

Aus dem Institut für Landnutzung
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

***Cirsium arvense* (L.) Scop. im Ackerbau:
Vegetative und generative Vermehrung unter dem Einfluss
pflanzenbaulicher Maßnahmen**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturæ (Dr. agr.))
an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von
Diplom-Biologin Annelie Dau
aus Bremen

Rostock, 2012

Gutachter:

Prof. Dr. Bärbel Gerowitt

Universität Rostock - Institut für Landnutzung, Phytomedizin

Prof. Dr. Andreas von Tiedemann

Georg-August-Universität Göttingen - Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abt. Allg. Pflanzenpathologie und -schutz

Prof. Dr. Carola Pekrun

Hochschule Nürtingen-Geislingen - Institut für Angewandte Agrarforschung, Pflanzenbau und Qualitätsmanagement

Datum der Einreichung: 22.03.2012

Datum der Verteidigung: 13.07.2012

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 <i>Cirsium arvense</i> – Bedeutung als Ackerunkraut.....	1
1.2 Verbreitung und Biologie	2
1.2.1 Verbreitung und pflanzensoziologische Einordnung	2
1.2.2 Biologie	3
1.3 Zielsetzung	5
2. Material und Methoden	7
2.1 Langzeitversuch Weendelsbreite	7
2.1.1 Versuchsstandort	8
2.1.2 Versuchsanlage	8
2.1.3 Versuchsabschnitt 1988-1999	9
2.1.3.1 Versuchsvarianten.....	9
2.1.3.2 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen.....	9
2.1.3.3 Kulturbestand	10
2.1.3.4 Erfassung der Sprossdichten.....	10
2.1.3.5 Samenbank	10
2.1.4 Versuchsabschnitt 2000-2003	11
2.1.4.1 Versuchsvarianten.....	11
2.1.4.2 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen.....	12
2.1.4.3 Datenerfassung	14
2.1.4.4 Witterung	16
2.2 Modellversuche Institutsgarten.....	17
2.2.1 Modellversuche zur Lichtkonkurrenz	17
2.2.1.1 Versuchsanlage.....	17
2.2.1.2 Versuchsvarianten.....	17
2.2.1.3 Weitere Maßnahmen	21
2.2.1.4 Datenerfassung	21
2.2.2. Lebensfähigkeit von Wurzelstücken	23
2.3 Anbausystemversuch INTEX-Projekt	23
2.3.1. Kartierung von Nestern.....	24
2.3.2. Höhenmessung	24
2.3.3. Keimlinge	24
2.4 Statistische Auswertung	25

3. Ergebnisse	26
3.1 Kulturpflanzenbestände im Langzeitversuch Weendelsbreite.....	26
3.1.1 Versuchsphase 1988-1999.....	26
3.1.2 Versuchsphase 2000-2003.....	27
3.2 Vegetative Entwicklung von <i>C. arvensis</i>	29
3.2.1 Langzeitversuch Weendelsbreite 1988 bis 1999.....	29
3.2.1.1 Einfluss der Düngung und der Feldfrucht.....	29
3.2.1.2 Korrelationen mit Bestandesparametern.....	32
3.2.2 Langzeitversuch Weendelsbreite 2000 bis 2003.....	33
3.2.2.1 Kartierung der Distelnester	33
3.2.2.2 Einfluss des Kulturbestandes.....	35
3.2.2.3 Einfluss der Düngung	37
3.2.2.4 Parzelle A10	39
3.2.2.5 Einfluss des Schlegelns.....	40
3.2.2.6 Korrelation mit Bestandesmerkmalen	41
3.2.3 Kartierung der Distelnester im Anbausystemversuch.....	42
3.2.4 Entwicklung von <i>C. arvensis</i> innerhalb einzelner Vegetationsperioden	44
3.2.4.1 Sprossdichte im Langzeitversuch Weendelsbreite im Jahr 2003.....	44
3.2.4.2 Sprosshöhe im Langzeitversuch Weendelsbreite im Jahr 2003	45
3.2.4.3 Sprosshöhe im Anbausystemversuch im Jahr 2001.....	46
3.2.5 Etablierung von <i>C. arvensis</i> aus Wurzelstücken.....	48
3.2.5.1 Langzeitversuch Weendelsbreite	48
3.2.5.2 Wurzelstücke im Institutsgarten 2002	50
3.3 Generative Entwicklung von <i>C. arvensis</i>	50
3.3.1 Blüten, Samen und Keimlinge im Langzeitversuch Weendelsbreite.....	50
3.3.1.1 Anteil blühender Sprosse.....	51
3.3.1.2 Anteil der Blühstadien	53
3.3.1.3 Samenbildung.....	54
3.3.1.4 Samenbank	55
3.3.1.5 Auftreten von Keimlingen im Feld	55
3.3.2 Keimung und Jugendentwicklung von <i>C. arvensis</i> in den Modellversuchen	56
3.3.2.1 Modellversuch 2000.....	56
3.3.2.2 Modellversuch 2002.....	58
3.3.2.2.1 Entwicklung der Weizeneinsaat	59
3.3.2.2.2 Etablierung von <i>C. arvensis</i> aus Samen.....	59
3.3.2.3 Modellversuch 2003.....	65

3.3.3 Blüte und Keimlinge im Anbausystemversuch	67
3.3.3.1 Blüte im Winterraps im Jahr 2001	67
3.3.3.2 Keimlinge im Haferbestand im Jahr 2002	67
3.3.3.2.1 Kulturbestand	67
3.3.3.2.2 Entwicklung der Keimlinge	68
4. Diskussion.....	70
4.1 Besonderheiten der Versuchsanlagen.....	70
4.1.1 Langzeitversuch Weendelsbreite.....	70
4.1.2 Modellversuche	71
4.2 Charakterisierung der Kulturpflanzenbestände.....	72
4.2.1 Lichtkonkurrenz.....	72
4.2.2 Sortenwahl	73
4.2.3 Stickstoffdüngung.....	73
4.2.4 Fruchtfolge	74
4.3 Wachstumsstrategie der Acker-Kratzdistel.....	75
4.3.1 Vegetatives Wachstum.....	75
4.3.1.1 Entwicklung der Sprossdichten und der Distelnester	75
4.3.1.2 Längenwachstum der Distelsprosse	76
4.3.1.3 Einfluss von Kulturmaßnahmen	77
4.3.1.4 Etablierung aus Wurzelstücken.....	81
4.3.1.5 Schlussfolgerungen	83
4.3.2 Generative Vermehrung	84
4.3.2.1 Blüte und Samenbildung im Langzeitversuch	84
4.3.2.2 Einfluss von Kulturmaßnahmen im Langzeitversuch.....	89
4.3.2.3 Etablierung von Keimlingen	89
4.3.2.4 Schlussfolgerungen	96
5. Zusammenfassung	98
6. Abstract.....	100
7. Literatur.....	102
Anhang	

Abkürzungsverzeichnis

ø	Mittelwert
Δ	Differenz
BK	Blütenköpfchen
kBK	Blütenköpfchen im Knospenstadium
bBK	aufgeblühtes Blütenköpfchen
sBK	abreifendes Blütenköpfchen
FG	Frischgewicht
GALAP	<i>Galium aparine</i>
k. D.	keine Daten erfasst
N+	gedüngte Variante Versuchsphase 2000-2003
N0	ungedüngte Variante Versuchsphase 2000-2003
NAF	Nachauflauf
n.s.	nicht signifikant
PAR	photosynthetisch aktive Strahlung (Photosynthetically Active Radiation)
TM	Trockenmasse
TKM	Tausendkornmasse
VN+	gedüngte Variante Versuchsphase 1988-1999
VN0	ungedüngte Variante Versuchsphase 1988-1999
Weizen 1	erstes Weizenjahr im Langzeitversuch (Klee gras-Weizen, Sorte Batis)
Weizen 2	zweites Weizenjahr im Langzeitversuch (Stoppelweizen, Sorte Xanthos bzw. Ritmo)

1. Einleitung

1.1 *Cirsium arvense* – Bedeutung als Ackerunkraut

Cirsium arvense (L.) Scop., die Acker-Kratzdistel, wird von HOLM *et al.* (1977) zu den „World’s worst weeds“ gezählt. Die Distel ist ein Problem in 27 Kulturen und 37 Ländern, sowohl in Hack- als auch in Halmfrüchten (HOFMEISTER & GARVE 1986). In einer Expertenbefragung innerhalb der EU wurde *C. arvense* als drittwichtigstes Unkraut genannt, im Sommergetreide wurde sie sogar als bedeutendstes Unkraut eingestuft (SCHROEDER *et al.* 1993). Auch in einer Umfrage in den neuen EU-Staaten erwies sich die Distel länderübergreifend als eines der fünf problematischsten Ackerunkräuter (GLEMNITZ *et al.* 2007). Aufgrund ihrer hohen Konkurrenzkraft kann *C. arvense* starke Ertragsdepressionen (KALBURTIJ & MAMOLOS 2001, MCLENNAN *et al.* 1991, BEHRENS & ELAKKAD 1981 *zit. in:* TILEY 2010) und Qualitätsminderungen der Ernteprodukte bewirken (DICKE *et al.* 2004). Nach der Einführung der Wuchsstoff-Herbizide in den 50er Jahren trat die Distel in ihrer Bedeutung zunächst zurück (HANF 1998), breitete sich später allerdings wieder verstärkt aus (HILBIG & BACHTALER 1992, MEISEL & HÜBSCHMANN 1976). Als Gründe hierfür gelten zum einen frühere Herbizidapplikationen und die Verwendung von Spezialherbiziden ohne Distelwirkung. Dazu kommen eine Zunahme des Getreideanteils in der Fruchtfolge und die Zunahme von Flächen mit ungestörtem Wachstum, wie zum Beispiel Brachflächen. Stoppelbearbeitung und die mechanische Pflege von Hackfrüchten wurden reduziert, insgesamt ist die Bodenbearbeitung weniger intensiv. Auch Unterbodenverdichtungen wirken sich fördernd auf die Ausbreitung von *C. arvense* aus (TØRRESEN *et al.* 2006, HINTZSCHE & PALLUTT 1995, HÄNI & ZÜRCHER 2000). Allerdings können Acker-Kratzdisteln die Bodeneigenschaften auch verbessern: In Untersuchungen von REINTAM *et al.* 2008 waren unter Distelbeständen Eindringwiderstand und Lagerungsdichte zuvor verdichteter Böden deutlich geringer als in Kontrollparzellen.

Im konventionellen Anbau ist *C. arvense* durch gezielten Herbizideinsatz, angepasste Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu kontrollieren (HOLM 1977). Die Ackerkratz-Distel wird aber dort wieder zum Problem, wo Herbizideinsatz oder Wirkungsspektrum zum Beispiel durch gesetzliche Regelungen eingeschränkt werden (JENSEN 2004). Insbesondere im ökologischen Landbau ist die Distel ins Zentrum der Aufmerksamkeit gerückt. In Umfragen wird *C. arvense* häufig als entscheidendes Problem ökologisch wirtschaftender Betriebe genannt (HÄUSLER *et al.* 2004, HARTL 2003, ANONYM 1991). Auch Feldversuche zeigen eine starke Ausbreitung der Distel nach der Umstellung auf ökologischen Landbau (BELDE *et al.* 2002, SALONEN & HYVÖNEN 2002). Verantwortlich hierfür sind die eher schwach entwickelten Bestände mit langsamer Jugendentwicklung und verzögertem Bestandeschluss, die Konzentration viehloser Betriebe auf Marktfrüchte (Getreide) und die geringe Anzahl von Bodenbearbeitungsmaßnahmen, zum Beispiel beim Anbau von Untersaaten

(HÄUSLER *et al.* 2004). Aber auch unter ökologischer Bewirtschaftung muss *C. arvensis* nicht sofort zum Problem werden. In einem Langzeitversuch war die Ackerkratzdistel zwar in den Randbereichen der Versuchsanlage vorhanden, sie konnte sich aber in 15 Jahren nur in vier der zwölf Versuchsfelder ausbreiten. Allerdings nahm auch in diesen Feldern die Distel nicht überhand, und es traten nur temporär kleine Nester auf (LUNDKVIST *et al.* 2008).

Die Acker-Kratzdistel ist schon seit langem als Unkraut bekannt. Bereits Ende des 18. Jahrhunderts wurden in Bundesstaaten der USA offizielle Maßnahmen gegen *C. arvensis* verordnet (MITICH 1988). DONALD (1990) zitiert eine Arbeit von STEVENS aus dem Jahr 1846, in der Möglichkeiten der Distelbekämpfung zusammengefasst werden. Die meisten dieser Maßnahmen werden auch heute noch empfohlen, wie zum Beispiel wiederholte Bodenbearbeitung, wiederholtes Mähen oder der Anbau konkurrenzkräftiger Kulturen. Die Disteln können auch in zeitintensiver Handarbeit gezogen, gestochen oder kurz vor der Blüte geköpft werden. Die Auswirkungen kontrollierten Abbrennens auf *C.-arvensis*-Bestände wird heute in den nordamerikanischen Prärien getestet (TRAVNICEK *et al.* 2005). Andere Verfahren werden nicht mehr genutzt, wie das Abdecken oder die Applikation von Salzlösung. Wenige neue nicht-chemische Maßnahmen sind seitdem hinzugekommen, zum Beispiel ungewöhnliche Maßnahmen wie die elektrische Bekämpfung (KRETSCHMAR & XYLANDER 1997). Auch Möglichkeiten der biologischen Bekämpfung werden intensiv geprüft, insbesondere in Gebieten, in denen *C. arvensis* als invasive Art vorkommt. Bisher wurden allerdings noch keine in der Praxis zufriedenstellenden Methoden entwickelt. BOND (2008) geht davon aus, dass schnelle Erfolge im Bereich der biologischen Bekämpfung nicht zu erwarten sind. Insgesamt herrscht Einigkeit darüber, dass *C. arvensis* nicht durch Einzelmaßnahmen, sondern nur durch eine aufeinander abgestimmte Kombination von Verfahren ausreichend reguliert werden kann (FERRERO-SERRANO *et al.* 2008, PEKRUN *et al.* 2003, DONALD 1990).

1.2 Verbreitung und Biologie

TILEY (2010), DONALD (1994), HOLM *et al.* (1977) und MOORE (1975) geben ausführliche Darstellungen zum Vorkommen und zur Biologie von *C. arvensis*.

1.2.1 Verbreitung und pflanzensoziologische Einordnung

Die Acker-Kratzdistel hat ihren Ursprung in Europa und Asien. Sie gehört zu den einheimischen Ruderalpflanzen, die in Mitteleuropa schon vor der Einführung des Ackerbaus verbreitet waren (ELLENBERG 1996). Inzwischen hat sich die Art in den gemäßigten Zonen aller Kontinente ausgebreitet. Sie bevorzugt Regionen mit moderaten Sommertemperaturen sowie Niederschlägen von 450 bis 900 mm pro Jahr. *C. arvensis* kommt auf einem breiten Spektrum von Böden vor, fehlt allerdings in Bereichen mit niedrigen pH-Werten und ist auf sehr leichten, trockenen Böden weniger verbreitet. Allerdings wurde sie in Kanada selbst auf

Sanddünen gefunden und tritt auch auf Sandäckern im Raum Bremen auf (MEISEL & HÜBSCHMANN 1976). Auf nassen Standorten mit hohem Wasserstand ist das Wachstum der Pflanzen reduziert.

Die Distel ist nicht ausschließlich Ackerunkraut, sie findet sich ebenfalls in Säumen, Gebüsch, Waldlichtungen und Kahlschlagfluren, in Wirtschaftsgrünland, in Ruderalgesellschaften sowie im Uferbereich fließender Gewässer (KLOTZ *et al.* 2002). ELLENBERG *et al.* (1992) ordnen die Art dementsprechend in die Klassengruppe „Krautige Vegetation oft gestörter Plätze“ ohne weitere Klassenzugehörigkeit ein. HOFMEISTER & GARVE (1986) betrachten die Distel in ihrem Überblick über die Ackerunkraut-Gesellschaften als Klassenkennart der „Einjährigen Ruderal- und Ackerunkraut-Gesellschaften“ (Stellarietea mediae). Im Grünland tritt *C. arvensis* vor allem in *Lolium-perenne-Cynosurus-cristatus*-Gesellschaften auf (RODWELL 1992) und ist eine Differentialart vernachlässigter Intensivweiden (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

1.2.2 Biologie

C. arvensis gehört zur Familie der Asteraceae. Sie ist eine ausdauernde Pflanze, die mit Hilfe von verdickten Wurzelabschnitten überdauert. Als Reservestoff dient dabei nicht Stärke, sondern das Fructan Inulin (SITTE *et al.* 1991). Die Distel bildet Ökotypen aus, die an lokale oder regionale Umweltbedingungen angepasst sind (HUNTER & SMITH 1972, HODGSON 1964).

Die Acker-Kratzdistel kann sich sowohl auf vegetativem als auch auf generativem Weg ausbreiten (Abb.1.1). Insbesondere die vegetative Ausbreitung ist sehr effektiv. Die Pflanze besitzt ein ausgedehntes System aus vertikalen und horizontalen Wurzeln, an denen sich aus Wurzelknospen Wurzelsprosse bilden. Die Anzahl der Wurzelknospen ist nicht festgelegt: Anders als das Gewebe von Rhizomen kann das meristematische Wurzelgewebe bei Bedarf an beliebiger Stelle neue Knospen bilden (HAMDOUN 1972, ÖZER 1969). Im Winter sterben die oberirdischen Pflanzenteile ab. Auch die Wurzeln erfrieren teilweise, wodurch das Wurzelsystem zerfallen kann. Im Frühjahr treiben die im Boden verbliebenen Wurzelstücke wieder neu aus, wobei schon sehr kleine Fragmente von 25 mm Länge und 5 mm Durchmesser Sprosse bilden können (HAMDOUN 1972). Durch die Ausbreitung des Wurzelsystems ergibt sich eine nestartige Verteilung in der Fläche. Die Nester können sich über mehrere Meter pro Jahr radial ausbreiten (AMOR & HARRIS 1975, HAYDEN 1934), und die vertikalen Wurzeln reichen bis zu 2 m tief (NADEAU & VANDEN BORN 1989). Die Annahme, dass auch größere Nester nur aus einem Klon bestehen (DOCK GUSTAVSSON 1994), konnte anhand von genetischen Untersuchungen widerlegt werden. Die Nester setzen sich häufig aus mehreren Klonen zusammen (HETTWER & GEROWITT 2004).

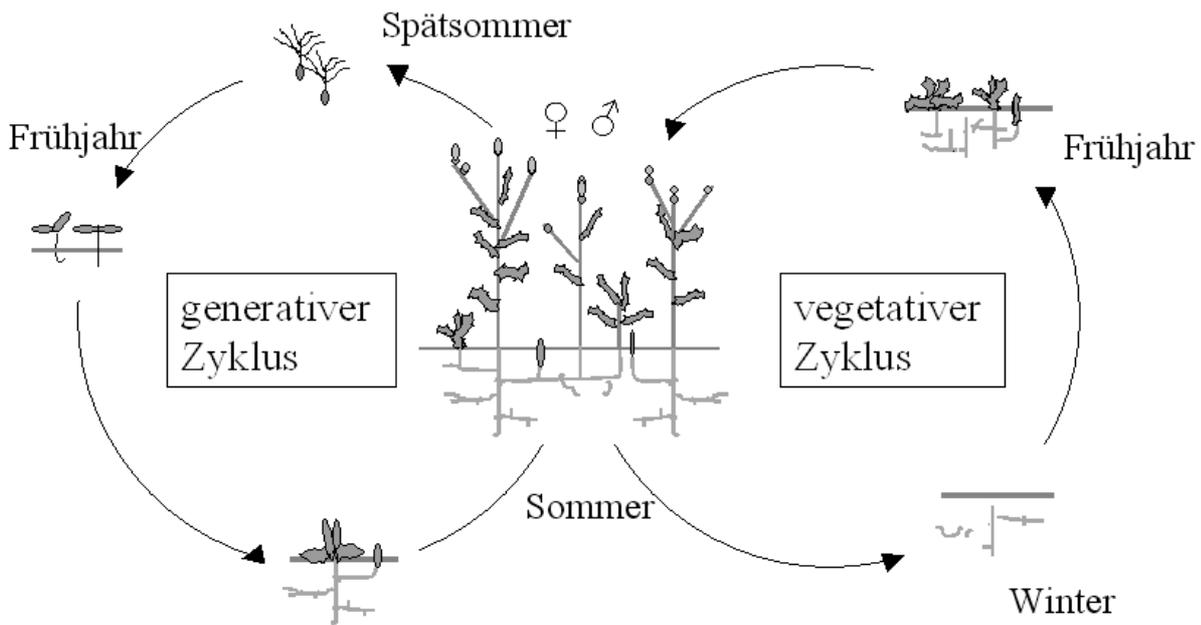


Abb. 1.1: *Cirsium arvense* – Generativer und vegetativer Entwicklungszyklus (nach HEIMANN & CUSANS 1996, verändert)

Ein Teil der Sprosse blüht im Sommer und geht damit in den generativen Zyklus über. *C. arvense* ist funktionell zweihäusig: Die Blüten der weiblichen Pflanzen besitzen verkümmerte Antheren und bilden niemals Pollen. Die weiblichen Geschlechtsorgane der männlichen Blüten sind ebenfalls in der Regel nicht funktionsfähig. Allerdings treten hier gelegentlich Hermaphroditen auf, also männliche Blüten, die Samen bilden. Es wird angenommen, dass die Trennung in weibliche und männliche Pflanzen bei *C. arvense* noch nicht vollständig ist. Dementsprechend wird die Art als „subdiözisch“ (LLOYD & MYALL 1976) oder „gynodiözisch“ (KLOTZ *et al.* 2002) bezeichnet. Die intensiv duftenden Blüten sind insektenbestäubt und werden hauptsächlich von Hummeln, Bienen, Schwebfliegen und Schmetterlingen besucht.

Die Samen gelangen von Juli bis September zur Reife und verbleiben in der Frucht (Achäne). Die Kelchblätter der Einzelblüten sind zu einem schirmartigen Pappus umgebildet, der die Windverbreitung ermöglicht. Der Pappus bricht allerdings leicht ab, so dass nur ein kleiner Teil der Samen über größere Entfernungen vom Wind verdriftet wird. Weitere Verbreitungsmöglichkeiten sind der Mensch (Maschinen, Saatgut), Tiere oder der Transport über fließendes Wasser. Während die Bedeutung der vegetativen Ausbreitung unbestritten ist, wird der Umfang der generativen Verbreitung über Samen unterschiedlich eingeschätzt. Die Distel kann große Mengen von Samen produzieren (MAYER & ALBRECHT 2003), und ihr wird ein hohes generatives Vermehrungspotential zugeschrieben (ZWERGER 1996). HETTWER & GEROWITT (2004) messen der Vermehrung durch Keimlinge große Bedeutung zu. BOSTOCK (1978) hält *C. arvense* im Vergleich der Keimungs-Strategien von fünf ausdauernden Unkrautarten dagegen für wenig an die Ausbreitung durch Samen angepasst. Die Acker-

Kratzdistel bildet keine große Samenbank (LARSON 2009, ALBRECHT 2004, MAYER 2000) und die Keimlinge sind wenig konkurrenzstark (EDWARDS *et al.* 2000, HOLM *et al.* 1977).

1.3 Zielsetzung

Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen ist es, die Wachstumsstrategie von *C. arvensis* in den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus umfassend zu erklären. Die Wirkung indirekter Bekämpfungsmaßnahmen in den verschiedenen Entwicklungsphasen der Distel wird bewertet und mit der Wachstumsstrategie in Zusammenhang gebracht. Die Gliederung des Ergebnisteils und der Diskussion folgt dabei dem Lebenszyklus der Acker-Kratzdistel.

Das Kapitel zur vegetativen Wachstumsstrategie beschäftigt sich vor allem mit den Bedingungen, unter denen es zu einer verstärkten vegetativen Ausbreitung von *C. arvensis* kommt. Im Hinblick auf die geprüften pflanzenbaulichen Maßnahmen werden folgende Fragestellungen bearbeitet:

- (1) Kann die Ausbreitung von *C. arvensis* durch nicht-chemische pflanzenbauliche Maßnahmen verhindert werden?
- (2) Wie schnell und nachhaltig wirken diese Maßnahmen?
- (3) Reichen die überprüften Maßnahmen aus, um bereits etablierte Distelbestände mit hoher Populationsdichte zurückzudrängen?
- (4) Welche Eigenschaften müssen Kulturpflanzenbestände besitzen, um das Wachstum von *C.-arvensis*-Populationen zu begrenzen?

Für den generativen Abschnitt des Lebenszyklus wird untersucht, unter welchen Bedingungen *C. arvensis* das Stadium der Blüte und der Samenreife erreicht. Auch wird geprüft, unter welchen Voraussetzungen Distelkeimlinge auflaufen und sich dauerhaft etablieren können. Folgende Fragestellungen werden behandelt:

- (1) Welche der überprüften pflanzenbaulichen Maßnahmen sind geeignet, um die Vermehrung der Distel zu vermindern?
- (2) Welche Bedeutung hat die Etablierung von Keimlingen unter den Bedingungen des Ackerbaus?
- (3) Welche Maßnahmen sind sinnvoll, um die Gefahr der Neubesiedlung von Flächen durch Keimlinge zu minimieren?

Zur Klärung dieser Fragen wurden unterschiedliche Versuchsanlagen genutzt, die hier kurz vorgestellt und im Kapitel „Material und Methoden“ detailliert beschrieben werden.

Langzeitversuch: Im Zentrum der Untersuchungen stand der Langzeitversuch Weendelsbreite, in dem von 1999 bis 2003 der Effekt verschiedener produktionstechnischer Maßnahmen auf *C.-arvensis*-Nester unterschiedlichen Alters untersucht wurde (DAU & GEROWITT 2004). Für die Auswertung standen außerdem Datensätze zur Entwicklung der Distelpopulation in derselben Versuchsanlage aus dem Zeitraum von 1988 bis 1999 zur Verfügung (DAU & GEROWITT 2002).

Modellversuche: In einer Betonrahmenanlage wurde der Einfluss der Lichtkonkurrenz insbesondere auf Keimung und Jugendentwicklung von *C. arvensis* unter kontrollierten Lichtbedingungen geprüft (DAU *et al.* 2004).

Anbausystemversuch: Ergänzt wurden die Versuchsergebnisse durch Kartierungen und Beobachtungen in den Flächen des INTEX-Projekts am Standort Marienstein. Detaillierte Beschreibungen der Anbausysteme und Ergebnisse des INTEX-Projekts finden sich bei GEROWITT & WILDENHAYN (1997), STEINMANN & GEROWITT (2000) und STEINMANN (2003).

2. Material und Methoden

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf dem Langzeitversuch Weendelsbreite, der zuerst vorgestellt wird. Anschließend folgt die Beschreibung der Modellversuche zur Lichtkonkurrenz und der im Rahmen des Anbausystemversuchs durchgeführten Untersuchungen.

2.1 Langzeitversuch Weendelsbreite

Der Feldversuch auf der Weendelsbreite wurde im Jahr 1982 angelegt. Bis 1999 diente die Fläche der Untersuchung unterschiedlicher Bekämpfungsstrategien mit dem Schwerpunkt auf annuellen Unkräutern. Daten zur Sprossdichte von *C. arvensis* wurden zusätzlich erfasst und werden in dieser Arbeit ausgewertet. Einen Überblick über den Feldversuch in diesem Zeitraum geben u. a. GEROWITT & BODENDÖRFER (1998), RÖSEMEIER (1991), WINDT (1991) und CANZLER (1990). Im Zeitraum von 1999 bis 2003 wurde die Versuchsanlage für die Untersuchung der Acker-Kratzdistel-Population genutzt. Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über die Feldstreifen und ihre Umgebung.

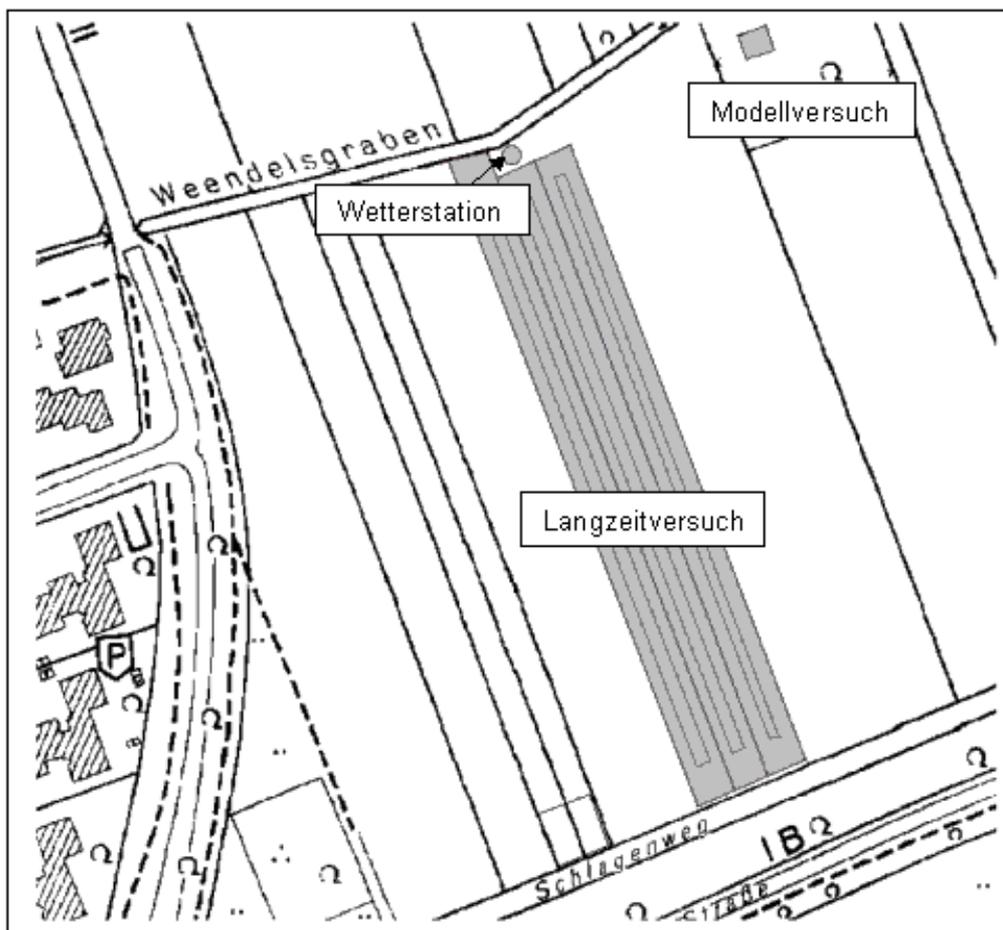


Abb. 2.1 : Überblick über die Versuchsfläche des Langzeitversuchs

2.1.1 Versuchsstandort

Die Versuchsanlage ist Teil der Versuchsfläche des Instituts für Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz der Universität Göttingen in Göttingen-Weende. Sie liegt am Ostrand des Leinetalgrabens auf etwa 200 m über NN. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 8,5 °C, die mittlere jährliche Niederschlagsmenge 635 mm.

Die Versuchsfläche ist fast eben, mit einer leichten Erhöhung im mittleren Bereich. Sie liegt auf einer Parabraunerde aus Löß mit einem pH von 6,5 bis 7 und 60 bis 65 Bodenpunkten. Im mittleren Drittel ist der Schluffanteil leicht erhöht, im vorderen und hinteren Bereich dagegen der Tonanteil.

2.1.2 Versuchsanlage

Der Versuch wurde als Spaltanlage auf drei Feldstreifen angelegt, die jeweils eine der Fruchtfolge der dreifeldrigen Fruchtfolge trugen. Jeder Streifen hatte eine Fläche von 0,4 ha. Die Feldstreifen A und B wurden schon vor 1982 als ein Schlag bewirtschaftet, Streifen C kam erst zu diesem Zeitpunkt dazu. Auf jedem Streifen waren 18 Versuchspartzen (6 Varianten * 3 Wiederholungen) hintereinander angeordnet. Die Netto-Parzellen hatten eine Fläche von 28 m² und waren durch 8,4 m lange Zwischenräume voneinander getrennt. Links und rechts der Partzen lagen jeweils 5 m breite Seitenränder, welche die Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen und die Düngung ohne Befahren der Kernpartzen ermöglichten (Abb. 2.2). Die Partzen blieben über beide hier beschriebenen Versuchsabschnitte des Langzeitversuchs erhalten.

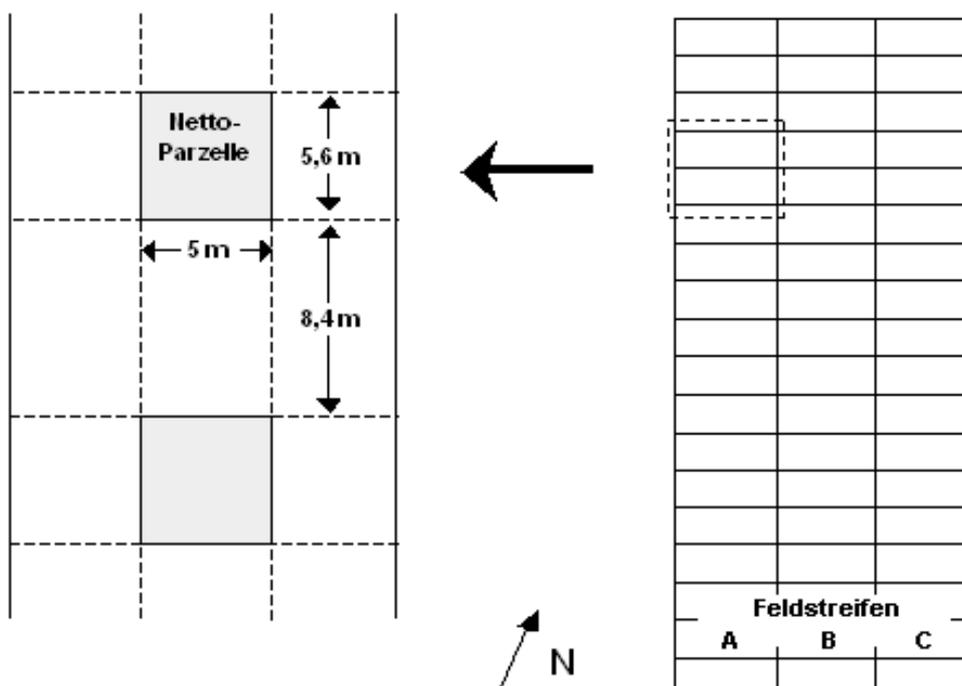


Abb. 2.2: Versuchsanlage des Langzeitversuchs im Detail

2.1.3 Versuchsabschnitt 1988-1999

Ab 1982 wurden in der Versuchsanlage unterschiedliche Unkrautbekämpfungsvarianten in einer Rübenfruchtfolge (Futtermübe – Winterweizen – Wintergerste) geprüft. Nachdem im Jahr 1988 eines der sechs Versuchsglieder auf reduzierte Stickstoffdüngung umgestellt worden war, konnte auch der Einfluss der Stickstoffversorgung auf die Unkrautpopulationen in die Untersuchungen einbezogen werden. Im Folgenden wird der Versuchsabschnitt von 1988 bis 1999 dargestellt.

2.1.3.1 Versuchsvarianten

In vier der sechs Versuchsglieder wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum Herbizide eingesetzt und alle Früchte wurden gedüngt. Als besonders interessant im Hinblick auf die nicht-chemische Kontrolle der Acker-Kratzdistel erwiesen sich die beiden übrigen Varianten, in denen im Getreide bis 1997 keine Unkrautbekämpfung erfolgte. Sie unterschieden sich ausschließlich in der Stickstoffdüngung voneinander: In der gedüngten Variante (**VN+**) wurden alle Früchte mit mineralischem Stickstoff gedüngt, die Rüben mit ca. 150 kg/ha, Winterweizen mit 150 kg/ha und Wintergerste mit 120 kg/ha (1988-1996). Von 1997 bis 1999 wurden die Stickstoffgaben im Getreide erhöht, und Weizen und Gerste erhielten ca. 160 kg/ha. In der stickstoffreduzierten Variante (**VN0**) wurden nur die Rüben mit mineralischem Stickstoff versorgt (ca. 150 kg/ha), das Getreide wurde nicht gedüngt. Im Folgenden werden ausschließlich diese reduziert gedüngte und die korrespondierende voll gedüngte Variante betrachtet.

2.1.3.2 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Die Bodenbearbeitung unterschied sich in den beiden Varianten nicht. Die Grundbodenbearbeitung wurde im Herbst durchgeführt: Zum Getreide wurde jeweils im September gepflügt, das Pflügen der Gerstenstoppel erfolgte im November. Nach der Getreideernte wurde in der Regel ein Stoppelbearbeitungsdurchgang mit der Spatenrollegge durchgeführt. Die Aussaat der Rüben erfolgte Mitte bis Ende April. Das Rübenblatt verblieb auf dem Feld und wurde nach der Ernte eingefräst.

Bis 1996 wurde im Getreide keine Unkrautbekämpfung durchgeführt, während in den Rüben Unkräuter möglichst vollständig mit der Handhacke entfernt wurden (8-Blatt-Stadium der Rübe bis Reihenschluss). Von 1997 bis 1999 folgte eine Sanierungsphase, in der in allen Früchten chemische Pflanzenschutzmittel eingesetzt wurden. In den Rüben wurde *C. arvense* regelmäßig gezielt bekämpft (Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Übersicht über die von 1997 bis 1999 durchgeführte Unkrautbekämpfung (Netto-Parzellen)

Jahr	VN+			VN0		
	Winterweizen	Wintergerste	Rüben	Winterweizen	Wintergerste	Rüben
1997	Nachauflauf (NAF) gegen Ungräser ¹⁾ und <i>Galium aparine</i> (GALAP) ²⁾	NAF gegen Ungräser und Unkräuter ³⁾	NAF gegen Unkräuter ⁴⁾ und Distelnester ⁵⁾	NAF gegen Ungräser und GALAP	NAF gegen Ungräser und Unkräuter	NAF gegen Unkräuter und Distelnester
1998	NAF gegen Ungräser und GALAP	NAF gegen Ungräser und Unkräuter	NAF gegen Unkräuter und Disteln	NAF gegen Ungräser und GALAP	NAF gegen Ungräser und Unkräuter	NAF gegen Unkräuter und Disteln
1999	NAF gegen Ungräser und GALAP	NAF gegen Ungräser und Unkräuter	NAF gegen Unkräuter und Distelnester (nur N+)	NAF gegen Ungräser und GALAP	NAF gegen Ungräser und Unkräuter	NAF gegen Unkräuter

1) Isoproturon, verschiedene Aufwandmengen

2) Fluroxypyr (1l/ha)

3) Fluroxypyr, Bromoxynil, Ioxynil, verschiedene Aufwandmengen

4) Phenmedipham, Desmedipham, Ethofumesat, Metamitron, Haloxyfop, Chloridazon, Quinmerac, verschiedene Aufwandmengen in Handelspräparaten

5) Clopyralid gegen *C. arvensis*: Nesterbekämpfung oder Einsatz auf der ganzen Fläche (1,2l/ha)

2.1.3.3 Kulturbestand

Im Versuchsabschnitt von 1988 bis 1999 wurden nur Daten für die Getreidebestände erfasst. In jeder Parzelle wurde die Bestandesdichte (Anzahl Ähren/m²) zum Zeitpunkt der Milchreife bestimmt. Die Versuchspartellen wurden getrennt beerntet und der jeweilige Ertrag in dt/ha ermittelt.

2.1.3.4 Erfassung der Sprossdichten

Die Distelsprosse wurden jeweils im Frühjahr auf 24 x 1/8 m² pro Parzelle gezählt und in drei über die Parzelle verteilten unechten Messwert-Wiederholungen zusammengefasst. Die mechanische oder chemische Unkrautbekämpfung in den Rüben und in den letzten Versuchsjahren auch im Getreide wurde nach dieser Zählung durchgeführt. Im Getreide erfolgte eine weitere Erfassung der Sprossdichte kurz vor der Ernte auf jeweils 4 x 1/2 m² pro Parzelle.

2.1.3.5 Samenbank

Zur Bestimmung des Samenvorrats im Boden wurden im Herbst vor dem Pflügen pro Parzelle 60 Bodenproben entnommen (3 cm Durchmesser, 25 cm tief). Jeweils sechs Proben wurden zu einer Mischprobe vereinigt. Sie wurden in einer ca. 3,5 cm starken Schicht auf mit Sand gefüllten Töpfen verteilt, für 22 Monate in einem Gewächshaus mit Außentemperatur aufgestellt und regelmäßig gewendet. Aufgelaufene Keimlinge wurden gezählt und anschließend entfernt.

2.1.4 Versuchsabschnitt 2000-2003

Zur Aussaat im Herbst 1999 wurde die Fruchtfolge im Langzeitversuch Weendelsbreite auf Klee gras (einjährig) – Winterweizen – Winterweizen umgestellt (Tab. 2.2). In dieser Fruchtfolge konnte einerseits der Einfluss einer konkurrenzstarken Kultur und andererseits die Auswirkung distelfördernder Fruchtfolge-Elemente auf die *C.-arvense*-Population beurteilt werden. Auch die Verteilung der Düngungsvarianten änderte sich: Drei der sechs Varianten wurden nicht mehr gedüngt, und die in der ersten Phase ungedüngte Variante VN0 wurde in eine gedüngte Variante umgewandelt.

Tab. 2.2: Verteilung der Kulturen auf die Feldstreifen von 2000 bis 2003

Jahr	Streifen A	Streifen B	Streifen C
2000	Klee gras	Weizen 1	Weizen 2
2001	Weizen 1	Weizen 2	Klee gras
2002	Weizen 2	Klee gras	Weizen 1
2003	Klee gras	Weizen 1	Weizen 2

2.1.4.1 Versuchsvarianten

Im zweiten Versuchsabschnitt wurde der Einfluss der Faktoren Stickstoffdüngung und Schlegelfrequenz im Klee gras auf Distelnester unterschiedlichen Alters untersucht (Tab. 2.3).

Tab. 2.3: Versuchsvarianten im Langzeitversuch ab dem Erntejahr 2000

	Nestalter	N-Düngung	Schlegeln 2000	Schlegeln ab 2001
1	Jung	N+	Ja	selten
2	Jung	N0	Nein	selten
3	Wurzelstücke	N+	Nein	selten
4	Wurzelstücke	N0	Ja	selten
5	alt (VN0)	N+	Ja	häufig
6	Jung	N0	Nein	häufig

Eine Hälfte der sechs Varianten wurde nicht gedüngt (**N0**), die übrigen erhielten in den Weizenjahren jeweils 130 bis 135 kg/ha mineralischen Stickstoff inklusive N_{\min} (**N+**). Die Klee gras-Einsaat sollte laut ursprünglichem Versuchsplan gar nicht oder einmal geschlegelt werden. Dies erwies sich schon im ersten Versuchsjahr als nicht praktikabel: Der Bestand wuchs in allen Varianten so hoch, dass er nicht mehr zu bearbeiten war. Außerdem konnte das Weidelgras aussamen, was zu starkem Aufwuchs im folgenden Weizen führte. In den nächsten Jahren wurde daher dazu übergegangen, einen Teil der Parzellen **selten** zu schlegeln – nur so oft, dass das Gras nicht zur Samenreife kam – und die restlichen Parzellen **häufig** zu schneiden. In diesen Varianten wurde geschlegelt, sobald die Distelsprosse hoch genug waren, um vom Schneidwerk erfasst zu werden. Je nach Wüchsigkeit der Einsaat bedeutete „selten“ 2 bis 3 Schlegeltermine und „häufig“ 4 bis 6 Termine pro Jahr (Tab. 2.4).

Tab. 2.4: Schlegelhäufigkeit von 2001 bis 2003, in Klammern: erster Schlegeltermin

Jahr	Anzahl Termine	
	selten	Häufig
2001	2 (ab 23.5.)	4 (ab 23.5.)
2002	3 (ab 21.5.)	6 (ab 30.4.)
2003	3 (ab 27.5.)	5 (ab 27.5.)

In Bezug auf das Nestalter wurde unterschieden zwischen **alten Nestern**, die sich in den im ersten Versuchsabschnitt ungedüngten Parzellen etablieren konnten, und **jungen Nestern** in Parzellen, die in den Vorjahren gedüngt worden waren und in denen zu Beginn der zweiten Versuchsphase nur vereinzelt Distelsprosse auftraten. Außerdem wurde die kontrollierte Neu-etablierung durch **Wurzelstücke** in zwei Varianten versucht, die zu Versuchsbeginn fast vollständig distelfrei waren. Dazu wurden zwei verschiedene Distel-Klone („Pin“ und „K2“, Herkunft Nord- bzw. Süddeutschland) über den Winter im Gewächshaus vegetativ vermehrt. Sie wurden durch PCR-Fingerprinting molekulargenetisch charakterisiert (HETTWER & STEINMANN 2002), um sie später eindeutig identifizieren und von den ursprünglich in den Parzellen vorkommenden Klonen unterscheiden zu können. Der Klon „Pin“ bildete kräftige, gedrungene Sprosse, während der Klon „K2“ eher längere, dünne Triebe bildete. Am 12. Juni 2001 wurden jeweils 5 mindestens 10 cm lange kräftige Wurzelstücke der beiden Klone in zunächst nur einer der Varianten etwa 15 cm tief vergraben. Das Ausbringen wurde im Herbst 2001 in beiden „Wurzelstück“-Varianten wiederholt. Diesmal wurden die Wurzelstücke zunächst in Töpfe gesetzt und im Gewächshaus vorgezogen, bis sich erste Wurzelsprosse bildeten. Der gesamte Inhalt der Töpfe wurde am 20. November 2001 im Feld ausgepflanzt.

2.1.4.2 Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Kleegras-Einsaat (KG)

Das Kleegras wurde in den Versuchsjahren zwischen dem 20. und 26. September ausgesät. Im Erntejahr 2000 wurde 15 kg/ha Kleegrasmischung (80 % Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*), 20 % Rotklee (*Trifolium pratense*)) ausgebracht, in den übrigen Jahren 17 kg/ha im gleichen Mischungsverhältnis. Im Winter 2002/2003 winterete der Bestand aus, sodass Mitte März 2003 nach flachem Grubbern eine Neuaussaat mit 20 kg/ha Einjährigem Weidelgras (*Lolium multiflorum*) und 15 kg/ha Perserklee (*Trifolium resupinatum*) erfolgen musste. Das Kleegras wurde weder gedüngt noch wurden Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt.

Das Schlegeln wurde nach Versuchsplan mit einem Schlegelhäcksler mit ca. 10 cm Schnitthöhe durchgeführt. Das Schnittgut verblieb auf dem Feld. Kurz vor dem Pflügen im Herbst

(Ende September bis Mitte Oktober) wurde der gesamte Feldstreifen ein letztes Mal geschlegelt.

Weizen nach Klee gras (Weizen 1)

Pflugfurchen und Aussaat erfolgten Mitte Oktober. In allen Versuchsjahren wurde die Sorte „Batis“ mit einer Aussaatstärke von 350 Körnern pro m² verwendet. Im März 2003 wurde der Weizen gewalzt, um nach dem starken Frost im Winter den Bodenschluss wiederherzustellen und das Wachstum anzuregen. Die Beerntung der Parzellen erfolgte in der Regel Anfang August, wegen der nassen Witterung verschob sie sich 2002 auf Mitte August. In der ersten Woche nach der Ernte wurde jeweils ein Stoppelbearbeitungsdurchgang mit der Spatenroll egge durchgeführt.

Als Startergabe wurden in jedem Jahr 60 kg N/ha als AHL ausgebracht. Die Schossergabe wurde anhand der Ergebnisse der N_{min}-Beprobung (Tab. 2.5) im Frühjahr so dosiert, dass inklusive N_{min} 130 bis 135 kg N/ha zur Verfügung standen. Im Jahr 2000 wurden 40 kg N/ha gedüngt, im Jahr 2002 reichten 30 kg aus. In den Jahren 2001 und 2003 war keine zweite Gabe mehr nötig.

Als Herbizide wurden ausschließlich Präparate ohne Distelwirkung eingesetzt. Im ersten Versuchsjahr war dies IPU (Isoproturon, 2,0 l/ha), in den Folgejahren Topik (Clodinafop, 0,4 l/ha) als Gräserherbizid und Hoestar (Amidosulfuron, 30 g/ha) gegen *Galium aparine*. Gegen starken Befall mit Mehltau sowie Gelb- und Braunrost wurde im Jahr 2002 Jewel Top (Kresoxim-methyl, Epoxiconazol, Fenpropimorph, 0,5 l/ha) eingesetzt.

Tab. 2.5: Ergebnisse der N_{min}-Beprobung (kg N/ha) in den Feldstreifen des Langzeitversuchs 1999-2003

Jahr	Feldstreifen		
	A	B	C
2000	34,9 (Klee gras)	22,6 (Weizen 1)	28,7 (Weizen 2)
2001	73,0 (Weizen 1)	14,6 (Weizen 2)	4,2 (Klee gras)
2002	14,2 (Weizen 2)	19,2 (Klee gras)	39,8 (Weizen 1)
2003	46,8 (Klee gras)	75,9 (Weizen 1)	52,6 (Weizen 2)

Stoppelweizen (Weizen 2)

Pflugfurchen und Aussaat erfolgten im letzten September-Drittel. In den Jahren 2000 und 2001 wurde die Sorte „Xanthos“ (300 bzw. 350 Körner/m²) verwendet, in den beiden folgenden Jahren „Ritmo“, ebenfalls mit 350 Körnern/m². Die Ernte erfolgte in allen Versuchsjahren Anfang August, und die Stoppelbearbeitung wurde wie im Weizen 1 kurz nach der Ernte durchgeführt. Der Stoppelweizen wurde ebenfalls im März 2003 gewalzt.

Auch der Stoppelweizen erhielt 60 kg/ha AHL als Startergabe. In EC 31 wurde im Jahr 2000 50 kg N/ha ausgebracht. In den Versuchsjahren 2001 und 2002 waren nach den Ergebnissen der N_{\min} -Bestimmung jeweils 60 kg N/ha und 2003 25 kg N/ha nötig, um die erwünschten 135 kg N/ha zu erreichen. Im Jahr 2001 wurden AHL und Herbizide kurz hintereinander ausgebracht, was die Entwicklung des Stoppelweizens verlangsamte. Der Bestand bestockte sich in diesem Jahr nur wenig, blieb niedrig und war nur wenig konkurrenzstark.

Pflanzenschutzmaßnahmen wurden wie im Klee gras-Weizen durchgeführt.

2.1.4.3 Datenerfassung

Kulturbestand

Bestandesdaten wurden nur für den Weizen erfasst. Kurz vor der Ernte wurden die Bestandeshöhe und die Anzahl der Ähren pro m^2 für jede Parzelle bestimmt. Nach der Ernte wurden Parzellenertrag, Kornfeuchte, Tausendkornmasse (TKM) und die Kornzahl pro Ähre ermittelt.

Am 22. Mai 2001 (beide Weizenbestände EC 37) und am 11. Juni 2003 (Ritmo: EC 61, Batis: EC 69) wurden Lichtmessungen in den Parzellen durchgeführt. Im Jahr 2001 wurde auch die Einstrahlung im Klee gras erfasst. Ermittelt wurde die photosynthetisch nutzbare Strahlung (PAR) in $\mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$ mit dem Photometer Li-1400 DataLogger (LI-COR Biosciences). Aus den Werten von vier Messpunkten pro Parzelle wurde jeweils ein mittlerer Beschattungswert errechnet.

Cirsium arvense

Vegetative Entwicklung

Die Sprossdichte der Acker-Kratzdistel wurde in jeder Weizenparzelle im Frühjahr, Sommer und Herbst erfasst. Im Frühjahr, gegen Ende der Weizenbestockung, wurden die Zählungen vom Parzellenrand aus durchgeführt, um den Weizenbestand möglichst wenig zu schädigen. Gleichzeitig wurden Distelnester und Einzelsprosse in den Parzellen kartiert. Im Sommer wurde kurz vor der Getreideernte eine weitere Zählung durchgeführt. Dabei wurden die Distelsprosse geerntet und in verschiedene Längensklassen eingeteilt, die sich an der Höhe der Kultur orientierten (Tab. 2.6). Nach der Ernte wurde die Trockenmasse der Sprosse nach 48 h Trocknung bei 105 °C ermittelt.

Tab 2.6: Längensklassen der im Langzeitversuch geernteten Distelsprosse von 2001 bis 2003

Klasse	
I (niedrig)	Sprosse ohne verlängerten Stängel / sehr dünne Sprosse, max. 10 cm hoch
II (mittel)	Sprosse niedriger als der Kulturpflanzenbestand, aber > 10 cm
III (hoch)	Sprosse mindestens so hoch wie der Bestand

Eine letzte Sprosszählung erfolgte im Herbst auf der Getreidestoppel, etwa 6 Wochen nach der Stoppelbearbeitung. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Nester innerhalb der Parzellen ein weiteres Mal per Hand aufgezeichnet. Zusätzlich wurden die Distelnester über die ganze Fläche per D-GPS erfasst. Verwendet wurde ein 12-Kanal-Empfänger mit Langwellen-Korrektursignal (Geometer 12L, GEOsat). Die Darstellung der Daten erfolgte mit der Software ArcView GIS, Version 3.1.

In der Klee gras-Einsaat wurden wegen der häufigen Schlegeltermine nur zwei Zählungen durchgeführt: die erste im Frühjahr und eine weitere unmittelbar vor dem Pflügen im Herbst, etwa fünf bis sechs Wochen nach dem letzten Schlegeltermin. In Verbindung mit der zweiten Zählung erfolgte auch die Ernte der Sprosse.

Während der Zählungen wurde besonderes Augenmerk auf die „Wurzelstück“-Varianten gelegt. Zeigten sich Sprosse im Bereich der Markierungen, an denen die Wurzelstücke vergraben worden waren, wurden separate Proben genommen und molekulargenetisch identifiziert.

Im Versuchsjahr 2003 wurde neben der Sprossdichte auch die Entwicklung der Sprosslänge innerhalb der Vegetationsperiode untersucht. Dazu wurden am 14. Mai insgesamt 27 Sprosse in gedüngten und 35 Sprosse in ungedüngten Parzellen in den drei Feldstreifen markiert (Tab. 2.7). Eine gleichmäßige Aufteilung war wegen der ungleichmäßigen Verteilung der Distelsprosse auf die Varianten nicht möglich. Es wurden möglichst Sprosse ausgewählt, die Teil eines Distelnestes waren oder in einem Bereich wuchsen, in dem im Vorjahr ein Nest kartiert worden war. Außerdem wurden vorwiegend Sprosse markiert, die 0,5 bis maximal 1 m vom Parzellenrand entfernt waren, sodass eine laufende Kontrolle ohne Beeinträchtigung des Kulturpflanzenbestandes möglich war. Im Weizen wurde bis zur Ernte einmal pro Woche die Höhe der Sprosse und des Kulturbestandes gemessen. Gleichzeitig wurde in einem Radius von 50 cm um einen der Sprosse in jeder Parzelle die Anzahl der Distelsprosse ermittelt. Im Klee gras konnte wegen des Schlegelns nur die Entwicklung der Sprossdichte verfolgt werden.

Tab. 2.7: Verteilung der für die Längenmessung 2003 markierten Sprosse auf die Varianten

	Streifen A Klee gras	Streifen B Weizen 1	Streifen C Weizen 2	Σ
Anzahl Parzellen	8	6	6	20
Anzahl Sprosse	12	24	26	62
davon - N+	6	9	12	27
- N0	6	15	14	35
davon - häufig geschlegelt	6	6	2	14
- selten geschlegelt	6	18	24	48

Generative Entwicklung

Während der Sprossernte im Sommer wurde die Anzahl blühender Sprosse pro Parzelle notiert und ab 2002 auch die Anzahl der knospenden, blühenden und abgeblühten Blütenköpfe vermerkt. Im Sommer 2002 wurden die reifen Blütenköpfchen gesammelt, die geernteten Samen wurden bei Zimmertemperatur trocken aufbewahrt und Ende April 2003 nach Parzellen getrennt flach in Erde ausgesät. Die Töpfe wurden im Gewächshaus bei mindestens 20 °C und 12 Stunden Licht (s. 2.2.1.2) aufgestellt. Aufgelaufene Keimlinge wurden gezählt und entfernt.

Die wenigen in den Parzellen aufgelaufenen Keimlinge wurden im Rahmen der Frühjahrszählungen markiert und weiter beobachtet. Im Sommer 2001 kamen in einem großen Abschnitt des Feldstreifens B viele Distelsprosse zur Blüte und Samenreife. Dieser Bereich wurde im Frühjahr 2002 flächendeckend nach Keimlingen abgesucht.

2.1.4.4 Witterung

Abbildung 2.3 gibt einen Überblick über die mittleren Monatstemperaturen und Niederschlagssummen im Versuchsabschnitt von 1999 bis 2003.

Nach dem feuchten Winter 1999 waren Frühjahr und Sommer des Jahres 2000 eher trocken. Die Bestände entwickelten sich durchschnittlich. Auf den ebenfalls trockenen Herbst mit leicht erhöhten Temperaturen folgten der Winter im Jahr 2000 und das Frühjahr 2001 mit durchschnittlichen Temperaturen. Der Weizen 1 begann schon vor dem Winter mit der Bestockung, während der Stoppelweizen noch nicht so weit entwickelt war. Die Klee-graseinsaat war bis Anfang November gut bestockt.

Der Oktober und auch noch der Beginn des November 2001 waren sehr mild und sorgten für eine lange Wachstumsphase im Herbst. Dezember und Januar waren zwar kalt, es fiel aber wiederholt Schnee und es kam nicht zu Auswinterungsschäden. Im Februar 2002 war es überdurchschnittlich warm, was zu einem frühen Beginn der Vegetationsperiode und einer guten Bestockung der Bestände führte. Wiederholte Stürme mit Starkregen im Sommer führten Mitte Juli zum vollständigen Lagern der gedüngten Parzellen im Klee-gras-Weizen. Weitere Niederschläge verzögerten die Ernte dieses Feldstreifens.

Der Herbst 2002 war ebenfalls sehr nass, sodass die Bestände schlecht entwickelt in den Winter gingen. Durch starke Regenfälle nach der Aussaat verschlammte der Boden der Weizenstreifen und verhärtete sich im folgenden trockenen Frühjahr. Der Winter war sehr kalt, mit einer längeren Kahlfröstage im Dezember, wodurch der Weizen geschädigt wurde und das Klee-gras vollständig auswinterete. Das Frühjahr 2003 war sehr trocken mit sonnigen Tagen und frostigen Nächten bis in den Mai hinein, sodass das Wachstum erst spät einsetzte. Der Sommer war heiß und blieb überdurchschnittlich trocken, sodass der Weizen zügig

abreifte. Das Wachstum des Klee gras ließ im Lauf des Frühsommers nach und insbesondere in den häufig geschlegelten Parzellen war ab Juli viel offener Boden zu sehen.

2.2 Modellversuche Institutsgarten

2.2.1 Modellversuche zur Lichtkonkurrenz

Der Modellversuch wurde in den Jahren 2000, 2002 und 2003 unter jeweils etwas veränderten Bedingungen durchgeführt. Aus dem Jahr 2001 liegen keine Ergebnisse vor: Die in diesem Jahr verwendeten *C.-arvense*-Samen waren vor der Aussaat bereits fast zwei Jahre bei Raumtemperatur gelagert worden. Keiner der ausgebrachten 1200 Samen keimte.

Im Jahr 2000 wurde der Einfluss von künstlicher Beschattung und Stickstoffdüngung auf Keimlinge und Wurzelsprosse der Distel im Rahmen einer Masterarbeit untersucht (FAN 2002). Im Jahr 2002 wurden die Samen und Wurzelstücke direkt in Winterweizen unterschiedlicher Aussaatstärke ausgebracht. Im folgenden Jahr wurde die Beschattung der Keimlinge durch unterschiedlich intensiv bewirtschaftete Weizenbestände wiederum mit Hilfe von Schattiergewebe simuliert (WASSMUTH 2004). Die Ergebnisse der drei Versuchsjahre werden zusammenfassend diskutiert.

2.2.1.1 Versuchsanlage

Die Modellversuche wurden in einer Freilandanlage in unmittelbarer Nähe der Weendelsbreite durchgeführt (Abb. 2.1). Die Anlage besteht aus 5 x 5 Reihen nach unten offener Betonrahmen mit jeweils 1 m² Fläche, die 1 m tief in den Boden reichen. Sie sind mit einer Mischung aus Mutterboden und Sand (47,4 % Sand, 46,3 % Schluff, 6,3 % Ton) aufgefüllt.

2.2.1.2 Versuchsvarianten

Modellversuch 2000

Die acht Versuchsvarianten wurden in jeweils drei Wiederholungen angelegt. Untersucht wurde der Einfluss der Faktoren Verbreitungseinheit (Keimling/Wurzelspross), Beschattung (ohne/mit) und Stickstoffdüngung (ohne Düngung/100 kg N pro ha).

Die Keimlinge wurden im Gewächshaus aus Samen angezogen, die im Vorjahr im Langzeitversuch Weendelsbreite gesammelt worden waren. Ein parallel durchgeführter Keimtest ergab eine Keimfähigkeit von 75,8 % bei einer TKM von 1,2 g. Die Keimlinge wurden am 4. Mai 2000 ausgepflanzt. Sie befanden sich zu diesem Zeitpunkt im 4-Blatt-Stadium und waren 2 bis 5 cm hoch. Zur Gewinnung von Wurzelsprossen wurden im Oktober des Jahres 1999 Distelsamen im Gewächshaus ausgesät. Am 3. Mai 2000 wurden Wurzelstücke von ca. 2 cm Länge und 5 mm Durchmesser mit jeweils einem 1 bis 5 cm hohen Wurzelspross geschnitten und direkt im Freiland ausgepflanzt. Pro Betonrahmen wurden

sechs Sprosse bzw. Keimpflanzen gleichmäßig verteilt eingesetzt. Die Beschattung erfolgte zunächst mit Netzen, die eine Lichtreduktion um etwa 85 % bewirkten. Angepasst an die Lichtverhältnisse in einem benachbarten Winterweizenbestand wurden die Netze am 8. Juni durch Schattiergewebe (95 % Beschattung) ersetzt.

Die gedüngten Varianten wurden am 19. Mai (60 kg N/ha) und am 8. Juni (40 kg N/ha) mit Kalkammonsalpeter versorgt.

Modellversuch 2002

Im Jahr 2002 wurden die Versuchsvarianten in jeweils vier Wiederholungen angelegt. Untersucht wurden die Faktoren Verbreitungseinheit (Samen/Wurzelstücke) und Aussaatstärke des Weizens (hoch/niedrig/Kontrolle ohne Weizeneinsaat).

Es ergaben sich folgende Varianten:

- Sa-W0: Distelsamen, ohne Weizen (Kontrolle)
- Sa-Wn: Distelsamen, niedrige Weizendichte (dünner Bestand)
- Sa-Wh: Distelsamen, hohe Weizendichte (dichter Bestand)
- Wu-W0: Wurzelstücke, keine Weizenaussaat (Kontrolle)
- Wu-Wn: Wurzelstücke, niedrige Weizendichte (dünner Bestand)
- Wu-Wh: Wurzelstücke, hohe Weizendichte (dichter Bestand)

Im Oktober 2001 wurden pro Parzelle 500 Samen oder 5 kräftige Wurzelstücke ohne entwickelte Sprosse ausgebracht. Die Samen stammten aus Blütenköpfchen, die im Sommer 2001 auf den benachbarten Ackerflächen gesammelt worden waren. Sie wurden vor der Aussaat visuell kontrolliert, sodass im Versuch nur intakte, gut gefüllte Samen verwendet wurden. Die Wurzelstücke wurden von Klonen gewonnen, die ursprünglich aus Süddeutschland stammten und über längere Zeit im Gewächshaus vermehrt worden waren. Die verwendeten Abschnitte waren etwa 10 cm lang und 0,5 cm dick. Um Austrocknung zu vermeiden, wurden die Fragmente erst kurz vor dem Auspflanzen aus den Töpfen entnommen und in feuchtem Substrat zur Versuchsanlage transportiert.

Zusammen mit den Disteln wurde in zwei Varianten Winterweizen der Sorte „Pegassos“ in den Aussaatstärken 400 und 200 Körner pro m² mit einem Reihenabstand von 12 cm ausgesät. Wegen starker Schädigung durch Schnecken und Mäuse wurde die Aussaat Anfang Dezember 2001 wiederholt. Dabei wurde die Wechselweizen-Sorte „Thasos“ mit 600 bzw. 300 Körnern pro m² verwendet.

Ebenfalls im Oktober wurde im Gewächshaus ein Keimtest mit 200 Samen auf steriler Anzuchterde angelegt. Während der kühleren Jahreszeit wurde die Temperatur im Gewächs-

haus bei 20 °C gehalten, und die Kabine wurde 12 Stunden beleuchtet. An Tagen mit starker Sonneneinstrahlung und bei hohen Außentemperaturen wurde das Gewächshaus belüftet.

Modellversuch 2003

Im Jahr 2003 wurde *C. arvense* ebenfalls direkt in die Betonrahmen gesät. Die Beschattung erfolgte durch Schattiergewebe in unterschiedlichen Stufen und wurde regelmäßig an die Lichtverhältnisse in unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Winterweizenbeständen angepasst. Als Referenzbestände wurden drei Weizenschläge des Versuchsgutes Reinshof der Universität Göttingen genutzt: „intensiv“ bewirtschaftet (nach guter fachlicher Praxis), „ökologisch“ (nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus, weite Reihe mit 28 cm Reihenabstand) und „integriert“ (Fläche des INTEX-Projekts, System integriert flexibel (vgl. STEINMANN & GEROWITT 2000)). In den Beständen wurde in wöchentlichen Abständen die photosynthetisch nutzbare Strahlung (PAR) mit dem LiCor Datalogger gemessen.

Im Institutsgarten wurden fünf Varianten in vier Wiederholungen angelegt: neben den drei Varianten mit angepasster Beschattung auch eine unbeschattete Kontrolle und eine voll beschattete Kontrolle mit 99 % Beschattung ab Versuchsbeginn. Für den Versuch stand Schattiergewebe in fünf verschiedenen Stufen zur Verfügung (54 %, 71 %, 84 %, 93 %, 99 %), das kuppelförmig in einer Höhe von etwa 40 cm über die einzelnen Rahmen gespannt wurde. Tabelle 2.8 zeigt die Abfolge der Beschattungsintensitäten.

Tab. 2.8: Beschattungsintensität (%) durch unterschiedliche Schattiergewebe in den fünf Varianten von der Aussaat bis zur Ernte von *C. arvense*. Fett gedruckt: Wechsel des Schattiergewebes

	Kalenderwoche												
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
unbeschattet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"ökologisch"	54	71	71	84	84	84	84	84	84	71	71	71	71
"integriert"	71	84	84	84	93	93	84	84	84	84	84	84	84
"intensiv"	84	84	84	93	93	93	93	93	93	93	84	84	84
voll beschattet	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99

Nachdem die Samen nach einer ersten Aussaat im April im Keimversuch nur sehr geringe Keimraten zeigten, wurden am 15. Mai (KW 20) erneut 600 Distelsamen pro Parzelle ausgesät und leicht eingearbeitet. Jeweils 500 der Samen stammten aus gekauftem Saatgut (Conrad Appel GmbH) mit der Herkunft „Deutschland“ (Herkunft A), die übrigen 100 Samen pro Parzelle waren im Vorjahr in der Umgebung der Versuchsanlage gesammelt worden (Herkunft B). Die TKM dieser Samen betrug 0,96 g. Auch in diesem Jahr erfolgte ein Keimtest im Gewächshaus.

2.2.1.3 Weitere Maßnahmen

Modellversuch 2000

Im Jahr 2000 erfolgte das Auspflanzen der Disteln in einer sehr trockenen Periode. Die Jungpflanzen wurden daher in den ersten zwei Wochen regelmäßig gewässert.

Modellversuch 2002

Um Unkräuter zu unterdrücken und die Bodenstruktur zu verbessern, wurden im Spätsommer 2001 Bitterlupinen ausgesät, die vor Versuchsbeginn untergegraben wurden. Das Wachstum der Lupinen war sehr unterschiedlich und in einigen Rahmen blieben die Pflanzen relativ klein und hellgrün, was vermutlich auf den Einfluss von Staunässe zurückzuführen war. Aufgrund dieser Unterschiede wurden die Bodenproben für die N_{\min} -Bestimmung im Frühjahr 2002 getrennt nach Parzellen mit normalem und reduziertem Lupinenwachstum genommen. Es ergab sich ein Unterschied von 8 kg N/ha, der bei der Düngung berücksichtigt wurde: Mitte April 2002 erhielten alle Parzellen 60 kg N/ha (Kalkammonsalpeter), Mitte Mai 40 bzw. 48 kg N/ha, insgesamt also 120 kg/ha inkl. N_{\min} . Von der zweiten Aussaat bis zum Schossbeginn des Weizens wurde die Anlage mit einem grobmaschigen Netz abgedeckt, um Vögel fernzuhalten. Zusätzlich wurden an den Rändern der Anlage Mausefallen aufgestellt.

Modellversuch 2003

Im Jahr 2003 herrschte während der gesamten Versuchsdauer sehr trockene Witterung. Im Gegensatz zu den beschatteten Betonrahmen trocknete die unbeschattete Kontrolle regelmäßig stark aus. Um zu große Unterschiede im Feuchtigkeitshaushalt abzumildern, wurde diese Variante in langen Trockenperioden mit 2,5 l pro m² gewässert.

In den Varianten „intensiv“ und „integriert“ lief eine große Anzahl von Keimlingen auf, die teilweise sehr dicht standen und sich gegenseitig beschatteten. In diesen Varianten wurde daher die Keimlingszahl am 30. Juni auf 60 Pflanzen pro Parzelle verringert, angelehnt an die Anzahl in der Parzelle mit den wenigsten Keimlingen.

In allen drei Jahren wurde zur Kontrolle von Schnecken METAREX® (49 g/kg Metaldehyd) eingesetzt. Auflaufende Unkräuter wurden regelmäßig entfernt.

2.2.1.4 Datenerfassung

Kulturbestand

Nur im Jahr 2002 wurde Winterweizen in der Versuchsanlage ausgesät. Die Anzahl der Weizenähren pro Parzelle wurde Mitte Juli bestimmt.

Cirsium arvense

Modellversuch 2000

Nach dem Auspflanzen der Disteln am 4. Mai wurde alle 15 Tage die Sprosshöhe gemessen und die Anzahl neu gebildeter Wurzelsprosse aufgenommen. Nach 90 Tagen wurden die Distelsprosse geerntet und die Wurzeln bis zu einer Tiefe von 50 cm ausgegraben. Nach 30 Tagen wurde die Trockenmasse (TM) der an der Luft im Gewächshaus getrockneten Distelsprosse und -wurzeln getrennt bestimmt.

Modellversuch 2002

Nachdem in der ersten Maihälfte die ersten Disteln aufgelaufen waren, wurden die Keimlinge alle zwei Wochen gezählt, neu hinzugekommene markiert und abgestorbene Keimpflanzen notiert. Der Beginn der Wurzelsprossbildung und die Anzahl der Sprosse wurden ebenso aufgenommen wie die Bildung von Knospen und Blüten. Um die räumliche Verteilung von Getreide und Disteln innerhalb der Parzellen verdeutlichen zu können, wurden kurz vor der Ernte Aufsichtszeichnungen der einzelnen Betonrahmen angefertigt.

Nach der Weizenernte erfolgte Mitte August auch die Ernte der Disteln. Die Sprosse wurden dicht an der Bodenoberfläche abgeschnitten und die Wurzeln möglichst vollständig bis zu einer Tiefe von etwa 80 cm ausgegraben. Die Sprosshöhe wurde in 10-cm-Klassen gemessen und die Anzahl der geöffneten Blütenköpfchen und der Blütenknospen erfasst. Die oberirdischen Sprosse und im Sommer neu aufgelaufenen Keimlinge wurden gezählt, ebenso wie die noch unterirdischen Wurzelsprosse und sichtbaren Wurzelknospen. Anschließend wurde die Trockenmasse (nach 48 h bei 105 °C) getrennt für die oberirdische und unterirdische Biomasse bestimmt.

Nach der Distelernte blieben die Parzellen völlig ungestört. Im Herbst wurde wiederholt kontrolliert, ob weitere Keimlinge aufgelaufen waren. In vier der ehemals beschatteten Parzellen mit einer größeren Anzahl von Herbstkeimlingen wurden die insgesamt 61 Keimlinge markiert und bis zum Frühjahr weiter kontrolliert. Im Mai 2003 wurde überprüft, ob diese Keimlinge Wurzelsprosse gebildet hatten.

Modellversuch 2003

Von der Aussaat der Disteln bis Anfang August wurden in wöchentlichen Abständen die neu aufgelaufenen Keimlinge gezählt, abgestorbene Pflanzen wurden vermerkt und die Anzahl neu gebildeter Wurzelsprosse wurde aufgenommen. Die Ernte der Disteln erfolgte vom 1. bis 7. August, parallel zur Ernte der entsprechenden Referenzfelder. Die Sprosslänge wurde gemessen, die Anzahl vorhandener Blütenknospen notiert und die Wurzeln wurden bis zu einer Tiefe von 60 cm ausgegraben. Die Trockenmasse (nach 48 h bei 105 °C) der ober- und

unterirdischen Biomasse wurde ermittelt. Nach der Ernte und dem Entfernen des Schattiergewebes wurde die Versuchsanlage bis zur ersten Oktoberwoche weiter beobachtet und auflaufende Keimlinge wurden gezählt.

2.2.2. Lebensfähigkeit von Wurzelstücken

Ein Versuch zur Lebensfähigkeit von Wurzelstücken im Boden wurde ebenfalls im Instituts-garten durchgeführt. Untersucht wurden der Einfluss der Lagerungstiefe und der Störung der Bodenoberfläche. Dafür wurden Ende März 2002 jeweils zehn kräftige, mindestens 10 cm lange Wurzelstücke in Kunststoffnetzen mit ca. 1 cm Maschenweite in Tiefen von 20 und 50 cm eingegraben. Der Boden über der einen Hälfte der Netze wurde regelmäßig gehackt, der Rest der Versuchsfläche blieb ungestört. Pro Tiefe und Bearbeitungsvariante wurden vier Netze verwendet. Im Mai 2003 wurden die Netze wieder ausgegraben.

2.3 Anbausystemversuch INTEX-Projekt

Weitere Beobachtungen erfolgten auf den Flächen des Göttinger INTEX-Projekts, einem Langzeitversuch zum großflächigen Vergleich von Anbausystemen (STEINMANN 2003, STEINMANN & GEROWITT 2000, GEROWITT & WILDENHAYN 1997) im Bereich des Versuchsguts Marienstein. Die Flächen liegen etwa 10 km nördlich von Göttingen in der Nähe des Ortes Angerstein in einer Höhe von 160 bis 220 m über NN. Im Rahmen des Projektes wurde ab 1990 eine umfassende Schlagkartei geführt und in festgelegten Parzellen jährliche Unkrautbonituren durchgeführt.

Die Beobachtung von *C. arvensis* konzentrierte sich im Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2003 hauptsächlich auf das System „integriert flexibel“. Während dieser Zeit wurde in diesem System eine 4-feldrige Rapsfruchtfolge angebaut (Winterraps – Hafer – Winterweizen – Wintergerste). Nach der Rapsernte erfolgte zunächst keine Bodenbearbeitung. Die Flächen wurden erst nach Ende der Vegetationsperiode im Spätherbst oder auch erst im zeitigen Frühjahr des nächsten Jahres gepflügt. In den übrigen Kulturen erfolgte der Pflugeinsatz vor der Aussaat im Herbst.

Die Stickstoffdüngung erfolgte bedarfsgerecht nach N_{\min} -Beprobung. Pflanzenschutzmittel wurden nach Schadschwellen eingesetzt. In jedem Jahr wurden Herbizide mit Distelwirkung auf mindestens einer Fläche verwendet (Tab. 2.9)

Tab. 2.9: Im System „Integriert-flexibel“ des Anbausystemversuchs eingesetzte Herbizide mit Distelwirkung von 1999 bis 2003. k. D.: keine Daten vorhanden

Jahr	Fläche	Kultur	Wirkstoff
1999	M7	Sommerweizen	Glyphosat
2000	M5	Winterweizen	MCPA
	M6	Hafer	MCPA
2001	M4	Hafer	Dichlorprop
	M6	Winterweizen	Dichlorprop
2002	M4	Winterweizen	MCPA
	M6	Winterweizen	MCPA
	M7	Hafer	Glyphosat
2003		k. D.	k. D.

2.3.1. Kartierung von Nestern

Im Jahr 1999 wurden die vorhandenen Distelnester in allen Anbausystemen per D-GPS erfasst, von 2000 bis 2003 jeweils im Frühjahr in einzelnen Schlägen des Systems „integriert flexibel“. In der Fläche M4 erfolgte die Kartierung der Nester in fast jedem Versuchsjahr. Nur der Winterraps-Bestand im Jahr 2000 war im Frühjahr bereits nicht mehr begehbar, sodass keine Aufnahme erfolgen konnte. Tabelle 2.10 gibt einen Überblick über Düngung und Herbizideinsatz in der Fläche M4.

Tab. 2.10: Versuchsfläche M4 („integriert flexibel“) des Anbausystemversuchs: Kulturen, Stickstoffdüngung sowie Termine des Einsatzes distelwirksamer Herbizide und der GPS-Kartierung in den Versuchsjahren. k. D.: keine Daten vorhanden

Jahr	Kultur	AHL (kg/ha)	Herbizid	Kartierung
1999	Wintergerste	140	--	25.06.1999
2000	Winterraps	130	--	--
2001	Hafer	50	10.05.2001	07.05.2001
2002	Winterweizen	160	22.05.2002	08.05.2002
2003	Sommerweizen	k. D.	k. D.	16.05.2003

2.3.2. Höhenmessung

Anfang Mai 2001 wurden im Winterraps auf der Fläche M7 („integriert flexibel“) 56 Distelsprosse markiert. Bis zur Rapsernte Ende Juli wurde alle zwei Wochen die Höhe der Sprosse und des umgebenden Bestandes gemessen und das Entwicklungsstadium der Disteln vermerkt. Am 22. Mai wurde an jeder Markierung eine Lichtmessung mit dem Li-1400 Data-Logger durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt befand sich der Raps gegen Ende der Vollblüte.

2.3.3. Keimlinge

Im Mai 2002 wurden während der Kartierung der Distelnester ebenfalls auf der Fläche M7 in drei Bereichen insgesamt 97 Keimlinge gefunden (Abb. 3.30). Ihre Entwicklung wurde bis zur Ernte der Kultur (Hafer) in etwa zweiwöchigen Abständen aufgezeichnet. Einige der Jung-

pflanzen wurden kurz vor der Haferernte ausgegraben und ihr Wurzelsystem wurde begutachtet.

2.4 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS (SAS INSTITUTE INC. 1999). Aufgrund des nestartigen Wachstums der Acker-Kratzdistel war die Verteilung über die Fläche sehr ungleichmäßig. Die erhobenen Daten waren nicht normalverteilt, sodass die Stichproben mit dem nicht-parametrischen Rangsummentests nach WILCOXON (für $k=2$ Faktorstufen) bzw. KRUSKAL-WALLIS ($k>2$) verglichen wurden (BORTZ *et al.* 1990). Die Werte der Stichproben werden als Box-and-Whisker-Plots dargestellt. Die Box repräsentiert dabei 50 % der anhand ihrer Ränge geordneten Werte, die Whisker markieren den Bereich zwischen dem 10. und 90. Perzentil und die Punkte den zwischen dem 5. und 95. Perzentil. Zur Überprüfung von Zusammenhängen zwischen normalverteilten Variablen wurden lineare Regressionen verwendet, für nicht normalverteilte Daten der Rang-Korrelationstest nach SPEARMAN.

Die von 1988 bis 1999 in den Samenbankproben gekeimten Samen wurden über alle Feldstreifen summiert, sodass sich der Jahreswert jeder Variante aus 90 der oben beschriebenen Proben ergibt und keine Variation mehr aufweist.

Normalverteilte und logarithmisch normalverteilte Daten wurden varianzanalytisch ausgewertet und im TUKEY-Testverfahren verglichen. Erträge und Ertragskomponenten waren in der Regel normalverteilt, ebenso ein Teil der in den Modellversuchen erhobenen Daten.

3. Ergebnisse

Die Gliederung des Ergebnisteils orientiert sich am Lebenszyklus von *C. arvensis*. Nach der Beschreibung der Kulturpflanzenbestände im Langzeitversuch Weendelsbreite folgen Ergebnisse zum vegetativen Wachstum junger und bereits etablierter Distelnester. Abschließend werden Ergebnisse zur Blüte und Samenbildung und der Etablierung von Keimlingen dargestellt.

3.1 Kulturpflanzenbestände im Langzeitversuch Weendelsbreite

3.1.1 Versuchsphase 1988-1999

In der ersten Versuchsphase wurden nur Bestandesparameter für das Getreide erfasst (Tab. 3.1). Sowohl Dichte als auch Ertrag waren in beiden Getreidekulturen in der gedüngten Variante (VN+) höher als in der ungedüngten Variante (VN0). In beiden Varianten war die Bestandesdichte im Weizen höher als in der Gerste. Für den Gesamtmittelwert des Ertrages wurde in der Gerste eine Differenz von 32,8 dt/ha zwischen den Varianten ermittelt, im Weizen betrug die Differenz nur 24,8 dt/ha.

Tab. 3.1: Mittlere Bestandesdichten (Ähren/m²) und Erträge (dt/ha) von Winterweizen und Wintergerste im ersten Versuchsabschnitt. **Unterschied zwischen den Düngungsstufen signifikant für $\alpha \leq 0,0001$, *für $\alpha \leq 0,05$ (TUKEY) (k. D.: keine Daten erfasst)

Jahr	Winterweizen				Wintergerste			
	Bestandesdichte		Ertrag		Bestandesdichte		Ertrag	
	VN+	VN0	VN+	VN0	VN+	VN0	VN+	VN0
1988	522,7 **	352,0	77,2 **	38,7	468,0 *	366,7	64,4 *	44,0
1989	500,1 *	347,5	63,5 *	39,4	392,2 **	216,0	72,9 *	33,5
1990	492,2 **	440,0	78,9 *	62,0	368,0 **	197,3	61,4 **	21,5
1991	464,6 *	331,1	70,7 *	47,6	400,9 **	226,6	64,8 *	24,1
1992	457,1	447,0	62,7	64,3	384,8 *	297,4	62,8 *	41,4
1993	357,2	231,7	69,8 **	37,9	277,1	208,8	49,1 *	22,9
1994	443,9 *	271,2	61,7 *	31,7	343,0 *	176,4	52,4 *	19,5
1995	389,5 *	294,0	54,8 *	37,6	357,3 *	225,1	48,9 *	22,0
1996	557,8 *	386,6	74,0 *	53,2	287,2	195,2	45,6 *	19,7
1997	k. D.	k. D.	87,0 *	49,5	k. D.	k. D.	78,7 **	30,5
1998	436,9 *	323,7	72,7 *	50,0	372,6 *	231,7	74,4 *	44,0
1999	297,0	193,8	84,4 *	48,8	287,0 *	199,2	78,2 *	36,8
Ø	447,1	329,0	71,5	46,7	358,0	232,4	62,8	30,0

Im Zeitraum von 1993 bis 1996 waren Dichte und Ertrag in beiden Getreidekulturen relativ niedrig. Auch im Jahr 1999 waren die Ährendichten gering, was sich allerdings nicht im Ertrag widerspiegelte: Besonders in der gedüngten Variante waren die Erträge gegenüber dem

Mittelwert sogar deutlich erhöht. In der ungedüngten Gerste wurden in den Jahren 1989 und 1990 ebenfalls unterdurchschnittliche Ährendichten ermittelt.

3.1.2 Versuchsphase 2000-2003

In der zweiten Versuchsphase wurde neben dem Ertrag und der Bestandesdichte ab 2001 auch die Höhe der Getreidebestände ermittelt (Tab. 3.2). In den gedüngten Varianten lagen Ertrag und Dichte ebenso wie die Pflanzenhöhe in der Regel über denen der N0-Varianten. Eine Ausnahme bildete der Klee gras-Weizen im Jahr 2002. In dieser Kultur lagerte das Getreide in den gedüngten Parzellen ab Anfang Juli und die Ernte verzögerte sich aufgrund der nassen Witterung. Dies führte zu Ertragsverlusten durch Ausfall und Fraß durch Vögel.

Auch zwischen den Weizenkulturen bestanden Unterschiede: Die Wuchshöhe des Weizen 1 war in allen Jahren signifikant höher als die der Stoppelweizensorten. Auch Ährendichte und Ertrag in den N0-Parzellen waren im Klee gras-Weizen regelmäßig höher. In den gedüngten Varianten lag die Dichte und der Ertrag dagegen im Stoppelweizen meist über der des Klee gras-Weizens, wobei die Unterschiede nicht signifikant waren. Im Jahr 2001 bildete der Stoppelweizen vermutlich aufgrund von zu schnell aufeinander folgendem AHL- und Herbizideinsatz vor allem in den gedüngten Varianten nur schütterere Bestände und wenig Blattmasse. Dies schlug sich sowohl in der Ährendichte als auch im Ertrag und vor allem in der Beschattungsleistung nieder (Tab. 3.3).

Die SPEARMAN-Rangkorrelation ergab in den Jahren 2001 und 2002 eine positive Korrelation zwischen der Ährendichte und der Halmlänge. Im trockenen Jahr 2003 bestand dagegen kein Zusammenhang zwischen den Parametern.

Für die statistische Auswertung der Auswirkung des Schlegelns stand nur ein begrenzter Datensatz zur Verfügung. Die im Methodenteil dargestellten Schlegelvarianten wurden erst im Jahr 2001 eingeführt. Für dieses Versuchsjahr konnte also nur der Klee gras-Streifen (Feldstreifen C) in die Auswertung einbezogen werden. In den Jahren 2002 und 2003 zeigte sich in diesem Streifen die Auswirkung des Schlegelns auf die Folgekulturen. Im Jahr 2002 waren das Wachstum des Klee gras-Bestandes (Streifen B) und die Schnitthäufigkeit optimal. Dieser Feldstreifen ging mit einem folgenden Weizenjahr in die Auswertung ein. Streifen A konnte nur mit den Daten aus der Klee graskultur des Jahres 2003 einbezogen werden. Zusätzlich zu berücksichtigen waren in diesem Jahr die Frühjahrseinsaat, der daraus folgende späte erste Schnitt sowie das frühe Absterben der Einsaat in den häufig geschlegelten Varianten. Die Kulturparameter unterschieden sich zwischen den Schlegelvarianten nicht signifikant. Allerdings war im Jahr 2003 der Klee gras-Weizen in den im Vorjahr selten geschlegelten Parzellen tendenziell höher als in den häufig geschlegelten ($p=0,0830$, WILCOXON).

Tab. 3.2: Mittelwerte der Bestandesparameter in den beiden Weizenkulturen von 2000 bis 2003 in den beiden Stickstoffvarianten. ** Unterschied zwischen den Düngungsstufen signifikant für $\alpha \leq 0,0001$, * für $\alpha \leq 0,05$; †† Unterschiede zwischen den Streifen signifikant für $\alpha \leq 0,0001$, † für $\alpha \leq 0,05$; n.s.: Unterschiede nicht signifikant (n=9, Dichte, Ertrag: TUKEY, Höhe: WILCOXON)

Jahr	Parameter	Weizen 1		Weizen 2		Kultur
		N+	N0	N+	N0	
2000	Dichte (Ähren/m ²)	310,3 *	208,3	368,3 *	204,7	n.s.
	Ertrag (dt/ha)	51,6 *	43,9	69,5 *	34,1	n.s.
2001	Höhe (cm)	106,9 **	97,8	90,1 **	74,8	††
	Dichte (Ähren/m ²)	537,3 **	440,8	325,1	281,5	††
	Ertrag (dt/ha)	77,6 **	62,8	47,1 **	27,8	††
2002	Höhe (cm)	106,5 *	97,0	79,8 *	70,8	††
	Dichte (Ähren/m ²)	380,2	352,6	411,5 *	317,2	n.s.
	Ertrag (dt/ha)	46,0 *	51,9	58,9 *	40,4	n.s.
2003	Höhe (cm)	89,8 *	80,8	70,6 *	61,4	††
	Dichte (Ähren/m ²)	326,0	285,5	354,7 *	230,7	† (nur N0)
	Ertrag (dt/ha)	51,3 *	45,2	55,2 *	33,9	† (nur N0)
∅	Höhe (cm)	101,1	91,9	80,2	69,0	
∅	Dichte (Ähren/m ²)	388,5	321,8	364,9	258,5	
∅	Ertrag (dt/ha)	56,6	51,0	57,7	34,1	

Die Beschattungsleistung der Kulturen wurde in den Jahren 2001 und 2003 erfasst (Tab. 3.3). Im Getreide war die Beschattung in den gedüngten Parzellen signifikant höher als in den ungedüngten Parzellen und im Weizen 1 höher als im Weizen 2. Im Klee gras war die Beschattung im Jahr 2001 dagegen in den N0-Varianten höher als in den N+-Varianten. Im Jahr 2003 war der Klee gras-Streifen bereits vor dem Messtermin geschlegelt worden, so dass keine Lichtmessung durchgeführt werden konnte. Die Beschattung war nur im Jahr 2001 positiv mit den Parametern Höhe und Dichte korreliert, im Jahr 2003 gab es keinen Zusammenhang ($\alpha \leq 0,05$, SPEARMAN). Häufig und selten geschlegelte Varianten unterschieden sich nur im Jahr 2003 signifikant: Im Weizen 1 war die Beschattung in den im Vorjahr selten geschlegelten Parzellen höher als in den häufig geschlegelten ($\alpha \leq 0,05$, TUKEY).

Für alle untersuchten Merkmale bestanden keine systematischen Unterschiede zwischen den Feldstreifen.

Tab. 3.3: Mittlere Beschattung am Boden in den drei Kulturen in % der Einstrahlung über dem Bestand, * Unterschiede zwischen den Düngungsstufen signifikant; a, b, c: Unterschied zwischen den Kulturen signifikant (getrennt nach Düngungsstufen) für $\alpha \leq 0,05$ (n=9, TUKEY)

Datum	Klee gras		Weizen 1		Weizen 2	
	N+	N0	N+	N0	N+	N0
22.05.2001	75,1*b	81,0a	87,3*a	72,1b	66,8*b	47,2c
11.06.2003	k. D.	k. D.	90,6*a	79,1a	76,5*b	60,8b

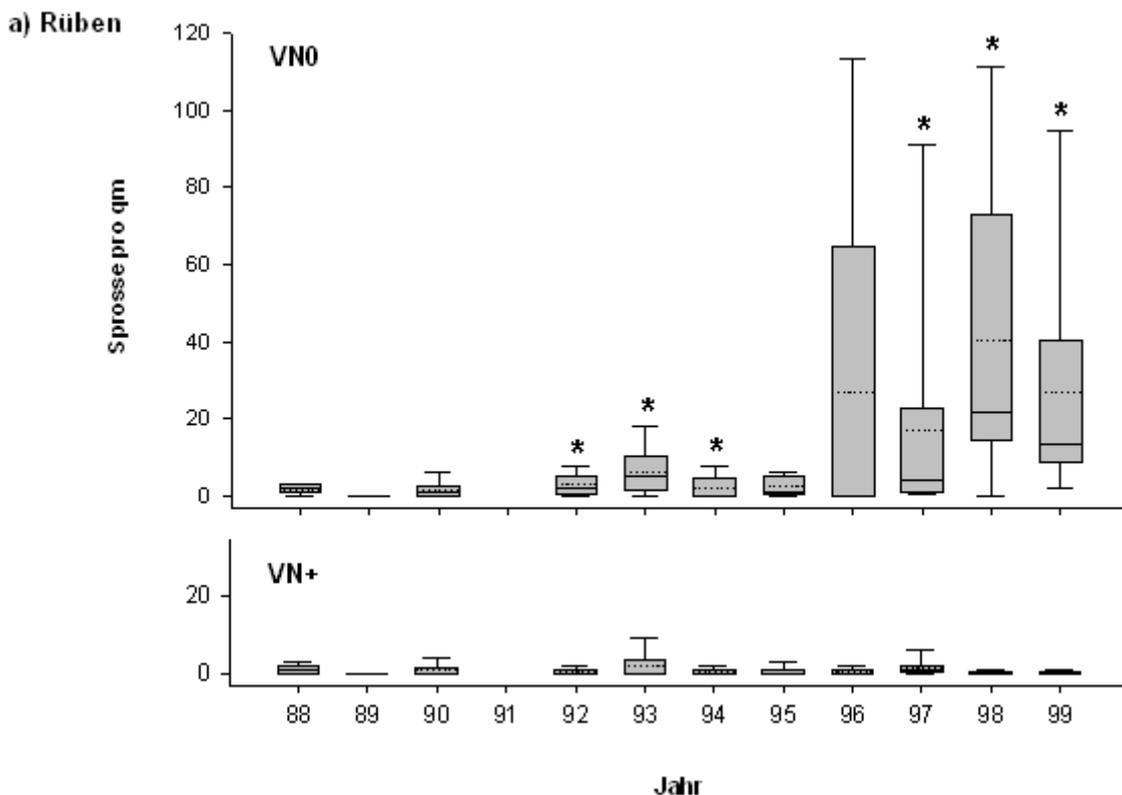
3.2 Vegetative Entwicklung von *C. arvensis*

3.2.1 Langzeitversuch Weendelsbreite 1988 bis 1999

3.2.1.1 Einfluss der Düngung und der Feldfrucht

Abbildung 3.1 zeigt die Sprossdichten von *C. arvensis* in den drei Kulturen in der ersten Versuchsphase. In der Variante VN+ waren in allen drei Feldfrüchten über den gesamten Versuchszeitraum hinweg nur wenige Sprosse zu finden. Ein paar Jahre nachdem die Variante VN0 etabliert worden war, begann die Sprossdichte in den ungedüngten Parzellen anzusteigen. Besonders deutlich war diese Zunahme in der Sommerung Rüben: Hier wurden im Spitzenjahr 1998 vor dem Einsatz der Handhacke eine mittlere Dichte von mehr als 40 Sprossen pro m² ermittelt. In den Getreidejahren nahm die Sprossdichte in der ungedüngten Variante weniger stark zu. Von 1997 bis 1999 wurde jeweils in den Rüben unterschiedlich umfangreiche Maßnahmen zur Distelbekämpfung durchgeführt (vgl. Tab. 2.1). Im folgenden Weizen sanken die Sprossdichten in den Jahren 1998 und 1999 im Versuchsglied VN0 stark ab.

Signifikante Unterschiede zwischen den Feldstreifen traten nicht systematisch auf, sondern ließen sich immer auf Unterschiede zwischen den Früchten zurückführen.



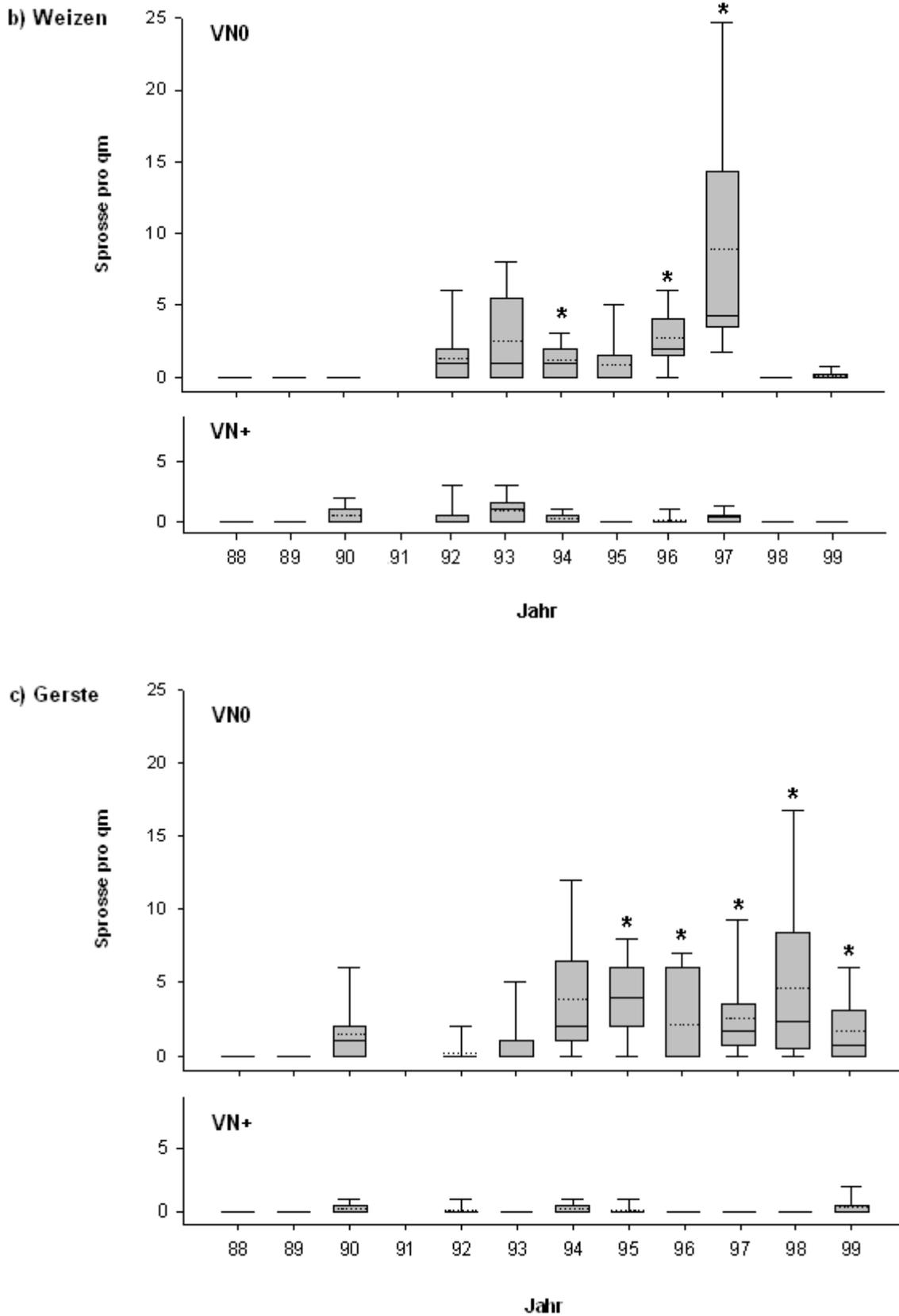


Abb. 3.1 a-c: Sprossdichten von *C. arvense* in den drei Kulturen. Ergebnisse der Frühjahrszählung von 1988 bis 1999 (1991: keine Daten erfasst) in den Varianten VN0 (jeweils oben) und VN+ (jeweils unten). * Unterschiede zwischen den Düngungsstufen signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=9$, WILCOXON) – Box-and-Whisker-Plots

Mit Hilfe von Zunahme-Abnahme-Diagrammen lassen sich Entwicklungen in den einzelnen Kulturen und Düngungsvarianten darstellen (Abb. 3.2). In allen drei Kulturen waren in den VN+-Parzellen kaum Veränderungen festzustellen. Insbesondere im Getreide blieben die Disteldichten stabil. In der ungedüngten Variante traten dagegen häufiger Veränderungen auf: In den Rüben nahm in 40 % der Parzellen die Sprossanzahl im Vergleich zum Vorjahr zu, im Weizen kam es dagegen in ca. 25 % der Parzellen zu einer Abnahme der Disteldichte. In der Gerste lagen sowohl Zu- als auch Abnahme bei 10 %.

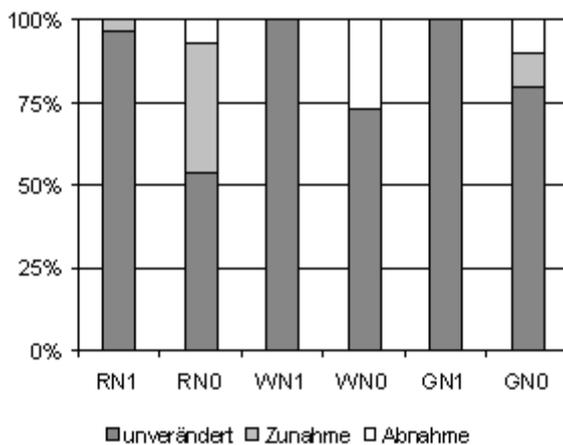
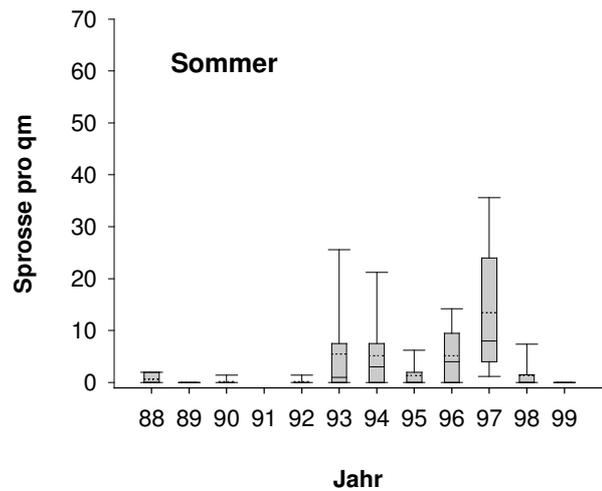
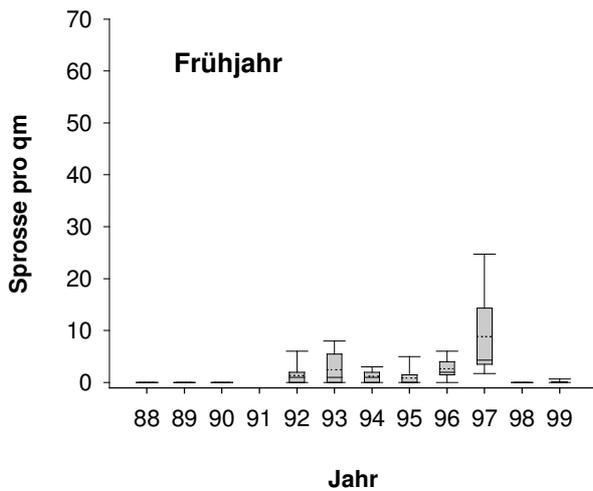


Abb. 3.2: Veränderung der Sprossdichte in den Düngungsstufen im Zeitraum von 1988 bis 1999 in den drei Kulturen, jeweils im Vergleich zum Vorjahr (Frühjahrszählung, n=33)
R: Rüben, W: Weizen, G: Gerste; N1: gedüngt, N0: ungedüngt

In den Getreidekulturen wurde kurz vor der Ernte eine zweite Sprosszählung durchgeführt (Abb. 3.3). In der Variante VN+ blieben die Sprossdichten über die Vegetationsperiode stabil auf einem niedrigen Niveau. Im Versuchsglied VN0 unterschied sich die Dichte der *C. arvensis*-Sprosse weder im Weizen noch in der Gerste signifikant von der Sprossdichte im Frühjahr, obwohl die Anzahl der Distelsprosse pro m² insbesondere in der Gerste anstieg.

a) Weizen



b) Gerste

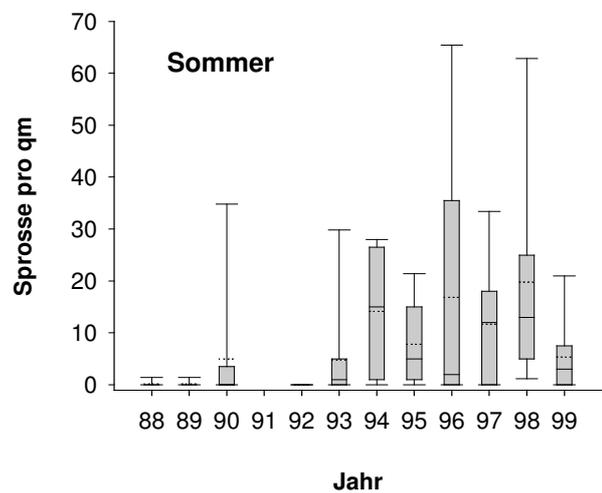
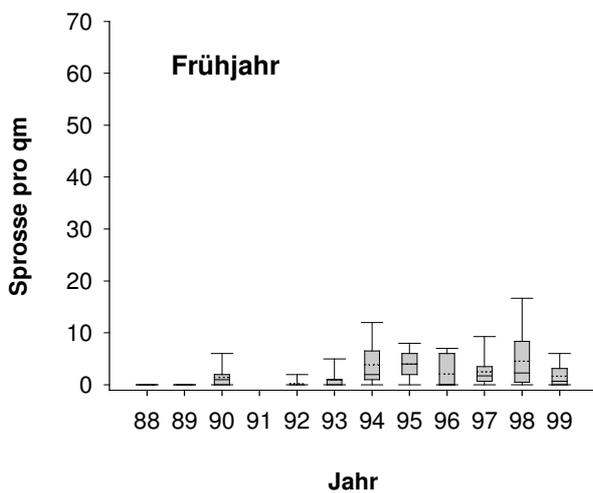


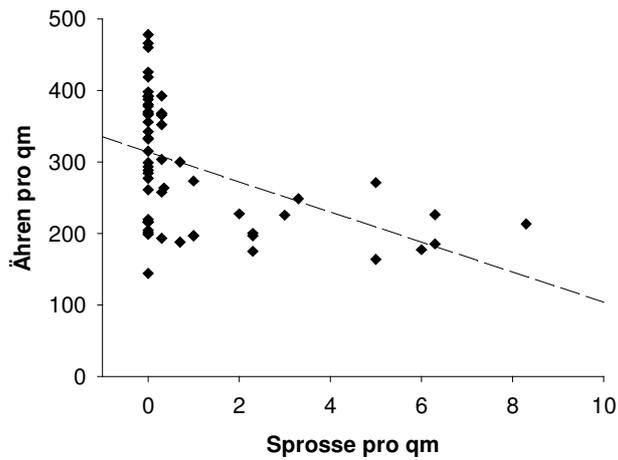
Abb. 3.3 a-b: Sprossdichten von *C. arvense* in der Variante VN0 im Frühjahr (links) und im Sommer (rechts) von 1988 bis 1999 in den beiden Getreidekulturen (1991: keine Daten erfasst). Unterschiede zwischen den Terminen nicht signifikant (n=9, WILCOXON)

3.2.1.2 Korrelationen mit Bestandesparametern

Die Anzahl der Distelsprosse war hochsignifikant negativ mit der Ährendichte der Gerste korreliert. Im Weizen dagegen war kein signifikanter Zusammenhang festzustellen (Abb.3.4).

Nur in der VN0-Variante zeigte sich in beiden Kulturen ein negativer Zusammenhang zwischen der Sprossdichte von *C. arvense* und dem Kornertrag des Getreides. Die SPEARMAN-Rangkorrelation ergab für die Wintergerste mit $r = -0,603$ eine hochsignifikante Korrelation, im Winterweizen war sie dagegen nur schwach ausgeprägt ($r = -0,310$).

a) Gerste



b) Weizen

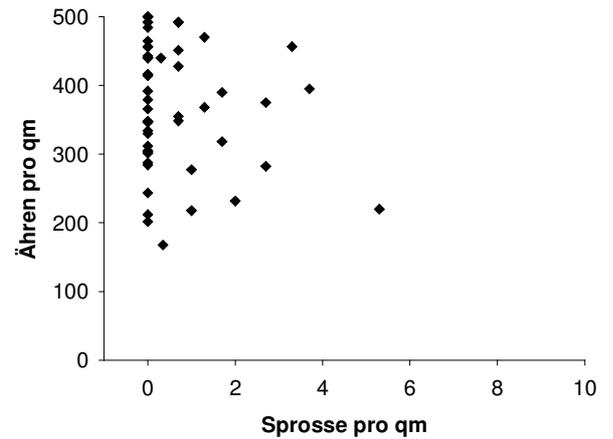


Abb. 3.4 a-b: Zusammenhang zwischen der Sprossdichte von *C. arvense* und der Ährendichte der Gerste (links) und des Weizens (rechts) von 1988 bis 1999. Gerste: $r=-0,515^*$; Weizen: $r=0,131$, * signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=60$, SPEARMAN)

3.2.2 Langzeitversuch Weendelsbreite 2000 bis 2003

3.2.2.1 Kartierung der Distelnester

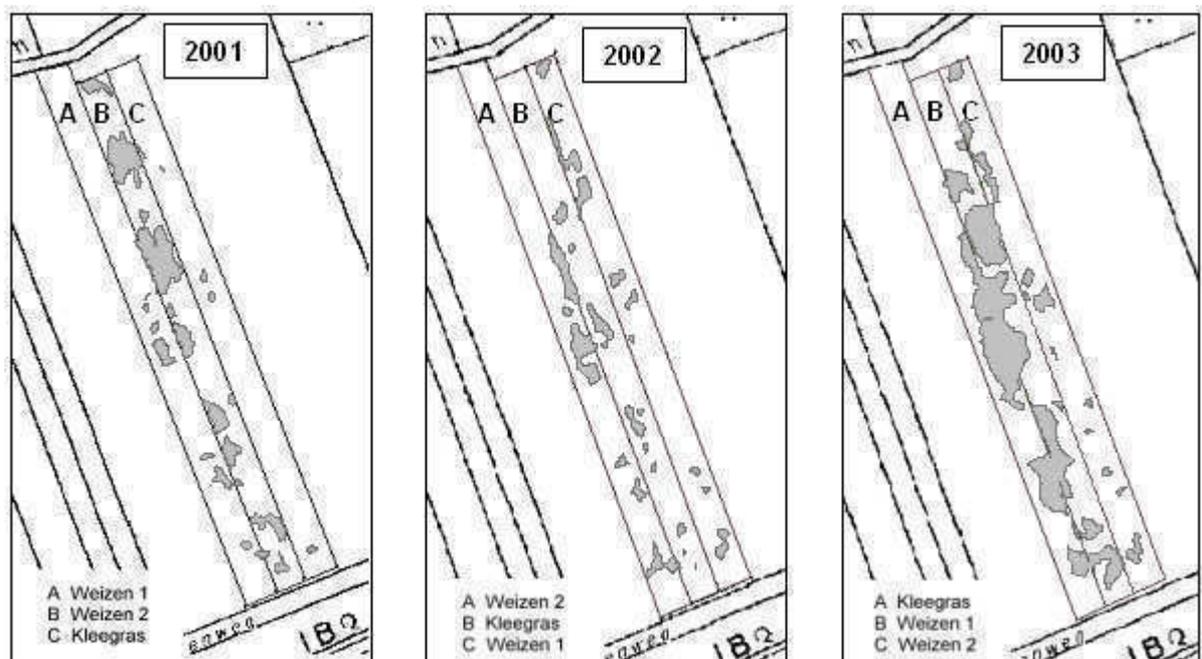


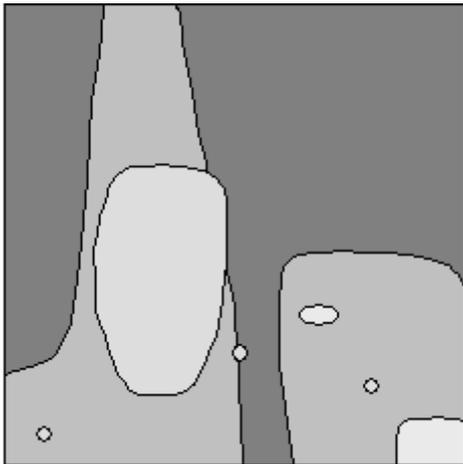
Abb. 3.5: GPS-Kartierung der *Cirsium arvense*-Nester in den drei Feldstreifen des Langzeitversuchs jeweils nach der Getreideernte in den Jahren 2001 bis 2003

Die *C. arvense*-Nester im Langzeitversuch wurden von 2001 bis 2003 kartiert (Abb. 3.5). Die Nester änderten zwar ihre Ausdehnung, erwiesen sich aber in ihren Zentren als relativ ortsstabil. In den Streifen B und C waren die Nester im Klee gras kleiner als in den Weizen-

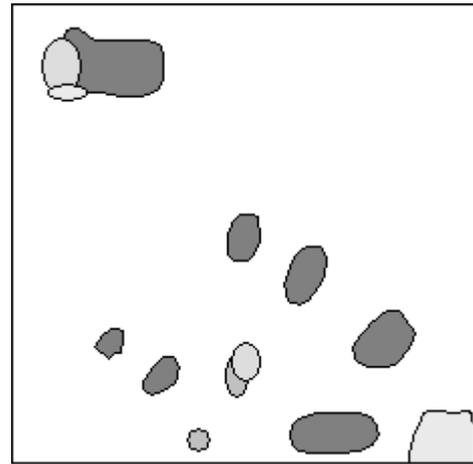
jahren. Besonders deutlich wurde der Rückgang der von *C. arvensis* bedeckten Fläche in Feldstreifen B zwischen 2001 und 2002. In den durch den kalten Winter und die Trockenheit geschädigten Beständen im Jahr 2003 dehnten sich die Nester in allen Kulturen aus. Im selben Jahr kam es auch im Klee gras nicht zu einem Rückgang der Distelnester. In Feldstreifen C wurden in allen drei Jahren weniger ausgedehnte Nester kartiert als in den beiden anderen Streifen.

Zusätzlich wurden die Disteln innerhalb der Versuchspartzen jeweils im Frühjahr und im Herbst per Hand aufgezeichnet. Im Gegensatz zur GPS-Kartierung konnten mit dieser Methode auch sehr kleine Nester und Einzelsprosse berücksichtigt werden (Abb. 3.6). Die Abbildungen 3.6 a und b zeigen N₊-Partzen mit etablierten *C.-arvensis*-Nestern in den Feldstreifen B und C. In der Partze B12 hatten sich in der ersten Versuchsphase ausgedehnte Nester gebildet, die auch im Herbst 2001 noch die gesamte Partze bedeckten. Typisch für Streifen C waren dagegen kleinere lockere Nester. In beiden Partzen war im Verlauf der zweiten Versuchsphase ein Rückgang der von *C. arvensis* bedeckten Fläche zu verzeichnen. Die Abbildung 3.6 c und d ermöglichen einen Vergleich der Entwicklung in ungedüngten und gedüngten Varianten: In der ungedüngten Partze nahm die Größe des Distelnestes über die Jahre zu. In der N₊-Partze waren ebenfalls in jedem Jahr Disteln vorhanden, es konnten sich aber keine stabilen Nester etablieren. Dieses Muster zeigte sich auch in den anderen gedüngten Partzen mit jungen Nestern. Eine Ausnahme bildete Partze A10, in der die Sprossdichte trotz Düngung zunahm (vgl. 3.2.2.4).

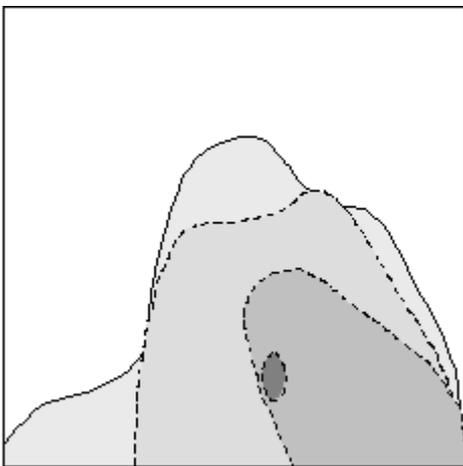
a) B12 - alte Nester, N+



b) C14 - alte Nester, N+



c) A2 - junge Nester, N0



d) A12 - junge Nester, N+

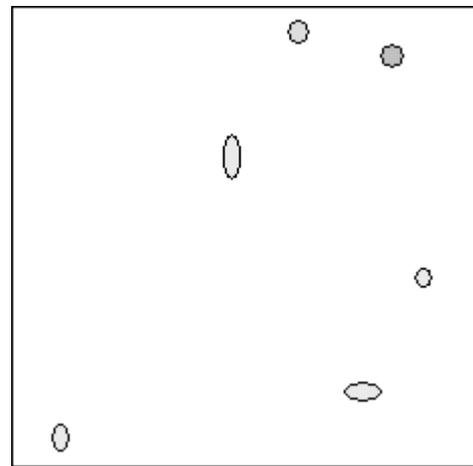


Abb. 3.6 a-d: Entwicklung der *C.-arvense*-Nester in ausgewählten Parzellen des Langzeitversuchs von 2000 bis 2003. Kartierung per Hand auf der Weizenstoppel und vor dem Umbruch der Klee-gras-Mischung. Grauschattierungen: Ausdehnung der Nester im jeweiligen Versuchsjahr

3.2.2.2 Einfluss des Kulturbestandes

Abbildung 3.7 gibt einen Überblick über die mittleren *C.-arvense*-Dichten in den drei Kulturen im Langzeitversuch Weendelsbreite. Während der Frühjahrszählung war die Sprossdicke im Klee-gras in allen Versuchsjahren signifikant höher als im folgenden Weizenjahr. Die Sprossdicke im Stoppelweizen erreichte Werte zwischen denen der beiden anderen Feldfrüchte. Vor der Ernte war dagegen die Sprossdicke im Stoppelweizen und im Klee-gras signifikant höher als im ersten Weizenjahr. Die relativ hohen Werte im Klee-gras beruhen auf der starken Ausbreitung der Nester im trockenen Jahr 2003. Werden nur die Daten der drei übrigen Versuchsjahre in die Auswertung aufgenommen, waren die Sprossdichten im Stoppelweizen höher als im Klee-gras. Diese Entwicklung setzte sich nach der Ernte fort: Im Herbst wurden auf der Stoppel im Weizen 2 signifikant mehr *C.-arvense*-Sprosse als im Weizen 1 gezählt.

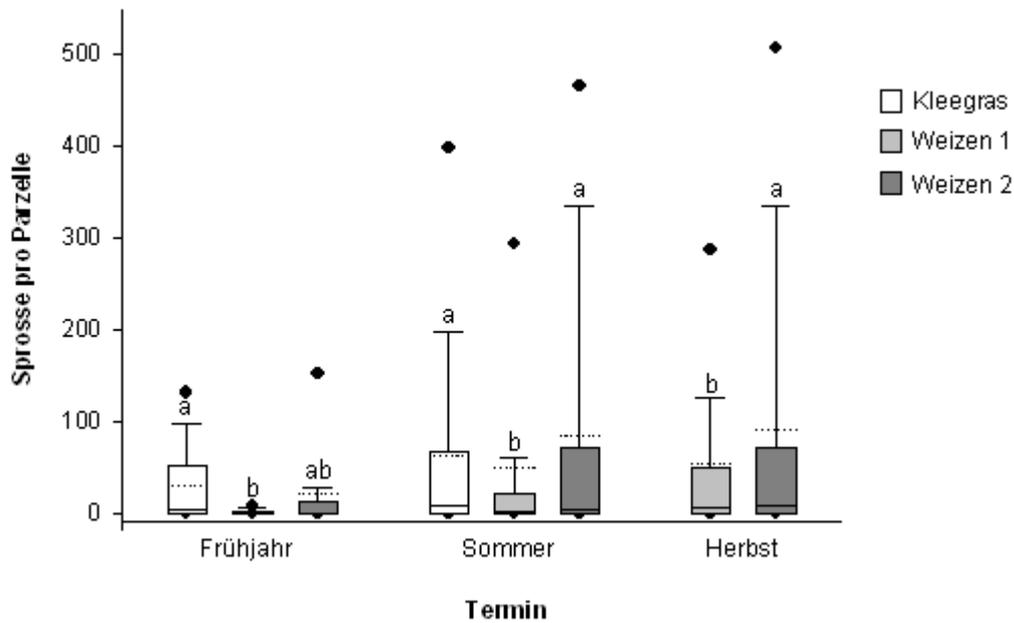


Abb. 3.7: Mittlere Sprossdichten in den drei Feldfrüchten im Frühjahr, vor der Ernte (Sommer) und auf der Weizenstoppel (Herbst) im Zeitraum von 2000 bis 2003. a, b: Unterschiede zwischen den Feldfrüchten signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=54$ (Frühjahr), $n=72$ (Sommer, Herbst), KRUSKAL-WALLIS, WILCOXON) – Box-and-Whisker-Plots

Hinsichtlich der Verteilung der geernteten Distelsprosse auf die Längensklassen bestanden Unterschiede zwischen den Feldfrüchten. Im Kleegras war der Anteil niedriger Sprosse am höchsten und der Anteil mittlerer Sprosse am niedrigsten. Sprosse der höchsten Längensklasse traten in dieser Kultur nicht auf. Der Anteil niedriger Sprosse war im Weizen 1 geringer als im Weizen 2. Die Anteile mittlerer und hoher Sprosse zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Weizensorten. Mit zunehmendem Anteil höherer Sprosse nahm auch die von *C. arvensis* produzierte Biomasse zu. Obwohl sich die mittlere Trockenmasse pro Spross zwischen den Früchten unterschied, waren die Abweichungen nicht signifikant (Tab. 3.4).

Tab. 3.4: Verteilung der geernteten *C.-arvensis*-Sprosse auf die drei Längensklassen und mittlere Trockenmasse pro Distelspross in den Feldfrüchten von 2000 bis 2003. a, b, c: Unterschiede zwischen den Kulturen signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (KRUSKAL-WALLIS)

	Sprosshöhe (Anteil %)			TM/Spross (g)
	niedrig	Mittel	hoch	
Kleegras	77,7 a	22,7 b	0,0 b	0,6 a
Weizen 1	37,4 b	49,8 a	12,7 a	2,7 a
Weizen 2	54,1 c	41,4 a	4,5 a	1,1 a

Wie schon im ersten Versuchsabschnitt ließen sich Unterschiede zwischen den Feldstreifen auf Unterschiede zwischen den Kulturen zurückführen. Trotz der abweichenden Form des Nestwachstums in Feldstreifen C unterschied sich der Streifen in Bezug auf die Anzahl der Distelsprosse nicht von den beiden anderen.

3.2.2.3 Einfluss der Düngung

Mit Beginn der zweiten Versuchsphase wurden die VN0-Variante in eine gedüngte Variante umgewandelt und in drei der vorher gedüngten Versuchsglieder wurde die Stickstoffdüngung eingestellt. Die Umstellung der Düngung führte schon innerhalb des kurzen Zeitraums von 2000 bis 2003 zu sichtbaren Veränderungen der Distelpopulation. Während der Sommerzählung wurden im Jahr 2000 noch signifikant höhere Sprossdichten in den gedüngten Varianten erfasst ($p=0,0179$), in den folgenden Jahren war der Unterschied nicht mehr signifikant. Im Herbst 2003 erreichten die Disteln in den ungedüngten Parzellen schließlich höhere Dichten als in den gedüngten Varianten ($p=0,0229$, WILCOXON). Zurückzuführen sind diese Veränderungen hauptsächlich auf die ehemalige Variante VN0, die in der zweiten Versuchsphase gedüngten Variante mit etablierten Nestern. Die im Frühjahr ermittelten Sprossdichten zeigten in keinem Versuchsjahr einen Zusammenhang mit der Düngung. Abbildung 3.8 zeigt die Entwicklung der Sprossdichten in der Variante mit etablierten Nestern sowie in den gedüngten und ungedüngten Parzellen mit jungen Distelnestern während der Zählung im Sommer. Die Disteldichte nahm in der ehemaligen Variante VN0 von 2000 bis 2003 stark ab, während sie in den ungedüngten Varianten signifikant zunahm. Die Sprossdichten in den gedüngten Varianten mit jungen Nestern änderten sich im betrachteten Zeitraum dagegen nicht.

Ebenso wie die Sprossdichte veränderte sich im Verlauf der zweiten Versuchsphase auch die Trockenmasse pro Spross nur in der Variante mit alten Nestern und in den ungedüngten Varianten mit jungen Nestern (Abb. 3.9).

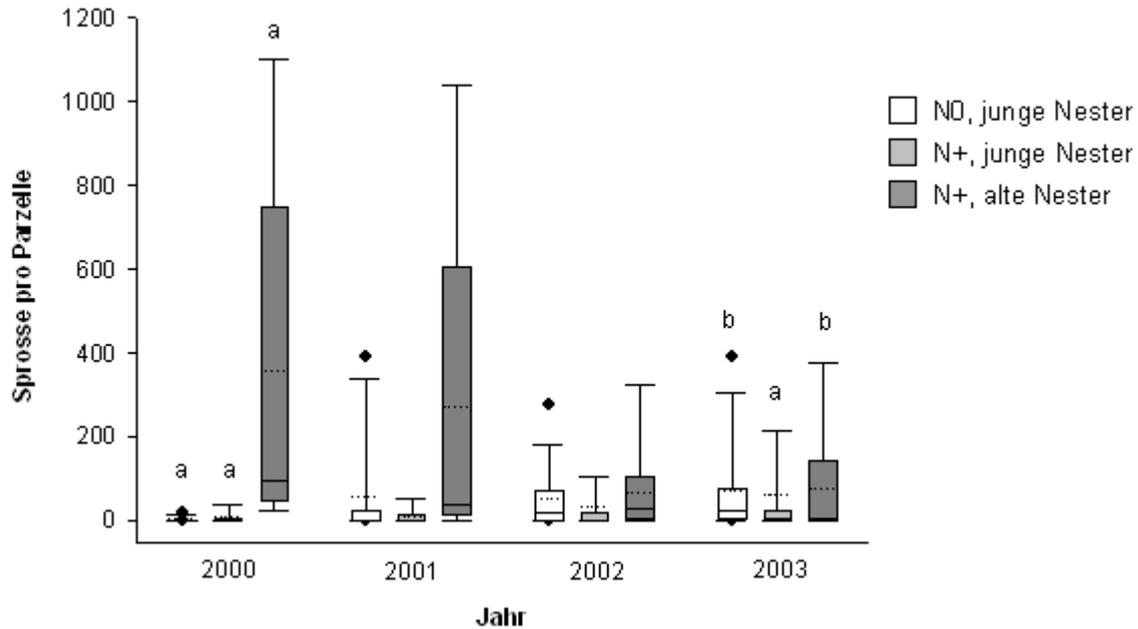


Abb. 3.8: Mittlere Sprossdichten in den ungedüngten und gedüngten Varianten mit jungen Nestern sowie in den Varianten mit alten Nestern in den vier Versuchsjahren. Zählung vor der Ernte. a, b: Unterschiede zwischen den Jahren 2000 und 2003 signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=27$ (NO), $n=18$ (N+, junge Nester), $n=9$ (N+, alte Nester); WILCOXON) – Box-and-Whisker-Plots

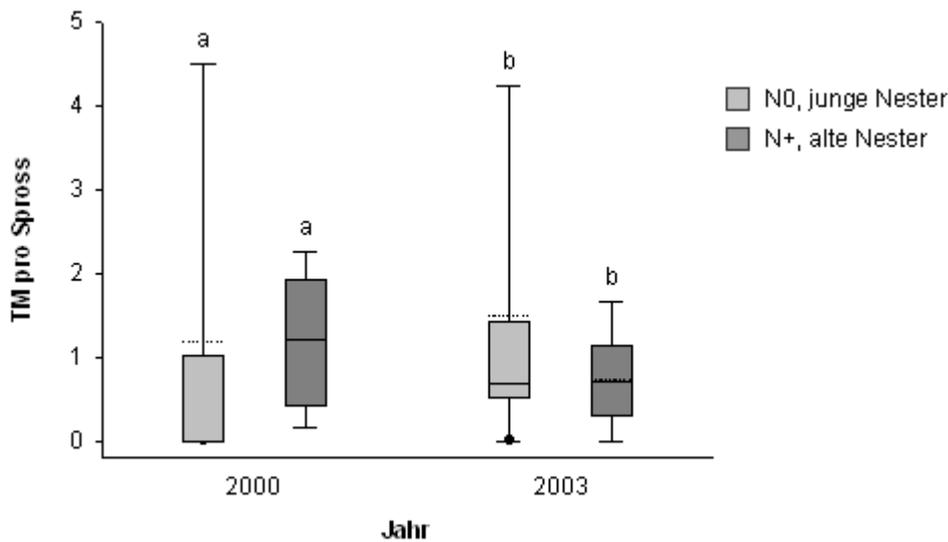


Abb. 3.9: Trockenmasse pro geerntetem Spross in der Variante mit alten Nestern und den N0-Varianten mit jungen Nestern im ersten und letzten Versuchsjahr. a, b: Unterschiede zwischen den Jahren 2000 und 2003 signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=27$ (junge Nester), $n=9$ (alte Nester); WILCOXON) – Box-and-Whisker-Plots

3.2.2.4 Parzelle A10

Eine Ausnahme zu den oben dargestellten Ergebnissen bildete die Parzelle A10, die zu einer N+-Variante mit jungen Distelnestern gehörte. Trotz der durchgeführten Düngung dehnten sich die im ersten Versuchsjahr noch kleinen Distelnester immer weiter aus, bis sie im Jahr 2003 die gesamte Parzelle bedeckten (Abb. 3.10).

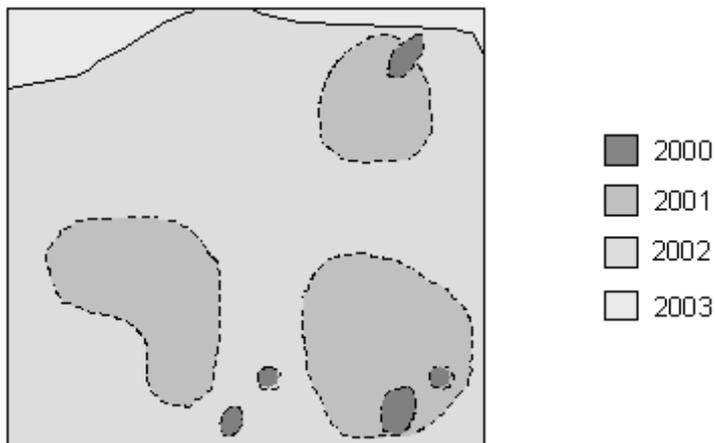


Abb. 3.10: Distelnester in Parzelle A10 des Langzeitversuchs von 2000 bis 2003. Kartierung per Hand auf der Weizenstoppel oder vor dem Umbruch der Klee-gras-Mischung. Grauschattierungen: Ausdehnung der Nester im jeweiligen Versuchsjahr

In der ersten Versuchsphase unterschied sich die Parzelle nicht auffällig von den übrigen der entsprechenden Variante. Während zunächst nur vereinzelte Distelsprosse auftraten, war im Jahr 1997 die Sprossdichte mit 3 Sprossen pro m² in A10 erstmals höher als in den beiden anderen Parzellen der Variante (0,7 Sprosse pro m²). In diesem Jahr erfolgte nach der Zählung eine flächendeckende chemische Bekämpfung der Acker-Kratzdistel und die Parzellen waren in den Jahren 1998 und 1999 in den Zählquadraten distelfrei. In der zweiten Versuchsphase blieben die Sprossdichten in den übrigen gedüngten Parzellen des Feldstreifens A konstant niedrig. In Parzelle 10 stiegen sie dagegen weiter an und lagen bis zum Ende des Versuchs sogar über dem Mittelwert der N0-Varianten des Feldstreifens A (Tab. 3.5).

Die Kulturpflanzenbestände waren in der Parzelle A10 zunächst unauffällig: Der Klee-grasbestand im Jahr 2000 war nicht inhomogen. Die Beschattung war im Jahr 2001 in Parzelle A10 im Vergleich zu den anderen gedüngten Parzellen zwar reduziert, aber immer noch deutlich höher als in den ungedüngten Parzellen. Die Ährendichte war 2001 im Vergleich zum Mittelwert aller N+-Parzellen mit jungen Nestern um etwa 4 % geringer, die Differenz stieg im Jahr 2002 auf etwa 10 %. Die Erträge in Parzelle A10 unterschieden sich nicht wesentlich von denen der übrigen gedüngten Parzellen (Tab. 3.6).

Tab. 3.5: Sprossdichten im Sommer in Parzelle A10 und mittlere Sprossdichten in den übrigen gedüngten Parzellen mit jungen Nestern sowie in den N0-Varianten in Feldstreifen A von 2000 bis 2003

	Sprossdichte Sommer			
	2000 (KG)	2001 (W1)	2002 (W2)	2003 (KG)
Parzelle A10, N+ (n=1)	22,0	65	382	773
junge Nester, N+ (n=2)	0,4	2,4	2,1	17,0
junge Nester, N0 (n=6)	2,0	7,3	86,7	136,5

Tab. 3.6: Bestandesparameter in Parzelle A10 und Mittelwerte der Parameter in den übrigen gedüngten Parzellen mit jungen Nestern sowie in den N0-Varianten in Feldstreifen A, 2001 und 2002

	2001			2002	
	Beschattung (%)	Dichte (Ähren/m ²)	Ertrag (dt/ha)	Dichte (Ähren/m ²)	Ertrag (dt/ha)
Parzelle A10	80,7	505,7	76,8	379,9	59,2
junge Nester, N+	86,9	527,3	75,5	422,9	57,3
junge Nester, N0	72,1	440,8	62,8	317,2	41,2

3.2.2.5 Einfluss des Schlegelns

Bezogen auf die Sprossdichten gab es wenige Unterschiede zwischen den Schlegelvarianten: Nur im Jahr 2003 war die Sprossdichte im Klee gras in den häufig geschlegelten Parzellen höher als in den selten geschlegelten Parzellen (Abb. 3.11).

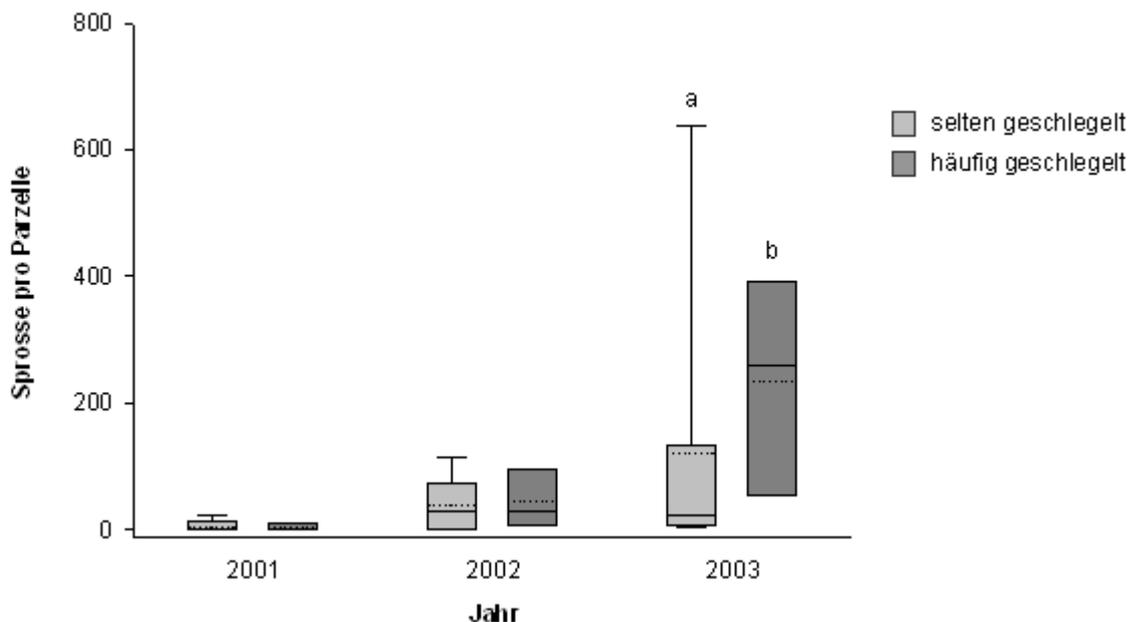


Abb. 3.11: Sprossdichte von *C. arvense* in den selten und häufig geschlegelten Varianten im Klee grasstreifen von 2001 bis 2003. a, b: Unterschiede zwischen den Schlegelvarianten signifikant für $\alpha \leq 0,01$ (selten: n=12 (Box-and-Whisker-Plots), häufig: n=6 (nicht ausreichend für Box-and-Whisker-Plots), WILCOXON)

Beeinträchtigungen des Distelwachstums können auch anhand der Merkmale Biomasse und Sprosslänge beurteilt werden. Die geernteten Disteln unterschieden sich in diesen beiden Wachstumsmerkmalen nur in Feldstreifen B, dem einzigen Streifen mit optimalen Bedingungen während des Klee gras-Jahres 2002 (Tab. 3.7). Die Sprossen wurden in den selten geschlegelten Parzellen höher und bildeten mehr Biomasse. Im folgenden Weizen war der Anteil von Sprossen, die den Bestand überragten und somit potenziell zur Blüte kommen konnten, in den im Vorjahr selten geschlegelten Parzellen signifikant höher als in den häufig geschlegelten Parzellen.

Tab. 3.7: Mittelwerte der Trockenmasse pro Spross und der Verteilung auf die Längensklassen im Feldstreifen B in den Jahren 2002 und 2003. * Unterschiede zwischen den Schlegelhäufigkeiten signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (selten geschlegelt: n=12, häufig geschlegelt: n=6, WILCOXON)

Jahr	Merkmal	selten geschlegelt	häufig geschlegelt
2002	TM pro Spross (g)	0,7 *	0,3
	Anteil niedriger Sprosse (%)	32,2 *	74,4
	Anteil mittlerer Sprosse (%)	67,8 *	25,6
	Anteil hoher Sprosse (%)	0	0
2003	TM pro Spross (g)	4,3	1,4
	Anteil niedriger Sprosse (%)	26,1	43,0
	Anteil mittlerer Sprosse (%)	52,2	49,5
	Anteil hoher Sprosse (%)	21,7 *	7,6

3.2.2.6 Korrelation mit Bestandesmerkmalen

Die Sprossdicke von *C. arvensis* zeigte nur in Einzelfällen einen signifikanten Zusammenhang mit den Merkmalen des Kulturbestandes (Tab. 3.8). Die Sprossdicke war meist negativ mit den erfassten Merkmalen korreliert. Die negative Beziehung zum Kornertrag beruhte wie im Versuchsabschnitt bis 1999 hauptsächlich auf den ungedüngten Varianten. In den gedüngten Varianten bestand meist nur ein schwacher Zusammenhang mit dem Ertrag, im Jahr 2002 war die Beziehung sogar signifikant positiv ($r=0,479$, SPEARMAN).

In der Regel wurden die Disteln in hohen, gut beschattenden Weizenbeständen höher und bildeten mehr Biomasse (Tab. 3.9). Der Anteil niedriger Sprosse stand in negativem Zusammenhang mit den Bestandesmerkmalen, während die Beziehung zu den Sprossen mittlerer Länge positiv war.

Tab. 3.8: Rangkorrelation (r) zwischen *C.-arvense*-Dichte und Bestandesmerkmalen des Weizens von 2000 bis 2003. * signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (n=36, SPEARMAN), (k. D.: keine Daten erfasst)

Jahr	Merkmal	Sprossdichte		
		Frühjahr	Sommer	Herbst
2000	Ertrag	k. D.	0,142	0,231
	Ährendichte	k. D.	0,003	0,155
2001	Ertrag	-0,200	-0,330*	-0,322
	Ährendichte	-0,353*	-0,442*	-0,437*
	Bestandeshöhe	-0,245	-0,371*	-0,343*
	Beschattung	-0,228	-0,351*	-0,337
2002	Ertrag	-0,037	-0,122	-0,130
	Ährendichte	-0,035	-0,020	-0,027
	Bestandeshöhe	-0,043	-0,445*	-0,383*
2003	Ertrag	-0,153	-0,210	-0,140
	Ährendichte	-0,061	-0,068	-0,032
	Bestandeshöhe	-0,046	-0,063	0,044
	Beschattung	-0,044	-0,114	-0,010

Tab. 3.9: Rangkorrelation (r) zwischen Trockenmasse pro Spross bzw. Anteile in den Längenklassen und Bestandesmerkmalen von 2000 bis 2003. * signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (n=36, SPEARMAN) (k. D.: keine Daten erfasst)

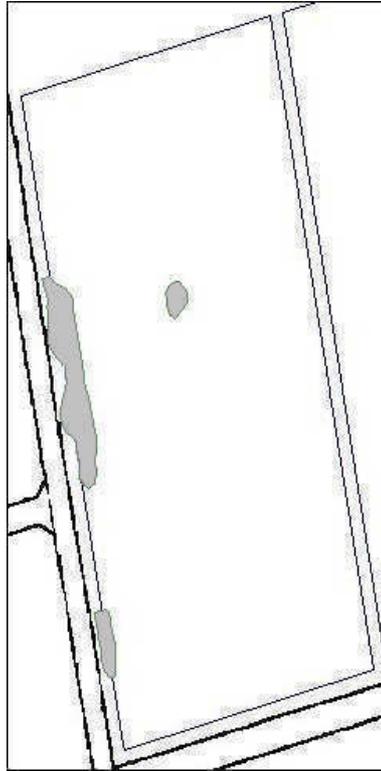
Jahr	Merkmal	TM/Spross	Längenklasse		
			niedrig	mittel	Hoch
2000	Ährendichte	0,119	k. D.	k. D.	k. D.
2001	Ährendichte	0,028	-0,204	0,245	-0,065
	Bestandeshöhe	0,043	-0,329	0,231	0,151
	Beschattung	-0,090	-0,263	0,195	0,124
2002	Ährendichte	0,080	-0,673*	0,694*	-0,069
	Bestandeshöhe	0,308	-0,454*	0,202	0,110
2003	Ährendichte	0,218	-0,186	0,179	0,114
	Bestandeshöhe	0,440*	-0,551*	0,488*	0,246
	Beschattung	0,545*	-0,532*	0,404*	0,250

3.2.3 Kartierung der Distelnester im Anbausystemversuch

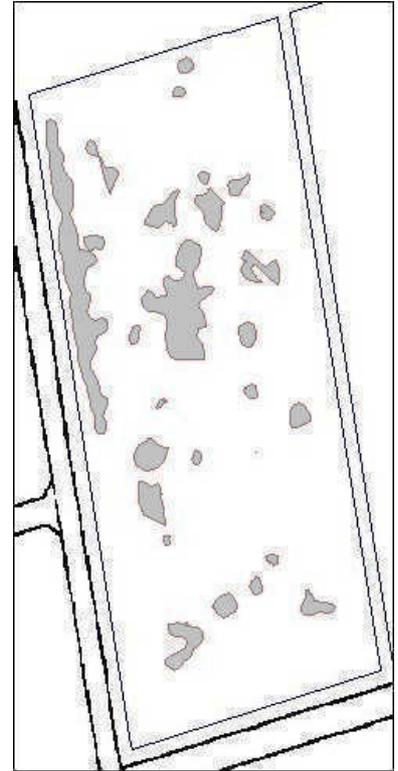
Die Distelnester im Schlag M4 wurden in vier Versuchsjahren kartiert (Abb. 3.12). In der Fläche wurden zu Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1999 nur drei größere Distelnester aufgenommen, obwohl seit 1996 kein Herbizid mit Distelwirkung mehr eingesetzt worden war. Im Jahr 2000 stand auf der Fläche Winterraps, in dem keine Kartierung erfolgte. In der folgenden Sommerung Hafer entstanden im Frühjahr eine Vielzahl größerer und kleinerer Nester. Trotz des Herbizideinsatzes und der relativ konkurrenzstarken Kultur Winterweizen waren diese Nester auch im nächsten Jahr zum größten Teil wieder sichtbar, sodass eine weitere chemische Bekämpfung notwendig wurde. Wie auf der Weendelsbreite zeigte sich auch hier, dass die Nester ihre Lage wenig veränderten, selbst wenn ihre Ausdehnung unterschiedlich war. Im Winter 2002/2003 winterte die Gerste aus, und im Frühjahr wurde Sommerweizen eingesät. Obwohl die Kultur sich zum Zeitpunkt der Kartierung in einem ähnlichen

Entwicklungsstadium befand wie der Hafer im Jahr 2001, waren Anzahl und Ausdehnung der Distelnester weiter zurückgegangen.

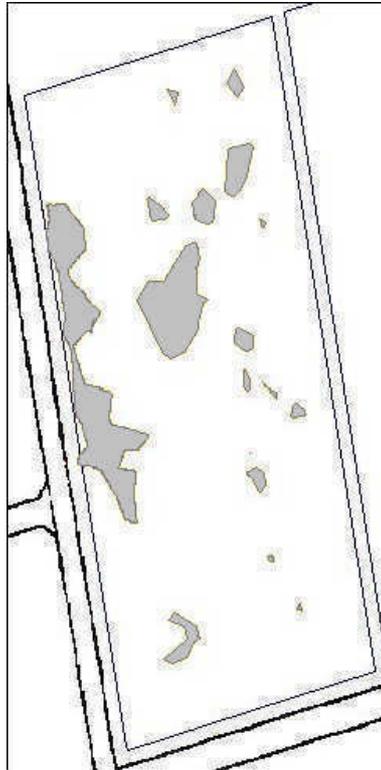
a) 1999
W-Gerste



b) 2001
Hafer



c) 2002
W-Weizen



d) 2003
S-Weizen

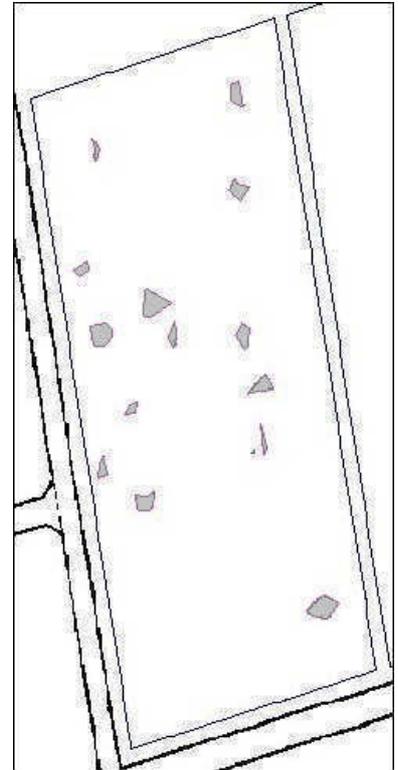


Abb. 3.12: GPS-Kartierung der *C. arvensis*-Nester in der Fläche M4 des Anbausystemversuchs in vier Versuchsjahren

3.2.4 Entwicklung von *C. arvense* innerhalb einzelner Vegetationsperioden

3.2.4.1 Sprossdichte im Langzeitversuch Weendelsbreite im Jahr 2003

Die wöchentliche Erfassung der Sprossdichte begann Mitte Mai, als viele Sprosse bereits an der Oberfläche erschienen waren. Obwohl die Anzahl der Sprosse in beiden Weizenstreifen um bis zu 16 Sprosse pro Zählstelle anstieg, lag die mittlere Zunahme der Sprossdichte nur bei 4,3 bzw. 3,7 Sprosse (Tab. 3.10). Der höchste Anstieg der Sprossdichte erfolgte in der zweiten Maihälfte direkt nach Beginn der Messungen. Im Klee gras, das während der Messperiode mehrfach geschlegelt wurde, waren die Veränderungen deutlicher. Die Sprossdichte nahm um maximal 22 zu und in zwei der untersuchten Parzellen, einer selten geschlegelten N0-Parzelle und einer häufig geschlegelten N+-Parzelle, ging die Anzahl der Sprosse zwischen Beginn und Ende der Messungen leicht zurück. Die im Klee gras-Streifen hinzugekommenen Sprosse entstanden in der Regel nach dem Schlegeln als Seitentriebe am Grund der abgeschnittenen Sprosse und wurden nicht vom Wurzelsystem neu gebildet. Die meisten dieser Sprosse wurden in der ersten Junihälfte gebildet. In den Weizenstreifen handelte es sich in der Regel um echte Wurzelsprosse.

Tab. 3.10: Entwicklung der Sprossdichten von *C. arvense* in den Zählstellen über eine Vegetationsperiode im Langzeitversuch 2003. Minimale und maximale Differenz zwischen dem 14. Mai und dem 16. Juli (Δ min/max) sowie Mittelwerte der Differenzen insgesamt ($\bar{\Delta}$), für die Düngungsstufen und die Schlegelhäufigkeiten in den drei Kulturen. Unterschiede nicht signifikant (WILCOXON)

	n	Δ min	Δ max	$\bar{\Delta}$	$\bar{\Delta}$ Düngungsstufen		$\bar{\Delta}$ Schlegelhäufigkeit	
					N0	N+	Selten	häufig
Klee gras	12	-3	22	7,9	6,3	9,5	8,0	7,8
Weizen 1	6	0	16	4,3	8,0	0,7	6,0	1,0
Weizen 2	6	0	16	3,7	8,0	1,5	3,0	4,0

In den Feldstreifen mit Weizen waren die Sprossdichten in den ungedüngten Parzellen höher als in den gedüngten Parzellen. Im Weizen 1 (Feldstreifen B) war die Dichte auch in den selten geschlegelten Varianten erhöht (Tab. 3.11). Es bestanden keine signifikanten Korrelationen zwischen der Sprossdichte und den Merkmalen der Weizenbestände (SPEARMAN).

Tab. 3.11: Mittlere Sprossdichten von *C. arvense* in den Zählstellen im Langzeitversuch 2003 sowie Mittelwerte für die Düngungsstufen und die Schlegelhäufigkeiten in den drei Kulturen. a, b: Unterschiede signifikant zwischen den Kulturen, * Unterschiede signifikant zwischen den Düngungsstufen bzw. Schlegelhäufigkeiten für $\alpha \leq 0,05$ (KRUSKAL-WALLIS, WILCOXON)

	$\bar{\Delta}$	$\bar{\Delta}$ Düngungsstufen		$\bar{\Delta}$ Schlegelhäufigkeit	
		N0	N+	selten	häufig
Klee gras	25,6 a	27,5	23,7	26,0	25,2
Weizen 1	7,8 b	13,0*	2,7	9,3*	5,0
Weizen 2	7,8 b	13,0*	5,0	7,5	7,8

3.2.4.2 Sprosshöhe im Langzeitversuch Weendelsbreite im Jahr 2003

Die fortlaufende Erfassung der Sprosshöhe im Weizen im Jahr 2003 bot die Gelegenheit, den zeitlichen Verlauf des Wachstums von *C. arvensis* im Vergleich zur Entwicklung des Kulturbestandes darzustellen. Das Längenwachstum der Distelsprosse zeigte Parallelen zum Wachstum des umgebenden Weizenbestandes: Die Sprosslänge der Disteln war in beiden Feldstreifen signifikant positiv mit der Weizenhöhe ($r=0,672$) und der Ährendichte ($r=0,514$) korreliert ($\alpha \leq 0,05$, SPEARMAN).

Im Weizen waren die *C.-arvensis*-Sprosse zu Beginn der Messungen bereits bis zu 30 cm hoch (Tab. 3.12). Die Sprosse im Stoppelweizen waren dabei an allen Messterminen niedriger als die im Klee gras-Weizen. In beiden Streifen waren die Sprosse in den gedüngten Parzellen höher als in den N0-Parzellen, was allerdings statistisch nicht abzusichern war. Die gleichen Unterschiede zwischen Kulturen und Düngungsstufen fanden sich in der Wuchshöhe des Weizens wieder.

Tab. 3.12: Mittlere Wuchshöhen der *C.-arvensis*-Sprosse sowie Wuchshöhen der Winterweizensorten in den Düngungsstufen. * Unterschiede zwischen den Düngungsstufen signifikant, † Unterschiede zwischen den Kulturen signifikant ($\alpha \leq 0,05$, WILCOXON)

	Weizen 1		Weizen 2		Kultur
	N0	N+	N0	N+	
Weizen					
Ø Höhe 14.05. (cm)	41,7 *	48,3	31,0 *	40,0	†
Ø Höhe 16.07. (cm)	81,0 *	89,3	61,5 *	69,3	†
<i>C. arvensis</i>					
Anzahl Sprosse	15	9	11	15	
Ø Höhe 14.5. (cm)	12,9	19,4	5,3	18,7	†
Ø Höhe 16.7. (cm)	93,0	101,0	24,1	93,0	†
Max. Höhe 16.7. (cm)	133	139	81	145	

Auch die Wachstumsraten von *C. arvensis* und den Weizensorten verliefen in etwa parallel, mit einem Maximum in der zweiten Maihälfte (Abb. 3.13). Der Weizen befand sich zu Beginn der Messungen im Schossen und erreichte seine endgültige Höhe zwischen dem 10. und 17. Juni, die Länge der Distelsprosse nahm dagegen erst ab Anfang Juli nicht mehr wesentlich zu.

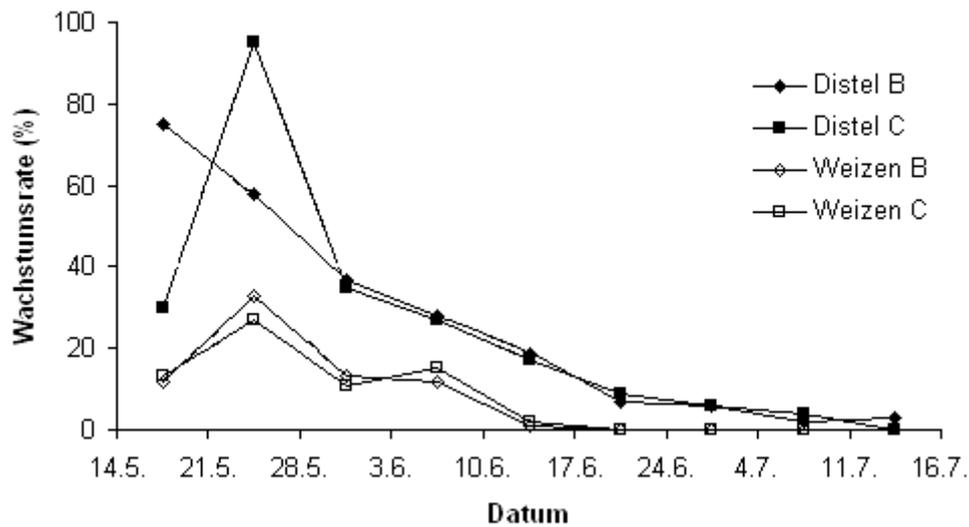


Abb. 3.13: Mittlere Wachstumsraten der markierten Distelsprosse und des umgebenden Winterweizens in den beiden Weizen-Feldstreifen des Langzeitversuchs im Jahr 2003

Die für die Messung markierten Sprosse wurden bei der Ernte ebenfalls in die drei Längensklassen aufgeteilt. Die markierten Sprosse wurden im Mittel länger als die übrigen Disteln in der jeweiligen Parzelle (Tab. 3.13). Wegen des teilweise geringen Stichprobenumfangs wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet.

Tab. 3.13: Mittlerer Anteil (%) der *C.-arvensis*-Sprosse in den drei Längensklassen. Vergleich der markierten Sprosse mit den übrigen in den entsprechenden Parzellen geernteten Sprossen

		Anteil (%)		
		niedrig	mittel	hoch
Feldstreifen B	markiert	4	25	71
	nicht markiert	29	58	11
Feldstreifen C	markiert	30	46	23
	nicht markiert	58	38	3

3.2.4.3 Sprosshöhe im Anbausystemversuch im Jahr 2001

Während der Vegetationsperiode des Jahres 2001 wurde das Längenwachstum von Distelsprossen in einem Winterrapsbestand des INTEX-Projekts in 2-wöchentlichen Abständen verfolgt (Abb. 3.14). Zu Beginn der Messungen am 4. Mai 2001 fing der Raps gerade an zu blühen und hatte bereits fast seine endgültige Höhe von 115 bis 140 cm erreicht.

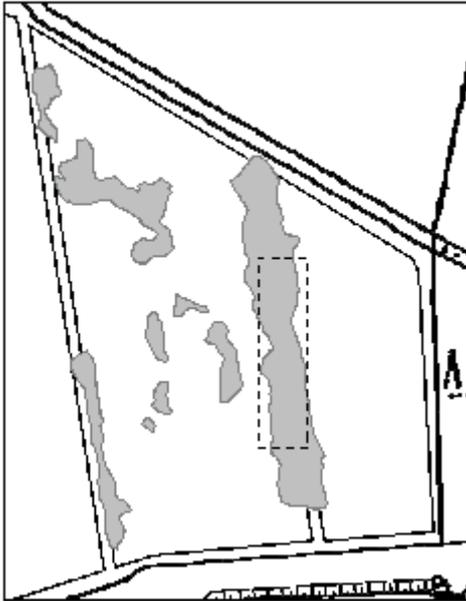


Abb. 3.14: Überblick über die Fläche M7. Im gestrichelten Bereich lagen die im Frühjahr 2001 markierten Distelsprosse, grau unterlegt sind die im Jahr 1999 kartierten Distelnester

Die Distelsprosse waren zu Beginn der Messungen relativ niedrig, wuchsen dann aber schnell in die Höhe. Zwischen dem ersten und zweiten Messtermin war die Wachstumsrate am höchsten – die mittlere Sprosslänge stieg um das 2,5-fache von 9,3 cm auf 23,7 cm - und ging dann wieder zurück. Ab Mitte Juni nahm die Sprosshöhe kaum noch zu. Zwischen den markierten Distelsprossen gab es deutliche Unterschiede: Einzelne Sprosse wuchsen bis zur letzten Messung weiter, während andere das Wachstum schnell einstellten. Dabei verlief auch das Wachstum direkt benachbarter Sprosse unterschiedlich schnell. Bis Mitte Juni starben einzelne niedrige Sprosse (<15 cm) ab (Tab. 3.14).

Tab. 3.14: Längenwachstum der markierten *C.-arvensis*-Sprosse im Winterrapsbestand des Anbausystemversuchs im Jahr 2001. Anzahl, mittlere Sprosshöhe (\bar{x}), maximale und minimale Höhe, mittlere Wachstumsrate (\bar{x} WR) sowie Verteilung der Sprosse auf die Längensklassen <50 cm und >100 cm an den Messterminen

	n	Höhe (cm)			\bar{x} WR (%)	Anzahl <50 cm	Anzahl >100 cm
		\bar{x}	max.	min.			
04.05.	56	9,3	23	1		56	0
18.05.	55	23,7	62	2	154,4	53	0
01.06.	51	39,8	115	4	82,7	36	1
16.06.	46	55,6	150	4	33,5	23	6
29.06.	46	59,7	174	4	8,3	21	10
13.07.	46	62,8	183	4	5,1	20	10

Im unmittelbaren Umfeld der markierten Sprosse erschienen im Verlauf der Vegetationsperiode keine weiteren Wurzelsprosse an der Oberfläche. Um den Rapsbestand zu schonen und die Lichtverhältnisse möglichst wenig zu beeinflussen, wurde nicht auf größerer Fläche nach neuen Sprossen gesucht. Die übrigen Sprosse blieben zum größten Teil niedrig und bildeten lange, dünne Stängel mit wenig Blattmasse. Zehn der Sprosse standen im Juli nicht mehr

aufrecht, sondern waren umgebogen oder abgenickt und lagen teilweise auf der Bodenoberfläche auf. Zur Rapsernte am 25. Juli hatte bei den vier höchsten Sprossen die Blüte eingesetzt.

Während der Ernte ging ein großer Teil der Markierungen verloren, sodass die dazugehörigen Sprosse nicht mehr sicher identifiziert werden konnten. Die wieder aufgefundenen Sprosse entwickelten sich unterschiedlich weiter: Vom Mähdrescher abgeschnittene Sprosse formten an der Bodenoberfläche unmittelbar am alten Stängel neue Sprosse. Sprosse, die während der Ernte umgebogen wurden oder schon vor der Ernte nicht mehr stabil waren, bildeten senkrechte Sprosse in den Blattachsen des Ausgangssprosses. Niedrige Sprosse wurden nicht vom Schneidwerk erfasst und wuchsen ungestört weiter. Ende September blühten einzelne Sprosse in der Fläche.

Die Messung der Beschattung erfolgte in der zweiten Maihälfte. Ihr Mittelwert aus 32 Messpunkten lag bei 90,2 % mit einer Spanne von 64,0 % bis 99,5 %. Die Höhe der Distelsprosse war ab dem zweiten Messtermin positiv mit der Beschattung korreliert. Die Wachstumsrate zwischen dem ersten und zweiten Messtermin wurde positiv beeinflusst, die Rate zwischen dem zweiten und dritten dagegen negativ (Tab. 3.15). Im Rapsbestand war die Beschattung im Mittel höher als in den Weizen- und in den meisten Klee gras-Parzellen des Langzeitversuchs, in dem die Messung am selben Tag erfolgte.

Tab. 3.15: Rangkorrelation (r) zwischen der gemessenen Beschattung sowie der Sprosslänge und der Wachstumsrate der markierten Sprosse an den Messterminen im Anbausystemversuch 2001. * Korrelation signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (SPEARMAN)

	Sprosslänge	Wachstumsrate
04.05.	0,155	-
18.05.	0,360 *	0,411 *
01.06.	0,283 *	-0,277 *
16.06.	0,333 *	-0,065
29.06.	0,324 *	-0,074
13.07.	0,324 *	-0.089

← Lichtmessung

3.2.5 Etablierung von *C. arvensis* aus Wurzelstücken

3.2.5.1 Langzeitversuch Weendelsbreite

Das erste Ausbringen von Wurzelstücken erfolgte im Juni 2001 zunächst nur in einer der „Wurzelstück“-Varianten. Zur Distelernte im Sommer 2001 hatten sich nur in der Parzelle B10 (Weizen 2) beide Klone etabliert und jeweils direkt an der Markierung vier niedrige Sprosse gebildet. In den übrigen acht Parzellen waren keine Sprosse zu finden. Es gelang den Jungpflanzen nicht, die Bodenbearbeitung zu überdauern: Im nächsten Jahr waren die Bereiche wieder distelfrei.

Sowohl die Ährendichte als auch die Höhe des Weizenbestandes unterschied sich in der Parzelle B10 nur wenig von den Mittelwerten für die Variante in Streifen B. Die Beschattung war allerdings um etwa 10 % reduziert. Alle drei Parameter waren im gut entwickelten Weizen 1 in Feldstreifen A höher (Tab. 3.16).

Tab. 3.16: Mittelwerte der Bestandesparameter „Wurzelstück“- Variante in den Feldstreifen A und B des Langzeitversuchs und Werte in Parzelle B10 im Jahr 2001

	Ähren pro m ²	Höhe (cm)	Beschattung (%)
Streifen A	503,6	106,4	84,0
Streifen B	323,3	89,5	67,5
Parzelle B10	318,2	88,3	61,3

Der zweite Etablierungs-Versuch erfolgte im Spätherbst 2001 durch Auspflanzen von vorgezogenen Wurzelstücken mit entwickelten Sprossen. Es wurden die gleichen Klone wie im Frühjahr in einer gedüngten und einer ungedüngten Variante mit jungen Nestern ausgebracht. Im Mai 2002 bildete der kräftigere der beiden Klone in allen drei Feldstreifen in beiden Düngungsvarianten einige niedrige Sprosse. Der andere Klon etablierte sich nur in einer der Parzellen mit einem Spross. Bis zur Ernte der Sprosse im Sommer nahm die Anzahl bereits wieder ab. Nach der Ernte bildeten die vergrabenen Wurzelstücke keine neuen Sprosse, sodass während der Zählung auf der Stoppel in den markierten Bereichen keine Disteln gefunden wurden (Tab. 3.17). Auch im nächsten Jahr blieben die entsprechenden Bereiche distelfrei, die langfristige Etablierung aus Wurzelstücken war also erneut nicht erfolgreich.

Tab. 3.17: Anzahl der von den vergrabenen Wurzelstücken gebildeten Sprosse zur Zählung im Frühjahr, Sommer und Herbst in den Feldstreifen und Düngungsvarianten im Jahr 2002

Streifen	Variante	Klon	Anzahl Sprosse		
			Frühjahr	Sommer	Herbst
A (WII)	N+	Pin	4	4	0
		K2	0	0	0
	N0	Pin	1	1	0
		K2	0	0	0
B (KG)	N+	Pin	6	0	0
		K2	1	0	0
	N0	Pin	1	0	0
		K2	0	0	0
C (WI)	N+	Pin	3	0	0
		K2	0	0	0
	N0	Pin	7	5	0
		K2	0	0	0

3.2.5.2 Wurzelstücke im Institutsgarten 2002

Zur Untersuchung der Überdauerungsfähigkeit der *C.-arvensis*-Wurzeln wurden im März 2002 Netze mit Wurzelstücken in der Nähe der Betonrahmenanlage im Institutsgarten eingegraben. Während der Vegetationsperiode 2002 traten an der Oberfläche keine Distelsprosse in Erscheinung. Beim Ausgraben im nächsten Frühjahr waren alle Netze vollständig leer, es waren nicht einmal Reste der Wurzeln zu finden.

3.3 Generative Entwicklung von *C. arvensis*

3.3.1 Blüten, Samen und Keimlinge im Langzeitversuch Weendelsbreite

Während *C. arvensis* in beiden Weizensorten regelmäßig zur Blüte kam, traten im Klee gras selbst in den selten geschlegelten Parzellen nie blühende Sprosse auf. Die im Weizen blühenden Distelsprosse waren in der Regel sehr kräftig mit einem dicken Stängel. Sie wuchsen im Bestand in die Höhe bis sie fast die Bestandeshöhe erreicht hatten, verzweigten sich dann und begannen zu blühen. Entsprechend waren in den Jahren 2001 und 2002 alle blühenden Sprosse höher als der Weizenbestand. Im trockenen Jahr 2003 waren dagegen von 110 blühenden Sprossen nur 86 höher als der Weizenbestand, die übrigen überragten den Weizen nicht. Die Blüte der Distel setzte in diesem Jahr bereits am 17. Juni ein, mehr als eine Woche früher als in den Jahren 2001 (26. Juni) und 2002 (28. Juni). Bei den im Jahr 2001 im Rapsbestand des Anbausystemversuchs beobachteten Distelsprossen begann die Blüte erst nach dem 13. Juli.

Der Hauptteil der in den Parzellen geernteten Sprosse war weiblich. Es traten auch männliche Sprosse auf, allerdings zu vereinzelt, um Unterschiede zwischen den Geschlechtern herausarbeiten zu können. Abbildung 3.15 zeigt blühende Einzelsprosse oder Distelnester im Juli 2001 in der Umgebung der Versuchsflächen. Zu diesem Zeitpunkt blühten die meisten Sprosse, die über die Bestände hinausragten. Flächen ohne Kennzeichnung waren entweder distelfrei oder zum Zeitpunkt der Kartierung nicht begehbar, wie zum Beispiel Rapsflächen. In den übrigen Versuchsjahren zeigten sich in diesen Flächen ebenfalls überwiegend weibliche und einzelne männliche Klone.

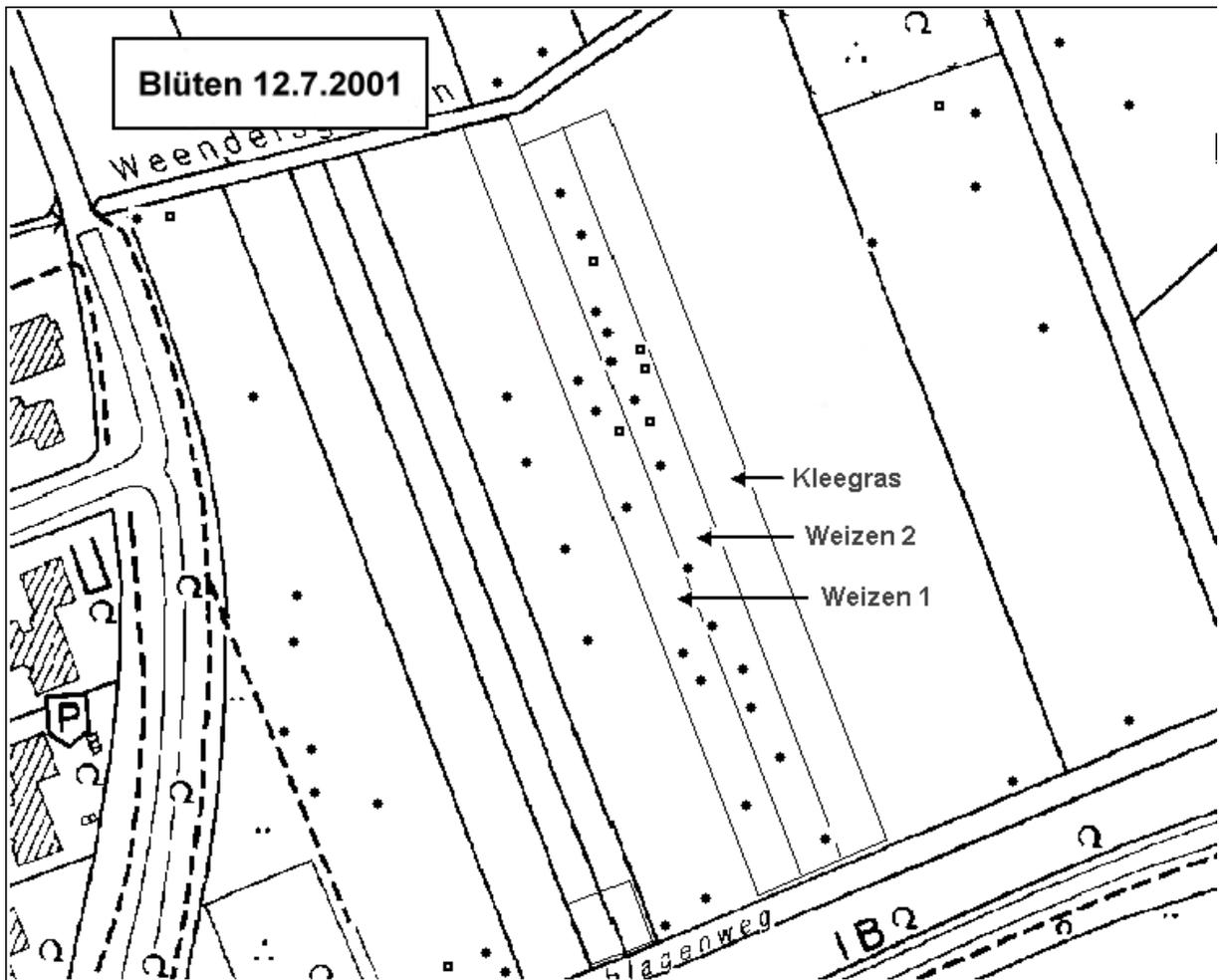


Abb. 3.15: Kartierung der blühenden Acker-Kratzdisteln (Nester oder Einzelsprosse) im Langzeitversuch Weendelsbreite und seiner Umgebung am 12.7.2001. ● weibliche Blüten, □ männliche Blüten

3.3.1.1 Anteil blühender Sprosse

Die Anzahl der blühenden Sprosse wurde von 2001 bis 2003 erfasst. Es blühte immer nur ein kleiner Anteil der Sprosse, im Mittel über alle Jahre und Feldstreifen 4,2 % der Sprosse pro Parzelle. Die Spanne reichte dabei von 0,3 % bis 17,3 % (Tab. 3.18). Die Anzahl der Parzellen, in denen blühende Sprosse auftraten, unterschied sich meist nicht wesentlich zwischen den Düngungsvarianten. Nur im trockenen Sommer 2003 blühten die Disteln im Klee-gras-Weizen in fast allen N0-Parzellen, während nur in wenigen N+-Parzellen blühende Sprosse auftraten. Die Unterschiede zwischen den Jahren waren nicht signifikant, selten und häufig geschlegelte Varianten unterschieden sich ebenfalls nicht.

Mit Korrelationskoeffizienten zwischen $r=0,630$ und $r=0,734$ war der Anteil blühender Distel-sprosse in allen Versuchsjahren hochsignifikant mit der Anzahl der Sprosse zum Zeitpunkt der Ernte korreliert ($\alpha \leq 0,001$, SPEARMAN). Aufgrund der kräftigeren Architektur der blühenden Sprosse bestand ebenfalls eine positive Beziehung zur Biomasse pro Spross (Abb. 3.16).

Tab. 3.18: Anzahl der Parzellen mit blühenden Distelsprossen und mittlerer Anteil blühender Sprosse in den Weizenstreifen und den Düngungsvarianten von 2001 bis 2003. a, b: Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten signifikant; x, y: Unterschiede zwischen den Kulturen signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (WILCOXON)

Jahr	Streifen	Kultur	Anz. Parzellen mit Blüten		Anteil blühender Sprosse (%)			
2001	A	Weizen 1	5	N0	2	2,1	N0	1,3
				N+	3		N+	2,7
	B	Weizen 2	10	N0	5	3,4	N0	2,6
				N+	5		N+	4,1
2002	A	Weizen 2	6	N0	4	0,7	N0	1,1
				N+	2		N+	0,3
	C	Weizen 1	4	N0	2	3,5	N0	0,7
				N+	2		N+	6,3
2003	B	Weizen 1	9	N0	8	12,4	N0	17,3 a x
				N+	1		N+	2,5 b
	C	Weizen 2	5	N0	3	3,0	N0	1,6 y
				N+	2		N+	4,4

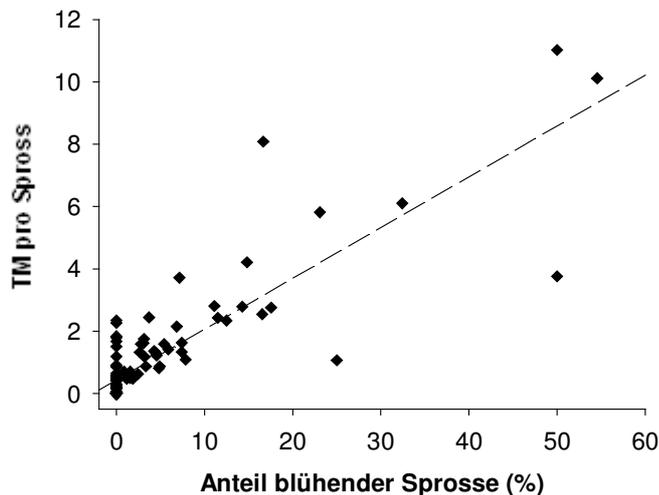


Abb. 3.16: Korrelation zwischen dem Anteil blühender Sprosse in den Versuchsparzellen (%) und der Trockenmasse pro Spross (g) von 2001 bis 2003 (n=108). $r=0,770$, signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (SPEARMAN)

Auch die für die regelmäßigen Längenmessungen im Jahr 2003 markierten Sprosse begannen bis zur Ernte teilweise zu blühen. Hier war der Anteil blühender Sprosse höher als der Anteil in der gesamten Parzelle: Kurz vor der Ernte blühten 76,7 % der 24 markierten Sprosse im Weizen 1. Im Weizen 2 war der Anteil blühender Sprosse mit 25,7 % signifikant geringer ($\alpha \leq 0,05$; WILCOXON). Die Wachstumsrate der zur Ernte blühenden Sprosse war von Beginn der Messungen an höher als die der nicht blühenden Sprosse (Tab. 3.19). Die Düngungsstufen unterschieden sich nicht.

Tab. 3.19: Im Rahmen der Längenmessung ermittelte Wachstumsraten (%) der bis zur Weizenernte blühenden und nicht blühenden *C.-arvense*-Sprosse. ** Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$, * Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,1$ (o. Blüte: n=24, m. Blüte: n=26; WILCOXON)

	Mittlere Wachstumsrate (%)								
	21.05.	28.05.	03.06.	10.06.	17.06.	24.06.	04.07.	11.07.	16.07.
Ohne Blüte	45,7	70,9	32,5	20,7	17,1	6,4	3,5	3,0	1,4
mit Blüte	68,9**	81,6*	38,8*	33,4*	18,0**	8,6	7,7**	2,8	1,5**

Obwohl die Blüte der Acker-Kratzdistel in der Regel nur an Sprossen einsetzte, die zumindest die Höhe des Weizenbestandes erreicht hatten, konnten in den Versuchsjahren nur vereinzelt schwach signifikante Zusammenhänge zwischen dem Anteil blühender Sprosse und den Weizenparametern Höhe, Dichte und Beschattung ermittelt werden (Tab. 3.20). Werden nur die N0-Parzellen betrachtet, zeigte sich im Jahr 2003 signifikant positive Beziehungen zwischen dem Anteil blühender Sprosse und der Ährendichte ($r=0,658$), der Wuchshöhe des Weizens ($r=0,691$) sowie der Beschattung ($r=0,734$) ($\alpha \leq 0,05$, n=9, SPEARMAN).

Tab. 3.20: Rangkorrelationen zwischen Ährendichte, Wuchshöhe und Beschattung sowie dem Anteil blühender *C.-arvense*-Sprosse in den Weizenkulturen von 2001 bis 2003. * signifikant für $\alpha \leq 0,1$ (n=18, SPEARMAN) (k. D.: keine Daten erfasst)

Jahr	Kultur	r (Ährendichte)	r (Wuchshöhe)	r (Beschattung)
2001	Weizen 1	0,038	0,043	-0,038
	Weizen 2	-0,332	-0,187	0,021
2002	Weizen 1	-0,390 *	-0,420 *	k. D.
	Weizen 2	-0,143	0,108	k. D.
2003	Weizen 1	0,032	-0,445 *	-0,195
	Weizen 2	-0,129	-0,208	-0,108

3.3.1.2 Anteil der Blühstadien

Haupttrieb und Seitentriebe der Distel blühten jeweils von oben nach unten ab. Einige Tage nachdem sich die ersten Blütenköpfchen geöffnet hatten, waren sowohl Blütenköpfchen im Knospenstadium (kBK) als auch aufgeblühte Blütenköpfchen (bBK) und abreifende Köpfchen (sBK) an einem Spross zu finden. Bei der Sprossernte wurden die Stadien in den Jahren 2002 und 2003 getrennt erfasst.

Der Anteil der Sprosse mit kBK, bBK und sBK verhielt sich in Bezug auf Sprossdichte und Trockenmasse pro Spross wie der Anteil der insgesamt blühenden Sprosse (Tab. 3.21). Nur im Jahr 2002 waren die Weizendichte und der Anteil der blühenden und fruchtenden Sprosse negativ miteinander korreliert. Mit dem Anteil der Sprosse mit Knospen bestand dagegen kein Zusammenhang.

Tab. 3.21: Rangkorrelation (r) zwischen dem Anteil der drei Blühstadien und der Sprossdichte, der Trockenmasse pro Spross sowie den drei Bestandesparametern des Weizens in den Versuchsjahren 2002 und 2003. * Korrelation signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (SPEARMAN) (k. D.: keine Daten erfasst)

Jahr	Stadium	Sprosse/m ²	TM/Spross	Ährendichte	Wuchshöhe	Beschattung
2002	kBK	0,630 *	0,690 *	-0,275	-0,125	k. D.
(n=10)	bBK	0,582 *	0,532 *	-0,479 *	-0,123	k. D.
	sBK	0,641 *	0,604 *	-0,307 *	-0,212	k. D.
2003	kBK	0,651 *	0,820 *	0,041	0,082	0,098
(n=14)	bBK	0,369 *	0,835 *	0,151	0,296	0,210
	sBK	0,649 *	0,811 *	0,023	0,182	0,182

3.3.1.3 Samenbildung

Die Anzahl der Samen pro Blütenköpfchen und pro Spross wurde in den Jahren 2001 und 2002 bestimmt. Während im Jahr 2001 nur im Stoppelweizen einzelne Blüten bis zur Ernte die Samenreife erreichten, reiften im Jahr 2002 in beiden Weizenstreifen einige Blütenköpfchen vollständig ab und konnten geerntet werden. Die TKM der geernteten Samen lag zwischen 0,54 und 1,43 g. In beiden Jahren war die Anzahl reifer Blütenköpfchen pro Spross in den ungedüngten Parzellen höher als in den gedüngten Varianten. Die Anzahl der Samen pro Blütenköpfchen und pro Spross verhielt sich dagegen nicht einheitlich (Tab. 3.22). Wegen der sehr geringen Anzahl der Datensätze erfolgte keine statistische Auswertung.

Tab. 3.22: Mittlere Anzahl reifer Blütenköpfchen (BK) und Samen pro BK und pro blühendem Spross in den Feldstreifen in den Jahren 2001 und 2002. n = Anzahl Parzellen mit reifen BK

Jahr	Kultur	N	n	reife BK/Spross	Samen/BK	Samen/Spross
2001	Weizen 2	N0	2	1,6	51,8	81,9
		N+	4	1,1	43,6	142,0
2002	Weizen 1	N0	2	4,0	32,5	195,5
		N+	1	1,9	12,0	22,7
	Weizen 2	N0	3	1,6	33,0	54,1
		N+	2	0,6	40,9	23,4

Im Jahr 2002 wurden die geernteten Samen im Gewächshaus nach Parzellen getrennt ausgesät. Die Keimraten variierten sehr stark (11 bis 90 %). Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Feldstreifen oder den Düngungsvarianten (Tab. 3.23).

Tab. 3.23: Anzahl der im Jahr 2002 geernteten Samen und der aufgelaufenen Keimlinge. Keimraten (%) als Mittelwerte über die beernteten Parzellen und Spannweite der Keimraten. Unterschiede zwischen den Kulturen oder Düngungsstufen nicht signifikant (WILCOXON)

	Gesamt	Kultur		Düngung	
		Weizen 1	Weizen 2	N0	N+
Samen	1480	595	885	1090	390
Keimlinge	591	87	504	455	136
Keimrate in %	39,9 (11-90)	14,6 (11-71)	58,9 (15-90)	41,7 (15-63)	34,9 (11-90)

3.3.1.4 Samenbank

Der Samenvorrat im Boden wurde von 1988 bis 1999 untersucht. In diesem Zeitraum war kein eindeutiger Trend zu erkennen: In den ersten Versuchsjahren liefen in den Bodenproben zur Ermittlung des Samenvorrats in beiden Varianten sehr wenige Keimlinge auf. In der Variante N0 stieg der Samenvorrat ab 1991 an und erreichte 1993 sein Maximum; in diesem Jahr keimten auch in der Variante N+ relativ viele Samen. In den folgenden Jahren liefen nur in jeweils einer der Varianten Keimlinge auf, und im Jahr 1998 erreichte der Samenvorrat in beiden Varianten wieder das ursprüngliche niedrige Niveau. Für die Abbildung 3.17 wurden die in den Proben gekeimten Samen über alle Feldstreifen summiert und auf Keimlinge pro m² umgerechnet. Der Jahreswert jeder Variante ergibt sich so aus 90 Bodenproben und weist keine Variation mehr auf.

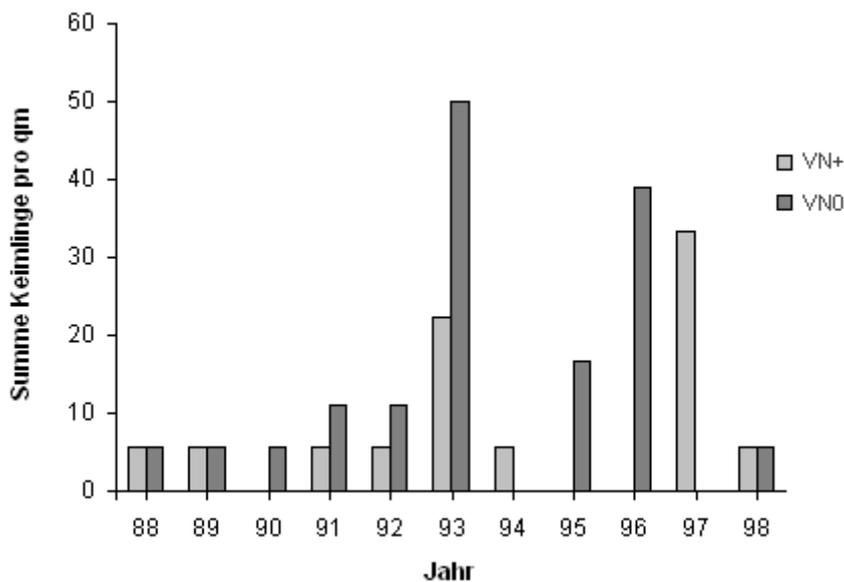


Abb. 3.17: Samenbank von *C. arvense* im Boden (gekeimte Samen/m², 0-25 cm tief) in den Varianten VN+ und VN0 von 1988 bis 1999

3.3.1.5 Auftreten von Keimlingen im Feld

Im Langzeitversuch wurden Keimlinge, die in den Versuchspartzen auftraten, im Rahmen der Sprosszählungen mit erfasst. Die Zählung im Frühjahr erfolgte im Jahr 2001 am 31. Mai und in den Jahren 2002 und 2003 jeweils in der ersten Maiwoche. Nur im Jahr 2003 wurden bei dieser Kontrolle Keimlinge gefunden: In der noch sehr jungen Klee gras-Einsaat wuchsen insgesamt 5 Keimlinge im Bereich verschiedener Versuchspartzen. Drei dieser Partzen wurden gedüngt, zwei nicht gedüngt und alle wurden häufig geschlegelt. Spätestens nach dem zweiten Schlegeldurchgang waren alle Jungpflanzen verschwunden. Ein weiterer Keimling wurde während der Distelernte im Juli 2003 in einer Partze des Klee gras-Weizens ent-

deckt. Diese Jungpflanze wurde durch die Stoppelbearbeitung nach der Weizenernte zerstört.

Im mittleren Bereich des Feldstreifens B waren im Jahr 2001 viele Distelsprosse bis zur Samenreife gelangt. In diesem Bereich und im angrenzenden Feldstreifen wurde Anfang Juni 2002 flächendeckend nach Keimlingen gesucht (Abb. 3.18). Weder im Klee gras des Streifens B noch im Stoppelweizen auf Feldstreifen A wurden zu diesem Zeitpunkt Keimlinge gefunden.

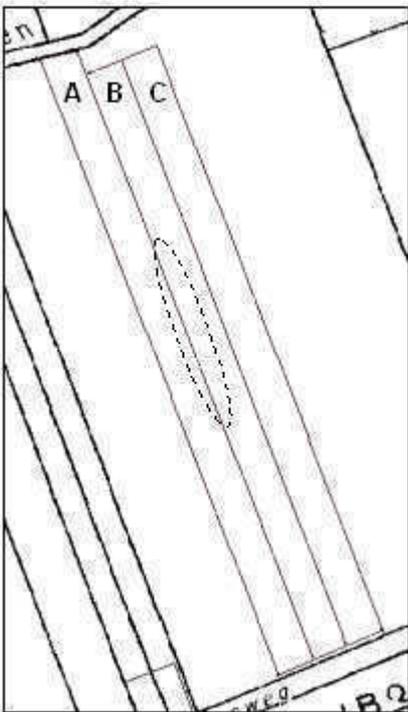


Abb. 3.18: Überblick über den Langzeitversuch. Gestrichelte Linie: Im Juni 2002 nach Keimlingen abgesuchter Bereich

3.3.2 Keimung und Jugendentwicklung von *C. arvensis* in den Modellversuchen

3.3.2.1 Modellversuch 2000

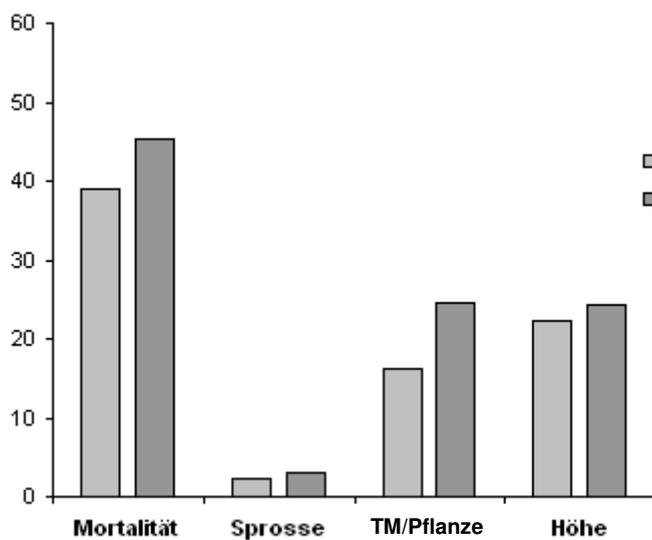
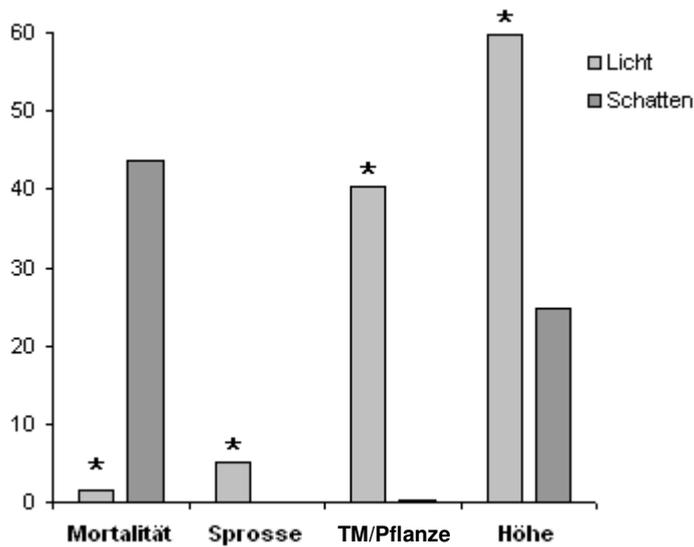
Im Jahr 2000 setzte die Untersuchung mit der Jugendentwicklung der Acker-Kratzdistel ein. Der Versuch bot die Möglichkeit, die Faktoren Beschattung, Stickstoffdüngung und Verbreitungseinheit getrennt voneinander und ohne Konkurrenz durch Kulturpflanzen zu betrachten.

Vegetative Entwicklung

Zum Zeitpunkt der Ernte, 90 Tage nach dem Auspflanzen der jungen Disteln, unterschieden sich die aus Wurzeln und aus Samen gezogenen Pflanzen in Bezug auf die untersuchten Wachstumsparameter nicht. Auch zwischen den Düngungsvarianten zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Die Beschattung hatte dagegen deutliche Auswirkungen auf das Wachstum: Unter voller Lichteinstrahlung starben nur wenige der Jungpflanzen ab, während im Schatten mehr als 40 % der Pflanzen nicht überlebten. Hier hielten sich auch die wenigen

neu gebildeten Wurzelsprosse nicht bis zur Ernte. Die Gesamt-Trockenmasse pro Pflanze war in den beschatteten Varianten geringer als in den unbeschatteten (Abb. 3.19). Das Spross-Wurzel-Verhältnis betrug in den unbeschatteten Parzellen 2,6 und in den beschatteten 5,0.

90 Tage nach Versuchsbeginn waren die Sprosse der unbeschatteten Pflanzen signifikant höher als die beschatteten Sprosse. Im zeitlichen Verlauf wuchsen die Disteln in den beschatteten Parzellen allerdings zunächst schneller in die Höhe als in den unbeschatteten Varianten und waren nach 30 und 45 Tagen signifikant höher als die im Licht wachsenden Sprosse. Nach 60 Tagen stagnierte das Wachstum in den abgedeckten Parzellen und der Unterschied war nicht mehr signifikant. Ab dem 75. Tag waren die Sprosse in den unbeschatteten Parzellen schließlich höher als in den beschatteten Betonrahmen (Abb. 3.20).



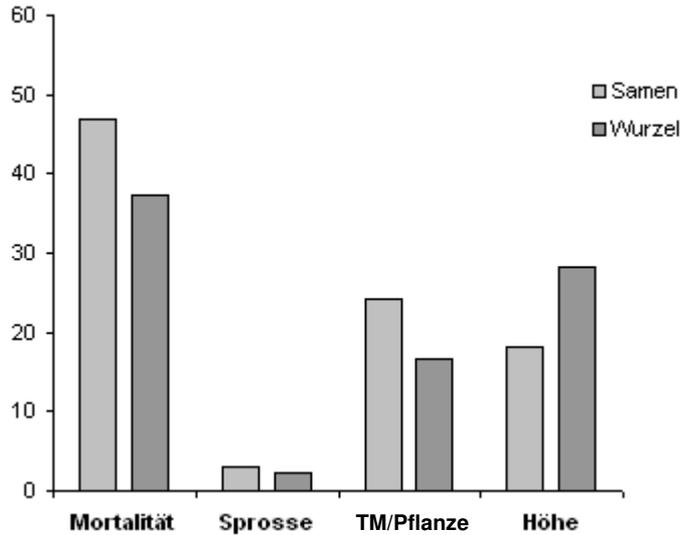


Abb. 3.19: Einfluss von Beschattung (oben), Stickstoffdüngung (Mitte) und Verbreitungseinheit (unten) auf die Mittelwerte von Mortalität (%), Anzahl der Wurzelsprosse, Trockenmasse pro Pflanze (g) und Sprosshöhe (cm) von *C. arvensis* im Modellversuch 2000. * Unterschiede zwischen den Faktorstufen signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (TUKEY, Sprosse: WILCOXON)

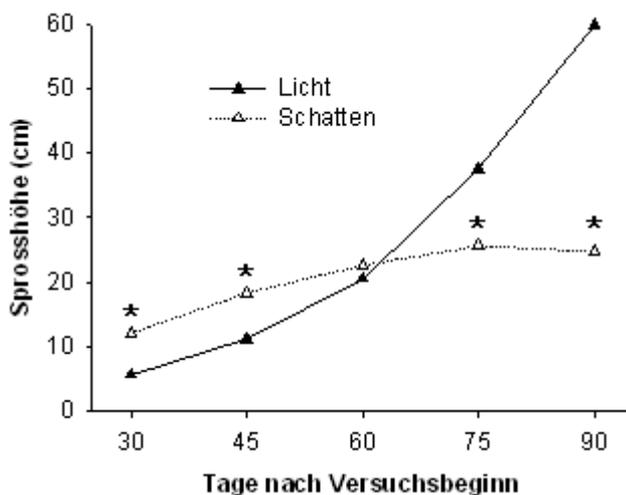


Abb. 3.20: Entwicklung der Sprosshöhe von *C. arvensis* in den unbeschatteten und beschatteten Varianten im Modellversuch 2000. * Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (WILCOXON)

Generative Entwicklung

Nach 90 Tagen blühten einige der Sprosse in den unbeschatteten Varianten, während *C. arvensis* in den beschatteten Varianten keine Blüten gebildet hatte.

3.3.2.2 Modellversuch 2002

Schwerpunkt der Untersuchung im Erntejahr 2002 war die Entwicklung von *C. arvensis* aus im Herbst 2001 direkt ausgebrachten Samen und Wurzelstücken in unterschiedlich dichten Weizeneinsaat. Nur in drei der zwölf Parzellen, in denen Wurzelstücke vergraben worden waren, hatten sich bis zum späten Frühjahr 2002 einzelne Wurzelsprosse gebildet. Die Wurzel-Varianten wurden daher nicht in die Auswertung einbezogen.

3.3.2.2.1 Entwicklung der Weizeneinsaat

Der Weizen lief nach der Neuausaat ab Anfang Februar 2002 auf. Das Wachstum verlief zögerlich, und in allen Parzellen zeigten sich Fehlstellen in den Saatzeilen. Mitte Mai setzte Befall mit Mehltau ein. In der ersten Junihälfte war der Weizen in allen Parzellen stark infiziert, sodass bis Ende Juni ein großer Teil der Blätter abgestorben war. Die Ähren waren bis Ende Juli vollständig abgereift.

Der Weizen bestockte sich schlecht und bildete nur wenige Ähren. Die Weizenvarianten unterschieden sich nicht signifikant: Die mittlere Ährendichte lag in der Variante mit geringer Aussaatstärke bei 211 Ähren pro m². In der Variante mit hoher Aussaatstärke wurden nur 291 Ähren pro m² gezählt (Abb. 3.21).

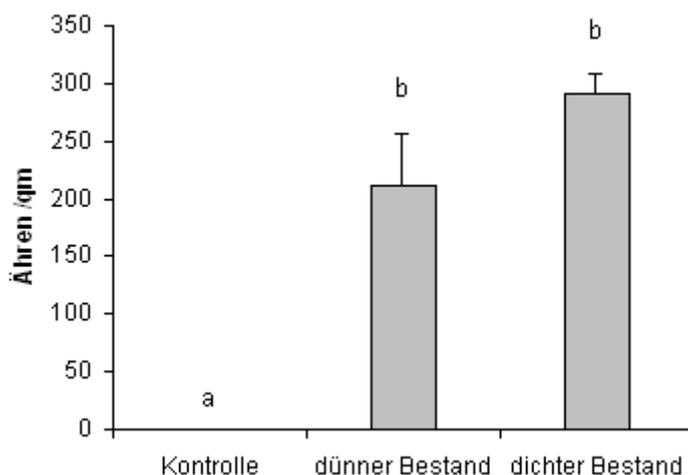


Abb. 3.21: Anzahl der Weizenähren pro m² in den drei Versuchsvarianten. a, b: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=4$, KRUSKAL-WALLIS)

3.3.2.2.2 Etablierung von *C. arvensis* aus Samen

Keimung und Mortalität

Abbildung 3.22 zeigt den zeitlichen Verlauf der Keimung im Freiland und im Gewächshaus-Keimtest. Die Keimraten beziehen sich auf die Anzahl der in der jeweiligen Variante insgesamt gekeimten Samen. Obwohl die Distelsamen bereits im Oktober 2001 ausgebracht wurden, zeigten sich die ersten Keimlinge im Freiland nicht vor Mai 2002. Im Gewächshaus liefen von Oktober 2001 bis Januar 2002 nur fünf Keimlinge auf, und die Keimung setzte erst Mitte März 2002 wieder ein. Der Höhepunkt der Keimung lag sowohl im Gewächshaus als auch im Modellversuch im Mai. Während im Gewächshaus und in der unbeschatteten Kontrolle ab Juni nur noch vereinzelt Keimlinge aufliefen, folgte in den beiden beschatteten Varianten nach der Weizenernte eine weitere Keimwelle.

Die Keimraten im Freiland waren im Vergleich zum Keimtest im Gewächshaus reduziert. Sie lagen zwischen 8,8 und 11,5 %, während im Gewächshaus 58 % der ausgebrachten Samen keimten.

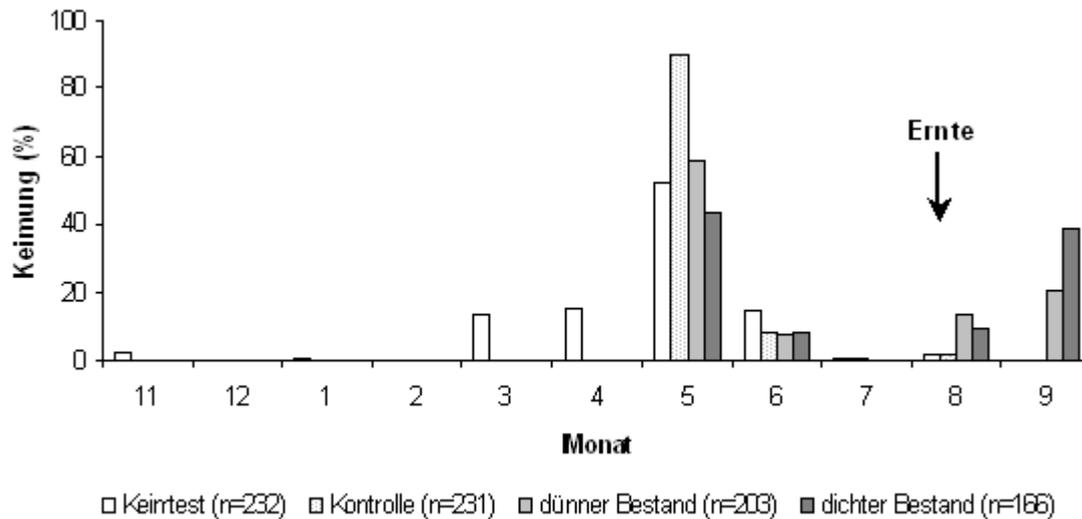


Abb. 3.22: Prozentuale Häufigkeit gekeimter Samen pro Monat im Gewächshaus-Keimtest und in den drei Versuchsvarianten bezogen auf die Summe der in der jeweiligen Variante gekeimten Samen von November 2001 bis September 2002

Im Zeitraum bis zur Weizenernte Anfang August war die Anzahl der Keimlinge in der unbeschatteten Kontrolle signifikant höher als in der dichten Weizeneinsaat. Nach der Ernte des Weizens keimten in den ehemals beschatteten Parzellen weitere Samen, während in der Kontrolle signifikant weniger Keimlinge aufließen (Abb. 3.23): In der Kontrollvariante liefen bis zur Weizenernte 92,2 % der insgesamt gefundenen Keimlinge auf. In der Variante mit geringer Weizen-Aussaatstärke keimten während des Zeitraums mit Lichtkonkurrenz 54,7 % der Samen, im dichten Weizenbestand liefen nur 36,8 % der insgesamt gekeimten Disteln vor der Ernte auf. Über den gesamten Versuchszeitraum unterschieden sich die Keimlingszahlen in den drei Varianten nicht signifikant (TUKEY).

Distelkeimlinge und die später gebildeten Wurzelsprosse traten in der Regel gehäuft im Bereich von Lücken zwischen den Weizenpflanzen auf (Abb. 3.24).

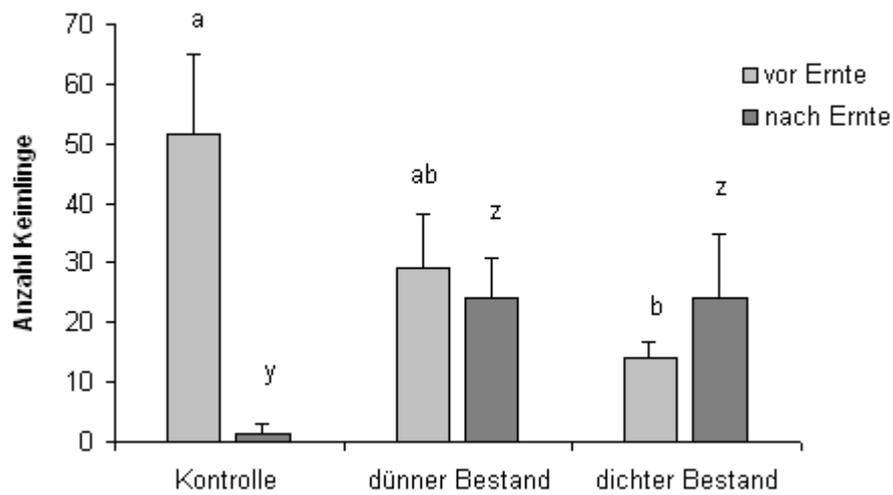


Abb. 3.23: Anzahl aufgelaufener Keimlinge bis zur Ernte (hellgrau) und nach der Ernte (dunkelgrau) in den drei Versuchsvarianten. a, b bzw. y, z: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=4$, TUKEY)

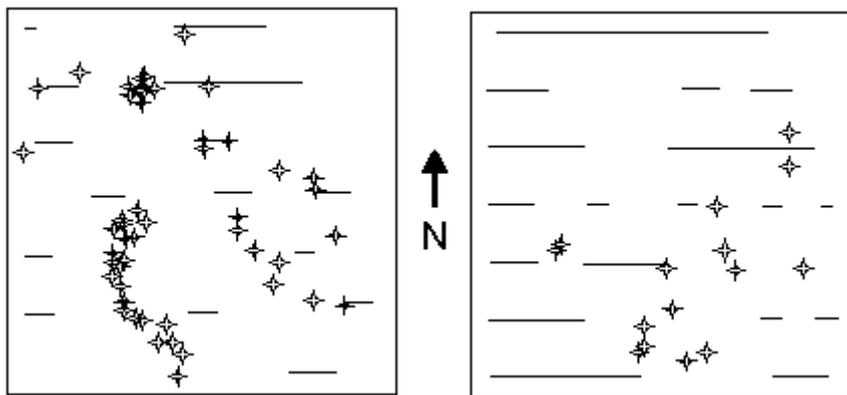


Abb. 3.24: Verteilung von Keimlingen (Sterne) und Weizenreihen (Linien) in zwei typischen Versuchspartellen

Die Mortalitätsrate der Keimlinge zwischen Mai und August war im dichten Weizenbestand höher als die in der Kontrolle (Abb. 3.25).

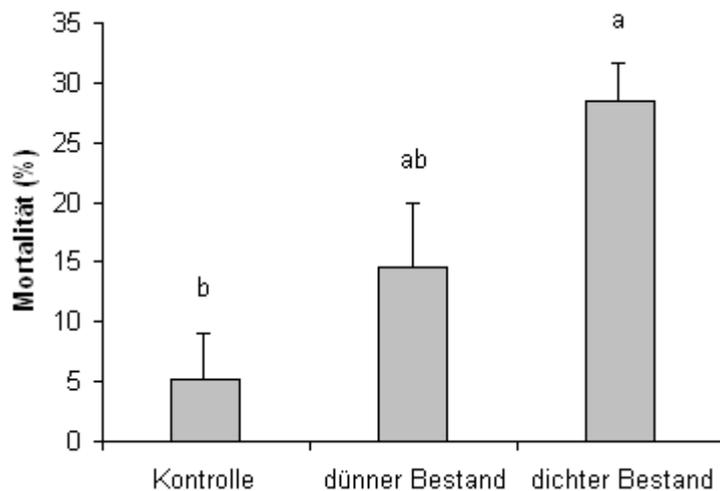


Abb. 3.25: Mortalität (%) der Distelkeimlinge bis zur Ernte. a, b: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (n=4, TUKEY)

Sprosshöhe und Biomasse

Die Distelsprosse waren zum Erntetermin in der unbeschatteten Kontrolle signifikant höher als in den Weizenvarianten. Die Spanne in der Kontrollvariante war sehr groß und reichte von 5 bis 105 cm (Mittel der Höhenklassen). Ein großer Teil der Sprosse blieb allerdings niedrig, sodass der Median der Sprosshöhe in diesen Parzellen bei nur 12,3 cm lag. In den beschatteten Varianten zeigten einzelne Sprosse beginnendes Längenwachstum. Die überwiegende Zahl der Keimlinge befand sich aber auch im Juli noch in der Klasse von 0-10 cm, sodass die Mediane der Klassenmittel bei nur 5,25 cm (dünner Bestand) bzw. 5 cm (dichter Bestand) lagen (Abb. 3.26). Höhe und mittlere Trockenmasse der Sprosse waren positiv miteinander korreliert ($r=0,703$, $\alpha \leq 0,001$, SPEARMAN).

Die Sprosstrockenmasse pro Pflanze war in der Kontrollvariante höher als in den Weizenvarianten. Das Gleiche galt für die Trockenmasse der Wurzeln (Abb. 3.27). Das Verhältnis von Spross- zu Wurzeltrockenmasse war im dünnen Weizenbestand signifikant höher als in den beiden anderen Varianten ($\alpha \leq 0,05$, KRUSKAL-WALLIS).

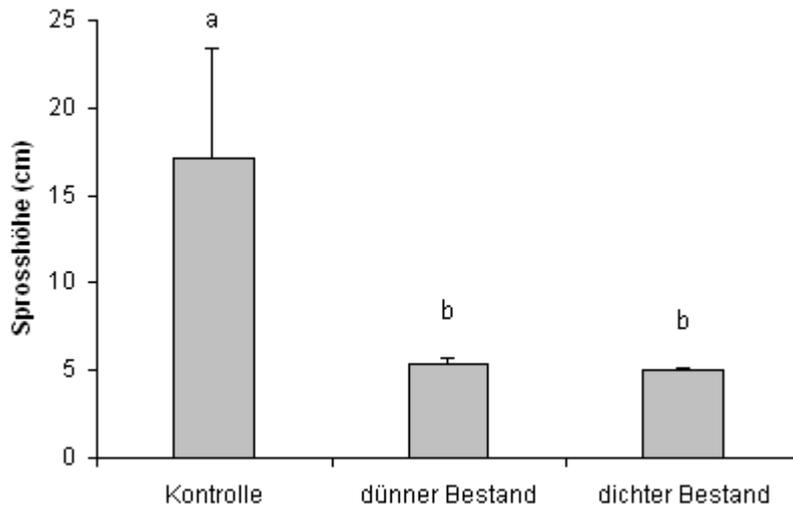


Abb. 3.26: Sprosshöhe in den drei Versuchsvarianten. a, b: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=4$, KRUSKAL-WALLIS)

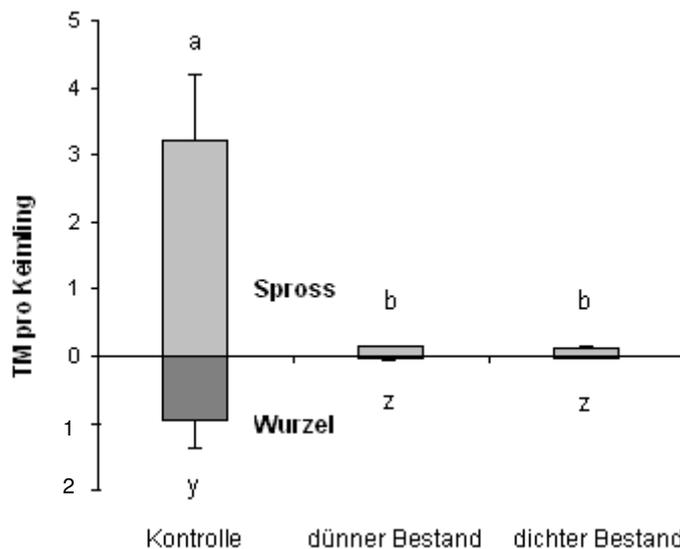


Abb. 3.27: Sprosstrockenmasse (hellgrau) und Wurzeltrockenmasse (dunkelgrau) (g) pro Keimling in den drei Versuchsvarianten. a, b bzw. y, z: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=4$, KRUSKAL-WALLIS)

Vegetative Ausbreitung

Die Bildung von Wurzelsprossen begann in der Kontrollvariante bereits in der ersten Juliwoche, etwa zwei Wochen bevor in den beiden Beschattungsvarianten einzelne Sprosse an der Oberfläche erschienen. Zur Ernte war die Anzahl oberirdisch sichtbarer Sprosse in der unbeschatteten Kontrolle signifikant höher als in den Weizenparzellen. Das gleiche galt für die Anzahl der Sprosse pro Keimling. Auch die Anzahl der noch unterirdischen Sprosse und Wurzelknospen pro Keimling war in der Kontrollvariante erhöht (Abb. 3.28).

Die Anzahl der noch nicht sichtbaren Sprosse und Wurzelknospen im Verhältnis zur Wurzel-trockenmasse war dagegen in der unbeschatteten Kontrolle am niedrigsten und in der Variante mit niedriger Weizen-Aussaatstärke am höchsten (Tab 3.24).

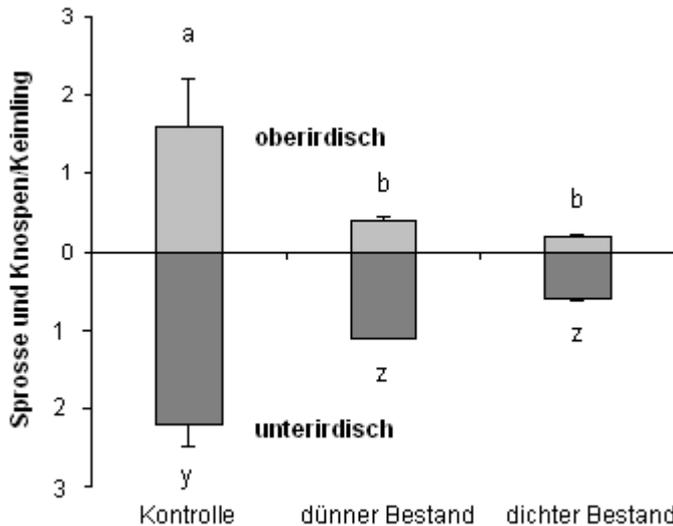


Abb. 3.28: Anzahl oberirdischer Sprosse (hellgrau) sowie unterirdischer Sprosse und Wurzelknospen pro Keimling (dunkelgrau) in den drei Versuchsvarianten. a, b bzw. y, z: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=4$, TUKEY)

Tab. 3.24: Anzahl der unterirdischen Sprosse und Wurzelknospen pro g Wurzeltrockenmasse in den Versuchsvarianten. a, b, c: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0.05$ ($n=4$, KRUSKAL-WALLIS)

Kontrolle	dünner Bestand	dichter Bestand
1,1 a	8,4 c	4,5 b

Generative Entwicklung

Der Übergang zur generativen Phase erfolgte nur in der unbeschatteten Kontrolle. In zwei der vier Parzellen bildete ein Teil der Distelsprosse Knospen (9,6 bzw. 1,6 % der Sprosse in der jeweiligen Parzelle). In einer dieser Parzellen hatte bis zur Ernte die Blüte eingesetzt.

Überwinterung

Die im Spätsommer 2002 aufgelaufenen Keimlinge entwickelten im Lauf des Septembers zum Teil kräftige Rosetten. Tabelle 3.25 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Keimlingszahlen nach der Ernte und die Anzahl der Sprosse im Frühjahr 2003.

Bis zum November starb ein Teil der Jungpflanzen ab, an den meisten überlebenden Keimlingen zeigte sich Schneckenfraß. Im Dezember setzte plötzlich eine Periode mit starkem Kahlfröst ein, in der die oberirdischen Pflanzenteile der Disteln vollständig abstarben. Ende März 2003 setzte das Wachstum in den vier weiterhin ungestörten Parzellen wieder ein und bis Mitte Mai hatten sich in jeder der Parzellen Wurzelsprosse gebildet.

Tab. 3.25: Keimlinge im Herbst 2002 und Anzahl der Wurzelsprosse im Frühjahr 2003 in ausgewählten Parzellen. Wh: dichter Bestand, Wn: dünner Bestand, W0: Kontrolle (k. D.: keine Daten erfasst)

Parzelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Variante	Wh	Wn	Wn	Wh	W0	Wn	W0	W0	Wn	Wh	Wh	W0
Keimlinge 30.8.2002	42	18	15	6	0	6	0	0	3	10	6	0
Keimlinge 19.9.2002	42	23	15	8	0	8	0	0	5	15	7	1
Keimlinge 7.11.2002	34	21	11	7	0	7	0	0	5	5	5	0
Sprosse 15.5.2003	37	15	8	6	k. D.							

3.3.2.3 Modellversuch 2003

Im letzten Versuchsjahr wurde die Etablierung von *C. arvense* aus im Frühjahr ausgesäten Samen untersucht.

Keimung und Mortalität

Die Keimrate im Gewächshaus lag bei insgesamt 63,5 %. Die Samen der beiden verschiedenen Herkünfte unterschieden sich deutlich (zugekauftes Saatgut: 45,5 %, eigene Ernte: 81,5 %). Wie im Vorjahr war die Keimrate im Haus höher als im Freiland (Tab. 3.26).

Im Freiland erfolgte die Keimung hauptsächlich Mitte Juni, vier bis fünf Wochen nach der Aussaat. Es bestand wie im Vorjahr ein Unterschied in den Keimraten vor und nach dem Entfernen der Beschattung: Bis zur Ernte keimten in der voll beschatteten Kontrollvariante signifikant weniger Samen als in den drei Bewirtschaftungsvarianten. Die Keimrate in der unbeschatteten Kontrolle war nicht sehr hoch und lag zwischen denen der voll beschatteten und der weniger intensiv beschatteten Varianten. Nachdem die Abdeckung entfernt worden war, keimten in der ehemals voll beschatteten Kontrolle signifikant mehr Samen als in den Bewirtschaftungsvarianten. In der unbeschatteten Kontrolle liefen weniger Keimlinge auf. Bezogen auf den gesamten Versuchszeitraum unterschieden sich die Varianten nicht (Tab. 3.26).

Tab. 3.26: Mittlere Keimrate (%) der *C.-arvense*-Samen über unterschiedliche Zeiträume in den Versuchsvarianten 2003. a, b, c: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (n=4, TUKEY)

	Keimrate bis Ernte	Keimrate nach Ernte	Keimrate gesamt
unbeschattet	13,0 ab	0,5 c	13,5 a
"ökologisch"	24,0 a	2,5 b	26,4 a
"integriert"	28,8 a	1,3 bc	30,1 a
"intensiv"	30,2 a	2,1 bc	32,3 a
voll beschattet	3,9 b	10,2 a	14,2 a

Bis zum Vereinzeln am 30. Juni lag die Mortalität der Keimlinge in der unbeschatteten Kontrolle und den drei Bewirtschaftungsvarianten im Mittel bei 7,2 %. In der stark beschatteten Variante waren bis zu diesem Zeitpunkt bereits 66 % der Keimlinge abgestorben, signifikant mehr als in den übrigen Varianten ($\alpha \leq 0,05$, KRUSKAL-WALLIS). Bis zur Ernte stieg die Mortalität in den voll beschatteten Parzellen schließlich auf 87,1 % an. Bedingt durch das Vereinzeln liegen zu den anderen Varianten keine vergleichbaren Daten vor.

Vegetative Ausbreitung

Die Anzahl neu gebildeter Wurzelsprosse war in der unbeschatteten Kontrolle höher als in den drei Bewirtschaftungsvarianten und in der voll beschatteten Kontrolle signifikant niedriger als in den übrigen vier Varianten (Abb. 3.29).

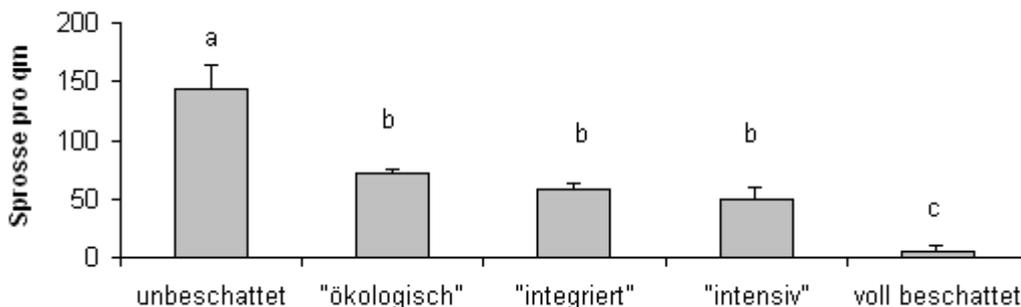


Abb.3.29: Mittlere Anzahl der *C.-arvensis*-Sprosse pro Parzelle zur Ernte in den Versuchsvarianten. a, b, c: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ ($n=4$, KRUSKAL-WALLIS)

Die Anzahl der Wurzelsprosse pro Keimling lag in der unbeschatteten Kontrolle bei 1,3. In den übrigen Varianten wurden mit 0 bis 0,8 pro Keimling signifikant weniger Sprosse gebildet ($\alpha \leq 0,05$, KRUSKAL-WALLIS).

Sprosslänge und Biomasse

In der unbeschatteten Kontrolle erreichten die Sprosse eine mittlere Länge von 24,9 cm und waren damit signifikant höher als die Sprosse in den übrigen Parzellen ($\alpha \leq 0,05$, KRUSKAL-WALLIS). In der voll beschatteten Kontrolle wurden die Disteln im Mittel nur 2,6 cm lang. Der Unterschied zu den Bewirtschaftungsvarianten (11,7 bis 17,6 cm) war allerdings nicht signifikant.

Sowohl die oberirdische als auch die Wurzelbiomasse pro geerntetem Spross war in der unbeschatteten Variante signifikant höher als in den übrigen Varianten und in der voll beschatteten Kontrolle am niedrigsten. Das Spross-Wurzel-Verhältnis nahm mit zunehmender Beschattung zu (Tab. 3.27).

Tab. 3.27: Mittlere oberirdische und unterirdische Trockenmasse pro Spross (g) und Spross-Wurzel-Verhältnis in den Versuchsvarianten 2003. a, b, c: Unterschiede signifikant für $\alpha \leq 0,05$ (n=4, KRUSKAL-WALLIS)

	TM/Spross oberirdisch	TM/Spross unterirdisch	Verhältnis Spross:Wurzel
unbeschattet	1,2 a	0,4 a	2,8 a
"ökologisch"	0,1 b	0,02 b	5,0 b
"integriert"	0,1 b	0,02 b	5,0 b
"intensiv"	0,1 b	0,01 b	6,9 b
voll beschattet	0,01 c	0,001 c	9,3 c

Generative Entwicklung

Bis zur Ernte erreichten 30 Sprosse in der nicht beschatteten Kontrolle das Knospenstadium, einige der Sprosse standen zu diesem Zeitpunkt kurz vor der Blüte. Sie waren 29 bis 81 cm lang. In den übrigen Varianten wurden keine Knospen gebildet.

3.3.3 Blüte und Keimlinge im Anbausystemversuch

3.3.3.1 Blüte im Winterraps im Jahr 2001

Während der regelmäßigen Höhenmessungen im Rapsbestand wurde auch das Entwicklungsstadium der *C.-arvensis*-Sprosse vermerkt. Am letzten Messtermin, kurz vor der Ernte, befanden sich vier der überlebenden 46 Sprosse im Knospenstadium. Alle vier Sprosse waren mindestens so hoch wie die umliegenden abreifenden Rapspflanzen. Ein weiterer Spross erreichte die Höhe des Kulturbestandes, hatte aber noch keine Knospen entwickelt. Die Disteln im benachbarten Mittelstreifen des Schrages blühten zu diesem Zeitpunkt schon.

3.3.3.2 Keimlinge im Haferbestand im Jahr 2002

Ab Mitte Mai 2002 bis zur Ernte des Hafers wurde die Entwicklung von Distelkeimlingen in drei Bereichen der Fläche M7 dokumentiert (Abb. 3.30). In der übrigen Fläche liefen keine Keimlinge auf. Während in den Bereichen B und C im Frühjahr 2002 Distelnester kartiert wurden, trat *C. arvensis* im Bereich A vegetativ nicht in Erscheinung. Im Bereich C war im Jahr 2001 die fortlaufende Höhenmessung der Distelsprosse erfolgt.

3.3.3.2.1 Kulturbestand

Im Bereich der Keimlingsvorkommen B und C war der Hafer dicht und gleichmäßig hoch. Die Bestandesdichte lag bei etwa 320 Rispen pro m², und die Halme erreichten eine mittlere Höhe von 100 cm. Die Pflanzen bildeten viel Blattmasse und sorgten für eine gute Beschattung. Im Bereich A war der Kulturpflanzenbestand lichter und ungleichmäßig hoch. Die Dichte lag bei etwa 240 Rispen pro m², die Höhe schwankte zwischen 60 und 95 cm.

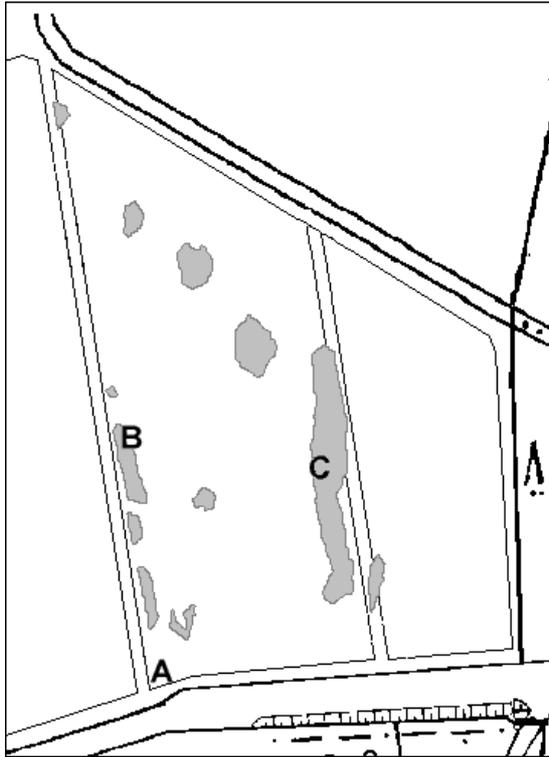


Abb. 3.30: Keimlingsvorkommen von *C. arvensis* in der Fläche M7 des Anbausystemversuchs im Jahr 2002. A, B, C: Bereiche mit Keimlingen, grau: Distelnester, Kartierung Frühjahr 2002

3.3.3.2.2 Entwicklung der Keimlinge

Zu Beginn der Dokumentation am 17. Mai 2002 befanden sich alle Pflanzen im Keimblattstadium. Im Bereich B wurden 27 Distelkeimlinge markiert, im Bereich C 30. Im Bereich A wurden 51 Keimlinge in die Beobachtung aufgenommen.

Abbildung 3.31 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Keimlinge während des Erfassungszeitraums. Die Jungpflanzen in den dichteren Bereichen des Bestandes entwickelten sich langsam. Bis zum zweiten Erfassungstermin am 27. Mai hatten nur 12 der Keimlinge Laubblätter gebildet, im Mittel 0,5 Blätter pro Pflanze. Innerhalb der ersten zehn Tage starben einige Pflanzen ab. Diese Entwicklung setzte sich fort, bis am 9. Juli in den Bereichen B und C kein Keimling mehr vorhanden war. Im lichterem Bestand im Bereich A entwickelten sich die Pflanzen zügig. Nach 10 Tagen befanden sich nur noch 3 Pflanzen im Keimblattstadium, und die Jungpflanzen hatten im Schnitt 2,1 Laubblätter gebildet. Die Mortalität war in diesem Bereich geringer als im dichteren Bestand: Etwa 50 % der Keimlinge überlebten bis zur Ernte des Hafers.

In allen drei Bereichen waren an vielen Keimlingen Schleimspuren von Schnecken zu finden, ebenso Fraßspuren, die wahrscheinlich ebenfalls von Schnecken stammten. Während der Fraß in den Bereichen B und C häufig zum Absterben der Keimlinge führte, wuchsen die Jungpflanzen in Bereich A in der Regel weiter, selbst wenn einzelne Blätter vollständig zerstört wurden.

Im Bereich A setzte ab dem 10. Juni das Längenwachstum der Sprosse ein, während in den Bereichen B und C keine der Disteln dieses Stadium erreichte. Bis zur Ernte befanden sich in A 66,4 % der überlebenden Keimlinge im Streckungswachstum und waren im Mittel 5,1 cm lang. Der längste Spross erreichte eine Länge von 15 cm. Die im August ausgegrabenen Keimlinge hatten alle leicht verdickte Wurzeln und einzelne kurze Wurzelsprosse gebildet. Keiner der neu gebildeten Sprosse reichte bis an die Bodenoberfläche. Bei einer Kontrolle im nächsten Frühjahr waren im Bereich A keine Distelsprosse zu finden.

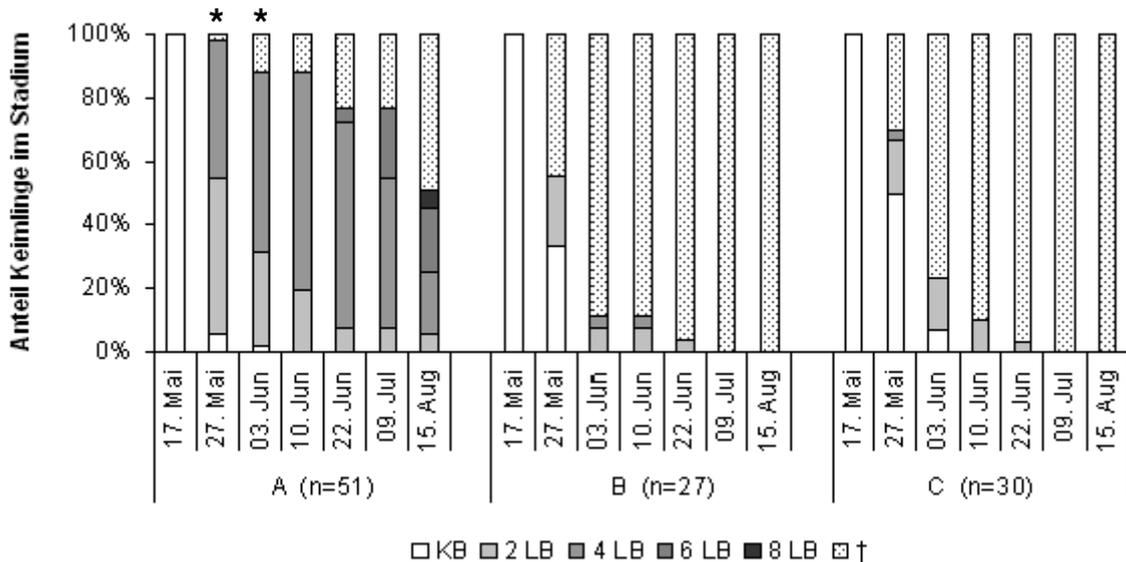


Abb. 3.31: Entwicklungsstadium der Distelkeimlinge in den drei Feldbereichen an den Aufnahmetermi-
 nen. Angaben in % der jeweiligen Ausgangszahl. †: abgestorben, KB: Keimblattstadium, LB:
 Laubblätter. * im Bereich A Anteil der abgestorben Keimlinge signifikant niedriger und Anteil der Keim-
 linge mit 2 Laubblättern signifikant höher als in den beiden anderen Bereichen für $\alpha \leq 0,05$ (Chi²; übrige
 Termine nicht ausgewertet)

4. Diskussion

In der Diskussion wird zunächst auf die Besonderheiten der Versuchsanlagen und die Eigenschaften der Kulturpflanzenbestände eingegangen. Anschließend wird die Wachstumsstrategie der Acker-Kratzdistel beschrieben und acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen bewertet.

4.1 Besonderheiten der Versuchsanlagen

4.1.1 Langzeitversuch Weendelsbreite

Die Untersuchung der Populationsentwicklung mehrjähriger Wurzelunkräuter im Feldversuch birgt verschiedene Schwierigkeiten:

(1) Versuchszeitraum: Veränderungen der Population erfolgen häufig nur langsam, sodass zur Erfassung dieser Veränderungen ein langer Untersuchungszeitraum notwendig ist. Im Langzeitversuch Weendelsbreite wurde *C. arvensis* über 16 Jahre untersucht. Diese Zeitspanne erwies sich als ausreichend, um Aussagen über längerfristige Entwicklungen der Population treffen zu können.

(2) Größe und Lage der Versuchspartellen: Die Acker-Kratzdistel zeigt klonales Wachstum und besitzt daher kleinräumig eine wesentlich geringere genetische Variabilität als annuelle Samenunkräuter. Untersuchungen auf den INTEX-Flächen in Marienstein ergaben, dass größere Nester aus mehreren nebeneinander wachsenden Klonen von jeweils etwa 5 m Durchmesser bestanden (HETTWER *et al.* 2002), was in etwa der Partellengröße des Langzeitversuchs Weendelsbreite entsprach. Stichprobenartige Untersuchungen zeigten, dass viele Partellen des Langzeitversuchs tatsächlich nur von jeweils ein oder zwei Klonen besiedelt waren (HETTWER unveröffentlicht). Um eine höhere genetische Variabilität zu erfassen, müssten die Versuchspartellen deutlich größer angelegt werden als dies der Fall war.

Die Lage der Versuchspartellen auf der Weendelsbreite wurde bereits 1982 festgelegt. Die sich ausbreitenden Distelnester lagen häufig nicht im Mittelpunkt der Partellen, sodass teilweise Nestzentren und teilweise Nestränder in die Untersuchung gingen. Es gibt Hinweise darauf, dass sich das Wachstum von *C. arvensis* am Rand und im Zentrum von Nestern unterscheidet, zum Beispiel in Bezug auf die Sprosslänge (AMOR & HARRIS 1975) und die Blühfähigkeit (BOSTOCK & BENTON 1979).

(3) „Black Box“ Wurzelsystem: Das für das Wachstum und die Überdauerung der Distel wichtige Wurzelsystem ist die größte Unbekannte im Wissensstand über *C. arvensis* (DONALD 1990). Unter kontrollierten Bedingungen in Gefäßversuchen kann nur die früheste Phase der Etablierung untersucht werden. Schon in wenigen Monaten ist es der Distel möglich, ihr Wurzelsystem mehrere Meter zur Seite und mehr als einen Meter in die Tiefe auszubreiten

(NADEAU & VANDEN BORN 1990), sodass das Wachstum in begrenzten Gefäßen schnell nicht mehr die Verhältnisse im Freiland abbilden kann.

Das Wurzelsystem etablierter Distelbestände ist nur mit großem technischen Aufwand zu untersuchen. Umfangreiche, das gesamte System umfassende Grabungen führen unweigerlich zu einer Zerstörung der Strukturen, sodass die Ergebnisse immer nur eine Momentaufnahme darstellen. Mit der Entnahme kleinerer Proben wird dagegen auch nur ein entsprechend kleiner Ausschnitt erfasst. Die meisten Untersuchungen beschränken sich daher auf die oberirdischen Pflanzenteile mit der Sprossdichte als ein häufig betrachteter Parameter. Die Sprossdichte reagiert allerdings sehr plastisch auf veränderte Wachstumsbedingungen und bildet kurzfristig nicht immer die Entwicklung des langsamer reagierenden Wurzelsystems ab (NADEAU & VANDEN BORN 1989, CARLSON & DONALD 1988, HUNTER *et al.* 1985). Trotz dieses Vorbehalts erscheint die Sprossdichte als geeignet für die Bewertung der Populationsentwicklung in einem Langzeitversuch: Sie ist zum einen einfach und nicht-destruktiv zu erfassen. Zum anderen erwies sie sich in vielen Untersuchungen zur Konkurrenzwirkung der Distel als wichtiger den Ertrag beeinflussender Faktor (JACOBS *et al.* 2006, KALBURTIJ & MAMOLOS 2001, DONALD & KHAN 1996, MCLENNAN *et al.* 1991, O'SULLIVAN *et al.* 1982). Der Erfolg von Regulierungsmaßnahmen sollte allerdings erst anhand der Sprosszahl im auf die Maßnahmen folgenden Frühjahr bewertet werden (KUTZNER 1980).

(4) Statistische Auswertung: Durch das nestartige Wachstum war die Verteilung der Sprosse über die Versuchsfläche sehr ungleichmäßig, sodass fast alle erhobenen Daten auch nach Transformation nicht normalverteilt waren. Aus diesem Grund wurden nur verteilungsfreie, nicht-parametrische Tests angewendet.

4.1.2 Modellversuche

(1) Beschattungsmethoden: In den Modellversuchen wurden zwei Möglichkeiten der Beschattung genutzt. In den Jahren 2000 und 2003 wurde Schattiergewebe eingesetzt, im Jahr 2002 sollte die Beschattung durch eine Weizeneinsaat erfolgen.

Die Weizeneinsaat im Jahr 2002 erwies sich als wenig geeignet für modellhafte Untersuchungen. Der Weizen lief schlecht auf und wurde durch Mehltau weiter geschwächt, sodass in den Betonrahmen keine gleichmäßige Beschattung erreicht wurde. Außerdem wurde die Dichte durch Mäuse reduziert, die in der kleinen Anlage alle Parzellen erreichten. Die nur 1 m² großen Parzellen wurden zudem auf der ganzen Fläche durch seitlichen Lichteinfall beeinflusst. Ein nicht einzuschätzender Faktor in dem Versuchsansatz des Jahres 2002 war außerdem die Konkurrenz zwischen Kulturpflanzen und *C.-arvensis*-Jungpflanzen im Wurzelraum. Der Weizen bildete allerdings weder ober- noch unterirdisch große Mengen Biomasse, sodass ein Effekt der Konkurrenz im Boden eher unwahrscheinlich war.

In den anderen Versuchsjahren wurde durch luft- und wasserdurchlässiges Schattiergewebe eine gleichmäßige Beschattung ohne Randeffekte erzeugt und die Wurzelkonkurrenz ausgeschlossen. Allerdings war es nicht möglich, die Lichtverhältnisse in einem Getreidebestand realistisch abzubilden, die sich im Tagesverlauf ändern und sich zwischen den Bestandeschichten unterscheiden (VERSCHWELE 1994, RADEMACHER 1950). Die Gewebe bewirkten eine Reduktion der Lichtintensität, die der jeweils gemessenen Intensität am Boden unter den Vergleichsbeständen entsprach. Die höhere Einstrahlung in den oberen Bereichen eines Bestandes findet unter Schattiergewebe keine Entsprechung (WEIJSCHEDÉ *et al.* 2006). Auch die unterschiedlichen Lichtintensitäten innerhalb eines heterogenen Pflanzenbestandes konnten nicht nachgebildet werden, ebenso wenig der wechselnde Lichteinfall durch die Bewegung der Halme. Auch beeinflusst die Schattierung die Lichtqualität (Wellenlänge, Rot-Dunkelrot-Verhältnis) nicht oder anders als pflanzliches Gewebe (s. 4.3.2.2). Als weiteres Problem künstlicher Beschattung gilt die Beeinflussung des Mikroklimas, wie zum Beispiel eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit unter den Abdeckungen (GRIME & JEFFREY 1965). In den beschatteten Parzellen des Modellversuchs erfolgte der Feuchtigkeitsaustausch ausschließlich über die Netzoberfläche und wurde nicht durch Wind verstärkt, sodass diese Parzellen langsamer abtrockneten als die unbeschattete Kontrolle. Ein stärkerer Luftaustausch hätte durch eine seitliche Öffnung der Netze bewirkt werden können, was aber auch einen unerwünschten Lichteinfall zur Folge gehabt hätte.

(2) Aussaattermin: Die deutlichsten Unterschiede der Beschattungsleistung von Winterweizen zwischen verschiedenen Sorten (VERSCHWELE 1994) und zwischen den Anbausystemen des INTEX-Versuchs (BAEHRE 1993) zeigen sich bereits während der Hauptbestockung im Laufe des Aprils, anschließend nähern sich die Werte aneinander an. Im Jahr 2003 verzögerte sich der Versuchsbeginn im Modellversuch und *C. arvense* wurde erst Mitte Mai ausgesät. Zu diesem Zeitpunkt unterschieden sich die Beschattungsleistungen der Weizenbestände, die als Vorgaben für die Beschattung der Versuchsparzellen dienten, nur noch wenig und erreichten schnell ähnliche Maximalwerte. In der Folge unterschieden sich in diesem Jahr auch die untersuchten Distelmerkmale in den drei Bewirtschaftungsvarianten des Modellversuchs weniger als erwartet.

4.2 Charakterisierung der Kulturpflanzenbestände

4.2.1 Lichtkonkurrenz

In Kulturpflanzenbeständen herrscht zwischen Kulturpflanze und Unkräutern Konkurrenz um Wasser, Nährstoffe und vor allem auch um Licht (ELLENBERG 1996). Unterschiede im Wachstum von Unkräutern bei unterschiedlicher Düngungsintensität können direkt auf Nährstoffkonkurrenz zurückzuführen sein. Die Düngung kann aber auch indirekt über Veränderungen der Lichtkonkurrenz wirken.

Die Beschattungsleistung von Winterweizenbeständen beruht auf einer Kombination morphologischer Merkmale wie Deckungsgrad, Wuchshöhe, Wuchsdichte und Wuchsform (VERSCHWELE 1994). Dabei wirken sich Deckungsgrad und Höhe des Bestandes besonders deutlich auf die Bodenbeschattung aus (DREWS *et al.* 2004, LEMERLE *et al.* 2001, VERSCHWELE 1994). Auch im Langzeitversuch Weendelsbreite bestand – außer im extrem trockenen Jahr 2003 – eine positive Korrelation zwischen Ährendichte und Halmlänge und der Beschattung.

4.2.2 Sortenwahl

Die Bestandsmerkmale werden durch pflanzenbauliche Maßnahmen wie die Stickstoffdüngung beeinflusst, sind aber auch in verschiedenen Sorten charakteristisch ausgeprägt. Schon RADEMACHER (1938) stellte die unterschiedliche „Kampfkraft“ von Getreidesorten heraus. Auch in neueren Untersuchungen werden Unterschiede in der Konkurrenzwirkung von Weizensorten beschrieben (AGES 2009, DREWS *et al.* 2004, KORRES & FROUD-WILLIAMS 2001).

Die zweite Versuchsphase des Langzeitversuchs bot die Möglichkeit, unterschiedliche Weizensorten miteinander zu vergleichen. Die gegenüber Unkräutern als sehr konkurrenzkräftig geltende langstrohige Sorte Batis (PALLUTT 2000) wurde in allen Versuchsjahren höher als die niedrigeren Sorten Xanthos und Ritmo. Entsprechend war der Lichteinfall in den Stoppelweizenbeständen höher. In den Untersuchungen von DREWS *et al.* (2004), LEMERLE *et al.* (2001) und VERSCHWELE (1994) wirkte sich eine hohe Wachstumsrate zu Vegetationsbeginn günstig auf die Unkrautunterdrückung aus. Die Sorte Batis wurde in allen Versuchsjahren etwa zwei Wochen später ausgesät als der Stoppelweizen. Sie war entsprechend zu Beginn der Wachstumsphase zunächst weniger weit entwickelt, zeigte dann aber eine höhere Wachstumsrate. Schon im April hatten sich die Sorten in ihrer Entwicklung aneinander angeglichen.

4.2.3 Stickstoffdüngung

Erwartungsgemäß waren im Langzeitversuch Ertrag, Ährendichte, Wuchshöhe und die Beschattungsleistung des Getreides in den gedüngten Parzellen höher als in den N0-Parzellen.

Hohe Unkrautdichten führen zu Mindererträgen, häufig wird die Bestandesdichte der Kulturpflanzen dabei am deutlichsten reduziert (VALENTI & WICKS 1992, RODER *et al.* 1984). DONALD & KHAN (1996) stellten diesen Effekt auch für *C. arvense* fest. Durch Stickstoffdüngung kann nicht nur das Wachstum verschiedener Unkräuter begrenzt, sondern auch deren negativer Einfluss auf den Ertrag gemildert werden (MAMOLOS & KALBURTJI 2001, VERSCHWELE 1994, CHRISTENSEN 1993). Im Langzeitversuch konnte der konkurrenzbedingte Ertragsverlust ebenfalls durch eine bessere Stickstoffversorgung ausgeglichen werden: In beiden Ver-

suchsphasen bestand nur in den ungedüngten Varianten ein negativer Zusammenhang zwischen der Sprossdichte der Distel und dem Getreideertrag.

In der Klee gras-Einsaat der zweiten Versuchsphase war die Beschattung dagegen in den im Vorjahr nicht gedüngten N0-Parzellen leicht erhöht. Der N_{\min} -Gehalt wurde nicht nach Düngungsvarianten getrennt bestimmt, betrug aber über den gesamten Feldstreifen nur 4,2 kg N pro ha. Das Stickstoffangebot kann sich also zwischen den Varianten kaum unterschieden haben, und die erhöhte Beschattungsleistung in den ungedüngten Parzellen lässt sich dadurch nicht erklären. Im Allgemeinen führt eine verbesserte Stickstoffversorgung zu einem Konkurrenzvorteil für die Gräser, zu einer Zunahme des Grasanteils zu Lasten des Kleeanteils und damit zu einer erhöhten Beschattung (STOUT *et al.* 2001, HOGGLIND & FRANKOW-LINDBERG 1998, STERN & DONALD 1962).

4.2.4 Fruchtfolge

Der Effekt der Düngung wird durch die Fruchtfolgegestaltung und die in den einzelnen Feldfrüchten durchgeführten Maßnahmen unterstützt. Im Rahmen des Langzeitversuchs war es möglich, die Wirkung unterschiedlicher Feldfrüchte auf das Distelwachstum in zwei verschiedenen Fruchtfolgen zu untersuchen. Zum Vergleich konnte die Fruchtfolge des Anbausystemversuchs herangezogen werden.

Die Fruchtfolgen in den beiden Phasen des **Langzeitversuchs** wiesen einige Gemeinsamkeiten auf: Der Getreideanteil war relativ hoch, in allen Kulturen wurde wendende Bodenbearbeitung eingesetzt und nach der Getreideernte wurde eine Stoppelbearbeitung durchgeführt. In beide Phasen war ein Fruchtfolgeglied eingebunden, das indirekt oder durch direkte Konkurrenz regulierend auf die Distelpopulation wirkte. In der ersten Phase waren dies die Rüben mit Düngung und mechanischer Bekämpfung in allen Parzellen, in der zweiten Phase das konkurrenzstarke Klee gras. Nur in der ersten Phase war mit den Rüben regelmäßig eine Sommerfrucht in die Fruchtfolge eingebunden. Im zweiten Versuchsabschnitt wurde nur das Klee gras im Jahr 2003 als Sommerung angebaut.

In beiden Versuchsabschnitten gab es Zeiträume mit unterdurchschnittlicher Bestandesentwicklung. Im ersten Abschnitt war dies in beiden Getreidearten von 1993 bis 1996 der Fall, in der zweiten Phase vor allem im Stoppelweizen im Jahr 2001. Insgesamt waren die Ährendichten der Getreidearten auch in den moderat gedüngten N+-Varianten relativ niedrig. Sie lagen meist deutlich unterhalb der optimalen Bestandesdichten von 500 bis 550 Ähren pro m² für Winterweizen und 450 bis 550 Ähren pro m² für Wintergerste (StMLF 2011).

Auch zur Fruchtfolge im **Anbausystemversuch** bestanden Parallelen: Mit dem Winterraps war eine konkurrenzstarke Frucht vorhanden, die schon früh eine hohe Beschattungsleistung zeigte. Bei der Messung im Mai 2001 war die Beschattung im Rapsbestand deutlich höher

als in den am gleichen Tag untersuchten Weizenbeständen. Wie in der ersten Versuchssphase des Langzeitversuchs wurden mit dem Hafer und dem Sommerweizen im Jahr 2003 Sommerungen angebaut. Eine Besonderheit der Fruchtfolge im System „integriert-flexibel“ war die lange Bodenruhe nach der Rapsernte.

4.3 Wachstumsstrategie der Acker-Kratzdistel

Die Diskussion der Wachstumsstrategie von *C. arvensis* folgt wie der Ergebnisteil dem Lebenszyklus der Art. Der Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen wird jeweils am Ende der Hauptabschnitte diskutiert.

4.3.1 Vegetatives Wachstum

Der Schwerpunkt im Entwicklungszyklus der Acker-Kratzdistel liegt auf der vegetativen Ausbreitung. Somit ist das wichtigste Ziel von Bekämpfungsmaßnahmen, das vegetative Wachstum etablierter Nester zu begrenzen.

4.3.1.1 Entwicklung der Sprossdichten und der Distelnester

Im Langzeitversuch lag der Schwerpunkt der Wurzelsprossbildung im Zeitraum bis zur ersten Sprosszählung, die jeweils gegen Ende der Weizenbestockung durchgeführt wurde. Bis zur Ernte kamen nur wenige Sprosse hinzu und erst auf der Stoppel wurden wieder in nennenswertem Umfang neue Wurzelsprosse gebildet. Auch an einem ungestörten Standort erfolgt die Sprossbildung hauptsächlich im Frühjahr. Dort geht die Anzahl der Sprosse nach der Vollblüte zurück (DONALD 1994). McALLISTER & HADERLIE (1985) vermuten Konkurrenz zwischen Wurzelknospen und bereits entwickelten Sprossen um Wasser und Nährstoffe als Ursache für saisonale Unterschiede. Sterben die Sprosse ab oder werden durch die Ernte entfernt, setzt bei ausreichend hoher Temperatur das Wachstum der Wurzelknospen ein.

Daten über die Lage und Ausdehnung der Distelnester liegen nur aus dem Zeitraum von 2000 bis 2003 vor (Abb. 3.5). Im Feldstreifen C traten eher lockere Nester und Einzelsprosse auf, in den beiden anderen Streifen wurden dagegen dichte, kompakte Nester kartiert. Feldstreifen A und B wurden bis 1982 gemeinsam bewirtschaftet, Streifen C gehörte nicht zum selben Schlag. In diesem Feldstreifen könnten sich Distelklone mit einer lockeren Wuchsform ausgebreitet haben, die sich nicht mit denen der anderen Streifen durchmischen. Wie in den Untersuchungen von DAMMER & WITTMANN (2000) und HÄUSLER *et al.* (1996) erwiesen sich auch die Nester auf der Weendelsbreite über die Jahre in ihrem Kern als ortsstabil: Je nach Wachstumsbedingungen und Konkurrenzdruck durch die Kultur änderte sich nur ihre Ausdehnung. Veränderungen in der Größe der Distelnester entsprachen dabei der Entwicklung der Sprossdichten. Die Kartierung der Nester im Anbausystemversuch ergab ein ähnliches Bild (Abb. 3.12). Nicht bestätigt werden konnten dagegen Beobachtungen

von Grünlandstandorten, nach denen sich *C.-arvense*-Nester nach außen ausbreiten und dabei im Zentrum absterben (AMOR & HARRIS 1975). Anders als im Grünland wird das Wurzelsystem der Distel im Acker regelmäßig durch die Bodenbearbeitung zerstört und zum erneuten Wachstum angeregt. Dies verhindert die Ausbildung verschieden alter Zonen innerhalb eines Nestes.

Der Sommer 2003 war nach einem kalten Frühjahr überdurchschnittlich warm und sehr trocken, sodass die erhobenen Daten Rückschlüsse auf die Reaktion der Distel auf Trockenheit ermöglichen. Die Weizenbestände des Langzeitversuchs wuchsen im Frühjahr langsam, erreichten nur geringe Bestandesdichten und reiften relativ früh ab. *C. arvense* reagierte allerdings nicht mit verstärkter Bildung von Sprossen auf die günstigen Konkurrenzbedingungen. Untersuchungsergebnisse zur Reaktion der Distel auf Trockenheit sind nicht eindeutig: HAMDOUN (1972) stellte in Gewächshausversuchen eine abnehmende Bildung von Wurzelsprossen unter zunehmendem Trockenstress fest, und DONALD & PRATO (1992) ermittelten in Sommerweizen reduzierte Sprossdichten in Jahren, die auf trockene Jahre folgten. In anderen Untersuchungen wurde *C. arvense* durch außergewöhnlich trockene Witterung kaum beeinträchtigt (KOCH 1955). KALBURTIJ & MAMOLOS (2001) stellten sogar fest, dass die Sprossdichte der Distel in einem trockenen Jahr zunahm, während die Biomasse des umgebenden Ackerbohnenbestandes zurückging. Auch Körnermais, Sojabohnen, Lupinen und Luzerne konnten in trockenen Jahren die Distel nicht ausreichend kontrollieren (LIŠKA *et al.* 2007, POETSCH 2006, HARTL & RATH 1993). HAYDEN (1934) fand verkrümmte Sprosse dicht unter der Bodenoberfläche seiner Versuchsfäche, denen es nicht gelungen war, die ausgetrocknete verhärtete Schicht zu durchstoßen. Dies könnte auch die Distel im Langzeitversuch beeinflusst haben: Die Bodenoberfläche des Versuchsfeldes verschlammte durch starke Regenfälle nach der Aussaat im Herbst 2002 und wurde durch die Trockenheit im folgenden Jahr sehr hart.

4.3.1.2 Längenwachstum der Distelsprosse

Viele Pflanzenarten zeigen unter Beschattung zunächst verstärktes Längenwachstum (s. 4.3.2.3), so auch die Sprosse von *C. arvense* in etablierten Nestern. Der Einfluss der Lichteinstrahlung wird im Vergleich der Höhenmessungen an Einzelsprossen in verschiedenen Kulturen deutlich: Im Winterraps (Anbausystemversuch 2001) bestand eine positive Korrelation zwischen Sprosslänge und Beschattung. Im Winterweizen (Langzeitversuch 2003) korrelierte die Sprosslänge mit Höhe und Ährendichte des umgebenden Weizens, und in der höheren Sorte Batis waren die Sprosse schon zu Beginn der Messungen länger als im Stoppelweizen. Auch im Hinblick auf die insgesamt im Langzeitversuch geernteten Sprosse zeigte sich ein Zusammenhang: Der Anteil niedriger Sprosse war negativ mit der Höhe, Dichte

oder Beschattungsleistung des Weizenbestandes korreliert, während der Anteil der Sprosse mittlerer Höhe mit diesen Parametern anstieg (Tab. 3.9).

Als losgelöst vom direkten Einfluss der Kulturpflanzenkonkurrenz erwies sich der Anteil der den Bestand überragenden Knospen oder Blüten tragenden Sprosse.

4.3.1.3 Einfluss von Kulturmaßnahmen

Im Langzeitversuch Weendelsbreite wurde die Entwicklung der Distelpopulation unter reduzierter **Stickstoffdüngung** in zwei Versuchsphasen über insgesamt 16 Jahre beobachtet. Durch die Umstellung der Düngungsvarianten zu Beginn der zweiten Versuchsphase konnte überprüft werden, ob die Ergebnisse der ersten Phase wiederholbar und reversibel waren.

Durch Düngung verändert sich die Beschattungsleistung von Kulturpflanzenbeständen. Unkrautarten reagieren unterschiedlich auf die resultierenden Veränderungen in der Lichtkonkurrenz. VAN DELDEN *et al.* (2002) stellten fest, dass *Stellaria media* auch unter Beschattung bei gesteigerter Stickstoffzufuhr mehr Biomasse bildet. Auch in den Untersuchungen von VERSCHWELE (1994) wirkte sich das Düngungsniveau stärker auf das Wachstum von *Alopecurus myosuroides* und *Myosotis arvensis* aus als die Beschattung. Für *C. arvensis* gilt dies nicht: Die Ergebnisse des Modellversuchs aus dem Jahr 2000 zeigen, dass die Lichtkonkurrenz und nicht die Konkurrenz um Stickstoff Unterschiede im Wachstum der Distel bewirken. Alle untersuchten Distel-Merkmale unterschieden sich signifikant zwischen den beschatteten und unbeschatteten Parzellen, während die Stickstoffdüngung keinen statistisch absicherbaren Einfluss hatte. Der Effekt von Düngergaben auf die Distelpopulation im Feld ist daher immer im Zusammenhang mit der Beschattungsleistung der Bestände zu sehen.

Die Reaktion der Acker-Kratzdistel auf Stickstoffdüngung ist unterschiedlich, je nachdem ob isoliert wachsende Pflanzen oder Disteln in Konkurrenzsituationen untersucht werden. Andere Ackerunkräuter reagieren ohne Konkurrenzeinfluss mit verstärktem Wachstum auf Stickstoffdüngung (GÜNTER 1997). Unter Konkurrenzbedingungen wirkt sich die Düngung auf annuelle Unkrautarten unterschiedlich aus: Während konkurrenzstarke Arten wie *Galium aparine* auch unter Konkurrenz von der Stickstoffdüngung profitieren, wirkt sich die Düngung auf die Pflanzendichte und den Umfang der Samenbank konkurrenzschwächerer Arten wie *Veronica persica* und *Viola arvensis* negativ aus (GEROWITT & BODENDÖRFER 1998, PULCHERHÄUBLING 1989). FRANZ *et al.* (1990) konnten allerdings für *Viola arvensis* zeigen, dass die Einzelpflanze von der Stickstoffdüngung profitierte und die Düngung zu einer Erhöhung der pro Pflanze gebildeten Samenzahl führte. Ein solcher Vergleich der Reaktionen von Population und Einzelpflanze ist für die klonal wachsende Acker-Kratzdistel im Feld nicht möglich.

Wächst *C. arvensis* ohne Konkurrenz durch andere Pflanzen, wird das Wachstum der Distel durch gesteigerte Stickstoffdüngung gefördert (ZISKA 2003, NADEAU & VANDEN BORN 1990,

MCINTYRE & HUNTER 1975, HAMDOUN 1970). Eine Erhöhung der Stickstoffzufuhr unter Konkurrenzbedingungen führt dagegen in der Regel im Acker und im Grünland zu einem Konkurrenzvorteil des Kulturpflanzenbestandes und zu verminderter Sprossdichte der Disteln (GREKUL & BORK 2007, EDWARDS *et al.* 2000, HINTZSCHE & PALLUTT 1995, KOLO & FROUD-WILLIAMS 1993, HUME 1982). In wenig konkurrenzstarken Kulturen oder auch in herbizidge-schädigtem Grünland kann Stickstoffdüngung die Acker-Kratzdistel dagegen fördern (REECE & WILSON 1983, HODGSON 1958). Ist die Versorgung mit Stickstoff von vornherein sehr gut, beeinflussen Düngergaben das Wachstum der Distel im Verhältnis zur Kulturpflanze nicht (EERENS *et al.* 2002). Im Langzeitversuch deutet sich ein ähnlicher Effekt an: Hier waren die Getreideerträge und die Sprossdichte der Distel in den gedüngten Parzellen leicht positiv korreliert.

Im Langzeitversuch Weendelsbreite wurde die Sprossdichte von *C. arvensis* durch die Stickstoffdüngung negativ beeinflusst. In der ersten Versuchsphase konnten sich nur in der ungedüngten Variante VN0 Distelnester etablieren. In der zweiten Phase gelang es, die Ergebnisse des ersten Versuchsabschnitts zu wiederholen: Die Sprossdichte stieg in den neuen N0-Varianten leicht an, in den gedüngten Parzellen mit jungen Distelnestern blieb sie dagegen auf dem Ausgangsniveau. Sehr deutlich war der Einfluss der Düngung auf die alten Distelnester. Hier reichte die moderate Stickstoffzufuhr aus, um die etablierten Nester innerhalb weniger Jahre fast vollständig zurückzudrängen. Die Auswirkungen der vorhergehenden zwölf Versuchsjahre mit verminderter Düngung waren so mit relativ geringem Einsatz wieder rückgängig zu machen.

In beiden Versuchsabschnitten erhöhte sich die Sprossdichte in den ungedüngten Versuchsvarianten erst in Jahren mit vergleichsweise geringen Bestandesdichten und Erträgen, also in wenig konkurrenzstarken Beständen. Auch wenn die Getreidebestände in den folgenden Jahren wieder mindestens durchschnittlich entwickelt waren, ging die Disteldichte nicht wieder auf ihren Ausgangswert zurück. Einzelne Jahre mit reduziertem Konkurrenzdruck reichten also bereits aus, um der Distel über mehrere Jahre einen Wachstumsvorteil zu verschaffen. Andererseits war die Kulturpflanzenkonkurrenz in Jahren mit gut entwickelten Beständen auch ohne Stickstoffdüngung hoch genug, um die Distel unter Kontrolle zu halten.

In der gedüngten Parzelle A10 des Langzeitversuchs verlief die Entwicklung in der zweiten Versuchsphase entgegengesetzt zu der in den übrigen Parzellen (Abb. 3.10). Trotz Düngung stieg die *C.-arvensis*-Dichte von zunächst sehr geringen Werten immer weiter an. Dieser Anstieg lässt sich nicht durch bessere Wachstumsbedingungen als in vergleichbaren Parzellen erklären: Weder die Bestandesdichte noch die Beschattung war im Jahr 2001 wesentlich niedriger als in den anderen Parzellen der entsprechenden Variante. Im Jahr 2002 war die Bestandesdichte im Vergleich zu den übrigen Versuchspartellen deutlich reduziert, allerdings könnte hier die Konkurrenz durch das dichte Distelnest bereits zu einem verminderten

Wachstum der Kulturpflanzen geführt haben (DONALD 1990). HODGSON (1964) stellte in seinem Vergleich von zehn Ökotypen der Acker-Kratzdistel Unterschiede im Erscheinungstermin der Sprosse und in der Sprossdichte am Ende der Vegetationsperiode fest. Er leitet aus diesen Eigenschaften Unterschiede in der Konkurrenzfähigkeit der Ökotypen ab. In genetischen Untersuchungen von zehn über die Parzelle A10 verteilten Pflanzenproben wurde nur ein Klon identifiziert (HETTWER unveröffentlicht), der vermutlich die gesamte Parzelle bedeckte. Die Daten deuten darauf hin, dass dieser Klon eine hohe Konkurrenzkraft besitzt und mit den hier genutzten ackerbaulichen Maßnahmen nicht ausreichend zu kontrollieren war.

Auch die **Fruchtfolge** wirkte sich auf die Sprossdichte aus und unterstützte den Effekt der Düngung. Ein hoher Klee gras-Anteil bremst die Ausbreitung der Acker-Kratzdistel (MOHAMMAD AGHA & PALLUTT 2006, KRANZLER & HARTL 2002). In von DONALD (1990) zusammengefassten Untersuchungen war in der Regel zwei- bis dreijähriger Klee grasanbau nötig, um die Distel ausreichend zu reduzieren. Auch MOHAMMAD AGHA & PALLUTT (2006) ermittelten erst im zweiten Anbaujahr einen starken Rückgang der Sprossdichte. RASMUSSEN *et al.* (2005) und HÄUSLER *et al.* (2004) erzielten dagegen gute Bekämpfungserfolge mit einjährigem Anbau. Im konkurrenzstarken Klee gras der Weendelsbreite gingen die Sprossdichten innerhalb des Anbaujahres sowohl in den gedüngten als auch in den ungedüngten Parzellen zurück. Dieser Trend setzte sich auch noch im folgenden Weizenjahr fort, und erst im dritten Fruchtfolgejahr nahm die von *C. arvense* bedeckte Fläche wieder deutlich zu. Schon einjähriger Klee grasanbau hatte also einen ausgeprägt regulierenden, wenn auch nicht lange anhaltenden Effekt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen GRUBER & CLAUPEIN (2009) und RASMUSSEN *et al.* (2005).

In der ersten Versuchsphase des Langzeitversuchs Weendelsbreite wurde die Ausbreitung von *C. arvense* durch die mechanische Bekämpfung in den Rüben begrenzt. Wie in der zweiten Versuchsphase stieg auch hier die Dichte der Distelsprosse im dritten Fruchtfolgejahr insbesondere in den ungedüngten Parzellen erneut an. In der nicht gedüngten Variante zeigte sich zudem ein negativer Zusammenhang zwischen der Sprossdichte der Distel und dem Ertrag des Getreides.

In Sommerungen findet die Acker-Kratzdistel in der Regel gute Wachstumsbedingungen vor, so auch im Hafer des Anbausystemversuchs und in den Rüben der ersten Phase des Langzeitversuchs. Zur Unterdrückung von *C. arvense* ist insbesondere die Konkurrenz in den frühen Entwicklungsstadien der Distel wichtig (JACOBS *et al.* 2006, EDWARDS *et al.* 2000, DONALD 1990). Wenn im Frühjahr die ersten Wurzelsprosse auftauchen, sind die Bestände der Sommerungen noch nicht weit entwickelt, und der Lichteinfall ist hoch. Die Distel kann dies mit Hilfe ihrer gespeicherten Reservestoffe für einen Wachstumsvorsprung nutzen. Auch die im Frühjahr 2003 im Langzeitversuch neu ausgesäte Klee gras-Mischung konnte kaum Konkurrenzdruck auf die Distel ausüben, und es entwickelten sich ausgedehnte, dichte Nester.

HÄUSLER *et al.* (2004) stellten dagegen bei der Frühjahrssaat von Klee gras eine gute Distelunterdrückung fest. Vermutlich war die mangelnde Konkurrenz kraft im Langzeitversuch eine Folge der langsamen Entwicklung der Kultur im kalten Frühjahr 2003 und der folgenden Schädigung durch die Trockenheit.

Das wiederholte **Schlegeln** von *C. arvense* soll über die Erschöpfung der Reservestoffe zu einer Begrenzung des Wachstums der Pflanzen führen. Wird im Grünland nur ein Schnitt pro Jahr durchgeführt, nimmt die Sprossdichte der Distel zu (GREKUL & BORK 2007, GAISLER *et al.* 2006). Zwei bis drei Schnittmaßnahmen oder zwei Phasen mit intensiver Beweidung führen meist zu einer ausreichenden Reduktion der Disteldichte (DE BRUIJN & BORK 2006, GAISLER *et al.* 2006). VENCLOVA *et al.* (2006) gelang es dagegen nicht, *C. arvense* mit zwei Schnittmaßnahmen zufriedenstellend zu kontrollieren. In den meisten von DONALD (1990) zitierten Untersuchungen wurde die Distel dreimal pro Jahr geschnitten. Auch HÄUSLER *et al.* (2004) mulchten ihre Klee grasflächen dreimal pro Jahr, was eine ausreichende Kontrolle der Distel bewirkte. SEELY (1952) (*zit. in* HATCHER & MELANDER 2003) empfiehlt dagegen einen relativ kurzen Zeitabstand von drei Wochen zwischen den Schnitten. In Untersuchungen von PARR & WAY (1988) waren die Unterschiede zwischen den Varianten im Bereich von 0 bis 2 Mahddurchgängen am höchsten, eine weitere Erhöhung der Frequenz beeinflusste das Auftreten von *C. arvense* nur noch unwesentlich stärker. Auch in Feldversuchen von CORMAC (2002) führten drei, vier und acht Mahddurchgänge im Weißklee zu einer vergleichbaren Reduktion der Sprossdichte. Weder im Anbaujahr des Klees noch in der Folgekultur gab es in seinem Versuch signifikante Unterschiede zwischen den Varianten: Hier erwies sich die Konkurrenz Wirkung der Einsaat als wichtiger als die Schnittfrequenz.

Im Langzeitversuch Weendelsbreite unterschieden sich die Sprossdichten im Klee gras zwischen den selten und häufig geschlegelten Parzellen nur im trockenen Jahr 2003 (Abb. 3.11). Der Unterschied wäre vermutlich deutlicher ausgefallen, wenn die Einhaltung der ursprünglich geplanten Schlegelfrequenz in den selten geschlegelten Varianten möglich gewesen wäre: Um den Klee grasbestand unter Kontrolle zu halten und das Aussamen der Gräser zu verringern, wurde hier zwei- bis dreimal geschlegelt statt wie ursprünglich geplant höchstens einmal. Auch wenn die Sprossdichte durch die Schlegelfrequenz nicht beeinflusst wurde, zeigten sich bei optimaler Bestandesführung wie im Jahr 2002 doch Auswirkungen auf die Biomasseproduktion: Die Trockenmasse pro Distelspross war in diesem Versuchsjahr in den häufig geschlegelten Parzellen geringer als in den selten geschlegelten Parzellen. In Untersuchungen von GRAGLIA *et al.* (2006) führte eine erhöhte Mahdfrequenz im Klee gras ebenfalls zu einer Reduktion der Biomasse der Acker-Kratzdistel. Noch in der folgenden Sommergerste gab es in ihren Versuchen einen linearen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Schnitte und der Biomasse pro Distelspross.

Durch **Bodenbearbeitung** nach der Ernte kann die Distelpopulation effektiv beeinträchtigt werden (PEKRUN & CLAUPEIN 2004, BOSTRÖM & FOGELFORS 1999, HINTZSCHE 1990). Tiefes Pflügen erwies sich dabei als wirksamer als flache wendende oder nur lockernde Bodenbearbeitung (GRUBER & CLAUPEIN 2009, PEKRUN *et al.* 2003a, KRANZLER & HARTL 2002). Der Wiederaustrieb von *C. arvensis* erfolgt im Herbst langsamer als im Frühjahr (BRANDSÆTTER *et al.* 2010). Außerdem steigt die Wurzelbiomasse ab dem Spätsommer an und Reservestoffe werden eingelagert (TØRRESEN *et al.* 2010, STROBACH *et al.* 2008, LEATHWICK *et al.* 2006). Die Durchführung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen im Herbst, wie sie auch im Langzeitversuch vorgenommen wurden, ist also ideal. Im Anbausystemversuch kam es dagegen nach der Rapsernte zu einer längeren Phase der Bodenruhe, in der die Distelsprosse bis zum Ende der Vegetationsperiode ungestört wachsen konnten. Dies führte zu einer starken Ausbreitung von *C. arvensis* im nachfolgenden Hafer. Trotz chemischer Bekämpfung zeigten die Nester selbst im darauffolgenden Jahr noch eine ähnliche Ausdehnung wie im Hafer.

In mehreren Jahren konnte die Auswirkung **direkter Bekämpfungsmaßnahmen** auf die Distelpopulation untersucht werden. Einzelmaßnahmen erwiesen sich langfristig als nicht ausreichend. Trotz der mechanischen Bekämpfung in den Rüben der ersten Phase des Langzeitversuchs stieg die Sprossdichte in der ungedüngten Variante über die Jahre immer weiter an. In den Jahren 1997 bis 1999 wurde *C. arvensis* in den Rüben in unterschiedlichem Umfang chemisch bekämpft, was ebenfalls keinen langfristigen Effekt hatte. Auch auf der untersuchten Fläche des Anbausystemversuchs wurden mehrmals Mittel mit Distelwirkung ohne andauernden Bekämpfungserfolg eingesetzt. Andere Untersuchungen kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass einmalige isolierte Herbizidanwendungen für die nachhaltige Kontrolle von *C. arvensis* nicht ausreichen (PYWELL *et al.* 2010, JACOBS *et al.* 2006, BLASKÓ & NÉMETH 2006, HÄNI & ZÜRCHER 2000, HINTZSCHE & PALLUT 1995).

4.3.1.4 Etablierung aus Wurzelstücken

Die Verschleppung von Wurzelstücken durch Bearbeitungsgeräte wird als ein möglicher Ausbreitungsweg von *C. arvensis* angesehen (MAYER & ALBRECHT 2003). Genetische Untersuchungen von HETTWER & GEROWITT (2004) weisen allerdings darauf hin, dass dieser Weg vermutlich nicht sehr bedeutend ist. In den hier vorgestellten Versuchen erwies sich die gezielte Etablierung der Distel aus Wurzelfragmenten als schwierig. Während Wurzelstücke im Gewächshaus regelmäßig schon nach wenigen Tagen neue Sprosse bildeten, war dies im Feldversuch auf der Weendelsbreite und im Modellversuch nicht der Fall.

Im **Langzeitversuch** bildeten vergrabene Wurzelstücke in einigen Fällen in der ersten Vegetationsperiode Sprosse, die allerdings nach der Bodenbearbeitung wieder verschwunden waren. Der erste Etablierungsversuch erfolgte im Frühjahr 2001 in einer relativ trockenen Periode. Wurzelstücke sind empfindlich gegenüber Austrocknung (NIEDERSTRABER & GERO-

WITT 2008), sodass die ausbleibende Sprossbildung möglicherweise witterungsbedingt war. Im November 2001 wurden Disteln mit entwickeltem Spross ausgepflanzt. Im nächsten Jahr bildete nur einer der verwendeten Klone Sprosse, konnte sich aber nicht dauerhaft ansiedeln. Unterschiede in der Anwachsrate zwischen verschiedenen Klonen zeigten sich auch bei HODGSON (1964). Möglicherweise wäre die Ansiedlung mit einer längeren Entwicklungsdauer bis zur nächsten Bodenbearbeitung erfolgreicher gewesen: In Versuchen von MAMOLLOS & KALBURTJI (2001) gelang die Etablierung aus im September flach vergrabenen 15 cm langen Wurzelstücken. GRUBER & CLAUPEIN (2009) gelang die Ansiedlung aus vorgezogenen Wurzelstücken. Allerdings erfolgte in ihren Versuchspartzen keine Bodenbearbeitung vom Pflanzen der Disteln im Mai bis zum Spätsommer des folgenden Jahres. Auch das nasse Frühjahr 2002 könnte die Entwicklung der Disteln gebremst haben (HAMDOUN 1972).

Im **Modellversuch** gelang im Jahr 2000 die Etablierung aus Wurzelstücken, im Versuchsjahr 2002 bildeten die ausgebrachten Wurzelstücke dagegen keine Sprosse. Dafür kommen mehrere Gründe in Frage:

Im Jahr 2000 wurden Wurzelstücke mit einem ausgebildeten Spross ausgepflanzt, während im Jahr 2002 Fragmente ohne Spross verwendet wurden. Unter günstigen Bedingungen im Gewächshaus können schon sehr kurze Wurzelabschnitte neue Sprosse bilden (NIEDERSTRABER & GEROWITT 2008, HAMDOUN 1972, ÖZER 1969). Unter Freilandbedingungen stellten EDWARDS *et al.* (2000) fest, dass fast alle der nach Grünlandumbruch neu aufwachsenden Disteln von 3 bis 5 cm langen Wurzelstücken stammten. TOCHTERMANN (1956) fand allerdings eine bessere Austriebsfähigkeit bei Acker-Kratzdisteln, die im Herbst im Rosettenstadium ausgepflanzt worden waren, als bei Fragmenten ohne ausgebildeten Spross.

Die Wurzeln für das Erntejahr 2002 wurden bereits im Oktober des Vorjahres ausgepflanzt. Wurzelfragmente von *C. arvense* besitzen nur eine geringe Frostresistenz (SCHIMMING & MESSERSMITH 1988, ÖZER 1969), wenn man sie direkt niedrigen Temperaturen aussetzt. In einem Gefäßversuch in Schweden bildeten dagegen im Oktober draußen aufgestellte Wurzelfragmente im Frühjahr problemlos Wurzelsprosse (DOCK GUSTAVSSON 1997). Im Winter 2001/2002 herrschte nur selten starker Frost, und der Boden war häufig von Schnee bedeckt. Frostschäden hatten somit im Modellversuch vermutlich wenig Bedeutung.

Fragmentierte Wurzeln, wie sie zum Beispiel durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen entstehen, sind besonders anfällig für Infektionen (ÖZER 1969). Das Jahr 2002 war sehr feucht und bot gute Entwicklungsmöglichkeiten für Pilze, sodass der Einfluss von Pathogenen nicht auszuschließen ist. Die anhaltende Nässe könnte die Fähigkeit zur Bildung von Sprossen schließlich auch direkt beeinflusst haben (HAMDOUN 1972).

4.3.1.5 Schlussfolgerungen

Die Wachstumsstrategie von *C. arvensis* als mehrjährige, klonal wachsende Art ist auf die vegetative Ausbreitung und Überdauerung an einem einmal besiedelten Standort ausgerichtet. Sie kann sehr plastisch auf wechselnde Umweltbedingungen reagieren und günstige Wachstumsbedingungen sowohl innerhalb eines Jahres als auch im Verlauf mehrerer Jahre schnell ausnutzen. Unter günstigen Bedingungen breitet sich die Distel stark aus, bildet viele Sprosse und tritt deutlich sichtbar in Erscheinung. Unter ungünstigen Wachstumsbedingungen oder nach Bekämpfungsmaßnahmen werden nur wenige Sprosse gebildet und dementsprechend wenig Reservestoffe verbraucht. Diese Sprosse werden häufig nicht sehr hoch und können in dichten Beständen leicht übersehen werden. In Phasen mit geringer Konkurrenz zeigt *C. arvensis* dann erneut starkes vegetatives Wachstum. Dies gilt nicht nur langfristig über mehrere Anbaujahre, sondern auch kurzfristig innerhalb einer Vegetationsperiode: Auch wenn ein Großteil der Sprosse im Frühjahr gebildet wird, wenn die Konkurrenz durch die Kulturpflanze noch nicht sehr ausgeprägt ist, erfolgt doch ein weiterer Wachstumsschub nach der Ernte auf der Stoppel. Auch auf Störungen während der Vegetationsperiode reagiert *C. arvensis* zügig mit der Bildung neuer Wurzelsprosse. Dies führt dazu, dass Einzelmaßnahmen zur Bekämpfung der Distel kaum nachhaltigen Erfolg haben. Auch sollte der Erfolg von Maßnahmen nicht nur im Durchführungsjahr, sondern über einen längeren Zeitraum bewertet werden.

Für die Begrenzung des vegetativen Wachstums sind konkurrenzstarke dichte Kulturpflanzenbestände von entscheidender Bedeutung. Wichtig ist eine möglichst früh in der Vegetationsperiode einsetzende Konkurrenzwirkung, was zum einen durch die Wahl geeigneter Kulturarten wie Winterraps und Wintergetreide als auch durch die Auswahl konkurrenzstarker Sorten mit einer hohen Wachstumsrate im Frühjahr erreicht werden kann. Fruchtfolgen mit konkurrenzstarken Früchten wie dem Klee gras tragen zur Kontrolle der Acker-Kratzdistel bei. In allen Kulturen sollte durch angepasste Düngung eine möglichst zügige Jugendentwicklung gefördert werden. Dabei können im ökologischen Landbau über organische Düngung ähnliche Stickstoffmengen wie in der vorliegenden Untersuchung zugeführt werden (HILTBRUNNER *et al.* 2004, JUROSZEK *et al.* 2004, VANHALA *et al.* 2004). Es bleibt zu untersuchen, ob die langsamer wirkende organische Düngung in Bezug auf die Regulation von *C. arvensis* ähnlich effektiv ist wie die mineralische Stickstoffdüngung. Bodenbearbeitungsdurchgänge im Herbst zerstören die nach der Ernte gebildeten Sprosse und vermindern die Möglichkeit zur Einlagerung von Reservestoffen für den erneuten Austrieb im Frühjahr. Die Schnitthäufigkeit im Klee gras beeinflusste das Wachstum der Distel dagegen nur wenig.

Auch hohe *C.-arvensis*-Dichten sind mit indirekten Maßnahmen regulierbar und schon einzelne Jahre mit gezielten Maßnahmen, wie zum Beispiel der einjährige Anbau von Klee gras, können zu einer Entspannung führen. Allerdings ist das vollständige Verschwinden der Distel

so kaum zu erreichen. Intensivere Maßnahmen können in Jahren mit günstigen Wachstumsbedingungen und auch noch in den Folgejahren nötig sein. In Jahren mit spätem Vegetationsbeginn, mit schlecht entwickelten, lückigen Beständen oder auch mit Sommerungen sollte daher Schlägen mit bekanntem Distelvorkommen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Ortsstabilität der Nester kann dabei die Kontrollen erleichtern. Durch die hohe Variabilität der Distel ist es möglich, dass besonders konkurrenzstarke Klone auftreten, die den Einsatz direkter Bekämpfungsmaßnahmen erforderlich machen.

Die Ausbreitung von *C. arvensis* durch verschleppte Wurzelstücke erscheint unwahrscheinlich. Sollten in Ausnahmefällen doch Wurzelabschnitte an neuen Standorten anwachsen, kann die dauerhafte Etablierung durch die für ältere Nester beschriebenen Maßnahmen verhindert werden.

4.3.2 Generative Vermehrung

Die generative Vermehrung spielt im Lebenszyklus der Distel unter den Bedingungen des Ackerbaus eine untergeordnete Rolle. Viele der Maßnahmen, die die vegetative Ausbreitung der Distel vermindern, reduzieren auch die Gefahr der Ausbreitung durch Samen.

4.3.2.1 Blüte und Samenbildung im Langzeitversuch

Der **Anteil blühender Sprosse** in den Weizenbeständen des Langzeitversuchs war nicht direkt mit den Konkurrenzbedingungen korreliert. Er blieb in der Regel unabhängig von der Entwicklung der Getreidebestände auf einem gleichmäßigen – wenn auch niedrigen – Niveau. In Untersuchungen von LEATHWICK *et al.* (2006) blühten die Sprosse in deutlich größerem Umfang, aber auch hier erwies sich der Anteil blühender Sprosse als unabhängig von der Konkurrenz: In Parzellen mit *C.-arvensis*-Pflanzen in unterschiedlicher Dichte blühten jeweils 61 % der Sprosse, während die Sprossdichte mit steigender intraspezifischer Konkurrenz abnahm. In der Literatur finden sich weitere Beispiele für Pflanzenarten mit konkurrenzunabhängiger Investition in die sexuelle Vermehrung (*Tussilago farfara* (OGDEN 1974), *Fragaria virginiana* (HOLLER & ABRAHAMSON 1977)). In Untersuchungen von HARTNETT (1990) zeigte sich für vier klonal wachsende Asteraceae ebenfalls ein linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Blütenköpfchen und der Größe der Klone. FITTER & SETTERS (1988) kommen für *Viola*-Arten zu folgendem Schluss: „Sexual reproduction is a luxury indulged in to the extent that resources permit.“ Auch *C. arvensis* scheint nur einen Teil der Assimilate in die Versorgung der blühenden Sprosse zu investieren und die postulierte Erschöpfung der Pflanze durch Blüte und Samenbildung (KUTSCHERA 1960) bestätigte sich nicht.

Im Langzeitversuch Weendelsbreite blühte mit durchschnittlich 4,2 % nur ein sehr kleiner Teil der Sprosse. Für ökologisch bewirtschaftete Ackerflächen ermittelte SPRENGER (2004) ebenfalls nur 4,5 % blühende *C.-arvensis*-Sprosse. SOLÉ (2003) fand auf Brachflächen dagegen

Unterschiede zwischen jungen Distelpopulationen mit im Mittel 92 % (neu besiedelte gestörte Flächen) und alten Populationen mit 45 % blühenden Sprossen (mindestens zehn Jahre alte Nester in alten Brachen). SOLÉ vermutet, dass Selektionsprozesse im Verlauf der Sukzession für diese Unterschiede verantwortlich sind: Während die Besiedlung neuer Standorte durch Klone erfolgt, deren Schwerpunkt auf der generativen Fortpflanzung liegt, verschiebt sich die Zusammensetzung der Population mit der Zeit in Richtung von Klonen mit vorwiegend vegetativem Wachstum. PIQUOT *et al.* (1998) kommen für *Sparganium erectum* zu dem gleichen Schluss.

Auch auf bewirtschafteten Flächen könnte die Kombination aus regelmäßigen Störungen und zeitweise hohem Konkurrenzdruck vegetativ wachsende Klone begünstigen. Im Langzeitversuch zeigte sich allerdings, dass Veränderungen im Anteil blühender Sprosse nicht nur auf sukzessionsbedingten Verschiebungen in der Populationszusammensetzung beruhen. Für plötzliche Änderungen im Blühverhalten können ebenfalls plastische Reaktionen einer stabilen Population verantwortlich sein: Nachdem in den Vorjahren jeweils nur ein geringer Teil der Sprosse zur Blüte gekommen war, blühten im trockenen Jahr 2003 in den N0-Parzellen des Klee-gras-Weizens mit 17,3 % ungewöhnlich viele Sprosse (Tab. 3.18). In diesen Parzellen bestand auch eine positive Korrelation mit den Bestandesmerkmalen. Warum im Jahr 2003 so viele Sprosse zur Blüte kamen, lässt sich aus den erhobenen Daten nicht eindeutig ableiten. Es gibt aber Hinweise darauf, dass bereits ein Zeitraum sehr früh in der Vegetationsperiode ausschlaggebend war. JACOBS *et al.* (2006) stellten fest, dass vor allem früh an der Oberfläche erscheinende Sprosse Blüten bilden und auch die eigenen Ergebnisse aus der Längenmessung an Einzelsprossen deuten darauf hin. Witterungsbedingt setzte das Wachstum des Weizens im Langzeitversuch erst spät ein und anders als im Stoppelweizen war der N_{\min} -Gehalt im Klee-gras-Weizen zu Vegetationsbeginn relativ hoch. Dies führte zu einem frühen Austrieb der Distelsprosse unter günstigen Konkurrenzbedingungen. Während in den Vorjahren die Sprossdichte im Frühjahr im Stoppelweizen am höchsten war, wurden im Mai 2003 zu diesem Zeitpunkt die meisten Sprosse in den N0-Parzellen des Klee-gras-Weizens gezählt.

Die für die Längenmessung über eine Vegetationsperiode ausgewählten Sprosse waren im Mittel deutlich höher und blühten zu einem größeren Prozentsatz als die übrigen in den Weizenparzellen geernteten Disteln (Tab. 3.19). Wie bei LEATHWICK *et al.* (2006) nahm die Wachstumsrate der blühenden Sprosse mit dem Übergang in die generative Phase ab. Die Sprosse wurden anhand der Frühjahrszählung ausgewählt und lagen in Bereichen etablierter größerer Nester; sie gehörten also zu den Sprossen, die schon früh an der Oberfläche erschienen waren und eine längere Entwicklungszeit als die später auflaufenden Sprosse hatten. Das ausgeprägte Wurzelsystem der alten Nester lieferte außerdem zu Beginn der Vegetationsperiode eine gute Versorgung mit Nährstoffen. Allerdings erreichten nicht alle der An-

fang Mai markierten Sprosse das generative Stadium: Innerhalb der Beobachtungsgruppe traten auch Sprosse auf, die langsamer in die Höhe wuchsen und ihr Wachstum früher einstellten. Wenn alleine der Zeitpunkt des Erscheinens an der Oberfläche entscheidend dafür ist, ob ein Spross im Sommer blüht oder nicht, muss dieser Zeitpunkt bereits vor der ersten Messung gelegen haben. Allerdings blühten in verschiedenen Versuchsjahren in vereinzelt Parzellen im Sommer mehr Sprosse, als bei der Frühjahrszählung erfasst wurden. Dies weist auf andere Regulationsmechanismen neben der Entwicklungsdauer des Sprosses hin.

Isoliert wachsende Sprosse können bereits Blüten bilden, wenn sie noch relativ niedrig sind. ÖZER (1969) fand blühende Distelsprosse, die nur 45 cm hoch waren. Im Jahr 2003 war der kürzeste blühende Spross in der Kontrollvariante des Modellversuchs nur 29 cm hoch. Unter Konkurrenz wird die **Höhe der blühenden Sprosse** durch den Kulturbestand bestimmt. Im Langzeitversuch unterschieden sich die blühenden Sprosse morphologisch deutlich von den ausschließlich assimilierenden Sprossen. Blüten sprosse waren bis zur Weizenernte mindestens so hoch wie der umgebende Bestand, im Klee gras-Weizen also in der Regel 100 cm und mehr, und besaßen sehr kräftige, holzige Stängel. Sprosse, die keine Blüten bildeten, wurden weniger hoch und hatten meist nur dünne Stängel. Auch *Centaurea cyanus* wächst zunächst in die Höhe und bildet erst Blüten, wenn sie den Kulturbestand überwachsen hat (GÜNTER 1997). Über dem Bestand stehende Blüten sind zum einen für Bestäuber besser sichtbar. Zum anderen ermöglicht die bessere Lichtversorgung in den höheren Bestandeschichten eine höhere Photosyntheseleistung und gewährleistet so eine bessere Versorgung der Sprosse (GÜNTER 1997). NKURUNZIZA *et al.* (2011) stellten fest, dass es in homogenen Beständen nicht zu einem Quertransport von Assimilaten zwischen *C.-arvensis*-Sprossen kommt. Möglicherweise sind die Sprosse daher zum erfolgreichen Ausbilden von Samen auf die bessere Lichtversorgung angewiesen.

Auch der **Beginn der Blüte und der Samenbildung** war von der Konkurrenzsituation abhängig. Auf der Weendelsbreite setzte die Blüte in den Winterweizenbeständen ab Mitte Juni ein. Im stärker beschattenden und höheren Winterraps des Anbausystemversuchs hatten sich erst Mitte Juli die ersten Knospen gebildet, die sich bis zur Ernte nicht mehr öffneten. Im Langzeitversuch nahm der Anteil der Sprosse, die bis zur Ernte bereits Blüten oder sogar Samen entwickelt hatten, mit zunehmender Bestandesdichte ab. Wächst *C. arvensis* ohne interspezifische Konkurrenz, sind die Samen Ende Juli bereits vollständig abgereift (HODGSON 1964). In den dichten, konkurrenzstarken Beständen der Feldversuche erfolgte der Beginn der Blüte und die Samenreife später und war häufig bis zur Ernte noch nicht abgeschlossen. ZIMDAHL *et al.* (1991) stellten zudem eine starke Verminderung der Infloreszenzen fest, wenn die Lichtintensität durch künstliche Beschattung auf etwa 30 % gesenkt wurde, die Blüte wurde aber nicht vollständig verhindert. Ähnliche Beobachtungen machte BAKER (1960) bei Lichtintensitäten zwischen 35 und 45 %. Diese Ergebnisse bestätigten sich im

Langzeitversuch nicht: Es gab keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Blütenköpfchen und der Beschattung oder anderen Bestandesparametern

In den Flächen des Langzeitversuchs und in seiner Umgebung überwogen weibliche Nester und Sprosse die männlichen deutlich. Das **Geschlechterverhältnis** der Acker-Kratzdistel war auch in anderen Untersuchungen regelmäßig zugunsten der weiblichen Sprosse verschoben. SOLÉ (2003) fand einen mittleren Anteil weiblicher Sprosse von 72,4 % und AMOR & HARRIS (1974) von 76,1 %. OESAU (1992) zählte sogar ein Verhältnis weiblicher zu männlicher Sprosse von 300:1. Bezogen auf die von Distelnestern bedeckte Fläche überwogen in Untersuchungen von MAYER (2000) die weiblichen Klone in einem Verhältnis von 4:1. HETTER & GEROWITT (2004a) ermittelten Verhältnisse zwischen 10:1 und 3:1. Nur in einer der sechs von ihnen untersuchten Flächen überwogen die männlichen Disteln mit 0,7:1. Das Geschlechterverhältnis kann aber auch nahezu ausgeglichen sein (LLOYD & MYALL 1976). Die Abstände zwischen männlichen und weiblichen Blüten hat Einfluss auf die Samenbildung. AMOR & HARRIS (1974) stellten eine erfolgreiche Bestäubung noch bei einem Abstand von 390 m zwischen männlichen und weiblichen Blüten fest. In Untersuchungen von BAKKER (1960) erfolgte ein uneingeschränkter Samenansatz bei einem Abstand von höchstens 20 m. Lag die Entfernung bei 50 m, wurden kaum noch Samen gebildet. Auch LALONDE & ROITBERG (1994) zählten bei einem Abstand von 50 m deutlich weniger Samen pro Blütenköpfchen. Im Langzeitversuch blühten in jedem Versuchsjahr männliche Klone in verschiedenen Parzellen, sodass die Bestäubungsleistung die Samenbildung nicht beeinflusst haben sollte.

Die Untersuchung der **Samenbank** erfolgte in der ersten Phase des Langzeitversuchs und ermöglichte Rückschlüsse auf das Vorkommen keimfähiger Distelsamen. In Bezug auf die Samenbank ergibt die Literatur kein einheitliches Bild. Werden die in Bodenproben vorhandenen Distelsamen gezählt, können hohe Werte erreicht werden. Nach sechs Jahren reduzierter Bodenbearbeitung fanden GRUBER & CLAUPEIN (2009) bis zu 6400 *C.-arvense*-Samen pro m² und WALLACE *et al.* (2005) 679 Samen pro m² am Rand einer Distelpopulation. Ein anderes Bild stellt sich häufig dar, wenn nicht die Samen direkt, sondern die aus der Bodenprobe auflaufenden Keimlinge erfasst werden. HILL *et al.* (1989) konnten in ihren Untersuchungen *C. arvense* in der Samenbank überhaupt nicht nachweisen, obwohl die Distel zu den dominanten Arten der Untersuchungsflächen gehörte. Auch LARSON (2009), EGGENSCHWILER & JACOT (2005), ALBRECHT (2004), MAYER (2000) und POSCHLOD & JORDAN (1992) fanden *C. arvense* an verschiedenartigen Standorten zwar in der aktuellen Vegetation, aber nicht oder nur in sehr geringem Umfang in der Samenbank. Aber auch bei der Erfassung keimfähiger Samen gibt es andere Ergebnisse: BOURDÔT *et al.* (2006) zählten bis zu 379 lebensfähige Samen pro m². In Samenbank-Untersuchungen von TRAVNICEK *et al.* (2005) liefen bis zu 1513 Keimlinge pro m² auf.

Eine Bestimmung des Samenvorrats im Boden ohne Prüfung der Keimfähigkeit ist problematisch. DONALD (1994) hält die Samenbank von *C. arvensis* für wenig persistent und die Keimfähigkeit der Samen ist häufig gering (s. 4.3.2.2). Auch die Beprobungstiefe hat Einfluss auf die Ergebnisse. Die optimale Ablagetiefe für *C.-arvensis*-Samen liegt bei 0,5-1 cm und die Keimfähigkeit ist bei einer Tiefe von 2-3 cm schon deutlich reduziert (LAUBHAN & SHAFFER 2006), sodass bei einer tieferen Beprobung der Umfang der relevanten Samenbank überschätzt wird. DAVIES (2006) kommt zu dem Schluss, dass sich der Samenvorrat im Boden kaum auf die Wachstumsrate der Distelpopulation auswirkt.

Auf der Weendelsbreite erwies sich die Samenbank mit bis zu 50 Keimlingen pro m² im Keimtest bei einer Beprobungstiefe von 25 cm ebenfalls als nicht sehr umfangreich. Der Samenvorrat der Acker-Kratzdistel stieg ab 1993 leicht an, zeitgleich mit dem Anstieg der Sprossdichte in der Variante VN0. In den Folgejahren erhöhte sich die Anzahl keimfähiger Samen mit der weiteren Zunahme der Sprossdichte allerdings nicht. Ein Vergleich mit den Samenvorräten annueller Arten am selben Standort zeigt, dass zum Beispiel *Viola arvensis* ausgehend von einer zunächst ebenfalls kleinen Samenbank sehr viel höhere Werte als *C. arvensis* erreichte (im Mittel VN0: 1496 Samen/m² , VN+: 422 Samen/m² , GEROWITT & BODENDÖRFER 1998). Der Samenvorrat von *Apera spica-venti* stieg ohne Bekämpfung im Getreide auf über 6000 Samen/m² an (GEROWITT 1999).

Die wenigen *C.-arvensis*-Samen im Boden traten ohne jeden Zusammenhang mit der Variante auf, also nicht bevorzugt in den Bereichen, in denen vermutlich die meisten blühenden Sprosse aufgetreten waren. GRUBER & CLAUPEIN (2009) stellten dagegen fest, dass die Anzahl der Samen ausschließlich in den Versuchspartellen mit vielen blühenden Sprossen erhöht war. Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die meisten Samen in der Nähe des Muttersprosses zu Boden fallen und nur wenige keimfähige Samen über größere Strecken verbreitet werden (WALLACE *et al.* 2005, MAYER 2000, OESAU 1998). Vermutlich war die Samenbank im Langzeitversuch insgesamt zu klein, um Unterschiede feststellen zu können.

Für die wenig umfangreiche keimfähige Samenbank im hier vorgestellten Versuch kann eine Reihe von Gründen verantwortlich sein: Es ist anzunehmen, dass auch in der ersten Versuchsphase nur ein geringer Teil der Sprosse blühte und die Getreideernte erfolgte, bevor alle Samen abgereift waren. Nach eigenen Beobachtungen gelangen die Blütenköpfchen bei der Ernte mit dem Mähdrescher häufig als Ganzes wieder auf die Stoppel. Sie werden nicht zerstört und die Samen nicht flächig verteilt. Die sehr kleine Samenbank wurde trotz des engen Beprobungsrasters daher möglicherweise nicht adäquat erfasst. Auch wird der Samenprädatoren im Blütenköpfchen der Distel und nach der Verbreitung der Samen eine große Bedeutung zugemessen (HOLMES & FROUD-WILLIAMS 2005, HEIMANN 1996, CHANCELLOR 1970). FISCHL *et al.* (2004) identifizierten an Distelsamen zudem 20 verschiedene Pathogengattungen und sehen dies als einen der Gründe für die schlechte Keimfähigkeit.

4.3.2.2 Einfluss von Kulturmaßnahmen im Langzeitversuch

Der Umfang der Blüte erwies sich als abhängig von der Anzahl der Sprosse in der jeweiligen Parzelle, sodass pflanzenbauliche Maßnahmen kaum direkten Einfluss hatten. Die Qualität der Samen (TKM und Keimfähigkeit) zeigte ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten.

Das Schlegeln verhinderte auch in der niedrigen Frequenz die Blüte im Klee gras vollständig. Bei optimaler Bestandesführung beeinflusste die hohe Schlegelfrequenz die Blüte der Distel im folgenden Weizenjahr (Tab. 3.7): Im Jahr 2003 war der Anteil der den Bestand überragenden – und damit potenziell blühenden Sprosse – in den im Vorjahr häufig geschlegelten Varianten geringer. Nachhaltig beeinträchtigt wurde somit weniger das vegetative Wachstum, sondern vielmehr die Blüte. Auch ZIMDAHL *et al.* (1991) stellten fest, dass die Blüte von *C. arvensis* durch ungünstige Umweltbedingungen stärker in Mitleidenschaft gezogen wird als das Wachstum der Sprosse.

4.3.2.3 Etablierung von Keimlingen

Anders als annuelle Arten benötigt *C. arvensis* die generative Vermehrung nicht, um sich an einem einmal besiedelten Standort zu halten. Die von den Wurzeln ausgehende allelopathische Wirkung behindert vermutlich sogar das Auflaufen von Keimlingen innerhalb eines Nestes (BENDALL 1975). Für die Besiedlung neuer Standorte und die Erhaltung der genetischen Variabilität ist die Ausbreitung über Samen allerdings unabdingbar (HEIMANN & CUSSANS 1996, WATKINSON & POWELL 1993).

In Feldversuchen treten Distelkeimlinge nur selten auf. OESAU (1992) fand auf 750 m² Ackerfläche in der Nachbarschaft von Distelnestern nur vier Keimlinge. In Untersuchungen von POETSCH (2006) waren Keimlinge in einer mehrjährigen Fruchtfolge ebenfalls ohne Bedeutung, obwohl die Distel vegetativ stark in Erscheinung trat. COLBACH *et al.* (2000) fanden dagegen bis zu 8,6 Keimlinge pro m² in *Glycine max*, trotz sorgfältiger mechanischer und chemischer Bekämpfung der Distel. Im Grünland sind Keimlinge ebenfalls selten: BOURDÔT *et al.* (2006) fanden in ihren Versuchsflächen keine Keimlinge, obwohl der Samenvorrat im Boden über drei Versuchsjahre anstieg. EDWARDS *et al.* (2005) brachten in einem Beweidungsversuch 1000 *C.-arvensis*-Samen pro m² aus. Im Freiland keimte keiner der Samen, obwohl die Rate im Gewächshaus-Keimtest bei 70 % lag. In anderen Untersuchungen lief eine geringe Anzahl von Keimlingen ausschließlich in frisch umgebrochenen Grünland auf (EDWARDS *et al.* 2000). TILEY (2010) kommt in seinem Review zu dem Schluss, dass normalerweise keine Keimlinge auftreten. Dies war auch im **Langzeitversuch** der Fall: Während der Sprosszählungen auf der Weendelsbreite wurden jeweils mehr als 500 m² pro Feldstreifen intensiv kontrolliert. Trotzdem wurden nur im Jahr 2003 insgesamt sechs Keimlinge gefunden, die sich nicht dauerhaft etablieren konnten. In den Jahren 2002 und 2003 wurden die Zählungen in

den Parzellen allerdings bereits in der ersten Maihälfte durchgeführt. Möglicherweise war dieser Zeitpunkt zu früh, um alle Keimlinge erfassen zu können. Außerdem wurden in den Parzellen in der zweiten Versuchsphase alle *C.-arvense*-Sprosse einschließlich Blüten geerntet, was ebenfalls zu einer Verminderung der Keimlingszahlen geführt haben könnte.

Auch im **Anbausystemversuch** liefen nur im Jahr 2002 Keimlinge auf, die sich ebenfalls nicht langfristig etablierten (Abb. 3.31). Die Keimlinge traten gehäuft in drei Bereichen des Schlages auf, was vermuten lässt, dass die Samen jeweils aus nur einem oder wenigen Blütenköpfchen stammten. Im Bereich C war im Vorjahr die vegetative Entwicklung von Distel sprossen beobachtet worden, die alle bis zur Ernte keine Samen bilden konnten (s. 3.3.3.1). Berücksichtigt man die wenig persistente Samenbank der Distel, stammen die Samen, aus denen die Keimlinge aufliefen, vermutlich von den blühenden Disteln im Randstreifen.

In den dichteren Bereichen des Haferbestands (B und C) bewirkte die stärkere Beschattung eine Wachstumsverzögerung der Keimpflanzen. Die Mortalitätsrate erreichte in diesen Bereichen 100 %, während im lichterem Bereich A einige Keimlinge bis zum Herbst überlebten. Auffällig war in allen drei Bereichen die starke Schädigung durch Schnecken. GRIME *et al.* (1968) stellten in Fraßversuchen mit *Cepaea nemoralis* fest, dass die Acker-Kratzdistel als Futterpflanze gerne angenommen wird. Die noch weichblättrigen und nicht mit harten Stacheln bewehrten Keimlinge erwiesen sich dabei als besonders gefährdet. In Untersuchungen von EDWARDS *et al.* (2000) hatte der Ausschluss von Schnecken allerdings keinen Einfluss auf die Überlebensrate der Keimlinge. Sie vermuten, dass dies auf die sehr geringe Keimlingsdichte in ihre Versuchsflächen zurückzuführen ist.

Unter guten Wachstumsbedingungen ist die Acker-Kratzdistel in der Lage, mechanische Schädigungen schon in frühen Entwicklungsstadien zu überstehen: WILSON (1979) schnitt Keimlinge verschiedenen Alters an der Bodenoberfläche ab. Während sich Keimlinge im Keimblattstadium nicht regenerieren konnten, stellte er bei bis zu 50 % der Keimlinge mit zwei Laubblättern schon nach wenigen Tagen weiteres Wachstum fest. Mit steigender Entwicklungsdauer vor dem Abschneiden stieg auch der Prozentsatz der erfolgreichen Regeneration. Im Anbausystemversuch starben die geschädigten Keimlinge vor allem in den Bereichen B und C ab. Im weniger stark beschatteten Bereich A ermöglichte das zügigere Wachstum das Überleben der Jungpflanzen.

Im **Modellversuch** konnte das Wachstum von Keimlingen beginnend mit der Aussaat beobachtet werden:

Die **Lebensfähigkeit** von *C.-arvense*-Samen hängt von den Lagerungsbedingungen ab: Samen, die im Feld 20 cm tief eingegraben wurden, keimten zum Teil noch nach 22 Jahren (MADSEN 1962, *zit. in*: DONALD 1994). Unter trockenen Laborbedingungen gelagerte Samen hatten in Untersuchungen von BAKKER (1960) ihre Keimfähigkeit nach 2,5 Jahren vollständig

verloren. Auch die Samen, die 2001 in der Betonrahmenanlage ausgesät wurden, waren vorher 2 Jahre bei Zimmertemperatur trocken gelagert worden und keimten nicht mehr.

Frisch geerntete Distelsamen keimen unterschiedlich schnell und Untersuchungen zur **Dormanz** der Samen kommen zu verschiedenen Ergebnissen: (1) *C. arvense* besitzt eine ausgeprägte Keimruhe (BOSTOCK 1978, WILLIAMS 1966), (2) Ein kleiner Teil der Samen ist nach einer kurzen Phase der primären Dormanz schnell keimfähig, während die übrigen Samen über mehrere Monate sekundär dormant sind (ROBERTS & CHANCELLOR 1979, BAKKER 1960). (3) Die Samen sind unter günstigen Umweltbedingungen sofort keimfähig (HEIMANN & CUSSANS 1996, DONALD 1994, KAY 1985). Ursache für die unterschiedlichen Bewertungen könnten die von HODGSON (1964) festgestellten Unterschiede im Keimverhalten zwischen Ökotypen sein. In den eigenen Untersuchungen war die Dormanz der im Modellversuch 2002 verwendeten Samen unterschiedlich stark ausgeprägt. Alle Samen wurden im Juli gesammelt, hatten also bis zur Aussaat bereits eine dreimonatige Lagerungs- und Nachreifezeit hinter sich. Die im Oktober ausgesäten Samen keimten im Freiland erst im Frühjahr, während im beheizten und beleuchteten Gewächshaus ein sehr geringer Teil der Keimlinge bereits im Herbst und Winter aufblüht. Der größte Teil der Keimung erfolgte aber auch hier erst im Frühjahr. Die Ergebnisse entsprechen dem Typ (2): Ein Teil der Samen keimte sofort, bei den übrigen folgte eine Phase der sekundären Dormanz, die erst durch günstige Bedingungen im Frühjahr bzw. in den beschatteten Varianten im Spätsommer gebrochen wurde.

Der **Zeitpunkt der Keimung** von *C.-arvense*-Samen wird durch Lichteinstrahlung stimuliert (KUMAR & IRVINE 1971, BAKKER 1960) und außerdem durch die Temperatur beeinflusst. Das Temperaturoptimum liegt bei etwa 30 °C (AMOR & HARRIS 1974, BAKKER 1960) und niedrige Temperaturen im Herbst verhindern die Keimung frischer Samen fast vollständig. Werden die Samen vor der Aussaat über zwei Wochen Temperaturen von etwa 3 °C ausgesetzt, erhöht sich die Keimrate bei niedrigen Temperaturen und wird durch hohe Lichteinstrahlung weiter gesteigert (BOSTOCK 1978, AMOR & HARRIS 1974). Dadurch wird sichergestellt, dass der größte Teil der Keimlinge erst im Frühjahr aufläuft und die gesamte Vegetationsperiode für das Wachstum nutzen kann (KUMAR & IRVINE 1971). Der Höhepunkt der Keimung von *C. arvense* liegt im Mai (DONALD 1994, ROBERTS & CHANCELLOR 1979, BAKKER 1960), so auch unter ungestörten Bedingungen im Gewächshaus-Keimtest und in der Kontrollvarianten des Modellversuchs. Allerdings ist der Keimzeitpunkt nicht endogen festgelegt, sondern wird durch Umweltfaktoren mitbestimmt (KUMAR & IRVINE 1971). Dies zeigt sich auch im Modellversuch: In den beschatteten Parzellen liefen im Frühjahr nur wenige Keimlinge auf und im Spätsommer folgte nach dem Entfernen der Beschattung eine zweite Keimwelle (Abb. 3.23, Tab. 3.26).

Die **Keimrate** im Frühjahr reagierte differenziert auf unterschiedliche Lichtstärken und nahm mit zunehmender Beschattung ab. In Versuchen von EDWARDS *et al.* (2000) und AMOR &

HARRIS (1975) zeigte sich ebenfalls der Einfluss der Lichtkonkurrenz auf die Keimrate: In Grünlandparzellen mit geschlossener Vegetationsdecke liefen keine Keimlinge auf, in lückigen Beständen keimten nur wenige der ausgebrachten Samen. In offenen Bereichen war die Keimrate dagegen deutlich höher. In den Modellversuchen waren die Keimraten insgesamt niedrig und im Freiland wesentlich geringer als im Gewächshaus. Grund hierfür war vermutlich nicht mangelnde Qualität des Saatgutes. Es wurden nur optisch einwandfreie, gut gefüllte Samen verwendet, und die TKM war mit 1,4 g im Jahr 2002 und 0,98 g im Jahr 2003 vergleichsweise hoch. LLOYD & MYALL (1976) ermittelten für Distelsamen eine TKM von 0,95 g, BOSTOCK (1978) von 1,8 g. HÄNI & ZÜRCHER (2000) konnten für Samen mit einer Tausend-kornmasse von 0,4 bis 1,3 g zeigen, dass die Keimrate mit steigender TKM zunimmt.

Niedrige Keimraten sind für *C. arvensis* unter Freilandbedingungen nicht ungewöhnlich: AMOR & HARRIS (1975) ermittelten trotz geringer Konkurrenz Raten von nur 6,8 und 12,6 %, in Untersuchungen von HÄNI und ZÜRCHER (2000) lagen die Keimraten bei 7 bis 45 %. Im Gewächshaus keimen die Samen im Allgemeinen in größerem Umfang von bis zu 54 % (ZWERGER 1996), 65,8 % (LLOYD & MYALL 1976) und 70 % (EDWARDS *et al.* 2005). Während unter Glas gleichmäßig günstige Bedingungen für die Keimung herrschen, sind die Samen im Freiland schon vor der Keimung Prädatoren und Pathogenen ausgesetzt (CHANCELLOR 1970). Samenprädation führte in Versuchen von HOLMES & FROUD-WILLIAMS (2005) innerhalb einer Woche zu einem Verlust von etwa 50 % der ausgebrachten *C.-arvensis*-Samen. Auch können Umweltbedingungen wie zum Beispiel Trockenheit die Keimung verhindern oder zum schnellen Absterben der Keimpflanzen führen (BOND 2008), was vermutlich der Grund für die geringe Keimrate in den Kontrollparzellen des Modellversuchs 2003 war. Insbesondere waren auch die im Oktober 2001 ausgesäten Samen Umweltfaktoren über einen längeren Zeitraum ausgesetzt.

Ein Teil der im Frühjahr aufgelaufenen Keimlinge starb bis zur Ernte wieder ab. Die **Mortalität** nahm dabei in allen Versuchsjahren mit steigender Beschattung zu. Im Jahr 2003 wurde die Überlebensrate außerdem durch die anhaltende Trockenheit wie in den Untersuchungen von WILSON (1979) und BAKKER (1960) weiter herabgesetzt. Die Acker-Kratzdistel ist in frühen Keimlingsstadien sehr empfindlich gegenüber Konkurrenz, gegen mechanische Schädigung und Pilzinfektionen (EDWARDS *et al.* 2000, HOLM *et al.* 1977, BAKKER 1960). Dieses anfällige Stadium verlängert sich bei Keimlingen, die unter Lichtkonkurrenz und daher langsamer wachsen (BAKKER 1960). In den Untersuchungen von BAKKER starben die Distelkeimlinge bei Lichtintensitäten unter 20 % ab, während eine Beschattung von 60 bis 70 % ihre Entwicklung verzögerte. Obwohl die Beschattung im Modellversuch teilweise höher als 80 % war, überlebte hier ein Teil der Jungpflanzen.

Nach der Keimung bildet *C. arvensis* ohne Konkurrenzeinfluss zunächst eine fein verzweigte senkrechte Pfahlwurzel, die schon vor der Entwicklung der ersten Laubblätter eine Tiefe von

5 bis 10 cm erreichen kann. Nach vier bis fünf Wochen bilden sich horizontale Wurzeläusläufer, nach sechs bis acht Wochen zeigen sich dann die ersten Wurzelsprosse an der Oberfläche. Die verstärkte Assimilation ermöglicht die Erweiterung des Wurzelsystems und die Bildung verdickter Wurzelbereiche für die Reservestoffspeicherung (HAMDOUN 1972, SAGAR & RAWSON 1964, BAKKER 1960). STROBACH *et al.* (2008) stellten fest, dass Distelsprosse ihr Wachstum früher einstellen als die Wurzeln, die bis zum Ende der Vegetationsperiode an Masse zunahmten. LEATHWICK *et al.* (2006) ermittelten einen Anstieg des Spross-Wurzel-Verhältnis während der ersten 100 Tage nach der Keimung. Anschließend verschob sich das Verhältnis auch in dieser Untersuchung zugunsten des Wurzelwachstums.

Im Modellversuch entwickelten sich in den Kontrollparzellen bis zur Ernte regelmäßig kräftige Sprosse mit ausgedehntem Wurzelsystem. In den beschatteten Parzellen produzierten die Keimlinge dagegen kaum **Biomasse**. In Versuchen von ZIMDAHL *et al.* (1991) führte abnehmende Lichtintensität ebenfalls zu vermindertem Substanzaufbau, wobei insbesondere die unterirdische Biomasse beeinträchtigt wurde. Auch bei anderen Pflanzenarten erweitert sich das Verhältnis von Spross zu Wurzel unter Beschattung (PATTERSON 1979, COOPER 1966). Im Modellversuch wurde mit zunehmender Beschattung ebenfalls relativ mehr assimilierendes Gewebe gebildet und der Quotient aus Spross- und Wurzelmasse nahm zu.

Die Keimpflanzen zeigten allerdings auch in den unbeschatteten Parzellen relativ wenig Zuwachs. Im Modellversuch wurden im Jahr 2002 etwa drei Monate nach dem Auflaufen 4,2 g Trockenmasse pro Pflanze ermittelt. Im Jahr 2001 lag die mittlere Trockenmasse der im Modellversuch geernteten Disteln bei 24,1 g pro Pflanze. STROBACH *et al.* (2008) stellten fest, dass aus Wurzelstücken gezogene Jungpflanzen während einer Vegetationsperiode signifikant mehr Biomasse bilden als Keimpflanzen. Dies ließ sich im Modellversuch nicht bestätigen: Im Jahr 2001 gab es keinen Unterschied zwischen der Vermehrung aus Wurzelstücken und der aus Samen. Allerdings wurden in diesem Versuchsansatz im Gewächshaus vorgezogene Jungpflanzen verwendet und die Ernte erfolgte bereits nach 90 Tagen. STROBACH *et al.* säten die Disteln direkt im Freiland in Töpfe aus und verfolgten das Wachstum bis in den Oktober. ZIMDAHL *et al.* (1991) ernteten zwölf Wochen nach dem Auspflanzen von Wurzelstücken 53 g Sprossmaterial und 9,5 g Wurzelmasse pro Pflanze. Auch dies ist deutlich mehr als im Modellversuch, allerdings wurde der Versuch von ZIMDAHL *et al.* unter kontrollierten Gewächshausbedingungen durchgeführt.

Ebenso wie die Biomasse unterschied sich im Modellversuch auch die **Bildung von Wurzelsprossen** zwischen den Varianten. Während die Jungpflanzen in den Kontrollparzellen erste Wurzelsprosse bildeten, war in den beschatteten Varianten meist nur der ursprüngliche Keimling vorhanden. Im Jahr 2002 zeigten sich in der unbeschatteten Kontrolle die ersten Wurzelsprosse in der ersten Juliwoche, etwa acht bis neun Wochen nach der Keimung. Die Keimlinge in den Beschattungsvarianten wuchsen langsamer und die vereinzelt Wurzels-

sprosse erschienen erst zwei Wochen später. Durch die unterschiedliche Wachstumsgeschwindigkeit befanden sich Jungpflanzen in den drei Varianten zur Ernte in verschiedenen Entwicklungsphasen: In der Variante mit hoher Weizenaussaatstärke befanden sich die Keimlinge im August noch in einem frühen Stadium. Es hatten sich kaum Wurzelsprosse gebildet und es waren nur wenige Wurzelknospen sichtbar. Die Variante mit niedriger Beschattung zeigte den Übergang zur vermehrten Ausbildung assimilierenden Gewebes. Das Verhältnis von Spross zu Wurzel war hier am höchsten, ebenso die Anzahl der unterirdischen Sprosse und Wurzelknospen bezogen auf die Wurzelbiomasse (Tab. 3.24). Die Veränderung der Anzahl der Wurzelknospen pro g Trockenmasse widerspricht Angaben aus der Literatur. Dort nahm unter Konkurrenz die absolute Anzahl der Wurzelknospen mit der Wurzelbiomasse ab, die relative Anzahl blieb aber gleich (CRIPPS *et al.* 2010, LEATHWICK *et al.* 2006). In der unbeschatteten Kontrolle hatte sich eine Vielzahl assimilierender Wurzelsprosse gebildet, das Wurzelsystem breitete sich aus und zeigte Bereiche mit verdickten Speicherwurzeln. Hier hatten sich die Jungpflanzen bereits vegetativ etabliert und das Spross-Wurzel-Verhältnis wurde wieder enger.

Während die Versuchsjahre vergleichbare Ergebnisse in Bezug auf Keimung und Mortalität lieferten, unterschieden sie sich im **Längenwachstum** der Keimpflanzen. Die verlangsamte Entwicklung der Keimlinge unter Konkurrenz spiegelte sich im Jahr 2002 in der Sprosslänge wieder. Die durch den Weizen beschatteten Keimlinge entwickelten bis zur Ernte nur zwei bis vier Laubblätter und blieben niedrig. In den Kontrollparzellen, unter voller Lichteinstrahlung, waren die Keimlinge und ihre Wurzelsprosse bis zum Erntetermin bereits in die Länge gewachsen. In den künstlich beschatteten Varianten wuchsen die Disteln dagegen zunächst schneller in die Höhe, bildeten dabei aber wenig Biomasse.

Viele Pflanzenarten zeigen unter Beschattung zunächst verstärktes Längenwachstum, bilden nur dünne Stängel und wenig Blätter (shade avoidance response). Dazu gehören zum Beispiel *Potentilla reptans* (LIU *et al.* 2007), *Impatiens capensis* (DUDLEY & SCHMITT 1996) und *Datura ferox* (BALLARÉ *et al.* 1988). Reicht im Extremfall die photosynthetische Produktion nicht mehr aus, stellen die Pflanzen das Wachstum ein. Unbeschattete Pflanzen wachsen zunächst langsamer in die Höhe, sind dafür aber kräftiger (SMITH 1982). Die Reaktion wird dabei häufig durch eine Absenkung des Rot/Dunkelrot-Verhältnis ausgelöst und nicht direkt durch die Reduktion der Lichtintensität (PAGE *et al.* 2010, VAN HINSBERGEN & VAN TIENDEREN 1997, NOVOPANSKY 1991). In anderen Fällen werden Merkmale unterschiedlich beeinflusst, je nachdem ob sich die Lichtqualität oder die Lichtintensität ändert (DALE & CAUSTON 1992, MÉTHY *et al.* 1990, THOMPSON & HARPER 1988). Wenn in Pflanzenbeständen das einfallende Licht durch Blätter gefiltert wird, sinkt das Rot/Dunkelrot-Verhältnis ab (THOMPSON & HARPER 1988). Bei Beschattungsgewebe ist das nicht unbedingt der Fall. Unter den im Modellversuch verwendeten Beschattungsmaterialien wurde keine Messung der Lichtqualität

vorgenommen. Es ist aber möglich, dass die Unterschiede in der Reaktion der Jungpflanzen auf die unterschiedlichen Beschattungsmethoden zurückzuführen sind.

Der Wachstumsverlauf der Keimlinge im Jahr 2002 unterschied sich ebenfalls vom Längenwachstum vegetativer Sprosse in den etablierten Nestern der Feldversuche, die auf Beschattung mit verstärktem Wachstum reagierten. MONACO & BRISKE (2000) konnten für Keimling und ältere Pflanzen des perennierenden Grases *Schizachyrium scoparium* ebenfalls unterschiedliche Reaktionen auf Beschattung nachweisen. Keimlinge von *Solanum elaeagnifolium* zeigen ein ähnliches Wachstumsverhalten wie *C. arvensis*-Keimlinge: Sie erwiesen sich als empfindlich gegenüber Beschattung und die Höhe der Keimpflanzen sank mit abnehmender Lichtintensität. Der Neuaustrieb zurückgeschnittener etablierter Pflanzen reagierte auf Beschattung dagegen mit verstärktem Längenwachstum (BOYD & MURRAY 1982). *S. elaeagnifolium* ähnelt *C. arvensis* auch in anderer Hinsicht. Es handelt sich um eine ausdauernde Art gestörter Habitate mit einem ausgedehntem Wurzelsystem, das eine hohe Regenerationsfähigkeit besitzt. Die Ausbreitung über Samen tritt gegenüber der vegetativen Vermehrung in den Hintergrund (OEPP/EPPO 2007). Für *C. arvensis*, wie auch für *Solanum elaeagnifolium*, könnte ein Wechsel in der Wachstumsstrategie sinnvoll sein: Eine Besiedlung neuer Standorte ist vor allem in gestörten Bereichen mit relativ niedrigen, lichten Pflanzenbeständen erfolgversprechend. In diesen Habitaten sind die Keimlinge vornehmlich der Konkurrenz durch annuelle Pionierarten ausgesetzt, die verhältnismäßig früh in der Vegetationsperiode wieder absterben. Die Acker-Kratzdistel kann durch eine Intensivierung des Wachstums im konkurrenzärmeren Spätsommer genügend Reservestoffe für die Überwinterung einlagern. Die Sprosse etablierter Nester befinden sich dagegen meist in Vegetationsgesellschaften späterer Sukzessionsstadien. Hier geht die Lichtkonkurrenz in der Regel von anderen ausdauernden Arten aus, sodass das Mitwachsen in höhere Bestandesschichten notwendig ist.

Anders als bei ÖZER (1969) beschrieben, blühten die Jungpflanzen im Modellversuch schon im ersten Jahr. In der unbeschatteten Kontrolle bildeten in allen Versuchsjahren einige Sprosse Knospen und gelangten zur **Blüte**. Auch in Untersuchungen von STROBACH *et al.* (2008) und LEATHWICK *et al.* (2006) blühten die Disteln schon in der ersten Vegetationsperiode nach der Aussaat. HEIMANN (1996) stellte fest, dass Mitte Mai ausgesäte Pflanzen im Sommer blühten, während die Pflanzen aus einer Aussaat Mitte Juni so gut wie keine Blütenköpfchen bilden konnten.

Die Fähigkeit zur **Überwinterung** von Jungpflanzen wurde nur anhand der im Spätsommer 2002 aufgelaufenen Keimlinge geprüft. Unter niedrigeren Temperaturen, wie sie im Herbst vorherrschen, verstärkt sich das Wurzelwachstum im Vergleich zum Sprosswachstum, und das Längenwachstum der Sprosse setzt nur bei Tageslängen von 16 Stunden ein (HUNTER & SMITH 1972). Dementsprechend bildeten die im August und September im Modellversuch aufgelaufenen Keimlinge nur Rosetten und keine verlängerten Sprosse. Im Herbst 2002 wa-

ren die Bedingungen für die Jungpflanzen optimal: Das Wetter war bis in den November mild und feucht, in den Betonrahmen wurde der Boden im Herbst nicht bearbeitet und es war kaum Konkurrenz durch anderen Bewuchs vorhanden. So war es den Jungpflanzen möglich, genügend Reservestoffe einzulagern und trotz des folgenden kalten Winters im Frühjahr wieder auszutreiben. Auch HÄNI & ZÜRCHER (2000) konnten zeigen, dass die Überwinterung von Herbstkeimlingen möglich ist. BAKKER (1960) stellte dagegen fest, dass im August aufgelaufene Disteln keine Überdauerungsorgane bilden konnten. Beide machen keine Angaben über die Witterung während des Versuchszeitraums und weitere Wachstumsbedingungen.

4.3.2.4 Schlussfolgerungen

Während die qualitative Bedeutung der Samenausbreitung für die Besiedlung neuer Standorte unbestritten ist, wird das quantitative Ausmaß der Etablierung von Keimlingen diskutiert. Untersuchungen im Acker und in Brachflächen zeigen, dass die genetische Variabilität innerhalb von *C.-arvense*-Populationen sehr hoch ist, was auf eine regelmäßige Rekrutierung von Keimlingen hinweist (SLOTTA *et al.* 2006, HETTWER & GEROWITT 2004, SOLÉ *et al.* 2004). Andererseits zeigen die Ergebnisse von Feldversuchen, dass Distelkeimlinge im Ackerbau nur sehr selten auftreten und sich in der Regel nicht etablieren können.

Die Blüte ist abhängig vom Erfolg des vegetativen Wachstums und wird unter ungünstigen Bedingungen stärker beeinträchtigt als die Bildung von Wurzelsprossen. Wenn doch Blütenköpfchen im Feld abreifen oder Samen von außen zufliegen, kommen weitere Faktoren zum Tragen: *C. arvense* bildet keine persistente Samenbank, die Samen besitzen keine hohe Keimfähigkeit und die Keimlinge sind empfindlich gegenüber ungünstigen Wachstumsbedingungen. Sie sind auf gestörte Standorte angewiesen, die im weiteren Verlauf ein ungestörtes Wachstum ermöglichen. Brachflächen mit zumindest einzelnen zunächst offenen Bereichen bieten diese Voraussetzungen. In vielen Ackerbaukulturen steigt dagegen die Lichtkonkurrenz im Frühjahr schnell an und durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen kommt es immer wieder zu Störungen. Unter diesen Bedingungen ist es *C.-arvense*-Keimlingen kaum möglich, sich dauerhaft anzusiedeln. In Einzelfällen ist eine Etablierung zwar denkbar, als regelmäßiges Ereignis aber praktisch ausgeschlossen. Die hohe genetische Variabilität der Distel in Ackerflächen stellt vermutlich das Ergebnis einer langfristigen Entwicklung mit wiederholten vereinzelt Etablierungen dar. Möglich ist auch, dass sich in einem Jahr mit optimalen Wachstumsbedingungen für *C. arvense* mehrere Keimlinge etablieren konnten. In diesem Fall müsste allerdings ein ungestörtes Wachstum der Jungpflanzen über einen längeren Zeitraum möglich gewesen sein. Im Randbereich der Flächen ist auch eine Einwanderung aus der Randvegetation denkbar.

Um auch die vereinzelt Ansiedlung von Keimlingen zu verhindern und eine Neubesiedlung von Brachflächen zu vermeiden, ist eine Begrenzung der Blüte und der Samenbildung sinnvoll. Da die Bildung von Blüten direkt von der Sprossdichte abhängt, vermindern alle Maßnahmen, die die Sprossbildung reduzieren, auch den Blüherfolg. Früh an der Oberfläche erscheinende Sprosse haben eine höhere Chance Blüten zu bilden, sodass bereits frühzeitig konkurrenzstarke Bestände wichtig sind. Dichte, nicht zu niedrige Bestände verzögern das Einsetzen der Blüte und damit das Abreifen der Samen.

Durch ihre Empfindlichkeit gegenüber Lichtkonkurrenz ist es *C.-arvensis*-Keimlingen kaum möglich, sich in wüchsigen Getreidebeständen dauerhaft anzusiedeln. Maßnahmen, die die Konkurrenzwirkung der Kultur erhöhen, senken somit auch die Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Keimung. Diese erfolgt im Frühjahr zu einem Zeitpunkt, zu dem die Bestände meist schon relativ weit entwickelt sind, und die Keimlinge werden durch früh einsetzende Konkurrenz stärker beeinträchtigt als die Wurzelsprosse. Anders als bei etablierten Nestern, deren Sprosse schon ab März an der Bodenoberfläche erscheinen (DONALD 1994, ÖZER 1969), fällt der Beginn der Wurzelsprossbildung bei Jungpflanzen in einen Zeitraum mit ausgeprägtem Konkurrenzdruck durch den Kulturpflanzenbestand, wodurch die vegetative Ausbreitung stark beeinträchtigt wird. In größeren Bestandeslücken können sich die Keimlinge allerdings über längere Zeit ungestört entwickeln und unbemerkt schon im ersten Jahr kleine Nester bilden, die durch einmalige Maßnahmen nicht mehr beseitigt werden können. Insbesondere wenn in der Umgebung im Vorjahr blühende Distelbestände vorhanden waren, sollten solche Lücken auf das Auftreten von Distelkeimlingen kontrolliert werden.

Da die Keimlinge unter den Konkurrenzbedingungen von Kulturpflanzenbeständen bis zur Ernte in einem frühen Entwicklungsstadium verbleiben, können sie schon durch Stoppelbearbeitungsmaßnahmen und erst recht durch eine Herbstfurche vernichtet werden. Die Wichtigkeit der Bodenbearbeitung bezieht sich also nicht nur auf etablierte vegetative Nester, sondern dient auch der Unterbrechung des generativen Zyklus. Erfolgt die Bodenbearbeitung erst nach Ende der Vegetationsperiode oder im Frühjahr und sind die Wachstumsbedingungen günstig, können die Jungpflanzen unter Umständen bereits ausreichend Reservestoffe eingelagert haben, um den erneuten Austrieb im Frühjahr sicherzustellen.

5. Zusammenfassung

Cirsium arvense (L.) Scop. stammt ursprünglich aus Eurasien, hat sich inzwischen aber weltweit in den gemäßigten Zonen ausgebreitet. Sie gilt in vielen Regionen als eines der bedeutendsten Wurzelunkräuter im Ackerbau. Die Acker-Kratzdistel wächst klonal und ist in der Regel nestartig über die Fläche verteilt. Sie kann sich sowohl vegetativ über ihr ausgedehntes Wurzelsystem als auch generativ über Samen verbreiten. Aus der Betrachtung der Wachstumsstrategie der Distel können Ansatzpunkte für direkte und indirekte Bekämpfungsmaßnahmen abgeleitet werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Wachstumsstrategie von *C. arvense* in den unterschiedlichen Phasen des Entwicklungszyklus in Feld- und Modellversuchen analysiert. Gleichzeitig wurde die vegetative und generative Entwicklung der Distel unter dem Einfluss verschiedener nicht-chemischer pflanzenbaulicher Maßnahmen untersucht.

Die Strategie der Acker-Kratzdistel erwies sich als typisch für eine perennierende Art. Unter guten Wachstumsbedingungen erfolgte eine starke vegetative Ausbreitung der Distelnester, aber auch in Jahren mit ungünstigen Bedingungen blieb *C. arvense* vegetativ mit vereinzelt Wurzelsprossen am Standort präsent. Im Vergleich zu einjährigen Arten wurde wenig in die generative Vermehrung investiert. Der Umfang der Blüte hing vom Erfolg des vegetativen Wachstums ab und der Aufbau einer umfangreichen persistenten Samenbank blieb aus. Die Art erwies sich sowohl in ihrer generativen als auch in ihrer vegetativen Entwicklung als empfindlich gegenüber Lichtkonkurrenz. Insbesondere Keimlinge zeigten in Modellversuchen unter verminderter Lichtintensität geringere Keimraten, erhöhte Mortalität und verzögertes Wachstum. Allerdings reagierte die Distel schnell auf sich ändernde Konkurrenzbedingungen: Nach dem Wegfall der Lichtkonkurrenz im Spätsommer erfolgte eine weitere Keimwelle. Auch vegetativ konnte sich die *C.-arvense*-Population nach der Ernte durch die verstärkte Bildung von Sprossen regenerieren. Die erste Wachstumsphase etablierter Nester erfolgte im Frühjahr in den noch jungen Kulturpflanzenbeständen.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen zum Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen stand ein Langzeitversuch, aus dem Daten ab 1988 vorlagen. Die erste Versuchsphase, mit der Fruchtfolge Rüben – Winterweizen – Wintergerste, erstreckte sich von 1988 bis 1999. In diesem Zeitraum wurde die Sprossdichte von *C. arvense* in einer mit mineralischem Stickstoff gedüngten und einer ungedüngten Variante verglichen: Über die Jahre nahm die Sprossdichte in der ungedüngten Variante, trotz mechanischer Bekämpfung in den Rüben, immer weiter zu. In der gedüngten Variante kam es dagegen zu keiner verstärkten Ausbreitung.

In der zweiten Versuchsphase von 1999 bis 2003 wurde die Fruchtfolge auf Klee gras (einjährig) – Winterweizen – Winterweizen umgestellt. Die in der ersten Phase ungedüngte Variante, in der sich dichte Distelnester entwickelt hatten, wurde in eine gedüngte Variante umgewandelt, zuvor gedüngte Varianten erhielten keine Stickstoffgaben mehr. Wie in der ersten Versuchsphase kam es schnell zu einer Ausbreitung von *C. arvensis* in den jetzt ungedüngten Versuchspartzen. Der Effekt fehlender Düngung erwies sich auch als reversibel: Die etablierten Nester wurden in wenigen Jahren fast vollständig zurückgedrängt. Auch die Klee graseinsaat hatte einen ausgeprägt regulierenden Effekt und es zeigten sich Unterschiede in der Konkurrenzwirkung der verschiedenen Winterweizensorten.

Die Ergebnisse des Langzeitversuchs wurden durch Untersuchungen in einem Anbausystemversuch ergänzt. Dort wurde die Entwicklung von Distelnestern und Einzelsprossen in der Fruchtfolge Winterraps – Hafer – Winterweizen – Wintergerste erfasst. Die Ergebnisse entsprechen denen des Langzeitversuchs: Im konkurrenzstarken Rapsbestand entwickelten sich vor der Ernte nur wenige Sprosse, die in der Regel nicht das Stadium der Blüte erreichten. Im folgenden Hafer wurden dagegen im Frühjahr ausgedehnte Distelnester kartiert, die den Einsatz von Herbiziden notwendig machten. Der Effekt der geringen Konkurrenzkraft des Haferbestandes wurde dabei durch eine lange Phase der Bodenruhe nach der Rapserte verstärkt.

Im Frühjahr 2003 bot sich im Anbausystemversuch die Möglichkeit, das Wachstum von Keimlingen unter Feldbedingungen zu beobachten. Wie in den Modellversuchen führte die erhöhte Konkurrenz durch dichtere Bestände zu erhöhter Mortalität und Wachstumsverzögerungen. Keiner der Keimlinge konnte sich über die Vegetationsperiode hinaus etablieren.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass nicht-chemische pflanzenbauliche Maßnahmen geeignet sind, um *C. arvensis* zu kontrollieren. Besonders wirksam sind Maßnahmen, die auf eine Stärkung der Konkurrenzwirkung durch die Kulturpflanzenbestände abzielen: Dichte Bestände, die schon früh in der Vegetationsperiode Konkurrenzdruck ausüben, begrenzen die vegetative Ausbreitung der Distel und verhindern die Etablierung von Keimlingen. Isolierte Maßnahmen – einschließlich einmaliger Herbizideinsätze – reichen für die dauerhafte Kontrolle von *C. arvensis* allerdings nicht aus. Als mehrjährige Art ist die Acker-Kratzdistel daran angepasst, auch Phasen mit ungünstigen Wachstumsbedingungen zu überdauern. Erfolgversprechend ist daher nur eine langfristige Strategie unter Einbeziehung von Düngung, Fruchtfolge, Sortenwahl und Bodenbearbeitung ebenso wie von direkten Bekämpfungsmaßnahmen.

6. Abstract

Cirsium arvense (L.) Scop. is a clonal plant originally native to Europe and Asia. Today, it has spread throughout the temperate zones of the world and is one of the most important perennial weeds. Creeping thistles grow in patches. They can spread vegetatively via their extensive root system and generatively via wind-dispersed seeds. Surveying the growth strategy of *C. arvense* makes it possible to optimize indirect and direct control measures.

This thesis analyzes the growth strategy of *C. arvense* throughout its life cycle using results from field experiments and model experiments.

The strategy of *C. arvense* proved to be typical for a perennial species. Under favourable growth conditions the thistle patches spread extensively. But even in years with unfavourable conditions *C. arvense* survived with at least a few shoots. Investment in generative spread was comparatively low. The production of flowers depended on the success of vegetative growth and the thistle population did not develop a large persistent seed bank. *C. arvense* proved to be highly susceptible to competition for light in the vegetative cycle as well as in the generative cycle. Seedlings in particular turned out to be vulnerable. In model experiments, they displayed lower rates of germination, higher mortality, and reduced growth rates when growing in the shade. But *C. arvense* responded fast to changes in competition: When the shading was removed in late summer, a second wave of seedlings appeared. Vegetatively, the *C. arvense* patches were smaller and less dense in highly competitive crops. After harvest, the population regenerated by producing new shoots. A first phase of vegetative growth in established patches appeared in spring in young crop stands with low competitive ability.

The effect of cultural measures on the growth of *C. arvense* was studied in a long-term field experiment. In the first phase of this experiment, from 1988 to 1999, shoot densities of *C. arvense* were compared between fertilized plots and unfertilized plots in the rotation beets – winter wheat – winter barley. In spite of mechanical control in the beet crops in all plots, shoot densities and patch size increased in the unfertilized plots. In the fertilized plots, shoot densities remained constant. In the second phase from 1999 to 2003 the rotation was changed to grass/clover (annual) – winter wheat – winter wheat. Previously unfertilized plots were transformed into fertilized plots and plots fertilized in the previous phase were turned into unfertilized plots. As in the first experimental phase, *C. arvense* responded with rapid vegetative spread to the absence of fertilizer. But the effect turned out to be reversible as well: The patches established during the previous years disappeared almost completely within a few years of applying fertilizer. In addition to the impact of fertilization, the

grass/clover mix had a pronounced regulative effect and differences in weed suppression between wheat cultivars became apparent.

Observations in an oilseed rape – oats – winter wheat – winter barley rotation supported these results. The development of thistle patches and individual shoots resembled that of the long-term experiment. In the highly competitive rape crops only few shoots developed, which usually did not reach the flowering stage before harvest. In the subsequent oats crops extensive thistle patches developed in spring. A period of fallow after harvesting the oilseed rape reinforced the effect of the less competitive oats crops. Seedlings were very rare in all field experiments. Only in 2003, it was possible to observe seedling development under field conditions in an oats crop. As seen in the model experiments, competition for light in areas with high crop density led to higher mortality and growth retardation in the seedlings. All seedlings failed to establish beyond the end of the growing season.

The results show that it is possible to control *C. arvensis* by non-chemical cultural measures. Especially successful are measures aiming at enhancing the competitiveness of crops. Dense crop stands that exert competitive pressure early in the growing season limit vegetative spread of *C. arvensis* and prevent seedling establishment. Isolated measures, including one-time herbicide applications, are not sufficient for sustainable thistle control. As a perennial, *C. arvensis* is well adapted to outlast unfavourable periods. An effective control strategy should comprise fertilisation, crop rotation, cultivar selection, and soil cultivation as well as direct control methods.

7. Literatur

- AGES (2009): Getreide im Biologischen Landbau. Österreichische Beschreibende Sortenliste 2009, 86-96.
- ALBRECHT, H. (2004): Entwicklung der Diasporenbank in Ackerböden sechs Jahre nach der Stilllegung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX, 49-56.
- AMOR, R. L. & R. V. HARRIS (1974): Distribution and seed production of *Cirsium arvense* in Victoria, Australia. Weed Research 14, 317-323.
- AMOR, R. L. & R. V. HARRIS (1975): Seedling establishment and vegetative spread of *Cirsium arvense* (L.) Scop. in Victoria, Australia. Weed Research 15, 407-411.
- ANONYM (1991): Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) das Problem im ökologischen Landbau. Ökoring 4/91, 10-11.
- BAEHRE, T. (1993): Veränderungen des Lichtklimas im Winterweizen und Winterraps bei unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität. Diplomarbeit Universität Göttingen.
- BAKKER, D. (1960): A comparative life-history study of *Cirsium arvense* (L.) Scop. and *Tussilago farfara* L., the most troublesome weeds in the newly reclaimed polders of the former Zuiderzee. In: L. J. Harper (Ed.): The biology of weeds. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 205-222.
- BALLARÉ, C. L., R. A. SÁNCHEZ, A. L. SCOPEL & C. M. GHERSA (1988): Morphological responses of *Datura ferox* L. seedlings to the presence of neighbours: their relationships with canopy microclimate. Oecologia 76, 288-293.
- BELDE, M., A. MATTHEIS, H. ALBRECHT & B. SPRENGER (2002): Langfristige Entwicklung von *Cirsium arvense* (L.) Scop. nach der Umstellung von konventionellem zu ökologischem Landbau und integriertem Pflanzenbau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XVIII, 311-318.
- BENDALL, G. M. (1975): The allelopathic activity of Californian thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) in Tasmania. Weed Research 15, 77-81.
- BLASKÓ, D. & I. NÉMETH (2006): Efficiency and long-term effects of certain herbicides against Canada thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XX, 739-745.
- BOND, W. (2008): The biology and control of creeping thistle (*Cirsium arvense*). A review of the management of selected perennial weeds, Defra project OF0367. 39-61.
- BORTZ, J., G.A. LIENERT & K. BOEHNKE (1990). Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Springer, Berlin.
- BOSTOCK, S. J. (1978): Seed germination strategies of five perennial weeds. Oecologia 36, 113-126.
- BOSTOCK, S. J. & R. A. BENTON (1979): The reproductive strategies of five perennial Compositae. Journal of Ecology 67, 91-107.

- BOSTRÖM, U. & H. FOGELFORS (1999): Type and time of autumn tillage with and without herbicides at reduced rates in southern Sweden 2. Weed flora and diversity. *Soil & Tillage Research* 50, 283-293.
- BOURDÔT, G. W., G. A. HURRELL, D. J. SAVILLE & D. M. LEATHWICK (2006): Impacts of applied *Sclerotinia sclerotiorum* on the dynamics of a *Cirsium arvense* population. *Weed Research* 46, 61-72.
- BOYD, J. W. & MURRAY, D. S. (1982): Effects of shade on Silverleaf Nightshade (*Solanum elaeagnifolium*). *Weed Science* 30, 264-269.
- BRANDSÆTTER, L. O., H. FOGELFORS, H. FYSKE, E. GRAGLIA, R. K. JENSEN, B. MELANDER, J. SALONEN & P. VANHALA (2010): Seasonal restrictions of bud growth on roots of *Cirsium arvense* and *Sonchus arvensis* and rhizomes of *Elymus repens*. *Weed Research* 50, 102-109.
- CARLSON, S. J. & W. W. DONALD (1988): Fall-applied glyphosate for Canada thistle (*Cirsium arvense*) control in spring wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Research* 28, 37-45.
- CANZLER, B. (1990): Vergleich verschiedener Strategien der Unkrautbekämpfung – unter besonderer Berücksichtigung von Schadensschwellen – in der Fruchtfolge Rüben-Winterweizen-Wintergerste im Versuchsjahr 1988 und in Bezug auf die langfristige Entwicklung der Unkrautdichte. Diplomarbeit Universität Göttingen.
- CHANCELLOR, R. J. (1970): Biological background to the control of three perennial broad-leaved weeds. *Proceedings 10th British Weed Control Conference*, 1114-1120.
- CHRISTENSEN, S. (1993): Weed suppression in cereal varieties. Ph. D. Dissertation Danish Institute of Plant and Soil Science, Department of Weed Control, Slagelse.
- COLBACH, N., F. FORCELLA & G. A. JOHNSON (2000): Spatial and temporal stability of weed populations over five years. *Weed Science* 48, 366-377.
- COOPER, C. S. (1966): Relative Growth of Alfalfa and Birdsfoot Trefoil Seedlings under Low Light Intensity. *Crop Science* 7, 176-178.
- CORMAC, W. F. (2002): Effect of mowing a legume fertility building crop on shoot numbers of creeping thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). *Proceedings of the COR Conference*, 225-226.
- CRIPPS, M. G., G. R. EDWARDS, G. W. BOURDÔT, D. J. SAVILLE, H. L. HINZ & S. V. FOWLER (2010): Effects of pasture competition and specialist herbivory on the performance of *Cirsium arvense*. *Biocontrol Science and Technology* 20, 641-656.
- DALE, M. P. & D. R. CAUSTON (1992): The ecophysiology of *Veronica chamaedris*, *V. montana* and *V. officinalis*. I. Light quality and light quantity. *Journal of Ecology* 80, 483-492.
- DAMMER, K.-H. & C. WITTMANN (2000): Beurteilung der räumlichen Verteilung von Disteln auf einer Seebener Ackerfläche mit hohem Ausgangsbefall. In: K.-J. Hülsbergen & W. Diepenbrock (Hrsg.): *Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau*. UZU-Schriftenreihe, Sonderband, Halle, 274-285.
- DAU, A. & B. GEROWITT (2002): Langjährige Entwicklung von *Cirsium arvense* (L.) Scop. bei unterschiedlicher Stickstoffdüngung im Getreide. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XVIII*, 319-327.

- DAU, A. & B. GEROWITT (2004): Cultural Control of *Cirsium arvense* (L.) Scop. in a Cereal-based Crop Rotation. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX, 475-482.
- DAU, A., B. WASSMUTH, H.-H. STEINMANN & B. GEROWITT (2004): Keimung und Entwicklung von *Cirsium arvense* unter Lichtkonkurrenz – ein Modellversuch. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX, 169-176.
- DAVIES, A. S. (2006): When does it make sense to target the weed seed bank? Weed Science 54, 558-565.
- DE BRUIJN, S. L. & E. W. BORK (2006): Biological control of Canada thistle in temperate pastures using high density rotational cattle grazing. Biological Control 36, 305-315.
- DICKE, D., A. FRIES & R. GERHARDS (2004): Ermittlung von Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung im Braugerstenanbau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX, 413-421.
- DOCK GUSTAVSSON, A.-M. (1994): Åkertistelns förekomst och biologi. Växtskyddsnotiser 58 (3), 79-84.
- DOCK GUSTAVSSON, A.-M. (1997): Growth and regenerative capacity of plants of *Cirsium arvense*. Weed Research 37, 229-236.
- DONALD, W. W. (1990): Management and Control of Canada Thistle (*Cirsium arvense*). Rev. Weed Science 5, 193-250.
- DONALD, W. W. (1994): The Biology of Canada Thistle (*Cirsium arvense*). Rev. Weed Science 6, 77-101.
- DONALD, W. W. & M. KHAN (1996): Canada Thistle (*Cirsium arvense*) Effect on Yield Components of Spring Wheat (*Triticum aestivum*). Weed Science 44, 114-121.
- DONALD, W. W. & T. PRATO (1992): Effectiveness and economics of repeated sequences of herbicides for Canada thistle (*Cirsium arvense*) control in reduced-till spring wheat (*Triticum aestivum*). Canadian Journal of Plant Science 72, 599-618.
- DREWS, S., P. JUROSZEK, D. NEUHOFF & U. KÖPKE (2004): Optimierung der Beschattungsfähigkeit von Winterweizen als Unkrautkontrollmaßnahme. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX, 545-552.
- DUDLEY & SCHMITT (1996): Testing the adaptive plasticity hypothesis: density-dependent selection on manipulated stem length in *Impatiens capensis*. American Naturalist 147, 445-465.
- EDWARDS, G. R., G. W. BOURDÔT & M. J. CRAWLEY (2000): Influence of herbivory, competition and soil fertility on the abundance of *Cirsium arvense* in acid grassland. Journal of Applied Ecology 37, 321-334.
- EDWARDS, G. R., M. J. M. HAY & J. L. BROCK (2005): Seedling recruitment dynamics of forage and weed species under continuous and rotational sheep grazing in a temperate New Zealand pasture. Grass and Forage Science 60, 186-199.
- EERENS J. P. J., S. S. SEEFELDT, G. GARRY & M. L. ARMSTRONG (2002): Controlling Californian thistle (*Cirsium arvense*) through pasture management. New Zealand Plant Protection 55, 111-115.

- EGGENSCHWILER, L. & K. JACOT (2005): Flora und Samenvorrat während und nach Brache. *AGRARForschung* 12, 436-441.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5. Auflage. Ulmer, Stuttgart.
- ELLENBERG, H. & C. LEUSCHNER (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6. Auflage. Ulmer, Stuttgart.
- ELLENBERG, H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER, D. PAULIBEN (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Auflage. Verlag Erich Goltze, Göttingen.
- FAN, Z. W. (2002): Effect of Propagator, Nitrogen and Light on Canada Thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop). Master Thesis Universität Göttingen.
- FERRERO-SERRANO, A., T. R. COLLIER, B. A. MEALOR & T. SMITH (2008): Combined impacts of native grass competition and introduced weevil herbivory on Canada thistle (*Cirsium arvense*). *Rangeland Ecology and Management* 61, 529–534.
- FISCHL, G., I. BERES, A. DONGO, G. KAZINCZI & J. MIKULAS (2004): Fungi isolated from seeds and vegetative reproductive organs of perennial weeds (*Asclepias syriaca*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh.* XIX, 605-609.
- FITTER, A. H. & N. L. SETTERS (1988): Vegetative and reproductive allocation of phosphorus and potassium in relation to biomass in six species of *Viola*. *Journal of Ecology* 76, 617-636.
- FRANZ, K., F. KAISER & B. GEROWITT (1990): Wirkung unterschiedlich hoher Stickstoffdüngung auf Entwicklung und Samenproduktion ausgewählter Unkrautarten im Winterweizen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh.* XII, 127-135.
- GAISLER, J, V. PAVLŮ & M. HEJCMAN (2006): Effect of mulching and cutting on weedy species in an upland meadow. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh.* XX, 831-836.
- GEROWITT, B. (1999): Zum Einfluß der Stickstoffdüngung auf die Populationsdynamik annualer Unkräuter im Ackerbau. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 12, 63-64.
- GEROWITT, B. & H. BODENDÖRFER (1998): Long-term population development of *Viola arvensis* Murr. in a crop rotation. I. Field experiments. *Journal of Plant Diseases and Protection* 105 (6), 641-654.
- GEROWITT, B. & M. WILDENHAYN (1997): Ökologische und ökonomische Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes 1990-94. Mecke, Duderstadt.
- GLEMNITZ, M., L. RADICS & K. MACKENSEN (2007): Status of weed management in organic farming in the new EU member states: background, problems and solutions. 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Salem, Germany, 16.
- GRAGLIA, E., B. MELANDER & R. K. JENSEN (2006): Mechanical and cultural strategies to control *Cirsium arvense* in organic arable cropping systems. *Weed Research* 46, 304-312.

- GREKUL, C. W. & E. W. BORK (2007): Fertilization augments Canada thistle (*Cirsium arvense* L. Scop) control in temperate pastures with herbicides. *Crop Protection* 26, 668-676.
- GRIME, J. P. & D. W. JEFFREY (1965): Seedling Establishment in Vertical Gradients of Sunlight. *Journal of Ecology* 53(3), 621-642.
- GRIME, J. P., S. F. MACPHERSON-STEWART, & R. S. DEARMAN (1968): An Investigation of Leaf Palatability Using the Snail *Cepaea Nemoralis* L. *Journal of Ecology* 56 (2), 405-420.
- GRUBER, S. & W. CLAUPEIN (2009): Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil and Tillage Research* 105, 104-111.
- GÜNTER, G. (1997): Populationsbiologie seltener Segetalarten. *Scripta Geobotanica* 22.
- HAMDOUN, A. M. (1970): The effects of different levels of nitrogen upon *Cirsium arvense* (L.) Scop. plants grown from seeds and root fragments. *Weed Research* 10, 121-125.
- HAMDOUN, A. M. (1972): Regenerative capacity of root fragments of *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Weed Research* 12, 128-136.
- HANF, M. (1998): Farbatlas Wildkräuter und Unkräuter. Weltbild, Augsburg.
- HÄNI, F. & J. ZÜRCHER (2000): Vermehrung, Ausbreitung und Regulierung der Ackerkratzdistel *Cirsium arvense* – Ökoflächen im Fokus. In: W. Nentwig (Hrsg.): Streifenförmige ökologische Ausgleichsflächen in der Kulturlandschaft. Ackerkrautstreifen, Buntbrache, Feldränder. vaö – Verlag Agrarökologie, Bern.
- HARTL, W. (2003): Evaluierung verschiedener nichtchemischer Regulierungsmaßnahmen bei der Acker-Kratzdistel mit besonderer Berücksichtigung der Wurzelökologie. *FAL Landbauforschung Völkenrode SH 255*, 19.
- HARTL, W. & E. RATH (1993): Auswirkung nichtchemischer Regulierungsmaßnahmen auf Biomasse und Regenerationsvermögen der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* L.). *SÖL Sonderausgabe* 42, 118-120.
- HARTNETT, D. C. (1990): Size-dependent allocation to sexual and vegetative reproduction in four clonal composites. *Oecologia* 84, 254-259.
- HATCHER, P. E. & B. MELANDER (2003): Combining physical, cultural and biological methods: prospects for integrated non-chemical weed management strategies. *Weed Research* 43, 302-322.
- HÄUSLER, A., H. NORDMEYER & P. NIEMANN (1996): Zur Ortsstabilität von Acker-Kratzdistelnestern auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. *Mitteilungen BBA* 321, 215.
- HÄUSLER, A., A. VERSCHWELE & P. ZWERGER (2004): Bedeutung von Stoppelbearbeitung und Fruchtfolge für die Regulierung der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX*, 563-572.
- HAYDEN, A. (1934): Distribution and reproduction of Canada thistle in Iowa. *Journal of American Botany* 21, 355-373.
- HEIMANN, B. (1996): Aspects of sexual reproduction and their effects on population genetic structure in Creeping Thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). *Dissertation Universität Göttingen*.

- HEIMANN, B. & G. W. CUSSANS (1996): The importance of seeds and sexual reproduction in the population biology of *Cirsium arvense* - a literature review. *Weed Research* 36, 493-503.
- HETTWER, U., A. DAU, Z. FAN, B. GEROWITT (2002): *Cirsium arvense* (L.) Scop. in arable farming – establishment of plants and genetic diversity. Proceedings of the 12th International EWRS-Symposium, 268-269.
- HETTWER, U. & H.-H. STEINMANN (2002): Genetische Diversität in *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh.* XVIII,75-82.
- HETTWER, U. & B. GEROWITT (2004): An investigation of genetic variation in *Cirsium arvense* field patches. *Weed Research* 44, 289-297.
- HETTWER, U. & B. GEROWITT (2004a): On sex ratios in field populations and progenies of *Cirsium arvense*. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh.* XIX,161-169.
- HILBIG, W. & G. BACHTALER (1992): Wirtschaftsbedingte Veränderungen der Segetalvegetation in Deutschland im Zeitraum 1950 bis 1990, 1. und 2. *Angewandte Botanik* 66, 102-200 und 201-209.
- HILL, N. M., D. G. PATRIQUIN & S. P. VANDER KLOET (1989): Weed seed bank and vegetation at the beginning and end of the first cycle of a 4-course crop rotation with minimal weed control. *Journal of Applied Ecology* 26, 233-246.
- HILTBRUNNER, J., P. STAMP & B. STREIT (2004): Einfluss verschiedener Leguminosen auf die Unkrautpopulationen in Winterweizen-Lebendmulchsystemen mit Direktsaat von Winterweizen im Ökolandbau. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh.* XIX, 517-525.
- HINTZSCHE, E. (1990): Zur Wirkung von Stoppelbearbeitungsmaßnahmen gegen Windhalm (*Apera spica-venti*) und Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) in Abhängigkeit von der Fruchtfolge. *Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin* 286, 43-50.
- HINTZSCHE, E. & B. PALLUTT (1995): Zunehmendes Auftreten der Ackerkratzdistel. *Pflanzenschutzpraxis* 3/95, 23-25.
- HODGSON, J. M. (1958): Canada thistle (*Cirsium arvense* Scop.) control with cultivation, cropping and chemical sprays. *Weeds* 6, 1-11.
- HODGSON, J. M. (1964): Variations in ecotypes of Canada thistle. *Weeds* 12, 167-171.
- HOFMEISTER, H. & E. GARVE (1986): *Lebensraum Acker*. Parey, Hamburg, Berlin.
- HOGLIND, M. & B. FRANKOW-LINDBERG (1998): Growing point dynamics and spring growth of white clover in a mixed sward and the effects of nitrogen application. *Grass and Forage Science* 53 (4), 338-345.
- HOLLER, L. C. & W. G. ABRAHAMSON (1977): Seed and Vegetative Reproduction in Relation to Density in *Fragaria virginiana* (Rosaceae). *American Journal of Botany* 63, 1003-1007.
- HOLM, L. G., D. L. PLUCKNETT, J. V. PANCHO & J. P. HERBERGER (1977): *Cirsium arvense* (L.) Scop. *The World's Worst Weeds. Distribution and Biology*. 217-24. University Press of Hawaii. Honolulu

- HOLMES, R. J. & R. J. FROUD-WILLIAMS (2005): Post-dispersal weed seed predation by avian and non-avian predators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105, 23–27.
- HUME, L. (1982): The long-term effects of fertilizer application and three rotations on weed communities in wheat (after 21-22 years at Indian Head, Saskatchewan). *Canadian Journal of Plant Science* 62, 741-750.
- HUNTER J. H. & L. W. SMITH (1972): Environment and herbicide effects on Canada thistle ecotypes. *Weed Science* 20, 163-166.
- HUNTER, J. H., A. I. HISAO & G. I. MCINTYRE (1985): Some effects of humidity on the growth and development of *Cirsium arvense*. *Botanical Gazette* 146, 483-488.
- JACOBS, J., J. SCIEGIENKA & F. MENALLED (2006): Ecology and Management of Canada thistle [*Cirsium arvense* (L.) Scop.]. U.S. Department of Agriculture, Invasive Species Technical Note No. MT-5.
- JENSEN, J. E. (2004): Weed control: presence and future – the Danish view. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX*, 19-26.
- JUROSZEK, P., S. DREWS, D. NEUHOFF & U. KÖPKE (2004): Effects of organic fertilisers on the development of weeds and winter wheat. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX*, 611-618.
- KALBURTIJ, K. L. & A. P. MAMOLOS (2001): Competition between Canada Thistle [*Cirsium arvense* (L.) Scop.] and Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 186, 261-265.
- KAY, Q. O. N. (1985): Hermaphrodites and subhermaphrodites in a reputedly dioecious plant, *Cirsium arvense* (L.) Scop. *New Phytologist* 100, 457-472.
- KLOTZ, S., I. KÜHN & W. DURKA (Hrsg.) (2002): BIFLOR - Eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland. Schriftenreihe für Vegetationskunde 38. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- KOCH, F. (1955): Die Auswirkungen der anormalen Trockenheit des Sommers 1952 auf die Ackerunkrautgemeinschaften deutscher Dauerdüngungsversuche. *Zeitschrift für Pflanzenbau und Pflanzenschutz*, 32-40.
- KOLO, M. G. M. & R. J. FROUD-WILLIAMS (1993): Competition between *Cirsium arvense* (L.) Scop. and spring barley. *Proceedings of the British Crop Protection Council*, Vol. 2, 637-638.
- KORRES, N. E. & R. J. FROUD-WILLIAMS (2001): Effects of winter wheat cultivars and seed rate on the biological characteristics of naturally occurring weed flora. *Weed Research* 42, 417-428.
- KRANZLER, A. & W. HARTL (2002): Evaluierung von Regulierungsmöglichkeiten der Ackerkratzdistel im biologischen Landbau. *Ländlicher Raum* 2, 1-10.
- KRETSCHMAR, R. & W. XYLANDER (1997): Elektrische Regulierung - eine neue Lösung zur Bekämpfung der Ackerkratzdistel. *Ökologie & Landbau* 25 (2), 15-16.
- KUMAR, V. & D. E. G. IRVINE (1971): Germination of seeds of *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Weed Research* 11, 200-203.

- KUTSCHERA, L. (1960): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG Verlag, Frankfurt/Main.
- KUTZNER, H. (1980): Untersuchung zur Präzisierung und Erweiterung der Möglichkeiten zur Bekämpfung der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). Dissertation Universität Halle.
- LALONDE, R.G. & B.D. ROITBERG (1994): Mating system, life-history and reproduction in Canada thistle (*Cirsium arvense*; Asteraceae). *American Journal of Botany* 81, 21-28.
- LARSON, D. L. (2009): Evaluation of restoration methods to minimize Canada thistle (*Cirsium arvense*) infestation. U.S. Geological Survey Open-File Report 2009–1130.
- LAUBHAN & SHAFFER (2006): Seed germination of *Cirsium arvense* and *Lepidium latifolium*: implications for management of montane wetlands. *Wetlands* 26, 69-78.
- LEATHWICK, D. M., G. W. BOURDÔT, G. A. HURRELL & D. J. SAVILLE (2006): Intraspecific plant density effects in *Cirsium arvense*. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 49, 13-24.
- LEMERLE, D. B., G. S. GILL, C. E. MURPHY, R. S. WALKER, R. D. COUSENS, S. MOKHTARI, S. J. PELTZER, R. COLEMAN & D. J. LUCKETT (2001): Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds. *Australian Journal of Agricultural Research* 52, 527-548.
- LICOR BIOSCIENCES: LiCor®Environmental Division, Lincoln, Nebraska USA; www.licor.com
- LÍŠKA, E., E. HUNKOVÁ & E. DEMJANOVÁ (2007): Creeping thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) – an important competitor of nutrients consumption in grain maize stands (*Zea mays* L.). *Journal Central European Agriculture* 8, 461-468.
- LIU, Y., F. SCHIEVING, J. F. STUEFER & N. P. R. ANTEN (2007): The Effects of Mechanical Stress and Spectral Shading on the Growth and Allocation of Ten Genotypes of a Stoloniferous Plant. *Annals of Botany* 99, 121-130.
- LLOYD, D. G. & A. J. MYALL (1976): Sexual Dimorphism in *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Annals of Botany* 40, 115-123.
- LUNDKVIST, A., L. SALOMONSSON, L. KARLSSON & A.-M. DOCK GUSTAVSSON (2008): Effects of organic farming on weed flora composition in a long term perspective. *European Journal of Agronomy* 28, 570-578.
- MAMOLOS, A. P. & K. L. KALBURTJI (2001): Competition between Canada Thistle and Winter Wheat. *Weed Science* 49, 755-759
- MAYER, F. (2000): Generative Reproduction and long distance dispersal of *Cirsium arvense* (L.) Scop. In: F. Mayer: Long distance dispersal of weed diaspores in agricultural landscapes – The Scheyern approach. FAM-Bericht 47, Shaker, Aachen 113-157.
- MAYER, F. & H. ALBRECHT (2003): Ausbreitungsbiologie der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). FAL Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 255, 9-17.
- MCALLISTER, R. S. & L. C. HADERLIE (1985): Seasonal Variations in Canada Thistle (*Cirsium arvense*) Root Bud Growth and Root Carbohydrate Reserves. *Weed Science* 33, 44-49.

- MCINTYRE, G. I. & J. H. HUNTER (1975): Some effects of the nitrogen supply on growth and development of *Cirsium arvense*. Canadian Journal of Botany 53, 3012-3021.
- MCLENNAN, B. R., R. ASHFORD & M. D. DEVINE (1991): *Cirsium arvense* (L.) Scop. competition with winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Weed Research 31, 409-415
- MEISEL, K. & A. V. HÜBSCHMANN (1976): Veränderungen der Acker- und Grünlandvegetation im nordwestdeutschen Flachland in jüngerer Zeit. Schriftenreihe Vegetationskunde Bonn 10, 109-124.
- MÉTHY, M., P. ALPERT & J. ROY (1990): Effects of light quality and quantity on growth of the clonal plant *Eichhornia crassipes*. Oecologia 84, 265-271.
- MITICH, L. W. (1988): Thistles I: *Cirsium* and *Carduus*. Weed Technology 2, 228-229.
- MOHAMMAD AGHA & PALLUTT (2006): Populationsdynamik der Unkräuter im integrierten und ökologischen Anbau am Beispiel des Getreides. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XX, 385-392
- MONACO, T. A. & D. D. BRISKE (2000): Does resource availability modulate shade avoidance responses to the ratio of red to far-red irradiation? An assessment of radiation quantity and soil volume. New Phytologist 146, 37-46.
- MOORE, R. J. (1975): The biology of Canadian weeds. 13. *Cirsium arvense* (L.) Scop. Canadian Journal of Plant Science 55, 1033-1048.
- NADEAU, L. B. & W. H. VANDEN BORN (1989): The root system of Canada Thistle. Canadian Journal of Plant Science 69, 1199-1206.
- NADEAU, L. B. & W. H. VANDEN BORN (1990): The Effects of Supplemental Nitrogen on Shoot Production and Root Bud Dormancy of Canada Thistle (*Cirsium arvense*) under Field Conditions. Weed Science 38, 379-384.
- NIEDERSTRABER, J. & B. GEROWITT (2008): Studies on the response of root fragment of *Cirsium arvense* on dryness. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XXI, 369-372.
- NKURUNZIZA, L., E. ROSENQVIST & J. C. STREIBIG (2011): Photosynthesis and growth of newly established shoots of *Cirsium arvense* and *Tussilago farfara* are resource independent. Weed Research 51, 33-40.
- NOVOPLANSKY, A. (1991): Developmental responses of portulaca seedlings to conflicting spectral signals. Oecologia 88, 138-140.
- OEPP/EPPO (2007): Data sheets on quarantine pests – *Solanum elaeagnifolium*. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 37, 236-245.
- OESAU, A (1992): Erhebungen zur Verunkrautungsgefährdung bewirtschafteter Äcker durch stillgelegte Nachbarflächen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIII, 61-68.
- OESAU, A. (1998): Untersuchungen zur generativen Propagation der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XVI, 75-82.

- OGDEN, J. (1974): The reproductive strategy of higher plants. II. The reproductive strategy of *Tussilago farfara* L. *Journal of Ecology* 62, 291-324.
- O'SULLIVAN, P. A., V. C. KOSSATZ, G. M. WEISS & D. A. DREW (1982): An approach to estimating yield loss of barley due to Canada thistle. *Canadian Journal of Botany* 62, 725-731.
- ÖZER, Z. (1969): Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). Dissertation Universität Hohenheim.
- PAGE, E. R., M. TOLLENAAR, E. A. LEE, L. LUKENS & C. J. SWANTON (2010): Shade avoidance: an integral component of crop-weed competition. *Weed Research* 50, 281-288.
- PALLUTT, B. (Hrsg.) (2000): Pflanzenschutz im ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze – 3. Fachgespräch am 2. November 1999 – „Unkrautregulierung im ökologischen Landbau“. *Berichte aus der BBA*, Heft 72.
- PARR, T. W. & J. M. WAY (1988): Management of Roadside Vegetation: The Long-Term Effects of Cutting. *Journal of Applied Ecology* 25, 1073-1087.
- PATTERSON, D. T. (1979): Shading Effects on Growth and Partitioning of Plant Biomass in Cogongrass (*Imperata cylindrica*) from Shaded and Exposed Habitats. *Weed Science* 28, 735-740.
- PEKRUN, C. & W. CLAUPEIN (2004): The effect of stubble tillage and primary tillage on population-dynamics of Canada thistle (*Cirsium arvense*) in organic farming. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderh. XIX, 483-490.
- PEKRUN, C., A. HÄBERLE & W. CLAUPEIN (2003): Bedeutung von Grund- und Stoppelbearbeitung für die Kontrolle der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. *FAL Landbauforschung Völkenrode Sonderh.* 255, 29-34.
- PEKRUN, C., N. SCHNEIDER, C. WÜST, F. JAUSS & W. CLAUPEIN (2003a): Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung auf Ertragsbildung, Unkrautdynamik und Regenwurmpopulationen im Ökologischen Landbau. 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Ökologischer Landbau der Zukunft", Wien, 21-24.
- PIQUOT, Y., D. PETIT, M. VALERO, J. CUGUEN, P. DE LAGUERIE & P. VERNET (1998): Variation in sexual and asexual reproduction among young and old populations of the perennial macrophyte *Sparganium erectum*. *Oikos* 82, 139-148.
- POETSCH, J. (2006): Pflanzenbauliche Untersuchungen zum ökologischen Anbau von Körnerleguminosen an sommertrockenen Standorten Südwestdeutschlands. Dissertation Universität Hohenheim.
- POSCHLOD, P. & S. JORDAN (1992): Wiederbesiedlung eines aufgeförmsten Kalkmagerrasenstandortes nach Rodung. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 1, 119-139.
- PULCHER-HÄUBLING, M. (1989): Einfluss der Stickstoff-Düngung auf die Konkurrenz von Unkräutern und Getreide und den Abbau von Unkrautsamen im Boden. Dissertation Universität Hohenheim

- PYWELL, R.F., M. J. HAYES, J. B. TALLOWIN, K. J. WALKER, W. R. MEEK, C. CARVELL, L. A. WARMAN & J. M. BULLOCK (2010): Minimizing environmental impacts of grassland weed management: can *Cirsium arvense* be controlled without herbicides? *Grass and Forage Science* 65, 159-174.
- RADEMACHER, B. (1938): Gedanken zur Fortentwicklung der Unkrautbekämpfung im Getreide. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 80, 448-465.
- RADEMACHER, B. (1950): Über die Lichtverhältnisse in Kulturpflanzenbeständen, insbesondere im Hinblick auf den Unkrautwuchs. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 92, 129-165
- RASMUSSEN, I. A., M. ASKEGAARD, & J. E. OLESEN (2005): Development of weeds in organic crop rotation experiments. *Proc. 13th EWRS Symposium*, 1-2.
- REECE, P. E. & R. G. WILSON (1983): Effect of Canada Thistle (*Cirsium arvense*) and Musk Thistle (*Carduus nutans*) Control on Grass Herbage. *Weed Science* 31, 488-492.
- REINTAM, E., K. TRÜKMANN, J. KUHT, A. TOOMSOO, T. TEESALU, T. KÖSTER, L. EDESI, E. NUGIS (2008): Effect of *Cirsium arvense* L. on soil physical properties and crop growth. *Agricultural & Food Science* 17, 153-164.
- ROBERTS, H. A. & R. J. CHANCELLOR (1979): Periodicity of seedling emergence and achene survival in some species of *Carduus*, *Cirsium* and *Onopordum*. *Journal of Applied Ecology* 16, 641-647.
- RODER, W., H. EGGER, A. KALMUS & J. PETERS (1984): Zum Einfluss der Unkräuter auf die Bestandesentwicklung des Getreides, Schlussfolgerungen für den Herbizideinsatz. *Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutzdienst der DDR* 41, 197-199.
- RODWELL, J. S. (1992): *British Plant Communities Volume 3: Grasslands and montane communities*. Cambridge University Press, Cambridge.
- RÖSEMEIER, M. (1991): Untersuchung zur Entwicklung der Verunkrautung in der Fruchtfolge Rügen-Winterweizen-Wintergerste bei verschiedenen Bekämpfungshäufigkeiten unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter populationsdynamischer Parameter. Diplomarbeit Universität Göttingen.
- SAGAR, G. R. & H. M. RAWSON (1964): The biology of *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Proc. 7th British Weed Control Conference*, Brighton, 553-561.
- SALONEN, J. & T. HYVÖNEN (2002): Perennial weeds in conventional and organic cropping of spring cereals in Finland. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XVIII*, 277-258.
- SAS INSTITUTE INC.: *The SAS System for Windows Ed. 8.01*. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, 1999.
- SCHIMMING, W. K. & C. G. MESSERSMITH (1988): Freezing resistance of overwintering buds of four perennial weeds. *Weed Science* 36, 568-573.
- SCHROEDER, D., H. MUELLER SCHAERER & C. S. A. STINSON (1993): A European weed survey in 10 major crop systems to identify targets for biological control. *Weed Research* 33, 449-458.

- SITTE, P., H. ZIEGLER, F. EHRENDORFER & A. BRESINSKY (1991): Strasburger - Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 33. Auflage. G. Fischer, Stuttgart, Jena, New York.
- SLOTTA, T. A. B., J. M. ROTHHOUSE, D. P. HORVATH & M. E. FOLEY (2006): Genetic diversity of Canada thistle (*Cirsium arvense*) in North Dakota. *Weed Science* 54, 1080-1085.
- SMITH, H. (1982): Light Quality, Photoperception, and Plant Strategy. *Annual Review of Plant Physiology*, 33, 481-518.
- SOLÉ, M. (2003): Factors affecting the genotypic and genetic diversity of the dioecious clonal plant *Cirsium arvense* at the metapopulation level. Dissertation Universität Halle.
- SOLÉ, M., W. DURKA, S. EBER & R. BRANDL (2004): Genotypic and genetic diversity of the common weed *Cirsium arvense* (Asteraceae). *International Journal of Plant Science* 165, 437-444.
- SPRENGER, B. (2004): Populationsdynamik von Ackerwildpflanzen im integrierten und organischen Anbausystem. Dissertation TU München.
- STEINMANN, H.-H. (2003): Integrierte Ackerbausysteme in Versuch und Praxis. Ergebnisse aus dem Göttinger INTEX-Projekt und seinen Demonstrationsflächen. Mecke, Duderstadt.
- STEINMANN, H.-H. & B. GEROWITT (2000): Ackerbau in der Kulturlandschaft – Funktionen und Leistungen. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projekts. Mecke, Duderstadt.
- STERN, W. R. & C. M. DONALD (1962): Light relationships in grass-clover swards. *Australian Journal of Agricultural Research* 13, 599-614.
- STMLF (Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten) (2010): Sortenberatung und Anbauhinweise. <http://www.aelf-an.bayern.de/pflanzenbau/14355/index.php>, 15.12.2011.
- STOUT, W. L., S. R. WEAVER & G. F. ELWINGER (2001): Effects of Early Season Nitrogen on Grass-Clover Swards in the Northeastern USA. *Agronomy Journal* 93, 1000-1005.
- STROBACH, J., M. KORCAKOVA & J. MIKULKA (2008): Biomass production of *Cirsium arvense* (L.) Scop. after generative and vegetative propagation in pot experiments. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XXI*, 285-290.
- THOMPSON, L. & J. L. HARPER (1988): The effect of grasses on the quality of transmitted radiation and its influence on the growth of white clover *Trifolium repens*. *Oecologia* 75, 343-347.
- TILEY, G. E. D. (2010): Biological Flora of the British Isles: *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Journal of Ecology* 98, 938–983.
- TOCHTERMANN, U. (1956): Untersuchungen zur Bekämpfung der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* Scop.) mit Wuchsstoffherbiziden sowie über die Wirkung der 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure auf deren Wurzelorgane. Dissertation Universität Hohenheim.
- TØRRESEN, K. S., J. SALONEN, H. FOGELFORS, S. HÅKANSSON & B. MELANDER (2006): Weed problems in various tillage systems in the Nordic countries. Tillage systems for the benefit of agriculture and the environment: NJF Seminar 378, Odense, Denmark. In: *Extended abstracts*, Nordic Association of Agricultural Scientists.

- TØRRESEN, K. S., H. FYSKE, T. RAFOSS (2010): Autumn growth of *Elytrigia repens*, *Cirsium arvense* and *Sonchus arvensis* at high latitudes in an outdoor pot experiment. *Weed Research* 50, 353-363.
- TRAVNICEK, A. J., R. G. LYM & C. PROSSER (2005): Fall-Prescribed Burn and Spring-Applied Herbicide Effects on Canada Thistle Control and Soil Seedbank in a Northern Mixed-Grass Prairie. *Rangeland Ecology & Management* 58, 413-422.
- VALENTI, S. A. & G. A. WICKS (1992): Influence of nitrogen rates and wheat (*Triticum aestivum*) cultivars on weed control. *Weed Science* 40, 115-121.
- VAN DELDEN, A., L. A. LOTZ, L. BASTIAANS, A. C. FRANKE, H. G. SMID, R. M. W. GROENEVELD & M. J. KROPFF (2002): The influence of nitrogen supply on the ability of wheat and potato to suppress *Stellaria media* growth and reproduction. *Weed Research* 42, 429-445.
- VAN HINSBERGEN, A. & P. VAN TIENDEREN (1997): Variation in growth form in relation to spectral light quality (red/far-red ratio) in *Plantago lanceolata* L. in sun and shade populations. *Oecologia* 111, 452-459.
- VANHALA, P., J. SALONEN & T. LÖTJÖNEN (2004): Emergence and growth of *Sonchus arvensis* in different crop stands under organic production. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XIX*, 511-516.
- VENCLOVA, V., V. BRANT, K. NECKÁŘ, J. HOLEC (2006): Set-aside land and its trends in biomass production of *Cirsium arvense* and *Elytrigia repens*. *Herbologia* 7, 85-92.
- VERSCHWELE, A. (1994): Sortenspezifische Kulturkonkurrenz bei Winterweizen als begrenzender Faktor für das Unkrautwachstum. Dissertation Universität Göttingen
- WALLACE, I.A., J.P.J. EERENS, A. RAHMAN & B.D. CLARKSON (2005): Horizontal seed dispersion patterns of Californian thistle (*Cirsium arvense*). *New Zealand Plant Protection* 5, 148-151.
- WASSMUTH, B. (2004): Keimung und Entwicklung der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) bei unterschiedlicher Lichtintensität - ein Modellversuch. Masterarbeit Universität Göttingen.
- WATKINSON, A. R. & J. C. POWELL (1993): Seedling recruitment and the maintenance of clonal diversity in plant populations – a computer simulation of *Ranunculus repens*. *Journal of Ecology* 81, 707-717.
- WEJSCHEDÉ, J., J. MARTÍNKOVÁ, H. DE KROON & H. HUBER (2006): Shade avoidance in *Trifolium repens*: costs and benefits of plasticity in petiole length and leaf size. *New Phytologist* 172, 655–666.
- WILLIAMS, J. T. (1966): Variations in the germination of several *Cirsium* species. *Tropical Ecology* 7, 1-7.
- WILSON, R. G. (1979): Germination and Seedling Development of Canada Thistle (*Cirsium arvense*). *Weed Science* 27, 146-151.
- WINDT, A. (1991): Einfluss langjährig differenzierter Bekämpfungsmaßnahmen auf die Verunkrautung in einer Fruchtfolge Rüben-Weizen-Gerste. Diplomarbeit Universität Göttingen.

- ZIMDAHL, R. L., J. LIN, A. A. DALL'ARMELLINA (1991): Effect of Light, Watering Frequency, and Chlorsulfuron on Canada Thistle (*Cirsium arvense*). *Weed Science* 39, 590-594.
- ZISKA, L. H. (2003): The impact of nitrogen supply on the potential response of a noxious, invasive weed, Canada thistle (*Cirsium arvense*) to recent increases in atmospheric carbon dioxide. *Physiologia Plantarum* 119, 105-112.
- ZWERGER, P. (1996): Zur Samenproduktion der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderh. XV*, 91-98.

Anhang

Anhang 1: Krankheiten und Schädlinge an *C. arvensis*

a) *Puccinia punctiformis*

Im Langzeitversuch Weendelsbreite trat nur wenig Befall mit Distelrost auf. An den geernteten Sprossen war in den Jahren 2001 und 2003 jeweils im mittleren Bereich des Feldstreifens B (Parzellen 12 und 13) an zwei bis drei Sprossen Rostbefall zu beobachten. Auch im Bereich der INTEX-Flächen in Marienstein fielen nur vereinzelt infizierte Sprosse in den Randstreifen der Schläge auf.

b) *Cynthia cardui*

Im Jahr 2003 traten an knapp 5 % der Sprosse in den beiden Weizenstreifen des Langzeitversuchs Raupen des Distelfalters auf. Die Raupen befanden sich vorwiegend im Bereich der Spitze kräftigerer Sprosse und spannen sich in eines der oberen Blätter ein. Dies führte häufig zum Absterben der Triebspitze, in der Folge zu einem verstärkten Wachstum der oberen Nebentriebe und einem verspäteten Einsetzen der Blüte.

c) *Aphididae*

Blattläuse traten an *C. arvensis* während des Versuchszeitraums nur vereinzelt in kleinen Kolonien auf

Danke!

Prof. Dr. Bärbel Gerowitt für die Überlassung des Themas, die hilfsbereite Betreuung während aller Phasen der Dissertation, die kritische Durchsicht der Arbeit und den Weckruf im richtigen Moment

Dr. Ursula Hettwer für die gute Zusammenarbeit im Distelprojekt und die Beantwortung genetischer Fragen

Hubertus Reintke für die Unterstützung bei den Feldversuchen und die Nachhilfe im praktischen Pflanzenbau für Biologen

Michaela Meyer und Dr. Helmut Veenker für die Hilfe bei der Probennahme

Dr. Horst-Henning Steinmann und Dr. Friederike de Mol für die Klärung statistischer Fragen

Volker Sprich für die langjährige Freundschaft, die vielen Ermunterungen und die Unterstützung beim Setzen des Manuskripts

Allen Korrekturlesern, vor allem Annette Reisenweber und meiner Schwester Sibylle

Meiner Familie – für alles

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Bremen, 22.3.2012

Annelie Dau