

Lehrstuhl für Vegetationsökologie  
Department für Ökologie

Persistenz und Auflauf von Samen von gentechnisch veränderten und konventionellen Rapssorten sowie ertragsrelevanter Wildpflanzen unter dem Einfluss der Bodenbearbeitung

Albrecht Roller

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. agr. habil. K.-J. Hülsbergen  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. J. Pfadenhauer  
2. Univ.-Prof. Dr. rer. nat., Dr. rer. nat. habil. G. Wenzel

Die Dissertation wurde am 07.11.2005 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 09.03.2006 angenommen.



## Danksagung

Zunächst danke ich meinem Doktorvater Professor Jörg Pfadenhauer für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit zur Promotion an seinem Lehrstuhl, an dem stets ein gutes und freies Arbeiten möglich war und für seine Anregungen, die diese Arbeit abgerundet haben.

Besonderer Dank gilt Frau Dr. Heike Beismann, die stets den Verlauf der Arbeit begleitet hat und sehr hilfreiche Diskussionsbeiträge und Anstöße gegeben hat sowie für ihre zahlreichen Korrekturlesungen. Ebenso geht mein spezieller Dank an Dr. Harald Albrecht für seine interessanten Diskussionsbeiträge, Hinweise, Hilfestellungen bei Problemen und Korrekturlesungen der Arbeit.

Allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Vegetationsökologie gilt mein Dank für die kollegiale Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit und Frau Tork und Ingrid Kapps für ihre technischen Auskünfte. Für ihre moralische Unterstützung in den Rossbreiten der Motivation danke ich besonders Martin Kuhlmann, Barbara Sprenger und Sabine Heinz.

Bedanken möchte ich mich auch bei Dr. G. Schwarz und Tristan Funk vom Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung für die stets anregenden Diskussionen des Themas aus einem etwas anderen fachlichen Blickwinkel und deren freundschaftliche Unterstützung bei der molekulargenetischen Analyse einiger Pflanzenproben.

Dank gilt dem Versuchsgut Roggenstein (Versuchsstation für Pflanzenproduktion und Tierzucht) für die Bereitstellung der Untersuchungsflächen. Insbesondere bedanke ich mich bei Hr. J. Dennert für die gute und flexible Betreuung der Versuchsanlage.

Dankbar bin ich für die Hilfestellung und Unterstützung bei den molekulargenetischen Untersuchungen einiger Samenbankproben durch Dr. R. Zeitler am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz.

Dank gebührt auch den Firmen DSV und NPZ, die das Saatgut für die Versuchszwecke zur Verfügung gestellt haben.

Außerdem bedanke ich mich bei der Firma Bayer CropScience für die Erlaubnis, ihre ehemaligen Freisetzungsfelder für meine Untersuchungen nutzen zu dürfen.

Die Arbeit war nur möglich durch die Finanzierung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) aus Mitteln der High-Tech-Offensive Bayern (Az. 76a-8793-1999-15).

Meinen Eltern möchte ich herzlich danken für die vielfältige Unterstützung während der Promotionszeit und ihrem Interesse an meiner Arbeit.

1	EINLEITUNG .....	1
1.1	Thematischer Hintergrund zur Fragestellung der Arbeit .....	1
1.2	Fragestellung und Ziel der Arbeit .....	2
1.3	Aktueller Forschungsstand .....	3
1.3.1	<i>Potenzielle Ausbreitungswege von gentechnisch verändertem Raps .....</i>	<i>5</i>
1.3.2	<i>Dormanz, Persistenz und Keimung .....</i>	<i>6</i>
1.3.3	<i>Anbauprobleme mit Raps aufgrund seiner Wildpflanzeigenschaften .....</i>	<i>8</i>
1.3.4	<i>Diasporenbankentwicklung bei Ackerwildpflanzen .....</i>	<i>9</i>
2	MATERIAL UND METHODEN .....	13
2.1	Standortbeschreibung der ehemaligen Freisetzungsf lächen .....	13
2.2	Beschreibung des Standortes Roggenstein und der Versuchsf lächen ....	16
2.3	Versuchsanlage und Bearbeitungsger äte .....	17
2.4	Auswahl der Sorten und Arten .....	19
2.4.1	<i>Herbizidtoleranz – LibertyLink-System der transgenen Rapssorten .....</i>	<i>19</i>
2.4.2	<i>Wildpflanzenarten .....</i>	<i>20</i>
2.5	Bodenprobenahme und Behandlung der Proben der Untersuchungsf lächen .....	21
2.5.1	<i>Bodenbeprobung auf den ehemaligen Freisetzungsf lächen an verschiedenen Standorten in S üddeutschland .....</i>	<i>21</i>
2.5.2	<i>Bodenbeprobung und Analyse auf den Parzellenversuchsf lächen in Roggenstein .....</i>	<i>22</i>
2.6	Persistenzversuch auf dem Versuchsgut Roggenstein .....	23
2.6.1	<i>Vorerhebungen .....</i>	<i>23</i>
2.7	Versuchsdurchf ührung .....	25
2.7.1	<i>Auflaufratenbestimmung .....</i>	<i>25</i>
2.7.2	<i>Bestimmung der Auflauftiefen bei verschiedenen Rapssorten .....</i>	<i>26</i>



3.6.6	<i>Auflauf und Diasporenbank von <i>Thlaspi arvense</i></i> .....	48
3.6.7	<i>Auflauf und Diasporenbank von <i>Solanum nigrum</i></i> .....	49
3.6.8	<i>Auflauf und Diasporenbank von <i>Stellaria media</i></i> .....	50
3.6.9	<i>Auflauf und Diasporenbank von <i>Tripleurospermum perforatum</i></i> .....	51
3.6.10	<i>Auflauf und Diasporenbank von <i>Capsella bursa-pastoris</i></i> .....	52
3.6.11	<i>Auflauf und Diasporenbank von <i>Spergula arvensis</i></i> .....	54
3.6.12	<i>Auflauf und Diasporenbank von <i>Arabidopsis thaliana</i></i> .....	54
3.6.13	<i>Auflauf und Diasporenbank von <i>Daucus carota</i></i> .....	56
3.7	Tiefenaufauftest mit verschiedenen Rapssorten und Rübsen .....	57
4	DISKUSSION .....	60
4.1	Entwicklung der Samenbank auf ehemaligen Freisetzungsf lächen .....	60
4.2	Parzellenversuch: Auflauf der Samen in Abhängigkeit von der Sorte .....	64
4.3	Persistenz der Samenbank in Abhängigkeit von der Sorte .....	66
4.4	Entwicklung der Samenbank in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung .....	68
4.5	Wildpflanzen .....	70
4.5.1	<i>Ertragsrelevanz von Wildpflanzen</i> .....	70
4.5.2	<i>Bedeutung der Dormanz und Persistenz für die Entwicklung der Diasporenbank</i> .....	71
4.5.3	<i>Bedeutung der Keimraten für die Diasporenbank</i> .....	72
4.5.4	<i>Einfluss der Bodenbearbeitung und Bearbeitungsgeräte auf die Diasporenbank</i> .....	74
4.5.5	<i>Bodeneigenschaften</i> .....	75
4.6	Entwicklung einzelner Arten .....	76
4.6.1	<i>Beziehungen zwischen Bodenbearbeitung, Auflauf und Persistenz der Ackerswildpflanzen</i> .....	76
4.6.2	<i>Methodische Problematik</i> .....	89
4.7	Auflauftiefentest: Predation und fatale Keimung .....	91

---

5 SYNTHESE .....	93
6 ZUSAMMENFASSUNG .....	96
7 LITERATURVERZEICHNIS .....	100



Tab. 1.1: Blühphänologie (nach Schmeil & Fitschen 1988) von Brassica napus und potenziell kreuzungskompatiblen Wildpflanzen für Süddeutschland in der collinen Stufe. ....	12
Tab. 2.1: Ortsangaben und Standortparameter der ehemaligen Freisetzungsfelder. Koordinatenangaben: Geographisch in WGS 84 .....	14
Tab. 2.2: Zeitpunkte der Feldarbeiten und Probenahmen auf den ehemaligen Freisetzungsfelder. Winterweizen (WW), Wintergerste (WG), Sommergerste (SG), Zuckerrüben (ZR). ....	15
Tab. 2.3: Aussaatmengen der im Persistenzversuch verwendeten Pflanzenarten. ....	20
Tab. 2.4: Zeitpunkte der Auflaufauszählungen und Samenbankbeprobungen der Versuchspartellen in Roggenstein .....	22
Tab. 2.5: Wildpflanzen, Brassicaceen und Gräser auf der Versuchsfelder Roggenstein (Wissenschaftliche Namen (nach Wisskirchen & Haeupler 1998) .....	24
Tab. 2.6: Rapsorten (Rex = Brassica rapa) im Auflauftiefentest mit Samenalter, TKG, .....	26
Tab. 3.1: Anzahl und Keimfähigkeit von transgenen Rapsamen pro m <sup>2</sup> auf 10 ehemaligen Freisetzungsfelder .....	30
Tab. 3.2: Anteile in (%) an transgenem und konventionellem Raps an der Samenbank an den untersuchten Standorten von 2001 bis 2003 (n= Stichproben in PCR-Analyse)....	32
Tab. 3.3: Keimpflanzen pro m <sup>2</sup> aus der residenten Samenbank des Versuchstandortes vor Versuchsbeginn.....	32
Tab. 3.4: Auflaufraten der Sorten Modul <sup>LL</sup> und Lilly <sup>LL</sup> von 2001 bis 2003.....	34
Tab. 3.5: Abnahme der Samenbank der Sorten Modul und Lilly von 2001 bis 2003 .....	35
Tab. 3.6: Auflaufraten der Sorten Falcon / Liberator zu den fünf Untersuchungszeitpunkten	37
Tab. 3.7: Abnahme der Rapsamenbank ohne Wildpflanzensamen über 13 Monate unter den 3 Bearbeitungsvarianten (Striegel, Grubber, Pflug).....	38
Tab. 3.8: Samenbank der Sorten Falcon und Liberator nach Tiefen und Bearbeitungsvarianten gegliedert, zum Zeitpunkt der 1. Probenahme in Samen / m <sup>2</sup> ...	38
Tab. 3.9: Veränderung der Samenbank über die 4 Beprobungstermine von 2002 bis 2003 .	38
Tab. 3.10: Wiederfundrate der Glaskugeln und der Rapsamen nach Tiefe getrennt in (%).	39
Tab. 3.11: Verlust und Verbleib der Samen in (%) als Gesamtsumme des Zeitraums 2002 - 2003 (Mittelwerte aus Falcon und Wotan).....	39
Tab. 3.12: Verlust und Verbleib der Samen in % als Gesamtsumme des Zeitraums 2001 - 2003 (Mittelwerte aus Modul <sup>LL</sup> und Lilly <sup>LL</sup> ).....	40
Tab. 3.13: Arten gruppiert nach Gesamtauflaufrate der Diasporen im Boden nach 25 Monaten (%) und deren Stratifizierungsbedarf.....	41
Tab. 3.14: Abnahme der Diasporenbank unterteilt in 2 Gruppen (Rückgang ≥90 %, bzw. <90 %) nach 13 Monaten, in den Bearbeitungsvarianten Striegel, Grubber und Pflug für die untersuchten Wildpflanzenarten.....	42

Tab. 3.15: Gesamtabnahme der Diasporenbank unterteilt in 2 Gruppen (Rückgang $\geq 90$ %, bzw. $< 90$ %) nach 25 Monaten, in den Bearbeitungsvarianten Striegel, Grubber und Pflug für die untersuchten Wildpflanzenarten.....	42
Tab. 3.16: Homogene Untergruppen für den Auflauf der Sorten in 2 cm Tiefe in (%). .....	57
Tab. 3.17: Homogene Untergruppen für den Auflauf der Sorten in 4 cm Tiefe in (%). .....	58
Tab. 3.18: Homogene Untergruppen für den Auflauf der Sorten in 6 cm Tiefe in (%). .....	58
Tab. 4.1: Klassifizierung der Ackerwildpflanzen nach ihrem prozentualen Auflauf und ihrer Abnahmerate in der Diasporenbank.....	77

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Verbleib von Rapssamen die nach der Ernte auf die Bodenoberfläche gelangen unter ackerbaulichen Bedingungen .....	9
Abb. 2.1: Lage der ehemaligen Freisetzungsorte.....	13
Abb. 2.2: Lage der Versuchsflächen bei Roggenstein (Anonymus 1985).....	16
Abb. 2.3: Die verwendeten Bodenbearbeitungsgeräte (A) Striegel, (B) Grubber und (C) Pflug. ....	18
Abb. 2.4: Blockversuchsanlage des Persistenzversuches .....	18
Abb. 3.1: Auflaufraten der Sorten Modul <sup>LL</sup> und Lilly <sup>LL</sup> im September 2001 (I = Standardfehler des Mittelwertes) .....	33
Abb. 3.2: Auflauf der Sorten Falcon und Liberator mit Wildpflanzenkonkurrenz in den Bearbeitungsvarianten Striegel, Grubber und Pflug im Jahr 2001 (I = Standardfehler des Mittelwertes). ....	36
Abb. 3.3: Auflaufraten der Sorten Falcon und Wotan ohne Konkurrenz der Wildpflanzen im Jahr 2002 unter den 3 Bearbeitungsvarianten (I = Standardfehler des Mittelwertes). ...	36
Abb. 3.4: Kumulierte Samenfundrate aller Arten in (%) über 25 Monate getrennt nach Bearbeitungsvariante und Beprobungtiefe. ....	43
Abb. 3.5: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von Brassica rapa bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	44
Abb. 3.6: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 1230 Samen m <sup>-2</sup> von Raphanus raphanistrum bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes). ....	45
Abb. 3.7: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von Sinapis arvensis bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	46
Abb. 3.8: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von Avena fatua bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	47
Abb. 3.9: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von Echinochloa crus-galli bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes). ....	48
Abb. 3.10: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von Thlaspi arvense bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	49
Abb. 3.11: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 1400 Samen m <sup>-2</sup> von Solanum nigrum bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	50

Abb. 3.12: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von <i>Stellaria media</i> bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	51
Abb. 3.13: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von <i>Tripleurospermum perforatum</i> bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	52
Abb. 3.14: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von <i>Capsella bursa-pastoris</i> bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	53
Abb. 3.15: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von <i>Spergula arvensis</i> bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	54
Abb. 3.16: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von <i>Arabidopsis thaliana</i> bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	55
Abb. 3.17: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufraten in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m <sup>-2</sup> von <i>Daucus carota</i> bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	56
Abb. 3.18: Aufaufraten (%) der Rapssorten und Rübren (Rex) aus den 6 Tiefenlagen (I = Standardfehler des Mittelwertes).....	59

# 1 Einleitung

## 1.1 Thematischer Hintergrund zur Fragestellung der Arbeit

Raps (*Brassica napus*) wurde bereits intensiv in der konventionellen Pflanzenzüchtung für die menschliche Ernährung (Speiseöl und Margarine) und industrielle Zwecke (Schmierstoffe, Gummizusätze) verändert. Aufgrund der damit verbundenen Forschungen war die genetische und biochemische Struktur gut bekannt, so dass es naheliegend war, Raps der gentechnischen Bearbeitung zu unterziehen. Da sich Raps molekularbiologisch vergleichsweise leicht verändern lässt (Metz *et al.* 1997), stellt Raps eine der interessantesten Kulturpflanzen für die gentechnische Bearbeitung dar. Der Schwerpunkt der bisherigen Entwicklung lag auf der Erzeugung einer Herbizidtoleranz in Raps. So liegt Raps weltweit an dritter Stelle der am häufigsten angebauten gentechnisch veränderten Pflanzen nach Soja und Baumwolle ([www.transgen.de](http://www.transgen.de)).

Im Jahr 1991 wurden in den USA und Europa erste Freilandversuche mit glufosinat-toleranten Pflanzen (Soja, Baumwolle, Raps, Mais) durchgeführt (Harms *et al.* 1998). 1993 begannen solche Freilandversuche nach der EU-Richtlinie 90/220 EU auch in Deutschland.

Politisch und gesellschaftlich relevant ist die Klärung, ob im Ackerbau eine Coexistenz von konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung einerseits und der Einsatz von Gentechnik andererseits möglich ist. Hierbei ist es entscheidend, dass die zur Anwendung kommenden Anbaumethoden sowohl unter agrarökologischen als auch wirtschaftlichen Gesichtspunkten angepasst sind. In der Diskussion über den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen in den Ländern der Europäischen Union, liegt das Augenmerk auf möglichen Risiken, die mit deren Freisetzung verbunden sind. Die hierzu beschlossene EU-Verordnung (1829/2003), die Zulassung und den Umgang mit den gentechnisch veränderten Organismen regelt, mußte in nationales Recht umgesetzt werden. Der Erlass des Gentechnikgesetzes durch die Bundesregierung hat die rechtlichen Voraussetzungen für den Anbau transgener Pflanzen geschaffen. Im nächsten Schritt werden Perspektiven und Standards für die Coexistenz von konventionell und organisch erzeugten sowie gentechnisch veränderten Kulturen formuliert werden. Bei einer Verlagerung des Blickfeldes von Herbizidtoleranz auf Sameninhaltsstoffe oder andere agronomische Eigenschaften von Raps, könnte zukünftig das Interesse am Anbau von gentechnisch verändertem Raps steigen, obgleich die gesellschaftlichen Bedenken eine solche Entwicklung bislang verhindert haben.

Saatguthersteller bieten der Landwirtschaft heute gentechnisch verändertes, herbizidtolerantes Saatgut an, so dass die Unkrautbekämpfung durch die Anwendungsmöglichkeit eines einzigen herbiziden Wirkstoffes möglich und

vereinfacht würde. Dieser Ansatz birgt jedoch auch Risiken, aufgrund der ökologischen Zusammenhänge, welche die Größe, Dichte und genetische Vielfalt einer Population regeln (Mortensen *et al.* 2000). Je häufiger ein Herbizid bzw. verschiedene Herbizide mit gleichem Wirkmechanismus auf einer Fläche eingesetzt werden, desto wahrscheinlicher ist ein Wandel in der Wildpflanzenflora hin zu Arten, die nur schlecht von diesem Herbizid erfasst werden (Rubin 1996). Andererseits kann die Anwendung von nur einem Wirkstoff zur Entwicklung von Resistenzen in den Zielorganismen führen (Senior & Dale 2002). Die Daten aus der Auswertung von Unkrauterhebungen aus dreißig Jahren zeigen, dass kein Problemunkraut gänzlich durch den Herbizideinsatz ausgerottet werden konnte, aber andere problemreiche Arten nahmen in ihrer Populationsgröße zu, angesichts einer sich anhaltend intensivierenden Landwirtschaft (Altieri 1991).

Doch es gibt nur wenige Wirkstoffe für die Bekämpfung dikotyledoner Wildpflanzen in Raps. Das sind Bodenherbizide auf der Basis von Propyzamid, Napropamid und Clopyralid (Madsen *et al.* 1999), die alle nur vor Auflauf, oder bis 5 Tage nach Aussaat angewandt werden können. Arten wie *Sinapis arvensis*, *Raphanus raphanistrum* und *Capsella bursa-pastoris* (*Brassicaceen*) sind schwer zu bekämpfen (Kristensen 1997), da sie schnell eine Pfahlwurzel ausbilden und dann nicht mehr zur Wirkstoffaufnahme kommen (Debruck 2000). So kann der Anbau von Raps mit einer Toleranz gegen blattaktive Breitbandherbizide (Glufosinat und Glyphosat) Vorteile für die Landwirtschaft bringen, denn ein zeitlich weites Anwendungsfenster und die stadienunabhängige Kulturpflanzenverträglichkeit erlauben eine flexiblere Wildpflanzenbekämpfung (Petersen & Hurle 1998).

## 1.2 Fragestellung und Ziel der Arbeit

Wenn gentechnisch veränderte Pflanzen in die gegenwärtigen Anbausysteme eingebunden werden sollen, müssen Richtlinien ausgearbeitet werden, welche das Nebeneinander der verschiedenen Anbausysteme erlauben. Daher war es Ziel dieser Arbeit aufzuzeigen unter welchen Bedingungen störende Einflüsse, die aus der Samenbank von Raps erwachsen können, minimiert oder vermieden werden könnten.

Im Rahmen mehrjähriger Feldversuche sollte geprüft werden, inwieweit sich Samen von konventionellem und gentechnisch verändertem (GV), herbizidresistentem Raps in ihrem Überdauerungsverhalten in Bodensamenbanken unterscheiden und welche Wirkungen verschiedene Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf die Entwicklung der Samenbank haben. In der Arbeit wurde ein Vergleich zwischen verschiedenen Rapsorten und ihren transgenen Linien geführt, um mögliche Unterschiede in deren Reaktionsmuster bzgl. Dormanz und Auflauf herauszufinden. Gleichzeitig sollte die

---

optimale Stoppelbearbeitung nach der Rapsernte ermittelt werden, die dann als Standard - Methode verstanden werden könnte, um die Entstehung von unerwünschten Bodensamenbanken zu minimieren.

Die zusätzliche Untersuchung von Samenbanken von herbizidresistentem GV-Raps auf fünf verschiedenen ehemaligen Freisetzungstandorten erlaubte einen längeren Entwicklungszeitraum von Rapssamenbanken zu erfassen. Hierfür wurde das Ausmaß der Samenbanken im Boden in drei aufeinanderfolgenden Jahren ab 2001 bestimmt. Zudem wurde in vorliegender Arbeit die maximale Auflauftiefe der verwendeten Rapsorten untersucht, um so den Umfang der Etablierung (fatale Keimung) der Keimlinge quantifizieren zu können. Bislang gab es nur wenige Hinweise auf das Geschehen in der Samenbank und dem daraus resultierenden Durchwuchs über längere Zeiträume.

Um den Einfluss von drei Bodenbearbeitungsmethoden darzustellen wurde ein Feldversuch angelegt. Die Ergebnisse bieten die Möglichkeit den potenziellen Gentransfer in Rapskulturen zu minimieren und Anbaumethoden zu entwickeln, die eine Coexistenz mit gentechnisch veränderten Pflanzen ermöglichen.

In der parallelen Untersuchung des Auflaufs und der Diasporenbank von wichtigen Begleitarten im Rapsanbau sollte geklärt werden, wie weit die Diasporenbank der zum Teil ertragsrelevanten und potenziell kreuzungskompatiblen Wildpflanzen durch die angewandte Bodenbearbeitung konserviert oder abgebaut wird, bzw. ob sie sich in Auflaufdynamik und Persistenz analog zum Raps verhält. Die Daten liefern die Basis für eine Überprüfung von Modellrechnungen zur Entwicklung segetaler Diasporenbanken.

### 1.3 Aktueller Forschungsstand

Bislang gab es an transgenem Raps keine Samenbankuntersuchungen im Freiland unter Praxisbedingungen, bei denen die Entwicklung der Samenbank über längere Zeiträume erfasst und mit konventionellen Arten verglichen wurde. Der Kenntnisstand über die Persistenz von Pflanzen und Pflanzenpopulationen auf Ackerflächen ist bislang - speziell wegen der schwierigen Erfassbarkeit - äußerst lückenhaft. Die Persistenz hat jedoch entscheidenden Einfluss auf den langfristigen Etablierungserfolg von Transgenen in Agrarökosystemen. Daher spielt sie eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der ökologischen Risiken durch Freisetzung von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP).

Um die Wirkungen einer Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen auf ihre Umwelt beurteilen zu können, bedarf es genauer Informationen zum Verhalten der verwendeten Arten und der in sie eingebrachten gentechnischen Konstrukte. Tatsächlich gibt es bisher nur wenige Studien zur Persistenz von herbizidresistenten

Rapssorten unter Praxisbedingungen. Die meisten Untersuchungen haben diesen Aspekt nicht in ihr Versuchsdesign einbezogen (Senior & Dale 2002). Unterschiedliche Schätzungen für konventionelle Sorten geben für die Persistenz 2 bis mehrere Jahre an (Squire *et al.*, 1999). In Labor- und Gewächshausversuchen wurden von Pekrun *et al.* (1997a); Gruber *et al.* (2001); Momoh *et al.* (2002) eine Reihe von Rapssorten auf sekundäre Dormanz getestet. Die Autoren resümieren, dass konventionelle Genotypen und deren gentechnisch veränderte Linien sich in ihrem Dormanzverhalten nicht unterscheiden. Nur die Hälfte der persistenzverursachenden Faktoren lässt sich den sameneigenen genetischen Strukturen zuschreiben (Bekker *et al.* 2003). Daher müssten sich die Ergebnisse aus den Laborstudien, aufgrund der ausgeschalteten natürlichen Umwelteinflüsse, deutlich von der Reaktion der Samen unter Freilandbedingungen unterscheiden.

Bei Freilandexperimenten untersuchten Hails *et al.* (1997) die Überlebensfähigkeit von Rapssamen, die in Nylonnetzsäckchen im Boden an unterschiedlichen Standorten vergraben waren und fanden, dass die Persistenz, abhängig von den Standortbedingungen und den verwendeten Sorten, variierte. Die Beobachtung, dass die Langlebigkeit von Samen generell mit der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit eines Standortes verknüpft ist, wurde auch von Norris *et al.* (1999) bestätigt.

Die meisten Feldversuche, in denen die zeitliche Dynamik der Diasporenbank von konventionellem Raps untersucht worden war, dauerten nicht länger als 3,5 Jahre (Chadoeuf *et al.* 1998; Lutman & Lopez-Granados 1998). Nur die Studie von Schlink (1998), erstreckte sich über einen zehnjährigen Untersuchungszeitraum mit konventionellem Raps. Pekrun & Lutman (1998) vergruben Rapssamen in Säckchen im Freiland und untersuchten die Überdauerungsrate von Samen drei konventioneller Rapssorten nach unterschiedlich langer Vergrabungsdauer. Lutman & Lopez-Granados (1998) untersuchten die Persistenz von Rapssamen in einem Vergrabungsexperiment im Feld ohne Bodenbearbeitung und in einem Experiment mit in Töpfen eingebrachten Samen, die ebenerdig ins Freiland eingegraben wurden. In einem weiteren Feldexperiment prüften Pekrun *et al.* (1998) den Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Samenbank von drei konventionellen Rapssorten. Auch Schlink (1998) vergrub die Rapssamen in Säckchen in einem zehnjährigen Persistenzversuch ohne Bodenstörung. Laborversuche zur Simulation einer induzierten sekundären Dormanz in konventionellen Rapssamen führten Pekrun & López-Granados (1995; Pekrun *et al.* 1997c) sowie Thornton *et al.* (1998) aus. Die jahreszeitliche Keimperiodizität dormanter Rapssamen wurde von Tokumasu & Kakiyama (1990) getestet. Crawley *et al.* (1993) untersuchten die Invasivität von transgenem Raps und die Persistenz dieser Pflanzen in einem betrachteten Habitat.

Bis auf einen Versuch (Pekrun *et al.* 1998), spiegeln diese Versuche jedoch nicht jene Bedingungen wider, die in der ackerbaulichen Praxis vorzufinden sind.

---

Gemeinsam war den Versuchen, dass mehr oder weniger viele einflussnehmende Umweltfaktoren und ackerbauliche Maßnahmen ausgeschlossen wurden. So waren die Samen in Säckchen kompartimentiert, oder in zylinderförmigen Behältnissen vom umgebenden Ackerboden abgeschottet, nur Labor- oder Gewächshausbedingungen ausgesetzt sowie keiner plötzlichen Belichtung, Temperaturschwankung und räumlichen Verlagerung unterworfen, wie sie durch ackerbauliche Störungen verursacht werden.

Lutman (1993) bemerkt, dass Daten über die Vergrabungstiefe, aus der Rapskeimlinge potenziell auflaufen können hilfreich wären, um die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf das Überleben der Samen beurteilen zu können. Keimlinge die sich erfolgreich etablieren, stammen vorwiegend aus Samen von oberflächennahen Bodenschichten. Tiefer liegende Samen keimen entweder nicht, oder sie keimen, aber erreichen die Oberfläche nicht.

### 1.3.1 Potenzielle Ausbreitungswege von gentechnisch verändertem Raps

Potenzielle Probleme können durch eine räumliche und zeitliche Ausbreitung von Transgenen aus gentechnisch veränderten Pflanzen entstehen. Die räumliche Ausbreitung kann über Pollenausbreitung (McCartney & Lacey 1991; Timmons *et al.* 1995; Lavigne *et al.* 1998; Squire *et al.* 1999) und durch Hybridbildungen zwischen Kulturarten und verwandten Wildarten entstehen (Jorgensen & Andersen 1994; Darmency *et al.* 1998), wodurch Gene in das Genom von Wildpflanzen des Agrarökosystems gelangen (Mikkelsen *et al.* 1996; Chevre *et al.* 1997; Ellstrand *et al.* 1999). Für *Brassica napus* wurde in Risikostudien gezeigt, dass er mit *R. raphanistrum* zumindest eine niedrige spontane Hybridisierungsfrequenz aufweist (Guéritaine *et al.* 2003). Eine zeitliche Ausbreitung findet statt, wenn Samen gentechnisch veränderter Pflanzen in der Bodensamenbank überdauern und die Umweltbedingungen ihre Keimung und Fruchtbildung in nachfolgenden Jahren ermöglichen und diese sich dann mit Raps oder Wildpflanzen kreuzen (Lutman & Lopez-Granados 1998; Senior & Dale 2002). Zudem konnte gezeigt werden, dass Hybriden zwischen *B. napus* und *B. rapa* in ihrem Überdauerungsvermögen zwischen den beiden Eltern liegen (Adler *et al.* 1993; Linder & Schmitt 1994). In einer Studie in Kanada konnten in 90 % der begutachteten Felder ein Jahr nach Aussaat transgene Rapsdurchwuchspflanzen gefunden werden (Simard *et al.* 2002).

Raps gilt als dormant (Schlink 1994) und als Pflanze mit relativ hohem Verwildierungspotenzial (Mayer *et al.* 1995; Snow & Palma 1997). So sind Rapssamen bis  $-20\text{ °C}$  winterfest und lange keimfähig. Es zeigt sich seit einigen Jahren eine Tendenz, dass Rapspopulationen neben Segetal- auch Ruderalstandorte z. B. entlang von Verkehrswegen besiedeln können (Sebald 1990; Torgersen 1996; Pessel *et al.* 2001).

### 1.3.2 Dormanz, Persistenz und Keimung

In einer sich ständig verändernden Umwelt erhöht die Dormanz das Überleben von Samen, durch die Verteilung der Keimung über die Zeit (Foley & Fennimore 1998). Die Definition von Dormanz wird widersprüchlich diskutiert. Bouwmeester & Karssen (1992), Vleeshouwers *et al.* (1995), betonen, dass eine korrekte Beschreibung der Dormanz klar zwischen internen und externen Faktoren unterscheiden muß, die sich gegenseitig bei der Samenkeimung beeinflussen. Daraus leiten Benech-Arnold *et al.* (2000) eine Basisdefinition der Dormanz ab: Dormanz ist ein sameninterner Zustand, der die Keimung unter sonst passender Feuchte, Temperatur und Sauerstoffkonzentration verhindert. Das heißt, beim Wegfall des Keimwiderstandes würde die Samenkeimung unter einer weiten Spanne von Umweltbedingungen ablaufen. Anders formuliert ist Dormanz eine inaktive Phase des Samens, in der Wachstum und Entwicklung zurückgestellt sind. Drei Typen der Dormanz lassen sich unterscheiden (Harper 1957, 1977): 1) Angeborene (primäre) Dormanz, die die Keimung bereits auf der Mutterpflanze verhindert. 2) Sekundäre Dormanz bezeichnet einen Dormanzzustand, der in nicht dormanten Samen durch keimungswidrige Bedingungen induziert wurde, was bei Samen zu einer Lichtsensitivität (Derkx & Karssen 1993) führt, die zuvor keinen Lichtreiz zur Keimung benötigten, einer Sensitivität gegenüber Wechseltemperaturen (Benech-Arnold *et al.* 1990) und Nitratsensitivität (Hilhorst 1990). Die Temperatur wurde als der Hauptfaktor erkannt, der die Tiefe der Dormanz in gemäßigten Klimaten, wo Wasser nicht saisonal limitierend wirkt, steuert (Benech-Arnold *et al.* 2000). 3) Eine aufgezwungene Dormanz entsteht, wenn ein oder mehrere essentielle Keimfaktoren wie Wasser, Sauerstoff oder Licht fehlen, wobei hier keine speziellen physiologischen Anpassungsmechanismen eine Rolle spielen. Christensen *et al.* (1996) zeigte für die Winterannuelle *Bromus tectorum*, dass der Dormanzstatus einer Samenpopulation allein durch das Monitoring des mittleren Bodenwassergehaltes beurteilt werden kann. Auch Bradford (1995) weist darauf hin, dass ein Abbau der Dormanz in einer Samenpopulation mit der fortschreitenden Abnahme des mittleren Wassergehaltes in Beziehung steht.

Größere Samen produzieren konkurrenzstärkere Keimpflanzen (Saverimuttu & Westoby 1996; Westoby *et al.* 1996). Die größten Samen neigen dazu sofort zu keimen (Crawley 1997). Pflanzen mit Anpassung an eine Fernausbreitung durch Wind oder Wasser zeigen tendenziell eine geringe Dormanz, während Pflanzen ohne spezielle Ausbreitungsmechanismen manchmal stark dormante Samen aufweisen (zum Bsp. in Wüsten mit unregelmäßigem Regen) und manchmal geringe Dormanz (z. B. in Küstendünen mit regelmäßig feuchten Wintern, (Crawley 1997)).

Licht dringt meist nicht tiefer als 4 – 6 mm in den Boden ein (Wooley & Stoller 1978; Bliss & Smith 1985) und ist daher ein guter Parameter zur Bestimmung der

---

Tiefenlage der Samen im Boden. Ausgesprochene Lichtkeimer werden also nur aus Samen innerhalb dieser Bodenschicht auflaufen. Der Teil der Samenbank, der in tieferen Schichten liegt, wird demnach nicht zur sichtbaren Population beitragen. Frankland (1976) beschreibt, dass die bei Wildpflanzensamen häufig vorhandene Lichtabhängigkeit der Keimung eine wichtige Ursache dafür ist, dass diese Arten sich erfolgreich auf dem Acker behaupten können. Wegen der häufigen Störungen durch die Bodenbearbeitung und der damit verbundenen Lichtreize, die keimhemmend auf Dunkelkeimer wirken (Vogel & Angermann 1990), werden Dunkelkeimer in Ackerflächen weniger gute Etablierungsbedingungen haben.

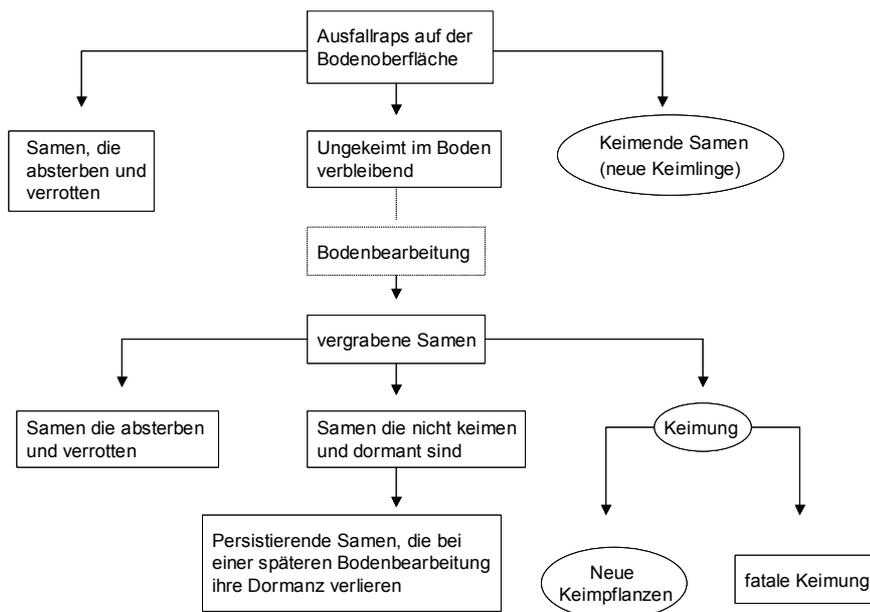
So übt Licht einen erheblichen Einfluss auf Keimung und Dormanz der Samen vieler Arten aus. Licht kann die Keimung fördern oder hemmen, es kann Dormanz verstärken oder aufheben. Die Wirkung ist je nach Art verschieden und hängt vom physiologischen Zustand der Samen sowie der Qualität und Menge des eingestrahlteten Lichts ab.

Die physiologische Grundlage für die Lichtreaktion von Samen ist gut untersucht (Casal & Sánchez 1998). Die Förderung und Hemmung der Keimung durch Licht wird durch Phytochrome gesteuert. Diese sind eine Reihe von Photorezeptoren, die zwischen zwei Formen wechseln können:  $P_{fr}$  der aktiven Form (= dunkelrotes Licht absorbierendes Phytochrom) und  $P_r$ , der inaktiven Form (= hellrotes Licht absorbierende Form von Phytochrom). Hellrotes Licht bewirkt die Umwandlung von  $P_r$  in  $P_{fr}$  und damit eine Förderung der Keimung. So hat eine wiederkehrende Bodenstörung in Form einer Bodenbearbeitung, bei der die Samen zumindest temporär hellrotem Licht ausgesetzt sind, eine keimstimulierende Wirkung. Dunkelrotes Licht bewirkt das Gegenteil, eine Vertiefung der Lichtsensitivität und damit eine Verringerung der Keimbereitschaft im Dunkeln. Wenn zwischen hellrotem und dunkelrotem Licht gewechselt wird, zeigt sich, dass die Reaktion umkehrbar ist. Sonnenlicht weist höhere Anteile von hellrotem als dunkelrotem Licht auf. Sonnenlicht, das durch ein Blätterdach gefiltert wurde, weist einen höheren Anteil dunkelrotes Licht auf und verhindert somit die Keimung lichtsensitiver Samen (Górski *et al.* 1977; Battla *et al.* 2000). Unter bestimmten Umständen findet eine Umwandlung von  $P_{fr}$  in  $P_r$  im Boden statt. Dieser Vorgang der „dark thermal reversion von  $P_{fr}$ “ bewirkt die Induktion einer Lichtsensitivität in Samen, die zuvor kein Licht für die Keimung benötigten. Er bewirkt eine allmähliche Anreicherung von  $P_r$  im Samen und damit die Induktion bzw. Vertiefung einer bereits vorhandenen Lichtsensitivität. Je mehr Samen einer Art sich mit inaktivem Phytochrom im Boden befinden, desto größer und persistenter kann die Samenbank sein.

### 1.3.3 Anbauprobleme mit Raps aufgrund seiner Wildpflanzeigenschaften

Raps gehört zur Familie der Brassicaceae. Die Gattung *Brassica* beinhaltet 3 diploide Grundarten, *Brassica nigra* (n=8 Chromosomen), *Brassica oleracea* (n=9 Chromosomen) und *Brassica campestris* (n=10 Chromosomen). Durch Bastardierung ist daraus im Lauf der Evolution im Mannigfaltigkeitszentrum des Mittelmeerraumes die amphidiploide Art *Brassica napus* mit 19 Chromosomen aus den Genomen von *Brassica campestris* und *Brassica oleracea* durch spontane Kreuzung hervorgegangen (Diepenbrock *et al.* 1999).

Raps ist eine relativ junge Kulturpflanze, die noch immer eine Reihe von Wildpflanzeigenschaften ausprägt. Eine dieser Eigenschaften ist die Fähigkeit, durch die Ausbildung von sekundärer Dormanz über 10 Jahre im Boden als Samen überdauern zu können (Schlink 1998). Dies geschieht unter ungünstigen Umweltbedingungen, insbesondere bei Wassermangel und Sauerstoffmangel im Dunkeln (Pekrun 1994). Ein weiterer Wildtypcharakter ist der vorzeitige Samenausfall aus der Fruchtschote vor und während der Erntezeit, was zu hohen Ernteverlusten führen kann. Das Schicksal der Samen, die in dieser Zeit auf die Bodenoberfläche gelangen, ist in Abb. 1.1 schematisch dargestellt. Beim Rapsdrusch selbst entstehen meistens hohe Ernteverluste (5000 bis 10 000 Samen/m<sup>2</sup>, ca. 250 - 500 kg/ha (Bowerman 1984; Vera *et al.* 1987; Price *et al.* 1996). Dies kann, selbst wenn nur ein kleiner Teil der Samen überlebt, zu beträchtlichen Samenbanken führen. Die Verluste können auch bis zu 1.5 t / ha (Pekrun *et al.* 1996) bzw. bis 25 % des gesamten Ertrages unter ungünstigen Wetter- und Erntebedingungen erreichen (Price *et al.* 1996; Hobson & Bruce 2002). Verluste von 10 000 Samen pro m<sup>2</sup> sind als normal zu betrachten (Lutman 1993). Wenn stark dormante Sorten hohe Ernteverluste erleiden, können Durchwuchspflanzen des Ausfallrapses über viele Jahre hinweg in nachfolgenden Kulturen ernste Probleme bereiten. Fruchtfolgen mit hohem Rapsanteil verstärken die Problematik noch, wenn die Samen im Boden akkumulieren und so sehr große Samenbanken entstehen. Daher wurden in der Landwirtschaft Methoden entwickelt, um Probleme durch persistente Samen zu verringern. Dazu gehört etwa die Verwendung von Rapsorten mit einer geringen Neigung zur sekundären Dormanz. Aus Untersuchungen von Gruber *et al.* (2001) lässt sich ableiten, dass bei diesen Sorten meist nur eine Samenbank mit weniger als 5 % der Samen des Ausfallrapses entsteht.



**Abb. 1.1:** Verbleib von Rapssamen, die nach der Ernte auf die Bodenoberfläche gelangen, unter ackerbaulichen Bedingungen

Zusätzlich werden Bodenbearbeitungsmaßnahmen empfohlen, die die Anreicherung von Samen im Boden minimieren (Gruber *et al.* 2004). Bei guter Bestandeskontrolle in den auf Raps folgenden Feldfrüchten, können die Durchwuchspflanzen vom Raps mit Herbiziden zuverlässig reduziert werden. Außer den, aus dem Durchwuchs von konventionellem Raps entstehenden Problemen wie Konkurrenz, erhöhte Pflanzendichte, Verunreinigung von Erntepartien und verstärktem Krankheitsdruck bei brassicaspezifischen Krankheiten, kann bei herbizidresistentem Durchwuchsraps die Bekämpfung ein Problem bereiten. Dieser lässt sich nicht mit allen Herbiziden bekämpfen und Jahre nach dem Anbau können sich auf der selben Fläche Durchwuchs und neu angebaute Raps (evtl. konventionelle Rapssorte) im Erntegut vermischen. Bei den in Europa festgelegten zulässigen Grenzwerten von 0,9 % (EU-Verordnung 1829/2003) für transgene Anteile in Nahrungs- und Futtermitteln kann dies zu Schwierigkeiten führen. So dürften stärker verunreinigte Erntepartien nicht in den Handel gebracht werden, was zu ökonomischen Schäden bei den betroffenen Produzenten führen würde.

#### 1.3.4 Diasporenbankentwicklung bei Ackerwildpflanzen

Ackerwildpflanzen haben einen wesentlichen Einfluss auf den Ertrag von fast allen Kulturpflanzen auf der Welt, da sie Teil der Primärproduzenten in Agrarproduktionssystemen und somit wichtiger Bestandteil des Agrarökosystems

sind und in Konkurrenz um die Ressourcen treten (Marshall *et al.* 2003). Untersuchungen zum Management von Ackerwildpflanzenpopulationen haben wichtige Einblicke in das Verständnis von Populationsgleichgewichten, dichteabhängiger Mortalität und Altersstufen gegeben, was für die Regulierung der Populationsgröße entscheidend ist (Mortensen *et al.* 2000). Vorhandene Modelle, die auf Schadensschwellen und Unkrautstatistikmodellen basieren und den Landwirten helfen Kurz- und Langzeitstrategien für das Unkrautmanagement zu wählen (Colbach *et al.* 2000), sind neuere Entscheidungshilfen. Andere Modelle prüfen den Einfluss von Temperatur, Bodendurchdringungswiderstand, Vergrabungstiefe, Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Samengewicht auf das Voraufwachstum und den Aufbruch der Wildpflanzen (Vleeshouwers 1997; Grundy & Mead 1998; Colbach *et al.* 2000). Viele verschiedene Ansätze wurden gewählt, um den Aufbruch von Wildkräutern vorhersagen zu können. Manche dieser Modelle versuchten den Aufbruch als monokausales Ereignis zu beschreiben, während andere diesen in Bestandteile wie Dormanzverlust, Keimung und Voraufwachstum untergliedert haben. Die jeweiligen Aufbruchzeiten von Kulturpflanze und Wildpflanze sind wichtige Faktoren für die Bestimmung des richtigen Zeitpunktes zur Entfernung der Wildpflanzen, wie in einer Reihe von Konkurrenzmodellen erklärt wird (Coussens *et al.* 1987; Aikman *et al.* 1995). Das Verständnis der Faktoren, welche das Muster des Wildpflanzenaufbruchs steuern, könnte auch zu einer Veränderung in der Saatbeetbestellung führen und so den Pflanzenaufbruch verändern (Grundy *et al.* 2000). Hydrothermal - Time - Modelle (Gummerson 1986) liefern die Grundlage zur Beschreibung solcher Muster. Trotz des Potenzials der Simulationsmodelle, wurden bislang nur wenige entwickelt (Forcella 1998). Allen Modellen dieses Ansatzes gemein ist, die Einbeziehung von Temperatur- und Feuchteverhältnissen, die von meteorologischen Aufzeichnungen abgeleitet werden können (Grundy 2001). Doch alle in die Modelle eingehenden Größen stehen in starken Wechselbeziehungen zueinander (Benech-Arnold *et al.* 2000). Daher liegt die Schwachstelle dieser Modelle in der teilweise großen Variabilität der prognostizierten Größen, die häufig zu ungenauen Prognosen führt.

Aus dem Wissen heraus, dass Umweltfaktoren Einfluss auf Ackerbaumethoden haben, werden zunehmend integrierte Ansätze im Unkrautmanagement gesucht. Integrierte Unkrautbekämpfung muß den Einfluss der Samenbank berücksichtigen und daher eine langfristige Strategie wählen. Die Bodensamenbank ist die wichtigste Quelle für zukünftige Wildpflanzenpopulationen und stellt die zentrale Größe dar, an der ein vorausschauendes Handeln in der Wildpflanzenregulierung ansetzen muß (Grundy *et al.* 1999). Samenbankanalysen ermöglichen einen Rückblick auf Bearbeitungseinflüsse einschließlich jahreszeitlicher Änderungen im Wildpflanzenaufbruch und gleichzeitig die Voraussage von zukünftigen Wildpflanzenproblemen (Forcella 1992). Die Bodenbearbeitung beeinflusst die

---

Samenbankgröße und Zusammensetzung weit mehr, als die Fruchtfolge (Barberi & Cascio 2001). Untersuchungen von Baskin & Baskin (1998) zeigten, dass die Samenbanken von verschiedenen Wildpflanzenarten unterschiedlich auf variierende Intensität der Wildpflanzenkontrolle reagieren. Erfolgreiches Wildpflanzenmanagement während einer Fruchtfolge erfordert gute Kenntnisse über die Populationsdynamik der betreffenden Arten, speziell die Samenproduktion, Samenpersistenz und den Auflauf der Keimlinge (Lutman *et al.* 2002).

Es gibt zwar Daten über die Persistenzeigenschaften vieler Arten (Thompson *et al.* 1997), doch große Teile davon basieren auf Studien, die auf Standorten ohne wiederkehrende Bodenstörungen durchgeführt wurden. Daher sind solche Untersuchungen nur bedingt gültig für ackerbaulich genutzte Flächen. Einige relevante Vergrabungsexperimente wurden von (Roberts 1964; Roberts & Feast 1973; Roberts & Potter 1980; Froud-Williams *et al.* 1984; Popay *et al.* 1995; Cussans *et al.* 1996) durchgeführt, in denen der Einfluss der Lagerungstiefe der Samen, Bodengefüge und Bodenstörung auf Keimung und Auflauf der Arten untersucht wurden.

Generell fördert eine Herbstbodenbearbeitung Winterannuelle und eine Frühjahrsbearbeitung sommerannuelle Arten. Die für die jeweilige Kulturpflanze erforderliche Bewirtschaftung kann eine charakteristische Begleitflora begünstigen, die bei ihr dominant und zu einem ertragsrelevanten Problem werden kann. Dazu trägt teilweise die kulturspezifische Bodenbearbeitung bei, aber in erster Linie die Entwicklung des Kulturpflanzenbestandes (Auflaufzeitpunkt, Wuchsform, Konkurrenzkraft, Wurzelraum, Bestandesschluß), die wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung des sie begleitenden Wildpflanzenbestandes hat (Geisler 1988; Diepenbrock *et al.* 1999). Besonders bedeutsam sind Wildpflanzen, die bereits in geringer Individuendichte pro Quadratmeter Ertragsverluste und Ernteverunreinigungen bewirken können. Lutman *et al.* (2000) berichtete einen Ertragsverlust von 5 % in *B. napus* bei einer Besatzspanne von 1,4 – 328 Pflanzen m<sup>2</sup> mit *Stellaria media*. Viele Wildpflanzenarten haben unter bestimmten Umweltbedingungen über mehrere Wochen hinweg wiederholt Auflaufwellen (Forcella *et al.* 2000). So hat beispielsweise *Sinapis arvensis* zwei Hauptkeimphasen (Edwards 1980), die zu wiederholten Bekämpfungsmaßnahmen zwingen können.

Für die Abschätzung einer möglichen Auskreuzung ist die Blühphänologie der Brassicaceen ein wichtiger Parameter. Beobachtungen des Blühverlaufes ergaben nur geringe Überschneidungen für *B. napus* und *S. arvensis* (Lefol *et al.* 1996). In Tabelle 1.1 ist die maximale Zeitspanne angegeben, in welcher die untersuchten Arten zu Blüte gelangen können. Die möglichen Hybridisierungspartner sind wahrscheinlich alle in hohem Maße fremdbefruchtet (Neeser 1999). Diese hohe Fremdbefruchtungsrate erleichtert nach Darmency (1994) die Verbreitung von Transgenen aus Raps in die verwandten Wildpflanzen. Für eine erfolgreiche

Kreuzung müssen sich jedoch die Blühzeiten der potenziellen Kreuzungspartner überschneiden, oder parallele Blühfenster bestehen, die zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Pollenübertragung führen könnte. Raps blüht zwischen April und September, wobei die Hauptblüte von Winterraps im April und Mai liegt, bei schlechten Witterungsverhältnissen aber auch in den Juni hinein verschoben sein kann (Neeser 1999). Ausfall- und Ruderalraps haben keine synchrone Blüte, wie der Raps im Kulturbestand, so dass über den gesamten Zeitraum, zwischen April und September, blühende Individuen zu finden sind (Eckelkamp *et al.* 1997).

Tab. 1.1: Blühphänologie (nach Schmeil & Fitschen 1988) von *Brassica napus* und potenziell kreuzungskompatiblen Wildpflanzen für Süddeutschland in der collinen Stufe.

Brassicaceae	Potenzieller Blühzeitraum
<i>Brassica napus</i>	April - September
<i>Brassica rapa</i>	April - September
<i>Sinapis arvensis</i>	Juni – September
<i>Raphanus raphanistrum</i>	Juni – August
<i>Thlaspi arvense</i>	April – Juni
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Februar – September
<i>Arabidopsis thaliana</i>	April – Mai

Wenn die Gefahr einer Auskreuzung besteht, dann steigt dieses Risiko mit der Persistenz der potenziell kreuzungskompatiblen Arten. Insgesamt ist wenig bekannt zur Persistenz von Diasporenbanken der Wildpflanzen unter Praxisbedingungen (Forcella 2003). Daher sollte vorliegende Arbeit auch einen Beitrag zu den Grundlagen der Persistenz von Wildpflanzen unter praxisüblichen Bedingungen liefern. Deshalb wurden neben potenziell kreuzungskompatiblen Arten auch Arten anderer Familien in die Untersuchung aufgenommen.

Im Fall von ausgeprägt persistenten Samenbanken der Arten *Brassica rapa*, *Sinapis arvensis* und *Raphanus raphanistrum* würde die absolute Wahrscheinlichkeit steigen, dass sich über Jahre hinweg wiederholt die Möglichkeit von Auskreuzungen (Hybridbildungen) ergeben könnte. Ideal wäre die zuverlässige Kontrolle der Samenbanken von Raps und den potenziell kreuzungskompatiblen Brassicaceen durch die selben Bearbeitungsmaßnahmen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Standortbeschreibung der ehemaligen Freisetzungsflächen

Um die Langzeitpersistenz von Rapssamen unter Praxisbedingungen zu erfassen, wurden mehrere Standorte in Süddeutschland in die Untersuchung einbezogen. Als Untersuchungsfläche dienten fünf ehemalige Freisetzungsstandorte der Firma Bayer-CropScience mit insgesamt 10 Parzellen. Die Standorte bei Bütthard, Gersthofen sowie Osterhofen liegen in Bayern, die Standorte bei Orbis und Wörrstadt befinden sich in Rheinland-Pfalz (Abb. 2.1).

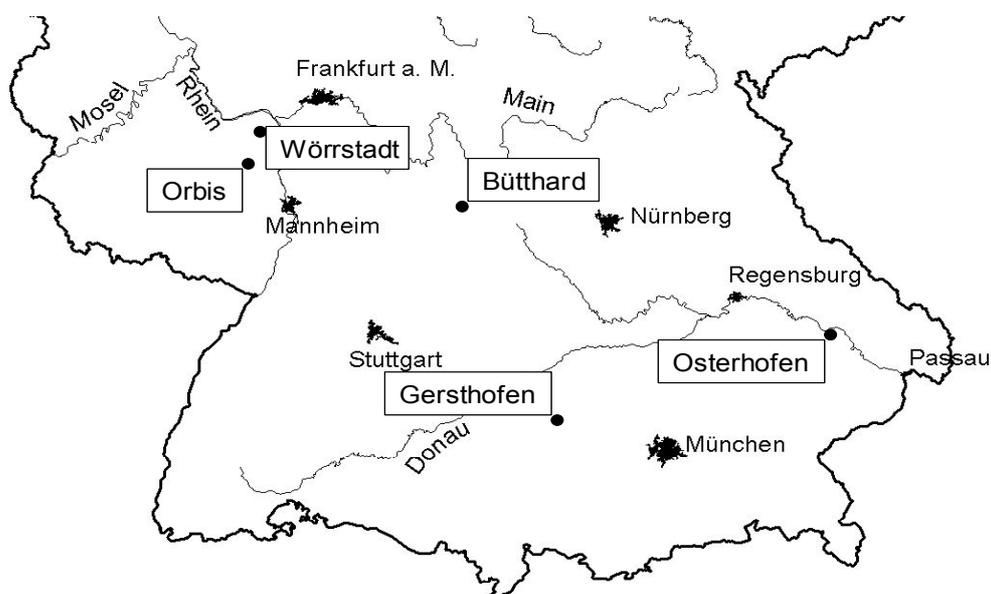


Abb. 2.1: Lage der ehemaligen Freisetzungsstandorte

Diese Standorte dienten von 1994 bis 2000 zur Sortenprüfung von transgenen, glufosinattoleranten Winterrapssorten, wozu auf jeweils 0,4 ha großen Flächen die Sorten Modul<sup>LL</sup> (Liberty Link) und Avalon<sup>LL</sup> aus der Transformation GS 40/90 sowie experimentelle Hybriden von Ms8/Rf3 (kein Sortenname vergeben) angebaut wurden. Die Aussaatstärke betrug jeweils 65-70 Samen pro m<sup>2</sup>. Die 0,4 ha großen Freisetzungsflächen waren in Feldern von 2,8 – 9,5 ha Gesamtfläche eingebettet. Die Restfläche war mit konventionellem Raps eingesät worden. Am Standort Bütthard stand schluffiger Lehmboden an, wo 1998 und 1999 auf zwei separaten Flächen jeweils die Hybride Ms8/Rf3 ausgesät wurde. In Gersthofen wurde auf sandigem Lehm in den Jahren 1994, 1995 und 1996 die Sorte Modul<sup>LL</sup> auf 3 getrennten Flächen ausgebracht. In Osterhofen wurde auf Löß - Lehm in den Jahren 1998 und 1999 die Hybride Ms8/Rf3 auf zwei getrennten Flächen ausgesät. Der Standort Orbis lag auf Lehmboden und wurde 1999 mit der Sorte Avalon<sup>LL</sup> eingesät. Die zwei Flächen in Wörrstadt lagen auf Löß-Lehm und wurden in den Jahren 1994

und 1995 mit der Sorte Modul<sup>LL</sup> eingesät. Angaben zu den Standorten sind in Tabelle 2.1 aufgeführt. Alle Parzellen wurden nach der Ernte mit einem zeitlichen Abstand von mindestens 3 Wochen, mit dem Grubber 2 bis 4 mal, in Zeitabständen von 1 – 4 Wochen, flach bearbeitet (Tab. 2.2).

Tab. 2.1: Ortsangaben und Standortparameter der ehemaligen Freisetzungsflächen. Koordinatenangaben: Geographisch in WGS 84

Standort	<i>Orbis</i>	<i>Wörrstadt</i>	<i>Gersthofen</i>	<i>Bütthard</i>	<i>Osterhofen</i>
<i>Bundesland</i>	<i>Rheinland-Pfalz</i>	<i>Rheinland-Pfalz</i>	<i>Bayern</i>	<i>Bayern</i>	<i>Bayern</i>
<i>Kreis</i>	<i>Donnersberg-kreis</i>	<i>Alzey</i>	<i>Gersthofen</i>	<i>Würzburg</i>	<i>Deggendorf</i>
<i>Lage: Breite Länge</i>	<i>49°44'40'' N 08°00'00'' O</i>	<i>49°50'30'' N 08°06'50'' O</i>	<i>48°26'25'' N 10°52'30'' O</i>	<i>49°36'00'' N 09°53'50'' O</i>	<i>48°43'07'' N 13°00'02'' O</i>
<i>Ausgebrachte Sorte</i>	<i>Avalon<sup>LL</sup></i>	<i>Modul<sup>LL</sup></i>	<i>Modul<sup>LL</sup></i>	<i>Ms8/Rf3</i>	<i>Ms8/Rf3</i>
<i>Bodenart</i>	<i>Lehm</i>	<i>Löß-Lehm</i>	<i>Sandiger Lehm</i>	<i>Schluffiger Lehm</i>	<i>Löß Lehm</i>
<i>Bodenzahl (nach Reichsbodenschätzung)</i>	<i>65</i>	<i>74</i>	<i>65</i>	<i>70</i>	<i>68</i>
<i>Topographie</i>	<i>Eben</i>	<i>Mäßig nördl. geneigt</i>	<i>Eben</i>	<i>Leicht nördl. geneigt</i>	<i>Eben</i>
<i>Jahresniederschlag</i>	<i>510 mm</i>	<i>530 mm</i>	<i>825 mm</i>	<i>550 mm</i>	<i>785 mm</i>
<i>Jahresmitteltemperatur</i>	<i>9,3° C</i>	<i>9,3° C</i>	<i>8,2° C</i>	<i>9,0° C</i>	<i>7,6° C</i>
<i>Vegetationstage / Jahr</i>	<i>230</i>	<i>230</i>	<i>220</i>	<i>220-230</i>	<i>220-230</i>
<i>Höhe über NN</i>	<i>250 m</i>	<i>220 m</i>	<i>470 m</i>	<i>282 m</i>	<i>310 m</i>

An allen Standorten konnte im Zeitraum zwischen Ernte und erster Bearbeitung ein Großteil der Ausfallsamen aus dem Erntevorgang bereits keimen. Die nachfolgenden, nicht wendenden Grubberbearbeitungen verhinderten eine tiefe Vergrabung im Boden, so dass erwartet wurde, dass wenig Samen des Ausfallrapses zu Beginn des Anbaus der Folgefrucht in der Bodensamenbank vorhanden waren.

**Tab. 2.2:** Zeitpunkte der Feldarbeiten und Probenahmen auf den ehemaligen Freisetzungsfeldern. Winterweizen (WW), Wintergerste (WG), Sommergerste (SG), Zuckerrüben (ZR).

<b>Bearbeitung</b>	<b>Standorte</b>									
	<b>Gersthofen</b>			<b>Wörrstadt</b>		<b>Osterhofen</b>		<b>Bütthard</b>		<b>Orbis</b>
<b>Probefläche</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Ernte/Samen-Verlust</b>	<b>Juli 95</b>	<b>Juli 96</b>	<b>Juli 97</b>	<b>Juli 95</b>	<b>Juli 96</b>	<b>Juli 99</b>	<b>Juli 00</b>	<b>Juli 99</b>	<b>Juli 00</b>	<b>Juli 00</b>
Grubber	Aug. 95 2 x	Aug. 96 2 x	Aug. 97 2 x	Aug. 95 2 x	Aug. 96 2 x	Aug.-Sept. 99 4 x	Aug. – Sept. 00 3 x	Juli – Aug. 1999 2 x	Juli 00 2 x	Juli 00
Egge							Sept. 00	Sept 99 2 x	Mrz. 01	
Pflug						Okt. 99				
Egge						April 00				
<b>Folgefrucht-Aussaart</b>	<b>Okt. 95 (WW)</b>	<b>Okt. 96 (WW)</b>	<b>Okt. 97 (WW)</b>	<b>Okt. 95 (WW)</b>	<b>Okt. 96 (WW)</b>	<b>April 00 (Mais)</b>	<b>Sept. 00 (WG)</b>	<b>Okt. 99 (WW)</b>	<b>Mrz. 01 (ZR)</b>	<b>Okt. 00 (WW)</b>
<b>Probenahme</b>							Mai 01		April 01	April 01
<b>Ernte</b>						<b>Sept. 00</b>	<b>Juli 01</b>	<b>Juli 00</b>	<b>Okt. 01</b>	<b>Juli 01</b>
Grubber	Sept. 95	Sept. 96	Sept. 97		Sept. 97		Aug. 01 2 x	Aug. 00	Okt. 01	Aug. 01
Pflug				Sept. 96		Okt. 00		Aug. 00		
Egge/Fräse							Sept. 01 (Klee)	Sept. 00		
<b>Folgefrucht - Aussaat</b>						<b>Okt. 00 (WW)</b>	<b>April 02 (Mais)</b>	<b>Sept. 00 (WG)</b>	<b>Okt. 01 (WW)</b>	<b>Sept.01 (WG)</b>
<b>Probenahme</b>	April 01	April 01	April 01	März 01	März 01	Mai 01	April 02	April 01	Mai 02	Mai 02
<b>Ernte</b>						<b>Juli 01</b>	<b>Sept. 02</b>	<b>Juli 01</b>	<b>Juli 02</b>	<b>Juli 02</b>
<b>Folgefrucht Aussaat</b>						<b>Aug. 01 (Senf)</b>				
Grubber						Okt. 01		Aug. 01	Sept. 02	Aug. 02
Pflug						Dez. 01	Okt. 02		Dez. 02	
Grubber									Feb. 03	
<b>Folgefrucht-Aussaart</b>						<b>Mrz. 02 (Rüben)</b>	<b>April 03</b>	<b>Mrz. 02 Erbsen</b>	<b>Mrz.. 03 (SW)</b>	<b>Okt. 02 (WW)</b>
<b>Probenahme</b>						April 02	Mai 03	Mai 02	Mai 03	Mai 03
<b>Ernte</b>						<b>Okt. 02</b>		<b>Sept. 02</b>		
Grubber						April 03		Okt. 02		
<b>Folgefrucht-Aussaart</b>						<b>April 03 (Mais)</b>		<b>Okt. 02 (WW)</b>		
<b>Probenahme</b>						Mai 03		April 03		

## 2.2 Beschreibung des Standortes Roggenstein und der Versuchsfelder

Der nachfolgend beschriebene Feldversuch wurde in den Vegetationsperioden 2001 bis 2003 auf dem Lehr- und Versuchsgut der TU München/Weißenstephan in Roggenstein (Landkreis Fürstenfeldbruck) angelegt und durchgeführt. Er sollte zeigen, wie sich unterschiedliche Verfahren der Bodenbearbeitung auf die Diasporenvorräte verschiedener Rapsorten und Wildpflanzen auswirken. Roggenstein liegt im oberbayerischen Voralpenland westlich von München (Breite  $48^{\circ} 11' 05''$  N, Länge  $11^{\circ} 20' 18''$  O) auf einer Höhe von 520 m über NN (Abb. 2.2).

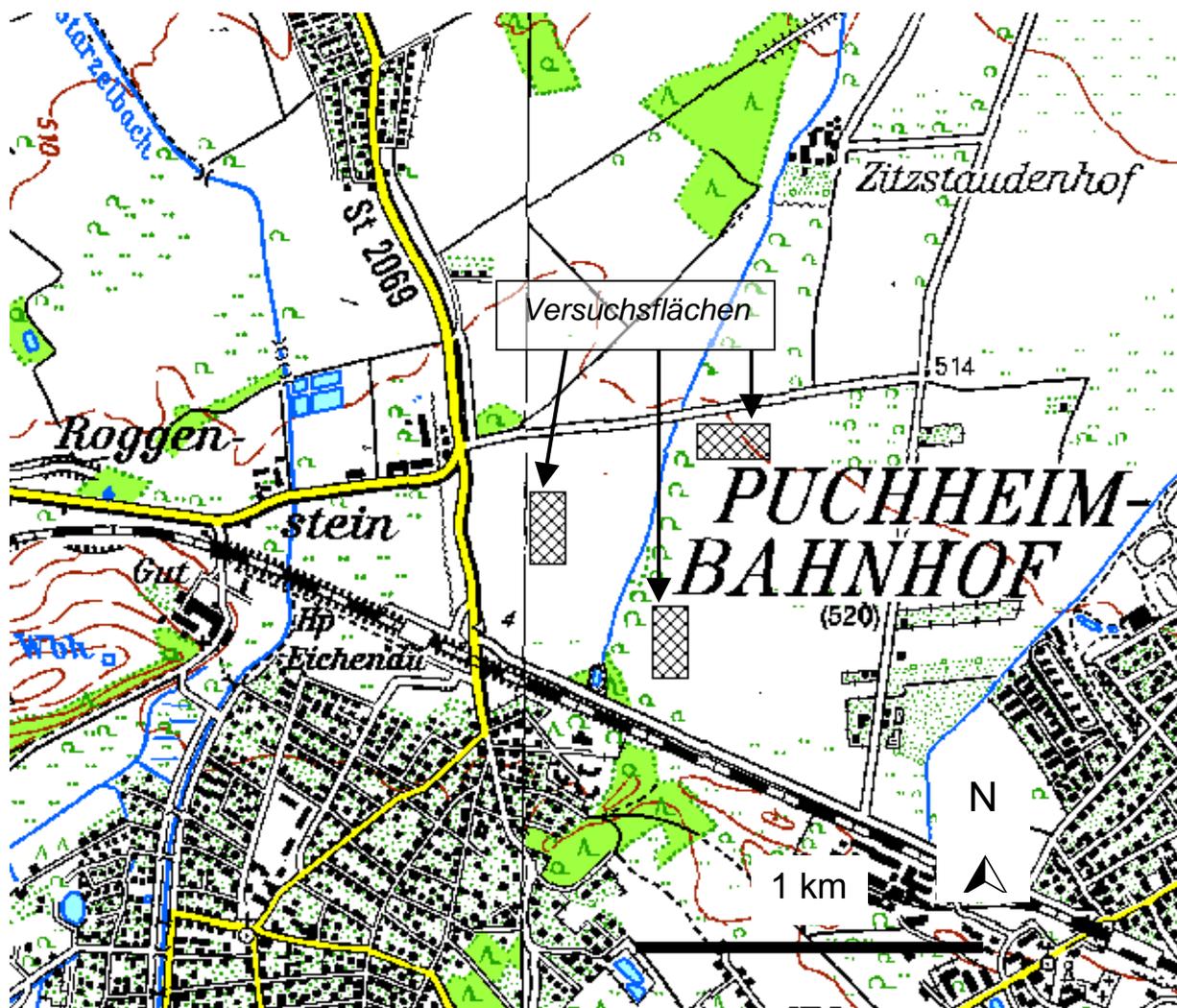


Abb. 2.2: Lage der Versuchsfelder bei Roggenstein (Anonymus 1985)

Das Versuchsgut Roggenstein liegt naturräumlich am westlichen Rand der Münchner Schotterebene. Der Bodentyp der Versuchsfelder ist als Braunerde mit einer Mächtigkeit von ca. 50 cm aus alluvialem Schotter entstanden und charakteristisch für die Voralpenregion. Der Ap-Horizont beträgt jedoch nur etwa 20 cm. Für das Gebiet des Feldversuchs weist die Bodenschätzkarte folgende Bodenart aus: sL

---

(sandiger Lehm) mit der Bodenzahl 56 und der Ackerzahl 50. Die Versuchsfläche ist weitgehend eben.

Der Mittelwert der Temperatur der Station Nr. 6, Roggenstein in Oberbayern im Landkreis Fürstenfeldbruck in der Gemeinde Emmering des Agrarmeteorologischen Meßnetzes in Bayern, lag für die Jahre 2001, 2002 und 2003 bei 8,6°C, 9,2°C und 8,8°C. Der 20-jährige Durchschnittswert liegt bei 7,7°C. Die Niederschlagsmengen betragen für die Jahre 2001, 2002 und 2003 1030 mm, 1205 mm und 676 mm Jahresniederschlag (Meßwerte des Agrarmeteorologischen Meßnetz Bayerns ([www.landwirtschaft.bayern.de](http://www.landwirtschaft.bayern.de))) im Vergleich zu 858 mm im 20-jährigen Durchschnitt. Demnach lagen die Jahresmitteltemperaturen im Untersuchungszeitraum im Durchschnitt um 1,2°C über dem langjährigen Mittel und auch die Jahresniederschlagssummen waren um 112 mm höher als der langjährige Mittelwert.

### 2.3 Versuchsanlage und Bearbeitungsgeräte

Der Versuch wurde auf Parzellen durchgeführt, deren Größe noch den Einsatz praxisüblicher Gerätschaften erlaubte. Er umfasste drei Wiederholungen in Blockanlagen (Abb. 2.4), die maximal 500 m voneinander entfernt lagen. Die Abmessungen der Einzelparzellen für den Persistenzversuch betragen 9 x 3 m, die Aussaat der Samen erfolgte jedoch nur im Zentrum jeder Parzelle, auf 2,5 x 3 m = 7,5 m<sup>2</sup>. Sowohl die gentechnisch veränderten, herbizidtoleranten Rapssorten, als auch die konventionellen wurden auf je 3 x 6 (18) Parzellen ausgebracht. Mit den konventionellen Sorten wurden Samen von Wildpflanzen und Rübsen mit eingesät (vgl. Abb. 2.4 Versuchsanlage). Jede Rapssorte wurde somit in eine separate Parzelle gesät, um die Unterscheidbarkeit zu gewährleisten. In jeder Wiederholung wurden 3 Bodenbearbeitungsvarianten (Striegel, Grubber, Pflug) durchgeführt. Um eine einseitige Verlagerung von Saatgut zu minimieren, wurde die Bearbeitungsrichtung innerhalb der Varianten jeweils gegenläufig zur vorherigen Bodenbearbeitung gewählt. Die Bearbeitungstiefe des Striegels betrug bis 4 cm, beim Grubber 12 cm und für den Pflug 20 cm (Abb. 2.3). Somit war in jeder Wiederholung eine Parzelle pro Bearbeitungsvariante vorhanden. So standen für jede Variante 3 x 7,5 m<sup>2</sup> = 22,5 m<sup>2</sup> Fläche zur Verfügung. Insgesamt ergab sich eine Fläche von 67,5 m<sup>2</sup> und eine Samenmenge von ca. 338 000 Samen pro Rapssorte.



Abb. 2.3: Die verwendeten Bodenbearbeitungsgeräte (A) Striegel, (B) Grubber und (C) Pflug.

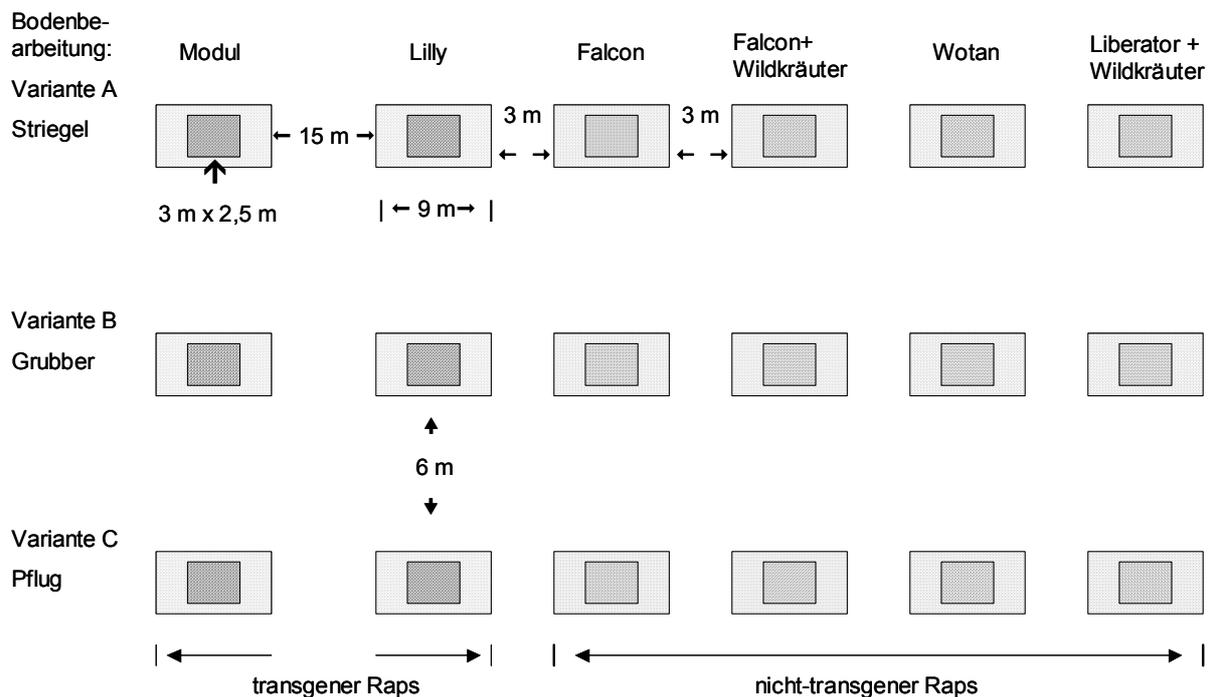


Abb. 2.4: Blockversuchsanlage des Persistenzversuches

Diese Anlage wurde an drei verschiedenen Stellen des Versuchsgutes in dieser Form angelegt. Falcon und Wotan wurden im Aug. 2002 nachträglich eingefügt.

Die Saatkichte betrug 5000 Samen / m<sup>2</sup> für die einzelnen Sorten bzw. Arten. Für zwei Arten lag die Saatkichte bei 1230 bzw. 1400 Samen m<sup>-2</sup>, da die Saatgutfirma Conrad Appel zum relevanten Zeitpunkt nicht mehr Saatgut bereitstellen konnte. Das Saatgut aller Arten und Sorten wurde in Deutschland gewonnen. Die Samen wurden von Hand in den einzelnen Parzellen eingesät. Für die beiden konventionellen Rapsorten, die gemeinschaftlich mit den Wildpflanzen auf die Parzellen ausgesät wurden, ergab sich eine Gesamtsaatkichte von 62630 Samen m<sup>-2</sup>. Da es auf den Parzellen, wo konventioneller Raps mit Wildkräutern zusammen eingesät worden war, im Herbst 2001 offensichtlich zur Konkurrenz zwischen beiden Komponenten

kam, wurden im August 2002 die Rapssorten Falcon und Wotan gesondert ausgesät, die auch noch nachträglich in das Versuchsdesign integriert werden konnten. Da die ursprünglich verwendete Sorte Liberator in 2002 beim Züchter und im Handel nicht mehr verfügbar war, wurde sie durch die Sorte Wotan ersetzt, die, nach Angaben der Beschreibenden Sortenliste vom Bundessortenamt (2000), nahezu identische pflanzenbauliche Eigenschaften aufweist. Zum Dormanzverhalten dieser Sorte liegen keine Untersuchungen vor.

Um die Genauigkeit der Diasporenbankanalyse und Effekte der Samenverschleppung durch die Bodenbearbeitung beurteilen zu können, wurden in einer Wiederholung in der Grubber- und Pflugvariante zusätzlich 5000 Glaskugeln (1,7 – 2,0 mm Ø) pro m<sup>2</sup> ausgebracht. Nach der Einsaat aller Arten und Sorten am 17.08.2001, wurden noch am selben Tag die Parzellen mit den drei Bearbeitungsgeräten Striegel, Grubber und Pflug bestellt. In die Parzellen wurden während des gesamten Versuchszeitraumes keine weiteren Kulturen oder Zwischenfrüchte eingesät. Die nachfolgenden Bodenbearbeitungen entsprachen terminlich der Saatbettbereitung für den Anbau von Sommer- bzw. Winterkulturen in der landwirtschaftlichen Praxis.

## 2.4 Auswahl der Sorten und Arten

### 2.4.1 Herbizidtoleranz – LibertyLink-System der transgenen Rapssorten

Im Persistenzversuch wurden die gentechnisch veränderten, herbizidtoleranten (glufosinattoleranten) Rapssorten Modul<sup>LL</sup>, und Lilly<sup>LL</sup> ausgesät. Deren Ausgangslinien Falcon und Liberator bzw. Wotan wurden als konventionelle (isogene) Sorten verwendet. Der Anteil der Samen von Falcon und Liberator, die unter Laborbedingungen Dormanz ausbilden, gilt als sehr gering bzw. mittel ( $\leq 2\%$  bzw.  $\leq 17\%$ ).

Für die Pflanzen ist die Entgiftung von Ammoniak, das im Stoffwechsel natürlicherweise entsteht, lebensnotwendig. Dieser Vorgang findet in allen grünen Pflanzenteilen statt. Ammoniak kann zum Aufbau von Aminosäuren verwendet werden. Der herbizide Wirkstoff Glufosinat wird in begrenztem Umfang innerhalb der Pflanze transportiert. Es wird aber in belebtem Boden schnell inaktiviert, so dass es nicht über die Pflanzenwurzel aufgenommen werden kann. Bei guten Wachstumsbedingungen wird die Wirkungsschnelligkeit gefördert und der Wirkungsgrad erhöht.

Glufosinatammonium, ein synthetischer Abkömmling von Phosphinotricin, besitzt ähnliche Struktur wie die Aminosäure Glutaminsäure und verdrängt diese von den Bindungsstellen des Enzyms Glutaminsäuresynthetase. Damit fällt dieses Enzym in seiner Aktivität aus und es kommt zur Anreicherung von Ammoniak in der Zelle, das

als Zellgift zum Absterben der Pflanze führt (Harms *et al.* 1998). Um die Kulturpflanze gegenüber Glufosinat unempfindlich zu machen, benötigte man zunächst ein entsprechendes Merkmal mit dem dazugehörigen Verträglichkeitsgen. Das Toleranzgen aus dem Mikroorganismus *Streptomyces viridochromogenes* mit der genetischen Information für die Bildung des PAT-Enzyms. PAT steht für Phosphinothricin-Acetyl-Transferase, ein Enzym, das Glufosinat in eine unwirksame Substanz (acetylierte Form von Glufosinat-ammonium) überführt und so alle Pflanzen mit dem PAT-Gen unempfindlich gegenüber diesem Herbizid macht. Diese acetylierte Form von Glufosinat-ammonium kann Glutaminsäure vom Enzym nicht mehr verdrängen.

Wenn eine Kulturpflanze das PAT Gen enthält, ist sie geschützt gegen Liberty. So kann das Herbizid Liberty als selektives Mittel eingesetzt werden. Durch die Kombination von Herbizid (Liberty) und herbizidtoleranter (Liberty-toleranter) Sorte (=LibertyLink-System) wird ein neuer Weg der Unkrautkontrolle erschlossen ([www.bayercropscience.de/de/bs/liberty\\_link/liberty\\_link](http://www.bayercropscience.de/de/bs/liberty_link/liberty_link), 2004).

#### 2.4.2 Wildpflanzenarten

Ausgewählt wurden potenziell kreuzungskompatible Brassicaceen und im Rapsanbau ertragsrelevante Wildpflanzen (Diepenbrock *et al.* 1999). Folgende Pflanzenarten (Tab. 2.3) wurden in definierten Samenmengen ausgebracht.

**Tab. 2.3:** Aussaatmengen der im Persistenzversuch verwendeten Pflanzenarten.

(Wissenschaftliche Namen nach Wisskirchen & Haeupler, 1998)

Arten und (Sorten) Latein / Deutsch	Aussaatmenge Samen / m <sup>2</sup>	
<b>Kulturarten</b>		
	Transgene Sorten	
<i>Brassica napus</i> (L.)	Raps (Modul <sup>LL</sup> )	5000
	Raps (Lilly <sup>LL</sup> )	5000
	Konventionelle Sorten	
	Raps (Falcon)	5000
	Raps (Liberator)	5000
	Raps (Wotan)	5000
<i>Brassica rapa</i> (L.)	Rübsen (Rex)	5000
<b>Wildarten</b>		
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) HEYNH.	Ackerschmalwand	5000
<i>Avena fatua</i> (L.)	Flughafer	5000
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) MED.	Hirtentäschelkraut	5000
<i>Daucus carota</i> (L.)	Wilde Möhre	5000

Arten und (Sorten) Latein / Deutsch		Aussaatmenge Samen / m <sup>2</sup>
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. BEAUV.	Hühnerhirse	5000
<i>Raphanus raphanistrum</i> (L.)	Hederich	1230
<i>Sinapis arvensis</i> (L.)	Ackersenf	5000
<i>Solanum nigrum</i> (L.)	Schwarzer Nachtschatten	1400
<i>Spergula arvensis</i> (L.)	Ackerspörgel	5000
<i>Stellaria media</i> (L.)	Vogelmiere	5000
<i>Thlaspi arvense</i> (L.)	Ackerhellerkraut	5000
<i>Tripleurospermum perforatum</i> (L.) (MERAT) LAINZ	Geruchlose Kamille	5000

Insbesondere *Brassica rapa*, *Raphanus raphanistrum* und *Sinapis arvensis* wären nach der Auskreuzung des Herbizidtoleranzgens aus Raps mögliche Problempflanzen, sowohl in konventionellen als auch in transgenen Kulturen.

## 2.5 Bodenprobenahme und Behandlung der Proben der Untersuchungsflächen

### 2.5.1 Bodenbeprobung auf den ehemaligen Freisetzungsf lächen an verschiedenen Standorten in Süddeutschland

Von den Parzellen in Bütthard, Orbis und Osterhofen wurden in den drei aufeinanderfolgenden Jahren 2001 bis 2003 jeweils in den Monaten März bis Mai, Bodenproben zur Samenbankanalyse entnommen. Auf den Parzellen in Gersthofen und Wörrstadt erfolgten nach 2001 keine weiteren Probenahmen, da kein transgener Raps in diesen Proben aufgetreten war.

Auf jeder Parzelle wurden 30, zufällig auf der Fläche verteilte Bodenproben mit einem Bohrstock (Tiefe 30 cm, Durchmesser 7,8 cm, Volumen 1430 cm<sup>3</sup>) von Hand entnommen und jeweils einzeln untersucht. Um die Samen vom Boden zu trennen, wurden die Bodenproben im S1 Gewächshaus unter einem form- und druckvariabel einstellbaren Wasserstrahl, durch 2 Siebe mit Maschenweiten von 2 bzw. 1 mm ausgewaschen. Dazu wurden die Einzelproben in kleinere Teilmengen geteilt, um ein Überlaufen der Siebe zu verhindern. Die Proben wurden direkt auf das 2 mm Sieb aufgebracht. Ein darüber aufgebrachtes 4 mm Sieb fungierte als Spritzschutz, damit die Bodenlösung und darin enthaltene Samen nicht verloren gingen. Von den wenigen verbliebenen Steinchen und dem organischen Rückstand konnten die Rapsamen mit einer Pinzette getrennt werden. 2001 wurden für den anschließenden Keimtest die Samen in 1 %iger NaOCl - Lösung, 2 Minuten eingelegt, um sie zu desinfizieren und oberflächliche Verpilzung zu vermeiden. Danach waren die Samen 3 mal mit deionisiertem Wasser gespült worden. Dann wurden die Samen auf zwei Lagen Filterpapier (Schleicher & Schuell, Nr. 595, 90mm

∅), das zuvor mit 6 ml deionisiertem Wasser befeuchtet worden war ausgelegt. Um die Keimung anzuregen wurden  $\text{KNO}_3$  (Konz. 2mg/l) und Gibberellinsäure (Konz. 2,5mg/l) in die Schälchen zugegeben (Bruce 1997; Gerowitt 1998). Im Keimschrank bei 22°C und Dauerlicht keimte der Großteil der Samen innerhalb von 3 Tagen. Bodenproben, die nicht sofort ausgewaschen werden konnten, wurden bei 5°C in einer Kühlkammer bei Dunkelheit bis zu ihrer Verarbeitung gelagert. Die Erfassung der Samenkeimung erfolgte über 4 Wochen, wobei die Petrischälchen konstant feucht gehalten wurden. Um die Keimbedingungen den Bedingungen im Ackerboden anzunähern und damit realistischer zu gestalten, wurde 2002 und 2003 die Behandlung nach der Methode von Baskin & Baskin (1998) fortgesetzt, das heißt ohne Zugabe von NaOCl, Gibberellinsäure und  $\text{KNO}_3$ . Die Samen wurden als keimfähig eingestuft gemäß Pekrun (1994), wenn sie eine Keimwurzel von mindestens 2 mm Länge aufwiesen. Die Zahl der lebensfähigen Samen wurde pro  $\text{m}^2$  angegeben. Bevor die Keimlinge auf transgene Sequenzen getestet werden konnten, wurden sie bei -25°C einzeln eingefroren.

### 2.5.2 Bodenbeprobung und Analyse auf den Parzellenversuchsflächen in Roggenstein

Um den Einfluss von Bodenbearbeitung und Sorte auf die Persistenz zu untersuchen, wurden zwei mal im Jahr (Tab. 2.4), jeweils unmittelbar vor der Bodenbearbeitung (März bzw. September), auf jeder Parzelle 4 Bodenproben entnommen, die in zwei Tiefen unterteilt wurden, von 0 – 10 cm und von 10 – 22 cm. So konnte die Wirkung der unterschiedlichen Bearbeitungsgeräte auf die Schichtung der Samen im Ackerprofil beurteilt werden. Die Pflugtiefe betrug zwar 20 cm, doch wurde etwas tiefer beprobt, um sicher zu gehen, auch die Samen zu erfassen, die auf der Pflugsohle lagerten.

Tab. 2.4: Zeitpunkte der Auflaufauszählungen und Samenbankbeprobungen der Versuchspartellen in Roggenstein

Untersuchung		Untersuchung	
Auflaufrate	Zeitpunkt	Samenbank	Zeitpunkt
Nach 1. Bearbeitung	09/2001	Start	08/2001
Nach 2. Bearbeitung	09/2002	Nach 1. Bearbeitung	02/2002
Nach 3. Bearbeitung	11/2002	Nach 2. Bearbeitung	09/2002
Nach 4. Bearbeitung	09/2003	Nach 3. Bearbeitung	03/2003
Nach 5. Bearbeitung	11/2003	Nach 4. Bearbeitung	09/2003

Die Beprobung erfolgte wie auf den Freisetzungsf lächen. Folgende Punkte der Analyse wurden jedoch modifiziert: Die Beprobungstiefe (Tiefe 22 cm, Durchmesser 7,8 cm, Volumen 1050 cm). Bei der Probenauswaschung wurden 5 Siebe mit abnehmenden Maschenweiten (2, 1, 0,5 und 0,25 mm) verwendet. Der Rückstand aus dem 0,5 und 0,25 mm Sieb wurde danach in Petrischalen überführt. Die Schicht aus dem Rückstand hatte max. 15 mm Mächtigkeit und wurde im Klimaschrank bei 22°C und Dauerlicht einem Keimtest unterzogen. Hier wurde die Keimung über vier Wochen verfolgt, die Arten bestimmt und ausgezählt. Die Rückstände aus dem Auswaschprozeß wurden wieder zurück auf die Versuchsflächen gebracht, um eine Kontaminierung bislang nicht mit transgenem Saatgut in Kontakt gekommene Flächen zu vermeiden. Die Pflanzen aus den Keimtests wurden nach Abschluß der Bestimmung autoklaviert und entsorgt. Die Samenbankproben aus der Beprobung vom März 2003 wurden im Klimaschrank aufgrund einer Störung des Thermostaten auf über 50°C erhitzt. Zu diesem Zeitpunkt hatten erst wenige Samen in den Petrischalen gekeimt. Um dennoch Aufschluß über den Besatz an potenziell lebensfähigen Samen zu erhalten, wurden diese per Hand aus dem Auswaschungsrückstand aussortiert und unter einer Lupe bestimmt. Samen, die sich dabei als fest und druckstabil erwiesen, wurden als lebensfähig eingestuft (Ball & Miller 1989). Zusätzlich wurde an Stichproben aus 2003 ein Tetrazolium-Test zur Überprüfung der Lebensfähigkeit durchgeführt (Vankus 1997). Ca. 70 % der in Stichproben getesteten Samen wurden in diesem Test als lebensfähig bewertet. Für *A. thaliana* wurde ergänzend eine weitere Methode verwendet. Denn die sehr kleinen Samen von *A. thaliana* konnten nur schwer bei der Auswaschung der Bodenproben nachgewiesen werden. So wurde für diese Art zusätzlich das Keimverfahren angewandt. Einzelne Bodenproben aus den drei Bearbeitungsvarianten wurden im Gewächshaus über 3 Monate in Keimschalen ausgelegt und die daraus keimenden Pflanzen ausgezählt.

## 2.6 Persistenzversuch auf dem Versuchsgut Roggenstein

### 2.6.1 Vorerhebungen

Auf dem Versuchsgut Roggenstein wurden Flächen gewählt, die aufgrund ihrer früheren Bewirtschaftung einen geringst möglichen Besatz an Zielarten (Brassicaceen) hatten.

Die Untersuchungsflächen wiesen trotzdem mehrere Zielarten in unterschiedlicher Häufigkeit in ihrer Wildpflanzenflora auf. Um abschätzen zu können, welche Arten bereits vor Experimentbeginn in der Samenbank und in der Vegetation auftraten, wurden Samenbankprobennahmen und Bestandenserhebungen auf den Untersuchungsflächen durchgeführt. Dazu wurden die Flächen im Juni 2001 einmalig

in 5 Erhebungen a 1 m<sup>2</sup> Fläche, auf jeder der 3 Wiederholungen, auf ihren Artenbestand hin untersucht und die Anzahl der vorhandenen Individuen je Art pro Quadratmeter bestimmt. Parallel dazu wurden 5 Bodenproben mit einem Bohrstock (Tiefe 30 cm, Durchmesser 7,8 cm, Volumen 1430 cm<sup>3</sup>) je Wiederholung genommen, um die Samenbank der vorhandenen Ackerwildpflanzen zu ermitteln. Jede Bodenprobe wurde in drei verschiedene Tiefen zu jeweils 10 cm aufgeteilt und separat in Styroporkeimschalen, mittels der Kultivierungsmethode (Kropac 1966) im Gewächshaus bei 15 – 30°C ausgelegt und über zwei Vegetationszyklen der Auflauf ausgezählt.

Die Zusammensetzung der Wildpflanzengesellschaft auf den Versuchsfächen ist in Tab. 2.5 dargestellt. Als häufigste Arten traten *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*, *Matricaria chamomilla*, *Polygonum spp.*, *Veronica spec.* und *Viola arvensis* auf.

Tab. 2.5: Wildpflanzen, Brassicaceen und Gräser auf der Versuchsfäche Roggenstein (Wissenschaftliche Namen (nach Wisskirchen & Haeupler 1998))

Wissenschaftlicher Name	Deutsch
<i>Amaranthus retroflexus</i> (L.)	Rauhaariger Fuchsschwanz
<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. BEAUV.	Windhalm
<i>Aphanes arvensis</i> (L.)	Ackerfrauenmantel
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.)	Ackerschmalwand
<i>Brassica napus</i> (L.)	Raps (Ausfall)
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) MED.	Hirtentäschelkraut
<i>Cerastium arvense</i> (L.)	Acker Hornkraut
<i>Chenopodium album</i> (L.)	Weißer Gänsefuß
<i>Cirsium arvense</i> (L.) SCOP.	Ackerdistel
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. BEAUV.	Hühnerhirse
<i>Elymus repens</i> (L.) GOULD S. STR.	Quecke
<i>Equisetum arvense</i> (L.)	Ackerschachtelhalm
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve	Windenknoäterich
<i>Galeopsis tetrahit</i> (L.)	Ackerhohlzahn
<i>Galinsoga parviflora</i> (L.) CAV.	Kleinblütiges Franzosenkraut
<i>Galium aparine</i> (L.)	Klettenlabkraut
<i>Lamium amplexicaule</i> (L.)	Stengelumfassende Taubnessel
<i>Lamium purpureum</i> (L.) S. L.	Rote Taubnessel
<i>Matricaria discoidea</i> (L.) DC	Strahllose Kamille
<i>Matricaria recutita</i> (L.)	Echte Kamille
<i>Myosotis arvensis</i> (L.) HILL	Acker Vergißmeinnicht
<i>Persicaria lapathifolium</i> (L.) DELARBRE S.L.	Ampfer Köterich
<i>Persicaria maculosa</i> (L.) GRAY	Flohknöterich
<i>Poa annua</i> (L.)	Jährige Rispe

Wissenschaftlicher Name	Deutsch
<i>Polygonum aviculare</i> (L.) (TYP. CONS)	Vogelknöterich
<i>Raphanus raphanistrum</i> (L.)	Hederich
<i>Sinapis arvensis</i> (L.)	Acker Senf
<i>Sonchus asper</i> (L.) HILL	Rauhe Gänsedistel
<i>Stellaria media</i> (L.) VILL. S. I.	Vogelmiere
<i>Taraxacum officinale</i> (L.) WEBER S. L.	Löwenzahn
<i>Thlaspi arvense</i> (L.)	Ackerhellerkraut
<i>Tripleurospermum perforatum</i> (L.) (MÉRAT) LAINZ	Geruchlose Kamille
<i>Veronica arvensis</i> (L.)	Feld Ehrenpreis
<i>Veronica persica</i> (L.) POIR.	Persischer Ehrenpreis
<i>Viola arvensis</i> (L.) MURRAY	Acker Stiefmütterchen

Aufgrund der gefundenen Arten wurde nach Hofmeister & Garve (1986) die vorhandene Wildpflanzenpopulation pflanzensoziologisch der Klasse der Stellarietea mediae und der Ordnung Polygono-Chenopodietalia zugeordnet. Diese Gesellschaft charakterisiert Ackerwildpflanzengesellschaften der Hackfruchtäcker sowie des Sommergetreides.

## 2.7 Versuchsdurchführung

### 2.7.1 Auflafratenbestimmung

Nach Aussaat von Raps und Wildpflanzen und der ersten Bearbeitung der Versuchspartzen im August, wurde ab Ende September die Individuenzahl der Keimlinge bestimmt, um die natürliche Auflafrate aus dem Samenvorrat im Boden berechnen zu können. Dies geschah durch Auszählen der sichtbaren Keimlinge in je vier 0,25 m<sup>2</sup> großen Teilflächen pro Parzelle. Diese Teilflächen waren genau eingemessen und konnten so nach den Bodenbearbeitungen wieder für weitere Erhebungen verwendet werden. Die Rapspflanzen befanden sich zum Zeitpunkt der Auszählung im 2- bis 4- Blattstadium. In den Parzellen mit konventionellem Raps wurden auch die jeweils 13 Wildpflanzenarten bestimmt und ausgezählt. Die Keimpflanzen wurden auf den Teilflächen einzeln von Hand entfernt. Die Auflafratenkontrollen dauerten bis zur nächsten Bodenbearbeitung an. In Anlehnung an Barralis *et al.* (1988) wurde die Bodenbearbeitung zweimal im Jahr ausgeführt, jeweils im März und September. Wenn erforderlich, kam direkt nach den Teilflächenauszählungen das Totalherbizid Roundup Ready<sup>®</sup> zur Anwendung, so dass keine Pflanzen der jeweiligen Restparzelle zur Blüte oder Aussamung gelangen konnten. Nach jeder weiteren Bodenbearbeitung wurde erneut der Auflauf durch Auszählungen erfaßt, die bis zur nächsten Bodenbearbeitung wiederholt durchgeführt wurden.

### 2.7.2 Bestimmung der Auflauftiefen bei verschiedenen Rapssorten

Im August 2003 wurden an 6 verschiedenen Winterrapssorten, darunter 3 transgene Sorten (Avalon<sup>LL</sup>, Lilly<sup>LL</sup>, Modul<sup>LL</sup>), 3 konventionelle Sorten (Capitol, Falcon, Wotan) und die Rübsensorte Rex (Winterrübsen), die Triebkraft ihrer angekeimten Samen untersucht (Tab. 2.6). Die Samen aller Sorten wurden in Petrischalen im Klimaschrank bei 22 °C angekeimt (Keimwurzel deutlich sichtbar bis Keimblätter entfaltet) und anschließend im Gewächshaus in Pflanztöpfe (16\*16\*16 cm) ausgebracht. Jeder Pflanztopf wurde mit Erde der Versuchspartizellen vom Versuchsgut Roggenstein, die zuvor mit einem Elektro-Bodendämpfer sterilisiert worden war, gefüllt. Pro Topf wurde nur eine Ablagetiefe realisiert. Je 100 Samen waren in 6 verschiedenen Tiefen (0, 2, 4, 6, 8, 12 cm) mit 4 Wiederholungen pro Tiefe ausgelegt worden. Die angekeimten Samen wurden dann mit Erde bedeckt, bis die entsprechende Tiefe bzw. Überdeckung erreicht war. Die mittels eines Stempels verdichtete Erde in den Töpfen entsprach etwa der Lagerungsdichte (1,3 g/cm<sup>3</sup>) des Ackerbodens am Versuchsstandort. Diese war an 8 Stellen gemessen worden und auf bei 105° C getrockneten Boden bezogen. Die Pflanztöpfe waren in einem abschattbaren Gewächshaus aufgestellt, in dem 32 °C nicht überschritten wurden. Die Töpfe wurden regelmäßig gegossen und nachfolgend konstant feucht gehalten. Über 3 Wochen erfolgte die Auszählung der Sprosse, die die Bodenoberfläche erreichten.

Tab. 2.6: Rapssorten (Rex = Brassica rapa) im Auflauftiefentest mit Samenalter, TKG, transgen, nicht-transgen. Die Angaben der Saatguthersteller bzgl. des Tausendkorngewichtes (TKG) und der Keimfähigkeit in Tabelle 2.6, wurden an mehreren Stichproben überprüft und bestätigt. Die Angaben zum Samenalter geben die Lagerungszeit (bei Raumtemperatur) des Saatgutes seit der Gewinnung an.

Sorte	Falcon	Capitol	Wotan	Modul <sup>LL</sup>	Lilly <sup>LL</sup>	Avalon <sup>LL</sup>	Rex
Transgen				x	x	x	
Konventionell	x	x	x				x
TKG in (g)	4,5	5,7	5,7	4,3	4,3	3,9	2,9
Alter in Jahren	1	1	2	2	2	3	2
Keimfähigkeit in (%)	98	95	95	95	95	97	91

---

## 2.8 Molekulargenetische Untersuchung an Rapskeimlingen von ehemaligen Freisetzungsf lächen

Bei der molekulargenetischen Untersuchung wurde der transgene Anteil an der Rapssamenbank der einzelnen Standorte untersucht. Im Jahr 2001 konnten in quantitativen Messungen an 8 Mischproben aus dem Material von 66 Pflanzen der Sorte Ms8Rf3 und 3 Mischproben aus 46 Pflanzen der Sorte Avalon<sup>LL</sup> die Anteile an transgener DNA bestimmt werden. In der Genomanalyse wurden Pflanzen von allen Standorten verwendet. Im Jahr 2002 wurden dann in qualitativen Messungen 47 Einzelproben der Sorte Ms8Rf3 analysiert und 100 Einzelproben der Sorte Avalon<sup>LL</sup>. 2003 wurden 55 Proben der Sorte Ms8Rf3 und 118 Einzelproben von Avalon<sup>LL</sup> untersucht.

### 2.8.1 DNA-Isolierung aus Rapskeimlingen (nach Zeitler 2000)

Je nach Größe wurden die ganzen Rapskeimlinge, jedoch maximal 100 mg Pflanzenmaterial in 2 ml Eppendorfcups in flüssigem Stickstoff versprödet und mit Hilfe einer Retschmühle<sup>®</sup> aufgeschlossen. Anschließend wurde RNase- Enzym zugegeben, um eventuell vorhandene RNA abzubauen und das Gemisch homogenisiert. Die Zellyse (enzymatische Zellwandauflösung) wurde bei 65°C im Thermomixer durchgeführt. Durch mehrere Reinigungsschritte, unter Verwendung des DNEasy – Kits von Qiagen<sup>®</sup>, wurde die DNA isoliert. Dabei wird die DNA-Lösung über Keramikmembranen von den übrigen Zellfragmenten getrennt. Anschließend wird die DNA an eine Membran gebunden und weiter gereinigt, bis sie durch CE-Elutionspuffer (Qiagen) wieder von der Membran gelöst wird und in Lösung bei – 20°C gelagert werden kann.

### 2.8.2 Qualitativer Nachweis von DNA-Sequenzen mit Hilfe der (TaqMan-) PCR

Mit Hilfe einer 96-Well Rastervorlage wurde von jeder Probe je 5 µl der DNA-Präparation in ein vorher festgelegtes Loch der 96-Well Platte pipettiert. Es wurden zur Absicherung jeweils Doppelwerte bestimmt. Jede Probe wurde anschließend mit 20 µl Mastermix (TaqMan Universal PCR Master Mix Applied Biosystems<sup>®</sup>) bestehend aus Vorwärtsprimer, Rückwärtsprimer, Sonde und H<sub>2</sub>O versetzt. Dazu wurden für jeden Analysegang eine Negativkontrolle und eine Positivkontrolle als Erfolgskontrolle der Messung bestimmt. Gemessen wurde auf Pat- und Bar-Gen. Beide Gene codieren für zwei sehr ähnliche Phosphinotricin – Acetyltransferasen, die für die Herbizidtoleranz des transformierten (transgenen) Raps verantwortlich sind.

Um zu klären, ob pat- und bar- negative Proben von Raps stammen, wurde zusätzlich ein Rapsreferenzgen (rrf) der Glucosinolattransferase gemessen. Hierbei kam die Taq-Polymerase (Applied Biosystems®) zum Einsatz. Als Primer wurden folgende Sequenzen (Oligonucleotide) verwendet (Zeitler 2001):

Pat 141F (forward):

CGC GGT TTG TGA TAT CGT TAA C

Pat 248R (reverse):

TCT TGC AAC CTC TCT AGA TCA TCA A

Pat S (Sonde)

Pat- 193T:

G FAM AGG ACA GAG CCA CAA ACA CCA CAA GAG TG – TAMRA

Bar 57F:

CTG CAC CAT CGT CAA CCA CTA C

Bar 166R:

GAT AGC GCT CCC GCA GAC

Bar 105T:

TAC CGA GCC GCA GGA ACC GC

Rrf RPEPC-38F:

CAG TTC TTG GAG CCG CTT GAG

Rrf RPEPC-177R:

TGA CGG ATG TCG AGC TTC ACA

Rrf RPEPC-90T:

ACA GAC CTA CAG CCG ATG GAA GCC TGC

Für die Auswertung wurde ein threshold-Cyclewert (Ct) von 0,1 vorgegeben, bei dem die exponentielle Amplifizierung beginnt. Als Parameter für die Bestimmung der Startkopienzahl wird der Ct-Wert berechnet, der in Bruchteilen die Zykluszahl angibt, bei dem die Fluoreszenz einen festgelegten Schwellenwert überschreitet. Anhand der von der Gerätesoftware berechneten Ct-Werte erfolgte die Beurteilung der Ergebnisse. Liegt der Ct-Wert einer Probe beim Ct-Wert der Negativkontrolle, dann ist die DNA-Sequenz sicher nicht in der Probe vorhanden. Liegt der Ct-Wert um mindestens 3 Zyklen unter dem Ct-Wert der Negativkontrolle, dann kann sicher von der Anwesenheit des getesteten Gens in der Probe ausgegangen werden. Andernfalls ist eine Wiederholung der Messung nötig.

Das GeneAmp® 5700 Sequence Detection System wurde auf folgende Werte eingestellt:

---

2 min	50°C	1 x Anfangsreaktion
10 sec.	95°C	1 x Aufschmelzen der DNA
15 sec.	95°C	Aufschmelzen der DNA
1 min	60°C	Annealing und Elongation
insgesamt	40 Zyklen	Amplifizierungsbeginn bei Zyklus 20

## 2.9 Statistische Auswertung

Die Anzahl der aus den Bodenproben (aus Kap. 2.3.1, 2.3.2) extrahierten Samen wurde pro m<sup>2</sup> angegeben. Die Berechnung erfolgte, indem die Samenzahl je Probe auf die Oberfläche des Bohrkerns bezogen wurde. Zur statistischen Auswertung des Datenmaterials wurde das Statistikprogramm SPSS 11.5 verwendet.

Die aus den Untersuchungen des Feldversuchs in Roggenstein gewonnenen Daten waren für Raps normalverteilt (Shapiro-Wilks-Test). Die Daten der Wildkräuter waren bei einigen Arten normalverteilt und bei manchen Arten jedoch nicht. Im Fall der Normalverteilung wurde der T-Test, einfaktorielle Varianzanalyse (mit Meßwiederholungen) verwendet. Bei nicht normalverteilten Daten kam der H-Test nach Kruskal-Wallis und der Mann-Whitney-Test für Paarvergleiche bzw. der Friedmanntest für verbundene Stichproben (Samenbankproben) zur Anwendung (Bühl & Zöfel 2000), um zu prüfen, ob sich signifikante Unterschiede in der Auflafrate und der Anzahl der Samen zwischen den drei Bearbeitungsvarianten und zwischen den Jahren ergeben hatten.

Die Daten, die im Auflauftiefentest gewonnen wurden, waren normalverteilt. Für die Mittelwertvergleiche der Prüfparameter Tiefe, Sorte, TKG, Samenalter und transgen/konventionell wurde deshalb eine einfaktorielle Varianzanalyse gerechnet. Für Mehrfachvergleiche wurde der Posthoc - Test nach Tukey (Lozán & Kausch 1998) durchgeführt, zur Prüfung des Einflusses der Ausprägungen der Prüfparameter (Alter, TKG) auf die Auflafrate.

Sofern nicht anders angegeben, stellen die in Tabellen und Diagrammen dargestellten Ergebnisse den Mittelwert aus allen untersuchten Varianten dar. Als Streuungsmaß wurde der Standardfehler des Mittelwertes verwendet.

Gruppen, die sich statistisch signifikant voneinander unterscheiden, werden in den Abbildungen mit verschiedenen Buchstaben (a, b, ...) gekennzeichnet. Bei der Angabe der Signifikanzniveaus werden die üblichen Kennzeichnungen verwendet.

Es bedeuten:

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,01$

\*\*\*  $p < 0,001$

n. s. nicht signifikant.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Rapssamenbanken ehemaliger Freisetzungsfleichen

Vier Jahre nach der Rapsernte waren noch groÙe, persistente Samenbanken glufosinat-toleranter Rapssorten nachweisbar.

Fünf bzw. sechs Jahre nach der Ernte konnten in Wörrstadt keine Rapssamen der Sorte Modul<sup>LL</sup> mehr gefunden werden. Auf den beiden Flächen in Gersthofen wurden fünf und vier Jahre nach der Ernte in geringer Zahl (35 bzw. 28 / m<sup>2</sup>) nicht transgene Rapssamen der Sorte Modul<sup>LL</sup> nachgewiesen (Tab. 3.1). Am Standort Bütthard wiesen die Probeflächen 6 mit 202 und 7 mit 188 Samen/m<sup>2</sup> eine nahezu gleich groÙe Samenbank auf, obwohl die Zeitpunkte des anfänglichen Sameneintrages verschieden lang zurück lagen. Auf beiden Parzellen war die Sorte Ms8/Rf3 ausgebracht worden. Die Probefläche 10 bei Orbis, hatte ein Jahr nach der Ernte mit 3190 gefundenen Samen/m<sup>2</sup> der Sorte Avalon<sup>LL</sup>, die größte Samenbank aller untersuchten Flächen.

Auf den Flächen in Osterhofen, konnten für jeweils beide Erntejahre transgene Rapssamen aus den Proben ausgewaschen werden. Auf der Fläche 8 war die ermittelte SamenbankgröÙe mit 1047 Samen/m<sup>2</sup> relativ groÙ. Auf Fläche 9 waren nur mehr verhältnismäÙig wenige Samen zu finden. Auf den vier Standorten, wo transgene Samen gefunden wurden, nahm deren Zahl in den Jahren 2001 bis 2003 deutlich ab. Im Durchschnitt aller Proben betrug die Abnahme im ersten Jahr 50 % und im zweiten Jahr 29 %. Der Rückgang bewegte sich zwischen 23 % in Fläche 9 über 2 Jahre und 85 % in Fläche 7, in nur einem Jahr. Im zweiten Jahr blieb die Samenbank auf Fläche 9 anhaltend groÙ. Die Abnahme der Samenbank nach Sorten gegliedert, betrug für Avalon<sup>LL</sup> 32 % im 1. Jahr und 56 % im 2. Jahr. Der mittlere Rückgang für Ms8Rf3 belief sich im 1. Jahr auf 64 % für die Flächen 6 und 8 und 45 % für die Flächen 7 und 9. Im 2. Jahr lag die Abnahme dann bei 10 % für die Flächen 6 und 8 und bei 28 % für 7 und 9.

Die Anzahl lebensfähiger Rapssamen nahm im Verlauf der Zeit auf allen Standorten deutlich ab (Tab. 3.1). Doch die Keimfähigkeit der extrahierten Samen war generell hoch und lag zwischen 75 und 100 %. Während des Untersuchungszeitraumes von 3 Jahren blieb die Keimfähigkeit der Samen unverändert hoch.

**Tab. 3.1:** Anzahl und Keimfähigkeit von transgenen Rapssamen pro m<sup>2</sup> auf 10 ehemaligen Freisetzungsfleichen

Standort	Probefläche	Erntejahr	Sorte	Samen / m <sup>2</sup>			Keimfähigkeit in %		
				2001	2002	2003	2001	2002	2003
Wörrstadt	1	1995	Modul <sup>LL</sup>	0	n. u.	n. u.	n. n.	n. u.	n. u.
	2	1996	Modul <sup>LL</sup>	0	n. u.	n. u.	n. n.	n. u.	n. u.

Standort	Probefläche	Erntejahr	Sorte	Samen / m <sup>2</sup>			Keimfähigkeit in %		
				2001	2002	2003	2001	2002	2003
Gersthofen	3	1995	Modul <sup>LL</sup>	0	n. u.	n. u.	n. n.	n. u.	n. u.
	4	1996	Modul <sup>LL</sup>	35	n. u.	n. u.	100	n. u.	n. u.
	5	1997	Modul <sup>LL</sup>	28	n. u.	n. u.	100	n. u.	n. u.
Bütthard	6	1999	MS8/RF3	202	63	24	100	100	100
	7	2000	MS8/RF3	188	28	18	84	100	75
Osterhofen	8	1999 <sup>1</sup>	MS8/RF3	1047	421	592	89	94	99
	9	2000	MS8/RF3	147	141	114	78	88	100
Orbis	10	2000 <sup>2</sup>	Avalon <sup>LL</sup>	3190	2164	939	96	98	94

<sup>1</sup> Verspätete Ernte aufgrund schlechten Wetters

<sup>2</sup> Hagelschlag zur Schotenreife

n. n.: Nicht nachgewiesen

n. u.: Nicht untersucht

### 3.1.1 Anteil von transgenem Genom in der Samenbank

Die Samen aus den Flächen 4 und 5 enthielten kein transgenes Genom (Tab. 3.2). Die Messung eines Rapsreferenzgens bestätigte, dass es sich bei den nicht transgenen Proben jedoch um Raps handelte. In den Feldern 6 – 9 konnte Raps nachgewiesen werden, der mit dem bar – Gen transformiert war. Auf Feld 10 war pat- transformierter Raps gefunden worden. Mit nur 47 % transgener Samen in Fläche 7 ein Jahr nach der Ernte zeigt dieser Wert einen schnellen Rückgang der transgenen Samenbank an. Auf den Flächen 8 und 10, wo besonders viele Samen gefunden werden konnten, war der Anteil an transgenen und keimfähigen Samen äußerst hoch. Im Jahr 2002 hatte in den Flächen 6 und 8 der Anteil transgener Samen abgenommen. In den Flächen 7 und 9 lag der Anteil der transgenen Rapssamenbank bei max. 75 %. Für die Sorte Ms8Rf3 konnten im Jahr 2003 auf den einzelnen Untersuchungsflächen Anteile zwischen 0 und 100 % transgener Samen an der Rapssamenbank gemessen werden. Die Einzelwerte für die Sorte Ms8Rf3 sind in Tabelle 3.2 aufgeführt. Der Prozentsatz transgener Samen an der Rapssamenbank ging, in der Sorte Avalon<sup>LL</sup> in den 3 Untersuchungsjahren, von anfänglich 96 % auf 75 % zurück.

## 3.2 Ausgangsbedingungen auf den Parzellenversuchsflächen in Roggenstein

**Tab. 3.2:** Anteile in (%) an transgenem und konventionellem Raps an der Samenbank an den untersuchten Standorten von 2001 bis 2003 (n= Stichproben in PCR-Analyse).

Standort	Probefläche	Erntejahr	Sorte	Anteile von transgenem Raps (bzw. transgener DNA in 2001) und von konventionellem Raps in der Samenbank in (%)					
				2001		2002		2003	
				n in 2001	Pflanzen transgen	n in 2002	Pflanzen transgen	n in 2003	Pflanzen transgen
Gersthofen	4	1996	Modul <sup>LL</sup>	5	0	0	n. u.	0	n. u.
	5	1997	Modul <sup>LL</sup>	5	0	0	n. u.	0	n. u.
Bütthard	6	1999	MS8/RF3	26	94	9	67	2	100
	7	2000	MS8/RF3	27	47	4	25	3	0
Osterhofen	8	1999 <sup>1</sup>	MS8/RF3	2	90	22	77	31	71
	9	2000	MS8/RF3	4	100	12	75	19	37
Orbis	10	2000 <sup>2</sup>	Avalon <sup>LL</sup>	46	96	100	90	118	75

<sup>1</sup> Verspätete Ernte aufgrund schlechten Wetters<sup>2</sup> Hagelschlag zur Schotenreife

n. n.: Nicht nachgewiesen

n. u.: Nicht untersucht

## 3.2 Ausgangsbedingungen auf den Parzellenversuchsflächen in Roggenstein

## 3.2.1 Raps- und Wildpflanzenbesatz im Feldbestand

Bei der Voruntersuchung im Frühjahr waren lediglich 0,5 bis 2 Rapspflanzen pro m<sup>2</sup> auf den Blockanlagen der Parzellenversuche zu finden. Zu den nachfolgenden Beobachtungen, bis zur Aussaat der Arten im August 2001, war das Versuchsgelände rapsfrei. Für die einzelnen Arten der Wildpflanzen betrug der maximale Besatz 0,12 % der Aussaatmenge bzw. 10 Pflanzen pro m<sup>2</sup>. In der Kultivierungsmethode liefen von den versuchsrelevanten Arten lediglich die in Tab. 3.3 aufgeführten Arten aus der residenten Samenbank auf.

**Tab. 3.3:** Keimpflanzen pro m<sup>2</sup> aus der residenten Samenbank des Versuchstandortes vor Versuchsbeginn.

Art	Standort 1	Standort 2	Standort 3	Gesamtmittelwert
	Pflanzen/m <sup>2</sup>	Pflanzen/m <sup>2</sup>	Pflanzen/m <sup>2</sup>	Pflanzen/m <sup>2</sup>
<i>Brassica napus</i>	2	1	0,5	<b>1</b>
<i>Brassica rapa</i>	0,0	0,0	0,0	<b>0.0</b>
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	6	5,5	0	<b>4</b>
<i>Echinochloa crus-galli</i>	0,0	0,5	0,0	<b>0.0</b>
<i>Stellaria media</i>	8,5	1,5	3,5	<b>4,5</b>
<i>Tripleurospermum perforatum</i>	2	13	3	<b>6</b>
<i>Thlaspi arvense</i>	0,5	0,0	0,0	<b>0.0</b>

### 3.2.2 Samenbank

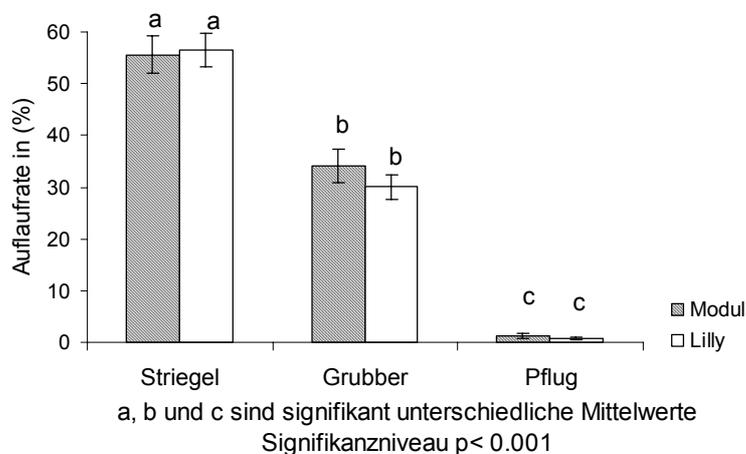
Auf der Fläche der Wiederholung 3 konnten bei der Vorerhebung im Juni 2001 83 Samen/m<sup>2</sup> Raps in der Samenbank gefunden werden. Auf den Flächen der anderen Wiederholungen war kein Raps in der Samenbank aufgetreten.

Vier Zielarten der Wildpflanzen hatten auf den Untersuchungsflächen zum Teil große natürliche Samenbanken. Zu den 5000 ausgesäten Samen kam der bereits vorhandene Anteil bei *C. bursa-pastoris* 780 Samen/m<sup>2</sup> (13,5 %), *Th. arvense* 375 Samen/m<sup>2</sup> (7,0 %), *T. perforatum* 770 Samen/m<sup>2</sup> (13,3 %) und *E. crus-galli* 865 Samen/m<sup>2</sup> (14,7 %) noch hinzu. Die anderen Arten fehlten, oder bildeten nur einen äußerst geringen Anteil (< 0,5% bzw. 25 Samen/m<sup>2</sup>) an der ausgesäten Samenbank.

### 3.3 Parzellenversuch mit den transgenen Rapssorten Modul<sup>LL</sup>/Lilly<sup>LL</sup>

#### 3.3.1 Auflaufraten von Modul<sup>LL</sup> und Lilly<sup>LL</sup>

Die Auflaufraten der transgenen Sorten Modul<sup>LL</sup> und Lilly<sup>LL</sup> hingen klar von der Art der Bodenbearbeitung ab (Abb. 3.1).



**Abb. 3.1:** Auflaufraten der Sorten Modul<sup>LL</sup> und Lilly<sup>LL</sup> im September 2001 (I = Standardfehler des Mittelwertes)

Bei Verwendung des Striegels keimten ca. 56 %, bei Grubber ca. 32 % und unter Pflug nur ca. 1 % der Samen beider Sorten innerhalb der ersten 6 Wochen nach Aussaat und Bodenbearbeitung (Abb. 3.1).

Diese Unterschiede, zwischen den drei Formen der Bodenbestellung, waren in einer einfaktoriellen Varianzanalyse höchst signifikant ( $p < 0,001$ ). Nach dem zweiten Bearbeitungsgang im September waren in allen drei Bodenbearbeitungsvarianten nur noch wenige Keimlinge zu finden. So lagen die Werte in einer Spanne von 0,02 % bis 0,13 % (Tab. 3.4). Nach der 3. und 4. Bearbeitung konnten in allen

Bearbeitungsvarianten für beide Sorten keine Keimlinge mehr gefunden werden, in der Pflugvariante wurde allerdings im Anschluß an die 5. Bodenbearbeitung noch eine Auflauftrate von 0,01 % registriert. Dies entspricht einer Pflanze auf 2 m<sup>2</sup>. Die beiden transgenen Sorten Modul<sup>LL</sup> und Lilly<sup>LL</sup> zeigten keinen signifikanten Unterschied in ihrem Auflaufverhalten (Student T-Test, p<0,01).

Tab. 3.4: Auflauftraten der Sorten Modul<sup>LL</sup> und Lilly<sup>LL</sup> von 2001 bis 2003

Auflauftrate	Datum	Striegel in %		Grubber in %		Pflug in %	
		Modul <sup>LL</sup>	Lilly <sup>LL</sup>	Modul <sup>LL</sup>	Lilly <sup>LL</sup>	Modul <sup>LL</sup>	Lilly <sup>LL</sup>
Nach 1. Bearbeitung	09/2001	55.6	56.6	34.0	30.1	1.2	0.7
Nach 2. Bearbeitung	09/2002	0.02	0.09	0.03	0.13	0.07	0.07
Nach 3. Bearbeitung	11/2002	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Nach 4. Bearbeitung	09/2003	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Nach 5. Bearbeitung	11/2003	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.01

### 3.3.2 Samenbank der Sorten Modul<sup>LL</sup> und Lilly<sup>LL</sup>

In jeder der drei Bearbeitungsmethoden nahm die Zahl der im Boden befindlichen keimfähigen Samen beider transgener Sorten während des Beobachtungszeitraumes stark ab (Tab. 3.5). Sechs Monate nach der Aussaat fanden sich durchschnittlich nur noch 0,34 % der gesäten Samen in den Bodenproben der Striegelparzellen. In den Parzellen unter Grubberbearbeitung fanden sich noch max. 1,74 % der ausgebrachten Samen, ebenso wie in den gepflügten Parzellen. Nach der 3. Bearbeitung war in allen Bearbeitungsvarianten die Samenbank auf 0 bis 0,46 % der anfänglichen Größe reduziert worden. Auch nach der 4. Bodenbearbeitung waren mit 0,34 % in der Pflugvariante noch sehr geringe Mengen an transgenen Samen der Sorte Lilly<sup>LL</sup> zu finden. Die Striegelvariante zeigt, dass hohe Auflauftraten auch einen schnelleren Rückgang in der Samenbank zur Folge haben, wenngleich der Größe nach für die Bodenbearbeitung kein direkter Zusammenhang von Auflauf und Samenmenge im Boden gefunden werden konnte. Bei getrennter Betrachtung der beiden Probertiefen 0-10 cm und 10-22 cm ergaben sich keine signifikanten Unterschiede für die Tiefen in der Wiederfundrate der Samen. Wegen der sehr schnellen Abnahme der Samenbank und der damit verbundenen geringen absoluten Zahl an wiedergefundenen Samen konnte keine statistische Differenzierung vollzogen werden. Daher werden nachfolgend die Daten für die Samenbank der Sorten nicht getrennt nach Tiefe aufgeführt.

---

 Tab. 3.5: Abnahme der Samenbank der Sorten Modul und Lilly von 2001 bis 2003

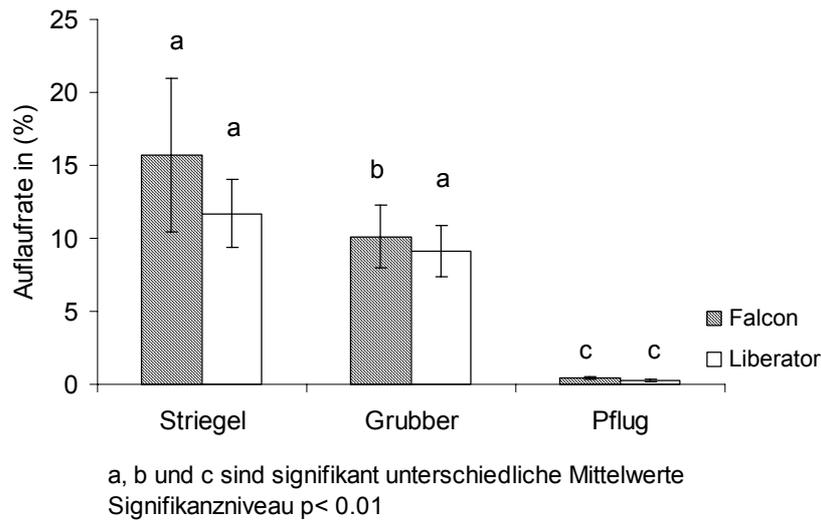
Samenbank	Datum	Striegel in %		Grubber in %		Pflug in %	
		Modul <sup>LL</sup>	Lilly <sup>LL</sup>	Modul <sup>LL</sup>	Lilly <sup>LL</sup>	Modul <sup>LL</sup>	Lilly <sup>LL</sup>
Start	08/2001	100	100	100	100	100	100
Nach 1. Bearbeitung	02/2002	0.34	0.34	1.74	1.04	1.04	1.74
Nach 2. Bearbeitung	09/2002	n.n.	0.34	n.n.	n.n.	n.n.	0.34
Nach 3. Bearbeitung	03/2003	0.22	0.06	0.14	0.06	n.n.	0.46
Nach 4. Bearbeitung	09/2003	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.34

### 3.4 Persistenzversuch mit konventionellen Rapssorten

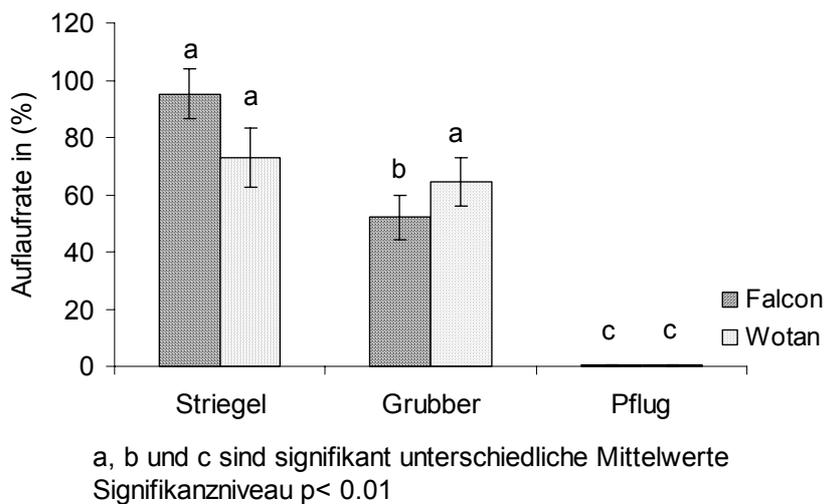
#### 3.4.1 Auflaufraten der Sorten Falcon, Wotan und Liberator

Im Versuch des Jahres 2002 zeigt sich, dass konventionelle Sorten unter günstigen Bedingungen, ähnlich wie transgene Sorten, hohe Auflaufraten erreichen können (Abb. 3.3). Die etwas höheren Auflaufraten der konventionellen Sorten könnten durch das Ausbleiben eines Befalls mit *Peronospora parasitica* bedingt sein. Von der Sorte Falcon keimten 95,1 % der ausgesäten Samen in der Striegelvariante. Mittlere Werte wurden für Falcon mit 52,1 % unter Grubber gefunden und nur 0,3 % der Samen keimten bei Pflugbearbeitung. Ein Einfluss der Sorten auf die Auflaufrate konnte nicht festgestellt werden. Hochsignifikanten Einfluss hatte die Bodenbearbeitung auf den Umfang des Auflaufs (Abb. 3.2). Unter der Wirkung der Konkurrenz, wie sie im Versuch des Jahres 2001 auftrat, kann die Auflaufrate erheblich herabgesetzt sein. Die Beobachtung, dass auch bei Konkurrenz nach 26 Monaten keine Keimlinge mehr gefunden wurden lässt vermuten, dass ohne Konkurrenz, wo für die Arten eigentlich günstigere Entwicklungsbedingungen herrschen, eine noch geringere Auflaufwahrscheinlichkeit besteht (Tab. 3.4).

Die Sorte Falcon hatte im Jahr 2001 in allen drei Bearbeitungsvarianten signifikant verschiedene Auflaufraten. In der Striegelvariante keimten 15,7 % unter Grubber 10,1 % und unter Pflug 0,4 % der Samen. Nach der zweiten Bodenbearbeitung verzeichnete die Sorte Liberator in der Striegelvariante mit 0,22 %, oder 11 Keimlingen je m<sup>2</sup> noch die größte Auflaufrate. Im Jahr 2003 reduzierte sich der Auflauf der beiden Sorten nochmals in allen Varianten, außer für Falcon unter Pflug.



**Abb. 3.2:** Aufaufrate der Sorten Falcon und Liberator mit Wildpflanzenkonkurrenz in den Bearbeitungsvarianten Striegel, Grubber und Pflug im Jahr 2001 (I = Standardfehler des Mittelwertes).



**Abb. 3.3:** Aufaufraten der Sorten Falcon und Wotan ohne Konkurrenz der Wildpflanzen im Jahr 2002 unter den 3 Bearbeitungsvarianten (I = Standardfehler des Mittelwertes).

In den Jahren 2002 und 2003 ergaben sich keine statistischen Unterschiede mehr zwischen den Bearbeitungsvarianten (Tab. 3.6). Die Sorten Falcon, Wotan und Liberator hatten innerhalb der Bearbeitungsvarianten statistisch keine unterschiedlichen Mittelwerte.

Tab. 3.6: Auflaufraten der Sorten Falcon / Liberator zu den fünf Untersuchungszeitpunkten

Auflaufrate	Datum	Striegel in %		Grubber in %		Pflug in %	
		Falcon / Liberator					
Nach 1. Bearbeitung	09/2001	15,7	11,7	10,1	9,1	0,4	0,2
Nach 2. Bearbeitung	09/2002	0,13	0,22	0,13	0,05	0,04	0,03
Nach 3. Bearbeitung	11/2002	0,07	n.n.	0,04	0,05	n.n.	n.n.
Nach 4. Bearbeitung	09/2003	0,05	n.n.	0,01	0,03	0,05	n.n.
Nach 5. Bearbeitung	11/2003	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

### 3.4.2 Samenbank

Insgesamt nahmen im Versuch mit den Konkurrenzbedingungen bzw. der hohen Aussaatdichte die Samen im Boden langsamer ab, als in den Parzellen mit den transgenen Sorten. Nach der ersten Bearbeitung fanden sich in der Samenbank noch 10,1 % bzw. 14,3 % (Falcon/Liberator) der Samen in der Striegelvariante, 17,4 % bzw. 18,1 % unter Grubber und 8,0 % bzw. 11,2 % unter Pflug wieder (Tab. 3.9). Die Beprobung nach der 3. Bearbeitung konnte nur noch in 3 der 6 Varianten Samen nachweisen. Die Nachweisgrenze betrug 12 Samen pro m<sup>2</sup>, was 0,24 % der ausgesäten Samen entsprach. Nach 2 Jahren konnten für die Sorte Falcon keine Samen mehr nachgewiesen werden, während bei der Sorte Liberator noch 0,7 % bzw. 0,3 % der Samen gefunden wurden. Die Unterschiede in den Wiederfundraten der Samen waren zwischen den Sorten nicht signifikant. Bei der ersten Probenahme im Februar 2002 wurden in der Bodenschicht bis 10 cm Tiefe jedoch signifikant mehr Samen gefunden, als in der Schicht von 10 – 22 cm ( $p < 0,001$ ) (Tab. 3.8). In der Pflugvariante wurden für Liberator unerwartet mehr Samen in 10 cm Tiefe gefunden, als in 22 cm Tiefe. Im weiteren Verlauf der Probenahmen konnten keine Unterschiede mehr zwischen den beiden Beprobungstiefen ermittelt werden.

In den von Wildpflanzensamen freien Parzellen befanden sich nach der ersten Bearbeitung und nachfolgenden ersten Auflaufwelle nur mehr äußerst wenige Rapssamen im Boden (Tab. 3.7). In den Striegelparzellen konnten keine Samen entdeckt werden, in den Parzellen der Grubbervariante wurden noch 0,6 % der Samen gefunden und unter Pflug waren bis zu 0,2 % der Samen wiederfindbar. Nach 2 Bearbeitungsgängen waren unter Grubber max. noch 0,7 % der anfänglich ausgebrachten Samenmenge wieder zu finden.

## 3.5 Experiment zur Genauigkeit der Samenbankanalyse mit Glaskugeln

**Tab. 3.7:** Abnahme der Rapssamenbank ohne Wildpflanzensamen über 13 Monate unter den 3 Bearbeitungsvarianten (Striegel, Grubber, Pflug)

Samenbank	Zeitpunkt	Striegel in %		Grubber in %		Pflug in %	
		Falcon	Wotan	Falcon	Wotan	Falcon	Wotan
Start	08/2002	100	100	100	100	100	100
Nach 1. Bearbeitung	03/2003	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	0.2	0.1
Nach 2. Bearbeitung	09/2003	0,3	n.n.	0,7	n.n.	0.6	0.1

**Tab. 3.8:** Samenbank der Sorten Falcon und Liberator nach Tiefen und Bearbeitungsvarianten gegliedert, zum Zeitpunkt der 1. Probenahme in Samen / m<sup>2</sup>

Samenbank	Zeitpunkt	Striegel		Grubber		Pflug	
		Falcon	Liberator	Falcon	Liberator	Falcon	Liberator
Sorte							
Tiefe	10 cm	540	693	870	940	190	401
	22 cm	0	52	0	35	260	209

**Tab. 3.9:** Abnahme der Samenbank über die 4 Beprobungstermine von 2002 bis 2003

Samenbank	Zeitpunkt	Striegel in %		Grubber in %		Pflug in %	
		Falcon	Liberator	Falcon	Liberator	Falcon	Liberator
Start	08/2001	100	100	100	100	100	100
Nach 1. Bearbeitung	02/2002	10.1	14.3	17.4	18.1	8.0	11.2
Nach 2. Bearbeitung	09/2003	0.3	n.n.	n.n.	0.3	0.3	0.3
Nach 3. Bearbeitung	03/2003	n.n.	n.n.	0.5	0.2	0.2	0.9
Nach 4. Bearbeitung	09/2003	n.n.	n.n.	n.n.	0.3	n.n.	0.7

## 3.5 Experiment zur Genauigkeit der Samenbankanalyse mit Glaskugeln

## 3.5.1 Wiederfundrate in den Bodenproben

In Tab. 3.10 ist die Rapssamenbank der Wiederfundrate der Glaskugeln gegenüber gestellt, um die Größenordnung des Verlustes und Rückgang der Samenbank aufzuzeigen. Im Mittel der 4 Beprobungen konnten in der Grubbervariante in der Bodenschicht bis 10 cm 94,7 % der Glaskugeln wieder gefunden werden. In der Tiefe von 10-22 cm waren nur 6,3 % der Kugeln aufzufinden, was deutlich die geringe Arbeitstiefe des Grubbers dokumentiert. Unter Pflug waren 27,2 % der Glaskugeln in der Schicht bis 10 cm gefunden worden und 25,7 % in 10-22 cm Tiefe. Das deutet darauf hin, dass wiederholte Pflugbearbeitungen die Samen relativ gleichmäßig über den Bearbeitungshorizont verteilen. Durchschnittlich wurden im gesamten Untersuchungszeitraum in der Grubbervariante 101,0 % und in der Pflugvariante 52,9 % aller Kugeln wieder gefunden. Die Grubberbearbeitung zeigt nur eine geringe Abnahme der Glaskugeln, was auf einen eher geringen Austrag aus

der Fläche hinweist. Angaben mit >100 % und starke Schwankungen in der Fundrate zu den Einzelterminen können durch die heterogene Verteilung der Kugeln im Bodenzustand gekommen sein.

Tab. 3.10: Wiederfundrate der Glaskugeln und der Rapssamen nach Tiefe getrennt in (%)

Bearbeitungsvariante	Feb 02		Sep 02		Mrz 03		Sep 03		Gesamt-
	Glaskugeln	Samen	Glaskugeln	Samen	Glaskugeln	Samen	Glaskugeln	Samen	fundrate
Grubber 0-10 cm	60,3	0,7	123,5	0,0	122,0	0,14	73,2	0,0	94,7
Grubber 10-22 cm	4,2	1,0	2,1	0,0	16,7	0,0	2,1	0,0	6,3
Pflug 0-10 cm	8,4	0,0	32,4	0,0	18,8	0,0	49,2	0,0	27,2
Pflug 10-22 cm	46,1	1,0	8,4	0,0	29,3	0,0	18,8	0,0	25,7
<b>Grubber gesamt</b>									<b>101,0</b>
<b>Pflug gesamt</b>									<b>52,9</b>

### 3.5.2 Ursachen für Samenverluste in der Samenbank

In Tabelle 3.11 sind die Verluste der Samenbank innerhalb von nur zwei Vegetationsperioden (aufgrund des späteren Versuchsbeginns), nach prozentualen Anteilen in Abhängigkeit von der Bearbeitung und den jeweils möglichen Ursachen, aufgeführt. Durch Striegel und Grubber fand in der Summe der Wiederfundrate ausgedrückt, keine Verlagerung von Samen statt. Der Hauptteil der Samen wurde in der Striegelvariante durch Keimung der Samenbank entzogen. In Grubber- und Pflugvariante sind vermutlich große Anteile durch Absterben und Fraß der Samenbank verloren gegangen, wobei bei Pflugbearbeitung ein größerer Teil der Samen durch Vertriftung aus den Versuchspartzen verlagert worden sein könnte. Abgeleitet werden können diese Werte durch die Übertragung der Daten des Wiederfundes der Glasperlen auf die Rapssamen. In Tabelle 3.12 sind die Werte für die transgenen Sorten über drei Vegetationsperioden dargestellt.

Tab. 3.11: Verlust und Verbleib der Samen in (%) als Gesamtsumme des Zeitraums 2002 - 2003 (Mittelwerte aus Falcon und Wotan)

Bearbeitung	Striegel	Grubber	Pflug
Ausgebrachte Samen	100 %	100 %	100 %
Abgang durch Auflauf	84	58,3	0,3
Abgang durch Verlagerung	nahe Null	nahe Null	47,1
Abgang durch Absterben / Fraß	15,9 *	41,4 *	52,3 *
Verbleib in Samenbank	0,1	0,3	0,3

\* Aus der Differenz 100 % - Auflauf - Samenbank – Verlagerung errechnet

**Tab. 3.12:** Verlust und Verbleib der Samen in % als Gesamtsumme des Zeitraums 2001 - 2003 (Mittelwerte aus Modul<sup>LL</sup> und Lilly<sup>LL</sup>)

Bearbeitung	Striegel	Grubber	Pflug
Ausgebrachte Samen	100 %	100 %	100 %
Abgang durch Auflauf	56,1	32,0	1,0
Abgang durch Verlagerung	0	0	47,1
Abgang durch Absterben / Fraß	43,2 *	66,5 *	49,9 *
Verbleib in Samenbank	0,7	1,5	2,0

\* Aus der Differenz 100 % - Auflauf - Samenbank – Verlagerung errechnet

### 3.6 Auflauf und Persistenz von Wildpflanzenarten

Zwischen den Arten gab es deutliche Unterschiede im Umfang der Auflaufraten und in der Abnahme der Diasporen im Boden. Für den Gesamtauflauf (kumulativ) in 25 Monaten konnten 4 Gruppen definiert werden (Tab. 3.13). Diese Gruppierungen spiegeln die Konkurrenzkraft der Arten im Bestand unter ackerbaulichen Bedingungen wider. Arten mit einem sehr geringen Gesamtauflauf von < 10 % bilden Gruppe 1. In Gruppe 2 sind Arten mit 10 bis 25 % Auflaufrate eingeordnet. Die Gruppe 3 enthält Arten mit mittlerer Auflaufrate. In der 4. Gruppe steht nur *R. raphanistrum* mit mehr als 40 % Auflauf in 25 Monaten. Vier Arten zeigten erst im zweiten Jahr eine höhere Auflaufrate, was auf den Stratifizierungsbedarf dieser Arten im ersten Winter nach Aussaat hindeutet.

Die Diasporenbank konnte in 2 Gruppen für die Abnahme nach 13 und 25 Monaten gruppiert werden (Tab. 3.14/15). Gemäß der Persistenzgruppen von Thompson *et al.* (1997) wurde der Rückgang der Diasporen nach 13 und 25 Monaten als Maß der Persistenz verwendet. Die Arten, deren mittlere Abnahme in der Diasporenbank mindestens 95 % in der Striegelvariante betrug, bilden Gruppe 1. In Gruppe 2 stehen Arten, die weniger als 90 % Rückgang unter Striegelbearbeitung in der Diasporenbank aufwiesen.

Sämtliche untersuchten Arten waren zumindest short-term-persistent. Die Arten ließen sich in zwei Persistenzgruppen unterteilen. In eine Gruppe von 9 bzw. 11 Ackerwildpflanzen, deren Diasporenbank bereits nach 13 Monaten um 97 Prozent abgenommen hatte, von denen jedoch fast alle Arten auch nach 25 Monaten noch immer mit etwa 2 % der Diasporen in der Diasporenbank vertreten waren. Das könnte sogar auf eine Diasporenbank hindeuten, die mit einer sehr kleinen Population längerfristig persistent bleibt. Eine zweite Gruppe von 4 Arten hatte eine wesentlich geringere Abnahmerate in ihrer Diasporenbank zu verzeichnen. Ihr Rückgang betrug nach 13 Monaten etwa 84 %. Nach 25 Monaten zeigten nur noch 2 der 4 Arten eine niedrige Abnahmerate. Wie in Gruppe 1 fiel von 13 auf 25 Monate

der Diaporenschwund im Mittel äußerst gering aus, so dass die Abnahme nahezu unverändert bei 85 % lag.

**Tab. 3.13:** Arten gruppiert nach Gesamtaufaufrate der Diasporen im Boden nach 25 Monaten (%) und deren Stratifizierungsbedarf.

Gruppen	1	2	3	4		
Stratifizierungsbedarf					ja	nein
<i>Max. kumulative Aufaufrate</i> <i>2001-2003 (%)</i>	< 10	10 - 25	26 - 40	> 40		
Arten						
Arabidopsis thaliana	X					●
Capsella bursa-pastoris	X				●	
Stellaria media	X					●
Tripleurospermum perforatum	X				●	
Thlaspi arvense	X				●	
Sinapis arvensis		X				●
Daucus carota		X				●
Brassica rapa			X			●
Spergula arvensis			X			●
Avena fatua			X			●
Echinochloa crus-galli			X			●
Solanum nigrum			X		●	
Raphanus raphanistrum				X		●

Die Bodenbearbeitung hatte keinen statistisch belegbaren Einfluss auf die Überdauerung der Samen. Weder in den vier einzelnen Probenahmen, noch nach 13 oder 25 Monaten unterschieden sich die Werte der Wiederfundrate signifikant zwischen den Bearbeitungsvarianten.

**Tab. 3.14:** Abnahme der Diasporenbank unterteilt in 2 Gruppen (Rückgang  $\geq 90$  %, bzw.  $< 90$  %) nach 13 Monaten, in den Bearbeitungsvarianten Striegel, Grubber und Pflug für die untersuchten Wildpflanzenarten.

**Abnahme der Diasporenbank nach 13 Monaten (%)**

Arten	Bearbeitungsvarianten		
	Striegel	Grubber	Pflug
Brassica rapa	99.8	99.1	97.8
Sinapis arvensis	99.8	99.6	99.0
Spergula arvensis	99.7	99.8	100.0
Arabidopsis thaliana	99.1	95.6	95.3
Avena fatua	98.1	100.0	99.3
Raphanus raphanistrum	97.9	95.7	94.6
Capsella bursa-pastoris	96.4	89.3	94.8
Daucus carota	96.2	95.6	95.8
Echinochloa crus-galli	96.1	97.0	96.4
<b>Gruppenmittelwert</b>	<b>98.1</b>	<b>96.9</b>	<b>97.0</b>
Thlaspi arvense	86.9	94.9	82.6
Stellaria media	85.0	91.4	90.9
Tripleurospermum perforaturr	75.9	87.0	88.3
Solanum nigrum	70.7	79.4	75.0
<b>Gruppenmittelwert</b>	<b>79.6</b>	<b>88.2</b>	<b>84.2</b>

**Tab. 3.15:** Gesamtabnahme der Diasporenbank unterteilt in 2 Gruppen (Rückgang  $\geq 90$  %, bzw.  $< 90$  %) nach 25 Monaten, in den Bearbeitungsvarianten Striegel, Grubber und Pflug für die untersuchten Wildpflanzenarten.

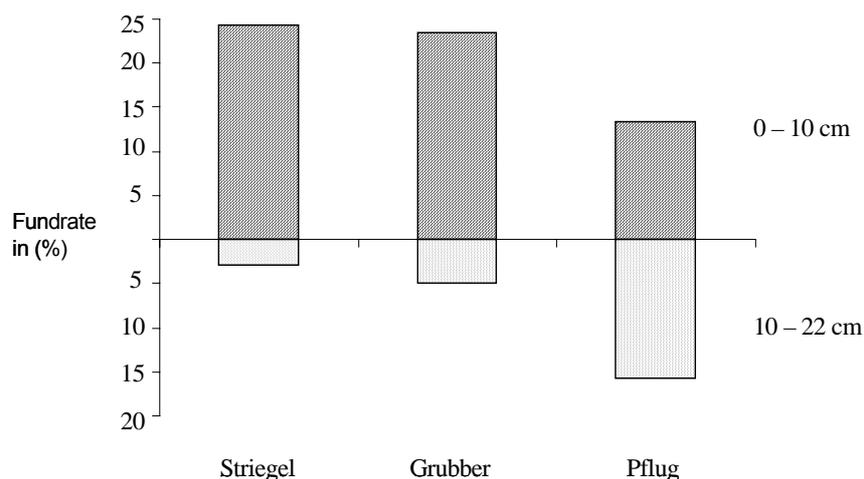
**Abnahme der Diasporenbank nach 25 Monaten (%)**

Arten	Bearbeitungsvarianten		
	Striegel	Grubber	Pflug
Avena fatua	100	100	100
Spergula arvensis	100	100	100
Daucus carota	100	99.8	98.9
Raphanus raphanistrum	100	97.9	98.6
Arabidopsis thaliana	99.8	99.8	100
Brassica rapa	99.8	99.6	99.1
Echinochloa crus-galli	99.1	99.6	94.4
Sinapis arvensis	98.7	99.6	99.4
Tripleurospermum perforatum	96.9	90.3	95.6
Stellaria media	96.7	96.3	95.8
Capsella bursa-pastoris	96.1	97.2	94.3
<b>Gruppenmittelwert</b>	<b>98,8</b>	<b>98,2</b>	<b>97,8</b>

### Abnahme der Diasporenbank nach 25 Monaten (%)

	Bearbeitungsvarianten		
<i>Solanum nigrum</i>	88.8	91.2	87.5
<i>Thlaspi arvense</i>	83.9	87.4	71.9
<b>Gruppenmittelwert</b>	<b>86,4</b>	<b>89,3</b>	<b>79,7</b>

In Abb. 3.4 wird die Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Verteilung der Samen innerhalb der beiden differenzierten Bodentiefen aufgezeigt. Es wird deutlich sichtbar, dass die flachgründigen Bearbeitungsmethoden den Großteil der Samen in der oberen Bodenschicht ablagerten, während in der Pflugbearbeitung mehr Samen in die tiefere Schicht transportiert wurden.

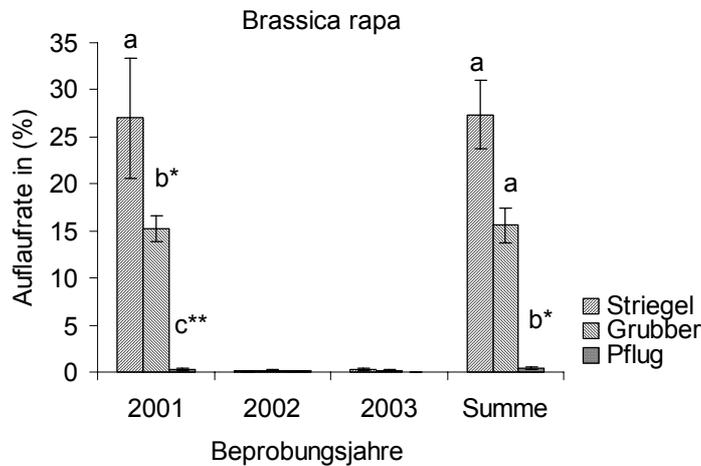


**Abb. 3.4:** Kumulierte Samenfundrate aller Arten in (%) über 25 Monate getrennt nach Bearbeitungsvariante und Beprobungstiefe.

#### 3.6.1 Auflauf und Diasporenbank von *Brassica rapa*

Bei Rübsen waren im 1. Jahr der Auszählung die Auflaufraten zwischen den drei Bearbeitungsvarianten signifikant unterschiedlich. So keimten unter Striegelbearbeitung 27,0 % der Samen, 15,3 % der Samen nach Grubber und 0,3 % nach Pflug. Im 2. Jahr liefen in allen drei Varianten jeweils weniger als 0,2 % der Samen auf. Auch im 3. Jahr der Auszählung konnten höchstens 0,2 % (Striegelvariante) aller Samen Keimlinge bilden (Abb. 3.5). In der Pflugvariante keimten noch 0,05 % der Samen, was 2,5 Pflanzen/m<sup>2</sup> entspricht. Im 3. Jahr der

Untersuchung liefen weniger als 1 % der Samen auf. Nach dem Umfang des Gesamtaufbaus liegt *B. rapa* in der Gruppe 3 mit 26 - 40 % Auflauf (Tab. 3.13).

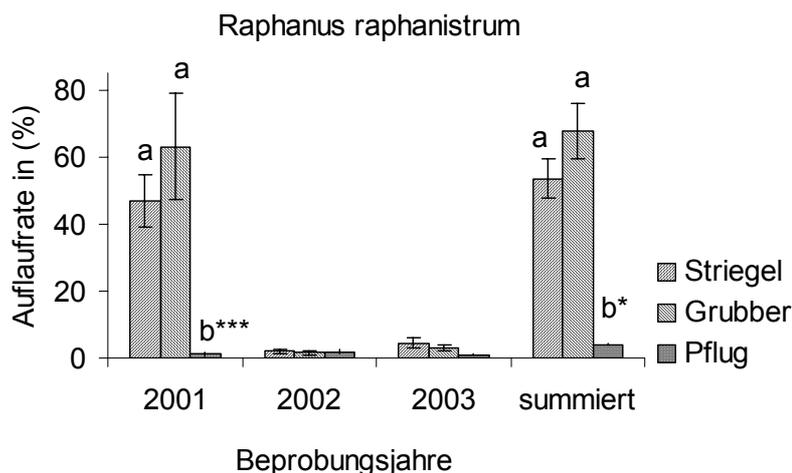


**Abb. 3.5:** Einzelaufbaufraten und Gesamtaufbaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m<sup>-2</sup> von *Brassica rapa* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

Sechs Monate nach Aussaat wurden in der Grubbervariante mit 12 % der Samen, die höchste Überdauerungsrate gefunden. In der Striegelvariante konnten mehr Samen gefunden werden als unter Pflugbearbeitung. In den drei Folgebeprobungen nahm die Samenbank stark ab und lag in den Varianten Striegel und Grubber meist unter 1 % der Ausgangssamenbank. So war nach 13 Monaten die Diasporenbank um 97,8 bis 99,8 % zurückgegangen. Nach 25 Monaten lag dieser Wert zwischen 99,1 und 99,8 %. *B. rapa* zählt zur Artengruppe 1, deren Diasporenbank durch eine sehr starke Abnahme innerhalb von einem Jahr gekennzeichnet war.

### 3.6.2 Auflauf und Diasporenbank von *Raphanus raphanistrum*

Nach dem Umfang des Gesamtaufbaus liegt *R. raphanistrum* in der Gruppe 4 mit > 40 % Auflauf (Tab. 3.13) und war damit die Art mit der höchsten Einzel- und Gesamtaufbaufrate. Im Anschluß an die erste Bodenbearbeitung konnte die höchste Aufbaufrate gemessen werden. Hier lag die Grubbervariante deutlich höher als die Striegelvariante, jedoch ohne signifikanten Unterschied, während unter Pflug nur gut 1 % der Samen Keimpflanzen entwickelten (Abb. 3.6). Im 2. Jahr ging die Aufbaufrate unter Striegel und Grubber stark, auf max. 2,1 % zurück und in der Pflugvariante stieg sie auf knapp 2 % an. In der Summe gelangten unter Grubber in den 3 Jahren etwa 68 % der Samen zum Auflauf. Im 3. Jahr der Untersuchung liefen weniger als 5 % der Samen auf.

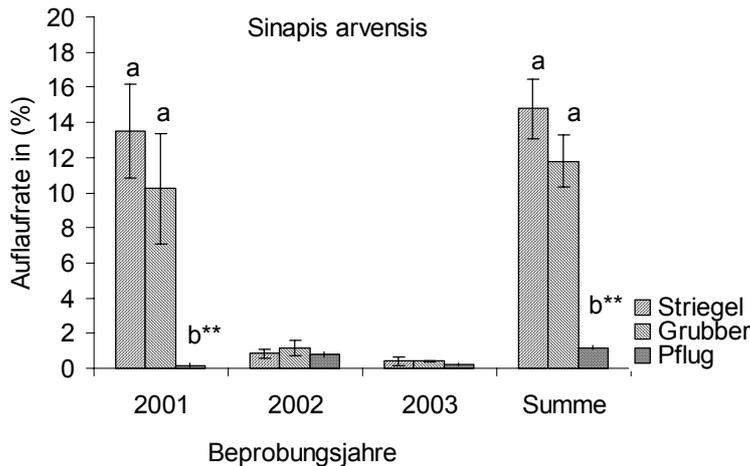


**Abb. 3.6:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 1230 Samen m<sup>-2</sup> von *Raphanus raphanistrum* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

Nur zur 1. Probenahme konnte in der Pflugbearbeitung mit über 30 % eine deutlich größere Überdauerung der Samen registriert werden, als in den zwei anderen Varianten. Nach 13 Monaten war die Diasporenbank in den Bearbeitungsvarianten um 94,6 bis 97,9 % zurückgegangen (Tab. 3.14). 25 Monate nach Aussaat war die Diasporenbank in der Striegelvariante auf Null zurückgegangen. In der Grubber- und Pflugvariante hatte zu diesem Zeitpunkt die Diasporenbank um 97,9 bzw. 98,6 % abgenommen (Tab. 3.15). Insgesamt waren bei dieser Art Aufaufrate und die zeitlich entsprechende Samenbank eng korrespondierend. Sowohl nach 13 Monaten als auch nach 25 Monaten konnte die Diasporenbank, ihrem schnellen Rückgang entsprechend, der Artengruppe 1 zugeordnet werden.

### 3.6.3 Aufaufrate und Diasporenbank von *Sinapis arvensis*

Nach der ersten Bodenbearbeitung liefen prozentual die meisten Pflanzen auf. Die Werte nahmen von 13 % bei Striegel über Grubber zum Pflug hin mit nur 0,2 % Keimrate ab. Das 2. Jahr brachte nur noch geringe Aufaufraten von ca. 1 % für Striegel und Grubber, während in der Pflugvariante eine leichte Zunahme der Keimpflanzen verzeichnet werden konnte. Im 3. Jahr der Untersuchung liefen je Bearbeitungsvariante weniger als 1 % der Samen auf. In der Summe liefen in der Striegelvariante knapp 15 % aller Samen auf, während unter Pflug nur gut 1 % der



**Abb. 3.7:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrat in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m<sup>-2</sup> von *Sinapis arvensis* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

Samen als Keimpflanzen in Erscheinung traten (Abb. 3.7). Nach dem relativ geringen Umfang des Gesamtaufaufrats liegt *S. arvensis* in der Gruppe 2 mit 10 - 25 % Aufaufrat (Tab. 3.13).

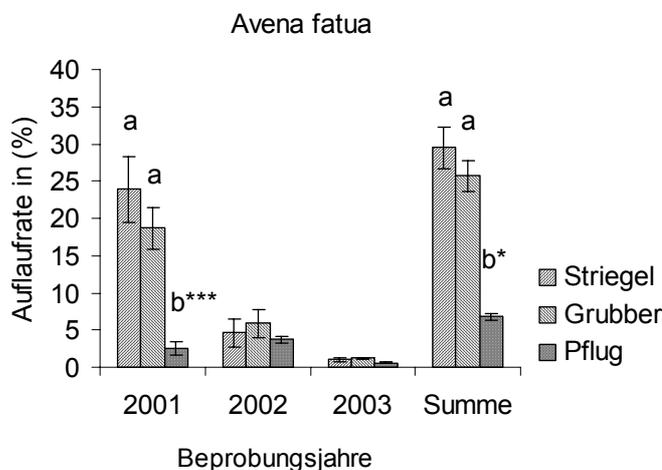
Die Bodenbearbeitung hatte zu keinem Zeitpunkt der Probenahme signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Samenfunde. Die 1. Beprobung nach 6 Monaten ergab für die Striegelvariante 3 % Samen in der Samenbank und 1.5 % in der Pflugvariante für *S. arvensis*. Bereits nach 13 Monaten waren in allen Bearbeitungsvarianten mehr als 99 % der Samen der Diasporenbank entzogen (Tab. 3.14). 19 Monate nach Aussaat konnten jedoch wieder über 7 % der Samen in den Varianten Striegel und Pflug gefunden werden, was vermutlich auf die inhomogene Samenverteilung zurückzuführen war. 25 Monate nach Aussaat lagen die Werte für den Samenverlust zwischen 98,7 und 99,6 %. Entsprechend seines schnellen und starken Rückgangs in der Diasporenbank steht *S. arvensis* in der Artengruppe 1 (Tab. 3.14/15).

#### 3.6.4 Aufaufrat und Diasporenbank von *Avena fatua*

In allen Bearbeitungsvarianten konnten über die drei Untersuchungsjahre aufaufratende Pflanzen dieser Art registriert werden.

2001 keimten nach der 1. Bearbeitung im Mittel 23,9 % der ausgesäten Samen in der Striegelvariante. 18,7 % keimten nach Grubberbearbeitung und 2,5 % nach der Pflugbestellung. Im 2. Jahr nahm der Aufaufrat in der Striegelvariante stark, auf 4,6 % ab. Unter Grubberbearbeitung ging die Keimlingsanzahl auf 5,9 % zurück. Die Differenzen zum Vorjahr waren in diesen Varianten signifikant. Im 3. Jahr ging der Aufaufrat in allen Varianten auf etwa 1 % zurück. In der Summe liefen zwischen 6,8 %

bei Pflug und 29,5 % aller Samen in 3 Jahren bei Striegel auf (Abb. 3.8). Nach dem Umfang des Gesamtaufbaus liegt *A. fatua* für die Striegelvariante in der Gruppe 3 mit 26 - 40 % Aufbauf (Tab. 3.13).

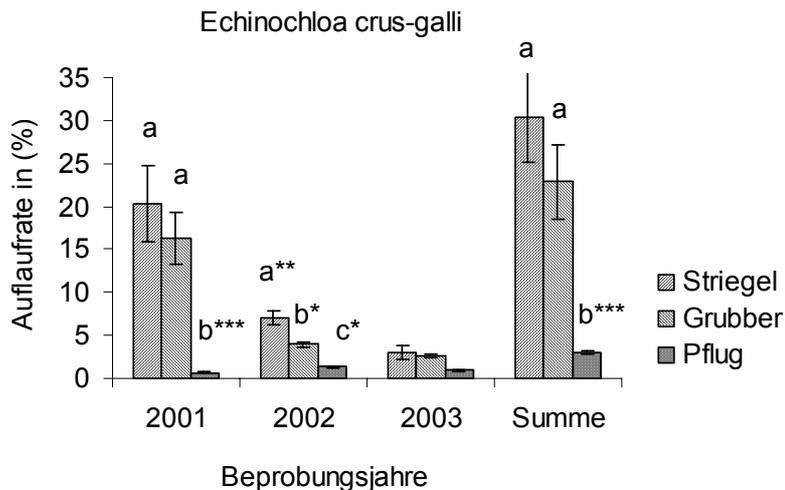


**Abb. 3.8:** Einzelaufbaufraten und Gesamtaufbau in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m<sup>-2</sup> von *Avena fatua* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

Nach sechs Monaten konnten in der Diasporenbank noch größere Samenmengen gefunden werden. Die Bearbeitungsvariante Striegel wies hier mit 29,8 % Wiederfundrate auch die größte Samenbank auf. In der Pflugvariante hatten über die gesamte Beprobungstiefe nur 10,4 % der Samen überdauert. Die Varianten unterschieden sich bereits in der ersten Probenahme nicht signifikant voneinander. Schon bei der 2. Probenahme nach 13 Monaten hatte die Diasporenbank in den einzelnen Bearbeitungsvarianten um 98,1 bis 100 % abgenommen (Tab. 3.14). In den weiteren Probenahmen wurden nur mehr jeweils weniger als 1 % der ausgebrachten Samen gezählt. Nach 25 Monaten war die Samenbank in allen Bearbeitungsvarianten erschöpft. *A. fatua* zählt zur Artengruppe 1, deren Diasporenbank durch eine sehr starke Abnahme innerhalb von einem Jahr gekennzeichnet war.

### 3.6.5 Aufbau und Diasporenbank von *Echinochloa crus-galli*

Nach der 1. Bearbeitung stellte sich der höchste Aufbau ein. Zwischen den Varianten Striegel und Grubber war kein signifikanter Unterschied festzustellen, nur zu Variante Pflug unterschieden sich Striegel und Grubber höchst signifikant bzgl. der Aufbaufrate. Im 2. Jahr ging die Zahl der Keimlinge in den Varianten Striegel und Grubber signifikant zurück (Abb. 3.9).



**Abb. 3.9:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen  $m^{-2}$  von *Echinochloa crus-galli* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

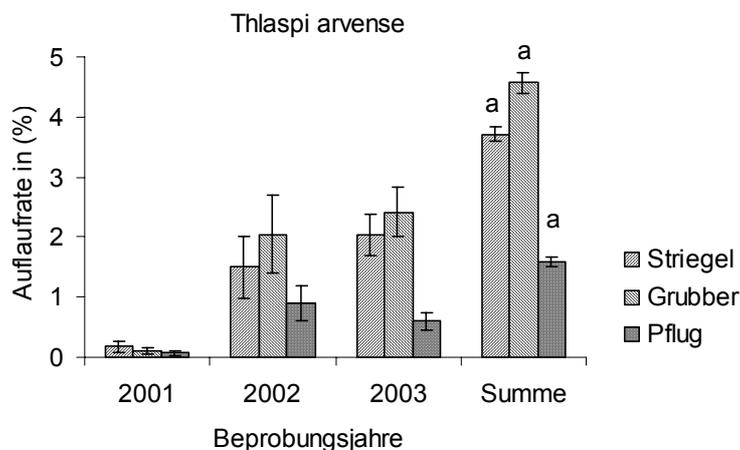
Im dritten Jahr der Untersuchung war in allen Varianten eine weitere Abnahme des Aufbaus festzustellen. In der Summe keimten in der Variante Striegel mehr als ein Drittel aller Samen. Nach dem Umfang des Gesamtaufbaus liegt *E. crus-galli* in der Gruppe 3 mit 26 - 40 % Aufbau (Tab. 3.13). Auf den Gesamtaufbau bezogen unterschieden sich nur Striegel, Grubber einerseits und Pflug andererseits in ihrer Wirkung signifikant voneinander.

Die Angaben über die Entwicklung der Samenbank müssen für *E. crus-galli* im Verhältnis, zu dem ca. 15 % ausmachenden Anteil der natürlich vorhandenen Diasporenbank an den ausgesäten Samen, gesehen werden. Die Mittelwerte der Abnahme waren einer starken Streuung unterworfen. Den höchsten Schwund in der Diasporenbank nach 13 Monaten wies die Grubbervariante mit 97 % der Samen auf (Tab. 3.14), während in der Pflugvariante der Abbau der Samenbank am langsamsten verlief. Im Verlauf von 25 Monaten ging die Diasporenbank um bis zu 99,6 % zurück. *E. crus-galli* zählt ebenfalls zur Artengruppe 1, deren Diasporenbank durch eine sehr starke Abnahme innerhalb von einem Jahr gekennzeichnet war.

### 3.6.6 Auflauf und Diasporenbank von *Thlaspi arvense*

Zwischen den Bearbeitungsvarianten gab es keine signifikanten Unterschiede in der Aufbaufrate. Über die 3 Beobachtungsjahre nahm der Aufbau in den Bearbeitungsvarianten, mit Ausnahme des Pfluges, anhaltend zu (Abb. 3.10). Die Zunahme dürfte durch den Vernalisierungsreiz im ersten Winter nach Aussaat

verursacht worden sein. In der Summe liefen knapp 5 % der Samen in der Grubbervariante auf.



**Abb. 3.10:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m<sup>2</sup> von *Thlaspi arvense* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

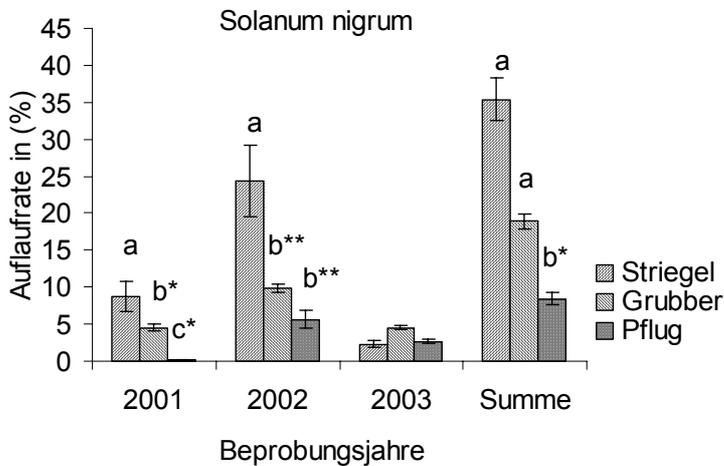
Der äußerst geringe Gesamtaufaufrate von *T. arvense* ergibt die Zuordnung zur Artengruppe 1 mit < 10 % Aufaufrate (Tab. 3.13).

Es ergaben sich in der Samenbank keine signifikanten Unterschiede in den Bearbeitungsvarianten zu allen Zeitpunkten der Probenahme. Die Samenbank von *T. arvense* wies nach 6 Monaten mit bis zu 65 % der Aussaatmenge in der Grubbervariante extrem hohe Werte auf. In der Probenahme nach 13 Monaten waren die Werte der Samenbank besonders in der Variante Grubber deutlich rückläufig (Tab. 3.14). In der 4. Beprobung nach 25 Monaten blieben die Samenfunde auf relativ hohem Niveau, die eine Abnahme der Diasporenbank um maximal 87 % dokumentierten (Tab. 3.15). So gehört auch *T. arvense* zur Artengruppe 2, die durch die relativ langsame Abnahme ihrer Diasporenbank klassifiziert wurde. Wegen des Ausgangsbesatzes im Umfang von 7 % der Aussaatmenge, können die Angaben nicht als absolute Werte, bezogen auf die ausgesäte Diasporenbank, verstanden werden.

### 3.6.7 Aufaufrate und Diasporenbank von *Solanum nigrum*

In 2001 war die Aufaufrate unter Striegel mit 8,7 % > Grubber 4,5 % > Pflug 0,2 %. Die Unterschiede waren signifikant. *S. nigrum* reagierte in allen Bearbeitungsvarianten auf die Vernalisierung im ersten Winter, so dass nach der zweiten Bodenbearbeitung eine deutliche Zunahme des Aufaufrates feststellbar war (Abb. 3.11). Im 3. Jahr ging der Aufaufrate dann stark zurück und hatte unter Grubber mit 4,5 % noch den höchsten Wert. In der Summe liefen in der Striegelvariante gut

35 % der Samen auf. Die Werte streuten in den einzelnen Wiederholungen teilweise stark.



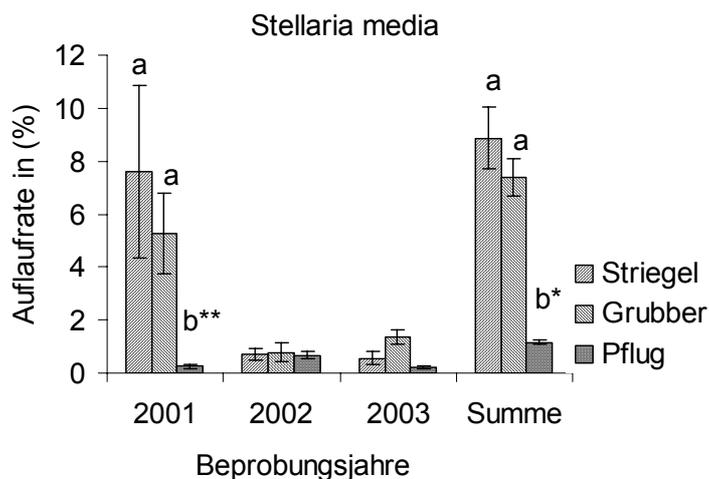
**Abb. 3.11:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 1400 Samen m<sup>2</sup> von *Solanum nigrum* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

Nach dem Umfang des Gesamtaufaufrates liegt *S. nigrum* in der Gruppe 3 mit einer mittleren Aufaufrate von 26 - 40% (Tab. 3.13).

Die Bodenbearbeitung hatte zu keinem Zeitpunkt der Probenahmen signifikanten Einfluss auf den Umfang der Samenfunde. 6 Monate nach der Aussaat fanden sich in der Pflugvariante lediglich 4,4 % der Samen im Boden. Doch nach 13 Monaten betrug der Rückgang der Diasporenbank erst zwischen 71 und 80 % in den Bearbeitungsvarianten (Tab. 3.14). Nach 25 Monaten wies die Diasporenbank eine Reduktion von maximal 91,2 % auf. Die vergleichsweise schwache Abnahme in der Diasporenbank von *S. nigrum* ergibt deren Einordnung in die Artengruppe 2 (Tab. 3.14/15).

### 3.6.8 Auflauf und Diasporenbank von *Stellaria media*

Auch *S. media* zeigte nach der 1. Bodenbearbeitung eine deutliche Abhängigkeit von der Bearbeitungsvariante in ihrer Aufaufrate. Es keimten jedoch nur max. ca. 7 % der Samen im ersten Jahr. Im 2. Jahr nahmen die Aufaufraten stark ab und nivellierten sich zwischen den Bearbeitungsvarianten (Abb. 3.12). Im 3. Jahr konnte in der Grubbervariante noch mal eine leichte Zunahme des Aufaufrates auf 1,4 % beobachtet werden. In der Summe liefen knapp 9 % der Samen in der Striegelvariante auf. Nach dem Umfang des Gesamtaufaufrates liegt *S. media* in der Gruppe 1, mit dem sehr geringen Aufaufrate von < 10 % (Tab. 3.13).



**Abb. 3.12:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen  $m^{-2}$  von *Stellaria media* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

Zwischen den Bearbeitungsvarianten gab es keine signifikanten Unterschiede in der Größe der Samenbank. Nach 13 Monaten betrug die Abnahme in der Diasporenbank zwischen 85 und 91 % in den einzelnen Varianten, so dass *S. media* in die Artengruppe 2, mit verlangsamtem Abbau der Samen, gestellt wurde (Tab. 3.14). Nach 25 Monaten war mit über 95 % Abnahme in allen Bearbeitungsvarianten die Diasporenbank jedoch stark reduziert worden. So konnte *S. media* nach 25 Monaten der Gruppe 2, mit einer insgesamt stark dem Abbau ausgesetzten Diasporenbank, zugeordnet werden (Tab. 3.15).

### 3.6.9 Auflauf und Diasporenbank von *Tripleurospermum perforatum*

Nach der ersten Bodenbearbeitung liefen weniger als 1 % der Samen auf. Es zeigte sich ein nicht signifikanter Unterschied zwischen den Bearbeitungen. *T. perforatum* reagierte in allen Bearbeitungsvarianten auf die Vernalisierung im ersten Winter, so dass nach der zweiten Bodenbearbeitung eine deutliche Zunahme des Auflaufs feststellbar war (Abb. 3.13). Im 3. Jahr ging die Anzahl der Keimpflanzen in allen Varianten wieder zurück, sehr stark unter Striegel- und Pflugbearbeitung. Summiert gelangten innerhalb einer Bearbeitungsvariante weniger als 6 % aller Samen zum Auflauf.

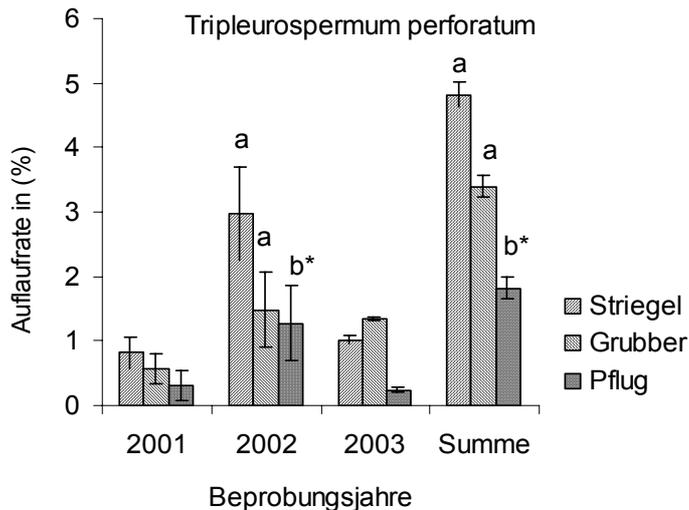


Abb. 3.13: Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen  $m^{-2}$  von *Tripleurospermum perforatum* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

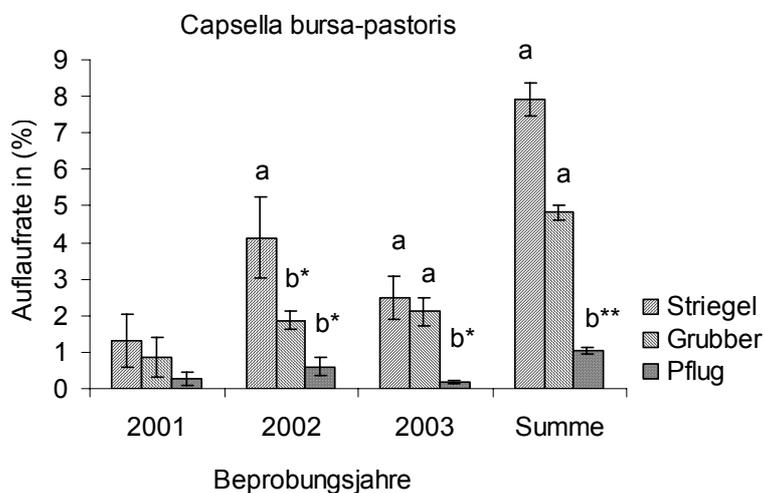
Nach dem Umfang des Gesamtaufaufrates liegt *T. perforatum* in der Gruppe 1 mit < 10 % Aufrate (Tab. 3.13).

Sechs Monate nach Aussaat konnten bis zu 14 % der anfänglichen Diasporenbank wieder gefunden werden. Nach 13 Monaten hatte die Diasporenbank um 75,9 % in der Striegelbearbeitung abgenommen. Auch unter Grubber und Pflug war der Rückgang kleiner als 90 % (Tab. 3.14). Nach 13 Monaten ließ sich *T. perforatum* in die Artengruppe 1 einordnen, die eine langsamere Abnahme der Samen aufwies. Wegen des hohen Ausgangsbesatzes der Untersuchungsflächen mit Diasporen dieser Art, der ca. 13 % der ausgebrachten Samen betrug, sind die gemessenen Werte keine absoluten Werte, bezogen auf die Aussaatmenge. Von der ersten zur zweiten Probenahme nahm die Samenbank in keiner der Bearbeitungsvarianten ab. Die 3. Beprobung zeigte dann eine markante Abnahme in der Samenbank in allen drei Varianten. Nach 25 Monaten in der Diasporenbank war die Zahl der Samen um über 94 % zurückgegangen. Daher wurde *T. perforatum* zu diesem Zeitpunkt in die Artengruppe 1 eingestuft, mit einem insgesamt starken Abbau der Diasporenbank (Tab. 3.15).

### 3.6.10 Aufrate und Diasporenbank von *Capsella bursa-pastoris*

Der Aufrate nach der 1. Bearbeitung nahm vom Striegel über Grubber zu Pflug ab. Im 2. Jahr verdoppelte sich die Keimlingszahl unter Grubber und Pflug und verdreifachte sich beim Striegel und war zwischen Striegel einerseits und Grubber/Pflug andererseits signifikant verschieden (Abb. 3.14). Im 3. Jahr ging die Aufrate bei

Striegel und Pflug zurück, vergrößerte sich aber noch in der Grubbervariante. Über die 3 Jahre blieb der Effekt der Bodenbearbeitung erhalten, ohne jedoch in allen Jahren und Varianten signifikant zu sein. Über den gesamten Untersuchungszeitraum liefen weniger als 8 % der Samen je Variante auf.



**Abb. 3.14:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m<sup>-2</sup> von *Capsella bursa-pastoris* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

Nach dem Umfang des Gesamtaufaufrates liegt *C. bursa-pastoris* in der Gruppe 1 mit < 10 % Aufaufrate (Tab. 3.13) und ließ nach dem ersten Winter einen Vernalisierungseffekt erkennen (Abb. 3.14).

Zu allen vier Zeitpunkten der Probenahme hatte die Bodenbearbeitung keinen signifikanten Einfluss auf die Abnahme in der Diasporenbank. Nach 13 Monaten war die Diasporenbank um 89,3 bis 96,4 % zurückgegangen (Tab. 3.14). Die 3. Probenahme ergab wieder eine Abnahme der Samen und nach 25 Monaten hatte die Diasporenbank zwischen 94,3 und 97,2 % abgenommen. Leichte Schwankungen im Rückgang der Diasporenbank waren statistisch nicht signifikant nach Friedman, da die Einzelwerte der Diasporenbankproben in den Wiederholungen eine breite Streuung aufwiesen. Aufgrund der großen residenten Diasporenbank von 780 Samen/m<sup>2</sup> dieser Art, sind die Angaben im Verhältnis, von bereits vorhandener und ausgesäter Samenmenge, zu betrachten. *C. bursa-pastoris* zählt zur Artengruppe 1, deren Diasporenbank durch eine sehr starke Abnahme innerhalb von einem Jahr gekennzeichnet war.

### 3.6.11 Auflauf und Diasporenbank von *Spergula arvensis*

Die Unterschiede im Auflauf zwischen den Varianten waren in 2001 hoch signifikant. Bei dieser Art konnte nahezu ausschließlich im 1. Auszählungsjahr ein Auflaufen verzeichnet werden (Abb. 3.15). In den beiden Folgejahren lag die Auflauftrate je Variante unter 0,1 %. Nach dem Umfang des Gesamtaufbaus liegt *Sp. arvensis* mit mittlerer Auflauftrate in der Gruppe 3, mit 26 - 40 % Auflauf (Tab. 3.13).

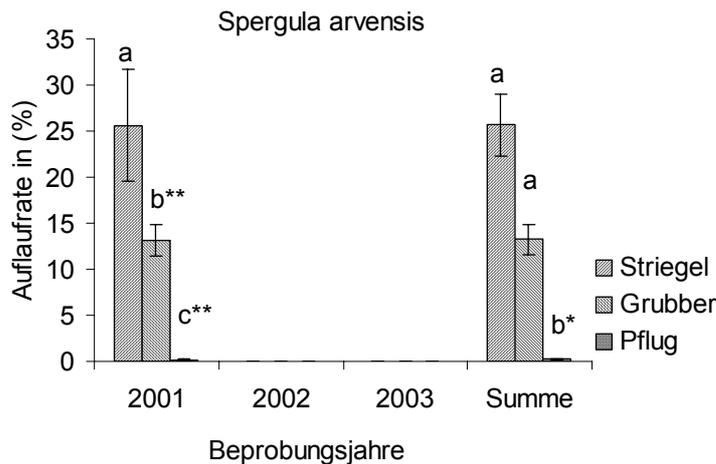


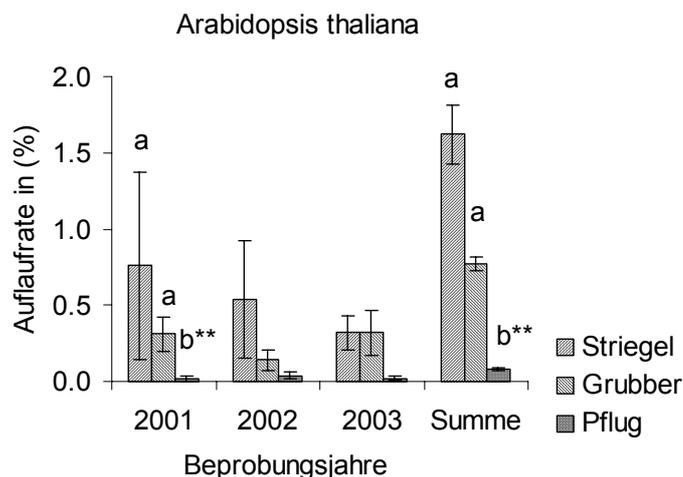
Abb. 3.15: Einzelaufaufraten und Gesamtaufbau in 3 Jahren im nach Ausbringung von 5000 Samen  $m^{-2}$  von *Spergula arvensis* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

Die Samenbank von *Sp. arvensis* war bereits bei der 1. Beprobung nach 6 Monaten, mit max. 6,8 % in der Grubbervariante, sehr klein. Zwischen den Varianten ergab nur die Probenahme nach 6 Monaten einen signifikanten Unterschied in der Größe der Samenbank. Nach 13 Monaten hatte die Diasporenbank um mindestens 99,7 % abgenommen (Tab. 3.14). Nach 19 Monaten fand sich nur noch ein Anteil von 0,2 % in der Striegelvariante. 25 Monate nach Aussaat war die Samenbank nicht mehr nachweisbar. Es konnten aber in allen Probenahmen sehr viele leere Samenhüllen gefunden werden. Entsprechend dem rapiden Rückgang der Diasporenbank wurde *Sp. arvensis* der Artengruppe 1 zugeordnet (Tab. 3.14/15), die durch eine sehr starke Abnahme der Samen innerhalb von einem Jahr gekennzeichnet war.

### 3.6.12 Auflauf und Diasporenbank von *Arabidopsis thaliana*

*A. thaliana* hatte in allen Auszählungen weniger als 1 % Auflauftrate (Abb. 3.16). Die erste Auszählung wies mit 0,76 % noch die höchste Auflauftrate auf. Der Auflauf unter Pflugbearbeitung war signifikant kleiner als bei Striegel und Grubber.

Im 2. Jahr nahm der Auflauf unter Striegel und Grubber weiter ab. In der Pflugvariante konnten im Vergleich zum Vorjahr etwas mehr Keimlinge gefunden werden. Im 3. Jahr liefen in allen Varianten unter 0,5 % der Samen auf. Summiert über die drei Beobachtungsjahre liefen 1,6 % bei Striegel, 0,8 % bei Grubber und 0,1 % bei Pflug, bezogen auf die Aussaatmenge, auf. *A. thaliana* hatte die geringsten Auflaufraten aller untersuchten Arten.



**Abb. 3.16:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m<sup>-2</sup> von *Arabidopsis thaliana* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

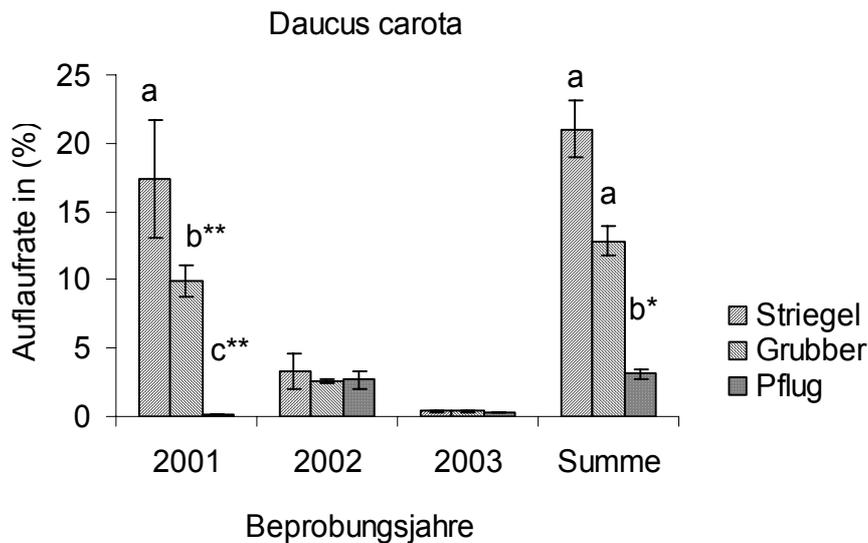
Entsprechend der Gruppierung nach dem Umfang des Gesamtaufaufrats liegt *A. thaliana* in der Gruppe 1, mit < 10 % Auflauf (Tab. 3.13) und ließ keinen Vernalisierungseffekt erkennen.

In der 1. Beprobung, sechs Monate nach Aussaat, wurden nur noch 6,7 % der Samen in der Pflugvariante gefunden. In der Grubbervariante lag der Wert bei 3,8 %, war aber wie der Wert der Pflugvariante signifikant verschieden von der Striegelvariante, in der nur ca. 2 % der Samen auffindbar waren. Die Menge der gefundenen Samen in der Diasporenbank nahm über die 4 Probetermine kontinuierlich ab. Erst in der 4. Probenahme der Pflugvariante waren keine Samen mehr nachweisbar.

Die Abnahme in der Diasporenbank von *A. thaliana* betrug nach 13 Monaten bereits 99,1 % in der Striegelvariante und lag nach 25 Monaten bei 99,8 % (Tab. 3.14/15). *A. thaliana* zählt zur Artengruppe 1, deren Diasporenbank durch eine sehr starke Abnahme innerhalb von einem Jahr gekennzeichnet war.

3.6.13 Auflauf und Diasporenbank von *Daucus carota*

Nach der 1. Bearbeitung unterschieden sich die 3 Varianten hoch signifikant im Auflauf (Abb. 3.17). In der Auflaufperiode nach der 2. Bodenbearbeitung war die Zahl der Keimlinge stark abnehmend



**Abb. 3.17:** Einzelaufaufraten und Gesamtaufaufrate in 3 Jahren im Bestand nach Ausbringung von 5000 Samen m<sup>2</sup> von *Daucus carota* bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (I = Standardfehler des Mittelwertes).

in der Variante von Striegel und Grubber. Unter Pflug gelangten mehr Samen zur Keimung. Die Abnahme bzw. die Zunahme des Auflaufs war innerhalb jeder Variante zwischen den Jahren in allen Fällen statistisch signifikant im Friedman-Test. In der Variante Striegel, mit der höchsten Aufaufrate, keimten in der Summe 21 % der Samen. Nach dem Umfang des Gesamtaufaufrates liegt *D. carota* in der Gruppe 2 mit 10 - 25 % Auflauf (Tab. 3.13).

Zu keinem der vier Beprobungszeitpunkte ergaben sich in der Abnahme der Diasporenbank signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten. Bereits nach sechs Monaten hatte die Diasporenbank um über 80 % abgenommen. 13 Monate nach Aussaat betrug die Reduktion der Diasporenbank 95,6 bis 96,2 % in den Varianten. 25 Monate nach Aussaat waren in der Striegelvariante keine Samen mehr zu finden (Tab. 3.15). *D. carota* zählt zur Artengruppe 1, deren Diasporenbank durch eine sehr starke Abnahme innerhalb von einem Jahr gekennzeichnet war.

### 3.7 Tiefenaufauftest mit verschiedenen Rapsorten und Rübsen

Die Rapsorten unterschieden sich statistisch signifikant in ihren Auflaufraten aus den mittleren Ablagetiefen.

Dicht von der Bodenoberfläche liefen im Mittel 90,1 % der Samen auf. Die mittleren Auflaufraten aus den Ablagetiefen 2, 4, 6 und 8 cm betrugen 75,6 %, 36,9 %, 14,7 % und 2,8 %. Aus 12 cm erreichten keine Keimlinge mehr die Bodenoberfläche (Tab. 3.17). Bei *Brassica rapa* (Rex) war der Auflauf in den Tiefen 2 cm, 4 cm und 6 cm signifikant ( $p < 0,01$ ) niedriger, als der entsprechende Mittelwert der Rapsorten.

Geprüft wurden die Variablen Sorte, transgen/konventionell und Tausendkorngewicht (TKG) in ihrem Einfluss auf die Auflaufrate, in Abhängigkeit von der Ablagetiefe. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten ergaben sich von der Bodenoberfläche. Hoch signifikante Sortenunterschiede in der Auflaufrate waren in den Tiefen 2 cm, 4 cm und 6 cm zu verzeichnen. Für die Tiefe 2 cm ergaben sich 3 Gruppen. Gruppe 1 mit dem geringsten Auflauf besetzt Falcon, Gruppe 2 mit mittleren Werten Rex und Wotan und Gruppe 3, mit hohen Auflaufwerten, beinhaltet Modul<sup>LL</sup>, Lilly<sup>LL</sup>, Avalon<sup>LL</sup>, und Capitol (Tab. 3.16). Für die Tiefe 4 cm stellen sich 2 Gruppen dar mit 6 Sorten in Gruppe 1 und nur der Sorte Capitol in der 2. Gruppe, mit einer deutlich höheren Auflaufrate (Tab. 3.17). In 6 cm Tiefe ergaben sich 2 homogene Untergruppen mit 5 Sorten in Gruppe 1 und den Sorten Avalon<sup>LL</sup> und Capitol in Gruppe 2 (Tab. 3.18).

Konventionelle und transgene Sorten unterschieden sich nur im Auflauf aus 2 cm Tiefe, aus der mehr transgener Raps auflief. Das TKG hatte in 2, 4 und 6 cm Tiefe signifikanten Einfluss auf die Auflaufrate. Stringent über die drei Tiefen war der höhere Auflauf jedoch nur für die Sorte Capitol, mit einem TKG von 5,7 g. Sorten mit TKG's zwischen 2,9 g und 4,5 g hatten geringere Auflaufraten als die Sorte mit 5,7 g TKG.

Tab. 3.16: Homogene Untergruppen für den Auflauf der Sorten in 2 cm Tiefe in (%).

Anzahl von Fällen gleicher Merkmalsausprägung

SORTE	Untergruppe für Alpha = 0.05.		
	1	2	3
Falcon	9.5		
Rex		65.5	
Wotan		81.0	
Modul <sup>LL</sup>		81.5	
Lilly <sup>LL</sup>			88.8
Capitol			95.8
Avalon <sup>LL</sup>			97.3
Signifikanz	1.0	0.06	0.07

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Sorten werden angezeigt.

**Tab. 3.17:** Homogene Untergruppen für den Auflauf der Sorten in 4 cm Tiefe in (%).  
Anzahl von Fällen gleicher Merkmalsausprägung

SORTE	Untergruppe für Alpha = .05.	
	1	2
Falcon	8.5	
Rex	14.3	
Modul <sup>LL</sup>	18.8	
Wotan	33,0	
Avalon <sup>LL</sup>	46.0	
Lilly <sup>LL</sup>	47.5	
Capitol		67.8
Signifikanz	0.08	0.57

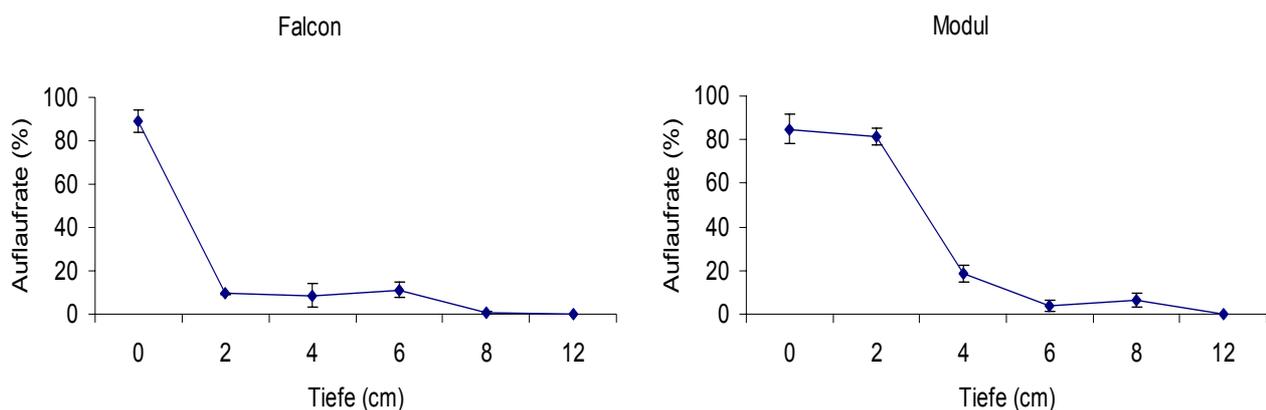
Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Sorten werden angezeigt.

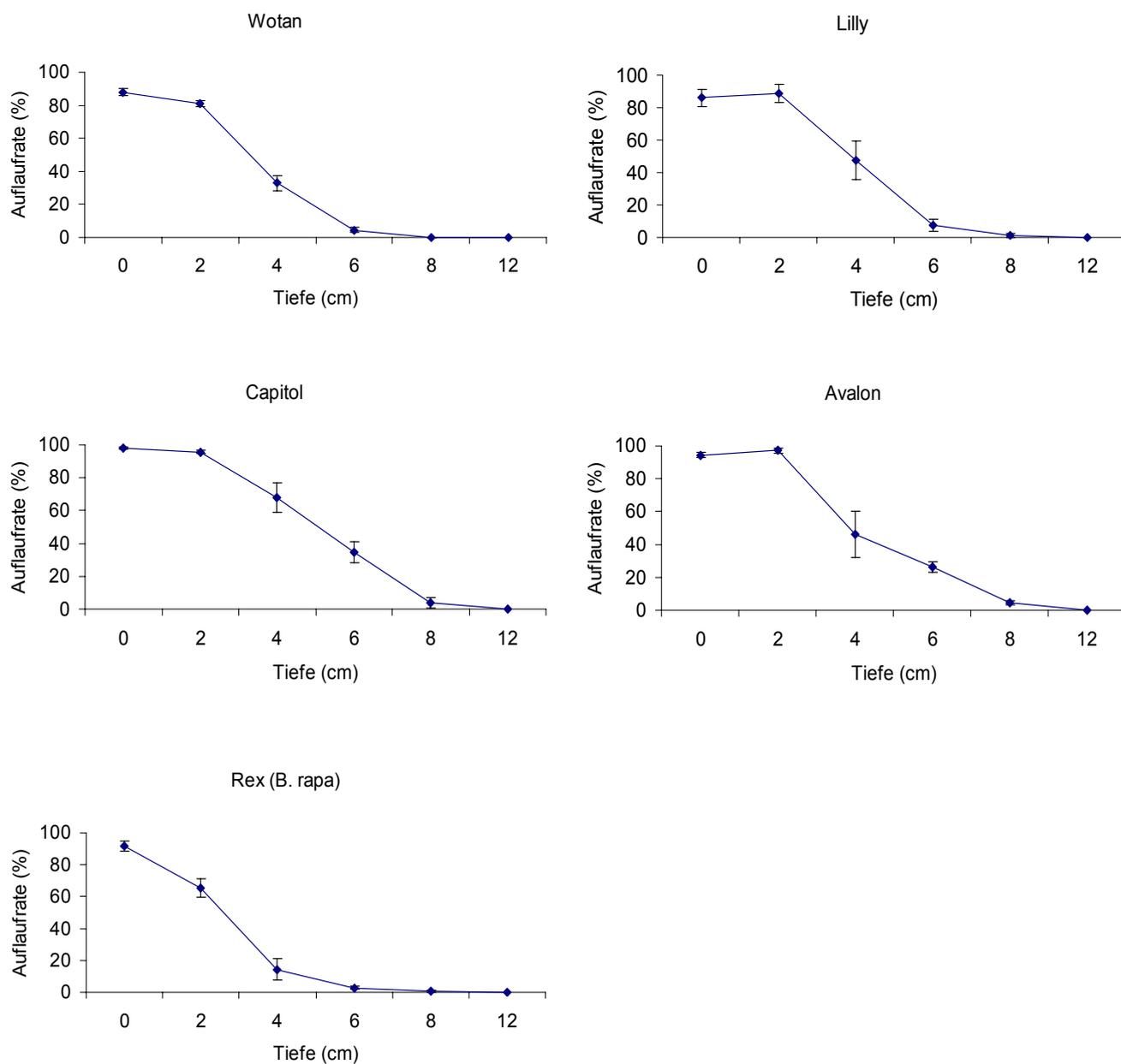
**Tab. 3.18:** Homogene Untergruppen für den Auflauf der Sorten in 6 cm Tiefe in (%).  
Anzahl von Fällen gleicher Merkmalsausprägung

SORTE	Untergruppe für Alpha = .05.	
	1	2
Rex	2.8	
Modul <sup>LL</sup>	4.0	
Wotan	4,5	
Lilly <sup>LL</sup>	7.5	
Falcon	11.0	
Avalon <sup>LL</sup>		26.3
Capitol		34.8
Signifikanz	0.61	0.08

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Sorten werden angezeigt.

Der mit zunehmender Lagerungstiefe zum Teil deutlich unterschiedliche Verlauf der Abnahme des Auflaufs, ist in der Abb. 3.18 für jede Sorte einzeln dargestellt.





**Abb. 3.18:** Auflafraten (%) der Rapssorten und Rübsen (Rex) aus den 6 Tiefenlagen ( $I$  = Standardfehler des Mittelwertes).

## 4 Diskussion

### 4.1 Entwicklung der Samenbank auf ehemaligen Freisetzungsfleichen

Die GröÙe der Bodensamenbank ist einer der wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Populationsdynamik, da die Samenbank einen Pool darstellt, aus dem, über längere Zeiträume hinweg, genetische Informationen vorgehalten und weitergegeben werden können. Raps bildet keine oder nur eine geringe primäre Dormanz aus (Lutman 1993; Schlink 1994). So können die Samen bei ausreichendem Feuchtigkeitsangebot bereits auf der Mutterpflanze, oder kurz nachdem sie auf den Boden fallen, auskeimen. Nicht unmittelbar keimende Samen sterben ab, werden gefressen oder durch Mikroorganismen zersetzt. An der Bodenoberfläche verbleibende Samen werden durch Bodenbearbeitung in den Boden eingearbeitet. Dort wird – oft durch Dunkelheit – eine sekundäre Dormanz induziert, die über viele Jahre erhalten bleiben kann (Schuboth & Mahn 1996; Schlink 1998). Form und Zeitpunkt der Bodenbearbeitung kann diese Entwicklung maßgeblich beeinflussen, indem sie bestimmt, ob und wie viele keimfähige Samen in welche Bodentiefe verlagert werden (Bowerman 1984; Lutman 1993; Pekrun *et al.* 1998; Pekrun & Lutman 1998; Benech-Arnold *et al.* 2000). Daher wird in der Praxis oft zu einer verzögerten Bodenbearbeitung geraten, um die Keimung eines Großteils der auf den Boden gefallenen Samen zu gewährleisten und so die Menge der Samen, die in die Samenbank gelangt, gering zu halten. Diese Empfehlung kann in der Praxis oft nicht umgesetzt werden, da so, je nach Fruchtfolge, die Rapsstoppel nicht rechtzeitig vor Saatbettbereitung der Folgefrucht in den Boden eingearbeitet werden kann. Zudem ist es günstig den Raps möglichst früh im Reifestadium zu ernten. Das gelingt insbesondere bei ungünstigen Witterungsbedingungen nicht immer, so dass größere Mengen an Samen ausfallen können.

Auch auf allen 10 Freisetzungsfleichen im süddeutschen Raum, die auf ihren Gehalt an transgenen Samen im Boden untersucht wurden, erfolgte nach der Ernte 3 Wochen lang keine Bodenbearbeitung, um ausgefallene Rapssamen keimen zu lassen, ehe mit einem Zinkengrubber der Boden bearbeitet wurde (Kap. 3.1).

Trotz dieser Wartezeit kam es auf den Flächen 8 und 10, bei Osterhofen und Orbis, zur Bildung einer großen und persistenten Samenbank (Tab. 3.1). An beiden Standorten verursachten schlechte Wetterbedingungen starke Samenverluste im stehenden Bestand. In Osterhofen verhinderte anhaltender Regen eine termingerechte Ernte, was dann den Samenausfall vor und während der Ernte begünstigte. In Orbis zerstörte ein Hagelschlag die reifen Schoten und führte so zu einem extremen Samenausfall. Bowerman (1984) berichtet, dass Standorte, die schlechten Wetterbedingungen ausgesetzt waren häufig regenbedingte Lagerung

---

aufweisen, was zu einer unsaubereren Ernte beiträgt und so ebenfalls zu hohen Samenausfällen führen kann.

Die vorliegende Untersuchung ergab für Sorten mit fast identischem sekundären Dormanzpotenzial unterschiedliche Ergebnisse in ihrem Persistenzverhalten. Während für die Sorte Modul<sup>LL</sup> das geringe sekundäre Dormanzpotenzial (Gruber *et al.* 2001) bestätigt werden konnte, war die Überdauerungsrate für die Samen der schwach dormanten Sorte Avalon<sup>LL</sup> überraschend hoch (Tab. 3.2). Dieses Ergebnis widerspricht den Beobachtungen von Gruber *et al.* (2001), die im Laborversuch nur 1 % dormanter Samen in dieser Sorte fanden. Diese Abweichung könnte auf einem unterschiedlichen Verhalten der Sorten unter Freiland- und Laborbedingungen beruhen. Lutman (1993) stellte fest, dass Laborexperimente geringere Persistenzraten für Rapssamen als Freilandversuche ergaben. Im Gegensatz dazu berichten Thompson *et al.* (1997), dass künstliche Vergrabungsexperimente mit Samen die entscheidenden natürlichen Vergrabungsmechanismen nicht abbilden und daher würden deutlich höhere Werte für die Überlebensfähigkeit der Samen abgeleitet. Gulden *et al.* (2003a) zeigten jedoch in einem Experiment, dass die Persistenz von *B. napus* im Feldversuch eng mit dem sekundären Dormanzpotenzial, ermittelt in Laborversuchen, korrelierte. Für die Versuchshybride Ms8Rf3 liegen keine entsprechenden Laboranalysen vor.

In den vorliegenden Untersuchungen verhielt sich die Sorte Ms8Rf3 an den beiden untersuchten Standorten sehr unterschiedlich. Während am Standort Bütthard die Samenbank in beiden Parzellen stetig abnahm, konnten in der Fläche 8 von Osterhofen in der 3. Probenahme etwas höhere Werte als zur 2. Beprobung gemessen werden (Tab. 3.1). Neuer Sameneintrag durch fruchtenden Durchwuchsrapss kann aufgrund der intensiven Bestandeskontrolle ausgeschlossen werden. Die Ursache dürfte in der Verteilung der Samen liegen, die in Böden häufig aggregiert und nicht regelmäßig ist (Jones 1998; Ghersa *et al.* 2000; Luschei 2003). Wo häufig Störungen auftreten sind die Samen kleinsträumig verschieden verteilt, so dass eine repräsentative Probenahme erschwert wird (Grundy 1997a).

Im vorliegenden Fall zeigten die Samenfunde innerhalb der 30 Einzelproben je Standort eine uneinheitliche Verteilung. In Fläche 9 stagnierte die Abnahme der Samenbank eher. Das könnte am häufigen Maisanbau in der Fruchtfolge gelegen haben, was zu einer Anreicherung von Maisstroh im Pflughorizont führte. Stoppelrückstände können allelopathische Wirkung auf Samen in ihrer Umgebung haben (Steinsiek *et al.* 1982). Steigende Mengen an Ernterückständen vermindern oder verzögern zunehmend den Auflauf, vor allem durch abnehmende Bodentemperaturschwankungen und reduzierter Lichteinstrahlung (Dyer 1995). Außerdem können während des Abbaus der Ernterückstände große Mengen an  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NH}_3^-$  immobilisiert werden, was zu einem niedrigen Stickstoffgehalt im Boden führen kann und so die Aufhebung der Dormanz verhindert haben könnte

*4.1 Entwicklung der Samenbank auf ehemaligen Freisetzungsf lächen*

(Benech-Arnold *et al.* 2000). Auch durch den mechanischen Widerstand des Ernterückstands kann Samenkeimung und Auflauf verlangsamt sein (Wuest *et al.* 2000).

Den Einfluss unterschiedlicher Standorte auf die Persistenz der selben Rapssorte belegen auch Untersuchungen von Lutman (1993); Hails *et al.* (1997); Pekrun *et al.* (1998); Norris *et al.* (1999); Walter *et al.* (2002), der durch verschiedene Boden- und Klimabedingungen zu erklären ist. Unterschiedliche Bodentypen haben verschiedene Korngrößenfraktionen, die Einfluss auf die Samenüberdauerung haben können (Cussans *et al.* 1996; Colbach *et al.* 2000). Durch diese Faktoren könnten sortenspezifische Dormanzunterschiede überdeckt werden. So können sehr feuchte Bodenbedingungen gleichermaßen den Abbau von Samen stark dormanter wie schwach dormanter Sorten beschleunigen (Pekrun 2004). Umgekehrt können manche Bodenarten durch ihre Korngrößenstruktur und Bodenaggregate generell eine längere Überdauerung der Samen unterschiedlicher Arten fördern, so dass deren Dormanzunterschiede nivelliert werden. Der Einfluss von Bodentrockenheit und ein entsprechendes Bodengefüge können mit verantwortlich gewesen sein für die hohe Persistenz der schwach dormanten Sorte Avalon<sup>LL</sup> am Standort Orbis, der mit 510 mm Jahresniederschlag vergleichsweise trocken ist.

Die Tatsache, dass unterschiedliche Sorten verschiedene sekundäre Dormanzen ausbilden, wurde sowohl für transgene Sorten (Hails *et al.* 1997; Momoh *et al.* 2002), als auch für konventionelle Sorten (Pekrun *et al.* 1997a) nachgewiesen.

Im Vergleich zu Ergebnissen aus anderen Untersuchungen scheinen die Samenbankgrößen der Flächen 8 und 10 (Tab.3.1) klar überdurchschnittlich zu sein. Am Standort Orbis war der initiale Sameneintrag vermutlich extrem hoch, also weit höher als die 5000 – 10 000 Samen die einem durchschnittlichen Ernte- und Ertragsverlust entsprechen. Zwar entsprach die Samenbankgröße der gering dormanten Sorte Avalon, 9 Monate nach der Ernte, etwa den Werten (2418, 3523, 3896 Samen/m<sup>2</sup>), die Pekrun *et al.* (1998) nach 8 Monaten bei Pflugbearbeitung fanden. Doch die dabei (von Pekrun) untersuchten Rapssorten (Apex, Bristol und Envol) sind mittelstark bis stark dormante Sorten. Von der Sorte Tapidor berichtet Lutman (1993) lediglich eine Überlebensrate von 0 und 0,4 % nach 12 Monaten in einem schluffigen Lehmboden und zwischen 5,4 und 7,8 % für Libravo nach 10 Monaten. Tapidor gilt mit 7,2 bis 22,4 % dormanten Samen im Labortest (Pekrun *et al.* 1997c) als mittelpersistente Sorte. Bowerman (1993) fand nach 12 Monaten maximal 224 überlebende Rapssamen der Sorte Bienvenu und nur 15 Samen je m<sup>2</sup> der Sorte Lictor nach Pflugbearbeitung in einem Feldversuch mit 5000 Samen je m<sup>2</sup> zu Versuchsbeginn. Samenbanken aus gering persistenten Sorten dieser Größe können über viele Jahre zu erheblichen Durchwuchspopulationen führen, ohne das weiterer Sameneintrag stattfindet (Gulden *et al.* 2003b).

Normalerweise kann ein exponentieller Rückgang der Samenbank erwartet werden, wie Roberts & Neilson (1980); Schlink (1998) und Pekrun (2004) berichten. Im vorliegenden Versuch scheint allerdings die Abbaurate in Rapssamenbanken zu Beginn stärker zu sein und dann abzunehmen. Ein möglicher Grund hierfür liegt in den verschieden entwickelten Dormanzpotenzialen, der unter unterschiedlichen Bedingungen gereiften Samen (Pekrun 1994; Baskin & Baskin 1998). Das heißt, nicht nur innerhalb eines Bestandes, sondern bereits zwischen unterschiedlich inserierten Fruchtständen des selben Individuums, treten abweichende Umweltbedingungen auf (Thomas *et al.* 1979; Niemer *et al.* 1983). Das führt auf Bestandes- und Individuenebene zu inhomogen persistenten Samenbanken. Demnach kann die Variation im anfänglichen Rückgang der Samenbank durch Samen bedingt sein, die nur geringe Neigung zur Dormanz besitzen, während die länger persistierenden Samen ein stärkeres Dormanzpotenzial entwickelt hatten. Daher können gerade durch hohe Samenverluste während der Ernte große Partien stark persistenter Samen in die Samenbank eingetragen werden, die dann über mehrere Jahre konstant bleibt. Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung für die Minimierung von Risiken beim Anbau von gentechnisch verändertem Raps. Zur Handhabung dieses Problems ist die ausschließliche Verwendung geringst persistenter Sorten geboten, die auch unter landwirtschaftlichen Praxisbedingungen bestätigt wurden (Lutman 1993; Gruber *et al.* 2004).

Die hohe Keimfähigkeit (Tab. 3.1) der wiedergefundenen Rapssamen erklärt sich daraus, dass nur gesunde und widerstandsfähige Samen längerfristig der mechanischen und mikrobiellen Belastung im Boden widerstehen können (Pekrun 2004). Vergleichbar hohe Keimfähigkeiten (96 %) im Keimfähigkeitstest der wiedergefundenen Samen fanden auch Lutman *et al.* (1998); Schlink (1998) für bis zu 10 Jahre vergrabene Rapssamen.

Die allmählich zunehmende Differenz zwischen Gesamtsamenbank und dem Anteil an transgenen Samen (Tab. 3.2), lässt sich vermutlich von der Samentrift durch die Bodenbearbeitung auf den Flächen ableiten. Die Kernfläche der Felder, die mit transgenem Raps bestellt war, nahm deutlich weniger Fläche ein, als die umgebende Mantelsaat, die zur Isolation diente. Aus dieser Mantelsaatfläche konnten, durch die Bodenbearbeitungen zu den Folgefrüchten, Samen der konventionellen Rapsorte eingetragen werden. Mit zunehmender Dauer könnte dieser Anteil angestiegen sein, denn neben dem wiederholten Sameneintrag kann gleichzeitig von einem Samenausstrag aus der Kernfläche ausgegangen werden (Grundy *et al.* 1999; Colbach *et al.* 2000). Außerdem könnten nichttransgene Samen auf den älteren Standorten aus einem früheren Rapsanbau stammen, oder auch von Auskreuzungen der transgenen mit konventionellen Rapspflanzen und transgenen Hybriden, aufgrund der Eigenschaft des Züchtungssystems der Hybriden (Beismann *et al.* 2004).

#### 4.2 Parzellenversuch: Auflauf der Samen in Abhängigkeit von der Sorte

Im ersten Jahr der Untersuchung wurden die Rapsproben einer quantitativen PCR-Analyse unterzogen. Quantitative PCR-Techniken nach Mullis & Faloona (1987) (z.B. TaqMan™) sind heute die Standardmethode zur Untersuchung von Mischproben und darin enthaltener Anteile von relevanter transgener DNA. Nach dem Anbau von transgenem Raps gelangt jedoch eine Mischung aus Samen in den Boden, die, je nach Züchtungsverfahren keine bis mehrere Kopien des Transgens enthalten können (Beismann *et al.* 2004). Durch die quantitative PCR kann in der Samenbankprobe der Anteil an transgener DNA, bezogen auf die gesamte DNA, in der Probe bestimmt werden. Doch die Umrechnung der Ergebnisse in Einzelindividuen der transgenen Samen in der Samenbank ist durch die Aufspaltung der unterschiedlichen Kopienzahlen in den Samen schwierig (Beismann *et al.* 2003). Daher konnten in der quantitativen PCR-Analyse im Jahr 2001 keine Angaben über die konkrete Zahl der transgenen Rapssamen gemacht werden, sondern nur über den Anteil an transgener DNA an der Gesamt-DNA in den Proben, die teilweise aus vielen Einzelpflanzen bestanden. Die Proben des 2. und 3. Jahres bestanden aus einzelnen Keimlingen, die in qualitativen Messungen analysiert werden konnten. So konnten durch den Vergleich der Ergebnisse aus der qualitativen Messung und der quantitativen Messung die Genauigkeit der quantitativen Messung überprüft werden und in etwa auf den Anteil an Einzelpflanzen geschlossen werden. Unter Berücksichtigung der jährlichen Abnahme der transgenen Samen waren die Messergebnisse für die Anteile an transgenen und konventionellen Samen gut vergleichbar.

#### 4.2 Parzellenversuch: Auflauf der Samen in Abhängigkeit von der Sorte

Die Auflaufraten der herbizidtoleranten Rapssamen wurden am stärksten durch die Art der Bodenbestellung bestimmt. Dabei konnten keine Unterschiede zwischen den Sorten (Modul<sup>LL</sup>, Lilly<sup>LL</sup>) festgestellt werden.

In einem Feldversuch von Pekrun *et al.* (1998) mit den konventionellen Sorten Apex, Bristol und Envol liefen 51,9 % bis 57,3 % der Samen auf, als sie in einer Nicht-Bearbeitungsvariante getestet wurden. Diese Literaturwerte stimmen eng mit den im vorliegenden Versuch gemessenen 55 % Auflauf unter Minimalbearbeitung mit Striegel überein. Dieser Striegeleinsatz, der lediglich bei krümeligem Bodengefüge die Samen oberflächlich ca. 2 cm einmischt (Dennert 2001), ist in seiner Wirkung einer Nicht-Bearbeitung sehr ähnlich. Da diese Bearbeitung die Samen nahe der Bodenoberfläche belässt, sind die Samen Temperaturwechseln nahezu ungedämpft ausgesetzt. Pekrun *et al.* (1997b) belegen ebenfalls, dass wechselnde Temperaturen in den obersten Bodenschichten die sekundäre Samendormanz reduzieren, wobei Temperaturwechsel ohnehin ein bekannter Mechanismus ist, um die Keimfähigkeit

---

von Samen zu steigern. Im Versuch von Pekrun betrug die Auflaufrate in der Pflugvariante zwischen 2,5 % und 3,8 %. Diese Werte liegen ebenfalls sehr nahe an den Werten von 0,7 – 1,2 %, die hier unter Pflugbearbeitung gewonnen wurden.

Die im Rapsreinsaatversuch mit konventionellen Sorten im Jahr 2002 ausgebrachten Falcon- und Wotansamen wiesen in der Striegelbearbeitung mit 73 – 95 % signifikant höhere Auflaufraten auf, als die für die transgenen Sorten ermittelten Werte. Der Reifezustand eines Samens trägt nach Gulden et al. (2004) nur mit 1 – 2 % zur Dormanz bei, so dass eine eventuelle Nachreifung der Samen von Falcon und Wotan während ihrer einjährigen Lagerung, keine Dormanzänderung zur Folge gehabt haben dürfte. Andererseits fanden Baskin & Baskin (1986) in einem Experiment, dass die Nachreifung von Samen winterannueller Arten durch hohe Sommertemperaturen erst voll entwickelt wird, durch niedrige Wintertemperaturen aber ganz oder teilweise gehemmt wird.

Die Keimlingsentwicklung kann zusätzlich indirekt durch die Wetterverhältnisse beeinflusst worden sein. Denn nasse Bedingungen begünstigen den Befall der Rapskeimpflanzen mit *Peronospora parasitica* (Falscher Mehltau). Solche Bedingungen herrschten im Versuchsjahr 2001 in den Monaten September und Oktober. Infolgedessen starben und verkümmerten bereits im frühesten Stadium viele Keimlinge, die dann in der Aufnahme nicht berücksichtigt wurden, da solche Keimlinge nicht mehr als Individuum identifiziert werden konnten.

Der Persistenzversuch, in dem die Parzellen nur mit konv. Rapssorten eingesät wurden, war ein Jahr nach dem Persistenzversuch mit den transgenen Rapssorten begonnen worden, also unter anderen Umwelteinflüssen. So war der fünfwöchige relevante Vergleichszeitraum nach der Aussaat mit 61 mm Niederschlag deutlich trockener als in 2001 mit 135 mm, so dass die Keimlinge offensichtlich nicht von *Peronospora parasitica* befallen wurden. In der Striegelvariante gelangten bei der Sorte Falcon nur sehr wenige Samen infolge der sehr hohen Keimrate in die Samenbank (Abb. 3.3). So nahm die Samenbank bereits in der ersten Probenahme auf Null oder nahe Null ab. Das lässt vermuten, dass sich unter direkt vergleichbaren Entwicklungsbedingungen die Samenbank der konventionellen Sorten analog zu den transgenen Sorten verhalten würde. Die Auflaufraten der Bearbeitungsvarianten unterschieden sich jedoch, wie bei den transgenen Sorten, hoch signifikant voneinander.

Die Unterschiede im Samenaufgang zwischen den konventionellen und transgenen Sorten deuten darauf hin, dass durch die Konkurrenz zwischen Kulturpflanzen und Wildpflanzen und deren möglichen allelopathischen Effekten die Keimung der konventionellen Rapssorten behindert wurde. Bergelson & Perry (1989) beobachteten mit zunehmender Aussaatstärke eine signifikante Abnahme des Aufbaus der Arten *Poa* und *Senecio*. Generell nimmt der Aufbau mit zunehmender Bestandesdichte wegen abnehmender Lichtstärke ab (Fenner 1995b; Grundy 2003).

Das könnte durch Wildpflanzenarten wie *Stellaria media* (Lutman *et al.* 2000) verursacht worden sein, die mit ihren breiten Blättern leicht die kleineren Individuen konkurrenzschwacher Arten unterdrücken. Diese können auch ein feuchtes Mikroklima begünstigt haben, was wiederum den Befall mit der Pilzkrankheit *Peronospora parasitica* gefördert haben könnte. *Peronospora parasitica* führte in der ersten Keimphase zu einem schwächeren Rückgang in der Samenbank durch Keimung. Nach der Beerntung sämtlicher Keimpflanzen in den Auszählquadraten war zwar die Konkurrenz beseitigt, doch Ende Oktober 2001 verhinderten dann die jahreszeitlich bedingten niederen Temperaturen temporär die Keimung einer möglichen 2. Auflaufwelle. Ein Versuch von Tokumasu & Kakihara (1990), in dem lediglich 45 % der frisch geernteten Rapsamen innerhalb von 3 Tagen in Petrischalen bei Raumtemperatur keimten, während der Rest dormant blieb, wobei im Sommer deutlich mehr Samen keimten als im Winter, kann als Bestätigung dafür gelten, dass die Keimrate durch eine saisonale Periodizität gekennzeichnet ist.

#### 4.3 Persistenz der Samenbank in Abhängigkeit von der Sorte

Die schnelle Abnahme der Samenbank und die der Auflauftrate, bei den Rapsorten in der betrachteten Untersuchung, kann in der Pflugvariante durch die flache Bearbeitungstiefe von 20 cm, am über größere Bereiche flachgründigen Untersuchungsstandort, verstärkt worden sein.

Die verwendeten Sorten hatten im Fall Modul ein sehr geringes Dormanzpotenzial < 2 % und Lilly mit ca. 17 % lag im unteren Mittelfeld hinsichtlich der Dormanzneigung (Gruber *et al.* 2001). Pekrun (2004) sieht nur in Sorten mit hohem bis sehr hohem Dormanzpotenzial geeignetes Material, um die Wirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die Samenbank deutlich darzustellen. In Sorten mit geringem Dormanzpotenzial kann der Effekt, der durch wendende Bearbeitungsgeräte verursacht wird, durch zufällige Witterungseinflüsse wie Trockenperioden, oder eine niederschlagsreiche Phase zur Aussaat, überlagert werden. In Sorten, bei denen unter ungünstigen Keimungsbedingungen in großen Anteilen der Samen sekundäre Dormanz induziert wird, werden auch unter stark keimungsfördernden Freilandbedingungen ausreichend viele Samen dormant verbleiben (Pekrun 2004), um mögliche Bearbeitungsunterschiede feststellen zu können.

Zu Versuchsbeginn lagen jedoch nur Daten über das potenzielle Dormanzverhalten von in England verwendeten Sorten vor. Weiterhin bestand praktisch keine Wahlmöglichkeit zwischen weiteren transgenen Sorten, da bislang nur wenige gentechnisch veränderte Sorten auf dem Markt sind.

Untersuchungen von Lutman (1993) zur Überdauerung von Samen der konventionellen Sorten Libravo und Tapidor in Lagerungstiefen von 5 bis 20 cm im

---

ungestörten Boden, ergaben, sechs Monate nach ihrer Vergrabung, eine Wiederfundrate von weniger als 1 % der ursprünglichen Samenmenge. An Standorten mit tiefgründigen Böden wird häufig tief (30 cm) gepflügt. Die dadurch in größere Tiefe gelangenden Samen unterliegen nur noch schwachen Temperaturschwankungen, die neben einem Lichtreiz als Auslöser für den Dormanzbruch der Rapssamen fungieren.

Da bei hohem Bodenwassergehalt zur Aussaat keine Induktion sekundärer Dormanz stattfindet (Pekrun 2004), können die sehr feuchten Bedingungen (Kap. 2.2.1) der Jahre 2001 und 2002 ein weiterer Faktor in der Erklärung für die am Standort Roggenstein gemessenen niederen Werte der Samenfunde der Sorte Lilly und Liberator (Tab. 3.5/3.9) sein. In Feldversuchen von Miller *et al.* (1998), wo Rapssamen im Oktober in feuchten Boden eingearbeitet wurden, kam es zu fast keiner Überdauerung. Gleiches ergab sich auch in einem Versuch von Lutman & Lopez-Granados (1998), wo die Wasserversorgung des Bodens sehr gut war. In einem weiteren Versuch mit einer 5 - 10 cm tiefen Stoppelbearbeitung sowie einer 22 – 25 cm tiefen Grundbodenbearbeitung fand Pekrun (2004), im ersten Frühjahr nach Aussaat, überhaupt keine ungekeimten Rapssamen mehr im Boden. So bestätigen diese Versuche, dass eine hohe Bodenfeuchte die Ausprägung sekundärer Dormanz weitgehend verhindert. Die in Roggenstein gefundenen Werte zur Überdauerung der Rapssamen stimmen somit, mit den ebenfalls sehr niedrigen Werten der angeführten Studien mit konventionellen Sorten, gut überein. Zudem können manche Bodenarten durch ihre Korngrößenstruktur und deren Textur eine längere Überdauerung der Samen unterschiedlicher Arten fördern, so dass deren Dormanzunterschiede nivelliert werden. Dies wäre ebenfalls ein möglicher Grund für die analoge Reduktion der beiden Samenbanken der unterschiedlichen Sorten Falcon und Liberator im Parzellenversuch.

Trotz dieses schnellen Rückgangs konnte offenbar ein kleiner Teil der Samen der beiden gentechnisch veränderten Sorten eine sekundäre Dormanz ausbilden. Obwohl die TKG's der verwendeten Sorten zwischen 4,3 g und 5,7 g lagen konnten im vorliegenden Versuch keine Unterschiede in der Persistenz festgestellt werden (Tab. 3.3). Laut Jones & Nielson (1999); Gulden *et al.* (2004) prägen in *B. napus* die größten Samen den höchsten Grad an sekundärer Dormanz aus. Die hohe Absterberate in kleineren Rapssamen während der induzierenden Phase des Experiments zur Induktion von sekundärer Dormanz, könnte an dem begrenzten Vermögen liegen, dem ausgesetzten physiologischen Stress zu widerstehen, um den Stoffwechsel in den Dormanzstatus zu überführen (Gulden *et al.* 2004). Doch Crawley (1997) stellte fest, dass kleine Samen tendenziell stärker dormant sind als große Samen und Thompson *et al.* (1998) fanden, dass auch sphärische Samen eher zur Persistenz neigen als längliche oder abgeflachte. Verglichen mit vielen Wildpflanzensamen sind Rapssamen groß ( $\Phi$  2,3\*2,2\*1,9 mm), doch unter den

#### 4.4 Entwicklung der Samenbank in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

landwirtschaftlichen Kulturpflanzen zählt Raps zu den Feinsämereien (Heinisch 1955).

Weiterhin trägt der Genotyp mit 44 bis 82 % zur Gesamtvariation der sekundären Dormanz bei, wie Gulden *et al.* (2004) in einem Experiment feststellten. Die Samengröße trug darin mit ungefähr einem Drittel im Verhältnis zum Genotyp zur Gesamtvariation des sekundären Dormanzpotenzials bei (Gulden *et al.* 2004). Unter den Nicht-Umweltfaktoren, die das Dormanzpotenzial beeinflussen, war der Beitrag der Samengröße zum Dormanzpotenzial in der selben Studie 14 mal größer, als der der Samenreife. Die weite Spanne des sekundären Dormanzpotenzials wird durch das genetisch komplexe Phänomen der Samendormanz erklärt, zu dem sowohl zellkernimmanente, als auch mütterliche Komponenten (Integument/Samenschale) beitragen (Foley & Fennimore 1998).

Die erste Samenbankbeprobung im Februar 2002, vor Beginn der neuen Vegetationsperiode, lieferte für die konventionellen Sorten Falcon und Liberator eine langsamere Abnahme (80 - 91 %) der Samenbank im Vergleich zu den transgenen Sorten mit mindestens 98 % Rückgang. Die niedrige Keimrate, unter dem Einfluss der Konkurrenz der Wildpflanzen, wird wahrscheinlich einen geringeren Rückgang in der Samenbank bedingt haben. Die höhere Zahl dormanter Samen dürfte daher nicht auf Unterschieden zwischen transgenen und konventionellen Sorten beruhen. Nach der zweiten Bodenbearbeitung keimten jedoch nur wenige Samen, so dass vermutlich der Großteil mit den steigenden Bodentemperaturen durch Bodenmikroorganismen und sameninterne Zerfallsprozesse/Seneszenz abgebaut worden war (Anderson & Baker 1983; Harman 1983; Priestley 1986). Die Bodenbeprobung im September 2002 nach der zweiten Bodenbearbeitung ergab dann keine signifikanten Unterschiede mehr im Rückgang der Samenbank zwischen den konventionellen und transgenen Sorten (Tab. 3.9).

#### 4.4 Entwicklung der Samenbank in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Die Kenntnis der Verlustfaktoren, die auf Samenbanken einwirken können, kann einen Beitrag zur Vorhersage und Beeinflussung des Abbaus der Samenbank leisten. Infolge einer unterschiedlichen mechanischen Wirkungsweise der drei Bearbeitungsgeräte auf die Umlagerung und die Gefügestruktur des Bodens, wurden die Samen verschiedenen biotischen wie abiotischen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Im betrachteten Versuch wies die Samenbank gleichermaßen in allen drei Bearbeitungsvarianten einen schnellen und starken Rückgang auf. Bedeutende Anteile des Samenverlustes in der Striegel und Grubbervariante und in geringerem Umfang auch in den Pflugparzellen, müssen durch endogene oder exogene Faktoren verursacht worden sein: 1) durch Alterung (Anderson & Baker 1983), 2) durch

---

Beschädigung durch Mikroorganismen (Harman 1983) und Pilzbefall insbesondere auf feuchten Standorten oder in sehr nassen Witterungsphasen (Schafer & Kotanen 2003) 3) durch samenfressende Insekten und Würmer (McRill & Sagar 1973), oder 4) durch Herbivoren wie Schnecken und Insekten (Gange *et al.* 1991). Ein großer Teil der fehlenden Samen in der Pflugvariante könnte durch fatale Keimung der Samenbank entzogen worden sein, da in der ersten Pflugbearbeitung der Großteil der auf der Bodenoberfläche lagernden Samen in Bodentiefen zwischen 10 und 20 cm eingearbeitet wurde (Cousens & Moss 1990), aus denen nur ganz wenige Arten noch erfolgreich auflaufen können. Daher kann in dieser Schicht von einem Totalverlust aller zur Keimung angeregten Rapssamen durch fatale Keimung ausgegangen werden.

In einem Versuch zum Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte fanden Rew & Cussans (1997) für die Samenverlagerung unter Pflugbearbeitung im Durchschnitt Entfernungswerte von 0,87 m je Bearbeitungsgang. Bodenbearbeitung mit Grubber führte zu einer Samenverlagerung von durchschnittlich 0,43 m. Bei den kleinen Abmessungen der Roggensteiner Versuchspartzen wurden daher Samen aus dem Randbereich im ersten Arbeitsgang über die eigentliche Parzelle hinaus verfrachtet. Die Bearbeitung erfolgte zwar nachfolgend jeweils gegenläufig, doch bei der ersten Beprobung war die zweite Bearbeitung noch nicht erfolgt, so dass die Samen noch nicht wieder zurück verlagert waren. Zum Zeitpunkt der zweiten Bodenprobenahme war die Samenbank dann bereits nahezu erschöpft, so dass der Umfang der Rückverlagerung der Samen, praktisch keinen Effekt mehr hatte. Die Menge der wiedergefundenen, ausgebrachten Glaskugeln diente als Kontrolle, um abschätzen zu können, wie groß der Anteil an verlagerten, gefressenen, oder abgebauten Samen ist. Auch eventuelle Schwächen der Probenahme und Samenauswaschung hätten so aufgedeckt werden können. Die Menge der wiedergefundenen Glaskugeln in der Pflugvariante legt den Verlust von nahezu der Hälfte aller Samen durch die Bodenbearbeitung nahe. So kann in der Pflugvariante die Verlagerung der Samen durch die Bearbeitung ein wichtiger Faktor für die Abnahme der Samenbank gewesen sein. Andererseits gab in der Grubbervariante der Vergleich der Glaskugeln- und der Rapssamenanzahl keinen Hinweis auf einen Samenverlust durch Verlagerung. In der Striegelvariante blieben die Samen dagegen nahe der Oberfläche permanent Insekten und anderen samenfressenden Organismen ausgesetzt, die vermutlich den Abbau des Hauptteils der nicht gekeimten Samen verursacht haben.

## 4.5 Wildpflanzen

### 4.5.1 Ertragsrelevanz von Wildpflanzen

Wildpflanzen sind ein wichtiger einschränkender Ertragsfaktor für fast alle Kulturpflanzen der Welt (Marshall *et al.* 2003). Die kritische Phase des Lebenszyklus der Kulturpflanze ist der Zeitraum, in dem sie von Wildpflanzen konkurrenzfrei gehalten werden muß, um einem Ertragsverlust vorzubeugen (Martin *et al.* 2001). Diese Phase dauert bei Raps vom Auflaufen bis zum 6 - Blattstadium (Debruck 2000). Speziell Wildpflanzen aus der Familie der Brassicaceae sind schwierig in konventionellem Winterraps zu beherrschen (Merkel *et al.* 2004). Wildpflanzen, die gleichzeitig mit der Kulturpflanze keimen, verursachen schwere Ertragsverluste, auch bei geringer Individuendichte (Weaver *et al.* 1992). Konkurrenzstärker als konventionelle reine Linien können Hybridrapssorten sein, da sie eine höhere Wachstumsrate haben (Fargue *et al.* 2004). Wenn Dichte und Höhe der unerwünschten Rapsdurchwuchspflanzen und der Kultur bekannt sind, kann der Ertrag der Durchwuchspflanzen vorhergesagt werden (Fargue *et al.* 2004). So kann eine Durchwuchspflanze pro m<sup>2</sup>, die um 60 cm niedriger (höher) als der Feldbestand ist, in einem Bestand mit 50 Rapspflanzen je m<sup>2</sup>, 12 % (112 %) des Ertrages des Rapsreinbestandes mit 50 Pflanzen pro m<sup>2</sup> erreichen. Dies zeigt, dass bei der Verwendung von unterschiedlichen Rapssorten und speziell beim Wechsel zwischen transgenen und konventionellen Sorten auf einem Feld, bereits ein sehr geringer Rapsdurchwuchs zu enormer Verunreinigung der Erntepartien führen kann. So wurden im hier diskutierten Versuch Wildpflanzen ausgewählt, deren Auftreten in unterschiedlicher Weise bedeutende Ertragseinbußen in der Rapskultur verursachen kann. Andererseits werden durch den regelmäßigen Anbau von Raps die Samenbanken mancher Arten vergrößert, speziell die Samenbank von *S. media* kann unter diesen Bedingungen anwachsen (Marshall & Arnold 1994).

Unter kleinräumig variierendem Wildpflanzendruck können unregelmäßige räumliche Standverteilungen entstehen, die zu Ertragseinbußen führen können (Hühn 2000). Die Wildpflanzendichte in herbizidfreien Anbauverfahren ist in Null-Bearbeitungsvarianten geringer als bei Minimumbearbeitung oder wendender Bearbeitung (Streit *et al.* 2002). Die Wechselwirkung von Stickstoffdünger und Bewässerungsniveau auf Raps belegen, dass ein einziger begrenzender Faktor die Wachstumsreaktion auf andere Umweltfaktoren überdeckt oder verhindert (Rood & Major 1984).

---

#### 4.5.2 Bedeutung der Dormanz und Persistenz für die Entwicklung der Diasporenbank

Ein wichtiges Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen ist, dass Arten zwar einen ähnlichen „Longevity Index“ haben (vgl. Thompson *et al.* 1998b), sich in ihrer Lebensdauer unter praxisüblichen Bewirtschaftungsbedingungen aber deutlich unterscheiden. Die Berechnung der Longevity Indices der Arten basiert auf einer großen Zahl von Untersuchungen (vgl. Thompson *et al.* 1997), so dass die Verlässlichkeit der Werte gut abgesichert ist. Neben dieser potenziellen, genetisch fixierten Lebensdauer der Samen scheinen in den hier untersuchten Ackerflächen noch weitere Faktoren, wie die arteigene Sensibilität gegenüber Keimreizen oder unterschiedliche Prädationsverluste eine wichtige Rolle für die tatsächliche Lebensdauer der Diasporenbank zu spielen.

Die Samen der meisten Wildpflanzen haben einen Temperaturbereich innerhalb dessen sie gut und zügig keimen, außerhalb dieser Spanne gelangen nur noch wenige bis keine Samen zur Keimung (Otte 1996). Außerhalb dieser Temperaturspanne wirkt auch eine Bodenbearbeitung nicht keimstimulierend. Aus diesem Zusammenhang heraus wurden im vorliegenden Persistenzversuch jährlich 2 Bodenbearbeitungen durchgeführt, eine zu Beginn und eine mit Anbruch des letzten Viertels der Vegetationsperiode. Der Vergleich der Zahl von Wildpflanzenarten, die bei unterschiedlichen Beprobungsfrequenzen von Beprobungen gefunden wurden, zeigt die Bedeutung von 2 Probeterminen, da dies eine bessere Beurteilung der Artenzusammensetzung ermöglicht (Albrecht 2003). Die Anzahl an lebensfähigen Samen nimmt in tiefen Bodenschichten nur langsam ab, aufgrund der abnehmenden Temperaturschwankungen und der generell geringeren Keimreize. Dies ist in vorliegender Untersuchung nicht einheitlich ausgeprägt. Nur bei 7 von 13 Arten nahm die Samenbank unter der tiefer vergrabenden Pflugbearbeitung verlangsamt ab. Die Lagerung der Samen in tieferen Schichten verhindert zwar eine umfangreichere Keimung und damit einen stärkeren Rückgang an lebensfähigen Samen (Zwinger & Hurle 1986). Aber auf der Bodenoberfläche liegende Samen erreichen ihre höchste Keimrate zu einem anderen Zeitpunkt als die Samen aus tieferen Schichten, außerdem ist die Phase mit einer erhöhten Keimfähigkeit an der Bodenoberfläche kürzer (Zwinger & Hurle 1986).

Die abgestufte sekundäre Dormanz der Wildpflanzen verhindert, dass diese durch eine einzige Störung beseitigt werden können (Gressel 1999). Während die Fähigkeit auf schwankende Temperaturen unter Lichtabschluß zu reagieren eine weit verbreitete Eigenschaft großsamiger Arten persistenter Samenbanken ist (Thompson & Grime 1979), fehlt diese Eigenschaft in sehr kleinsamigen Arten einheitlich, denn diese scheinen eine zwingende Lichtstimulation zu benötigen. Unter einer verschlammten Bodenoberfläche gelangen Keimlinge von kleinen Samen aufgrund ihres geringeren Penetrationsvermögens nur selten zum Auflauf.

Das Reservoir an Samen im Pflughorizont von Ackerböden kann innerhalb großer Bereiche stark schwanken. In vorliegender Untersuchung wurde mit 5000 Samen  $m^{-2}$  je Art, eine relativ große Samenbank simuliert. Albrecht & Forster (1996) fanden im Mittel 4950 lebensfähige Samen  $m^{-2}$  auf einem einheitlich bewirtschafteten Areal. Barralis & Chadoeuf (1987) fanden auf 50 Standorten verschiedenster Böden zwischen 400 und 86500 Samen pro  $m^2$ . Der Durchschnitt lag bei 11600. Unter bayerischen Standort- und Klimabedingungen wurden in den Erhebungen von Albrecht (1989) auf 7 Ackerstandorten im Mittel 19500 Samen je  $m^2$  gezählt, mit einem Schwankungsbereich von 3000 bis 52000 Wildpflanzensamen.

#### 4.5.3 Bedeutung der Keimraten für die Diasporenbank

Der Auflauf der Keimlinge ist das wichtigste phänologische Ereignis, das der Etablierung einjähriger Arten vorausgeht (Forcella *et al.* 2000). Der Feldauflauf kann über weite Zeiträume erfolgen (Spandl *et al.* 1999), der 2 Wochen bis mehrere Monate andauert. Die Hauptfaktoren, die die Keimung steuern sind Bodentemperatur, Wasserpotenzial und Bodenluftzusammensetzung. Nur wenige Wildpflanzenarten sind in der Lage über die gesamte Vegetationszeit zu keimen. Zu diesen Ganzjahreskeimern gehören *C. bursa-pastoris* und *S. media* (Froud-Williams *et al.* 1984; Otte 1996). Jeder einzelne Samen hat einen einzigartigen Genotyp und dieser beeinflusst die Reaktion des Samens auf die Umweltreize (Forcella *et al.* 2000). Der aktuelle oberirdische Wildpflanzenbestand und der Bodensamenvorrat stehen bei Arten mit hoher Vitalität (z. B. *Brassica napus*) in enger Beziehung (Albrecht 1995). Andererseits werden zwischen 70 und 99 % der jährlich produzierten Wildkrautsamen nicht in der Samenbank oder im Auflauf wieder gefunden (Mitze 1992; Cardina *et al.* 1996). Ein Teil davon geht in der Samenbank verloren, verursacht durch endogene oder exogene Faktoren. Eine enge Korrelation zwischen der Samenbank und der Vegetation setzt eine häufige und unregelmäßige Störung voraus, wie sie auf Ackerflächen vorherrscht (Henderson *et al.* 1988).

Barralis *et al.* (1988) beobachteten in einem 5 jährigen Versuch die Abnahme des Samenvorrats im Boden und die Keimraten von Ackerwildpflanzen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Seine Ergebnisse beschreiben die Wildpflanzensamen in kultivierten Böden als relativ kurzlebig. Dabei unterschied er zwei Gruppen von Arten. Bei Gruppe 1 nahm der Samenvorrat jährlich um durchschnittlich 80 % ab und die Keimrate lag im Mittel bei 15 % (unter anderen *Avena fatua*). In der zweiten Artengruppe lag die Abnahme jährlich bei durchschnittlich 40 % und die Keimrate bei nur 8 % (unter anderen *C. bursa-pastoris*, *Sinapis arvensis*). Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung ließen die Angabe mittlerer jährlicher Auflauf- oder Rückgangraten nicht sinnvoll erscheinen. So würde der Mittelwert der prozentualen Auflaufraten aus den drei Vegetationsperioden die

Auflaufspitzen zur ersten Vegetationsperiode gar nicht abbilden, ebensowenig wie den Auflauhöhepunkt während der 2. Vegetationsperiode in den Arten mit Vernalisierungsbedarf. Dem entgegen stehen auch die Aussagen von Roberts & Neilson (1980); Schlink (1998) und Pekrun (2004), nach denen man normalerweise einen exponentiellen Rückgang der Samenbank erwarten kann.

Die Ergebnisse von Barralis *et al.* (1988) können eventuell durch die Verwendung von Diasporen aus Populationen mit nichtdormanten Genotypen erklärt werden, ähnlich einer Untersuchung von Jana & Thai (1987), in dem Diasporren von *Avena fatua* nicht dormant waren, wenn nur in jedem 2. Jahr gepflügt wurde.

Im vorliegenden Experiment konnten 4 Gruppen von Arten für die kumulative Keimrate nach 25 Monaten unterschieden werden. In der Gruppe 1 mit  $\leq 10\%$  Keimrate stehen beispielsweise die stark persistenten Arten *T. arvense* und *A. thaliana*, wenngleich *A. thaliana* im ausgeführten Versuch nur short-term-persistent in Erscheinung trat. Die nur in geringer Zahl auflaufenden Arten weisen entweder eine geringe Konkurrenzkraft im Bestand auf, haben stark dormante Diasporen, oder es handelt sich um extreme Flachkeimer wie *A. thaliana*. Zwerger (1993) sowie Pekrun *et al.* (2000) und Torresen (2003) berichten, dass mit Zunahme der Samendichte um 1000 Samen die Auflaufwahrscheinlichkeit je nach Art, um bis zu 15 % abnimmt. Die im eigenen Versuch ausgebrachten 5000 Samen je  $m^{-2}$  und Art können als hoch gelten, so dass dadurch möglicherweise einige Arten in ihrer Keimung gehemmt wurden. Arten, deren prozentualen Auflaufraten weder eine starke Hemmung noch eine starke Förderung in den Bearbeitungsvarianten zeigten, wurden ebenfalls als Gruppe klassifiziert. Die Arten der Gruppe 3, mit 26 bis 40 % Gesamtauflauf in den nicht wendenden Bearbeitungsmaßnahmen, wurden offenbar durch die Bodenstörung stark gefördert. In den eigenen Untersuchungen wurde *Raphanus raphanistrum* durch die Bearbeitungsmaßnahmen mit Abstand am stärksten begünstigt. Mit weit über 40 % Gesamtauflauf stellt er die 4. Gruppe dar.

Bei Untersuchungen von Beuret (1984) keimten im Durchschnitt aller Arten nur 3,3 % der Samen, allerdings zeigten auch hier bestimmte Arten wie *Sinapis arvensis* Auflaufraten von mehr als 10 %. Allgemein sind nur 3 – 7 % der Samen der aktiven Bodensamenbank in der Lage Keimlinge zu bilden (Forcella 1992; Zhang *et al.* 1998). In der eigenen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass der prozentuale Gesamtauflauf aus der Diasporenbank, bei Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität, ansteigt. Diesen Effekt bewirkte vermutlich die bessere Ausgangsposition der Diasporen durch ihre Anreicherung in oberflächennahen Schichten bei minimaler Bodenbearbeitung, da hier günstigere Keimbedingungen herrschen und die fatale Keimung vermindert wird.

Erheblichen Einfluss auf die Keimrate haben die Feuchtigkeitsverhältnisse im Boden, denn durch steigende Feuchtigkeit und Temperatur verlieren vergrabene Samen

zunehmend ihre Lebensfähigkeit (Schafer & Chilcote 1970). Starke Trockenheit hat ebenfalls eine erhebliche Abnahme in der Keimrate zur Folge. Die Induktion sekundärer Dormanz durch zeitweiliges Austrocknen kann hierbei eine Rolle spielen.

#### 4.5.4 Einfluss der Bodenbearbeitung und Bearbeitungsgeräte auf die Diasporenbank

Sowohl ohne Bodenbearbeitung als auch bei der Verwendung des Schwergrubbers wird mehr als 60 % der Wildpflanzensamenbank in den oberen 5 cm des Bodens angereichert (Froud-Williams *et al.* 1984; Mead *et al.* 1998; Barberi & Cascio 2001). In der hier durchgeführten Samenbankuntersuchung konnten in der Striegel- und Grubberbearbeitung im Verlauf von 25 Monaten im Durchschnitt der Arten 24,3 bzw. 23,5 % (Abb. 3.4) der anfänglich ausgebrachten Samenbank wieder gefunden werden. Die tiefere Bodendurchmischung unter Pflug führte zu einer wesentlich gleichmäßigeren Verteilung der Samenbank über die beiden Tiefenstufen. Das die Samenbank unter regelmäßiger Pflugbearbeitung homogener über den Bearbeitungshorizont verteilt ist als in den nicht wendenden Varianten, geben auch Clements *et al.* (1996) an. Lediglich nach der ersten Pflugbearbeitung befindet sich der Großteil der Samen in der Schicht zwischen 10 und 15 cm (Froud-Williams *et al.* 1983), oder in einer Tiefe von 15 – 20 cm (Cousens & Moss 1990). Der überwiegende Teil der Wildpflanzen läuft aus Bodentiefen kleiner 5 cm auf (Chancellor 1964; Froud-Williams *et al.* 1984). In einem Feldversuch von Yenish *et al.* (1992) wurden im obersten Zentimeter der Null-Bearbeitungs-Variante über 60 % aller Wildkrautsamen eines 19 cm mächtigen Pflughorizontes gefunden. Dabei nahm mit zunehmender Bodentiefe die Samenkonzentration der Wildpflanzen logarithmisch ab. Clements *et al.* (1996) konnten in der Null-Bearbeitung und unter Grubber ebenfalls mehr als 60 % der Samen in der Samenbank in den oberen 5 cm finden. Daher ist bei der Saatbettbereitung die Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Samenverteilung im Boden zu berücksichtigen (Knab & Hurle 1986), denn durch eine angepasste Bodenbearbeitung können im auflaufenden Kulturbestand die Wildpflanzen reduziert werden.

So hat der erste Arbeitsgang einer Bodenbearbeitung den größten Einfluss auf die Verlagerung der Samen im Boden. Direkt an der Oberfläche liegende Samen werden weiter verdriftet als im Boden lagernde Samen (Rew & Cussans 1997). Kleine Samen wie von *B. napus* werden weiter transportiert als die großen Samen der Gerste.

In einem Versuch von Shrestha *et al.* (2002) wurde die Wildpflanzendichte in Weizen durch Bodenbearbeitung und Kulturpflanze nicht beeinflusst. In Bohnen hingegen wurde die Wildpflanzendichte bei wendender Bestellung weniger reduziert als in der Null-Bearbeitung.

---

Eine Einarbeitung von Samen kann positive und negative Folgen auf den Keimlingsauflauf haben. Durch eine tiefe Vergrabung wird das Auflaufen der Samen verhindert, was zur Anreicherung der Diasporenbank beitragen kann. Sogar in Null-Bearbeitungssystemen kann durch Sämaschinen, Reifenbewegungen und Bioturbation zumindest eine flachgründige Vergrabung bewirkt werden (Forcella *et al.* 2000). Die Zahl an lebensfähigen Samen ist am größten, wenn die Samen vergraben und ungestört sind und am geringsten, wenn sie auf der Bodenoberfläche verbleiben (Froud-Williams *et al.* 1984). Die Reduktion der Diasporenbank ist ein wichtiges Ziel im langfristigen Wildpflanzenmanagement, da dies den Herbizideinsatz und den Ertragsverlust verringert. Eine Reihe von Untersuchungen (Albrecht & Sommer 1998; Swanton *et al.* 1999; Sjursen 2001) hat gezeigt, dass sich die Diasporenbankgröße und deren Zusammensetzung unter dem Einfluss des Bearbeitungssystems verändert. Die Samendichte und Artenzahl nimmt mit abnehmender Bodenstörung zu (Cardina *et al.* 1998; Albrecht 2003). Der Standardpflug reduziert die Samenzahl durch die Zerstörung der Keimlinge, als auch durch Anregung der Keimung in Tiefen, welche die erfolgreiche Etablierung verhindern. In einem Versuch von Torresen (1998) zum Auflaufverhalten von Wildpflanzen unter unterschiedlicher Bodenbearbeitung war der Feldauflauf, auf im Frühjahr gepflügten Flächen, zwei Jahre nach Aussaat, am höchsten. Eine Bodenstörung steigert den Anteil an auflaufenden Samen, ändert aber nicht den Zyklus der Keimphasen und stimuliert auch keine Keimung außerhalb der natürlichen Keimzeiten (Froud-Williams *et al.* 1984).

#### 4.5.5 Bodeneigenschaften

Obwohl eine Fläche der 3 Blockversuchsanlagen einen erhöhten Tongehalt aufwies, konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Flächen im Auflauf der Arten festgestellt werden. So können die drei Wiederholungen im vorliegenden Versuch als echte Wiederholungen gelten.

Eine Studie von Grundy *et al.* (2003b) relativiert den Einfluss, der von verschiedenen Standorten ausgeht, denn der jeweilige Auflaferfolg der untersuchten Populationen von *Stellaria media* an drei Standorten im selben Jahr, war über alle Versuchsflächen ähnlich.

Andererseits zeigen die Ergebnisse von Walter *et al.* (2002), dass die Spanne der räumlichen Abhängigkeit nicht nur auf Feldskala variiert, sondern auch zwischen den Wildpflanzenarten und Bodeneigenarten sowie zwischen den Jahren. Diese Studie zeigte, dass das Verteilungsmuster der Wildpflanzen schlagspezifisch ist und die Bodenbeschaffenheit innerhalb eines Feldes einer von mehreren Faktoren ist, welcher die unregelmäßige Häufung von Wildpflanzen steuert. Andreasen *et al.* (1991) zeigten, dass einige Wildkrautarten in ihrer Häufigkeit auf dem Feld mit

Bodeneigenschaften korrelieren. Diese Bodeneigenschaften können sich innerhalb einer Distanz von 150 m oder weniger (Pierce *et al.* 1995) deutlich verändern und dadurch das potenzielle Vegetationsmuster und die Dichte der Vegetation in einem Feld beeinflussen.

#### 4.6 Entwicklung einzelner Arten

Die geringe Artenzahl, die bei der Vorbeprüfung (Tab. 3.3) der Untersuchungsflächen sowohl in der Samenbank, als auch im Auflauf gefunden wurde, scheint nicht ungewöhnlich zu sein. In einem 21-jährigen Experiment mit 752 Teilversuchen lag die mittlere Wahrscheinlichkeit eine der 20 untersuchten Arten auf einem Standort anzutreffen bei 14,4 % (Milberg *et al.* 2001). Der Persistenz-Index der Arten wurde anhand der Daten von Thompson *et al.* (1997) nach der Formel von Thompson *et al.* (1998a) ermittelt.

Schlußfolgerungen über die Persistenz der ausgesäten Samen werden von eingeschränkter Aussagekraft sein, wenn von den untersuchten Arten bereits eine residente Samenbank vorhanden ist. Diese Einschränkung gilt im vorliegenden Versuch für die Arten *C. bursa-pastoris*, *E. crus-galli*, *T. perforatum* und *T. arvense*.

##### 4.6.1 Beziehungen zwischen Bodenbearbeitung, Auflauf und Persistenz der Ackerwildpflanzen

Die Art der Bodenbearbeitung wirkt sich auf die Artenzusammensetzung der Diasporenbank aus, da unterschiedliche Bearbeitungsgeräte durch ihre verschiedenen Arbeitstiefen unterschiedlich intensive Störungsintensitäten verursachen. Mit der eigenen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass der Gesamtauflauf aus der Diasporenbank unter minimaler Bodenbearbeitung am größten ist. Ein größerer Gesamtauflauf bei reduzierter bzw. minimaler Bodenbearbeitung wurde auch von Amann (1991), Cardina *et al.* (1996) und Pekrun *et al.* (2000) festgestellt.

Jede Art hat eine spezifische Auflaufrate aus der Diasporenbank (Harper 1977). Arteigene Eigenschaften, wie die Höhe der Samenproduktion, der Ausbreitungsmechanismus und die Fähigkeit persistente Diasporenbanken zu bilden, beeinflussen den Umfang des Auflaufs.

Arten mit geringer Samengröße bauen häufig persistente Diasporenbanken auf (Fenner 1995a). Andererseits können Arten trotz großer Diasporenvorräte im Boden in der oberirdischen Vegetation kaum in Erscheinung treten (Albrecht & Pilgram 1997).

Obwohl alle untersuchten Arten Therophyten sind, die typischerweise auf ackerbaulich genutzten Flächen vorkommen, ließen es die großen Unterschiede im Verhältnis von Diasporenbank und Auflauf der untersuchten Arten sinnvoll erscheinen, die Arten in Klassen einzuteilen. Es konnten 4 Klassen bzgl. des Zusammenhangs zwischen Abnahmerate in der Diasporenbank und Auflauf der untersuchten Arten erkannt werden (Tab. 4.1). Zumindest in der Gruppe mit einem langsameren Rückgang in der Diasporenbank befanden sich Arten mit kleinen Samen. Doch auch in der Gruppe mit schneller Abnahme in der Diasporenbank sind 4 von 9 Arten kleinsamig. Aber sogar diese Arten haben wenigstens short-term-persistente Diasporen. Darüber hinaus zeigten vier Arten eine erhöhte Auflaufrate nach der Vernalisierung im ersten Winter nach Aussaat, von denen trotzdem 3 Arten nur < 10 % Gesamtauflauf aufwiesen.

Hohe Diasporendichten vermindern in der Regel die Auflaufraten im Frühjahr (Sprenger 2004). Im vorliegenden Versuch könnte die hohe Diasporendichte von 5000 Samen je Art pro m<sup>2</sup> zu einer Reduktion des Auflaufs geführt haben. Im Experiment mit *Capsella bursa-pastoris* von Bergelson & Perry (1989) konnten mit zunehmender Samendichte abnehmende Auflaufraten gefunden werden. Diese dichteabhängige Keimhemmung ist ebenfalls ein Grund für die Reduktion der Keimung bei hohen Diasporendichten. Durch die dichteabhängige Keimhemmung wird die Keimung unter Bedingungen, die für die Etablierung des Keimlings, wegen der Konkurrenz um begrenzte Ressourcen, ungünstig wären, verhindert (Grundy *et al.* 2003b).

Obwohl es generell Daten über die Persistenz vieler Arten gibt, wurden anscheinend von vielen dieser Arten keine Werte über den Rückgang unter ackerbaulichen Gegebenheiten veröffentlicht (Lutman *et al.* 2002), so dass viele dieser Reports den quantitativen Rückgang der Diasporenbank nur unzureichend für ackerbauliche Bedingungen beschreiben.

Tab. 4.1: Klassifizierung der Ackerwildpflanzen nach ihrem prozentualen Auflauf und ihrer Abnahmerate in der Diasporenbank

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Prozentualer Auflauf	gering	gering	hoch	hoch
Persistenz	niedrig	hoch	niedrig	hoch
Diasporengröße	klein-mittel	mittel	mittel-groß	mittel-groß
Individuendichte	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
Artengruppe/Lebensform	Therophyten	Therophyten	Therophyten	Therophyten
Arten der Untersuchungsflächen	A. thaliana, C. bursa-pastoris, Sinapis arvensis, D. carota	S. media, T. perforatum, T. arvense	B. rapa, Spargula arvensis, A. fatua, E. crus-galli	R. raphanistrum, S. nigrum

*BRASSICA RAPA*

Als nächste verwandte Art zu *B. napus* besteht für *B. rapa* die höchste Wahrscheinlichkeit einer Auskreuzung. In mehreren Studien wurde das hohe Potenzial von Hybridisierungen (bis 17 %) zwischen *B. napus* und *B. rapa* beschrieben (Eber *et al.* 1994; Scheffler & Dale 1994; Bing *et al.* 1996; Landbo & Jorgensen 1997). Rübsen ist in seiner Konkurrenz dem Raps ebenbürtig und kann als Durchwuchs den Ertrag von Raps stark vermindern und vor allem die Erntepartien stark verunreinigen (Diepenbrock *et al.* 1999). Eine Samenabtrennung im Erntegut ist wegen der ähnlich großen und gleichförmigen Samen kaum möglich. Die erste Auflaufrate von *B. rapa* im September 2001 war unter der Wildpflanzenkonkurrenz mit 27 bzw. 15 % in der Striegel- und Grubbervariante nahezu doppelt so hoch, wie die der Rapsorten Falcon und Liberator. Sowohl beide Rapsorten als auch die Rübsensorte Rex waren gleichermaßen der hohen Gesamtsaatdichte, die durch die gleichzeitige Aussaat der Wildpflanzen entstand, ausgesetzt, was auf die hohe Konkurrenzkraft dieser Sorte schließen lässt. Der schnelle Abbau der Samenbank innerhalb von nur 12 Monaten auf unter 5 % und im weiteren Verlauf auf unter 1 % bestätigt das geringe Dormanzpotenzial von ca. 3 % der Rübsensorte Rex, das Gruber *et al.* (2001) im Labortest ermittelt hatte. Aufgrund der geringen Persistenz dieser Sorte, wäre eine mögliche Auskreuzung infolge von Durchwuchspflanzen nur bei einer Raps – Rübsenfruchtfolge und umgekehrt möglich, die sich aber wegen der negativen phytosanitären Wirkung von selbst verbietet. Wie bei den Rapsorten, so gilt offensichtlich auch für *B. rapa* eine Sortenabhängigkeit bezüglich der Dormanzneigung und des Persistenzvermögens. Für die Sorte Rex zeichnete sich im betrachteten Versuch eine short-term-Persistenz ab, während der „Longevity Index“ von 0,93 *B. rapa* als long-term persistente Art klassifiziert.

*RAPHANUS RAPHANISTRUM*

*R. raphanistrum* ist eine der wichtigsten breitblättrigen Wildpflanzen in Winterungen bodensaurer Standorte (Hofmeister & Garve 1986; Murphy *et al.* 1998b). Über die Abnahme der Samenbank von *R. raphanistrum* und den zugrundeliegenden Mechanismen ist nur wenig bekannt (Murphy *et al.* 1998a). Die Samenproduktion ist dichteabhängig und kann zwischen 300 Samen m<sup>-2</sup> von einer Pflanze m<sup>-2</sup> bis 17000 Samen m<sup>-2</sup> von 52 Pflanzen m<sup>-2</sup> liegen (Murphy *et al.* 1998a). Bodenbearbeitung und Niederschlagsereignisse sind zentrale Faktoren, die den Auflauf bestimmen. Die Keimrate von *R. raphanistrum* ist mit vollständiger Schote geringer als bei Samen, die aus der Schote entfernt wurden (Cheam 1984). Allerdings verhindern weder Schote noch Samenschale die Quellung der Samen (Young & Cousens 1998). Im vorliegenden Versuch lässt sich der mit bis zu 63 % sehr hohe Auflauf unter Striegel

nach der 1. Bearbeitung durch mehrere Faktoren erklären. Das Saatgut war zum Teil bereits schotenlos, und der hohe Niederschlag (Kap. 2.2.1) nach Aussaat ermöglichte eine vollständige Samenquellung auch in den Schoten. Im Versuch dürfte die Bodenbearbeitung unmittelbar nach Aussaat mit Grubber und Striegel, die auf der Oberfläche liegenden Schoten geritzt oder geöffnet haben. Piggin *et al.* (1978) beobachteten ebenfalls signifikant höhere Individuenzahlen nach dem Einsatz von Scheibenpflug und Zinkengerätschaften. Laut Panetta & Gilbey (1988) keimen nach einer Bodenbearbeitung in einer ersten Keimperiode 50 bis 90 % des Jahresaufbaus. Das entspricht jedoch nur 10 – 30 % der Samen, die durch die Schoten eines reifen Raphanus-Bestandes in die Diasporenbank gelangen könnten (Roberts & Boddrell 1983), da ein Teil der Samen zunächst dormant ist. Doch das im hier durchgeführten Versuch eingesetzte Saatgut stammte aus dem Jahr 2000. So konnte das Saatgut noch in der Nachreifephase, während der trockenen Lagerung, Dormanz abbauen (Pekrun 1994; Honek *et al.* 1999). In einer Samenbankuntersuchung von Roberts & Boddrell (1983) waren nach 5 Jahren noch 18 % der Samen vorhanden und lebensfähig. Im hier ausgeführten Versuch waren 6 Monate nach Aussaat in der Pflugvariante noch ein Drittel der Samen vorhanden, aber bereits nach zwei Jahren waren nur mehr knapp 5 % der Samen überdauernd (Tab. 3.6). Aus der Berechnung des „Longevity-Index“ ergibt sich ein Wert von 0,38. Dieser steht für eine geringe Persistenz und stellt *R. raphanistrum* in den Grenzbereich der Persistenzgruppen short-term-persistent und transient. Die im vorliegenden Versuch gefundenen Diasporenbankwerte stimmen gut mit dieser Klassifizierung überein. Laboruntersuchungen von Piggin *et al.* (1978) zeigten, dass *R. raphanistrum* in einem weiten Bereich wechselnder wie konstanter Temperaturen, sowohl im Licht als auch im Dunkeln keimfähig ist. In der Pflugvariante wäre der schnelle Rückgang der Diasporenbank durch eine fatale Keimung in großer Tiefe erklärbar. Die durchschnittliche Auflauftiefe liegt für *R. raphanistrum* bei 16 mm, während 75 mm als Maximum angegeben werden (Young & Cousens 1998). So resultiert aus Pflugbearbeitung nur ein sehr geringer Auflauf (Murphy *et al.* 1998b). Außerdem wird vermutet, dass eine tiefe Vergrabung der *R. raphanistrum* Samen die Keimung einschränkt, wegen der fehlenden täglichen Temperatur- und Lichtschwankung (Piggin *et al.* 1978), oder wegen des O<sub>2</sub> Mangels und gasförmiger Inhibitoren im Boden (Holm 1972), welche die sekundäre Dormanz induzieren. Doch auch die 2. Bodenbearbeitung reduzierte die Samenbank nochmals deutlich und zeigte damit die dormanzbrechende Wirkung der Bodenstörung für diese Art. Dies stellt eine Adaptionsreaktion auf kurzzeitig veränderte Umweltbedingungen durch die Bodenstörung dar. Unter optimalen Verhältnissen wirken Lichtgenuß, flache Einarbeitung und optimale Feuchtebedingungen anhaltend keimstimulierend auf die Samen. Dem entsprechende Bedingungen werden durch eine Striegelbearbeitung und weniger ausgeprägt durch die Grubberbearbeitung geschaffen. Cheam (1986)

stellte eine geringere Keimfähigkeit in *R. raphanistrum* fest, wenn die Samen unter Vegetation im Boden im Gegensatz zu Stoppelbrache lagerten. In der vorliegenden Versuchsanlage wurden die Samen in einen vegetationsfreien Boden eingearbeitet, was zusätzlich eine keimungs- und auflauffördernde Wirkung haben konnte.

#### *SINAPIS ARVENSIS*

Bei *S. arvensis* liefen in den Varianten mit flacher Bodenbearbeitung nur zwischen 10 und 14 % der Samen auf (Abb. 3.7). Möglicherweise wirkte sich bei *S. arvensis* die Konkurrenz der anderen Wildpflanzen hemmend aus. Unter der Annahme, dass nach einer Bodenbearbeitung die Auflaufrate linear von der Bodenoberfläche bis in 15 cm Tiefe auf 0 % abnimmt, schätzt Vleeshouwers (1997) in seinem Modell zum Voraufwachstum, dass nach einer Bodenbearbeitung 72 % der Keimlinge von *S. arvensis* in einem sandigen Lehm, infolge fataler Keimung, nicht die Bodenoberfläche erreichen. Am Untersuchungsstandort steht der selbe Bodentyp an, so dass auch hier von hohen Anteilen fataler Keimung auszugehen ist. Vernalisierte Samen von *S. arvensis* haben eine höhere Keimrate als frisch geerntete Samen (Milberg & Andersson 1998). Aus der niedrigen Auflaufrate lässt sich ableiten, dass die ausgebrachten Samen nicht vernalisiert waren. Doch auch nach der Vernalisierung der im Boden eingearbeiteten Samen im Winter, liefen im Frühjahr 2002 nur äußerst wenige Keimlinge auf.

Die Ergebnisse aus der vorliegenden Samenbankanalyse zeigen eine äußerst geringe Persistenz des Großteils der Samen an (Kap. 3.7.17). Die etwas höheren Werte in der 3. Probenahme können durch die inhomogene Verteilung der Samen im Boden bedingt sein. Außerdem konnten infolge der Keimschranküberhitzung (Kap. 2.4.1), welche die Keimung verhinderte, nicht direkt die Keimraten der Samenbank bestimmt werden. Daher wurden Auszählungen (incl. Tetrazoliumtest) der Samen vorgenommen, die durch die Registrierung dormanter Samen zu höheren Werten führen konnten. Eine jährliche Abnahmerate von 20 bzw. 22 % in der Samenbank fanden Lutman *et al.* (2002) und Edwards (1980). 6,1 % lebensfähige Samen waren nach 5 Jahren in einer Samenbankuntersuchung von Roberts & Boddrell (1983) wiederzufinden, während im betrachteten Versuch max. 1,3 % 25 Monate überdauerten. Moodie *et al.* (1997) fanden, dass Samen von *S. arvensis* in ihrer Persistenz nur geringe oder keine genetischen Unterschiede aufwiesen, die von gestörten und nicht gestörten Flächen gesammelt wurden. Untersuchungen von Zwerger & Hurlle (1986) ergaben, dass nach 2 Jahren noch fast alle Samen von *S. arvensis* keimfähig geblieben waren. Auch der „Longevity-Index“ von 0,91 bestätigt die hohe Persistenz der Samen von *S. arvensis*, deren Anteil aber im betrachteten Versuch unter wiederholter Bodenbearbeitung bereits nach 25 Monaten auf max. 1,3 % persistierender Samen reduziert worden war.

---

*AVENA FATUA*

*A. fatua* ist weltweit eine der problematischsten Wildpflanzen und wächst in einem weiten Bereich von leichten bis schweren Bodentypen, sowohl auf sauren als auch basischen Böden. *A. fatua* ist ein starker Konkurrent in allen Kulturen um die Wachstumsfaktoren Nährstoffe, Licht, Wasser und Standraum. Die wirtschaftliche Schadensschwelle liegt bei 4 - 10 Pflanzen m<sup>-2</sup> (Kees 2001). Frisch geerntete Samen sind dormant, keimen aber nach verlängerter Lagerung bei 20 – 25°C gut (Rao 2000). Die hier verwendeten Samen stammten aus der Ernte 2000 und wurden somit erst ein Jahr nach der Ernte ausgesät. *A. fatua* ist ein starker Konkurrent von Raps und kann dessen Ertrag deutlich mindern (Daugovish *et al.* 2002). Thurston (1951) zeigte, dass eine Bodenbearbeitung die Keimung von *A. fatua* anregte. Die ermittelten kumulierten Keimraten aus 3 Jahren (Kap. 3.7.3) des vorliegenden Versuches stimmen für die Pflugvariante sehr gut mit den Werten von Wilson (1985) überein, wo in 4 Jahren, bei Pflugbearbeitung von 2000 Samen pro m<sup>2</sup>, 6,2 % keimten. In der Grubberbearbeitung keimten 9,7 % der Samen innerhalb des vierjährigen Versuches. Das heißt, im vorliegenden Versuch wurden unter Grubber mit 25,8 % Auflauftrate in 25 Monaten das Zweieinhalbfache der Auflaufwerte von Wilson ermittelt. Froud-Williams *et al.* (1984) ermittelten Vergrabungstiefen von 2 – 7 cm als optimal für den Auflauf, während an der Bodenoberfläche liegende Samen keine Keimlinge etablieren konnten. Laut Kees & Gehring (2001) können Samen von *A. fatua* aus Tiefen von 2 – 20 cm auflaufen und haben häufig eine mehrjährige Keimruhe. Im Gegensatz dazu konnten im vorliegenden Versuch die höchsten Auflaufraten im ersten Untersuchungsjahr mit 24 % in der Striegelbearbeitung ermittelt werden, obwohl diese nur einen Teil der Samen sehr flach einarbeitet. Die Grubberbearbeitung ergab nur mittlere Auflaufwerte, obgleich diese Bearbeitung die Samen zum Großteil im optimalen Tiefenbereich anreichert. Die mittlere jährliche Abnahmerate der Samenbank unter Pflug gab Wilson (1985) mit 61 % und für Grubber mit 68 % an. Die Abnahme der Samenbank betrug im hier ausgeführten Versuch für Pflug und Grubber 90 bzw. 78 % im ersten Jahr. Nach 4 Jahren waren im Versuch von Wilson durchschnittlich noch 2 % in der Pflugvariante und 1 % der Samen in der Grubervariante vorhanden. Im Vergleich dazu konnten im durchgeführten Versuch bereits nach 25 Monaten in keiner der Bearbeitungsvarianten mehr Samen gefunden werden. Dieses Ergebnis zeigt, dass *A. fatua* unter praxisüblichen Bewirtschaftungsbedingungen eher short-term-persistent reagiert im Vergleich zum potenziellen „Longevity Index“ von 0,87, der eine Long-term-Persistenz ausweist. Einen noch extremeren Rückgang der Samenbank registrierten Lutman *et al.* (2003), wo die 1998 ausgesäte Samenpopulation bereits nach 12 Monaten verschwunden war und auch Wilson (1988) fand eine Überdauerung von nur einem Jahr in ungestörtem Boden. Die bei

Lutman im Jahr 1999 am selben Standort ausgesäten Samen waren jährlich um 60 % rückläufig. Diese Ergebnisse unterscheiden sich deutlich von den Beobachtungen von Jana & Thai (1987), wo dormante Samen von *A. fatua* über 7 Jahre unter kontinuierlicher Bodenbearbeitung vollständig überdauerten, doch wenn der Boden in einjährigem Abstand einer Zwischenbrache unterlag, resultierte dies in einer beständigen Samenbankabnahme. Eine Erklärung für so unterschiedliche Angaben und Befunde gibt Peters (1982b, 1982a), der zeigte, dass *A. fatua* unter Wassermangel, oder bei hohen Temperaturen gering dormante Samen bildet, während unter klimatisch ausgeglichenen Bedingungen Samen mit höherer Dormanz reifen.

#### *ECHINOCHLOA CRUS-GALLI*

Trotz der bereits vorhandenen Samenbank des Standortes konnte auch in den beiden flach bearbeitenden Varianten der Samenaufbau beurteilt werden. In den oberen 10 cm lag der residente Samenanteil bei nur 4 % der ausgesäten Samenmenge, so dass der Einfluss der bereits vorhandenen Samenbank auf die Ergebnisse des Feldaufbaus gering sein dürfte, obgleich diese Art nur auf sehr tiefe Vergrabung mit einer markanten Abnahme des Aufbaus reagiert. So ergab eine Studie von Benvenuti *et al.* (2001) eine Spanne von 0 – 8 cm für die potenzielle Aufbautiefe. Der Aufbau benötigte allerdings durchschnittlich 17,6 Tage aus 8 cm Tiefe im Vergleich zu 6,1 Tagen von der Bodenoberfläche. Die erste Bodenbearbeitung 2001 führte zu einem starken Samenaufbau, während die nachfolgenden Bodenstörungen nur noch geringe Aufbautraten erbrachten, was vermutlich an der schnell abnehmenden Samenbank lag. Unterschiede in der Samenbank zwischen den Bearbeitungsvarianten traten nur in der 1. Probenahme 6 Monate nach Aussaat auf. Bei den nachfolgenden Beprobungen wurden in allen Varianten nahezu gleich große Samenmengen gefunden. Bodenbearbeitungsmaßnahmen können die Samenbank von *E. crus-galli* deutlich reduzieren, sie sind aber nur dann erfolgreich, wenn mehrfach wiederholt eine mechanische Bekämpfung mit der Hacke angewandt wird (Rao 2000).

Ghera & Martinez-Ghera (2000) klassifizieren die Samenbank von *E. crus-galli* als transient. In absolutem Gegensatz dazu steht das Ergebnis der Berechnung des „Longevity-Indexes“ mit 1,0, der diese Art als maximal persistent beschreibt. Hier zeigt sich wieder der stark modifizierende Einfluss, den unterschiedliche Umweltparameter (biotisch und abiotisch) auf die Ausprägung der Persistenz haben und auch endogene Faktoren überlagern können.

In einem Dormanzversuch von Honek *et al.* (1999) in Licht bei konstant 25 °C, schwankte die Keimrate von 0 bis 96 % mit Maxima von Mai bis Juli und Minima von September bis November. Die Keimrate nahm nach Dormanzabbau bei sekundär

dormanten Samen schneller zu, als bei primär dormanten Samen (Honek *et al.* 1999). Diese Schwankung im Anteil der keimfähigen Samen erklärt die geringe Wirksamkeit der Herbstbodenbearbeitung auf die Abnahme der Bodensamenbank von *E. crus-galli*, deren Samen direkt nach der Samenreife im Juli-September weitgehend dormant sind. Erst durch Nachreifung bei etwa 25 °C wird der Anteil keimfähiger Samen langsam gesteigert, aber durch Stratifizierung bei 5 °C steigt der Anteil keimfähiger Samen schnell auf über 50 % (Honek *et al.* 1999). Im betrachteten Versuch, bei dem Mitte August ausgesät wurde, zeigte sich mit bis zu 24 % Auflaufquote jedoch eine hohe Keimbereitschaft der Samen. In der zweiten Vegetationsperiode hatte die Auflaufquote bereits auf unter 10 % abgenommen, so dass weder ein Vernalisierungseffekt oder ein Auflaufmaxima zwischen Mai und Juli gemessen worden wäre. Diese Effekte können aber trotzdem eingetreten sein, da deren Wirkungen vermutlich durch die rapid abnehmende Samenbank überdeckt wurden.

#### *THLASPI ARVENSE*

Der „Longevity-Index“ von 0,94 charakterisiert *T. arvense* als long-term-persistente Art. Die hier gefundenen anhaltend großen Mengen an Samen in der Diasporenbank bestätigen sehr gut die Persistenz der Samen dieser Art. Im betrachteten Versuch zeigte die anfänglich sehr große Diasporenbank nach 13 Monaten in allen Varianten eine stärkere Abnahme und wies dann nach 25 Monaten mit etwa 20 % eine anhaltend hohe Zahl an persistenten Diasporen auf.

Die stetige Zunahme des Auflaufes während der drei Beobachtungsjahre ist wahrscheinlich auf die Störungen der Bodenbearbeitungen und die Vernalisierung über die beiden Winter zurückzuführen, welche die Dormanz eines Teils der Samen brechen konnte. Die insgesamt sehr geringe Auflaufquote von *T. arvense* scheint in der tiefen Dormanz der Samen begründet zu sein. Da *T. arvense* nur aus Tiefen von 0,5 bis max. 3 cm auflaufen kann (Kästner *et al.*, 2001), stellt dies einen weiteren limitierenden Faktor für den Auflauf, speziell in der Grubber- und Pflugvariante dar. Untersuchungen von Hume (1994) belegen, dass die Dormanz der Samen von *T. arvense* erhöht ist, wenn diese während ihrer Entwicklungszeit höheren Temperaturen ausgesetzt waren, was die unterschiedlichen Angaben zur Keimrate frisch geernteter Thlaspisamen aus der Literatur und die geringen Keimraten in der eigenen Untersuchung erklären kann.

Die größte Zahl der Keimlinge läuft unter störungsfreien Bedingungen im März auf, doch einzelne Samen keimen über das ganze Jahr (Roberts & Feast 1970). Ähnliche Ergebnisse brachte ein Versuch von Chepil (1946), wo im 5-jährigen Durchschnitt bis 30.06. eines Jahres 45,5 % der nahe der Bodenoberfläche ausgebrachten Samen aufkamen und danach nur noch 8,7 %. Aus Tiefen die mit der Arbeitstiefe von Grubber und Pflug vergleichbar waren, liefen bei Chepil im Mittel der gesamten

Vegetationsperiode 36 % bzw. 24 % der Samen auf. In einem Keimfähigkeitstest von Zwerger & Hurlé (1986) erreichten Samen von *T. arvense*, die aus einer Bodentiefe von 20 cm stammten mit 100 % die höchste Keimfähigkeit. Im vorliegenden Versuch kann die etwas tiefere Einarbeitung der Samen nach der 2. Bearbeitung mit Striegel und Grubber den Anstieg der Auflaufrate begünstigt haben. Scopel *et al.* (1991) berichten von einer enormen Steigerung der Lichtsensitivität in den Samen durch eine kurze Phase der Vergrabung. In *T. arvense* traten jedoch nur nach Stratifizierung Unterschiede im Keimvermögen zwischen verschiedenen Populationen auf (Milberg & Andersson 1998). Nordmeyer & Dunker (1999) untersuchten zwei Felder und fanden signifikante Korrelationen zwischen dem Gehalt an organischer Substanz und dem Auftreten von *T. arvense*. Im vorliegenden Versuch hatte der Vergleich der drei Versuchsflächen jedoch keine statistisch belegbaren Unterschiede in der Zahl der Keimlinge von *T. arvense* ergeben.

#### SOLANUM NIGRUM

*S. nigrum* kann mehrere tausend Samen pro Pflanze produzieren. Ein tageszeitlicher Temperaturwechsel ist für die Samenkeimung von erntefrischen, trocken gelagerten, feucht gelagerten und vergrabenen Samen zwingend erforderlich (Roberts & Lockett 1978). Obwohl diese Bedingungen erfüllt waren, keimten nach der ersten Bodenbestellung 2001 nur verhältnismäßig wenige Samen (Kap. 3.7.18). In einem Versuch von Andersson & Yaha (2003) reduzierte die Stratifizierung der Samen wesentlich das Niveau der Dormanz in *S. nigrum*, während eine Nachreifung nur geringe Wirkung zeigte. Die Zunahme der Auflaufrate auf bis etwa 25 % im 2. Jahr, könnte daher auf die Vernalisierung über den Winter zurückzuführen sein. *S. nigrum* weist nach Roberts & Lockett (1978) ein beständiges jahreszeitliches Auflaufmuster von Mai bis September auf, da die Keimtemperatursprüche *S. nigrum* als Wärmekeimer charakterisieren (Otte 1996). Da im ersten Jahr nach der Aussaat im eigenen Versuch nur noch 6 Wochen innerhalb dieser, den Auflauf begünstigenden Zeit lagen, könnte dadurch zusätzlich die erste Auflaufrate reduziert worden sein. Die ab 2002 hohen Auflaufraten in der Pflugvariante lassen sich durch die Fähigkeit von *S. nigrum* erklären, aus Tiefen von bis zu 8 cm auflaufen zu können (Benvenuti *et al.* 2001).

*S. nigrum* wies den langsamsten Rückgang in der Diasporenbank aller untersuchten Arten auf, obwohl nur 1400 Samen dieser Art ausgebracht wurden. So liefen in der 3. Vegetationsperiode, aus der nach 13 Monaten noch 20 – 30 % umfassenden Samenbank, bis zu 5 % der Samen auf. Keine der Bearbeitungsvarianten hatte einen statistisch differenzierenden Einfluss auf die Persistenz der Samenbank. Der „Longevity-Index“ von *S. nigrum* mit 0,73 wird durch die Abnahme der Diasporenbank von nur etwa 90 % nach 25 Monaten recht gut bestätigt.

---

*STELLARIA MEDIA*

Der erste Auflauf war klar tiefenabhängig und belegt den Flachkeimercharakter der Art (Kästner et al. 2001). An der Bodenoberfläche liegende Samen von *S. media* keimen erst nach einer flachen Bodenbearbeitung in größeren Mengen (Froud-Williams et al. 1984). Eine Ursache hierfür kann sein, dass sich Licht hemmend auf an der Bodenoberfläche liegenden Samen auswirken kann. *S. media* erreicht deshalb bei einer Ablagetiefe von 1 – 2 cm ihr Maximum im Auflauf. Der Keimlingsauflauf ist in Bodenstrukturen mit kleinem Korngrößengefüge am geringsten (Cussans et al. 1996). Im vorliegenden Versuch war nach der zweiten Bodenbearbeitung die Bodenbedeckung infolge der Auflaufabnahme nur noch lückig, so dass bei stärkeren Niederschlagsereignissen eine Bodenverschlämmung durch feine Bodenpartikel beobachtet werden konnte. In einem Versuch von Grundy (1997b), waren frisch geerntete Samen von *S. media* häufig dormant, oder keimten nur sehr langsam, und erst nach drei Jahren entwickelten die Samen eine hohe Keimfähigkeit. Demnach müssten im betrachteten Versuch in der 3. Vegetationsperiode die höchsten Keimraten registriert worden sein, doch es wurde nur ein leichter Anstieg zum Vorjahr gemessen. Die Samen haben eine sehr lange Überlebensfähigkeit von über 50 Jahren im Boden (Kästner et al. 2001). Roberts & Feast (1973) ermittelten jährliche Rückgangsraten von 34 – 55 %, bei Lutman et al. (2003) lagen diese Werte zwischen 30 und 45 % und nach 4 Jahren befanden sich 4 – 10 % der Samen im Boden. Der hier registrierte Rückgang der Samenbank war erheblich höher, doch nach 25 Monaten zeichnete sich eine konstante Samenbank auf einem Niveau von etwa 5 % ab. Die beobachtete Entwicklung der Samenbank steht nicht im Widerspruch zum „Longevity-Index“ von 0,75, der eine long-term-persistente Samenbank von *S. media* anzeigt. Miller et al. (1998) zählten in einem Versuch zur Samenbankabnahme *S. media* zur Gruppe der Arten, die stufenweise, also diskontinuierlich abnehmen. Die Samen werden vor allem durch kleine Invertebraten dezimiert (Watson et al. 2003), was im vorliegenden Versuch mit Ursache des beschleunigten Rückgangs der Samenbank sein könnte.

*S. media* ist eine Stickstoff liebende Wildpflanze mit erheblicher Konkurrenzkraft in allen landwirtschaftlichen Kulturen und keimt und fruchtet fast das ganze Jahr (Kees 2001). Die Art fördert im Kulturbestand ein Kleinklima für Pilzinfektionen und ist gleichzeitig Wirtspflanze für Pflanzenkrankheiten und Rübennematoden (Kees & Gehring 2001) und kann so Raps in seiner Entwicklung schädigen. *S. media* scheidet wasserlösliche Phenole über die Wurzeln in den Boden aus, die allelopathisch auf die Umgebung wirken können (Inderjit 1998) und somit Anteil am geringen Aufgang der Rapsorten Falcon und Liberator haben konnten. Die Bekämpfungsschwelle in Gesellschaft mit anderen Arten liegt bei 40 – 60 Pflanzen m<sup>-2</sup>, so dass die

gemessenen Auflafraten aus der im Versuch simulierten Samenbank die Bekämpfungsschwelle überschreiten würden.

#### *TRIPLEUROSPERMUM PERFORATUM*

Aufgrund ihrer Phytomassenproduktion und Wuchshöhe, insbesondere in Raps wird sie über 150 cm hoch, ist *T. perforatum* die schädlichste Art unter den Kamillenarten (Kees & Gehring 2001). Die Samen des ausgesprochenen Flachkeimers überleben im Boden über 10 Jahre (Kees & Gehring 2001). Diese Beobachtung unterstützt auch der „Longevity-Index“, der für *T. perforatum* 0,97 beträgt. Die Bekämpfungsschwelle liegt für diese Art bei 3 – 5 Pflanzen m<sup>-2</sup> (Debruck 2000), so dass sogar der Auflauf von nur 15 - 50 Pflanzen m<sup>-2</sup> nach der 1. Bearbeitung in allen Bearbeitungsvarianten Ertragsrelevanz besitzen könnte. Der schwache Auflauf in allen Varianten entsprach dem Flachkeimercharakter der Art. Bei höheren Pflanzendichten treten starke Ertragsminderungen auf. In Untersuchungen von Froud-Williams *et al.* (1984) reduzierte die Vergrabung der Samen die Auflafrate von 82 auf 29 %, was eine Minimalbodenbearbeitung zu Raps, im Blick auf die Unterdrückung dieser Art, nicht geeignet erscheinen lässt. Hauptkeimzeit von *T. perforatum* ist im Frühjahr und Herbst, so dass Winterraps sowohl zur Aussaat, als auch zur Bestockung im nachfolgenden Frühjahr, potenziell der Konkurrenz der auflaufenden Keimlinge von *T. perforatum* ausgesetzt ist. Die Keimung von *T. perforatum* reagiert nur schwach auf veränderliche Lichtverhältnisse während der Bodenbearbeitung (Hartmann *et al.* 1997). So ergaben sich auch im vorliegenden Versuch, aus den verschiedenen Bearbeitungsvarianten, nur geringe Unterschiede in den Auflafraten. Der erhöhte Aufgang in 2002 deutet auf die keimungsfördernde Wirkung der Nachreifung hin, die zu einer breiteren Keimbereitschaft führte, während frisch geerntete Samen nur im Licht keimen (Hartmann *et al.* 1997). In seinem Versuch hatte weder eine Störung noch Störungsfreiheit der Samenbank einen Einfluss auf den Auflauf in Ablagetiefen von 0 und 5 cm. Mit max. 10 % lebensfähigen Samen nach 25 Monaten liegt hier der Anteil der ungekeimten Samen weit unter den 73 %, die Hartmann *et al.* (1997) nach 2 Jahren fanden.

#### *CAPSELLA BURSA-PASTORIS*

Die Keimbereitschaft dieser Art unterliegt einem jahreszeitlichen Wechsel, der je nach Herkunft verschieden ist (Neuffer & Schultes 1990). Das ist ein Hinweis, dass der „Longevity-Index“ von 0,82 für *C. bursa-pastoris* keine absolute Größe darstellt, sondern mehr einen Wert unter durchschnittlichen Umweltbedingungen repräsentiert. Der Vorgang der Keimung ist bei *C. bursa-pastoris* ein Prozeß, der abhängig ist von äußeren Faktoren, also von Umweltbedingungen, von inneren Faktoren, also von

endogener Rhythmik und von herkunftsspezifischen Faktoren, die im Zusammenhang mit adaptiven Wirkungen betrachtet werden müssen (Neuffer & Schultes 1990). Der mittlere Feuchtigkeitsgehalt der Samen während der Kulturentwicklung hat den größten Einfluss auf das Auflaufen der Keimlinge (Terpstra 1995). Die im betrachteten Versuch gefundenen Auflaufraten waren sehr gering und entsprechend der geringen Triebkraft in der Striegelvariante am höchsten. Die Keimraten blieben deutlich unter den Werten aus einem Versuch von Froud-Williams *et al.* (1984), der von maximal 15 % in den einzelnen Versuchvarianten berichtet. Der Bodensamenvorrat lag in allen drei Bodenbearbeitungsvarianten relativ konstant bei 5 % der ausgebrachten Menge. Dieser konstant bleibende Anteil von 5 % dormanter Samen bildet vermutlich die long-term-persistente Samenbank der Art aus. In keiner der Bearbeitungsvarianten konnte eine spezielle Förderung oder Aufhebung der Dormanz beobachtet werden. Das könnte an dem potenziell ganzjährigen Keimungsvermögen der Art liegen (Otte 1996). Wilson (1988) fand für *C. bursa-pastoris* eine Überdauerung von 16 Jahren in störungsfreiem Boden. Über den Anteil der residenten Samenbank am gemessenen Samenaufwurf kann keine sichere Angabe gemacht werden. Plausibel erscheint die ermittelten Prozentsätze (bezogen auf die Gesamtsamenbank von 5780 Samen m<sup>-2</sup>) der einzelnen Auflaufraten auf die residente Samenbank mit 780 Samen m<sup>-2</sup> zu übertragen und diesen Wert von der gemessenen Auflaufrate abzuziehen. Das bedeutet, dass der Anteil, der nur aus der ausgesäten Samenbank aufstieg noch etwas geringer einzustufen ist.

#### SPERGULA ARVENSIS

*S. arvensis* keimt von März bis September, wobei im Mai die höchsten Auflaufzahlen zu beobachten sind (Roberts & Feast 1970). Nur nach der 1. Bodenbearbeitung liefen aus der Diasporenbank von *S. arvensis* in Striegel- und Pflugbearbeitung bis zu 25 % der Samen auf. Der signifikant abgestufte Aufwurf zwischen den einzelnen Bearbeitungsvarianten zeigte deutlich, dass *S. arvensis* ein Flachkeimer ist (Kap. 3.7.20). In den nachfolgenden Bearbeitungen liefen nur noch einzelne Individuen auf. Bereits nach 6 Monaten war die Samenbank auf weniger als 10 % abgebaut und nach 13 Monaten lag sie unter 0,5 % des Ausgangswertes. Diese Ergebnisse bilden eine transiente und stark dem Abbau ausgesetzte Samenbank ab. Die Diasporenbank von *S. arvensis* entwickelte sich im beschriebenen Versuch offenbar stark abweichend, von dem eigentlich zu erwartenden schwachen Rückgang der Samen, denn der „Longevity-Index“ von 0,94 beschreibt *S. arvensis* als long-term-persistent.

## ARABIDOPSIS THALIANA

Die außerordentlich geringen Auflaufraten dieser Art sind vermutlich auf ihre extrem kleinen Samen und der daraus resultierenden geringen Triebkraft zurückzuführen. Die Samen von *A. thaliana* können lediglich aus einer Tiefe von bis zu 1 cm erfolgreich die Bodenoberfläche erreichen (Kästner *et al.* 2001). So sind die geringen Auflaufwerte in Grubber- und Pflugbearbeitung gut zu erklären. Doch auch in der Striegelvariante keimten nur marginal mehr Samen. Das könnte ein Hinweis auf eine sehr geringe Keimfähigkeit der Samen sein, die beim hier verwendeten Saatgut bei 29 % lag. Bei einer Auflaufrate von maximal 0,8 % pro Jahr (Abb. 3.16) kann die niedrigwüchsige Pflanzenart keine ertragsmindernde Wirkung auf Raps ausüben. Das jahreszeitliche Dormanzmuster in *A. thaliana* wird in erster Linie durch Veränderungen in der Lichtempfindlichkeit der Samen reguliert (Derkx & Karssen 1994). Zur Absicherung des Auswaschungsverfahrens bei den äußerst kleinen Arabidopsis-Samen wurden ergänzend einige Bodenproben im Keimverfahren untersucht. Dieses Keimverfahren lieferte ebenfalls nur geringe Auflaufraten, die 3,4 - 4,2 % der Samenbank repräsentierten. *A. thaliana* hat einen „Longevity Index“ von 0,94. Im Boden wurde aber bereits in der ersten Probenahme aller Bearbeitungsvarianten ein schneller Rückgang der Samenbank registriert, so dass nach 25 Monaten kaum noch Samen nachgewiesen werden konnten. Diese Ergebnisse zeigen eher eine short-term Persistenz der Samenbank von *A. thaliana* an.

## DAUCUS CAROTA

Die kleinsamige Art hatte entsprechend der geringen Vergrabungstiefe in der Striegelvariante den größten Auflauf. Das Auflaufoptimum liegt in 0,5 – 1 cm Tiefe, es können aber auch noch Samen aus bis zu 6 cm Tiefe erfolgreich auflaufen (Kästner *et al.* 2001). Die Zahl keimfähiger Samen nahm schnell ab. Nach der zweiten und dritten Bodenbearbeitung lagen die Auflaufraten jeweils nahe an den zuvor gemessenen Samenbankwerten. So scheint das Absterben und eine fatale Keimung der Samen in erheblichem Maß für den schnellen Rückgang der Samenbank verantwortlich zu sein. In einem Experiment von Clark (1996) lagen die Gründe für die rasche Abnahme der Samenbank und des Auflaufs ebenfalls in der hohen Mortalität der Sämlinge aufgrund abiotischer Faktoren. Doch laut Clark bildete diese Art eine persistente Samenbank aus. Der „Longevity-Index“ von 0,68 stellt *D. carota* in der Persistenzeigenschaft in den Übergangsbereich von long-term zu short-term-persistent (vgl. Thompson *et al.* 1997)). Kästner *et al.* (2001) geben sogar eine Lebensdauer von 15 – 35 Jahren für die Samen von *D. carota* an.

#### 4.6.2 Methodische Problematik

Arten, die im Feldbestand häufig nur geringe Individuendichten aufweisen und wenige, aber große Samen bilden, können bei Samenanalysen mit begrenztem Stichprobenumfang oft unterschätzt werden (Lambelet-Haeuter 1986; Barralis & Chadoeuf 1987). Im betrachteten Parzellenversuch wurden jedoch einheitlich große Samenmengen ausgesät, so dass von daher eine Unterbewertung der Diasporenbanken ausgeschlossen werden kann. Außerdem kann die häufig geklumpfte Verteilung der Samenkörner einiger Wildpflanzenarten zu einer Fehlbewertung ihres Anteils führen (Bauermeister 1985). Daraus kann eine gewisse Unsicherheit in der Methodik und der statistischen Verwertbarkeit der Daten entstehen (Hagemeister & Heitefuss 1986). Die Beprobungen der Rapssamenbanken der ehemaligen Freisetzungsfelder zeigten nahezu keine unerwarteten Entwicklungen in der Samenzahl zwischen den Einzeljahren. Innerhalb der 30 Einzelproben enthielten zwar einzelne Proben sehr viele Samen, die Samenmengen je Probefläche waren aber in den drei Jahren ziemlich einheitlich. Lediglich das Ergebnis der 3. Beprobung in der Fläche 8 von Bütthard entsprach einer stark unregelmäßigen Verteilung von Samen in der Samenbank.

Nach Goyeau & Fablet (1982) steigt mit zunehmendem Samengehalt auch die Aussagekraft statistischer Maßzahlen. Prinzipiell erhöht nach Meinung vieler Autoren eine Anhebung des Stichprobenumfangs die Genauigkeit der Erhebungen. Andererseits berichtet Jones (1998), dass 10 Proben ausreichend sein können, um die Samenbank einer einheitlichen Fläche zu beurteilen. Die Feststellung von Jones paßt gut zu den plausiblen Ergebnissen, die aus den 30 Proben je Freisetzungsfeld gewonnen wurden. Versuchstechnische Gründe und ein hoher Arbeitsaufwand lassen ohnehin nur einen begrenzten Probenumfang zu (Bauermeister 1983; Albrecht 1989; Gross & Renner 1989).

Genau betrachtet ist die hier angewandte Methode eine Kombination von Auswaschung und Kultivierungsverfahren. Dabei wurden die Nachteile des Kultivierungsverfahrens minimiert, da die Samen in einer maximal 1,5 cm mächtigen Schicht des Auswaschungsrückstandes in Petrischalen ausgelegt worden waren. Aus diesen geringen Tiefen können auch die kleinsamigen Arten schnell keimen und erfolgreich auflaufen. Gleichzeitig wird durch die Auswaschung und die in Klimaschränken optimal einstellbare Temperaturführung eine mögliche Dormanz gebrochen und die Stratifikation gerafft.

Beim Auswaschungsverfahren bereitet nach Roberts & Ricketts (1979) die Erfassung kleinsamiger Arten besondere Schwierigkeiten (Benz *et al.* 1984). Zur Validierung der Auswaschungsergebnisse wurden im betrachteten Versuch die problematischen Arten in Stichproben im Keimverfahren untersucht. Kropac (1966) beschreibt die Kultivierungsmethode zur Bestimmung des Wildkrautsamenvorrats. Die Nachteile der

Kultivierungsmethode liegen in der langen Zeitspanne zwischen Probenahme und Ergebnis und die tendenzielle Unterbewertung des Samengehaltes wegen der Dormanz (Roberts 1981). Ein Methodenvergleich von Kultivierungsmethode und Auswaschung in der Untersuchung einer Waldsamenbank von Brown (1992) ergab eine Dichte von 12500 Samen  $m^{-2}$  im Auswaschungsversuch und nur 3800 Keimlinge  $m^{-2}$  liefen im Kultivierungsverfahren auf. Dabei wurden im Extraktionsverfahren 102 Arten gefunden und 60 Arten im Auflaufverfahren und lieferten damit keine vergleichbaren Schätzungen der Samenbankzusammensetzung. Auch Gross (1990) bestätigte die höhere Samendichteschätzung durch die Extraktionsmethode gegenüber der Kultivierungsmethode. Der Vergleich dieser beiden Methoden durch Ball & Miller (1989) ergab, dass beide Techniken geeignet sind, um die Veränderungen in der Samenbank durch verschiedene Bearbeitungsmethoden abzubilden. Beide Methoden wiesen auch effektiv die einzelnen Arten der Samenbank nach und lieferten vergleichbare Dichten der jeweiligen Arten in der Samenbank. Umgekehrt berichtet Barberi *et al.* (1998), dass die Extraktionsmethode deutlich weniger Arten nachweist als die Kultivierungsmethode. Forcella (1992) kommt zu dem Ergebnis, dass die Werte aus dem Kultivierungsverfahren besser mit den Auflaufdichten im Feld korrelieren, als die der Auswaschmethode. Für die Extraktionstechnik sind laut Forcella (1992) mindestens 100 g Boden nötig. Der vorliegende Versuch, wo jeweils mindestens 630 g Erde (Trockengewicht) entnommen wurden, genügt dieser Anforderung. Die Frühjahrsbeprobung ist verlässlicher als eine Herbstbeprobung, da viele scheinbar lebensfähige Samen während des Winters absterben (Forcella 1992). Daher wurden in vorliegender Arbeit die Samenbankproben auf den ehemaligen Freisetzungsf lächen im Frühjahr und in den Parzellenversuchen zum Frühjahr und Herbst entnommen.

Zur Verbesserung der Bodenbeprobung in einem Versuch verglich Bauermeister (1983) bei einer Beprobungstiefe bis 25 cm unterschiedliche Entnahmeg eräte und bewertete anhand der Ergebnisse einen Bodenstecher mit 5 cm Durchmesser am besten. In einem Vergleich unterschiedlicher Bohrstockdurchmesser (1,9; 2,7; 3,3 cm) zur Entnahme von Samenbankproben fanden Benoit *et al.* (1989) keine signifikanten Unterschiede in der Zahl der ermittelten Samen. Die Auflaufraten variierten in Abhängigkeit von Art, Jahr und Bearbeitungsmethode.

Im betrachteten Versuch wurde der Wirkungsgrad der Probenentnahme und Auswaschung der Samen gleichzeitig anhand der wieder gefundenen Glaskugeln beurteilt. Die Zahl der wieder gefundenen Glaskugeln war in der Pflugvariante geringer als die Anzahl der ausgebrachten Kugeln und schwankte zwischen den Probenahmen. Auch in der Grubbervariante variierte die Wiederfundrate an den einzelnen Beprobungszeitpunkten, doch im Mittel konnten hier mit 99,7 % nahezu alle ausgebrachten Kugeln wieder gefunden werden. Lutman *et al.* (2002) berichtete dagegen von einer unvollständigen, aber ebenfalls variierenden Wiederfindung der

---

inerten Plastikkugeln, bei der Bodenprobenahme und einer allmählichen absoluten Abnahme. Nicht absolut reproduzierbare Bedingungen bei der Probenahme und Extraktion sowie die variable Samenverteilung im Boden, führen tendenziell zu etwas uneinheitlichen Ergebnissen (Lutman *et al.* 2002). Eine ungeeignete Probenahmetechnik und ineffiziente Auswaschtechnik können jedoch im beschriebenen Versuch ausgeschlossen werden.

#### 4.7 Auflauftiefentest: Predation und fatale Keimung

Jede Art hat eine charakteristische Reaktion im Auflauf in Bezug auf die Vergrabungstiefe, so dass die Kenntnis über die vertikale Verteilung der Samen im Boden Voraussetzung für die Prognose eines erfolgreichen Samenaufbaus ist (Mead *et al.* 1998).

Die vorliegende Untersuchung zum Auflaufverhalten verschiedener Rapsorten aus unterschiedlichen Bodentiefen lässt den Rückschluss auf den Verbleib eines Teils der Samen zu, die weder im Auflauf noch in der Samenbank in Erscheinung traten. So konnten bereits angekeimte Rapsamen aus Bodentiefen von mehr als 8 cm nicht mehr erfolgreich auflaufen.

Die meisten Samen sind zumindest durch etwas Boden bedeckt. Daher müssen die Sämlinge nach der Keimung ein Streckungswachstum vollziehen, um die Bodenoberfläche zu erreichen. Das Nährgewebe des Samens ist die einzige Energiequelle für diesen Prozeß. Wenn der Energievorrat für die Koleoptil- und Hypokotylstreckung nicht ausreicht, tritt ein Voraufabsterben (fatale Keimung) ein (Forcella *et al.* 2000). Große Samen an der Bodenoberfläche unterliegen einem größeren Risiko auszutrocknen als kleine oder vergrabene Samen (Buhler 1995).

Die Mortalität der Samen und Keimlinge im Boden ist eine wesentliche Ursache für die Samenverluste. Diese Sterblichkeit könnte die Folge von (fataler) Keimung und mikrobiellem Befall sein (Barralis *et al.* 1988). In einem Versuch von Andersson (1998) nahmen auf der Bodenoberfläche ausgebrachte Samen von *T. perforatum* innerhalb von 3 Wochen um 51 % und die von *T. arvense* um 55 – 66 % durch Predation ab. Im hier beschriebenen Versuch kann eine Prädation der Samen und Keimlinge jedoch ausgeschlossen werden, da der im Experiment verwendete Boden vor Versuchbeginn durch Dämpfen sterilisiert wurde. So lässt sich die höchste Auflauftrate bei der Ablageftiefe von 0 cm erklären. Die Einarbeitung von zunächst oberflächennah ausgesäten Samen in den Boden, zeigt bei einer schichtweisen Analyse eine gut sichtbare Wirkung auf die Samen (Staricka *et al.* 1990). Die Keimlinge der in größere Tiefen verlagerten Samen sterben auf ihrem Weg zur Bodenoberfläche ab, und wie im vorliegenden Versuch hinterlassen die abgestorbenen Keimlinge ihre Keimkanäle und zeigen so das Ausmaß des

Streckungswachstums noch an. Die Vergrabung in der Tiefe verringert die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Etablierung im folgenden Jahr und stellt somit ein effizientes Verfahren zur Reduktion des Feldaufganges dar. Die optimale Vergrabungstiefe der Samen ist für die meisten Zweikeimblättrigen geringer als 6 cm (Barralis *et al.* 1988). Die Abnahme an auflaufenden Rapskeimlingen verlief mit zunehmender Vergrabungstiefe des vorliegenden Auflauftests schneller, als in der Untersuchung von Colbach *et al.* (2001). Übereinstimmend konnte jedoch kein Auflauf aus Tiefen größer 8 cm registriert werden. Studien von Lutman (1993) wiesen darauf hin, dass Auflaufraten stark von der Sorte abhängen. Schlink (1995) und Kohout & Soukup (1996) zeigten in Vergrabungsexperimenten mit Rapssamen, dass die Keimung der Samen mit zunehmender Ablagetiefe abnahm. Als kritische Tiefe für den erfolgreichen Auflauf wurden Ablagetiefen von 6 cm ermittelt, unterhalb der nur noch vereinzelt Keimlinge aufliefen. Angaben von Garrett & Orson (1989) besagen, dass bis zu einer Tiefe von 7,5 cm 70 % der Rapssamen auflaufen. Aus 9 cm liefen dort 2 der drei getesteten Sorten nicht mehr auf, bei der Sorte Cobra trat dies jedoch erst in 13 cm Tiefe ein. Hier zeigen sich Sortenunterschiede, die aber nicht mit einer potenziell höheren Triebkraft großsamiger Sorten verbunden zu sein scheinen. Bei Weglassung der konventionellen Sorte Falcon, die aus unklaren Gründen einen extrem geringen Aufgang in Ablagetiefen größer 0 cm hatte, ergaben sich im Auflaufvermögen keine statistisch signifikanten Unterschiede mehr zwischen konventionellen und transgenen Sorten.

Auch für Wildpflanzen fanden Grundy *et al.* (2003a), in einem Versuch mit 6 Arten von Ackerwildpflanzen, mit zunehmender Vergrabungstiefe der Samen einen Anstieg in der Nach-Keimungs-Mortalität für alle Arten, wobei *T. perforatum* aus Tiefen bis zu 1 cm und *Veronica hederifolia* bis 8 cm erfolgreich aufliefen. So stammten auch bei *Alopecurus myosuroides* mehr als 90% der Pflanzen von Samen, die weniger als 3 cm tief vergraben sind.

---

## 5 Synthese

Die in der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Ergebnisse können zur Entwicklung von Strategien beitragen, um die Diasporenbank zu minimieren und den Genfluß zu vermeiden. Aus den Daten geht hervor, dass größere Mengen von Rapssamen, infolge von Ausfall- und Ernteverlusten, mindestens 4 Jahre im Boden überdauern können. Besonders bedeutsam ist, dass selbst bei einer Bodenbearbeitung, die den Sameneintrag in die Samenbank minimiert, unter schlechten Witterungsbedingungen zur Zeit der Rapsernte, umfangreiche und persistente Samenbanken entstehen können. Unter solchen Voraussetzungen bieten selbst Rapssorten deren Samen nur wenig zur Dormanz neigen nachweislich keine Garantie für einen vollkommenen Auflauf und Abbau der Samenbank binnen einer Vegetationsperiode.

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass Zeitpunkt und Art der Bodenbearbeitung entscheidend für einen möglichen Genfluß sind, da die Auflauftrate und die Zahl der persistierenden Rapssamen durch die Bearbeitungsschritte nach der Ernte maßgeblich beeinflusst werden. Zwischen den Auflaufraten und Samenbanken der getesteten transgenen Sorten und ihrer konventionellen (isogenen) Ausgangslinien ergaben sich in den Parzellenversuchen keine Unterschiede in der Wirkung der jeweils gleichen Bodenbearbeitung. Die beiden nicht wendenden Bodenbearbeitungen mit Striegel und Grubber förderten am stärksten den Auflauf der Samen und minimieren so am zuverlässigsten die Entstehung einer Samenbank, insbesondere im Blick auf persistente Sorten. Selbst bei der Umsetzung der Optimalbedingungen in der Anbaupraxis, könnten in manchen Jahren Samenbanken aus transgenem Raps entstehen. Allerdings ist es fraglich, ob in der landwirtschaftlichen Praxis immer die optimale Bodenbearbeitung nach der Rapsernte einhaltbar ist. Nicht selten wird die Fruchtfolge, die heute immer mehr von ökonomischen Zwängen dominiert wird, eine Minimalbodenbearbeitung, mit dem notwendigen zeitlichen Abstand zur Ernte, nicht anwendbar erscheinen lassen. In gut organisierten und auf eine nachhaltige sowie konservierende Bodenbearbeitung ausgerichteten Betrieben sind die, mit einer zeitlichen Verzögerung nach der Ernte, zu empfehlenden Bodenbearbeitungsmaßnahmen mit Striegel und Grubber generell anwendbar. Andererseits konnte in den Parzellenversuchen durch die Pflugbearbeitung sowohl der Auflauf, als auch die Samenbank in kurzer Zeit auf nahe Null reduziert werden, da bei gering dormanten Sorten eine große Ablagetiefe der keimbereiten Samen zu einer fatalen Keimung führt.

Allein durch den vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Grenzwert von maximal zulässigen 0,9 % transgenem Anteil im Erntegut und veredelten Produkten der

Lebensmittel- und Futterbranche, werden in der Landwirtschaft Optimierungen im Anbau von transgenen Kulturen erforderlich sein. Bei durchschnittlichen Witterungsbedingungen dürfte der Grenzwert von 0,9 % an transgenem Anteil im Erntegut und nachfolgend verarbeiteten Ernteprodukten leicht unterschreitbar sein. In Jahren nach schlechten abiotischen Bedingungen zur Reife- und Erntezeit von Raps könnte dieser Grenzwert weit überschritten werden. Generell wird der Grenzwert für einen ökonomischen und ökologischen Schaden bei transgenen Rapskulturen niedriger liegen als in konventionellen Rapsbeständen. Daraus dürfte sich auch die Entscheidung für oder wider einer Durchwuchskontrolle ableiten. Insbesondere die Kontrolle der Anbauflächen nach der Ernte von transgenem Raps wird einen ökonomischen Mehraufwand bedeuten. Durchwuchsraps kann in einer späteren Rapskultur nicht erkannt oder kontrolliert werden und sich daher voll entwickeln, so dass es zu einer unerwünschten Kontaminierung bei der gemeinsamen Ernte von Durchwuchs und Kultur kommen kann.

Es werden möglicherweise längere Zeitabstände bis zum Wiederaanbau von Raps eingehalten werden müssen, bis die Samenbank der vorherigen transgenen Rapsorte nicht mehr nachweisbar ist. Den vollständigen Abbau der Samenbank schreibt das Robert-Koch-Institut für Freisetzungsvorhaben mit transgenem Raps vor. Die eigene Untersuchung im Parzellenversuch hat gezeigt, dass auch Sorten mit rasch abnehmender Samenbank einen kleinen, persistenten Populationsanteil in der Samenbank noch über längere Zeit aufweisen können.

Zwischen Feldern die mit potenziell kreuzungskompatiblen Arten bebaut sind, müssen die Abstände entsprechend der gesetzlichen Auflagen eingehalten werden. Dies kann zu Problemen im Schlagmanagement führen in vorwiegend kleinparzellig strukturierten Anbaugebieten, so dass eine Coexistenz transgener Kulturen und konventioneller bzw. ökologisch bewirtschafteter Kulturen erschwert wird. Neben den Abstandsaufgaben aufgrund der Pollenflugdistanzen, muß auch der Transport und die Verlagerung von Samen durch die Bodenbearbeitung Berücksichtigung finden, denn wie die Untersuchungen auf den ehemaligen Freisetzungsfeldern gezeigt haben, können durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen die Samen von der Mantelsaatfläche in die Kernfläche transportiert werden und umgekehrt. Zwischenfruchtanbau oder Gründüngung mit potenziell kreuzungskompatiblen Arten wie *Sinapis alba* oder *B. rapa* wird in Fruchtfolgen mit transgenem Rapsanteil nahezu unmöglich, da sowohl aus der Zwischenfrucht, als auch aus dem Rapsbestand Samen in die Diasporenbank gelangen können. Durch einen parallelen Durchwuchs, über mehrere Jahre hinweg, könnte es zu einer potenziellen Auskreuzung der Herbizidresistenz in Nicht-Zielorganismen kommen. Ungeachtet des Zwischenfruchtanbaus besteht ohnehin ein latentes Potenzial an Diasporen von potenziell kreuzungskompatiblen Arten, wie *R. raphanistrum*, *S. arvensis* und *B. rapa* im Boden der

Rapsanbauflächen. Alle drei Arten bildeten im Parzellenversuch kleine Populationen persistenter Diasporen aus, die mindestens 25 Monate überdauerten.

In Anbausystemen mit regelmäßiger Bodenbearbeitung können die hier ermittelten Persistenzwerte einiger dominanter Ackerwildpflanzen zur Entwicklung weniger intensiver Kontrollmaßnahmen der Wildpflanzen beitragen.

Eine Beschränkung auf möglicherweise nur wenige Rapssorten, welche die Anforderung an eine potenziell geringe Dormanz erfüllen, könnte mittelfristig zu einer Verarmung in der Sortenvielfalt führen. Diese Beschränkung wäre aber eine wesentliche Voraussetzung, unter der sich eine Perspektive für die Coexistenz von gentechnisch veränderten und konventionellen Kulturen in konventionellen und organischen Anbausystemen ableiten ließe. Langfristig bestünde eventuell die Gefahr eines abnehmenden Genpools, aus dem nur noch eingeschränkt Rückkreuzungen zur Auffrischung des Sortenspektrums durchgeführt werden könnten.

Ein zukünftiger Anbau von transgenem Raps muß im Sinne eines anbaubegleitenden Monitorings, durch repräsentative und standardisierte Stichprobenahmen der Diasporenbank flankiert werden, um möglichst frühzeitig eine bedenkliche Akkumulation transgener Rapssamen in der Diasporenbank der Anbauflächen zu erkennen.

## 6 Zusammenfassung

Unter der Vorgabe der EU-Verordnung (1829/2003), die die EU-Staaten zu einer gesetzlichen Regelung des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen verpflichtete, gilt die Einführung von gentechnisch veränderten herbizidtoleranten Rapsorten in die Landwirtschaft als sicher. Gesellschaftsübergreifend relevant ist die Klärung, ob im Ackerbau ein Nebeneinander von konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung einerseits und der Einsatz von Gentechnik andererseits möglich ist. Vor diesem Hintergrund können potenzielle Probleme durch eine räumliche und zeitliche Ausbreitung von Transgenen aus gentechnisch veränderten Pflanzen entstehen. Die räumliche Ausbreitung kann über Pollenausbreitung und durch Hybridbildungen zwischen Kulturarten und verwandten Wildarten entstehen, wodurch Gene in das Genom von Wildpflanzen des Agrarökosystems gelangen können. Eine zeitliche Ausbreitung kann durch dormante Samen, die in der Diasporenbank überdauern, erfolgen.

*B. napus* besitzt noch viele Eigenschaften von Wildpflanzen, wobei die Fähigkeit zur Ausbildung einer sekundären Dormanz und die Schotenbrüchigkeit pflanzenbaulich die Hauptprobleme darstellen. Die potenziell hohen Samenverluste während der Reife- und Erntezeit sowie eine schnelle Einarbeitung der Samen in den Boden, aufgrund von betriebsökonomischen Zwängen in der Fruchtfolge, führen in den Folgekulturen verbreitet zu Rapsdurchwuchs.

Es war Ziel der Untersuchungen die Entwicklung der Samenbanken von transgenen und konventionellen Rapsorten im Vergleich darzustellen. Bei der Betrachtung dieses Vorganges lag der Focus auf dem Rückgang der Samenbank durch Keimung und Abbau der Samen über die Zeit im Boden. Ein direkter Vergleich von transgenen und konventionellen Sorten, im Verbund mit Wildpflanzen unter unterschiedlichen Bodenbearbeitungsmethoden, die so auch in der landwirtschaftlichen Praxis Anwendung finden, wurde bislang in dieser Form noch nicht durchgeführt.

Zur Analyse der Persistenz von Rapsamen wurden in der vorliegenden Arbeit zwei verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Beide Untersuchungen fanden unter praxisnahen Bedingungen statt. Zum einen wurden Samenbankuntersuchungen auf ehemaligen Freisetzungsfeldern ausgeführt, wo die Ernte von gentechnisch verändertem, herbizidtolerantem Raps zwischen 2 und 6 Jahren zurücklag. Parallel dazu wurde ein Persistenzversuch auf Kleinparzellen mit 2 bzw. 3 konventionellen und den beiden entsprechenden isogenen transgenen Rapslinien durchgeführt. Dabei wurde ein realistischer Samenausfall bei der Ernte simuliert. Neben den Rapsorten wurden 13 potenziell kreuzungskompatible Wildarten und andere ertragsrelevante Arten ausgesät.

Die Untersuchungen der Samenbank auf den ehemaligen Freisetzungsf lächen ergaben, dass auf Fl ächen, wo die Freisetzung 6 – 7 Jahre zurü ck lag keine transgenen Rapssamen mehr im Boden nachweisbar waren. Dagegen waren an Standorten, an denen zur Reife- und Erntezeit ungünstige Witterungseinflüsse vorherrschten, große Samenbanken entstanden, die über den 3-jährigen Untersuchungszeitraum hinweg zwar abnahmen, aber immer noch erhebliche Dichten erreichten. So waren 4 Jahre nach der Ernte an 2 Standorten noch bis über 700 keimfähige transgene Samen m<sup>-2</sup> vorhanden, obwohl nach der Ernte des transgenen Raps zunächst keine Bodenbearbeitung erfolgte und auch im weiteren Verlauf, durch die Wahl der Bearbeitungsgeräte, die Zufuhr von Samen in die Samenbank minimiert wurde. Außerdem handelte es sich um nur wenig zur Dormanz neigenden Sorten, wie Laborversuche belegten, die aber unter ackerbaulichen Bedingungen und unter dem Einfluss verschiedener Umweltfaktoren offenbar länger zu überdauern vermochten.

Unterschiedliche Bodenbearbeitungsvarianten hatten, im auf der Versuchsstation Roggenstein angelegten Persistenzversuch, erheblichen Einfluss auf die Auflaufraten von Raps. Sowohl die transgenen, als auch die konventionellen Rapssorten hatten bei Minimalbodenbearbeitung mit dem Striegel eine Samenaufaufrate von mindestens 55 % nach der ersten Anwendung. Die Bearbeitung mit dem Grubber führte zu einer mittleren Auflaufrate von wenigstens 35 %, und die Pflugbearbeitung verhinderte mit weniger als 2 % Auflaufrate nahezu vollständig die Etablierung im Bestand. In den Auflaufraten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten und zwischen transgen–konventionell. Bereits nach 6 Monaten konnten fast keine lebensfähigen Samen mehr in der Samenbank registriert werden, und zu Beginn der zweiten Vegetationsperiode liefen nur mehr ganz wenige Keimlinge aus der Samenbank auf. Durch die angewandten Bearbeitungsmethoden konnten sowohl die Samenbanken der gering persistenten Sorte Falcon/Modul<sup>LL</sup>, als auch die der persistenteren Sorte Liberator/Lilly<sup>LL</sup> effizient minimiert werden. Weniger als 1 % der initialen Samenbank konnte im 3. Versuchsjahr noch nachgewiesen werden.

Die Ackerwildpflanzenarten konnten nach dem Umfang ihrer Auflaufraten und der Abnahmerate in ihrer Diasporenbank in Gruppen eingeteilt werden. Für den Gesamtauf lauf (kumulativ) konnten 4 Gruppen definiert werden. Diese Gruppierungen geben Auskunft über die Keimfähigkeit der Arten im Bestand unter ackerbaulichen Bedingungen. In Gruppe 1 mit < 10 % Auf lauf befinden sich *Arabidopsis thaliana*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*, *Tripleurospermum perforatum* und *Thlaspi arvense*, bei denen es sich um extreme Flachkeimer oder stark dormante Samenpopulationen handelte. Gruppe 2 beinhaltet mit 11 - 25 % Auf lauf *Sinapis arvensis* und *Daucus carota*, also Arten mit eher unspezifischer Reaktion auf Bodenstörungen. Die 3. Gruppe enthält mit 26 - 40 % Auf lauf *Brassica rapa*, *Spergula arvensis*, *Avena fatua*, *Echinochloa crus-galli* und *Solanum nigrum*.

Das sind Arten, die relativ große Diasporen haben, oder zumindest im Fall von *Spergula arvensis* offensichtlich kaum dormant waren. Auf den konkurrenzstarken *Raphanus raphanistrum* wirkte die Bodenbearbeitung stark dormanzbrechend, infolgedessen die Auflaufrate > 40 % erreichte und so eine 4. Gruppe bildete.

Für die Abnahme der Diasporenbank zeichneten sich 2 Persistenzgruppen ab. In die erste Gruppe konnten *A. thaliana*, *A. fatua*, *Sp. arvensis*, *S. arvensis*, *B. rapa*, *D. carota*, *R. raphanistrum*, *S. media*, *T. perforatum*, *E. crus-galli* und *C. bursa-pastoris* eingeordnet werden. Ihre Diasporenbank ging in den ersten 13 Monaten im Durchschnitt um 97 % zurück. In der 2. Gruppe reduzierte sich der Diasporenvorrat im Mittel um nur 84 %. In diese Gruppe gehören *S. nigrum*, *T. arvense*, *T. perforatum* und *S. media*. Nach 25 Monaten verblieben nur noch *S. nigrum*, und *T. arvense* in der Gruppe 2 mit einem durchschnittlichen Rückgang von 85 %. Auch in Gruppe 1, in die nach 25 Monaten zusätzlich *T. perforatum* und *S. media* Eingang fanden, blieb die Abnahme der Diasporenbank mit im Mittel 98 % fast unverändert.

In den Bearbeitungsvarianten Striegel und Grubber konnten über alle Arten gemittelt deutlich mehr Samen in der Bodentiefe 0 – 10 cm gefunden werden, während die Pflugbearbeitung die Diasporen relativ homogen über beide Tiefen verteilt hatte.

Die Rapsorten, die einem Auflauftest aus verschiedenen Lagerungstiefen unterzogen wurden, erreichten bei Ablage an der Bodenoberfläche durchschnittlich 90 % Auflauf. Aus Ablagetiefen > 8 cm liefen keine Keimlinge mehr auf. Geprüft wurden die Variable Sorte, transgen/konventionell und TKG in ihrem Einfluss auf die Auflaufrate, in Abhängigkeit von der Lagerungstiefe. Diese Parameter hatten vor allem in den Ablagetiefen von 2, 4 und 6 cm signifikanten Einfluss auf die gemessenen Auflaufraten der Sorten.

Bei den Wildpflanzensamen lässt sich sagen, dass Bodenbearbeitungsmaßnahmen, die den Auflauf von Raps förderten auch die Keimung der Wildpflanzensamen begünstigten, obwohl bei vielen Arten dieser Effekt quantitativ gering ausfiel. Unter dem Bearbeitungseinfluss von Pflug, Grubber und Striegel verlief der Rückgang in den Diasporenbanken der meisten Wildarten sehr schnell.

In der Landwirtschaft sollten ausschließlich schwach dormante Rapsorten zum Anbau gelangen, die außerdem in Zukunft durch züchterische Maßnahmen eine steigende Schotenfestigkeit erwarten lassen. Unter diesen Voraussetzungen wird in Jahren mit günstigen Erntebedingungen und einer nachfolgend adäquaten Stoppelbearbeitung, nur eine kleine Samenbank zu erwarten sein. Diese wird mit großer Wahrscheinlichkeit bereits nach wenigen Monaten auf eine äußerst geringe Größe abnehmen. Unter ungünstigen Witterungsbedingungen und hohen Samenverlusten werden jedoch auch schwach dormante Rapsorten, über mehrere Jahre hinweg, starken Durchwuchs in Folgekulturen aus ihren Samenbanken generieren können und dadurch zum Problem für die Coexistenz von konventioneller

---

Landwirtschaft und einer Bewirtschaftungsform, die gentechnisch veränderte Kulturen anbaut.

## 7 Literaturverzeichnis

- Adler, L., Wikler, K., Wyndham, F., Linder, G., Schmitt, J. (1993): Potential for persistence of genes escaped from canola: germination cues in crop, wild and crop-wild hybrid (*Brassica rapa*). *Functional Ecology* **7**, 736-745.
- Aikman, D., Benjamin, L., Bond, W., Mead, A. (1995): "Use of a simple mechanistic model to simulate weed and crop growth", *In*. Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference. 901-906., Farnham, UK.,
- Albrecht, H. (1989): Untersuchungen zur Veränderung der Segetalflora an sieben bayerischen Ackerstandorten zwischen den Erhebungszeiträumen 1951/68 und 1986/88. Dissertationes Botanicae 141, Technische Universität München, Cramer/Borntraeger, Stuttgart.
- Albrecht, H. (1995): Modelluntersuchungen und Literaturlauswertung zum Diasporenvorrat gefährdeter Wildkräuter in Ackerböden. *Schriftenreihe der Stiftung gefährdeter Pflanzen* **5**, 123-140.
- Albrecht, H. (2003): Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2072**, 1-11.
- Albrecht, H., Forster, E.-M. (1996): The weed seed bank of soils in a landscape segment in southern Bavaria - I Seed content, species composition and spatial variability. *Vegetatio* **125**, 1-10.
- Albrecht, H., Pilgram, M. (1997): The weed seed bank of soils in a landscape segment in southern Bavaria. *Plant Ecology* **131**, 31-43.
- Albrecht, H., Sommer, H. (1998): Development of the arable weed seed bank after the change from conventional to integrated and organic farming. *Aspects of Applied Biology* **51**, 279-288.
- Altieri, M.A. (1991): How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook on Agriculture* **20**, 15.24.
- Amann, A. (1991): Einfluss von Saattermin und Grundbodenbearbeitung auf die Verunkrautung in verschiedenen Kulturen. Dissertation, Universität Hohenheim, Hohenheim.
- Anderson, J., Baker, J. (1983): Deterioration of seeds during aging. *Phytopathology* **73**, 321-325.
- Andersson, L. (1998): Post-dispersal seed removal in some agricultural weeds. *Aspects of Applied Biology* **51**, 159-164.
- Andersson, L., Yaha, A. (2003): Primary dormancy in *Solanum nigrum* and *S. physalifolium*. *Aspects of Applied Biology* **69**, 229-236.
- Andreasen, C., Streibig, J.C., Haas, H. (1991): Soil properties affecting the distribution of 37 weed species in Danish soil. *Weed Research* **31**, 181-187.

- 
- Anonymus (1985): L 7934 München. Bayerisches Landesvermessungsamt München, München.
- Ball, D.A., Miller, S.D. (1989): A comparison of techniques for estimation of arable soil seedbanks and their relationship to weed flora. *Weed Research* **29**.
- Barberi, P., Cascio, L.O. (2001): Long-term tillage and crop rotation effects on weed seedbank size and composition. *Weed Research* **41**, 325-340.
- Barberi, P., Macchia, M., Bonari, E. (1998): "Comparison between the seed extraction and seedling emergence methods for weed seedbank evaluation", Champion, G. T., A. C. Grundy, N. E. Jones, E. J. P. Marshall and R. J. Froud-Williams, *In. Aspects of Applied Biology. Weed seedbanks: determination, dynamics and manipulation*, St. Catherine's College, Oxford, 51, 9-14.
- Barralis, G., Chadoeuf, R. (1987): Potentiel semencier des terres arables. *Weed Research* **27**, 417-424.
- Barralis, G., Chadoeuf, R., Lonchamp, J. (1988): Longevité des semences de mauvaises herbes annuelles dans un sol cultivé. *Weed Research* **28**, 407-418.
- Baskin, C.C., Baskin, Jerry M. (1998): "Seeds ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination", Academic Press, San Diego. 666.
- Baskin, J.M., Baskin, C.C. (1986): Temperature requirements for after-ripening in seeds of nine winter annuals. *Weed Research* **26**, 375-380.
- Battla, D., Kruk, B., Benech-Arnold, R. (2000): Very early detection of canopy presence by seeds through perception of subtle modifications in red: far red signals. *Functional Ecology* **14**, 195-202.
- Bauermeister, W. (1983): Modelluntersuchungen zur Erfassung des Unkrautsamenvorrates im Ackerboden und zur Verlagerung der Samen durch Bodenbearbeitung. *Wissenschaftliche Zeitschrift Pädagogische Hochschule Potsdam* **27**, 147-156.
- Bauermeister, W. (1985): Zur Populationsdichte und -verteilung im Samenvorrat und in der Unkrautflora und zur Samenproduktion des Efeu-Ehrenpreises (*Veronica hederifolia* L.). *Wissenschaftl. Zeitschrift Pädagogische Hochschule Potsdam* **29**, 23-34.
- Beismann, H., Roller, A., Zeitler, R. (2003): Assessing the number of transgenic oilseed rape seeds in the soil seedbank of former release sites. *Aspects of Applied Biology* **69**, 209-216.
- Beismann, H., Roller, A., Zeitler, R. (2004): Assessing the number of transgenic oilseed rape seeds in the soil with quantitative PCR. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 879-886.
- Bekker, R., Bakker, J., Ozinga, W., Thompson, K. (2003): Seed traits: essential for understanding seed longevity. *Aspects of Applied Biology* **69**, 1-10.

- Benech-Arnold, R.L., Ghera, C., Sánchez, R., Insausti, P. (1990): Temperature effects on dormancy release and germination rate in *Sorghum halepense* (L.) Persistent seeds: a quantitative analysis. *Weed Research* **30**, 81-89.
- Benech-Arnold, R.L., Sánchez, R., Forcella, F., Kruk, B., Ghera, C. (2000): Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research* **67**, 105-122.
- Benoit, D.L., Kenkel, N.C., Cavers, P.B. (1989): Factors influencing the precision of soil seed bank estimates. *Canadian Journal of Botany* **67**, 2833-2840.
- Benvenuti, S., Macchia, M., Miele, S. (2001): Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. *Weed Science* **49**, 528-535.
- Benz, W., Koch, W., Moosmann, A. (1984): Ein Extraktionsverfahren zur Bestimmung des Unkrautsamenpotentials in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 109-114.
- Bergelson, J., Perry, R. (1989): Interspecific competition between seeds: relative planting date and density affect seedling emergence. *Ecology* **70**, 1639-1644.
- Beuret, E. (1984): "Expression et évolution du stock granier des sols; influence de l'assolement et de l'époque des travaux su sol", In. VIIème Colloque International sur l'Ecologie, la Biologie et la Systématique des Mauvaises Herbes, Paris, 81-90.
- Bing, D.J., Downey, R., Rakow, G. (1996): Assessment of transgene escape from *Brassica rapa* (*B. campestris*) into *Brassica nigra* or *Sinapis arvensis*. *Plant Breeding* **115**, 1-4.
- Bliss, D., Smith, H. (1985): Penetration of light into soil and its role in the control of seed germination. *Plant-Cell-and-Environment* **8**, 475-484.
- Bouwmeester, H., Karssen, C. (1992): The dual role of temperature in the regulation of the seasonal changes in dormancy and germination of seeds of *Polygonum persicaria* L. *Oecologia* **90**, 88-94.
- Bowerman, P. (1984): A comparison of harvesting methods of oilseed rape. *Aspects of Applied Biology* **6**, 157-165.
- Bowerman, P. (1993): Effects of cultivations upon volunteer oilseed rape. *Aspects of Applied Biology* **35**, 163-166.
- Bradford, K.J. (1995): "Water relations in seed germination", In "Seed development and germination" (Kigel, J. G., G., ed.), pp. 351-396. Marcel Dekker Inc., New York.
- Brown, D. (1992): Estimating the composition of a forest seed bank: a comparison of the seed extraction and seedling emergence methods. *Canadian Journal of Botany* **70**, 1603-1612.
- Bruce, J. (1997): Thoughts on seed germination: historical use of KNO<sub>3</sub>. *Seed Forum* **11**, 1-2.

- 
- Bühl, A., Zöfel, P. (2000): "SPSS - Einführung in die Moderne Datenanalyse unter Windows", Addison-Wesley. 572.
- Buhler, D.D. (1995): Influence of tillage systems on weed populations dynamics and management in corn and soybeans in the central USA. *Crop Science* **35**, 1247-1258.
- Bundessortenamt (2000): "Beschreibende Sortenliste 2000. Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen und Hackfrüchte", Landbuch Verlag, Hannover.
- Cardina, H., Norquay, H., Stinner, B., McCartney, D. (1996): Postdispersal predation of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seeds. *Weed Science* **44**, 534-539.
- Cardina, J., Webster, T.M., Herms, C.P. (1998): Long-term tillage and rotation effects on soil seedbank characteristics. *Aspects of Applied Biology* **51**, 213-220.
- Casal, J., Sánchez, R.A. (1998): Phytochromes and seed germination. *Seed Science Research* **8**, 317-329.
- Chadoeuf, R., Darmency, H., Maillet, J., Renard, M. (1998): Survival of buried seeds of interspecific hybrids between oilseed rape, hoary mustard and wild radish. *Field Crops Research* **58**, 197-204.
- Chancellor, R.J. (1964): The depth of weed seed germination in the field. In "Proceedings British Weed Control Conference", pp. 607-613.
- Cheam, A. (1984): Coat imposed dormancy controlling germination in wild radish and fiddle dock seeds. *Proc. of the 7th Australian weeds conference* **7**, 184-190.
- Cheam, A. (1986): Seed production and seed dormancy in wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.) and some possibilities for improving control. *Weed Research* **26**, 405-413.
- Chepil, W.S. (1946): Germination of weed seeds: II. The Influence of tillage treatments on germination. *Scientific Agriculture* **26**, 347-357.
- Chevre, A., Eber, F., Baranger, A., Renard, M. (1997): Gene flow from transgenic crops. *Nature* **389**, 924.
- Christensen, M., Meyer, S., Allen, P. (1996): A hydrothermal time model of seed after-ripening in *Bromus tectorum* L. *Seed Science Research* **6**, 1-9.
- Clark, D.L. (1996): Post-dispersal seed fates in a Western Oregon native prairie. PhD Thesis, Oregon State University, Oregon.
- Clements, D.R., Benoit, D.L., Murphy, S.D., Swanton, C.J. (1996): Tillage effects on weed seed return and seedbank composition. *Weed Science* **44**, 314-322.
- Colbach, N., Clermont-Dauphin, C., Meynard, J.M. (2001): GENESYS: a model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers. I. Temporal evolution of a population of rapeseed volunteers in a field. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **83**, 235-253.

- Colbach, N., Dessaint, F., Forcella, F. (2000): Evaluating field-scale sampling methods for the estimation of mean plant densities of weeds. *Weed Research* **40**, 411-430.
- Colbach, N., Roger-Estrade, J., Chauvel, B., Caneill, J. (2000): Modelling vertical and lateral seed bank movements during mouldboard ploughing. *European Journal of Agronomy* **13**, 111-124.
- Cousens, R., Moss, S.R. (1990): A model of the effects of cultivation on the vertical distribution of weed seeds within the soil. *Weed Research* **30**, 61-70.
- Cousens, R., Brain, P., O'Donovan, J., O'Sullivan, P. (1987): The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time of emergence on crop yield. *Weed Science* **35**, 720-725.
- Crawley, M.J. (1997): "Plant Ecology", Blackwell Science, Oxford.
- Crawley, M.J., Hails, R., Rees, M., Kohn, D., Buxton, J. (1993): Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. *Nature* **363**, 620-623.
- Cussans, G.W., Raudonius, S., Brain, P., Cumberworth, S. (1996): Effects of depth of seed burial and soil aggregate size on seedling emergence of *Alopecurus myosuroides*, *Galium aparine*, *Stellaria media* and wheat. *Weed Research* **36**, 133-141.
- Darmency, H. (1994): The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: introgression and weediness. *Molecular Ecology* **3**, 37-40.
- Darmency, H., Lefol, E., Fleury, A. (1998): Spontaneous hybridizations between oilseed rape and wild radish. *Molecular Ecology* **7**, 1467-1473.
- Daugovish, O., Thill, D.C., Shafii, B. (2002): Competition between wild oat (*Avena fatua*) and yellow mustard (*Sinapis alba*) or canola (*Brassica napus*). *Weed Science* **50**, 587-594.
- Debruck, J. (2000): Anbauempfehlung Winterraps. *Mitteilungen des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Sachsen-Anhalt* **1**, 22.
- Dennert, K. (2001): Mündl. Mitteilung, Versuchsgut Roggenstein, Oberroggenstein 1. 82223 Eichenau.
- Derx, M., Karssen, C. (1993): Light and temperature-induced changes in gibberellin biosynthesis and -sensitivity influence seed dormancy and germination in *Arabidopsis thaliana*. Studies with gibberellin-deficient and insensitive mutants. *Physiol. Plant* **89**, 360-368.
- Derx, M., Karssen, C. (1994): Are seasonal dormancy patterns in *Arabidopsis thaliana* regulated by changes in seed sensitivity to light, nitrate and gibberellin? *Annals of Botany* **73**, 129-136.
- Diepenbrock, W., Fischbeck, G., Heyland, K.-U., Knauer, N. (1999): "Spezieller Pflanzenbau", Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 523.

- 
- Dyer, W.E. (1995): Exploiting weed seed dormancy and germination requirements through agronomic practices. *Weed Science* **43**, 498-503.
- Eber, F., Tanguy, X., Chèvre, A., Baranger, A., Vallee, P., Renard, M. (1994): Spontaneous hybridization between male-sterile oilseed rape and 2 weeds. *Theoretical and Applied Genetics* **88**, 362-368.
- Eckelkamp, C., Mayer, M., Weber, B. (1997): Basta-resistenter Raps. Vertikaler und horizontaler Gentransfer unter besonderer Berücksichtigung des Standortes Wölfersheim-Melbach. In "Werkstattreihe Nr. 100 Öko-Institut e.V., Freiburg".
- Edwards, M. (1980): Aspects of the population ecology of charlock. *Journal of Applied Ecology* **17**, 151-171.
- Ellstrand, -N.-C., Prentice, -H.-C., Hancock, -J.-F. (1999): Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Annual Review of Ecology and Systematics* **30**, 539-563.
- Fargue, A., Meynard, J.M., Colbach, N., Vallee, P., Grandeau, G., Renard, M. (2004): Contamination of rapeseed harvest by volunteers of other varieties: a study of intergenotypic competition. *European Journal of Agronomy* **21**, 193-207.
- Fenner, M. (1995a): Ecology of seed banks. In "Seed development and germination" (Kigel, J. G., G., ed.), pp. 507-528. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Fenner, M. (1995b): The effect of pre-germination chilling on subsequent growth and flowering in three arable weeds. *Weed Research* **35**, 489-493.
- Foley, M.E., Fennimore, S. (1998): Genetic basis for seed dormancy. *Seed Science Research* **8**, 173-182.
- Forcella, F. (1992): Prediction of weed seedling densities from buried seed reserves. *Weed Research* **32**, 29-38.
- Forcella, F. (1998): Real-time assessment of seed dormancy and seedling growth for weed management. *Seed Science Research* **8**, 201-209.
- Forcella, F. (2003): Debiting the seedbank: priorities and predictions. *Aspects of Applied Biology* **69**, 151-162.
- Forcella, F., Benech Arnold, R.L., Sanchez, R., Ghera, C.M. (2000): Modelling seedling emergence. *Field Crops Research* **67**, 123-139.
- Frankland, B. (1976): Phytochrome control in seed germination in relation to the light environment. In "Light and plant development" (Smith, H., ed.), pp. 477-491, London, Butterworths.
- Froud-Williams, R.J., Chancellor, R.J., Drennan, D.S.H. (1984): The effects of seed burial and soil disturbance on emergence and survival of arable weeds in relation to minimal cultivation. *Journal of Applied Ecology* **21**, 629-641.
- Froud-Williams, R.J., Drennan, D.S.H., Chancellor, R.J. (1983): Influence of cultivation regime on weed floras of arable cropping systems. *Journal of Applied Ecology* **20**, 187-197.

- Gange, A., Brown, V., Farmer, L. (1991): Mechanisms of seedling mortality by subterranean insect herbivores. *Oecologia* **88**, 228-232.
- Garrett, H.J., Orson, J.H. (1989): Depth and date of emergence of volunteer oilseed rape (*Brassica napus* L.) and its control with herbicides in peas, beans, potatoes and sugar beet. *Proceedings Brighton Crop Protection*, 811-816.
- Geisler, G. (1988): "Pflanzenbau, Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion", Paul Parey Verlag, Berlin-Hamburg. 530.
- Gerowitz, B. (1998): Untersuchungen zur Abnahme des Samenvorrates von *Galium aparine* L. im Boden unter dem Einfluss der Bodenbearbeitung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVI*, 91-98.
- Ghersa, C.M., A., M.-G.M. (2000): Ecological correlates of weed seed size and persistence in the soil under different tilling systems: implications for weed management. *Field Crops Research* **67**, 141-148.
- Górski, T., Górska, K., Nowicki, J. (1977): Germination of seeds of various herbaceous species under leaf canopy. *Flora* **166**, 249-259.
- Goyeau, H., Fablet, G. (1982): Etude du stock de semences de mauvaises herbes dans le sol: le probleme de l'échantillonnage. *Agronomie* **2**, 545-552.
- Gressel, J. (1999): Tandem constructs: preventing the rise of superweeds. *Trends in Biotechnology* **17**, 361-366.
- Gross, K.L. (1990): A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. *Journal of Ecology* **78**, 1079-1093.
- Gross, K.L., Renner, K.A. (1989): A new method for estimating seed numbers in the soil. *Weed Science* **37**, 836-839.
- Gruber, S., Pekrun, C., Claupein, W. (2001): Genotypische Variation der Entwicklung sekundärer Dormanz bei Raps. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **13**, 250-251.
- Gruber, S., Pekrun, C., Claupein, W. (2004): Population dynamics of volunteer oilseed rape (*Brassica napus* L.) affected by tillage. *European Journal of Agronomy* **20**, 351-361.
- Gruber, S., Pekrun, C., Claupein, W. (2004): Reducing oilseed rape (*Brassica napus*) volunteers by selecting genotypes with low seed persistence. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz XIX*, 151-160.
- Grundy, A. (1997a): Implications of aggregated weed seed distribution for weed seed bank studies. *The Brighton crop protection conference - weeds* **7B- 2**, 619-620.
- Grundy, A. (2001): "Weed emergence and the weather", *In*. British Crop Protection Council - Weeds, Brighton, 75-81.
- Grundy, A., Phelps, K., Reader, R.J., Burston, S. (2000): Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytologist* **148**, 433-444.

- 
- Grundy, A.C. (1997b): The influence of temperature and water potential on the germination of seven different dry-stored seed lots of *Stellaria media*. *Weed Research* **37**, 257-266.
- Grundy, A.C. (2003): Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Research* **43**, 1-11.
- Grundy, A.C., Mead, A. (1998): Modelling the effects of seed depth on weed seedling emergence. *Aspects of Applied Biology* **51**, 75-82.
- Grundy, A.C., Mead, A., Burston, S. (1999): Modelling the effect of cultivation on seed movement with application to the prediction of weed seedling emergence. *Journal of Applied Ecology* **36**, 663-678.
- Grundy, A.C., Mead, A., Burston, S. (2003a): Does weed seed sowing density significantly effect weed emergence response to burial depth? *Aspects of Applied Biology* **69**, 39-46.
- Grundy, A.C., Peters, N.C.B., Rasmussen, I.A., Hartmann, K.M., Sattin, M., Andersson, L., Mead, A., Murdoch, A.J., Forcella, F. (2003b): Emergence of *Chenopodium album* and *Stellaria media* of different origins under different climatic conditions. *Weed Research* **43**, 163-176.
- Guéritaine, G., Bazot, S., Darmency, H. (2003): Emergence and growth of hybrids between *Brassica napus* and *Raphanus raphanistrum*. *New Phytologist* **158**, 561-567.
- Gulden, R.H., Shirliffe, S.J., Gordon Thomas, A. (2003a): Secondary seed dormancy prolongs persistence of volunteer canola in western Canada. *Weed Science* **51**, 904-913.
- Gulden, R.H., Shirliffe, S.J., Thomas, A.G. (2003b): Harvest losses of canola (*Brassica napus*) cause large seedbank inputs. *Weed Science* **51**, 83-86.
- Gulden, R.H., Thomas, A.G., Shirliffe, S.J. (2004): Relative contribution of genotype, seed size and environment to secondary seed dormancy potential in Canadian spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Weed Research* **44**, 97-106.
- Gummerson, R.J. (1986): The effect of constant temperatures and osmotic potential on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany* **37**, 729-741.
- Hagemeister, H., Heitefuss, R. (1986): "Einfluss einer unterschiedlich intensiven Unkrautbekämpfung in Getreide auf den Samenvorrat im Boden und die Verunkrautung in Folgekulturen", In. EWRS Symposium: Economic weed control, 393-398.
- Hails, R., Rees, M., Kohn, D., Crawley, M. (1997): Burial and seed survival in *Brassica napus* subsp. *oleifera* and *Sinapis arvensis* including a comparison of transgenic and non-transgenic lines of the crop. *Proc. Royal Society of London B* **264**, 1-7.
- Harman, G. (1983): Mechanisms of seed infections and pathogenesis. *Phytopathologia* **73**, 326-329.

- Harms, H., Stelling, D., Beestermöller, H. (1998): Unkrautbekämpfung in herbizidtoleranten Kulturpflanzen - Aktueller Stand des Projektes Liberty Link in Deutschland. *Journal of Plant Diseases and Protection* **XVI**, 373-378.
- Harper, J. (1957): Ecological aspects of weed control. *Outlook on Agriculture* **1**, 197-205.
- Harper, J. (1977): "Population biology of plants", Academic Press, London.
- Hartmann, K., Krooß, C., Mollwo, A. (1997): Phytochrome-mediated photocontrol of the germination of the scentless mayweed, *Matricaria inodora* L., and its sensitization by nitrate and temperature. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* **40**, 240-252.
- Heinisch, O. (1955): "Samenatlas der wichtigsten Futterpflanzen und ihrer Unkräuter", Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Leipzig. 122.
- Henderson, C., Petersen, K., Redak, R. (1988): Spatial and temporal patterns in the seed bank and vegetation of a desert grassland community. *Journal of Ecology* **76**, 717-728.
- Hilhorst, H.W.M. (1990): Dose-response analysis of factors involved in germination and secondary dormancy of seeds of *Sisymbrium officinale*. II. Nitrate. *Plant Physiologist* **94**, 1096-1102.
- Hobson, R.N., Bruce, D.M. (2002): PM--power and machinery: seed loss when cutting a standing crop of oilseed rape with two types of combine harvester header. *Biosystems Engineering* **81**, 281-286.
- Hofmeister, H., Garve, E. (1986): "Lebensraum Acker", 1. Auflage/Ed. Parey, Berlin. 272.
- Holm, R. (1972): Volatile metabolites controlling germination in buried weed seeds. *Plant Physiologist* **50**, 293-297.
- Honek, A., Martinkova, Z., Jarosik, V. (1999): Annual cycles of germinability and differences between primary and secondary dormancy in buried seeds of *Echinochloa crus-galli*. *Weed Research* **39**, 69-79.
- Hühn, M. (2000): Non-regular spatial patterns of plants and their effect on several agronomic traits per area. *European Journal of Agronomy* **12**, 1-12.
- Hume, L. (1994): Maternal environment effects on plant growth and germination of two strains of *Thlaspi arvense* L. *International Journal of Plant Sciences* **155**, 180-186.
- Inderjit, D. (1998): Allelopathic interference of chickweed (*Stellaria media*) with seedling growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Canadian Journal of Botany* **76**, 1317-1321.
- Jana, S., Thai, K. (1987): Patterns of changes of dormant genotypes in *Avena fatua* populations under different agricultural conditions. *Canadian Journal of Botany* **65**, 1741-1745.

- 
- Jones, N.E. (1998): "The number of soil cores required to accurately estimate the seed bank on arable land", *Aspects of Applied Biology* **51**, 1-8.
- Jones, T., Nielson, D. (1999): Intrapopulation genetic variation of seed dormancy in India ricegrass. *Journal of Rangeland Management* **52**, 646-650.
- Jorgensen, R., Andersen, B. (1994): Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy *B. campestris* (Brassicaceae): a risk of growing genetically modified oilseed rape. *American Journal of Botany* **81**, 1620-1626.
- Kästner, A., Jäger, E., Schubert, R. (2001): "Handbuch der Segetalpflanzen Mitteleuropas", Springer Verlag, Wien, New York. 609.
- Kees, H., Gehring, K. (2001): Leitunkräuter im Getreide. Volume 2001. Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Knab, W., Hurle, K. (1986): "Influence of soil cultivation on weed populations", *In*. EWRS Symposium on Economic weed control, Hohenheim, 309-316.
- Kohout, V., Soukup, J. (1996): Problematik von Winterraps (*Brassica napus* L.) als Unkrautpflanze und einige Möglichkeiten ihrer Lösung. *Journal of Plant Diseases and Protection* **XV**, 291-293.
- Kristensen, H. (1997): "Experiences with mechanical weeding in oilseed rape", *In*. Proceedings 14th Danish plant protection conference - side effects of pesticides, weeds, Nyborg Denmark, 179-182.
- Kropac, Z. (1966): Estimation of weed seeds in arable soil. *Pedobiologia* **6**, 195-228.
- Lambelet-Haeuter, C. (1986): Analyse de la flore potentielle, en relation avec la flore réelle, en grandes cultures de la région Genevoise. *Candollea* **41**, 299-323.
- Landbo, L., Jorgensen, R. (1997): Seed germination in weedy *Brassica campestris* and its hybrids with *B. napus*: implications for risk assessment of transgenic oilseed rape. *Euphytica* **97**, 209-216.
- Lavigne, C., Klein, E., Vallee, P., Pierre, J., Godelle, B., Renard, M. (1998): A pollen-dispersal experiment with transgenic oilseed rape: estimation of the average pollen dispersal of an individual plant within a field. *Theoretical and Applied Genetics* **96**, 886-896.
- Lefol, E., Danielou, V., Darmency, H. (1996): Predicting hybridization between transgenic oilseed rape and wild mustard. *Field Crops Research* **45**, 153-161.
- Linder, C., Schmitt, J. (1994): Assessing the risks of transgenic escape through time and crop-wild hybrid persistence. *Molecular Ecology* **3**, 23-30.
- Lozán, J., Kausch, H. (1998): "Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler", Paul Parey Buchverlag, Berlin.
- Luschei, E.C. (2003): Comparison of the effectiveness of seedbank sampling to seedling counts in reducing the uncertainty in estimates of weed population size. *Aspects of Applied Biology* **69**, 137-142.

- Lutman, P. (1993): The occurrence and persistence of volunteer oilseed rape. *Aspects of Applied Biology* **35**, 29-36.
- Lutman, P., Bowerman, P., Palmer, G., Whytock, G. (2000): Prediction of competition between oilseed rape and *Stellaria media*. *Weed Research* **40**, 255-269.
- Lutman, P., Pekrun, C., Albertini, A. (1998): Dormancy and persistence of volunteer oilseed rape. *HGCA Oilseeds Project Reports* **OS 32**, 93-98.
- Lutman, P., Peters, N., Berry, K., Hull, R., Perry, N., Wright, K. (2003): The persistence of seeds of two populations of six arable weeds. *Aspects of Applied Biology* **69**, 195-202.
- Lutman, P.J.W., Cussans, G.W., Wright, K.J., Wilson, B.J., Wright, G., Lawson, H.M. (2002): The persistence of seeds of 16 weed species over six years in two arable fields. *Weed Research* **42**, 231-241.
- Lutman, P.J.W., Lopez-Granados, F. (1998): The persistence of seeds of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Aspects of Applied Biology* **51**, 147-152.
- Madsen, K., Blacklow, W., Jensen, J., Streibig, J. (1999): Simulation of herbicide use in a crop rotation with transgenic herbicide-tolerant oilseed rape. *Weed Research* **39**, 95-106.
- Marshall, E.J.P., Arnold, G.M. (1994): Weed seed banks in arable fields under contrasting pesticide regimes. *Annals of Applied Biology* **125**, 349-360.
- Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P., Squire, G., Ward, L.K. (2003): The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* **43**, 77-89.
- Martin, S., Van Acker, R., Friesen, L. (2001): Critical period of weed control in spring canola. *Weed Science* **49**, 326-333.
- Mayer, M., Wurtz, A., Jülich, R., Roller, G., Tappeser, B. (1995): Anforderungen an die Überwachung von Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen und Mikroorganismen als Landesaufgabe im Rahmen des Vollzugs des Gentechnikgesetzes. *Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung, Sachsen-Anhalt*.
- McCartney, H.A., Lacey, M.E. (1991): Wind dispersal of pollen from crops of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Aerosol Science* **22**, 467-477.
- McRill, M., Sagar, G. (1973): Earthworms and seeds. *Nature* **243**, 482.
- Mead, A., Grundy, A., Burston, S. (1998): Predicting the movement of seeds following cultivation. *Aspects of Applied Biology* **51**, 91-98.
- Merkel, U., Rathke, G.-W., Schuster, C., Warnstorff, K., Diepenbrock, W. (2004): Use of glufosinate-ammonium to control cruciferous weed species in glufosinate-resistant winter oilseed rape. *Field Crops Research* **85**, 237-249.
- Metz, P., Jacobsen, E., Stiekema, W. (1997): Occasional loss of expression of phosphinothricin tolerance in sexual offspring of transgenic oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Euphytica* **98**, 189-196.

- 
- Mikkelsen, T.R., Jensen, J., Jorgensen, R.B. (1996): Inheritance of oilseed rape (*Brassica napus*) RAPD markers in a backcross progeny with *Brassica campestris*. *Theoretical-and-Applied-Genetics* **92**, 492-497.
- Milberg, P., Andersson, L. (1998): Dormancy dynamics in buried weed seeds. *Aspects of Applied Biology* **51**, 153-158.
- Milberg, P., Hallgren, E., Palmer, M.W. (2001): Timing of disturbance and vegetation development: how sowing date affects the weed flora in spring-sown crops. *Journal of Vegetation Science* **12**, 93-98.
- Miller, A., Lutman, P., Wright, K., McN Wright, G. (1998): A preliminary report on patterns of seedbank decline and the relationship between seedbank and seedling emergence for seven arable weed species in winter wheat. *Aspects of Applied Biology* **51**, 59-66.
- Mitze, H. (1992): Bilanzierung wichtiger populationsdynamischer Parameter ausgewählter Unkrautarten in Winterweizen. MSc. Thesis, Universität Göttingen, Göttingen.
- Momoh, E., Zhou, W., Kristiansson, B. (2002): Variation in the development of secondary dormancy in oilseed rape genotypes under conditions of stress. *Weed Research* **42**, 446-455.
- Moodie, M., Finch, R., Marshall, G. (1997): Analysis of genetic variation in wild mustard (*Sinapis arvensis*) using molecular markers. *Weed Science* **45**, 102-108.
- Mortensen, D., Bastiaans, L., Sattin, M. (2000): The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook. *Weed Research* **40**, 49-62.
- Mullis, K.B., Faloona, F. (1987): Specific synthesis of DNA invitro via a polymerase-catalyzed chain-reaction. *Methods in Enzymology* **155**, 335-350.
- Murphy, C., Lemerle, D., Medd, R. (1998a): The ecology of wild radish: the key to sustainable management. *Proceedings of the 9th Australian Agronomy Conference, WaggaWagga*, pp. 5.
- Murphy, C., Lemerle, D., Medd, R. (1998b): Reducing the seed bank population of wild radish. *Aspects of Applied Biology* **51**, 187-190.
- Neeser, C. (1999): Report of the brassica crops working group. *Precedings of a workshop on: ecological effects of pest resistance genes in manged ecosystems. Maryland*, pp. 7.
- Neuffer, B., Schultes, J. (1990): Das Keimverhalten der annuellen Unkraut- und Pionierpflanze *Capsella bursa-pastoris* (L.) Med. Maternale Effekte und endogene Rhytmik. *Verhandlungen der GFÖ XIX/II*, 70-74.
- Niemer, R., Carvalho, N., Loureiro, N., Perecin, D. (1983): Influencia de alguns fatores da planta sobre o grau de dormancia em sementes de mucuna preta. *Revista Brasileira de Sementes* **5**, 111-119.

- Nordmeyer, H., Dunker, M. (1999): "Variable weed densities and soil properties in a weed mapping concept for patchy weed control." *In*. Proceedings Second European Conference on Precision Agriculture, 453-462, Odense Congress Centre, Denmark.
- Norris, C., Simpson, E., Sweet, J., Thomas, J. (1999): "Monitoring weediness and persistence of genetically modified oilseed rape (*Brassica napus* L.) in the UK", Lutman, P., *In*. Gene flow in agriculture: relevance for transgenic crops, **72**, 255-260.
- Otte, A. (1996): Populationsbiologische Parameter zur Kennzeichnung von Ackerwildkräutern. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **XV**, 45-60.
- Panetta, F., Gilbey, D.A.M. (1988): Survival and fecundity of wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.) plants in relation to cropping, time of emergence and chemical control. *Australian Journal of Agricultural Research* **39**, 385-397.
- Pekrun, C. (1994): Untersuchungen zur sekundären Dormanz bei Raps (*Brassica napus* L.). Dissertation, Georg August Universität Göttingen, Göttingen.
- Pekrun, C. (2004): "Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Überdauerung von Samen und andere pflanzenbauliche Parameter unter besonderer Berücksichtigung der Populationsdynamik von Ausfallraps", Cuvillier Verlag Göttingen, Göttingen, 161.
- Pekrun, C., Grieser, M., Claupein, W. (2000): Feldaufgang von (*Chenopodium album* L.) als Funktion von Samenvorrat, Keimbereitschaft und Umweltbedingungen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **XVII**, 69-76.
- Pekrun, C., Hewitt, J., Lutman, P. (1998): Cultural control of volunteer oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science* **130**, 155-163.
- Pekrun, C., López-Granados, F. (1995): "The effect of water stress and light conditions on the induction of secondary dormancy in seed of (*Brassica napus* L.)", *In*. 9<sup>th</sup> International rape seed congress: rapeseed today and tomorrow, Cambridge, 1052-1054.
- Pekrun, C., López-Granados, F., Lutman, P. (1997a): "Studies on the persistence of rape seeds (*Brassica napus* L.), emphasizing their response to light", Ellis, R. H., Black, M., Murdoch, A., Hong, T., *In*. *Basic and Applied Aspects of Seed Biology*. Dordrecht, 339-347.
- Pekrun, C., Lutman, P. (1998): The influence of post-harvest cultivation on the persistence of volunteer oilseed rape. *Aspects of Applied Biology* **51**, 113-118.
- Pekrun, C., Lutman, P., López-Granados, F. (1996): "Population dynamics of volunteer rape and possible means of control", *In*. Proceedings of the 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 1223-1228.
- Pekrun, C., Lutman, P.J.W., Baeumer, K. (1997b): Germination behaviour of dormant oilseed rape seeds in relation to temperature. *Weed Research* **37**, 419-431.

- 
- Pekrun, C., Lutman, P.J.W., Baeumer, K. (1997c): Induction of secondary dormancy in rape seeds (*Brassica napus* L.) by prolonged imbibition under conditions of water stress or oxygen deficiency in darkness. *European Journal of Agronomy* **6**, 245-255.
- Pessel, F., Lecomte, J., Emeriau, V., Krouti, M., Messean, A., Gouyon, P. (2001): Persistence of oilseed rape (*Brassica napus* L.) outside of cultivated fields. *Theoretical and Applied Genetics* **102**, 841-846.
- Peters, N.C.B. (1982a): The dormancy of wild oat seed (*Avena fatua* L.) from plants grown under various temperature and soil moisture conditions. *Weed Research* **22**, 205-212.
- Peters, N.C.B. (1982b): Production and dormancy of wild oat (*Avena fatua*) seed from plants grown under soil water stress. *Annals of Applied Biology* **100**, 812-832.
- Petersen, J., Hurle, K. (1998): Einführung von herbizidresistenten Sorten: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **XVI**, 365-372.
- Pierce, F., Warncke, D., Everett, M. (1995): "Yield and nutrient variability in glacial soils of Michigan", In: *Proceedings of Site-Specific Management of Agricultural Systems*, Minneapolis, 133-151.
- Piggin, C., Reeves, T., Brooke, H., Code, G. (1978): Germination of wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.). *Proc. of the 1st Conference of the Australian Weed science society* **1**, 233-240.
- Popay, A.I., Cox, T.I., Ingle, A., Kerr, R. (1995): Seasonal emergence of weeds in cultivated soil in New Zealand. *Weed Research* **35**, 429-436.
- Price, J., Hobson, R., M., N., Bruce, D. (1996): Seed loss in commercial harvesting of oilseed rape. *Journal of Agricultural Engineering Research* **65**, 183-191.
- Priestley, D.A. (1986): "Seed aging implications for seed storage and persistence in the soil", Comstock Publishing Associates, New York, London. 304.
- Rao, V.S. (2000): "Principles of weed science", 2 nd/Ed. Sience Publishers, Inc., Enfield, 555.
- Rew, L.J., Cussans, G.W. (1997): Horizontal movement of seeds following tine and plough cultivaton: implications for spatial dynamics of weed infestations. *Weed Research* **37**, 247-256.
- Roberts, H.A. (1964): Emergence and longevity in cultivated soil of seeds of some annual weeds. *Weed Research* **4**, 296-307.
- Roberts, H.A. (1981): Seed banks in soils. In "Adv. in Applied Biology" (Coaker, T. H., ed.), Vol. 6, pp. 1-55. Academic Press, London.
- Roberts, H.A., Boddrell, J. (1983): Seed survival and periodicity of seedling emergence in 8 species of cruciferae. *Annals of Applied Biology* **103**, 301-312.

- Roberts, H.A., Feast, P.M. (1970): Seasonal distribution of emergence in some annual weeds. *Explorative Hortensia* **21**, 36-41.
- Roberts, H.A., Feast, P.M. (1973): Emergence and longevity of seeds of annual weeds in cultivated and undisturbed soil. *Journal of Applied Ecology* **10**, 133-143.
- Roberts, H.A., Lockett, P. (1978): Seed dormancy and field emergence in *Solanum nigrum*. *Weed Research* **18**, 231-242.
- Roberts, H.A., Neilson, J. (1980): Seed survival and periodicity of seedling emergence in some species of *Atriplex*, *Chenopodium*, *Polygonum* and *Rumex*. *Annals of Applied Biology* **94**, 111-120.
- Roberts, H.A., Potter, M.E. (1980): Emergence patterns of weed seedlings in relation to cultivation and rainfall. *Weed Research* **20**, 377-386.
- Roberts, H.A., Ricketts, M.E. (1979): Quantitative relationships between the weed flora after cultivation and the seed population in the soil. *Weed Research* **19**, 269-275.
- Rood, S.B., Major, D.J. (1984): Influence of plant density, nitrogen, water supply and pod or leaf removal on growth of oilseed rape. *Field Crops Research* **8**, 323-331.
- Rubin, B. (1996): Herbicide-resistant weeds - the inevitable phenomenon: mechanisms, distribution and significance. *Journal of Plant Diseases and Protection* **XV**, 17-32.
- Saverimuttu, T., Westoby, M. (1996): Seedling longevity under deep shade in relation to seed size. *Journal of Ecology* **84**, 681-689.
- Schafer, D.E., Chilcote, D.O. (1970): Factors influencing persistence and depletion in buried seed populations. II. The effects of soil temperature and moisture. *Crop Science* **10**, 342-345.
- Schafer, M., Kotanen, P.M. (2003): The influence of soil moisture on losses of buried seeds to fungi. *Acta Oecologica* **24**, 255-263.
- Scheffler, J., Dale, P.J. (1994): Opportunities for gene-transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgenic Research* **3**, 263-278.
- Schlink, S. (1994): Ökologie der Keimung und Dormanz von Körnerraps (*Brassica napus*) und ihre Bedeutung für eine Überdauerung im Boden. Dissertation Botanicae 222. PhD-Thesis, Universität Göttingen, Göttingen.
- Schlink, S. (1995): "Überdauerungsvermögen und Dormanz von Rapssamen (*Brassica napus* L.) im Boden", In: In: 9th EWRS Symposium Challenges for Weed Science in a changing Europe, Budapest, Hungary, 65-72.
- Schlink, S. (1998): 10 years survival of rape seed (*Brassica napus* L.) in soil. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **XVI**, 169-172.

- 
- Schmeil, O., Fitschen, J. (1988): "Flora von Deutschland", Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg, Wiesbaden. 608.
- Schuboth, J., Mahn, E.G. (1996): Zur Persistenz und Dynamik der Populationen von Segetalarten bei gleichbleibender Nutzungsintensität von Agrarökosystemen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **XV**, 295-305.
- Scopel, A.L., Ballare, C.L., Sanchez, R.A. (1991): Induction of extreme light sensitivity in buried weed seeds and its role in the perception of soil cultivations. *Plant, Cell and Environment* **14**, 501-508.
- Sebald, O., Seybold, S., Philippi, G. (1990): "Die Farn und Blütenpflanzen Baden-Württembergs", Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Senior, I.J., Dale, P.J. (2002): Herbicide-tolerant crops in agriculture: oilseed rape as a case study. *Plant Breeding* **121**, 97-107.
- Shrestha, A., Knezevic, S.Z., Roy, R.C., Ball-Coelho, B.R. (2002): Effect of tillage, cover crop and crop rotation on the composition of weed flora in a sandy soil. *Weed Research* **42**, 76-87.
- Simard, M.-J., Legere, A., Pageau, D., Lajeunesse, J., Warwick, S. (2002): The frequency and persistence of volunteer canola (*Brassica napus*) in Quebec cropping systems. *Weed Technology* **16**, 433-439.
- Sjursen, H. (2001): Change of the weed seed bank during the first complete six-course crop rotation after conversion from conventional to organic farming. *Biological Agriculture and Horticulture* **19**, 71-90.
- Snow, A., Palma, P.M. (1997): Commercialization of transgenic plants: potential ecological risks. *Biological Science* **47**, 86-96.
- Spandl, E., Durgan, G.R., Forcella, F. (1999): Foxtail seedling dynamics in spring wheat are influenced by seeding date and tillage regime. *Weed Science* **47**, 156-160.
- Sprenger, B. (2004): Populationsdynamik von Ackerwildpflanzen im integrierten und organischen Anbausystem. Doktorarbeit, Technische Universität München, München.
- Squire, G., Crawford, J., Ramsay, G., Thompson, C., Brown, J. (1999): "Gene flow at a landscape level", Lutman, P., *In*. Gene flow and agriculture. Relevance for transgenic crops, Brighton, 57-64.
- Staricka, J.A., Burford, P.M., Allmaras, R.R., Nelson, W.W. (1990): Tracing the vertical distribution of simulated shattered seeds. *Agronomy Journal* **82**.
- Steinsiek, J., Oliver, L., Collins, F. (1982): Allelopathic potential of wheat (*Triticum aestivum*) straw on selected weed species. *Weed Science* **30**, 495-497.
- Streit, B., Rieger, S.B., Stamp, P., Richner, W. (2002): The effect of tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **92**, 211-224.

- Swanton, C.J., Shresta, A., Roy, R., Ball-Coelho, B., Knezevic, S. (1999): Effect of tillage systems, N, and cover crop on the composition of weed flora. *Weed Science* **47**, 454-461.
- Terpstra, R. (1995): Dormancy of seeds of shepherd's purse in alternating wet and dry, compressed aggregated soil: a laboratory experiment. *Journal of Applied Ecology* **32**, 434-444.
- Thomas, T., Biddington, N., O'Toole, D. (1979): Relationship between position on the parent plant and dormancy characteristics of seeds of three cultivars of celery (*Apium graveolens*). *Physiologia Plantarum* **45**, 492-496.
- Thompson, K., Bakker, J., Bekker, R. (1997): "The soil seed banks of north west Europe: methodology, density and longevity", 1/Ed. Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, 276.
- Thompson, K., Bakker, J.P., Bekker, R.M., Hodgson, J.G. (1998a): Ecological correlates of seed persistence in soil in the north-west European flora. *Journal of Ecology* **86**, 163-169.
- Thompson, K., Bekker, R.M., Bakker, J.P. (1998b): Weed seed banks; evidence from the north-west European seed bank database. *Aspects of Applied Biology* **51**, 105-112.
- Thompson, K., Grime, J.P. (1979): Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology* **67**, 893-921.
- Thornton, M., Peters, N., West, T., Thomas, T. (1998): A novel way to control volunteer oilseed rape *Brassica napus*. *Aspects of Applied Biology* **51**, 191-196.
- Thurston, J.M. (1951): Some experiments and field observations on the germination of wild oat (*Avena fatua* and *Avena ludoviciana*) seeds in soil and the emergence of seedlings. *Annals of Applied Biology* **38**, 812-832.
- Timmons, A., O'Brien, E., Charters, Y., Dubbels, S., Wilkinson, M. (1995): Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. *Euphytica* **85**, 417-423.
- Tokumasu, S., Kakihara, F. (1990): Seasonal germination periodicity of imbibed dormant seeds of rape (*Brassica napus* L.). *Scientia Horticulturae* **42**, 1-7.
- Torgersen, H. (1996): Ökologische Effekte von Nutzpflanzen - Grundlagen für die Beurteilung transgener Pflanzen. *Monographie, Umweltbundesamt, Wien* Band **74**.
- Torresen, K.S. (1998): Emergence and longevity of weed seeds in soil with different tillage treatments. *Aspects of Applied Biology* **51**, 197-204.
- Vankus, V. (1997): The tetrazolium estimated viability test for seeds of native plants. *National proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations, USDA*, pp. 8.

- 
- Vera, C., McGregor, D., Downey, R. (1987): Detrimental effects of volunteer Brassica on production of certain cereal and oilseed crops. *Canadian Journal of Botany* **67**, 983-996.
- Vleeshouwers, L.M. (1997): Modelling the effect of temperature, soil penetration resistance, burial depth and seed weight on pre-emergence growth of weeds. *Annals of Botany* **79**, 553-563.
- Vleeshouwers, L.M., Bouwmeester, H.J., Karssen, C.M. (1995): Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology* **83**, 1031-1037.
- Vogel, G., Angermann, H. (1990): "dtv-Atlas zur Biologie", Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 223.
- Walter, A.M., Christensen, S., Simmelsgaard, S.E. (2002): Spatial correlation between weed species densities and soil properties. *Weed Research* **42**, 26-38.
- Watson, S., Mauchline, A., Brown, V., Froud-Williams, R. (2003): Post-dispersal losses of *Stellaria media* and *Polygonum aviculare* seeds in spring-barley (*Hordeum vulgare*). *Aspects of Applied Biology* **69**, 203-208.
- Weaver, S.E., Kropff, M.J., Groeneveld, R.M. (1992): Use of ecophysiological models for crop-weed interference; the critical period of weed interference, *Weed Science*, **40 (2)**, 302-307.
- Westoby, M., Leishman, M., Lord, J. (1996): Comparative ecology of seed size and dispersal. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences* **351**, 1309-1318.
- Wilson, B.J. (1985): Effect of seed age and cultivation on seedling emergence and seed decline of *Avena fatua* L. in winter barley. *Weed Research* **25**, 213-220.
- Wilson, R.G. (1988): Biology of weed seeds in the soil. In "Weed management in agroecosystems: ecological approaches" (Altieri, M. A., Liebman, M., ed.), pp. 25-39, Boca Raton.
- Wisskirchen, R., Haeupler, H. (1998): "Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands", Bundesamt für Naturschutz; Ulmer Verlag.
- Wooley, J., Stoller, E. (1978): Light penetration and light induced seed germination in soil. *Plant Physiology* **61**, 597-600.
- Wuest, S.B., Albrecht, S.L., Skirvin, K.W. (2000): Crop residue position and interference with wheat seedling development. *Soil and Tillage Research* **55**, 175-182.
- Yenish, J.P., Doll, J.D., Buhler, D.D. (1992): Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil. *Weed Science* **40**, 429-433.
- Young, K., Cousens, R. (1998): Predicting the emergence of wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Aspects of Applied Biology* **51**, 69-74.

- Zeitler, R. (2000): "Isolierung genomischer DNA aus Blättern mit dem DNeasy-Kit." Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, pp. 9.
- Zeitler, R. (2001): "Qualitativer Nachweis von DNA-Sequenzen mit Hilfe der TaqMan-PCR." Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, pp. 11.
- Zhang, J., Hamill, A.S., Gardiner, I.O., Weaver, S.E. (1998): Dependence of weed flora on the active soil seedbank. *Weed Research* **38**, 143-152.
- Zwenger, P., Hurle, K. (1986): Veränderung der Lebens- und Keimfähigkeit von Unkrautsamen im Boden. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* **51/2a**, 325-332.