	0,9	3,7	81,5
CAPBU	0,3	1,7	93,4	LAMSS	0,4	1,7	83,2
sonstige	0,7	4,3	97,7	sonstige	1,8	6,9	90,1
GALAP	0,37	2,3	100,0	GALAP	2,54	9,9	100,0

Körnermais2000				Zuckerrüben2001			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
CHEAL	4,3	36,6	36,6	Gras	10,9	38,4	38,4
POLAV	1,5	12,8	49,4	CHEAL	5,8	20,4	58,9
Gras	1,4	12,1	61,5	POLAV	4,6	16,4	75,3
GASPA	0,5	4,7	66,2	MATSS	1,7	5,9	81,1
VERSS	0,4	3,8	70,0	VIOAR	1,4	5,0	86,1
MATSS	0,4	3,2	73,2	STEME	1,2	4,3	90,4
SOLNI	0,3	2,8	76,0	VERSS	0,6	2,1	92,6
LAMSS	0,3	2,2	78,1	sonstige	0,7	2,5	95,1
STEME	0,2	1,5	79,6	GALAP	1,39	4,9	100,0
sonstige	1,2	10,5	90,1				
GALAP	1,15	9,9	100,0				

Anhangstab. 5 Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in **Feld 8** in den Jahren 1997-2001.

Körnermais1997				Zuckerrüben1998			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
VIOAR	7,4	29,1	29,1	VIOAR	20,8	41,5	41,5
CHEAL	5,8	23,0	52,1	CHEAL	13,4	26,7	68,1
BRANA	4,7	18,5	70,6	Gras	9,2	18,3	86,4
Gras	4,4	17,3	87,9	VERSS	1,8	3,6	90,0
FUMOF	0,9	3,6	91,5	FUMOF	1,3	2,5	92,5
POLAV	0,8	3,0	94,5	BRANA	1,2	2,4	94,9
STEME	0,6	2,4	96,8	POLAV	1,1	2,2	97,1
sonstige	0,8	3,0	99,8	STEME	1,0	1,9	99,0
GALAP	0,05	0,19	100,0	sonstige	0,4	0,9	99,9
				GALAP	0,05	0,10	100,0

Winterweizen1999				Wintergerste2000			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
Gras	6,2	32,9	32,9	VIOAR	16,2	58,0	58,0
VIOAR	3,9	20,7	53,6	Gras	5,8	20,8	78,8
VERSS	3,6	18,9	72,5	VERSS	3,0	10,7	89,5
BRANA	2,4	12,9	85,4	STEME	0,9	3,2	92,7
POLAV	1,4	7,3	92,7	BRANA	0,9	3,1	95,8
FUMOF	0,3	1,7	94,3	FUMOF	0,6	2,1	97,9
STEME	0,3	1,6	96,0	sonstige	0,4	1,6	99,5
sonstige	0,6	3,4	99,3	GALAP	0,15	0,52	100,0
GALAP	0,13	0,67	100,0				

Mais2001			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
CHEAL	11,5	57,5	57,5
BRANA	2,4	12,2	69,7
FUMOF	2,2	11,0	80,7
Gras	1,9	9,4	90,1
VIOAR	0,6	3,1	93,2
POLAV	0,6	2,9	96,1
sonstige	0,8	3,9	100,0
GALAP	0,00	0,00	100,0

Anhangstab. 6 Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in **Feld 9** in den Jahren 1998-2001.

Körnermais1998				Zuckerrüben1999			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
CHEAL	26,1	37,7	37,7	Gras	49,9	37,9	37,9
VIOAR	21,4	30,9	68,6	VIOAR	32,6	24,7	62,6
POLAV	16,2	23,4	91,9	POLAV	26,7	20,2	82,9
SOLNI	2,4	3,5	95,4	CHEAL	16,5	12,5	95,4
Gras	2,0	3,0	98,4	sonstige	6,1	4,6	100,0
VERSS	0,8	1,2	99,5	GALAP	0,01	0,01	100,0
sonstige	0,0	0,0	99,6				
GALAP	0,30	0,44	100,0				

Winterweizen2000				Wintergerste2001			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
VIOAR	29,7	54,5	54,5	VIOAR	9,7	36,0	36,0
Gras	9,0	16,5	71,0	Gras	9,1	33,7	69,7
POLAV	7,8	14,2	85,2	CHEAL	2,1	7,7	77,4
VERSS	5,4	10,0	95,2	MATSS	1,5	5,5	82,9
MATSS	1,0	1,8	97,0	VERSS	2,4	9,1	92,0
sonstige	1,5	2,7	99,7	GASPA	0,6	2,4	94,3
GALAP	0,15	0,28	100,0	POLAV	0,4	1,5	95,9
				STEME	0,4	1,5	97,4
				sonstige	0,7	2,5	99,9
				GALAP	0,04	0,15	100,0

Anhangstab. 7 Übersicht über die häufigsten Unkrautarten in der Monokultur **Feld GH** in den Jahren 1999-2001.

Körnermais1999				Körnermais2000			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert		Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
CHEAL	93,1	41,3	41,3	CHEAL	94,5	49,5	49,5
GASPA	61,5	27,3	68,6	GASPA	34,9	18,3	67,8
SOLNI	36,8	16,3	84,9	MONOKO	32,9	17,2	85,1
MONOKO	25,3	11,2	96,2	SOLNI	23,2	12,1	97,2
sonstige	8,7	3,8	100,0	sonstige	5,3	2,8	100,0
Gras	0,8	0,4		Gras	1,5	0,8	
Hirse	24,5	10,9		Hirse	31,4	16,5	

Körnermais2001			
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	%	%kumuliert
MONOKO	192,5	53,3	53,3
SOLNI	66,8	18,5	71,8
GASPA	54,3	15,0	86,8
CHEAL	43,0	11,9	98,7
sonstige	4,8	1,3	100,0
Gras	7,5	2,1	
Hirse	185,1	51,2	

Anhangstab. 8 Übersicht der verwendeten Herbizide und Zusatzstoffe in den Jahren 1998-2001

Handelsname	Kulturart	Unkrautarten	Wirkstoffgehalt
Artett	KM	DIKO, POAAN	150g/l Bentazon 150g/l Terbutylazin
Bacara	WG, WW	DIKO, POAAN, APESV	100g/l Diflufenican 250g/l Flurtamone
Basagran DP	WG, WW	STEME, GALAP, MATSS, POLCO	233g/l Dichlorprop-P 333g/l Bentazon
Betanal Progress OF	ZR	DIKO	25g/l Desmedipham 151g/l Ethofumesat 76g/l Phenmedipham
Bifenal	WG, WW	DIKO	250g/l Bifenox 308g/l Mecoprop-P
CATO	KM	Hirsearten, POAAN, DIKO	250g/kg Rimsulfuron
DEBUT	ZR	DIKO	485,7g/kg Triflusufuron
ECLAT	KM	DIKO	30g/kg Prosulfuron 600g/kg Bromoxynil
Ethosat 500	ZR	STEME, GALAP	500g/l Ethofumesat
FHS DPX-KG 691 OLEO	ZR	Formulierungshilfsstoff CATO und DEBUT	
FHS Extravon	KM	Formulierungshilfsstoff ECLAT	
Foxtril Super	WW, WG	DIKO	76,6g/l Ioxynil-Salz 250g/l Bifenox 292g /l Mecoprop-P
Gallant Super	ZR	MONOKO außer POAAN	104g/l Haloxyfop-R
GARDOBUC	KM	DIKO, POAAN	333g/l Terbutylazin 150g/l Bromoxynil
Goltix WG	ZR	POAAN, DIKO außer GALAP, POLSS	710g/kg Metamitron
Herold	WG, WW	DIKO, POAAN, ALOMY, APESV	200 g/kg Diflufenican 400 g/kg Flufenacet
HORA FLO	WG, WW	MATSS, STEME, POAAN, APESV, ALOMY	500g/l Isoproturon
LEXUS CLASS	WW	DIKO, ALOMY, APESV	310g/kg Carfentrazone 160g/kg Flupyr-sulfuron
ORKAN	WG, WW	DIKO	25g/l Diflufenican 187,5g/l Ioxynil 234g/l Mecoprop
POINTER	WW, WG	DIKO außer GALAP, VERSS	723,2g/kg Tribenuron
Powertwin	ZR	DIKO	200g/l Phenmedipham 200g/l Ethofumesat
Racer CS	SB	DIKO, POAAN	250g/l Flurochloridon

(Fortsetzung Anhangstab. 8 Übersicht der verwendeten Herbizide und Zusatzstoffe in den Jahren 1998-2001)

Ralon Super	WW, WG	ALOMY, APESV, AVEFA	75g/l Mefenpyr 63,6g/l Fenoxaprop-P
REFINE EXTRA	WG, WW	DIKO außer GALAP	241,1g/l Tribenuron 481,7g/l Thifensulfuron
Rebell	ZR	DIKO	400g/l Chloridazon 50g/l Quinmerac
STEFES IPU700	WW, WG	MATSS, STEME, POAAN, APESV, ALOMY	700g/l Isoproturon
STOMP SC	WW, WG SB	POAAN, DIKO ohne GALAP	400g/l Pendimethalin
TORNADO mit Oleo	ZR	POAAN, DIKO	700g/l Metamitron
Oleo FC	ZR, KM, WW, WG	Hilfsstoff	94% Paraffinöl 6% Emulgatoren

Anhangstab. 9 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag 4 (Gesamtfeld)** in den Jahren 1998-2001 (Mengenangaben pro ha).

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

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
1998	Zuckerrüben	31.03.98	VAK <b>1,2l Rebell</b> (400g/l Chloridazon, 50g/l Quinmerac) ( <i>20cm Band</i> )
		30.04.98	NAK1 <b>0,8l Powertwin</b> (200 g/l Phenmedipham + 200 g/l Ethofumesat) + <b>0,8l TORNADO</b> (700g/l Metamitron) + <b>0,4l Oleo</b>
		13.05.98	NAK2 <b>1l Powertwin</b> (200 g/l Phenmedipham + 200 g/l Ethofumesat) + <b>1l Oleo</b>
		25.05.98	NAK3 <b>30g DEBUT</b> (485,7g/kg Triflufuron) + <b>250ml FHS</b> + <b>0,4l Tornado</b> (700g/l Metamitron) + <b>Maschinenhacke</b>
1999	Winterweizen	23.04.00	NAK1 <b>2l Bifenal</b> (250g/l Bifenox + 308g/l Mecoprop-P) + <b>2l STEFES IPU700</b> (700g/l Isoproturon)
2000	Wintergerste	22.03.00	NAK1 <b>1,5l STEFES IPU700</b> (700g/l Isoproturon) + <b>1l ORKAN</b> (25g/l Diflufenican + 187,5 g/l Ioxynil + 234g/l Mecoprop-P)
2001	Sonnenblumen	03.05.01	VAK <b>1,2l STOMP SC</b> (400g/l Pendimethalin) + <b>0,8l Racer CS</b> (250g/l Flurochloridon) ( <i>20cm Band</i> )
		23.05.01	NAK2 <b>Maschinenhacke</b>
		01.06.01	NAK2 <b>Maschinenhacke</b>

Anhangstab. 10 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag 6 (Gesamtfeld)** in den Jahren 1998-2001 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
1998	Winterweizen	31.03.98	NAK1 <b>3,0l Foxtril Super</b> (76,6 g/l loxynil-Salz + 250 g/l Bifenox + 292 g/l Mecoprop-P)
1999	Wintergerste	16.03.99	NAK1 <b>3l Bifenal</b> (250g/l Bifenox + 308g/l Mecoprop-P) + <b>3l HORA FLO</b> (500g/l Isoproturon)
2000	Körnermais	26.05.00	VAK1 Striegel NAK1 <b>4,0l Artett</b> (150g/l Bentazon + 150g/l Terbutyazin) + <b>50g CATO</b> (250g/kg Rimsulfuron) + <b>0,3l FHS</b> NAK2 <b>Maschinenhacke</b>
2001	Zuckerrüben	12.04.01	VAK <b>1,2l Rebell</b> (400g/l Chloridazon, 50g/l Quinmerac) ( <i>20cm Band</i> )
		03.05.01	NAK1 <b>0,7l Betanal Progress OF</b> (25g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) <b>0,7l Tornado</b> (700g/l Metamitron)
		11.05.01	NAK2 <b>0,7l Betanal Progress OF</b> (25g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) <b>0,7l Tornado</b> (700g/l Metamitron)
		22.05.01	NAK3 <b>0,75l Gallant Super</b> (104g/l Haloxyfop-R); <i>teilschlagspezifisch</i>
		30.05.01	NAK4 <b>0,7l Betanal Progress OF</b> (25g/l Desmedipham + 151g/l Ethofumesat + 76g/l Phenmedipham) <b>0,7l Tornado</b> (700g/l Metamitron)

Anhangstab. 11 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag 8 (Gesamtfeld)** in den Jahren 1997-2001 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
1997	Körnermais	28.05.97	NAK1 <b>2,0l GARDOBUC</b> (333 g/l Terbutylazin +150 g/l Bromoxynil) + <b>30g Cato</b> (250g/kg Rimsulfuron) + <b>180ml FHS</b>
		11.06.97	NAK2 <b>Rollkuli</b>
1998	Zuckerrüben	01.04.98	VAK <b>1,2l Rebell</b> (400g/l Chloridazon, 50g/l Quinmerac) ( <i>20cm Band</i> )
		28.04.98	NAK1 <b>0,8l Powertwin</b> (200 g/l Phenmedipham + 200 g/l Ethofumesat) + <b>0,8l Tornado</b> (700g/l Metamitron) + <b>0,4l Oleo</b>
		05.05.98	NAK2 <b>1l Powertwin</b> (200 g/l Phenmedipham + 200 g/l Ethofumesat) + <b>0,6l Rebell</b> (400g/l Chloridazon + 50g/l Quinmerac) + <b>0,1l Ethosat500</b> (500g/l Ethofumesat) <b>1l Oleo</b> ( <i>20cm Band</i> ) + <b>Maschinenhacke</b>
		05.06.98	NAK3 <b>1l Rebell</b> (400g/l Chloridazon + 50g/l Quinmerac) + <b>1l Tornado</b> (700g/l Metamitron) + <b>Maschinenhacke</b>
		26.06.98	NAK4 <b>0,5l Gallant Super</b> (104g/l Haloxyfop-R)
1999	Winterweizen	23.04.99	NAK1 <b>2l Bifenal</b> (250g/l Bifenox + 308g/l Mecoprop-P) + <b>2l STEFES IPU700</b> (700g/l Isoproturon)
		12.05.99	NAK2 <b>1,2l Ralon Super</b> (75g/l Mefenpyr + 63,6g/l Fenoxaprop-P); <i>in den Nestern, ohne Mengenregulierung</i>
2000	Wintergerste	22.03.00	NAK1 <b>2l STEFES IPU700</b> (700g/l Isoproturon) <b>40g POINTER</b> (723,2g/kg Tribenuron)
2001	Körnermais	30.05.01	NAK1: <b>30g CATO</b> (250g/kg Rimsulfuron) + <b>180ml FHS</b> + <b>0,5kg ECLAT</b> (30g/kg Prosulfuron + 600g/kg Bromoxynil); + <b>250ml FHS</b>
		07.06.01	NAK2 <b>Rollkuli</b>

Anhangstab. 12 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag 9** (Gesamtfeld) in den Jahren 1998-2001 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Termin	Maßnahme
1998	Körnermais	30.04.98	NAK1 <b>striegeln</b>
		26.05.98	NAK2 <b>2,0l GARDOBUC</b> (333 g/l Terbutylazin + 150 g/l Bromoxynil) + <b>30g Cato</b> (250g/kg Rimsulfuron) + <b>180ml FHS</b>
		05.06.98	NAK3 <b>Rollkuli</b>
1999	Zuckerrüben	30.03.99	VAK <b>1,2l/ha Rebell</b> (400g/l Chloridazon + 50g/l Quinmerac); <i>20 cm Band</i>
		30.04.99	NAK1 <b>1l Powertwin</b> (200 g/l Phenmedipham + 200 g/l Ethofumesat) + <b>1l TORNADO</b> (700g/l Metamitron) + <b>0,5l Oleo</b> + <b>0,5l Gallant Super</b> (104g/l Haloxypop-R)
		12.05.99	NAK2 <b>0,8l Powertwin</b> (200 g/l Phenmedipham + 200 g/l Ethofumesat) + <b>0,8l Rebell</b> (400g/l Chloridazon + 50g/l Quinmerac), <b>20g Debut</b> (485,7g/kg Triflusufuron)
		19.05.99	NAK3 <b>0,4l Powertwin</b> (200 g/l Phenmedipham + 200 g/l Ethofumesat) + <b>0,4kg Goltix WG</b> (710g/kg Metamitron) + <b>0,4l Oleo</b>
		28.05.99	NAK4 <b>2,0l TORNADO</b> (700g/l Metamitron) + <b>Maschinenhacke</b>
2000	Winterweizen	20.03.00	NAK1 <b>1,5l STEFES IPU700</b> (700g/l Isoproturon) + <b>1l ORKAN</b> (25g/l Diflufenican + 187,5g/l Ioxynil + 234g/l Mecoprop-P)
2001	Wintergerste	15.11.00	NAK1 <b>1l Bacara</b> (100g/l Diflufenican + 250g/l Flurtamone) <b>2,5l STEFES IPU 500</b> (500g/l Isoproturon)

Anhangstab. 13 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag GH (Gesamtfeld)** in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha).

<b>Jahr</b>	<b>Fruchtart</b>	<b>Termin</b>	<b>Maßnahme</b>
1999	Körnermais	27.05.99	NAK1 <b>40g CATO</b> (250g/kg Rimsulfuron) + <b>1,5l GARDOBUC</b> (333 g/l Terbutylazin + 50 g/l Bromoxynil)
		02.06.99	NAK2 <b>Maschinenhacke</b>
		08.06.99	NAK3 <b>Maschinenhacke</b>
2000	Körnermais	26.05.00	NAK1 <b>50gr CATO</b> (250g/kg Rimsulfuron) + <b>0,5kg ECLAT</b> (30g/kg Prosulfuron + 600g/kg Bromoxynil) + <b>0,3l FHS</b>
2001	Körnermais	30.05.01	NAK1 <b>30g CATO</b> (250g/kg Rimsulfuron) + <b>180ml FHS</b> + <b>0,5kg ECLAT</b> (30g/kg Prosulfuron + 600g/kg Bromoxynil) + <b>250ml FHS</b>

Anhangstab. 14 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in **Schlag 4 (Parzellen)** in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Variante	Termin	Maßnahme
1999	Winterweizen	A1	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU 700</b>
		A2	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU 700</b>
			28.05.99	NAK2 <b>1,2I Ralon Super</b>
		A3	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU 700</b>
			05.05.99	NAK2 Handhacke
		A4	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU 700</b>
			02.03.99	NAK2 Striegel
		B1	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU 700</b>
		B2	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU 700</b>
			28.05.99	NAK2 <b>1,5I Bifenal</b>
		B3	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU 700</b>
			05.05.99	NAK2 Handhacke
		B4	25.03.99	Untersaat 10kg/ha LOLPE
			23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal</b>
2000	Wintergerste	A1	20.03.00	NAK1 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		A2	20.03.00	NAK1 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
			04.04.00	NAK2 <b>0,8I Ralon Super</b>
		A3	03.12.99	NAK1 Striegel
			28.02.00	NAK2 Striegel
			20.03.00	NAK3 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		A4	28.02.00	NAK1 Striegel
			20.03.00	NAK2 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		B1	20.03.00	NAK1 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		B2	20.03.00	NAK1 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
			04.04.00	NAK2 <b>1,8I Bifenal</b>
		B3	03.12.99	NAK1 Striegel
			28.02.00	NAK2 Striegel
			20.03.00	NAK3 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		B4	28.02.00	NAK1 Striegel
			20.03.00	NAK2 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>

(Fortsetzung Anhangstab. 14 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in **Schlag 4** (Parzellen) in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha).)

2001	Sonnenblumen	A2, B1	03.05.01	VAK	<b>1,2l STOMP SC + 0,8l Racer CS (20cm Band)</b>
			23.05.01	NAK2	Maschinenhacke
			01.06.01	NAK3	Maschinenhacke
		A3, B2	03.05.01	VAK	<b>1,2l STOMP SC + 0,8l Racer CS (20cm Band)</b>

Anhangstab. 15 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in **Schlag 6** (Parzelle n) im Jahr 2001 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Variante	Termin	Maßnahme		
2001	Zuckerrüben	Gal1	05.04.01	VAK	<b>1,2l Rebell (20cm Band)</b>	
			03.05.01	NAK1	<b>0,7l Betanal Progress OF + 0,7l Tornado + 0,7l Rebell + 0,4l FHS Oleo</b>	
			11.05.01	NAK2	<b>0,7l Betanal Progress OF + 0,7l Tornado + 0,7l Rebell + 0,5l FHS Oleo</b>	
			22.05.01	NAK3	<b>0,75l Gallant Super teilschlagspezifisch</b>	
			25.05.01	NAK4	Maschinenhacke	
			30.05.01	NAK5	<b>1l Betanal Progress + 1l Tornado + 0,5l FHS Oleo</b>	
			Gal2	05.04.01	VAK	<b>1,2l Rebell (20cm Band)</b>
				03.05.01	NAK1	<b>0,7l Betanal Progress OF + 0,7l Tornado + 0,7l Rebell + 0,4l FHS Oleo</b>
				11.05.01	NAK2	<b>0,7l Betanal Progress OF + 0,7l Tornado + 0,7l Rebell + 0,5l FHS Oleo</b>
				22.05.01	NAK3	<b>0,75l Gallant Super teilschlagspezifisch</b>
		30.05.01	NAK4	<b>1l Betanal Progress + 1l Tornado + 0,5l FHS Oleo</b>		

Anhangstab. 16 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in **Schlag 8** (Parzelle n) in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Variante	Termin	Maßnahme
1999	Winterweizen	A1	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU700</b>
		A2	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU700</b>
			28.05.99	NAK2 <b>1,2I Ralon Super</b>
		A3	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU700</b>
			05.05.99	NAK2 Handhacke
		A4	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU700</b>
			02.03.99	NAK2 Striegel
		B1	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU700</b>
		B2	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU700</b>
			28.05.99	NAK2 <b>1,5I Bifenal</b>
		B3	23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal + 2I STEFES IPU700</b>
			13.05.99	NAK2 Handhacke
		B4	25.03.99	Untersaat 10kg/ha LOLPE
			23.04.99	NAK1 <b>2I Bifenal</b>
2000	Wintergerste	A1	20.03.00	NAK1 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		A2	20.03.00	NAK1 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
			04.04.00	NAK2 <b>0,8I Ralon Super</b>
		A3	03.12.99	NAK1 Striegel
			28.02.00	NAK2 Striegel
			20.03.00	NAK3 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		A4	28.02.00	NAK1 Striegel
			20.03.00	NAK2 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		B1	20.03.00	NAK1 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		B2	20.03.00	NAK1 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
			04.04.00	NAK2 <b>1,8I Bifenal</b>
		B3	03.12.99	NAK1 Striegel
			28.02.00	NAK2 Striegel
			20.03.00	NAK3 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>
		B4	28.02.00	NAK1 Striegel
			20.03.00	NAK2 <b>2I STEFES IPU700 + 2I ORKAN</b>

(Fortsetzung: Anhangstab. 16 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in **Schlag 8 (Parzellen)** in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha).)

2001	Körnermais	A1, B2	31.05.01	NAK1	<b>30g Cato +180ml FHS + 0,5kg Eclat + 250ml FHS</b>
			31.05.01	NAK2	Rollkuli
		A3, B4	31.05.01	NAK1	<b>30g Cato + 180ml FHS + 0,5kg Eclat + 250ml FHS</b>

Anhangstab. 17 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen in **Schlag 9** (Parzelle n) in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Variante	Termin	Maßnahme	
1999	Zuckerrüben	A1, B1	30.03.99	VAK <b>1,2l Rebell</b>	
			30.04.99	NAK1 <b>1l Powertwin + 1l TORNADO + Maschinenhacke</b>	
			18.05.99	NAK2 <b>1l Powertwin + 1l TORNADO + Maschinenhacke</b>	
		A2, B2	28.05.99	NAK3 <b>2l TORNADO + Maschinenhacke</b>	
			30.03.99	VAK <b>1,2l Rebell</b>	
			30.04.99	NAK1 <b>1l Powertwin + 1l TORNADO + Maschinenhacke</b>	
			18.05.99	NAK2 <b>1l Powertwin + 1l TORNADO + Maschinenhacke</b>	
			28.05.99	NAK3 <b>2l TORNADO + Maschinenhacke</b>	
			01.06.99	NAK4 <b>1kg Goltix WG</b>	
			18.06.99	NAK5 Handhacke	
			A3, B3	30.03.99	VAK <b>1,2l Rebell</b>
				30.04.99	NAK1 <b>1l Powertwin + 1l TORNADO</b>
		18.05.99		NAK2 <b>1l Powertwin + 1l TORNADO</b>	
				01.06.99	NAK3 <b>2kg Goltix WG + 30g Debut</b>
		2000	Winterweizen	A1, B1	20.03.00
20.03.00	NAK1 <b>60g LEXUS CLASS + 40g Refine Extra</b>				
A3, B3	06.04.00			NAK2 <b>1,5l Basagran DP</b>	
	13.03.00			NAK1 Striegel	
	20.03.00			NAK2 <b>60g LEXUS CLASS + 40g Refine Extra</b>	
2001	Wintergerste	A1, B1	22.03.01	NAK1 <b>1l Orkan</b>	
		A2, B2	30.11.00	NAK1 Striegel	
			22.03.01	NAK2 <b>1l Orkan</b>	
		A3, B3	22.03.01	NAK1 <b>1l Ralon Super</b>	
		A4, B4	15.11.01	NAK1 <b>0,5kg Herold</b>	

Anhangstab. 18 Übersicht über die Unkrautkontrollmaßnahmen (volle Herbiziddosis bei starker Verunkrautung nach Schadschwellenprinzip) in **Schlag GH (Parzellen)** in den Jahren 1999-2001 (Mengenangaben pro ha).

Jahr	Fruchtart	Variante	Termin	Maßnahme
1999	Körnermais	Che1, Sol1, Gas1	27.05.99	NAK1 <b>40g CATO + 1,5l GARDOBUC</b>
			02.06.99	NAK2 Maschinenhacke
			08.06.99	NAK3 Maschinenhacke
			01.07.99	NAK4 Handhacke
		Che2, Sol2, Gas2	27.05.99	NAK1 <b>40g CATO + 1,5l GARDOBUC</b>
			02.06.99	NAK2 Maschinenhacke
			08.06.99	NAK3 Maschinenhacke
2000	Körnermais	Che1, Sol1, Gas1	26.05.00	NAK1 <b>0,5kg Eclat + 50gr Cato + 300ml FHS</b>
			02.06.00	NAK2 Maschinenhacke
			08.06.00	NAK3 Maschinenhacke
		Che2, Sol2, Gas2	26.05.00	NAK1 <b>0,5kg Eclat + 50gr Cato + 300ml FHS</b>
2001	Körnermais	Che1, Gas1	30.05.01	NAK1 <b>30g Cato + 180ml FHS + 0,5kg Eclat + 250ml FHS</b>
		Gas2, Sol2	30.05.01	NAK1 <b>30g Cato + 180ml FHS + 0,5kg Eclat + 250ml FHS; (20cm Band)</b>
			30.05.01	NAK2 Maschinenhacke
			07.06.01	NAK3 Maschinenhacke
			13.06.01	Untersaat Klee gras (10kg/ha LOLPE + 5kg/ha TRFRE)
		Pflug1	06.12.00	Pflug
			30.05.01	NAK1 <b>30g Cato + 180ml FHS + 0,5kg Eclat + 250ml FHS</b>
			30.05.01	NAK2 Maschinenhacke
		Pflug2	07.06.01	NAK3 Maschinenhacke
			06.12.00	Pflug
			30.05.01	NAK1 <b>30g Cato + 180ml FHS + 0,5kg Eclat + 250ml FHS</b>

Anhangstab. 19 Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in **Körnermais bzw. Sonnenblumen**

<b>Feld8 KM1997</b>				<b>Feld9 KM1998</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
VIOAR	7,4	0,8	-88,8	CHEAL	26,1	0,3	-99,0
CHEAL	5,8	n.a.		VIOAR	21,4	0,18	-99,2
BRANA	4,7	0	-100,0	POLAV	16,2	0,6	-96,3
Gras	4,4	0,7	-83,6	SOLNI	2,4	0,005	-99,8
FUMOF	0,9	n.a.		Gras	2,0	2,0	-0,2
POLAV	0,8	n.a.		VERSS	0,8	0,1	-88,7
STEME	0,6	0	-100,0	sonstige	0,03	0,0	-100,0
sonstige	0,8	3,6	372,7	GALAP	0,30	0,01	-97,0
GALAP	0,05	0	-100,0				

<b>Feld6 KM2000</b>				<b>Feld8 KM2001</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
CHEAL	4,3	0,2	-94,8	CHEAL	11,5	0,7	-93,7
POLAV	1,5	0,4	-75,2	BRANA	2,4	0,2	-93,1
Gras	1,4	0,3	-80,1	FUMOF	2,2	0,5	-75,7
GASPA	0,5	0,0	-99,1	Gras	1,9	2,7	41,3
VERSS	0,4	0,01	-96,6	VIOAR	0,6	0,1	-76,7
MATSS	0,4	0,03	-90,7	POLAV	0,6	0,03	-94,5
SOLNI	0,3	0,0	-100,0				
LAMSS	0,3	0,005	-98,0	sonstige	0,8	0,2	-78,4
STEME	0,2	0,0	-100,0	GALAP	0,0	0,0	
sonstige	1,2	0,05	-95,5				
GALAP	1,2	0,0	-100,0				

<b>Feld4 SB2001</b>		
	TERMIN1	TERMIN2
CHEAL	3,4	n.b.
Gras	1,3	n.b.
POLAV	0,5	n.b.
FUMOF	0,4	n.b.
VIOAR	0,1	n.b.
CIRAR	0,1	n.b.
sonstige	0,2	n.b.
GALAP	0,12	n.b.

Anhangstab. 20 Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in **Zuckerrüben**

<b>Feld4 ZR1998</b>				<b>Feld8 ZR1998</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
CHEAL	19,5	1,3	-93,2	VIOAR	20,8	1,2	-94,2
Gras	10,9	2,2	-80,1	CHEAL	13,4	0,6	-95,7
MATSS	3,6	0,6	-84,2	GRAS	9,2	1,5	-83,9
VERSS	2,3	0,06	-97,4	VERSS	1,8	0,0	-98,8
POLAV	2,3	0,9	-60,6	FUMOF	1,3	0,8	-32,8
FUMOF	1,8	0,7	-63,8	BRANA	1,2	0,1	-87,9
VIOAR	1,0	0,1	-94,8	POLAV	1,1	0,5	-52,4
sonstige	1,3	0,1	-94,5	STEME	1,0	0,0	-100,0
GALAP	0,03	0,0	-100,0	sonstige	0,4	0,3	-28,6
				GALAP	0,05	0,0	-100,0

<b>Feld9 ZR1999</b>				<b>Feld6 ZR2001</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
Gras	49,9	0,9	-98,2	Gras	10,9	0,9	-91,8
VIOAR	32,6	0,1	-99,6	CHEAL	5,8	0,6	-88,8
POLAV	26,7	11,1	-58,3	POLAV	4,6	1,0	-78,2
CHEAL	16,5	0,4	-97,5	MATSS	1,7	0,02	-99,1
				VIOAR	1,4	0,01	-99,3
				STEME	1,2	0,0	-100,0
sonstige	6,1	0,0	-100,0	VERSS	0,6	0,01	-98,4
GALAP	0,01	0,00	-100,0	sonstige	0,71	0,2	-76,4
				GALAP	1,4	0,0	-98,6

Anhangstab. 21 Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in **Winterweizen**

<b>Feld6 WW1998</b>				<b>Feld4 WW1999</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
POLAV	6,6	1,50	-77,3	Gras	9,0	11,1	22,4
Gras	3,3	5,3	60,0	MATSS	4,2	2,4	-41,5
VERSS	2,6	0,9	-65,7	POLAV	1,1	1,0	-9,5
MATSS	2,3	0,9	-59,6	CAPBU	0,5	0,3	-39,8
CAPBU	0,3	0,14	-50,0	VERSS	0,4	0,3	-29,5
				VIOAR	0,4	0,3	-15,9
sonstige	0,7	0,3	-51,9	FUMOF	0,3	0,4	6,8
GALAP	0,37	0,05	-85,6	sonstige	0,5	1,1	102,6
				GALAP	0,05	0,05	-8,3

<b>Feld8 WW1999</b>				<b>Feld9 WW2000</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
GRAS	6,2	5,9	-5,6	VIOAR	29,7	0,7	-97,8
VIOAR	3,9	3,1	-21,7	Gras	9,0	6,0	-32,6
VERSS	3,6	1,9	-47,8	POLAV	7,8	1,0	-86,8
BRANA	2,4	0,5	-81,1	VERSS	5,4	0,1	-98,4
POLAV	1,4	0,7	-48,9	MATSS	1,0	0,2	-77,8
FUMOF	0,3	0,2	-36,7				
STEME	0,3	0,3	10,3	sonstige	1,5	0,0	-100,0
sonstige	0,6	0,3	-59,0	GALAP	0,15	0,01	-94,1
GALAP	0,13	0,03	-75,0				

Anhangstab. 22 Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in **Wintergerste**

<b>Feld6 WG1999</b>				<b>Feld4 WG2000</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
Gras	12,2	6,8	-43,9	Gras	7,4	7,0	-4,8
VERSS	4,2	0,5	-86,9	MATSS	5,0	1,5	-69,9
MATSS	3,7	0,7	-81,7	VERSS	2,9	1,3	-56,6
STEME	0,9	0,3	-68,1	FUMOF	0,8	0,5	-43,7
LAMSS	0,4	0,1	-83,3	VIOAR	0,6	0,5	-15,9
sonstige	1,8	0,2	-91,2	CAPBU	0,4	0,4	0,0
GALAP	2,5	0,04	-98,4	sonstige	0,4	0,3	-12,5
				GALAP	0,5	0,1	-69,4

<b>Feld8 WG2000</b>				<b>Feld9 WG2001</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
VIOAR	16,2	1,0	-94,1	VIOAR	9,7	1,9	-80,6
Gras	5,8	2,6	-55,4	Gras	9,1	1,7	-81,0
VERSS	3,0	0,7	-75,7	CHEAL	2,1	0,0	-99,3
STEME	0,9	0,4	-61,8	MATSS	1,5	0,3	-82,6
BRANA	0,9	0,2	-78,1	VERSS	2,4	0,5	-80,2
FUMOF	0,5	0,1	-75,0	GASPA	0,6	0,0	-100,0
sonstige	0,4	0,1	-76,0	POLAV	0,4	1,4	233,7
GALAP	0,15	0,07	-49,5	STEME	0,4	0,1	-74,4
				sonstige	0,7	0,0	-100,0
				GALAP	0,04	0,01	-66,7

Anhangstab. 23 Übersicht über die Veränderung der Unkrautdichte von Termin1 (unmittelbar vor der Kontrollmaßnahme) zu Termin2 (nach Abschluss der Kontrollmaßnahmen) für die einzelnen Unkrautarten in der **Monokultur Körnermais**

<b>FeldGH KM1999</b>				<b>FeldGH KM2000</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%		TERMIN1	TERMIN2	%
CHEAL	93,1	4,1	-95,6	CHEAL	94,5	1,6	-98,3
GASPA	61,5	6,6	-89,3	GASPA	34,9	0,4	-98,8
SOLNI	36,8	5,7	-84,6	MONOKO	32,9	5,9	-82,0
MONOKO	25,3	4,2	-83,6	SOLNI	23,2	2,1	-90,8
sonstige	8,7		-100,0	sonstige	5,3		-100,0
Gras	0,8	3,5	313,3	Gras	1,5	1,9	30,0
Hirse	24,5	0,7	-97,3	Hirse	31,4	3,8	-87,9

<b>FeldGH KM2001</b>			
	TERMIN1	TERMIN2	%
MONOKO	192,5	209,3	8,7
SOLNI	66,8	95,8	43,3
GASPA	54,3	39,3	-27,6
CHEAL	43,0	11,2	-73,9
sonstige	4,8		-100,0
Gras	7,5	0,1	-98,7
Hirse	185,1	207,5	12,1

Anhangstab. 24 Veränderung der Dichte der **monokotylen Unkräuter** (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in den **Hackfrüchten**. (\*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben)

	Jahr	Fruchtart		Termin1	Termin2	Veränderung(%)	Zählstellen(%)
<b>Feld4</b>	1998	ZR	behandelt				0,0
			unbehandelt	10,9	2,2	<b>-80,1*</b>	100,0
<b>Feld4</b>	2001	SB	behandelt	VAK	VAK		100,0
			unbehandelt	VAK	VAK		0,0
<b>Feld6</b>	2000	KM	behandelt	10,2	0,6	<b>-94,1*</b>	11,4
			unbehandelt	0,3	0,2	<b>-12,2*</b>	88,6
<b>Feld6</b>	2001	ZR	behandelt	27,9	1,5	<b>-94,6</b>	33,7
			unbehandelt	2,2	0,6	<b>-74,6</b>	66,3
<b>Feld8</b>	1997	KM	behandelt	13,4	1,0	<b>-92,8*</b>	32,3
			unbehandelt	0,2	0,6	<b>180,0*</b>	67,7
<b>Feld8</b>	1998	ZR	behandelt	13,4	1,9	<b>-85,8*</b>	68,5
			unbehandelt	0,0	0,6	<b>nicht def.</b>	31,5
<b>Feld8</b>	2001	KM	behandelt	8,3	5,4	<b>-35,3</b>	14,7
			unbehandelt	0,8	2,2	<b>182,5</b>	85,3
<b>Feld9</b>	1998	KM	behandelt	13,1	8,6	<b>-34,2</b>	10,5
			unbehandelt	0,8	1,3	<b>68,7*</b>	89,5
<b>Feld9</b>	1999	ZR	behandelt	83,4	1,3	<b>-98,4*</b>	57,5
			unbehandelt	4,7	0,3	<b>-93,5*</b>	42,5
<b>FeldGH</b>	1999	KM	behandelt	68,3	10,8	<b>-84,1*</b>	36,7
			unbehandelt	0,0	0,2	<b>nicht def.</b>	63,3
<b>FeldGH</b>	2000	KM	behandelt	109,7	8,3	<b>-92,5*</b>	29,9
			unbehandelt	0,2	4,7	<b>2423,1*</b>	70,1
<b>FeldGH</b>	2001	KM	behandelt	204,8	217,8	<b>6,4</b>	93,7
			unbehandelt	0,0	47,7	<b>nicht def.</b>	6,3

Anhangstab. 25 Veränderung der Dichte der **dikotylen Unkräuter ohne *Galium aparine*** (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in den **Hackfrüchten**. (\*p<0,05: Zwei-Stichprobent-Test für verbundene Stichproben)

	Jahr	Fruchtart		Termin1	Termin2	Veränderung(%)	Zählstellen(%)
<b>Feld4</b>	1998	ZR	behandelt	32,7	4,0	<b>-87,6*</b>	97,1
			unbehandelt	0,00	1,3	<b>nicht def.</b>	2,9
<b>Feld4</b>	2001	SB	behandelt	VAK	VAK		100,0
			unbehandelt	VAK	VAK		0,0
<b>Feld6</b>	2000	KM	behandelt	11,0	0,8	<b>-93,2*</b>	80,1
			unbehandelt	1,3	0,5	<b>-66,7*</b>	19,9
<b>Feld6</b>	2001	ZR	behandelt	16,0	1,9	<b>-88,1*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>Feld8</b>	1997	KM	behandelt	22,0	4,2	<b>-81,0</b>	95,2
			unbehandelt	28,1	17,1	<b>-39,3</b>	4,8
<b>Feld8</b>	1998	ZR	behandelt	40,9	3,4	<b>-91,7*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>Feld8</b>	2001	KM	behandelt	19,3	1,7	<b>-91,1*</b>	93,3
			unbehandelt	2,0	2,5	<b>23,1*</b>	6,7
<b>Feld9</b>	1998	KM	behandelt	71,4	1,4	<b>-98,1*</b>	93,3
			unbehandelt	4,1	0,4	<b>-90,0*</b>	6,7
<b>Feld9</b>	1999	ZR	behandelt	81,8	12,7	<b>-84,5*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>FeldGH</b>	1999	KM	behandelt	201,7	18,2	<b>-90,1*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>FeldGH</b>	2000	KM	behandelt	159,3	5,4	<b>-96,6*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>FeldGH</b>	2001	KM	behandelt	168,9	154,4	<b>-9,3</b>	100,0
			unbehandelt				0,0

Anhangstab. 26 Veränderung der Dichte von *Galium aparine* (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in den **Hackfrüchten**. (\*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben)

	Jahr	Fruchtart		Termin1	Termin2	Veränderung(%)	Zählstellen(%)
<b>Feld4</b>	1998	ZR	behandelt	0,03	0,0	<b>-100,0*</b>	97,1
			unbehandelt	0,0	0,0		2,9
<b>Feld4</b>	2001	SB	behandelt	VAK	VAK		100,0
			unbehandelt	VAK	VAK		0,0
<b>Feld6</b>	2000	KM	behandelt	1,4	0,0	<b>-100,0*</b>	80,1
			unbehandelt	0,0	0,0		19,9
<b>Feld6</b>	2001	ZR	behandelt	1,4	0,0	<b>-98,6*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>Feld8</b>	1997	KM	behandelt	0,1	n.a.		95,2
			unbehandelt	7,7	n.a.		4,8
<b>Feld8</b>	1998	ZR	behandelt	0,05	0,0	<b>-100,0*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>Feld8</b>	2001	KM	behandelt	0,0	0,0		93,3
			unbehandelt	0,0	0,0		6,7
<b>Feld9</b>	1998	KM	behandelt	0,3	0,01	<b>-97,0*</b>	93,3
			unbehandelt	0,0	0,0		6,7
<b>Feld9</b>	1999	ZR	behandelt	0,01	n.a.		100,0
			unbehandelt				0,0

Anhangstab. 27 Veränderung der Dichte der **monokotylen Unkräuter** (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in **Getreide**. (\*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben)

	Jahr	Fruchtart		Termin1	Termin2	Veränderung(%)	Zählstellen(%)
<b>Feld4</b>	1999	WW	behandelt	42,0	22,6	<b>-46,2*</b>	7,5
			unbehandelt	6,4	10,1	<b>-58,9*</b>	92,5
<b>Feld4</b>	2000	WG	behandelt	54,5	30,0	<b>-44,9</b>	6,8
			unbehandelt	4,0	5,4	<b>35,2*</b>	93,2
<b>Feld6</b>	1998	WW	behandelt	39,5	57,9	<b>46,6*</b>	7,1
			unbehandelt	0,6	1,3	<b>118,8*</b>	92,9
<b>Feld6</b>	1999	WG	behandelt	45,3	22,8	<b>-49,7*</b>	22,1
			unbehandelt	2,8	2,3	<b>-16,3</b>	77,9
<b>Feld8</b>	1999	WW	behandelt	32,5	15,5	<b>-52,2</b>	8,0
			unbehandelt	4,0	5,1	<b>27,7*</b>	92,0
<b>Feld8</b>	2000	WG	behandelt	22,9	5,8	<b>-74,8</b>	14,7
			unbehandelt	2,9	2,0	<b>-28,8*</b>	85,3
<b>Feld9</b>	2000	WW	behandelt	31,2	9,3	<b>-70,2*</b>	13,9
			unbehandelt	5,4	5,5	<b>2,4*</b>	86,1
<b>Feld9</b>	2001	WG	behandelt	27,9	1,9	<b>-93,0*</b>	20,4
			unbehandelt	4,2	1,7	<b>-60,6*</b>	79,6

Anhangstab. 28 Veränderung der Dichte der **dikotylen Unkräuter ohne *Galium aparine*** (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in **Getreide**. (\*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben)

	Jahr	Fruchtart		Termin1	Termin2	Veränderung (%)	Zählstellen(%)
<b>Feld4</b>	1999	WW	behandelt	35,8	15,3	<b>-57,3*</b>	11,9
			unbehandelt	3,6	4,7	<b>30,4*</b>	88,1
<b>Feld4</b>	2000	WG	behandelt	27,0	6,3	<b>-76,5*</b>	24,6
			unbehandelt	4,6	3,7	<b>-19,2*</b>	75,4
<b>Feld6</b>	1998	WW	behandelt	54,6	11,3	<b>-79,4*</b>	18,1
			unbehandelt	3,2	2,1	<b>-33,0*</b>	81,9
<b>Feld6</b>	1999	WG	behandelt	17,9	2,4	<b>-86,7*</b>	36,3
			unbehandelt	7,0	1,6	<b>-77,6*</b>	63,7
<b>Feld8</b>	1999	WW	behandelt	23,9	7,7	<b>-68,0*</b>	27,3
			unbehandelt	8,3	6,6	<b>-20,6*</b>	72,7
<b>Feld8</b>	2000	WG	behandelt	36,7	0,9	<b>-97,5*</b>	43,7
			unbehandelt	10,1	3,7	<b>-64,0</b>	56,3
<b>Feld9</b>	2000	WW	behandelt	71,9	1,4	<b>-98,1*</b>	58,2
			unbehandelt	8,4	3,2	<b>-61,7*</b>	41,8
<b>Feld9</b>	2001	WG	behandelt	38,3	2,7	<b>-92,9*</b>	29,0
			unbehandelt	9,5	4,9	<b>-48,5*</b>	71,0

Anhangstab. 29 Veränderung der Dichte von *Galium aparine* (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in den mit Herbiziden behandelten und unbehandelten Teilflächen in **Getreide**.  
(\*p<0,05: Zwei-Stichproben-t-Test für verbundene Stichproben)

	Jahr	Fruchtart		Termin1	Termin2	Veränderung(%)	Zählstellen(%)
<b>Feld4</b>	1999	WW	behandelt	0,5	0,2	<b>-50,0*</b>	12,2
			unbehandelt	0,0	0,03	<b>nicht def.</b>	87,8
<b>Feld4</b>	2000	WG	behandelt	1,8	0,6	<b>-69,4*</b>	24,6
			unbehandelt	0,0	0,0		75,4
<b>Feld6</b>	1998	WW	behandelt	2,1	0,1	<b>-94,7*</b>	18,1
			unbehandelt	0,0	0,04	<b>nicht def.</b>	81,9
<b>Feld6</b>	1999	WG	behandelt	7,0	0,01	<b>-99,8*</b>	36,3
			unbehandelt	0,0	0,05	<b>nicht def.</b>	73,7
<b>Feld8</b>	1999	WW	behandelt	0,5	0,1	<b>-75,0*</b>	27,3
			unbehandelt	0,0	0,0		72,7
<b>Feld8</b>	2000	WG	behandelt	0,3	0,02	<b>-92,3*</b>	43,7
			unbehandelt	0,0	0,1	<b>nicht def.</b>	56,3
<b>Feld9</b>	2000	WW	behandelt	0,3	0,02	<b>-94,1*</b>	58,2
			unbehandelt	0,0	0,0		41,8
<b>Feld9</b>	2001	WG	behandelt	0,1	0,0	<b>-100,0*</b>	29,0
			unbehandelt	0,0	0,02	<b>nicht def.</b>	71,0

Anhangstab. 30 Veränderung der *Chenopodium album*-Dichte in den teilschlagspezifisch behandelten bzw. unbehandelten Flächen von Termin 1 zu Termin 2 über den gesamten Versuchszeitraum (\*  $p < 0,05$ ).

<b>Hackfrüchte</b>							
	Jahr	Fruchtart		Termin1	Termin2	Differenz(%)	Zählstellen(%)
<b>Feld4</b>	1998	ZR	behandelt	20,1	1,4	<b>-93,2*</b>	97,1
			unbehandelt	0,0	0,0		2,9
<b>Feld4</b>	2001	SB	behandelt				100,0
			unbehandelt				0,0
<b>Feld6</b>	2000	KM	behandelt	5,1	0,2	<b>-95,9*</b>	80,1
			unbehandelt	0,8	0,3	<b>-65,6</b>	19,9
<b>Feld6</b>	2001	ZR	behandelt	5,8	0,6	<b>-88,8*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>Feld8</b>	1997	KM	behandelt	6,2			95,2
			unbehandelt	0,5			4,8
<b>Feld8</b>	1998	ZR	behandelt	13,4	0,6	<b>-95,7*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>Feld8</b>	2001	KM	behandelt	12,3	0,7	<b>-94,7*</b>	93,3
			unbehandelt	0,9	1,7	<b>83,3*</b>	6,7
<b>Feld9</b>	1998	KM	behandelt	27,9	0,3	<b>-99,0*</b>	93,3
			unbehandelt	1,4	0,1	<b>-90,5*</b>	6,7
<b>Feld9</b>	1999	ZR	behandelt	16,5	0,4	<b>-97,5*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>FeldGH</b>	1999	KM	behandelt	93,1	4,1	<b>-95,6*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>FeldGH</b>	2000	KM	behandelt	94,1	1,6	<b>-98,3*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>FeldGH</b>	2001	KM	behandelt	43,0	11,2	<b>-74,1*</b>	100,0
			unbehandelt				0,0
<b>Getreide</b>							
				Termin1	Termin2	Differenz(%)	Zählstellen(%)
<b>Feld4</b>	1999	WW	behandelt	0,0	0,0	nicht def.	11,9
			unbehandelt	0,0	0,5	nicht def.	88,1
<b>Feld4</b>	2000 Herbst	WG	behandelt	1,0	0,0	<b>-100,0*</b>	24,6
			unbehandelt	1,4	0,1	<b>-95,7*</b>	75,4
<b>Feld6</b>	1998	WW	behandelt	0,0	0,0		18,1
			unbehandelt	0,0	0,0		81,9
<b>Feld6</b>	1999	WG	behandelt	0,0	0,0		36,3
			unbehandelt	0,0	0,0		73,7
<b>Feld8</b>	1999	WW	behandelt	0,0	0,04	nicht def.	27,3
			unbehandelt	0,0	0,03	nicht def.	72,7
<b>Feld8</b>	2000	WG	behandelt	0,0	0,0		43,7
			unbehandelt	0,0	0,0		56,3
<b>Feld9</b>	2000	WW	behandelt	0,0	0,0		58,2
			unbehandelt	0,0	0,0		41,8
<b>Feld9</b>	2001	WG	behandelt	2,9	0,0	<b>-100,0*</b>	29,0
			unbehandelt	1,3	0,03	<b>-98,0*</b>	71,0

Anhangstab. 31 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 4** (Parzellen) im Jahr **1999** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

<b>Ungräser</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
	betriebsüblich (Herbizid)	Herbizid intensiv	Standardherbizid und Striegel	Untersaat
Termin1	24,1	39,7	19,9	9,7
Termin2	18,9	28,8	17,4	8,4
Veränderung (%)	-21,6%	-27,5%	-12,7%	-13,1%

<b>VIOAR</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>
	betriebsüblich (Herbizid)	Herbizid intensiv	Standardherbizid und Striegel	Untersaat
Termin1	0,2	1,6	1,0	3,0
Termin2	0,2	0,2	0,9	2,9
Veränderung (%)	0,0%	-89,5%	-8,3%	-2,8%

Anhangstab. 32 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 8** (Parzellen) im Jahr **1999** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

<b>Ungräser</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
	betriebsüblich (Herbizid)	Herbizid intensiv	Standardherbizid und Striegel	Untersaat
Termin1	22,5	30,9	21,0	10,5
Termin2	17,5	19,5	14,5	33,4
Veränderung	-26,2%	-36,9%	-31,0%	217,9%

<b>VIOAR</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>
	betriebsüblich (Herbizid)	Herbizid intensiv	Standardherbizid und Striegel	Untersaat
Termin1	17,1	17,0	22,4	27,5
Termin2	8,8	3,4	1,5	6,9
Veränderung	-49,0%	-80,0%	-93,3%	-74,9%

Anhangstab. 33 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 9** (Parzellen) im Jahr **1999** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

<b>CHEAL</b>	A1 betriebsüblich (Herbizid und Hacke)	A2 Herbizid intensiv	A3 Standard ohne Hacke
Termin1	21,5	45,2	28,5
Termin2	0,3	0,3	0,5
Veränderung(%)	-98,5	-99,3	-98,1

<b>POLAV</b>	B1 betriebsüblich (Herbizid und Hacke)	B2 Herbizid intensiv	B3 Standard ohne Hacke
Termin1	49,7	66,7	102,9
Termin2	18,3	20,6	15,6
Veränderung	-68,3%	-69,5%	-84,9%

Anhangstab. 34 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in Feld GH (Parzellen) im Jahr 1999 zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

		<b>CHEAL</b>	<b>GASPA</b>	<b>SOLNI</b>
<b>betriebsüblich (Herbizid + Ma- schinenhacke)</b>	Termin1	70,3	241,1	127,3
	Termin2	1,1	17,1	12,3
	Veränderung	-98,4%	-94,1%	-92,1%
<b>betriebsüblich und Handhacke*</b>	Termin1	117,6	63,6	90,1
	Termin2	2,7	13,4	7,2
	Veränderung	-98,0%	-77,5%	-89,0%

\*: Die Unkrautbeseitigung per Handhacke erfolgte nach der letzten Kartierung. Durch den Einsatz der Handhacke ergaben sich theoretische Werte von 100% Bekämpfungserfolg.

Anhangstab. 35 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 4** (Mittelwert Parzellen) im Jahr **2000** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

Ungräser	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
	betriebsüblich (Herbizid)	Herbizid intensiv	Standardherbizid und Striegel (Herbst/Frühjahr)	Standardherbizid und Striegel (Frühjahr)
Termin1	4,8	9,0	3,5	4,5
Termin2	2,0	2,7	2,0	1,2
Veränderung	-58,6%	-70,4%	-42,9%	-74,1%
VIOAR	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>
	betriebsüblich (Herbizid)	Herbizid intensiv	Standardherbizid und Striegel (Herbst/Frühjahr)	Standardherbizid und Striegel (Frühjahr)
Termin1	0,7	2,8	0,2	0,17
Termin2	0,2	0,0	0,2	0,5
Veränderung	-75,0%	-100,0%	0,0%	200,0%

Anhangstab. 36 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 8** (Parzellen) im Jahr **2000** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

Ungräser	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
	betriebsüblich (Herbizid)	Herbizid intensiv	Standardherbizid und Striegel (Herbst/Frühjahr)	Standardherbizid und Striegel (Frühjahr)
Termin1	11,3	15,0	18,0	15,5
Termin2	4,8	1,3	2,3	2,5
Veränderung	-57,8%	-91,7%	-87,5%	-83,9%
VIOAR	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>
	betriebsüblich (Herbizid)	Herbizid intensiv	Standardherbizid und Striegel (Herbst/Frühjahr)	Standardherbizid und Striegel (Frühjahr)
Termin1	60,8	73,0	69,3	101,5
Termin2	1,5	0,3	0,3	1,8
Veränderung	-97,5%	-99,7%	-99,6%	-98,3%

Anhangstab. 37 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 9** (Mittelwert Parzellen) im Jahr **2000** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

<b>CHEAL</b>	<b>A1</b> betriebsüblich (Herbizid)	<b>A2</b> Herbizid intensiv	<b>A3</b> Herbizid und Striegel
Termin1	0,1	0,0	0,8
Termin2	0,0	0,0	0,0
Veränderung	-100,0%	0,0%	-100,0%

<b>POLAV</b>	<b>B1</b> betriebsüblich (Herbizid)	<b>B2</b> Herbizid intensiv	<b>B3</b> Herbizid und Striegel
Termin1	2,3	4,9	5,0
Termin2	0,5	0,2	4,5
Veränderung	-78,8%	-95,7%	-9,7%

Anhangstab. 38 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 9** (Einzelparzellen) im Jahr **2000** an den drei Terminen, deren prozentuale Veränderung von Termin 1 zu Termin 3 und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“.

<b>CHEAL</b>	betriebsüblich (Herbizid) A1I	Herbizid +Striegel A3I
Termin1	0,0	0,0
Termin2	0,0	0,0
Termin3	0,6	0,4
<b>Veränderung T1:T3</b>	<b>nicht def.</b>	<b>nicht def.</b>
Anzahl alt/neu	0/0,6	0/0,4

<b>POLAV</b>	betriebsüblich (Herbizid) B1I	Herbizid +Striegel B3I
Termin1	3,5	2,9
Termin2	0,2	9,8
Termin3	0,4	1,4
<b>Veränderung T1:T3</b>	<b>-88,2%</b>	<b>-52,0%</b>
Anzahl alt/neu	0,4/0,0	0,4/1,0

Anhangstab. 39 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld GH** (Mittelwert Parzellen) im Jahr **2000** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

Herbizid und Maschinenhacke	CHEAL			GASPA			SOLNI		
	Termin1	63,5	84,9	89,6					
Termin2	1,7	6,0	6,5						
Veränderung	-95,6	-91,5	-93,5						
betriebsüblich (Herbizid ohne Maschinenhacke)	CHEAL			GASPA			SOLNI		
	Termin1	38,5	72,9	61,5					
Termin2	0,3	0,4	1,8						
Veränderung	-99,1	-99,0	-98,1						

Anhangstab. 40 Dichte der untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld GH** (Einzelparzellen) im Jahr **2000** an den drei Terminen, deren prozentuale Veränderung von Termin 1 zu Termin 3 und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“.

	Herbizid und Maschinenhacke		betriebsüblich (Herbizid ohne Maschinenhacke)		
	Che1	Gas1	Sol2	Gas2	
<b>CHEAL</b>	Termin1	109,3	23,3	23,3	48,8
	Termin2	1,0	2,5	0,8	0
	Termin3	0,25	0,5	0,0	0,0
	DifferenzT1:T3)	<b>-99,8%</b>	<b>-97,8%</b>	<b>-100,0%</b>	<b>-100,0%</b>
	Anzahl alt/neu	0,25/0	0,5/0	0/0	0/0
<b>GASPA</b>	Termin1	95,3	70,0	24,8	41,0
	Termin2	0	22,5	0,5	1,3
	Termin3	5,5	5,5	8,25	17,75
	DifferenzT1:T3	<b>-94,2%</b>	<b>-92,1%</b>	<b>-66,7%</b>	<b>-56,7%</b>
	Anzahl alt/neu	5,5/0	5,5/0	6/2,25	13,25/4,5
<b>SOLNI</b>	Termin1	104,7	16,1	36,1	39,5
	Termin2	10,3	0,3	0,8	0,0
	Termin3	3,25	3,75	4,75	1,5
	DifferenzT1:T3	<b>-96,9%</b>	<b>-76,6%</b>	<b>-86,8%</b>	<b>-96,2%</b>
	Anzahl alt/neu	3,25/0	3,75/0	4,75/0	1,5/0

Anhangstab. 41 Dichte der drei untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 4** (Mittelwert Parzellen) im Jahr **2001** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung.

	betriebsüblich (Herbizid und Hacke)			Herbizid ohne Hacke		
	Ungräser	CHEAL	POLAV	Ungräser	CHEAL	POLAV
Termin1	0,9	1,8	0,2	0,6	3,8	0,2
Termin2	7,3	7,7	0,0	8,9	12,8	0,2
Veränderung	950%	387%	nicht def.	4667%	231%	0%
Anzahl alt/neu	7,3/0,0	7,7/0,0	0,0/0,0	8,9/0,0	12,8/0,0	0,2/0,0

Anhangstab. 42 Dichte der vier untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 6** (Mittelwert Parzellen) im Jahr **2001** zum ersten und zweiten Termin sowie deren prozentuale Veränderung und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“.

	betriebsüblich (Herbizid ohne Hacke)			
	Ungräser	CHEAL	POLAV	GALAP
Termin 1	10,7	2,0	7,0	10,3
Termin 2	0,9	0,3	0,9	0,0
Veränderung	-93,0%	-89,4%	-25,0%	-100,0%
Anzahl alt/neu	0,6/0,3	0,3/0,0	0,9/0,0	0,0/0,0

	Herbizid mit Hacke			
	Ungräser	CHEAL	POLAV	GALAP
Termin 1	6,8	6,4	1,2	5,5
Termin 2	1,4	0,3	0,0	0,0
Veränderung	-84,6%	-94,0%	-100,0%	-100,0%
Anzahl alt/neu	0,1/1,3	0,0/0,3	0,0/0,0	0,0/0,0

Anhangstab. 43 Dichte der fünf untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 8** (Mittelwert Parzellen) im Jahr **2001** an den drei Terminen sowie deren prozentuale Veränderung und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“.

	betriebsüblich (Herbizid mit Hacke)				
	Ungräser	CHEAL	FUMOF	VIOAR	POLAV
Termin 1	1,0	20,9	4,6	1,4	0,8
Termin 2	0,6	0,5	0,4	0,0	0,0
Veränderung T1:T2	-28,1	-97,8	-90,0	-100,0	-100,0
Termin 3	5,0	1,6	0,0	7,5	0,3
Veränderung T1:T3	131,3	-93,3	-100,0	222,7	-66,7
Anzahl alt/neu	0,0/5,0	1,4/0,2	0,0/0,0	0,0/7,5	0,0/0,3

	Herbizid ohne Hacke				
	Ungräser	CHEAL	FUMOF	VIOAR	POLAV
Termin 1	2,6	6,0	13,6	1,6	0,4
Termin 2	4,8	0,2	6,6	0,6	0,0
DifferenzT1:T2	133,3	-96,9	-50,8	-54,2	-100,0
Termin 3	20,5	0,3	0,0	14,1	0,1
DifferenzT1:T3	701,7	-95,8	-100,0	1165,0	-50,0
Anzahl alt/neu	0,0/20,5	0,3/0,0	0,0/0,0	3,9/10,2	0,0/0,1

Anhangstab. 44 Dichte der vier untersuchten Unkräuter (Pflanzen/m<sup>2</sup>) in **Feld 9** (Mittelwert Parzellen) im Jahr **2001** an den drei Terminen sowie deren prozentuale Veränderung und die Anzahl der „Alt“- und „Neue-runkrautung“.

<b>Variante 1</b>	<b>Herbizid Frühjahr</b>			
	Ungräser	CHEAL	POLAV	VIOAR
Termin 1	17,4	6,3	1,1	20,3
Termin 2	20,8	0,0	4,0	19,2
VeränderungT1:T2	9,0%	-100,0%	245,5%	-10,5%
Termin 3	1,1	0,0	0,1	0,1
VeränderungT1:T3	-94,6%	-100,0%	-47,7%	-99,7%
Anzahl alt/neu	0,4/0,7	0,0/0,0	0,0/0,1	0,0/0,1
<b>Variante 2</b>	<b>Herbizid Frühjahr + Striegel</b>			
	Ungräser	CHEAL	POLAV	VIOAR
Termin 1	11,4	5,5	0,4	22,3
Termin 2	16,6	0,0	43,4	13,2
VeränderungT1:T2	55,6%	-100,0%	10325,0%	-44,0%
Termin 3	1,4	0,0	0,0	0,0
VeränderungT1:T3	-90,8%	-100,0%	-50,0%	-100,0%
Anzahl alt/neu	0,2/1,2	0,0/0,0	0,0/0,0	0,0/0,0
<b>Variante 3</b>	<b>Gräserherbizid</b>			
	Ungräser	CHEAL	POLAV	VIOAR
Termin 1	14,5	1,5	0,4	17,3
Termin 2	24,4	0,0	12,2	18,8
VeränderungT1:T2	71,9%	-100,0%	2650,0%	4,5%
Termin 3	13,1	0,0	2,9	4,4
VeränderungT1:T3	-4,0%	-100,0%	433,3%	-72,9%
Anzahl alt/neu	4,9/8,2	0,0/0,0	1,2/1,7	3,0/1,4
<b>Variante 4</b>	<b>betriebsüblich (Herbizid Herbst)</b>			
	Ungräser	CHEAL	POLAV	VIOAR
Termin 1	14,2	2,8	0,6	18,8
Termin 2	0,0	0,0	1,7	0,0
VeränderungT1:T2	-100,0%	-100,0%	83,3%	-100,0%
Termin 3	0,2	0,0	0,0	0,0
VeränderungT1:T3	-99,2%	-100,0%	-100,0%	-100,0%
Anzahl alt/neu	0,1/0,1	0,0/0,0	0,0/0,0	0,0/0,0

Anhangstab. 45 Dichte der vier untersuchten Unkräuter in **Feld GH** (Mittelwert Parzellen) im Jahr **2001** an den drei Terminen sowie deren prozentuale Veränderung und die Anzahl der „Alt“- und „Neuverunkrautung“.

<b>Variante 1</b>	<b>Herbizid + Hacke (pfluglos)</b>			
	MONOKO	CHEAL	GASPA	SOLNI
Termin 1	86,0	36,9	5,9	208,0
Termin 2	11,0	7,6	0,1	54,0
VeränderungT1:T2	-75,7%	-76,7%	-98,8%	-79,3%
Termin 3	46,6	12,9	17,7	19,6
VeränderungT1:T3	-49,7%	-64,6%	200,5%	-87,3%
Anzahl alt/neu	46,6/0,0	12,9/0,0	17,7/0,0	19,6/0,0
<b>Variante 2</b>	<b>Herbizid(VAK) + Hacke + Untersaat (pfluglos)</b>			
	MONOKO	CHEAL	GASPA	SOLNI
Termin 1	59,8	15,5	41,6	132,3
Termin 2	13,9	8,1	51,8	86,0
VeränderungT1:T2	-79,0%	-47,7%	-25,5%	-60,7%
Termin 3	24,7	11,3	32,6	45,7
VeränderungT1:T3	-55,3%	-26,6%	-53,0%	-36,8%
Anzahl alt/neu	24,7/0,0	11,3/0,0	32,6/0,0	45,7/0,0
<b>Variante 3</b>	<b>Pflug mit Hacke (+Herbizid)</b>			
	MONOKO	CHEAL	GASPA	SOLNI
Termin 1	1,3	28,1	0,0	14,1
Termin 2	1,3	3,8	4,1	10,0
VeränderungT1:T2	0,0%	-86,7%	nicht def.	-28,9%
Termin 3	0,3	3,8	0,0	11,9
VeränderungT1:T3	-75,0%	-86,7%	0,0%	-15,6%
Anzahl alt/neu	0,3/0,0	3,8/0,0	0,0/0,0	11,9/0,0
<b>Variante 4</b>	<b>Pflug ohne Hacke (+Herbizid)</b>			
	MONOKO	CHEAL	GASPA	SOLNI
Termin 1	0,9	14,4	0,0	19,7
Termin 2	0,0	2,2	0,0	0,0
VeränderungT1:T2	-100,0%	-84,8%	0,0%	-100,0%
Termin 3	0,9	0,6	0,3	7,8
VeränderungT1:T3	0,0%	-95,7%	nicht def.	-60,3%
Anzahl alt/neu	0,9/0,0	0,6/0,0	0,3/0,0	7,8/0,0