

Justus-Liebig-Universität Gießen

Fachbereich 09: Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II

Professur für Organischen Landbau

Bachelorarbeit

Möglichkeiten der biologischen Unkrautregulierung im integrierten und ökologischen Landbau: Wissensstand, Probleme, Empfehlungen

eingereicht bei:

Prof. Dr. Günter Leithold

Verfasserin:

Alexandra Sabine Wening

Gießen, August 2007

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis und Abbildungsverzeichnis	2
1 Einleitung	5
2 Methodik.....	8
3 Biologische Unkrautregulierung.....	10
3.1 Allgemeines über Unkraut.....	10
3.2 Geschichte der biologischen Unkrautregulierung	22
3.3 Methoden der biologischen Unkrautregulierung	29
3.3.1 Bekämpfung mit polyphagen Herbivoren	29
3.3.2 Klassische Methode	41
3.3.3 Bioherbizide	43
3.3.4 System-Management-Methode.....	45
3.4 Methoden zur Neuerprobung eines potenziellen Organismus zur biologischen Unkrautbekämpfung	48
3.4.1 Vorgehensweise bei der inokulativen Methode.....	48
3.4.2 Vorgehensweise bei der inundativen Methode	49
3.5 Aktueller Forschungsstand – In Europa und der Welt.....	53
3.5.1 Forschungsarbeiten aus Europa.....	53
3.5.2 Forschungsarbeiten aus der Welt.....	64
3.6 Grenzen und Risiken dieses Verfahrens.....	73
3.7 Die Zukunft der biologischen Unkrautregulierung - Möglichkeiten, Ideen, Visionen	78
4 Zusammenfassung	82
Quellenverzeichnis	86

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ZEIGERPFLANZEN.....	12
TABELLE 2: RELEVANTE UNKRÄUTER UND UNGRÄSER IN MITTELEUROPA.....	14
TABELLE 3: REGISTRIERTE BIOHERBIZIDE.....	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ökologische Wechselbeziehungen bei Land-Unkräutern	5
Abbildung 2: <i>Galium aparine</i>	13
Abbildung 3: <i>Colchicum autumnale</i>	18
Abbildung 4: <i>Solanum nigrum</i>	18
Abbildung 5: <i>Viscum album</i>	19
Abbildung 6: Ermittlung der Schadschwellen	20
Abbildung 7: <i>Opuntia ficus-indica</i>	23
Abbildung 8: oben: Opuntienblatt durch Larven von <i>C. cactorum</i> zerstört; unten: Nahaufnahme der Raupen	24
Abbildung 9: Vergleich einer befallenen Fläche, vor und nach dem Einsatz von <i>Cactoblastis cactorum</i>	25
Abbildung 10: <i>Lantana camara</i>	26
Abbildung 11: <i>Hypericum perforatum</i>	28
Abbildung 12: <i>Linaria vulgaris</i>	32
Abbildung 13: <i>Tyria jacobaeae</i>	33
Abbildung 14: Raupen von <i>Tyria jacobaeae</i>	33

Abbildung 15: <i>Rosa multiflora</i>	34
Abbildung 16: <i>Pueraria lobata</i>	34
Abbildung 17: <i>Euphorbia esula</i>	35
Abbildung 18: <i>Prunus serotina</i>	35
Abbildung 19: <i>Trichechus manati</i>	36
Abbildung 20: <i>Ondatra zibethicus</i>	37
Abbildung 21: <i>Myocastor coypus</i>	37
Abbildung 22: <i>Eichhornia crassipes</i>	38
Abbildung 23: <i>Ctenopharyngodon idella</i>	38
Abbildung 24: <i>Chara subsp.</i>	39
Abbildung 25: <i>Lemna minor</i>	39
Abbildung 26: Übersicht über die Unterschiede der biologischen Unkrautregulierung im engeren Sinne	41
Abbildung 27: <i>Puccinia chondrillina</i>	43
Abbildung 28: <i>Cyperus esculentus</i>	46
Abbildung 29: <i>Amaranthus retroflexus</i>	53
Abbildung 30: Konidien von <i>Alternaria alternata</i>	54
Abbildung 31: <i>Chenopodium album</i>	55
Abbildung 32: <i>Orobanche subsp.</i>	57
Abbildung 33: <i>Phytomyza subsp.</i>	57

Abbildung 34: Fraßschäden an Ampferpflanze durch <i>Gastrophysa viridula</i>	59
Abbildung 35: Larve von <i>Cassida rubiginosa</i>	61
Abbildung 36: <i>Cirsium vulgare</i>	62
Abbildung 37: <i>Veratrum album</i>	62
Abbildung 38: <i>Impatiens glandulifera</i>	62
Abbildung 39: <i>Solidago canadensis</i>	63
Abbildung 40: <i>Solidago gigantea</i>	63
Abbildung 41: <i>Hyles euphorbiae</i> – Imago und Raupe	65
Abbildung 42: <i>Spurgia capitigena</i>	65
Abbildung 43: <i>Lantana camara</i>	67
Abbildung 44: <i>Ophiomyia lantanae</i>	68
Abbildung 45: <i>Empidonax trailii extimus</i>	70
Abbildung 46: <i>Chromolaena odorata</i>	71
Abbildung 47: <i>Rhinocyllus conicus</i>	76
Abbildung 48: <i>Heracleum mantegazzianum</i>	78

1 Einleitung

Der Begriff „Unkraut“ wurde durch den Menschen geschaffen. Als Unkräuter werden von HALLMANN et al. (2007) Pflanzen definiert, die „am Ort oder zum Zeitpunkt ihres Auftretens unerwünscht oder wertlos sind“ (HALLMANN et al., 2007, S. 167) und daher mehr schaden als nützen. „Der von Unkräutern verursachte Schaden besteht darin, dass sie den Funktionswert von Flächen beeinträchtigen“ (ZWERGER, 2002, S. 11).

Bei ZWERGER (2002) werden weltweite Ertragsverluste in Höhe von 9,7 % der potentiellen Ernte angegeben, die durch die Beeinträchtigung der Nutzpflanzen durch die Unkräuter entstehen. Das Unkraut konkurriert mit der Nutzpflanze um Standort, Licht, Wasser und Nährstoffe. Außerdem behindert es Pflege- und Erntearbeiten, verunreinigt die Ernteprodukte und kann eine Rolle bei der Übertragung von Nutzpflanzenkrankheiten und -schädlingen spielen.

Unkräuter werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Sie stehen, wie in Abb. 1 zu sehen, mit Klima und Boden, der übrigen Vegetation, Phytophagen und dem Menschen in einer ökologischen Wechselbeziehung.¹

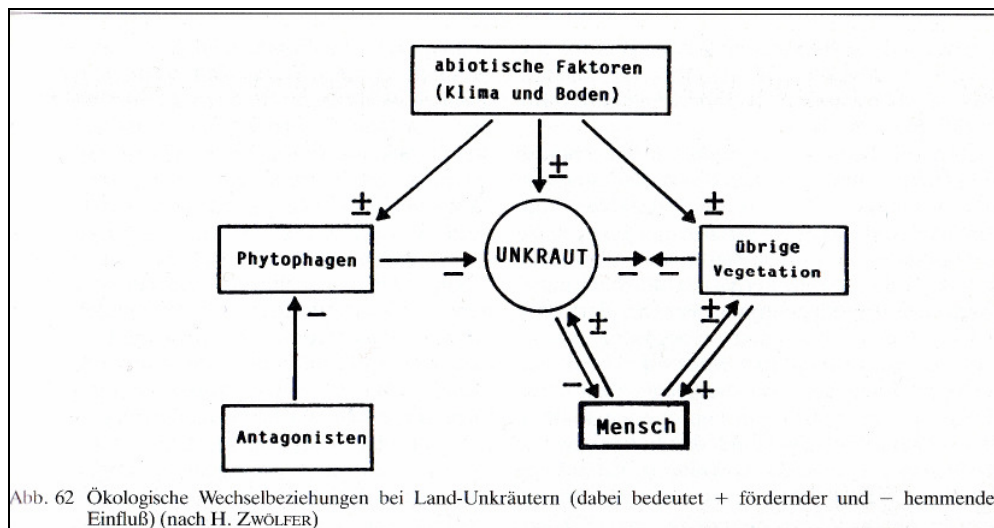


Abbildung 1: Ökologische Wechselbeziehungen bei Land-Unkräutern

¹ Abbildung 1 aus Krieg und Franz, 1989, S.101

Der Mensch greift in der heutigen Zeit meist mit Herbiziden das Problem „Unkraut“ an. ZWARGER (2002) verweist auf diese Problematik: „Weltweit betrachtet nimmt der Einsatz von Herbiziden zu, weil mit ihnen teure und häufig nicht mehr im ausreichenden Maße verfügbare Arbeitskräfte substituiert werden können. Chemische Verfahren sind kostengünstig, haben einen hohen Wirkungsgrad und eine hohe Schlagkraft“ (ZWARGER, 2002, S.13).

Allerdings gibt es auch andere Möglichkeiten dem Unkraut Herr zu werden. Neben der chemischen Methode kommen immer öfter andere Verfahren zur Sprache, da mittlerweile immer wieder Resistenzen gegenüber den chemischen Mitteln auftreten oder man der Umwelt zu Liebe versucht, sowieso auf sie zu verzichten. Neben der mechanischen und der thermischen Unkrautbekämpfung, ist die biologische Unkrautregulierung eine Alternative in definierten Fällen. Allerdings ist über diese Methode allgemein wenig bekannt, obwohl sie schon in vielen Gebieten und Projekten Erfolge feiern konnte.

Die Autorin will in dieser Bachelorarbeit „Möglichkeiten der biologischen Unkrautregulierung im integrierten und ökologischen Landbau: Wissensstand, Probleme, Empfehlungen“ daher folgende Fragen beantworten:

- 1) Wo befindet sich der aktuelle Wissensstand über die biologische Unkrautbekämpfung auf nationalem und auf internationalem Gebiet?
- 2) Wo ist diese Methode im ökologischen und integrierten Landbau einsetzbar und was könnte zukünftig möglich sein?
- 3) Wo sind die Grenzen dieses Verfahren gesetzt und welche Risiken birgt es?

Anwendungsgebiete dieser Art von Unkrautregulierung sind hauptsächlich bei Unkrautarten, die an ihrem Standort nicht heimisch sind, und deren Bekämpfung mit chemischen und mechanischen Verfahren dort zu teuer ist, bei Unkräutern, die auf Wiesen und Weiden vorkommen, und bei konkurrenzstarken Unkrautarten in Gebieten, in denen die chemische Bekämpfung verboten ist und mechanische Verfahren nicht viel ausrichten. Aber auch bei Unkrautarten mit natürlicher oder entwickelter Herbizidresistenz bzw. -toleranz, sowie bei Unkrautarten, die eine extrem hohe Herbizidgabe benötigen, (MÜLLER-SCHÄRER, 2002)

ist dieses Verfahren eine Überlegung wert.

Die biologische Unkrautregulierung ist nach Definition von MÜLLER-SCHÄRER (2002) der „Einsatz von natürlichen Feinden zur Reduktion einer Unkrautpopulation, mit dem Ziel, diese unter die ökonomische und/oder ökologische Schadschwelle zu drücken“ (MÜLLER-SCHÄRER, 2002, S.118).

Dass man mit Hilfe der Natur, durch ihre ökologischen Wechselbeziehungen, Unkräuter in den Griff bekommt, ist nach Meinung der Verfasserin eine interessante Möglichkeit, die Wünsche des Menschen im Einklang mit der Natur zu erfüllen und nicht gegen sie zu arbeiten. Diese Art der Unkrautbekämpfung beschäftigt sich mit Ökologie, Botanik und Zoologie, d.h. näher betrachtet mit phytopathogenen und phytophagen Organismen, zu denen nicht nur Bakterien, Viren, Pilze und Insekten gehören, sondern auch höher entwickelte Tiere, wie Fische und Säugetiere. Es ist also ein vielseitiges Gebiet, das auf allen Ebenen interessant erscheint und neugierig auf die Einzelheiten macht.

Diese werden im Folgenden näher beleuchtet. Dabei wird auf die verschiedenen Methoden hingewiesen, die Vor- und Nachteile werden aufgezeigt, Beispiele aufgeführt, aktuelle Probleme und Forschungsergebnisse dargestellt, und sowohl auf Geschichtliches als auch auf Zukunftsperspektiven aufmerksam gemacht.

2 Methodik

Da diese Studienarbeit eine reine Literaturarbeit ist, wird in diesem Teil hauptsächlich die Beschaffung der Literaturquellen beschrieben.

Die Grundlagen wurden aus Vorlesungsunterlagen und eigenen Lehrbüchern entnommen. Um sich an das Thema heranzutasten, wurde in der Universitätsbibliothek zuerst auf Lehrbücher zurückgegriffen.

Diese konnten entweder durch Stöbern oder durch gezielte Suche in der Universitätsbibliothek gefunden werden. Per Schlagwortsuche wurden im Bibliotheksystem, dem so genannten OPAC-Katalog weitere Quellen entdeckt. Schlagwörter waren anfangs deutschsprachig, wie z. B. Unkrautregulierung, Unkrautbekämpfung, Biologische Unkrautbekämpfung, Unkraut, Biologische Unkrautregulierung, später wurde dann die Suche fast ausschließlich mit englischen Begriffen fortgesetzt. Hierzu wurden Worte wie Biological Control of Weeds, Weeds, Biological Control, u. a. verwendet.

Verweise von Literaturverzeichnissen aus diesen Büchern, Artikeln und Aufsätzen verhalfen zu einem größeren Blickfeld. Weitere wichtige Autoren konnten dadurch ausfindig gemacht werden und nach deren Publikationen geforscht werden.

Mithilfe des Internets wurde durch die Suchmaschinen www.google.de, www.google.com und <http://scholar.google.com> nach Anreizen, Zeitschriften und anderen Quellen recherchiert. Hierbei dienten wieder die oben genannten Stichwörter als Ansatzpunkte. Durch Kombination dieser Wörter mit Autorennamen, konnten hier interessante Web-Seiten entdeckt und verwendet werden. Hinsichtlich Fachzeitschriften wurde über das Fachportal der Universität Regensburg oft auf die Internetseiten www.blackwell-synergy.com, www.springerlink.com und www.sciencedirekt.com verwiesen. Dort konnten wenige Artikel ganz eingesehen werden, die meisten waren ausschließlich nach Kauf oder durch Mitgliedschaft im Volltext verfügbar. Trotzdem wurden einige aktuelle, themenbezogene Artikel ausfindig gemacht.

Übersetzungen aus der englischsprachigen Literatur wurden von der Autorin selbst ausgeführt.

Die Internetseite <http://de.wikipedia.org> diente ausschließlich der Suche nach deutschsprachigen Entsprechungen der lateinischen und englischsprachigen Faunen- und Florenbezeichnungen. Diese wurden aber nochmals in COLE (2000) und ZANDER (2002) überprüft. Außerdem wurde diese Seite als Bilderquelle genutzt. Der Autorin ist bewusst, dass dieses Internetlexikon keine wissenschaftlich anerkannten Artikel zur Verfügung stellt, und dementsprechend wurde es auch nicht für weitere Recherchen genutzt.

Im folgenden Textabschnitt wurde darauf geachtet, ein einheitliches Bild bezüglich der lateinischen und deutschen Namen der Tiere und Pflanzen zu schaffen. Der lateinische Name wurde immer zuerst genannt, da nicht für alle Arten geläufige deutsche Bezeichnungen zur Verfügung stehen. Die Abkürzung für „Subspezies“ wurde in der gesamten Arbeit auf „subsp.“ vereinheitlicht.

3 Biologische Unkrautregulierung

3.1 Allgemeines über Unkraut

Herkunft und Evolution

Vier Fünftel der in Mitteleuropa vorkommenden Unkräuter sind hier nicht ursprünglich beheimatet. Ein Teil wurde aus Vorderasien, dem Mittelmeerraum und dem Balkan seit den Anfängen des Ackerbaus um 5000 v. Chr. eingeschleppt. Andere stammen wiederum aus Nordafrika oder Asien und wurden durch den einsetzenden Handel „importiert“. Durch diese lange Entwicklungszeit, konnten sie sich dem Agroökosystem anpassen und es entwickelten sich viele verschiedene, Nutzpflanzen begleitende Arten (HALLMANN et al., 2007).

Es gibt drei Gruppen, in die die Unkrautarten je nach Entstehungshintergrund eingeteilt werden können. Zum ersten wären die Apophyten zu nennen, die schon vor dem Neolithikum Mitteleuropa besiedelten. Zum zweiten die Archäophyten, die wie oben schon erwähnt, in der Zeit bis zum Mittelalter vom „fruchtbaren Halbmond“ nach Mitteleuropa gelangten und sich dort als Ackerbegleitflora etablieren konnten. Und die letzte Gruppe beinhaltet die Neophyten, die seit dem Mittelalter bis heute eingeschleppt wurden und werden. Daran erkennt man, dass die Evolution der Segetalflora noch lange nicht abgeschlossen ist und sich solange weiterentwickeln wird, solange Veränderungen hinsichtlich Artenzusammensetzung, Klima und Anbaumaßnahmen stattfinden (MAHN, 2002).

Dominiert wird die Artenzusammensetzung heutzutage von ca. acht bis zehn Pflanzenfamilien. Zwei Drittel der Unkrautarten zählen zu diesen Familien, den *Asteraceae*, den *Brassicaceae*, den *Caryophyllaceae*, den *Fabaceae*, den *Lamiaceae*, den *Poaceae*, den *Polygonaceae*, oder zu den *Serophuliaceae*. Weitere drei Familien, die auch noch häufiger vorkommen sind die *Apiaceae*, die *Chenopodiaceae* oder die *Ranunculaceae* (MAHN, 2002).

Biologie der Unkräuter

Die Zusammensetzung der Ackerunkrautgesellschaften an sich ist abhängig von verschiedenen Umweltfaktoren. Zum einen sind die Bodenverhältnisse und das Klima entscheidend, zum anderen die ackerbaulichen Einflussmöglichkeiten, wie Fruchtfolge und Bodenbearbeitung (MAHN, 2002). Anthropogene Eingriffe werden von den Unkräutern

toleriert oder gewährleisten sogar ihre Existenz (HALLMANN et al., 2007).

Die Morphologie der Beikräuter hängt u. a. von der ökologischen Nische ab, auf die sie sich spezialisiert haben und von dem Standort auf dem sie wachsen. So kann die Ackerbegleitflora, wie auch andere Pflanzen, in verschiedenen Merkmalen unterschieden werden. Die Wurzeltiefe gibt an, bis in welche Bodenschicht die Pflanze mit ihren Wurzeln hauptsächlich vordringt. Die Wuchshöhe sagt etwas über die Konkurrenzfähigkeit aus. Therophyten, Hemikryptophyten und Kryptophyten sind eine Einteilungsmöglichkeit der Lebensformen einer Pflanze. Sie sagt etwas darüber aus, ob die Pflanze als Samen, als erdoberflächennaher Spross oder nur durch ein unterirdisches Speicherorgan den Winter übersteht. Auch ein Unterteilungsmerkmal ist die Lebensdauer so eines Unkrautes: es gibt einjährige (sommer- oder winterannuelle), zweijährige oder mehrjährige. Außerdem wird zwischen monokotylen und dikotylen Pflanzen differenziert (MAHN, 2002).

Bezüglich der Vermehrung ist die Gruppe der Unkräuter nicht einheitlich. Grob unterscheiden sich Wurzel- bzw. Knollen- und Zwiebelunkräuter von Samenunkräutern. D.h., dass einige Arten sich hauptsächlich vegetativ vermehren und andere wiederum uneingeschränkt generativ (HALLMANN et al., 2007). Die vegetative Vermehrung nutzen meistens mehrjährige Pflanzen, die sich wie MAHN (2002) es beschreibt, durch Neubildung von Knollen oder Zwiebeln, Kriechtrieben, Stolonen, Rhizomen, Wurzelsprosse oder Wurzelrüben auszeichnen.

Bei der generativen Vermehrung ist vor allem die Ausbreitung weit gefächert. So werden bei MAHN (2002) die Anemochorie (durch Wind), die Zoochorie (durch Tiere), die Barochorie (durch Schwerkraft), die Hydrochorie (durch Wasser), die Autochorie (durch die Pflanze selbst) oder die Anthropochorie (durch Menschen) genannt, durch die die Pflanzenpopulation ihr Gebiet, in dem sie vorkommt, vergrößert. Die Keimung und das Auflaufen der so verteilten Diasporen hängen von verschiedenen Faktoren ab. Die Keimruhe wird durch bestimmte Licht- und Temperaturgegebenheiten beeinflusst, wobei auch die endogenen Voraussetzungen stimmen müssen, damit es zur Keimung kommt. Aber auch Wasser, Bodenverhältnisse und die Keimtiefe spielen eine Rolle (MAHN, 2002). Allerdings keimen laut HALLMANN et al. (2007) trotz bester Umstände nicht immer alle im Boden ruhenden Diasporen, damit die Erhaltung der Population gesichert ist.

Je nach Produktivität der Pflanze und den Keimverhältnissen baut sich mit der Zeit eine

Diasporenbank im Boden auf. Hierbei finden sich 5000 bis zu 300000 Diasporen/m² in Pflugtiefe.

Positive Unkrautwirkungen

Eine positive Eigenschaft der Unkräuter ist der Umstand, dass sie sich an die verschiedenen Standorte angepasst haben und damit als Zeigerpflanzen dienen können. Dadurch kann der geschulte Landwirt auch ohne Bodenprobe in etwa die gegebenen Bodenverhältnisse einordnen und dementsprechend handeln.

In der folgenden Tabelle werden die verschiedenen Zeigerpflanzen dargestellt:²

Tabelle 1: Zeigerpflanzen

Nachweis für	entsprechende Zeigerpflanzen
eine verfestigte Krume	<i>Poa annua</i> (Jährige Rispe), <i>Plantago major</i> bzw. <i>lanceolata</i> (Breit- und Spitzwegerich), <i>Polygonum aviculare</i> (Vogelknöterich)
Staunässe	<i>Ranunculus repens</i> (Kriechender Hahnenfuß), <i>Mentha arvensis</i> (Ackerminze), <i>Stachys palustris</i> (Sumpfsiest)
Bodensäure	<i>Rumex acetosella</i> (Kleiner Sauerampfer), <i>Spergula arvensis</i> (Ackerspörgel), <i>Scheranthus annuus</i> (Einjähriger Knäuel), <i>Rumex subsp.</i> (Ampfer-Arten), <i>Anthemis arvensis</i> (Ackerhundskamille), <i>Matricaria chamomilla</i> (Echte Kamille), <i>Vicia subsp.</i> (Wicken), <i>Apera spica venti</i> (Windhalm)
Flächenstilllegung	Vermehrung von <i>Cirsium subsp.</i> (Distelarten), <i>Agropyron repens</i> (Quecke), <i>Sisymbrium officinale</i> (Wegrauke), <i>Lactuca serriola</i> (Kompasslattich), <i>Artemisia vulgaris</i> (Gemeiner Beifuß), <i>Convolvulus arvensis</i> (Ackerwinde)
gute Kalkversorgung des Bodens	<i>Alopecurus myosuoides</i> (Ackerfuchsschwanz), <i>Cirsium arvense</i> (Ackerkratzdistel), <i>Avena fatua</i>

² Tabelle aus dem Modul BP 30 Ackerbausysteme zusammengefasst, Universität Gießen, WS 2005/2006, Prof. Leithold

	(Flughafer), <i>Atriplex subsp.</i> (Melde), <i>Lamium purpureum</i> (Rote Taubnessel), ...
gute N-Versorgung	<i>Chenopodium album</i> (Weißer Gänsefuß), <i>Capsella bursa-pastoris</i> (Hirtentäschel), <i>Galium aparine</i> (Klettenlabkraut), <i>Stellaria media</i> (Vogelmiere), <i>Urtis urens</i> (Kleine Brennnessel), <i>Sonchus subsp.</i> (Gänsedistel), <i>Atriplex spp.</i> (Melde), ...
feuchte Standorte	<i>Juncus subsp.</i> (Binsen), <i>Ranunculus repens</i> (Kriechender Hahnenfuß), ...
trockene Standorte	<i>Amaranthus albus</i> (Weißer Amaranth), <i>Anthemis arvensis</i> (Hundskamille), <i>Trifolium campestre</i> (Ackerklee)

Um sicher zu gehen sollten mehrere Unkräuter einer Kategorie auftreten. Denn es kann nach MAHN (2002) vorkommen, dass Böden „Horizonte mit unterschiedlichen Basenstatus aufweisen“ (MAHN, 2002, S.70) und dadurch Basenzeiger neben Säurezeigern erscheinen.

Ein weiterer Nutzen der Ackerbegleitflora ist seine Bereicherung an der Artenvielfalt im Agrarökosystem. Seit dem Einsatz von Herbiziden ist ein Rückgang der Arten zu verzeichnen. Aber auch die Feldbereinigung, eingeschränkte Fruchtfolgen, verbesserte Saatgutreinigung, verstärkte Düngung und vermehrte Brachlegung extensiv genutzter Standorte tragen zur Abnahme bei (MAHN, 2002).

So werden einige Unkrautarten gefördert, wie z. B. *Apera spica venti* (Windhalm), *Avena fatua* (Flughafer) und *Galium aparine* (Klettenlabkraut) (siehe in Abbildung 2), andere werden verdrängt (MAHN, 2002)³.



Um dem entgegen zu wirken, zeigt MAHN (2002) verschiedene Projekte zum Schutz der Artendiversität auf. Ackerrandstreifenprogramme dienen z. B. dazu, dass die

Abbildung 2: *Galium aparine*

³ Abbildung 2 aus Klaußen/Freitag, 2004, S. 108

Beikrautgesellschaften wieder heterogener werden, da dort Pflanzenschutzmittel- oder Düngemittleinsatz untersagt ist. Forschungsarbeiten ergaben, dass die Unkrautvegetation auf ökologisch bewirtschafteten Flächen zwei- bis dreimal artenreicher ist, als auf konventionellen.

Das ist zu beachten, wenn man bedenkt, dass ca. 120 bis 140 Unkrautarten mittlerweile in Deutschland auf der Roten Liste stehen. Einige davon sind sogar gar nicht mehr zu finden oder nur noch ganz selten auf wenigen Standorten anzutreffen, wie z. B. *Adonis flammae* (Flammenadonisröschen), *Agrostemma githago* (Korn-Rade), *Galium parisiense* (Pariser Labkraut) oder auch *Thlaspi alliaceum* (Lauch-Hellerkraut).

Dagegen treten etwa 300 Arten der Ackerbegleitflora recht häufig in Mitteleuropa auf. Von diesen 300 gehören folgende Ungräser und Unkräuter in der nachfolgenden Tabelle zu den relevantesten:⁴

Tabelle 2: Relevante Unkräuter und Ungräser in Mitteleuropa

Ungräser		Unkräuter	
Gemeine Quecke	<i>Agropyron repens</i>	Gemeines Hirtentäschel	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
Acker-Fuchsschwanz	<i>Alopecurus myosuroides</i>	Kornblume	<i>Centaurea cyanus</i>
Gemeiner Windhalm	<i>Apera spica-venti</i>	Weißer Gänsefuß	<i>Chenopodium album</i>
Flug-Hafer	<i>Avena fatua</i>	Acker-Kratzdistel	<i>Cirsium arvense</i>
Taube Trespe	<i>Bromus sterilis</i>	Acker-Winde	<i>Convolvulus arvense</i>
Einjähriges Rispengras	<i>Poa annua</i>	Gemeiner Windenknöterich	<i>Fallopia convolvulus</i>

⁴ Tabelle 2 aus Hallmann et al., 2007, S. 168

Schadhirse-Arten	<i>Echinochloa subsp., Setaria subsp., Digitaria subsp., Panicum subsp.</i>	Franzosenkraut-Arten	<i>Galinsoga subsp.</i>
		Kletten-Labkraut	<i>Galium aparine</i>
		Taubnessel-Arten	<i>Lamium subsp.</i>
		Echte Kamille	<i>Matricaria chamomilla</i>
		Einjähriges Bingelkraut	<i>Mercurialis annua</i>
		Acker-Vergissmeinnicht	<i>Myosotis arvensis</i>
		Vogel-Knöterich	<i>Polygonum aviculare</i>
		Ampfer-Knöterich	<i>Polygonum lapathifolium</i>
		Floh-Knöterich	<i>Polygonum persicaria</i>
		Acker-Hahnenfuß	<i>Ranunculus arvensis</i>
		Hederich	<i>Raphanus raphanistrum</i>
		Gemeines Kreuzkraut	<i>Senecio vulgaris</i>
		Acker-Senf	<i>Sinapis arvensis</i>

Durch diese Beschränkung der Unkräuter besteht die Gefahr, dass nicht nur die Artenvielfalt der Flora zurückgeht, sondern auch die der Fauna. Insekten z. B. brauchen bestimmte Pflanzen als Lebensraum und Nahrungsquelle. Die Segetalflora dient also nicht nur ökologischen Zwecken, wie Förderung der Nützlinge oder als Bienenweide, sondern es sind auch ästhetische Faktoren, die berücksichtigt werden müssen, wenn es um den Erhalt der Ackerbegleitflora geht (HALLMANN, 2007). So wäre ein Spaziergang, bei dem nicht nur die Äcker sondern auch die Randstreifen sich langsam zu Monokulturen entwickeln, weniger abwechslungsreich, als an bunt blühenden Wiesen vorbei zu kommen. Manche Unkrautarten dienen sogar als Arzneipflanzen, wie z. B. *Matricaria chamomilla* (Echte Kamille) oder

Centaurea cyanus (Kornblume) (DIEPEBROCK et al., 2005).

Des Weiteren reduziert Unkrautbewuchs die Gefahr der Bodenerosion, der Bodenverschlammung, der Evaporation, der Auswaschung von wichtigen Nährstoffen und des Übergreifens von Schädlingen auf das frisch auflaufende Saatgut.

Somit trägt das „Un“kraut auch zur ökologischen Stabilität bei. Es unterstützt nämlich die Selbstregulation in den anthropologisch beeinflussten Agrarökosystemen (DIERAUER/STÖPPLER-ZIMMER, 1994).

Allerdings muss dabei beachtet werden, dass dieser Teil der Herbologie noch nicht ausreichend erforscht ist und es auch sicher eine gewisse Gradwanderung ist, sich zwischen Nutzen und Schaden der Unkräuter zu bewegen. Denn es steht außer Frage, dass Unkräuter ab einer gewissen Populationsdichte einen Schaden für die angebauten Kulturpflanzen darstellen.

Negative Unkrautwirkungen

Dass Unkraut Schaden verursacht, ist schon in seiner Definition festgelegt. Bei ZWERGER (2002) heißt es „dort wo sie wachsen, verursachen Unkräuter mehr Schaden als Nutzen“ (ZWERGER, 2002, S. 11). Davon betroffen sind die verschiedensten Bereiche in die der Mensch eingegriffen hat oder immer noch eingreift. ZWERGER (1997) stellt fest, dass der Funktionswert von „Ackerflächen, Grünland, stillgelegten Flächen, forstwirtschaftlich genutzten Flächen, [...] Wasserflächen, Rasenflächen aller Art, befestigte[n] Böschungen oder gar geschützte[n] Flächen“ (ZWERGER, 1997, S.28) durch die Unkräuter gemindert wird. Wie beeinträchtigen sie nun die Flächen, auf denen die „Wildkräuter“ „Unkräuter“ genannt werden?

Unkräuter rufen vor allem indirekte Schadwirkungen hervor, weil sie mit den Kulturpflanzen um Ressourcen konkurrieren. Diese Wachstumsfaktoren sind äußerst wichtig für die Nutzpflanze, um den gewünschten Ertrag zu produzieren. Von der Konkurrenzkraft der verschiedenen Arten und den Bodenvoraussetzungen ist es abhängig, wer diese interspezifische Konkurrenz dominiert (HALLMANN et al., 2007).

So schaffen es die genetisch vielfältigen Unkräuter meistens in den Monokulturen der

angebauten Nutzpflanzen sich schneller zu etablieren und dadurch den Kulturpflanzen den Standort streitig zu machen. Später ergibt sich dann aus der Konkurrenz um den Standort, ein Wettkampf um den Faktor Licht. Wasser und Nährstoffe spielen auch eine Rolle. Hinsichtlich Konkurrenz dominiert allerdings in unseren mitteleuropäischen Regionen eher das Licht. Wasser und Nährstoffe sind hier nicht so maßgeblich, da sie in aller Regel ausreichend vorhanden sind.

Lichtkonkurrenz ist ein „Kampf“ um die Antriebskraft der Photosynthese mit der die Pflanze ihr Wachstum gewährleistet. Stärker in diesem Wettstreit ist jene Pflanze, die schneller an ihrem Standort in die Höhe wächst, die einen möglichst hohen Blattflächenindex erreicht und außerdem eine optimale Blattstellung einnimmt. Die Ressource Wasser wird je nach Durchwurzelung des Bodens und Fähigkeit der Pflanze es aufzunehmen, unter den gegebenen Klimabedingungen wie auch den Bodeneigenschaften, für das jeweilige Individuum zu einem begrenzenden Faktor seines Wachstums. Die Nährstoffaufnahme steht ganz eng im Zusammenhang mit der Wasseraufnahme, denn nur in Verbindung mit Wasser werden die vorhandenen Nährstoffe auf verschiedene Art und Weise in die Pflanze verbracht. Das bedeutet, dass auch hier der durchwurzelte Raum einschränkend für die Nährstoffaufnahme ist, sowie die Fähigkeit der Pflanze, diese wirksam umzusetzen, entscheidend für ihre Konkurrenzfähigkeit ist. Solange also die Bereitstellung und die Verfügbarkeit der Nährstoffe garantiert sind, beruht die Konkurrenzfähigkeit von Pflanzen hinsichtlich der Nährstoffe nur auf das Wurzelwachstum und der Aneignungs- und Nutzungsgabe der Pflanze (HALLMANN et al., 2007).

Durch diese indirekte Wirkung kann es je nach Unkrautbesatz zu hohen Ertragseinbußen kommen.

Außerdem können Erntebehinderung und Beeinträchtigung der Qualität der Ernteprodukte zu weiteren Verlusten führen. Wenn z. B. rankende, kletternde oder windende Unkräuter den Druschvorgang behindern, weil sie sich in der Haspel verheddern, muss die Arbeit ständig unterbrochen werden, um die Haspel wieder frei zu bekommen. Des Weiteren kann durch diese windenden Unkräuter auch die Dreschtrummel blockiert werden. Dies hat wirtschaftliche Schäden zur Folge, da sich die Arbeitszeit verlängert und Reparaturkosten entstehen. Weiterhin können mitgedroschene Unkrautsamen oder auch vegetative Pflanzenteile das Erntegut verunreinigen. Dadurch entstehen Qualitätsminderung oder

zusätzliche Kosten, durch Reinigung und/oder Trocknung (DIEPENBROCK et al., 2005).

Als direkten Schaden können rankende und windende Unkräuter auch die Nutzpflanzen im Wachstum behindern (HALLMANN et al., 2007).

Überdies wird eine weitere direkte Schädigung derzeit erforscht – die Allelopathie. Hierbei handelt es sich um die Fähigkeit von Pflanzen über die Wurzel oder den Spross biochemische Verbindungen abzugeben, die meistens für andere Pflanzen phytotoxisch sind (HALLMANN et al., 2007).



Abbildung 3: *Colchicum autumnale*

Ein weiterer Aspekt, der zum Schaden verursachenden Bild der Unkräuter dazu gehört, ist die Möglichkeit, dass sie als Wirte oder Zwischenwirte von Krankheiten oder Schadinsekten der Kulturpflanzen fungieren und dadurch den

Ferner können durch Verunkrautung mit Giftpflanzen die geernteten Güter von Acker- und Wirtschaftsgrünlandflächen verunreinigt sein und daher Vergiftungserscheinungen beim Menschen und vor allem aber beim Tier hervorrufen. Wichtige giftige Unkräuter sind *Equisetum palustre* (Sumpfschachtelhalme), *Colchicum autumnale* (Herbstzeitlose) (siehe Abb. 3), *Ranunculus* subsp. (Hahnenfuß-Arten), *Solanum nigrum* (Schwarzer Nachtschatten) (siehe Abb. 4) und andere *Solanum* subsp. (Nachtschattengewächse), sowie *Mercurialis annua* (Bingelkraut) und weitere *Euphorbia* subsp. (Wolfsmilcharten) (DIEPENBROCK et al., 2005) (HOCK et al.,

1995).⁵



Abbildung 4: *Solanum nigrum*

⁵ Abbildung 3 aus Stichmann, 1996, Teil 2 S.145

Abbildung 4 aus Stichmann, 1996, Teil 2 S.263

Krankheits- bzw. Schädlingsdruck auf die Nutzpflanzen erhöhen. Gerade innerhalb der gleichen Familien, denen sowohl Unkräuter als auch Kulturpflanzen angehören, ist das Potenzial Krankheiten und Schädlinge durch die Unkräuter zu fördern gesteigert.

Ein letzter Punkt ist die Gewährleistung von Sicherheit im Schienenverkehr. Dort müssen Gleise und Weichen frei von Unkraut bleiben, um eine Gefährdung des Verkehrs zu vermeiden (HOCK et al. 1995).

Eine besondere Schadwirkung ist die der parasitischen Unkräuter. Diese hauptsächlich in wärmeren Gebieten vorkommenden Schmarotzerpflanzen wirken direkt mit ihren Haustorien auf den Organismus ein und entziehen ihm Wasser und Nährstoffe. Ein bekanntes Unkraut, das solche Fähigkeiten besitzt, und auf das später noch näher eingegangen wird, ist der Sommerwurz (*Orobranche subsp.*), ein anderes Beispiel, das in unseren Regionen auftritt, sind Mistel-Arten (*Viscum subsp.*) (siehe Abb. 5), die verschiedene Bäume parasitieren (HALLMANN et al., 2007).⁶



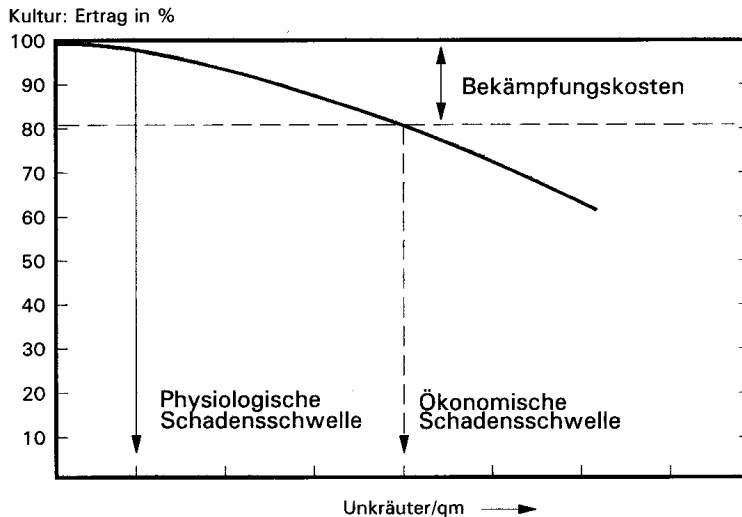
Abbildung 5: *Viscum album*

Es gibt verschiedene Auffassungen wann Unkrautpopulationen bekämpft werden sollen und müssen. Die bekannteste Methode ist die des Schadschwellenprinzips. Hierbei unterscheidet man die ökonomische von der physiologischen Schadensschwelle.

Die physiologische oder biologische Schadschwelle wird als der Punkt bezeichnet, ab dem bei einer bestimmten Menge von Unkräutern/m² ein messbarer Ertragsverlust festgestellt werden

⁶ Abbildung 5 aus Stichmann, 1996, Teil 2 S.55

kann. Die ökonomische oder auch wirtschaftliche Schadensschwelle liegt, wie in der Abb. 6 veranschaulicht, dort, wo die Unkräuter genau so viel Schaden, also Ertragsminderung und damit Erlösausfall aktuell verursachen, wie die Kosten sie zu bekämpfen betragen würden (HALLMANN et al., 2007) (HOCK et al., 1995).⁷ D. h., dass es sich ab diesen Zeitpunkt als



wirtschaftlich erweist, die Schadquelle zu beseitigen oder zu reduzieren.

Bei der Höhe der Schadensschwellen spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. So ist die Unkrautart und ihr Standort wichtig, aber auch in welchen Nutzpflanzenbeständen sie vorkommen, welche Erträge die

Abbildung 6: Ermittlung der Schadensschwellen

Kultur liefern könnte, wie viel der Landwirt auf dem Markt dafür erhält, aber auch wie groß die Bekämpfungskosten wären.

Neben dem Schadensschwellenprinzip gibt es noch weitere Möglichkeiten „gezielten Pflanzenschutz“ zu betreiben. So gibt es unterschiedliche Entscheidungshilfen, wie z. B. die Expertensysteme oder auch die Negativprognosen, für den Landwirt. Prognosemodelle (Simulationsmodelle) werden allerdings in der Praxis für Unkräuter laut HALLMANN et al. (2007) noch nicht genutzt.

Außerdem sollte überlegt werden, welches Bekämpfungsmittel ausgesucht und wie es angewandt wird, um die ausgewählte Methode bestmöglich zu nutzen.

Da in der vorliegenden Arbeit die biologische Unkrautregulierung behandelt werden soll, wird im Folgenden nur kurz auf die anderen Möglichkeiten eingegangen.

So unterscheidet man zwischen den indirekten und direkten Maßnahmen. Zu den indirekten Vorgehensweisen gehören verschiedene Anbaumaßnahmen wie z. B. die Fruchtfolge, die

⁷ Abbildung 6 aus Hock et al. (1995), S. 14

Bodenbearbeitung und die Düngung. Dies sollte allerdings parallel zu den direkten Bekämpfungsstrategien erfolgen und diese unterstützen.

Zu den direkten Maßnahmen zählen die mechanischen, die thermischen, die chemischen und die biologischen Verfahren.

Die mechanischen Arbeitsweisen zeichnen sich durch Entfernen oder aber hauptsächlich durch Verschütten der Unkräuter aus. Dies kann durch Jäten, Pflügen, Grubbern, Striegeln, Hacken u. a. erfolgen.

Die thermischen Verfahrensweisen werden durch die Abflammtchnik vertreten. Dabei erhitzt man die Unkräuter, um damit die Denaturierung des Eiweißes in der Pflanze und dadurch deren Absterben zu erreichen. Weitere thermische Bekämpfungsmöglichkeiten wären das Infrarotverfahren, Mikrowellen und Elektrizität, Wärme- und Kältebehandlung sowie die Solarisation (VERSCHWELE/ZWERGER, 2002).

Die dritte Methode ist die weit verbreitete chemische, bei der durch verschiedenste Chemikalien lebenswichtige Wirkmechanismen in der Pflanze gestört werden. Je nach Verbindung können die Photosynthese, das Meristemwachstum oder der Atemstoffwechsel gehemmt oder die Photosynthese und der Nukleinsäurestoffwechsel beeinträchtigt werden.

Die biologische Unkrautregulierung im engeren Sinne beinhaltet nicht wie manchmal angenommen die indirekten Maßnahmen, wie z. B. die Fruchtfolge etc., mikrobielle Toxine, allelopathische Effekte von Kulturpflanzen und Untersaaten oder auch Herbizid-resistente Kulturpflanzen (MÜLLER-SCHÄRER, 2002). Sondern sie wird von MÜLLER-SCHÄRER (2002) als „Einsatz von natürlichen Feinden zur Reduktion einer Unkrautpopulation verstanden, mit dem Ziel, diese unter die ökonomische und/oder ökologische Schadensschwelle zu drücken“ (MÜLLER-SCHÄRER, 2002, S.118) definiert.

3.2 Geschichte der biologischen Unkrautregulierung

In der Natur liegt die Idee der biologischen Bekämpfung begründet. Das natürliche Populationswachstum liefert das Prinzip dieser Methode, hierbei hängt die jeweilige Individuenzahl einer Population von verschiedenen Faktoren ab, der Geburtenrate (bei Pflanzen: Keimrate), der Sterberate, der Umweltkapazität und dem Umweltwiderstand, wenn unbegrenztes Wachstum ausgeschlossen wird.

In einem Beispiel zwischen einer Beute- und einer Räuberpopulation sieht das dann folgendermaßen aus: Je höher die Geburten- bzw. Keimrate der Beute ist, desto mehr steigt die Kontakthäufigkeit zwischen Räuber und Beute. Je mehr Beute die Räuber bekommen, desto mehr wächst ihre Population durch eine erhöhte Geburtenrate, desto öfter kommt es zum Kontakt zwischen Räuber und Beute und so erhöht sich auch wiederum die Sterberate der Beute. Dadurch sinkt die Geburten- bzw. Keimrate der Beute und die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass sich Räuber und Beute treffen. Die Räuber bekommen weniger Nahrung, die Geburtenrate sinkt, es kommt weniger zum Kontakt zwischen Räuber und Beute. Die Beutepopulation erholt sich usw. ...

Natürlich ist dies ein stark schematisierter Räuber-Beute-Kreislauf, aber es spiegelt die grundsätzlichen Zusammenhänge wider. Es spielen weitere Faktoren eine Rolle, nicht nur die interspezifischen, wie oben genannt, sondern auch die intraspezifischen, wie z. B. Stressfaktoren durch Nahrung, Partner und Lebensraum.

Das Ganze soll zeigen, dass die Wurzeln der biologischen Bekämpfung in der Natur liegen und dass diese die ersten Beispiele zur natürlichen Regulation lieferten. Der Mensch schaute sie sich einfach ab.

Außerdem musste der Mensch nur deshalb eingreifen, weil er vorher das Ökosystem in irgendeiner Form bewusst oder unbewusst gestört hat. Bei der biologischen Unkrautbekämpfung wird demnach die Sterberate der „Beute“ erhöht, indem die Population der Feinde künstlich erhöht wird, oder überhaupt etabliert wird.

Das allererste dokumentierte Beispiel für biologische Regulierung von Schadorganismen ist laut DEBACH und ROSEN (1991) in China um 324 v. Chr. zu finden. Schon damals nutzten

die Chinesen die Weberameise *Oecophylla smaragdina*, um ihre Zitrusbäume vor Raupen und großen Käfern zu schützen. Um die Ameisen gezielt auf ihre Bäume zu führen, bauten sie Brücken aus Bambusrohren und verbanden die Bäume so, dass die Ameisen von einem Baum zum anderen laufen konnten.

Allerdings sollte noch einige Zeit vergehen, bis die Menschen auf den Gedanken kamen auch Unkraut biologisch zu regulieren. Denn das oben genannte Schema lässt sich natürlich nicht nur auf Beziehungen zwischen Tier und Tier, sondern auch zwischen Pflanze und Tier anwenden.

Wie DEBACH und ROSEN (1991) berichten, hatte wohl der amerikanische Entomologe Asa Fitch 1855 die erste Idee dazu. Er beobachtete, dass *Linaria vulgaris* (Gewöhnliches Leinkraut), ein Unkraut aus Europa, keinen natürlichen Fraßfeind in Amerika hatte und sich deshalb stark verbreitete. Er nahm an, dass durch einen Import solcher Fraßfeinde das Problem vielleicht zu lösen gewesen wäre (DEBACH und ROSEN, 1991).

Während es bei Asa Fitch nur bei der Idee blieb, wurden die ersten Versuche laut DEBACH und ROSEN (1991) 1863 in Indien ausgeführt. Eine fälschlicherweise eingeführte Schildlausart *Dactylopius ceylonicus*, brasilianischen Ursprungs, wurde für *Dactylopius coccus* gehalten, die zur Herstellung von purpurrotem Farbstoff benötigt wird. *Dactylopius ceylonicus* entwickelte sich auf der gegebenen Wirtspflanze *Opuntia ficus-indica* (siehe Abb.7) schlecht (ROSENTHAL et al., 1984).⁸ Als sie aber auf die Feigenkakteen *Opuntia vulgaris* in Nordindien übertragen wurde, dezimierte sie diese stark, und es wurden daraufhin Teile der Opuntien mit den Schildläusen nach Südindien verbracht, wo sie auch hier das Unkraut reduzierten. Zwei Jahre später wurden diese Schildläuse nach Sri Lanka exportiert, dort beherrschten sie innerhalb weniger Jahre diese wuchernde Kaktusart und konnten den Bestand minimieren. Wie JULIEN (1982) u. a.

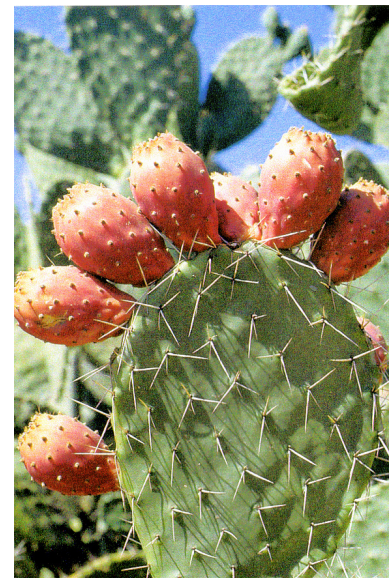


Abbildung 7: *Opuntia ficus-indica*

⁸ Abbildung 7 aus Bärtels, 2002, S. 309

aufliest erbrachte *Dactylopius ceylonicus* auch in Südafrika ab 1913 den gewünschten Effekt bei *Opuntia vulgaris*. In Australien hatten sich seit ca. 1840 zwei andere, aber nah verwandte Neophyten stark ausgebreitet, *Opuntia inermis* und *Opuntia stricta*. Nach DEBACH und ROSEN (1991) wuchs zwischen 1900 und 1925 die Kaktuspopulation auf ca. 60 Millionen Morgen an, wobei 30 Millionen Morgen davon so dicht bewachsen waren, dass das Land völlig unbrauchbar war. Das Verbreitungsgebiet lag zu 80 % in Queensland und zu 20 % in New South Wales. DEBACH und ROSEN (1991) schildern, dass 1914 Henry Tyron, Mitglied der Queensland Prickly Pear (Feigenkaktus) Travelling Commission, schon versuchte, Larven des Kleinschmetterlings *Cactoblastis cactorum* (Kaktusmotte) von



Abbildung 8:

oben: Opuntienblatt durch Larven von *C. cactorum* zerstört;

unten: Nahaufnahme der Raupen

Argentinien nach Australien zu bringen, scheiterte aber wohl an der Weiterentwicklung der Larven. Sechs Jahre später wurde ein erneuter Versuch gestartet nach Fraßfeinden der Opuntien in ganz Amerika zu suchen. Denn die chemische und mechanische Bekämpfung der Kakteen wäre zu teuer gewesen und hätte den Wert des Landes überstiegen. Man hatte die Suche auf die USA, Mexiko und Argentinien eingeschränkt und die Entomologen fanden auf dieser Expedition insgesamt 150 Opuntien fressende Arten. 50 davon wurden nach Australien eingeführt, von denen sich zwölf etablierten. Von diesen zwölf brachten die minierenden Raupen des Kleinschmetterlings *Cactoblastis cactorum* (Kaktusmotte), die in Abbildung 8 zu sehen sind, den erwünschten, durchschlagenden Erfolg.⁹ Deshalb wurden im Januar 1925 3000 Larven dieser Spezies aus Argentinien importiert. Aus diesen 3000 Larven entwickelten sich insgesamt 1070 Motten, die über

⁹ Abbildung 8: aus DeBach und Rosen, 1991, S. 86

100000 Eier legten. Nach der Vermehrung wurden im Frühjahr des Jahres 1927 über zehn Millionen Eier in den betroffenen Gebieten ausgesetzt.

Zwischen 1930 und 1932 kollabierte die Feigenkaktuspopulation, sodass auch *Cactoblastis cactorum* (Kaktusmotte) davon betroffen war. Dadurch wiederum erholten sich die Opuntien in den Jahren 1932 und 1933, allerdings nicht lange, denn zwischen 1933 und 1935 wurde der Pflanzenbestand endgültig durch *Cactoblastis cactorum* (Kaktusmotte) zerstört (siehe Abb. 9).¹⁰ Dabei unterstützten Fäulnisbakterien, von den Fraßschäden ausgehend, den Prozess des Absterbens der Opuntien (KOCH, 1970) (FRANZ und KRIEG, 1976) (KRIEG und FRANZ, 1989). Seitdem ist dieses Unkraut in Australien unter Kontrolle und stellt keine Gefahr mehr dar. *Cactoblastis cactorum* (Kaktusmotte) wurde nicht nur in Australien „ausgesetzt“, sondern auch in anderen Ländern, wo verschiedene Opuntien ein Unkrautproblem verursachten. So z. B. 1933 in Südafrika, 1950 auf Hawaii und Mauritius, 1957 auf St. Kitts und Nevis (Kleine Antillen), 1960 auf Antigua und Montserrat (Kleine Antillen), vor 1963 auf den Jungferninseln (Kleine Antillen) und 1965 in Kenia, wo sich allerdings *C. cactorum* nicht etablierte (JULIEN, 1982).

Ein weiteres frühes Beispiel für die biologische Unkrautbekämpfung ist die Regulierung des Wandelröschens *Lantana camara* ab 1902 auf Hawaii. Das Wandelröschchen gehört zu den *Verbenaceae*, den Eisenkrautgewächsen und kommt ursprünglich aus dem subtropischen und tropischen Zentral- und



Abbildung 9: Vergleich einer befallenen Fläche, vor und nach dem Einsatz von *Cactoblastis cactorum*

¹⁰ Abbildung 9 aus DeBach und Rosen, 1991, S. 170

Südamerika. Diese Strauchart ist mehrjährig, wird ein bis zwei Meter hoch und ist an den Ästen mit kurzen Stacheln oder Borsten besetzt. Seine charakteristischen Blüten ändern von innen nach außen mit der Zeit die Farbe von gelb-orange zu rot-violett. Blätter und Samen sind für Viehbestände giftig. Das Wandelröschen wurde als Zierpflanze Mitte bis Ende des 19. Jahrhunderts nach Hawaii importiert (siehe Abb. 10), verbreitete sich dann aber unkontrolliert.¹¹ Albert Koebele, ein Entomologe, reiste aufgrund der Problematik nach Mexiko, um dort im Ursprungsgebiet von *Lantana camara* nach natürlichen Feinden zu suchen. Er sammelte 18 (laut ROSENTHAL et al. 1984) bzw. 23 (laut WATSON 1993) Arten und verbrachte sie über den Seeweg nach Hawaii, wo



Abbildung 10: *Lantana camara*

allerdings nicht alle Arten lebend eintrafen. Von den übrig gebliebenen Antagonisten fassten acht auf Hawaii Fuß, erbrachten aber nicht den gewünschten Erfolg, sondern dezimierten die Population nur geringfügig.

Ab 1950 wurde das Projekt erneut aufgegriffen und durch den schnellen Transport mit Flugzeugen konnte seitdem das Wandelröschen wirksam durch Kombination verschiedener Arten bekämpft werden. In den trockenen Gebieten Hawaiis setzte sich *Teleonemia scrupulosa* (Hemiptera), *Catabena esula* (Lepidoptera), *Hypena strigata* (Lepidoptera) und *Syngamia haemorrhoidalis* (Lepidoptera) durch. In den feuchteren Regionen der Insel unterstützten *Plagiohammus spinipennis* (Coleoptera), *Octotoma scabripennis* (Coleoptera) und *Uroplata girandi* (Coleoptera) die eben genannten Insekten (ROSENTHAL et al., 1984). Laut WATSON (1993) etablierten sich die folgenden Arten *Cremastobombycia lantanella* (Lepidoptera), *Epinotia lantana* (zu den Wicklern gehörig) (Lepidoptera), *Eutreta xanthochaeta* (Diptera), *Lantanophaga pusillidactyla* (Lepidoptera), *Neogalea sunia* (Lepidoptera), *Octotoma scabripennis*, *Salbia haemorrhoidalis* (= *Syngamia*

¹¹ Abbildung 10 aus http://de.wikipedia.org/wiki/Lantana_camara

haemorrhoidalis), *Strymon (Thecia) bazochii subsp. gundlachianus* (zu den Zipfelfaltern gehörig) (*Lepidoptera*), *Teleonemia scrupulosa*, *Uroplata girardi* jeweils am besten in trockenen Regionen und dezimierten durch ihren kombinierten Einsatz das Wandelröschen. *Strymon (Thecia) echion* verhalf auch bei der Reduzierung, allerdings fehlen hier Hinweise auf das bevorzugte Klima; *Leptobyrsa decora* ist sowohl in trockenen als auch feuchten Regionen verbreitet und aktiv, *Hypena strigata* am erfolgreichsten in Regionen mit hohem Niederschlag und *Plagiohammus spinipennis* hilft nur in Regengebieten den anderen Insekten.

Laut JULIEN (1982) führt in Gebieten (unter 1270 mm Niederschlag) die Kombination von *Epinotia lantana*, *Eutreta xanthochaeta*, *Lantanophaga pusillidactyla*, *Leptobyrsa decora* (*Hemiptera*), *Neogalea esula* (= *Catabena esula*), *Octotoma scabripennis*, *Ophiomyia lantanae* (*Diptera*), *Plagiohammus scinipennis*, *Salbia haemorrhoidalis*, *Teleonemia scrupulosa* und *Uroplata girardi* zum gewünschten Erfolg.

Die Autoren stimmen größtenteils in der Nennung der wirksamen Arten überein, allerdings widersprechen sie sich in den Angaben über Zuteilung der verschiedenen Arten zu den klimatischen Voraussetzungen. So wird *Plagiohammus spinipennis* bei JULIEN (1982) zu den Arten gezählt, die in trockenen Regionen Erfolg versprechend sind, bei WATSON (1993) und ROSENTHAL et al. (1984) kommt diese Spezies in den niederschlagsreichen Gebieten vor. Vielleicht liegt dies an der ungenauen Definition der Begriffe „trockene Regionen“ und „niederschlagsreiche Gebiete“, die von den Autoren verschieden aufgefasst werden.

Trotz dieser Ungereimtheiten in der Literatur gelang es dem Zusammenwirken der unterschiedlichen Insekten in der Praxis durchaus den Zierstrauch *Lantana camara* auf Hawaii zu dezimieren und zu kontrollieren.

Ein letztes Beispiel aus Amerika schließt den Exkurs in die Geschichte der biologischen Unkrautregulierung ab:

Seit den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts kann mit Hilfe des Blattkäfers *Chrysolina quadrigemina* das in Europa heimische Tüpfel-Johanniskraut *Hypericum perforatum* in Amerika biologisch reguliert werden. So beschreibt ANDERSON (1983²), dass es um 1800 im Osten der USA eingeführt wurde, und ein Jahrhundert später wird zum ersten Mal von der

massenhaften Verbreitung des Johanniskrautes am Klamath River in Nordkalifornien berichtet. Auf Weideland ist *Hypericum perforatum* (siehe Abb. 11) deshalb so gefürchtet, da seine Aufnahme lichtempfindliche weiße Stellen auf der Haut von Weidetieren verursacht, sowie Appetitlosigkeit und Kümmerwuchs.¹² 1945/46 wurde *Chrysolina quadrigemina* nach Kalifornien geholt und freigelassen. Durch seine hohe Wirtsspezifität arbeitet er sehr effektiv, so dass seit 1952 seine Verbreitung weite Teile Nordkaliforniens umfasste und das Johanniskraut kontrollierbar wurde.

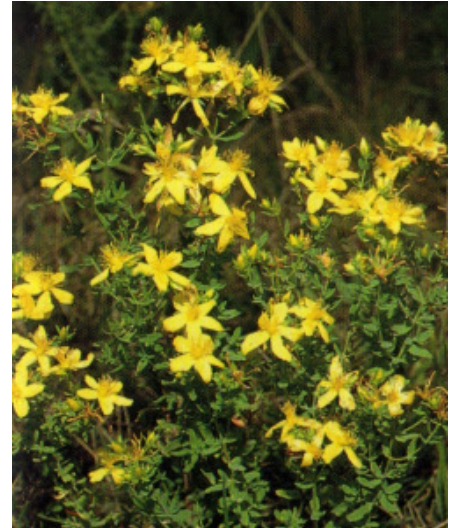


Abbildung 11: *Hypericum perforatum*

¹² Abbildung 11 aus Stichmann, 1996, Teil 2, S. 189

3.3 Methoden der biologischen Unkrautregulierung

Die Methoden der biologischen Unkrautregulierung umfassen vier verschiedene Verfahren. Dazu gehören nach der Einteilung von MÜLLER-SCHÄRER (2002) die Bekämpfung mit polyphagen Herbivoren, die klassische Methode, die Bioherbizide und die System-Management-Methode. Die drei letzt genannten zählen zu den biologischen Methoden im engeren Sinne, da sich die Kontrollorganismen bei diesen Vorgehensweisen durch Wirtsspezifität auszeichnen.

3.3.1 Bekämpfung mit polyphagen Herbivoren

Eine Möglichkeit Unkraut biologisch zu bekämpfen, ist der Einsatz von polyphagen Herbivoren. Das sind Pflanzen fressende Tiere, die sich nicht auf eine Pflanzenart spezialisiert haben, sondern viele verschiedene als Nahrung aufnehmen. Hierbei wird häufig nur an landwirtschaftliche Nutztiere, wie Rinder und Schafe gedacht, aber auch Fische werden zur Unkrautbekämpfung eingesetzt.

Die einfachste Form sind Nutztiere, die die verunkrauteten Flächen beweiden. Dabei bringt der richtige Zeitpunkt der Beweidung Vorteile für die erwünschte Vegetation beim Konkurrenzkampf gegenüber den Unkräutern. Das Abfressen von Blütenköpfen und Samen reduziert die Vermehrung der Unkräuter. Allerdings kann es sein, dass das Beweiden der Flächen die Pflanzen erst einmal im Wachstum fördert, aber durch wiederholtes Abgrasen des betroffenen Terrains können die Unkräuter erschöpft werden. Unkontrolliertes Beweiden durch Nutztiere kann zur Überweidung führen, wodurch die Grasnarbe und der Boden erheblich geschädigt werden. Das ist dann die ideale Voraussetzung für das Aufkommen neuer Unkrautprobleme. Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass zwischen der Beweidung von unkrautreichen und unkrautfreien Beständen die Tiere eine Pause von ca. vier bis neun Tage einlegen, um die Verbreitung von Unkrautsamen zu vermeiden (TU et al., 2002).

Für diese Art der Unkrautregulierung eignen sich vor allem Schafe und Ziegen, aber auch Rinder, Pferde und Gänse werden für diesen Zweck genutzt. Sogar Enten dienen unter anderem in Japan zur Unkrautdezimierung in Reisfeldern. So stellte ein Forschungsteam um TOJO et al. (2007) an der Tokyo University of Agriculture and Technology fest,

dass durch die alte japanische Tradition, das Freilassen junger Aigamo-Enten in Reisfeldern, zumindest das Unkraut *Monochoria vaginalis* kontrolliert werden konnte. *Echinochloa oryzicola* (eine Hirseart) konnte im jungen Stadium noch von den Enten aufgepickt werden, ältere Pflanzen nahmen jedoch später überhand. Auch in anderen asiatischen Ländern wurde diese Methode des kombinierten Reisanbaus mit Entenhaltung wieder eingeführt. So beschreibt CHANG (2004), dass die Enten im ökologischen „Yuki-Reisanbau“ eine bewährte Methode für Unkrautkontrolle im Reisfeld seien, da sie durch Fraß und Tritt die meisten Unkräuter zerstörten. Nur einige Gräserarten müssen laut CHANG (2004) durch Jäten entfernt werden, da sie zu hart für die Enten sind. Vor dem Rispenchieben der Reispflanze werden die Enten aus dem Feld genommen, um die Beschädigung der Rispe zu vermeiden. Die Enten werden für den Eigenbedarf oder, wenn möglich, zur Vermarktung geschlachtet.

Auch Gänse werden zur Unkrautvertilgung gehalten. Vor der Einführung der Herbizide waren Gänse in Amerika eine oft genutzte Methode, die heutzutage wieder entdeckt wird. Hauptsächlich werden Gänse in Baumwollfeldern, Erdbeer- und Pfefferminzfeldern sowie in Baumschulen und Obstgärten genutzt (GEIGER und BIELLIER, 2007). Aber auch im Anbau von Wein, Spargel, Hopfen, Himbeeren, Blaubeeren, Tabak, Zuckerrübe, Knoblauch, Zwiebeln, Tomaten, Kartoffeln und Möhren werden sie als „Unkrautbekämpfungsmittel“ eingesetzt. In Afrika, wo sie auch diesem Zweck dienen, sind vorwiegend Kaffee-, Bananen-, Ananas- und Kiwiplantagen ihr Aufgabengebiet (HUGO, 1995).

Gänse ernähren sich vor allem von Gräsern, und helfen dadurch, wie HUGO (1995) berichtet, bei der Bekämpfung von *Sorghum halepense* (Wilde Mohrenhirse), *Cyperus rotundus* (Knolliges Zypergras) und von *Cynodon dactylon* (Gewöhnliches Hundszahngras), die bekämpfungswürdige Unkrautarten in den USA darstellen. In Getreideflächen ist daher von dem Einsatz eher abzuraten, da Getreide den Poaceaeen zugehörig ist und damit auch dem bevorzugten Nahrungsfeld der Gänse. Großblättrige Kräuter fressen die Gänse nur, wenn sie hungrig sind und nichts anderes mehr zu finden ist. Durch den Aufbau von Tränkestellen an verschiedenen Orten kann man die Gänse gezielt durch die Reihen führen oder sie in einem besonders verunkrauteten Bereich des Feldes konzentrieren. Ergänzungsfutter sollte abends gegeben werden, Schutz vor Regen und räuberischen Tieren sollte gewährleistet sein (GEIGER und BIELLIER, 2007). Vor allem junge Gänse im Alter von sechs bis acht Wochen

werden auf die Flächen bei Saisonbeginn angesetzt, da sie agiler und leichter sind und sich hauptsächlich auf die Nahrungsaufnahme konzentrieren¹³.

Eine kurze Erwähnung soll hier auch das Schwein finden, das in der Lage ist, Flächen umzugraben und darin herumzuwühlen und dadurch perennierende Unkräuter, wie z. B. Ampfer, durch die Beschädigung der Wurzeln zu zerstören vermag¹⁴. Allerdings ist dieser Einsatz nur auf wenigen Flächen in der Praxis anwendbar.

Pferde sind am besten für den Rotationsweidegang geeignet, da sie sonst die Flächen überweiden und durch ihren Huftritt die Grasnarbe beschädigen. Pferde fressen vorwiegend mehrmals am Tag kleine Mengen von faserhaltigem Gras oder anderem ballaststoffreichen Material. Oft ist aber durch Beweidung mit Pferden ein Anstieg der Ampferpflanzen zu verzeichnen². Dies kommt dadurch, dass Pferde grundsätzlich selektiver weiden, als Rinder. Prinzipiell können sie aber auch invasive Ungräser kontrollieren (TU et al., 2001).

Rinder werden zur frühen Beweidung von Flächen genutzt. Da es aber viele unterschiedliche Rassen und Nutzungsrichtungen gibt, hängt das Weidebedürfnis von jedem individuellen Typ ab. So sind der Energiegehalt und die Verdaulichkeit der Pflanze zu beachten. Welche Pflanzenarten, welchen Alters, welcher Größe und wie diese gefressen werden, beruht auf den Eigenschaften ihrer Verdaulichkeit und dem Wissen, das sich die Tiere durch eigene Erfahrung oder dem von der Mutter Erlerntem angeeignet haben. Die bevorzugten Pflanzen sind Gräser und Kräuter, die mit Hilfe der Zunge gerupft werden. Sie meiden grobfaserige, harte Gräser und haarige, stachlige oder giftige Pflanzen¹⁴, wie z. B. *Euphorbia esula* (Scharfe Wolfsmilch). Rinder können also zur Reduktion invasiver Gräser beitragen, unerwünschte Pflanzen zertreten und zum Auflaufen von einheimischen Pflanzen verhelfen (TU et al., 2001).

Schafe dagegen werden seit den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts explizit für die Bekämpfung dieser Unkrautart eingesetzt. Die Scharfe Wolfsmilch ist zur Zeit in 26 Staaten der USA und sechs Provinzen Kanadas zu finden. In North Dakota wird das betroffene Stück

¹³ www.metzerfarms.com/weeder.htm

¹⁴ http://www.gardenorganic.org.uk/organicweeds/weed_management/show_wman.php?id=10

Land von vier bis acht Schafe pro Hektar befallener Fläche für vier Monate oder von 16 bis 32 Schafen für einen Monat beweidet (SEDIVEC et al. 1995).

In Montana Stillwater County verhinderten ca. 4300 Schafe auf ca. 7000 ha mit Scharfer Wolfsmilch bewachsenen Flächen von Mai bis Juli die Samenbildung¹⁵ (Montana State University). Diese Methode führt dazu, dass die Unkräuter an Dichte und Biomasse verlieren, allerdings nicht ausgerottet werden. Schafe reduzieren aber nicht nur die Populationen von *Euphorbia esula* (Scharfe Wolfsmilch), sondern auch die von *Centaurea maculosa* (Gefleckte Flockenblume), *Linaria subsp.* (Leinkrautartige) (siehe Abb. 12), *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel), *Chrysanthemum leucanthemum* (Rainfarn), *Acroptilon repens* (Federblume), *Pueraria lobata* (Kudzubohne) und andere.¹⁶ Die Vorteile der Schafe sind ihre Größe, ihre Sicherheit in schwerem Gelände und ihre einfaches Management. Allerdings müssen Schafe auf die verunkrauteten Stellen konzentriert werden, da sie normalerweise die Flächen uneinheitlich abweiden (TU et al., 2001).



2006 ergab eine Studie, dass Schafe in Safranfeldern im Iran zur Unkrautkontrolle eingesetzt werden können. Die Empfehlung von 400 Schafen pro Hektar für drei Tage führe zu einem akzeptablen Ergebnis, sodass auch die überirdische Biomasse des Safrans nicht signifikant dezimiert wurde (GHORBANI et al., 2007).

Abbildung 12: *Linaria vulgaris*

¹⁵ <http://www.montana.edu/cpa/news/nwview.php?article=300>

¹⁶ Abbildung 12 aus Stichmann, 1996 Teil 2 S.199

Schafe scheinen phytochemische Gifte neutralisieren zu können, denn sie vertragen nicht nur die Scharfe Wolfsmilch, sondern auch dreimal so viel Rittersporn (*Delphinium subsp.*)¹⁷ wie Rinder und kontrollieren zusammen mit *Tyria jacobaeae*



Raupe in Abb. 14 zu sehen ist, in Washington, Oregon und Nordkalifornien das für Pferde und Rinder giftige *Senecio jacobaea* (Jakobskreuzkraut)^{18, 19}.



Abbildung 13: *Tyria jacobaeae*

Abbildung 14: Raupen von *Tyria jacobaeae*

Außerdem halten Schafe die Vegetation in feuergefährdeten Gebieten kurz und schützen Siedlungen so vor dem Übergriff von z. B. Waldbränden. In Deutschland werden Schafe genutzt, um Kulturlandschaften zu erhalten. So wird mit Heidschnucken die Landschaft der Lüneburger Heide erhalten, die sonst zunehmend mit z. B. Wacholder verbuschen würde. Durch ihr breites Artenspektrum und das bodennahe Abfressen der Vegetation tragen sie in einigen Fällen dazu bei gegen das Unkraut anzukämpfen.

¹⁷ <http://www.sheep101.info/weedeaters.html>

¹⁸ Sheep and Noxious Weed Control (Informationsbroschüre der ASI American Sheep Industry Association), Centennial

¹⁹ Abbildung 13 aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Jakobskrautb%C3%A4r>

Abbildung 14 aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Jakobskrautb%C3%A4r>

Ein weiterer kleiner Wiederkäuer, der ein geeigneter biologischer „Unkrautvertilger“ ist, ist die Ziege. Ziegen sind gut an steiles, unebenes Gelände angepasst, bevorzugen widerstandsfähige, raue und durchaus holzige Pflanzen und lassen die erwünschten Gräser und Kräuter links liegen. Den Vorteil daraus ziehen die Rinder, die nach den Ziegen auf die dann „Gestrüpp“-freie Weide dürfen. Der Nachteil dessen ist, dass die Ziegen Fraßschäden an Bäumen verursachen, weil sie in einer Höhe von bis zu zwei Metern fressen können, wenn sie sich auf ihre Hinterbeine stellen. Außerdem ist es schwierig, Ziegen am gewünschten Ort festzuhalten, da die schlaun Tiere einen Weg finden ihrem wandernden Naturell



Abbildung 15: *Rosa multiflora*

Südosten der USA und breitet sich jedes Jahr um weitere 30000 ha aus. In Wäldern und auf Weideflächen entstehen dadurch erhebliche Verluste. Auf Versuchsflächen wurde getestet, wie sich die Beweidung mit Ziegen auf den Bewuchs ausübt. Hierbei wurde festgestellt, dass durch häufiges Abfressen von *Pueraria lobata* (Kudzubohne) es möglich sein könnte, die Bestände mit Hilfe der Ziegen unter

nachzukommen. Sie reduzieren u. a. *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel), *Centaurea subsp.* (Flockenblumen), *Tamarix subsp.* (Tamarisken), *Rosa multiflora* (Vielblütige Rose) (siehe Abb.15) und *Pueraria lobata* (Kudzubohne) (siehe Abb.16).²⁰ *Pueraria lobata* ist ein rankendes Gewächs, das ursprünglich aus Japan stammt. Es besiedelt mittlerweile 1,75 Mio. Hektar Land im



Abbildung 16: *Pueraria lobata*

Kontrolle zu bringen (COBLENTZ, 1997). Es wurden auch kombinierte Verfahren mit Rindern untersucht und in beiden Fällen, also Ziegen alleine und Ziegen mit Stieren, konnte

²⁰ Abbildung 15 aus http://de.wikipedia.org/wiki/Rosa_multiflora

Abbildung 16 aus Bärtels, 2002, S.219

ein Anstieg der erwünschten Pflanzen in der untersuchten Vegetation verzeichnet werden. Außerdem konnten die Ziegen *Rosa multiflora* (Vielblütige Rose) in dem Zeitraum von vier Jahren auf diesem Gelände praktisch eliminieren (LEGINBUHL et al., 1996).

Des Weiteren ist auch bei den Ziegen *Euphorbia esula* (Scharfe Wolfsmilch) (siehe in Abb.17) zu erwähnen.²¹ Denn sie vertragen wie die Schafe diese Pflanze, lassen aber bei der Beweidung mehr Gräser für die Rinder übrig, als die Schafe. Der Nachteil ist das Wirtschaftliche, da sie teurer als die Schafe sind, weil man mehr Individuen pro Hektar benötigt. In North Dakota werden 12-16 Ziegen pro verunkrauteten Hektar Land für vier



Monate eingesetzt. Dieser Zeitraum entspricht der Vegetationszeit von *Euphorbia esula*. Ist eine kürzere Beweidungszeit vorgesehen, müssen mehr Tiere pro Flächeneinheit verwendet werden.

Auf diese Art und Weise kostet die Verdrängung der Scharfen Wolfsmilch mit kleinen Wiederkäuern \$ 0,60 pro ¼ ha, hingegen bei einem Hubschrauber, der Herbizide ausbringt, muss mit \$ 35 für die gleiche Fläche gerechnet werden²². In den Blue Ridge Mountains

Abbildung 17: *Euphorbia esula*

minimierten 80 Ziegen die Populationen von *Rubus subsp.* (Brombeeren und Himbeeren) und *Prunus*

serotina (Späten Traubenkirsche) (siehe Abb. 18) und machten so die Wanderwege in diesem Gebiet wieder passierbar (NELSON ESTOBAR).²³ Es gibt sogar Leih-Ziegen, die bei der Beseitigung von Sträuchern, Disteln und verholzter Vegetation helfen, um das Brandrisiko zu reduzieren.

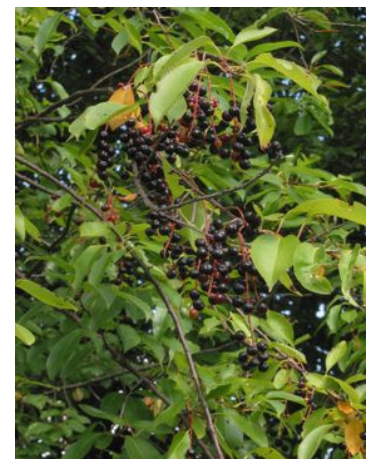


Abbildung 18: *Prunus serotina*

²¹ Abbildung 17 aus Stichmann, 1996, S.327

²² <http://www.montana.edu/cpa/news/nwview.php?article=300>

²³ Abbildung 18 aus http://de.wikipedia.org/wiki/Prunus_serotina

Um Unkräuter in Gewässern zu bekämpfen, gibt es auch die Möglichkeit mit macrophytophagen Vertebraten zu arbeiten. Macrophyten sind Pflanzen, die mit dem bloßen Auge sichtbar sind und die in diesem Falle von Wirbeltieren (Vertebraten) gefressen werden. Dazu zählen vor allem *Ctenopharyngodon idella* (Graskarpfen) und *Tilapia subsp.* (Tilapia-Arten). Aber auch *Trichechus subsp.* (Seekühe), Wasserschildkröten (z. B. *Kachuga tectum*) und *Ondatra zibethicus* (Bisamratten) werden in diesem Zusammenhang erwähnt.

In den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden die Fähigkeiten der Seekühe bezüglich ihres „Unkrautfressverhaltens“ in Florida erforscht. So weiß man, dass *Trichechus manatus* (Karibik-Manati) (siehe Abb. 19) 36 verschiedene Wasserpflanzen frisst, aber nicht *Eichhornia crassipes* (Wasserhyazinthe), wenn andere Arten verfügbar sind (PETR, 2000).²⁴ Ein positiver Bericht besagt, dass *Trichechus inunguis* (Amazonas-Manati) in Guyana Teiche und Kanäle von Wasserunkräutern freihalten konnte. Ein negatives Beispiel aus Panama wird im Zusammenhang mit dem Chagres



Abbildung 19: *Trichechus manati*

River angeführt, hier war die Unkrautkontrolle erfolglos. Trotz des enormen täglichen Konsums an Nahrung (5-10 % ihres Körpergewichtes entspricht bis zu 100 kg), der laut EDWARDS (2000) sechs bis acht Stunden pro Tag dauert, werden Seekühe mittlerweile nicht mehr als geeignete „Unkrautvernichter“ angesehen. Seekühe sind Nomaden, sodass man sie einsperren muss, um sie an den gewünschten Stellen zu „fixieren“. Dies erfordert hohe Managementkosten, da die Tiere wegen ihres guten Fleisches dann auch vor wildernden Menschen bewacht werden müssen. Durch die Eingrenzung ihres Nahrungsgebietes kann es dann auch zu „Überweidung“ von einzelnen Pflanzenarten kommen, da Seekühe starke Selektierer sind. Außerdem ist diese Tierart selten und gefährdet und deren Einsatz könnte zu Kontroversen

²⁴ Abbildung 19 aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Seek%C3%BChe>

mit dem Naturschutz führen. Nicht zuletzt wird ihre Nutzung durch die geringe Reproduktionsrate und die Gebundenheit an warme Gewässer eingeschränkt (PETR, 2000 und ²⁵).

Wie Anfangs schon genannt, wurden auch Bismarratten (*Ondatra zibethicus*) (siehe in Abb. 20) dabei beobachtet, wie sie Wasserunkräuter dezimierten.²⁶ So reduzierten sie laut PETR (2000) in Tschechien neun bis vierzehn Prozent des jährlichen Biomassezuwachses von *Typha latifolia* (Breitblättriger Rohrkolben). In Norddeutschland wurde dokumentiert, wie sie geringe Bestände von *Phragmites australis* (Gewöhnliches Schilf) und *Scirpus* (Simse) auslöschten und ca. einen Hektar *Typha* und *Glyceria* (Schwaden) wegfraßen. In Louisiana,



Abbildung 20: *Ondatra zibethicus*

(Hirsearten) in Kamerun, Afrika.²⁷

Aber ein schwerwiegender Nachteil macht diese Tiere zu eher nicht geeigneten Hilfen in der Unkrautbekämpfung, da sie sich ihren Bau unterirdisch graben und dadurch Gewässereinfassungen und Dämme zerstören können.

USA beweiden sie z. B. *Eleocharis*. Alle diese Beispiele stammen aus der Zeit zwischen 1971 und 1984, und finden weiter keine Erwähnung.

Auch *Myocastor coypus* (Biberratte oder Nutria) (siehe in Abb. 21) können nach Angaben von PETR (2000) *Typha angustata* sowie *Phragmites australis* in Teichen Europas und Israels kontrollieren und *Echinochloa*



Abbildung 21: *Myocastor coypus*

²⁵ http://www.colszoo.org/animalareas/shores/manatee_coast/manateeLife/life-eating.html

²⁶ Abbildung 20 aus Stichmann, 1996, Teil 1, S.42

²⁷ Abbildung 21 aus Stichmann, 1996, Teil1, S.42

PETR berichtet weiterhin darüber, dass auch Wasserschildkröten hinsichtlich ihres Potenzials zur Unkrautregulierung in Gewässern erforscht wurden. Dabei wurde *Kachuga tectum* und *Hardella thurgi* in Indien und Bangladesh näher ins Auge gefasst. Sie fressen unter anderem *Lemna* (Entengrütze, Wasserlinse), *Ceratophyllum* (Hornblatt), *Eichhornia* (Wasserhyazinthe)

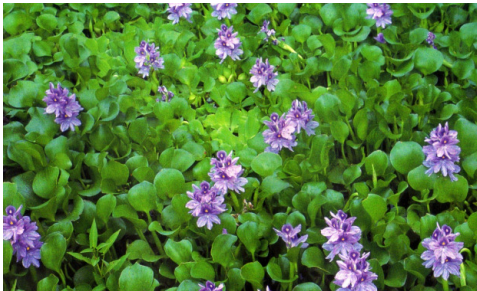


Abbildung 22: *Eichhornia crassipes*

(siehe Abb. 22), *Hydrilla* (Wasserquirl), *Ipomoea* (Kaiserwinden) und haben damit ein breites Spektrum an pflanzlicher Nahrung. In Florida wurde 1970 ein herbivore Wasserschildkröte namens *Pseudoemys floridiana* erfasst und bei *Chelydra serpentina* wurde festgestellt, dass 13 % ihrer Nahrung aus frischen Wasserpflanzen besteht.²⁸

Von diesen etwas exotischen Tieren und Möglichkeiten nun zu einer mittlerweile populären Art der Unkrautbekämpfung in Gewässern – dem Graskarpfen.

Ctenopharyngodon idella (Graskarpfen oder Weißer Amur) (siehe Abb. 23) stammt ursprünglich aus Sibirien und China.²⁹ Er wurde 1963 erstmals in die USA nach Stuttgart in Arkansas eingeführt (SANDERS et al., 1991). Aber auch viele andere Länder, wie z. B. Österreich, Bulgarien, Ägypten, Deutschland, Indien, Japan oder die ehemalige UdSSR, importierten diese Art zur Unkrautdezimierung in ihren Gewässern



Abbildung 23: *Ctenopharyngodon idella*

²⁸ Abbildung 22 aus Bärtels, 2002, S.244

²⁹ Abbildung 23 aus www.oefg1880.at/fischarten/fotos/GRASKARPFEN.jpg

(JULIEN 1982). Laut SANDERS et al. (1991) wurden noch bis in die 80er Jahre die diploide fertile Variante des Fisches in die Teiche und Kanäle gesetzt. Diese konnten sich in ihrer neuen Heimat, wenn die Bedingungen stimmten, unkontrolliert fortpflanzen und es wurde befürchtet, dass sie die natürliche Flora und Fauna negativ beeinflussen könnten, wenn sie aus ihrem zugewiesenen Gebiet ausbrechen würden. 1979 stellte man durch Kreuzung einen triploiden Hybriden her. Später wurde ein Verfahren entwickelt, das durch physikalischen Schock (Hitze, Kälte, oder hydrostatischer Druck), der auf die befruchteten Eier ausgeübt wird, die Bildung eines dritten Chromosomensatzes hervorruft. Diese Tiere sind dann steril, werden aber vor dem Aussetzen daraufhin noch mal überprüft, indem die roten Blutkörperchen untersucht werden, die beim triploiden Graskarpfen größer sind, als beim diploiden.

Graskarpfen bevorzugen laut SANDERS et al. (1991) als Nahrung folgende Pflanzen und kontrollieren diese auch erfolgreich: *Cabomba caroliniana* (Nordamerikanische Haarnixe), *Chara subsp.* (Armleuchteralgen) (siehe Abb. 24), *Egeria densa*

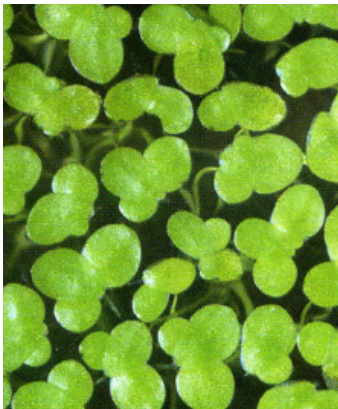


Abbildung 25: *Lemna minor*

(Dichtblättrige Wasserpest), *Eleodea canadensis* (Kanadische Wasserpest), *Hydrilla verticillata* (Wasserquirl), *Lemna subsp.* (Entengrütze, Wasserlinse) (siehe Abb. 25), *Spirodella subsp.* (Teichlinse), *Najas quadampensis* und andere.³⁰

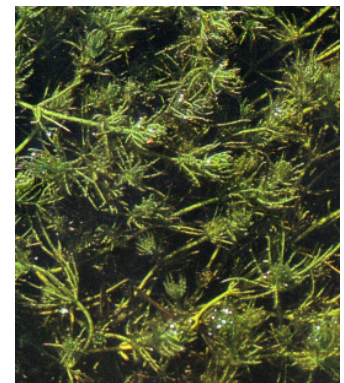


Abbildung 24: *Chara subsp.*

Gemieden und daher nicht kontrollierbar durch die Graskarpfen sind *Najas flexis* (Biegsames Nixkraut), *Ceratophyllum demersum* (Rauhes Hornblatt), *Typha subsp.*, *Nuphar subsp.*

³⁰ Abbildung 24 aus Stichmann, 1996, Teil 2, S.425

Abbildung 25 aus Stichmann, 1996, Teil 2, S.339

(Mummel, Teichrose), *Nymphaea subsp.* (Seerose), *Eichhornia crassipes* (Wasserhyazinthe) und andere.

Beim Management sollte darauf geachtet werden, dass nur sterile triploide Graskarpfen in Gewässer mit einem Wasserpflanzenproblem gesetzt werden. Anzahl und Art der Unkrautpflanzen sollten überprüft und zuerst evtl. mit mechanischen oder chemischen Mitteln bekämpft werden, um die Biomasse zu reduzieren. Danach können die Fische in geringer Besatzdichte am besten im Frühjahr eingesetzt werden, um den Wiederaufwuchs im Zielgebiet zu beweiden³¹.

Es wird mit Besatzdichten zwischen 80-100 Stück pro Hektar einer bewachsenen (!) Wasserfläche gerechnet. Wenn kein Problem besteht werden vorbeugend 20-40 Fische eingesetzt. Wegen ihrer Sterilität sollten alle fünf Jahre die Verluste mit 20 % Neuzugängen ausgeglichen werden. Denn gerade die jungen, kleinen Fische fallen schneller Feinden, wie z. B. Fischadlern, Reiher, Ottern, Alligatoren, Raubfischen oder dem Menschen zum Opfer³². Eine erfolgreiche Unkrautkontrolle in Gewässern mit dem Graskarpfen ist von der Wassertiefe, der Wassertemperatur, der im Wasser gelösten O₂-Konzentration, der Besatzdichte und der Größe der Tiere abhängig³¹. Die selektiven Herbivoren arbeiten umso effektiver, je größer sie werden.

Andere Fischarten, die laut PETR (2000) auch zur Kontrolle unerwünschter Pflanzen unter Wasser eingesetzt werden, sind *Tilapia zillii*, *Tilapia rendalli*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis aureus*, *Osphronemus gourami*, *Trichogaster pectoralis*, *Tor subsp.*, *Puntius (Barbodes) subsp.*, *Colossoma subsp.*, *Cyprinus carpio* und andere. *Tilapia zillii* konnten *Hydrilla*-Bestände in Afrika kontrollieren, *Oreochromis mossambicus* bevorzugen vor allem filamentöse Algen-Arten.

Alle diese genannten Tiere besitzen keine Wirtsspezifität, sodass der Einwand nahe liegt, Pflanzen, die nicht das eigentliche Ziel sind, könnten in Mitleidenschaft gezogen werden. Außerdem ist die Selektion abhängig von dem vorhandenen Pflanzenspektrum, dem Hunger

³¹ [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/depdocs.nsf/all/agdex3446](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/depdocs.nsf/all/agdex3446), 1998

³² <http://hgic.clemson.edu/factsheets/hgic1715.htm>

der Tiere und die individuellen Vorlieben. Daher muss mit dieser Methode sehr umsichtig umgegangen werden und ein kompetentes Management sollte diese Projekte voraussehend planen und organisieren, um Schäden an der Natur auszuschließen.

3.3.2 Klassische Methode

Die „klassische“ oder auch inokulativ genannte Methode, ist eine der drei Verfahren, die im engeren Sinne zur biologischen Unkrautbekämpfung gehören, weil die Antagonisten dieser Vorgehensweise nicht polyphag sind, wie die Herbivoren der ersten Methode, sondern Wirtsspezifität aufweisen. Die anderen zwei Möglichkeiten, die Bioherbizide oder auch inundative Methode und die System-Management-Methode werden anschließend erläutert (siehe dazu Abb. 26).³³

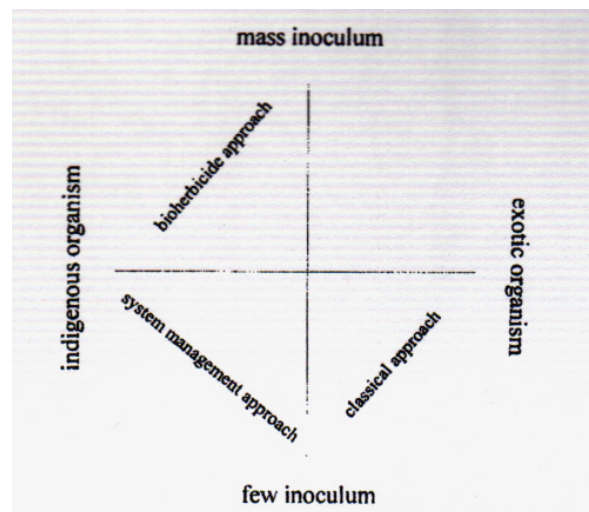


Abbildung 26: Übersicht über die Unterschiede der biologischen Unkrautregulierung im engeren Sinne

Die „klassische“ Methode wird nach MÜLLER-SCHÄRER (2002) wie folgt definiert: „Eine beschränkte Anzahl von Individuen eines faunenfremden (nicht bereits ansässigen) Kontrollorganismus wird auf einer Fläche freigelassen, die im Vergleich zur insgesamt kolonisierten, d.h. vom Unkraut besetzten Fläche äußerst klein ist“ (MÜLLER-SCHÄRER, 2002, S. 121). Das bedeutet, dass dies ein Wirkmechanismus ist, der vor allem dann angewandt wird, wenn es sich bei dem Zielunkraut um eine eingeschleppte Art handelt. Denn dann besteht die Möglichkeit, den in der Heimat „zurückgelassenen“ Antagonisten nachzuholen und das Unkrautproblem mit Hilfe dieses

³³ Abbildung 26 aus Frantzen et al., 2001, S.141

Gegenspielers zurückzudrängen. MÜLLER-SCHÄRER (2002) beschreibt die Methode so: Es „ist die älteste (klassisch) und bis heute erfolgreichste Methode der biologischen Unkrautregulierung“ (MÜLLER-SCHÄRER, 2002, S.121).

Sie unterscheidet sich von anderen Unkrautbekämpfungsmethoden darin, dass das Zielunkraut nicht unbedingt ausgerottet und vollständig vernichtet wird, sondern dass sie die Konkurrenzfähigkeit herabsetzt. Außerdem wirkt sie nicht schnell, sondern der Erfolg stellt sich nur langsam ein, dafür aber möglicherweise für immer. Die Methode ist anfällig auf ungünstige Umweltbedingungen, denn nicht jeder Kontrollorganismus fühlt sich in allen Klimaregionen der Erde wohl.

Die Vorteile dieses Prozesses liegen im Kostenpunkt, da es erst einmal eingeführt, kaum mehr Kosten verursacht und damit ein sich jährlich wiederholendes Ausbringen von z. B. Herbiziden verhindert. Weiterhin sind die Antagonisten vorzugsweise monophag, höchstens gering oligophag, und dadurch äußerst selektiv. Wenn alles richtig gemacht wird, entstehen keine schädlichen Nebeneffekte, die sich auf das Bodenleben oder Trinkwasservorräte auswirken. Es ist mit etwas Glück eine sich durch Beständigkeit auszeichnende, ausdauernde Art der Unkrautbekämpfung.

Ihre Anwendungsgebiete finden sich, laut MÜLLER-SCHÄRER (2002) häufig auf extensiv bewirtschafteten Flächen, wie z. B. Weideland. Aber auch „in Wäldern und Feuchtgebieten, in Flüssen und Seen, in Naturschutz- und Erholungsgebieten, in Brachland und entlang von Verkehrswegen“ (MÜLLER-SCHÄRER, 2002, S.121) ist diese Methode von Bedeutung. Sie ist meist effektiv gegen perennierende, invasive Unkräuter, wenn andere Mittel zu teuer sind, oder deren Anwendung nicht möglich oder nicht geduldet ist.

Als Antagonisten gegen Unkräuter werden meistens Insekten genutzt (ROSENTHAL et al., 1984). Vor allem kommen Coleoptera (Käfer), Lepidoptera (Schmetterlinge), Hemiptera (Schnabelkerfen), Homoptera (Gleichflügler) und Hymenoptera (Hautflügler) zum Einsatz. Andere herbivore Invertebraten (wirbellose Tiere) sind u. a. Milben (Acari). Als Beispiel wird bei ROSENTHAL et al. (1984) *Aceria chondrillae* aufgeführt, die in Australien und der USA durch Gallenbildung ihre Wirtspflanze *Chondrilla juncea* (Binsen-Knorpellattich) zerstört und somit die Population zurückdrängt. Außerdem wurde *C. juncea* im Weizen-Brache-

System in Australien von dem Rostpilz *Puccinia chondrillina* (siehe Abb. 27), der ursprünglich aus Europa kommt, wirksam dezimiert (MÜLLER-SCHÄRER, 2002).³⁴



Abbildung 27: *Puccinia chondrillina*

Die Nematoden der Gattungen *Nothanguina* und *Paranguina* werden laut ROSENTHAL et al. (1984) auch als Antagonisten genutzt. *Nothanguina phyllobia* ist eine phytoparasitäre Nematode, die *Solanum elaeagnifolium* in Texas erfolgreich reduziert hat. Und sogar Schnecken, wie *Marisa cornuarietis*, dienen in

Florida der Unkrautreduzierung von untergetauchten Wasserpflanzen. Allerdings fressen sie auch an jungen Reispflanzen und sind daher nicht im Reisanbau einsatzfähig.

Durch die Einfuhr solcher heimischen Gegenspieler in die neuen Gebiete der invasiven Unkrautpopulationen, werden die Pflanzen einem höheren Stress ausgesetzt, wodurch, wie oben schon erwähnt, ihre Konkurrenzfähigkeit sinkt und die heimische Vegetation einen Vorteil gewinnt. Durch den Stress nimmt die Resistenz gegenüber Krankheiten und Trockenheit ab, so dass die Unkräuter noch schneller geschwächt werden können.

3.3.3 Bioherbizide

Die auch als inundativ bezeichnete Methode kam später auf als die klassische Version. MÜLLER-SCHÄRER (2002) definiert das Konzept so: „Bei dieser Methode werden große Mengen eines einheimischen Organismus über die gesamte zu behandelnde Fläche verteilt“ (MÜLLER-SCHÄRER, 2002, S.124). Die Antagonisten sind hier Mikroorganismen, die phytopathogene Wirkungen zeigen. In ihrer Anwendung sollten die Bioherbizide wie die konventionellen Produkte funktionieren. Allerdings sind erst wenige registrierte Waren auf dem Markt erhältlich, obwohl schon viele potenzielle Organismen untersucht wurden. Aber

³⁴ Abbildung 27 aus http://res2.agr.ca/lethbridge/weedbio/agents/apicchon_f.htm

die Menge an Forschungsobjekten nimmt zu, sodass neue Pathogene entdeckt und zu Bioherbiziden entwickelt werden (EL-SAYED, 2005).

Bioherbizide wirken recht schnell, aber sind auch relativ teuer, da das Verfahren auf der ganzen betroffenen Fläche eingesetzt wird. Deshalb ist diese inundative Methode vor allem in Intensivkulturen geeignet (MÜLLER-SCHÄRER, 2002).

Die Entwicklung solcher Mittel ist abhängig von verschiedenen Faktoren. So müssen biologische, umweltbedingte, technologische und kommerzielle Hindernisse überwunden werden, um die erwünschte Wirkungsweise zu erhalten (WATSON, 1999). Diese kann durch vom Organismus selbst ausgehenden Einflussgrößen beeinträchtigt sein, aber auch die Umwelt und die Wirtspflanze spielen eine Rolle. Beispiele für diese Faktoren wären die Virulenz des Pathogens, eine zu hohe oder zu geringe Temperatur bzw. Feuchtigkeit (MÜLLER-SCHÄRER, 2002). Schwierigkeiten kann die Variationsbreite der jeweiligen Unkrautarten bringen, die mehr oder weniger empfindlich auf das Pathogen reagieren. Des Weiteren gibt es auch noch die Möglichkeit, dass nur ganz bestimmte Stämme der Krankheitserreger den gewünschten Effekt bei bestimmten Varianten der Zielpflanze auslösen.

Um diese Probleme zu vermeiden, sollte der Antagonist folgenden Kriterien entsprechen. Er muss sich, wie bei MÜLLER-SCHÄRER (2002) beschrieben, schnell und einfach vermehren lassen, ausreichend virulent sein, über genetische Stabilität verfügen und Wirtsspezifität aufweisen. Eine entsprechende Toleranz gegenüber Umwelteinflüssen ist sehr wichtig, jedoch sollten die Pathogene auf der Fläche nicht überdauern. Darüber hinaus sollte der Erreger die Wirtspflanze so beeinträchtigen, dass sie schnell abstirbt. Außerdem wäre es von Vorteil, wenn die Formulierungs- und Anwendungstechnologien sich so entwickeln würden, dass das Bioherbizid anschließend mit konventioneller Ausstattung ausgebracht werden kann. Diese Bedingungen erfüllen fakultative Parasiten, von denen die Pilze am häufigsten genutzt werden. Aber auch phytopathogene Rhizobakterien und sonstige Bakterien werden als Antagonisten erforscht (WATSON, 1999). Dabei gibt es zwei Möglichkeiten, die Infektion von Pflanzen mit Bakterien zu fördern, da sie normalerweise nicht im Stande sind, die Oberfläche der Pflanze zu durchdringen. Zum einen kann die Oberflächenspannung so herabgesetzt werden, dass die Stomata durchlässig werden, zum anderen kann durch mechanische Verletzung der Pflanze der Zugang den Bakterien erleichtert werden (EL-

SAYED, 2005).

Es besteht auch die Möglichkeit, Pilze mit bakteriellen Erregern zu kombinieren, um die Wirkung zu verbessern. Ein Beispiel ist der Pilz *Colletotrichum truncatum*, der die Pflanze *Sesbania exaltata* befällt und bei dem in Zusammenhang mit epiphytischen Bakterien verstärkte Krankheitssymptome beobachtet wurden (EL-SAYED, 2005). Mechanische Verletzungen können aber auch durch Einsatz von Insekten den Pflanzen zugefügt werden. So könnte durch Interaktion von Insekten und Pathogenen auch eine verbesserte Erfolgsrate entstehen. Ein Beispiel dafür ist die wirksame Reduzierung der Feigenkakteen in Australien durch den Kleinschmetterling *Cactoblastis cactorum* im Zusammenhang mit phytopathogenen Bakterien.

Außerdem werden die Interaktionen zwischen Bioherbiziden und den konventionellen Herbiziden durchgespielt und erforscht, die in einem integrierten Unkrautmanagement-Programm durchaus ihre Anwendungsmöglichkeiten finden. Nach Meinung von CHARUDATTAN und DELOACH (1988) kann ein Herbizid, das sonst keine Wirkung auf das Zielunkraut hat, möglicherweise die Anfälligkeit der Pflanze für das Bioherbizid erhöhen. Ein sehr wirkungsvolles Herbizid kann durch eine geringere Aufwandmenge die Pflanze schwächen und so das Pathogen des Bioherbizids unterstützen. Auch allein das parallele Ausbringen von Bioherbiziden, chemischen Herbiziden und womöglich zudem noch Insekten, erweitert die Bandbreite der Zielunkräuter, die gleichzeitig kontrolliert werden können. Zu diesen positiven und neutralen Interaktionen, kann ein konventionelles Herbizid auch die Wirkung des Bioherbizides negativ beeinflussen.

3.3.4 System-Management-Methode

MÜLLER-SCHÄRER (2002) definiert das Prinzip des System-Management-Verfahrens wie folgt: „Das Ziel dieser Methode ist es, das Gleichgewicht zwischen Wirt und Pathogenpopulation zugunsten des Pathogens zu verschieben“ (MÜLLER-SCHÄRER, 2002, S.127), um dadurch die Konkurrenzfähigkeit der Zielpflanzen herabzusetzen. Dabei wird aber nicht das lückenlose, rasche Abtöten der Unkräuter beabsichtigt, sondern der Erhalt der Artenvielfalt. Grundsätzlich beruht dieses Konzept laut MÜLLER-SCHÄRER (2002) auf der „Stimulierung und Förderung der Krankheitsepidemie einer natürlich vorkommenden

Antagonistenart“ (MÜLLER-SCHÄRER, 2002, S.127). Vorzugsweise werden zur Zeit pilzliche Gegenspieler dafür verwendet, aber auch Nematoden oder Arthropoden sind denkbar.

So vereint diese Methode jeweils eine Eigenschaft der inokulativen und eine der inundativen Methode. Bei dieser Vorgehensweise werden Antagonisten einheimischen Ursprungs wie bei den Bioherbiziden benutzt, aber es wird darauf geachtet, dass sie befähigt sind, sich selbstständig auf dem Feld zu vermehren und sich auszubreiten, wie beim klassischen Verfahren (MÜLLER-SCHÄRER, 2002). Ein Vorteil besteht darin, dass auch biotrophe Pilze genutzt werden können, die sonst recht schwer auf künstlichen Medien zu halten und zu vermehren sind (FRANTZEN et al. 2001).

Das Prinzip ist noch recht jung. Ein Forscherteam konnte nachweisen, dass durch einen vorzeitigen Krankheitsausbruch des Pilzes *Puccinia canaliculata* die Unkrautpopulation von *Cyperus esculentus* (Erdmandel) (siehe Abb. 28) minimiert werden konnte.³⁵ Dies schafften sie durch Überwinterung des Pilzes in Gewächshäusern an der Wirtspflanze und verteilten diese erkrankten Pflanzen im Frühjahr auf der betroffenen Fläche (MÜLLER-SCHÄRER, 2002).



Abbildung 28: *Cyperus esculentus*

Daraus lässt sich schließen, dass das Vorgehen für pilzliche Antagonisten sich wie folgt aufbaut. Zuerst wird eine geeignete Gruppierung der Krankheitserreger zusammengestellt. Dann wird unter Beachtung des Zeitpunktes eine geringe Menge des Pathogens in die verunkrauteten Felder gebracht. Außerdem kann durch bestimmte Maßnahmen der Epidemieförderung gefördert werden, wie z. B. durch Nährstoffgaben oder Beeinflussung der Feuchtigkeit.

Wie ersichtlich ist, unterliegt auch diese Methode den Einflüssen der Umwelt. Trotz der Aneignung von Überlebensstrategien der Pathogene im Winter, sind es im Frühling meistens zu wenig Kolonien bildende Einheiten, um erfolgreich gegen das Unkraut anzugehen. So

³⁵ Abbildung 28 aus Klaaßen/Freitag, 2004, S.223

nützen weder der Verbleib in der Wirtspflanze, noch eine starke Vermehrung oder gar das Überwintern außerhalb der Wirtspflanze mit Dauerformen, um im nächsten Jahr eine wirksame Epidemie auszulösen (FRANTZEN et al., 2001). Deshalb müssen diese mithilfe der System-Management-Methode im Frühjahr unterstützt werden.

Dennoch zeichnet sich diese Methode als relativ kostengünstig heraus, da nicht das ganze Feld, wie bei den Bioherbiziden behandelt werden muss (MÜLLER-SCHÄRER, 2002).

3.4 Methoden zur Neuerprobung eines potenziellen Organismus zur biologischen Unkrautbekämpfung

Je nach Methode sind die Abläufe der Entwicklung eines neuen anwendbaren Kontrollorganismus ein wenig anders. Im folgenden Abschnitt werden die notwendigen Schritte zur Entstehung und Erprobung eines neuen Projektes dargelegt.

3.4.1 Vorgehensweise bei der inokulativen Methode

Zuerst wird das betroffene Gebiet begutachtet und festgestellt, ob sich dieses Unkrautproblem zur biologischen Bekämpfung eignet. Hierzu wird eine Kosten-Nutzen-Analyse herangezogen, bei der zu erkennen sein sollte, dass die Kosten der biologischen Bekämpfung, die der wirtschaftlichen Ausfälle zusammen mit den Kosten der Alternativmöglichkeiten, nicht übersteigen (ROSENTHAL et al. 1984).

Wenn beschlossen wird das Unkraut biologisch zu bekämpfen, wird zunächst die Zielpflanze genau untersucht. Hierbei wird sie eindeutig identifiziert, ihre Stammesgeschichte wird nachvollzogen und es wird ermittelt, in welchen Gebieten sie sich ausgebreitet hat. Dadurch kann das Herkunftsgebiet mit den möglichen Antagonisten lokalisiert werden. Außerdem wird die Zielpflanze im betroffenen Gebiet im Hinblick auf ihre Populationsbiologie und ihre Wechselbeziehung zu anderen Organismen beobachtet. Weiterhin wird überprüft, wie sich das Unkraut auf den befallenen Flächen verhält und wie sich das Unkraut und auch die Bekämpfungsmaßnahme auf die Umwelt auswirkt (MÜLLER-SCHÄRER, 2002).

Anschließend werden Felduntersuchungen im Ursprungsgebiet der Zielpflanze vorgenommen und dabei Organismen ins Auge gefasst, die hauptsächlich in Verbindung mit dem Unkraut vorkommen und der Ausbreitung des Unkrautes entgegen wirken (FRANZ, KRIEG, 1976). Dabei sollten alle Arten rund um die Zielpflanze untersucht werden, denn die Wirkung des Antagonisten kann erst außerhalb des Herkunftsgebietes festgestellt werden, wenn die biologischen Stressfaktoren fehlen oder minimiert wurden. Allerdings sind auch die Ergebnisse von Experimenten nicht immer einfach auf die Realität im Schadgebiet zu übertragen. Wenn möglich sollte die Studie in unterschiedlichen Klimazonen bzw. Regionen stattfinden, um die gewohnten Umweltbedingungen der Kontrollorganismen zu erfassen. Nach der erfolgten Erstausswahl werden intensive Versuche gestartet, um einen

genauen Bericht darüber abgeben zu können, wie selektiv der Organismus sich zeigt und ob eine spätere Einfuhr möglich erscheint. Dazu werden so genannte „Hungertests“ durchgeführt, bei denen den Antagonisten ihre Wirtspflanze entzogen wird, dafür aber andere Pflanzen zur Verfügung gestellt werden. Dabei sollten nach Aussage von KRIEG und FRANZ (1989) vor allem Pflanzen getestet werden, „die mit den Zielunkräutern verwandt sind, [...] die von verwandten Phytophagen befallen werden, [und] Pflanzen mit ähnlichen Inhaltsstoffen wie die Zielunkräuter“ (KRIEG und FRANZ, 1989, S.101). Dies ist Abschnitt einer Risikoanalyse, die verhindern soll, dass die Kontrollorganismen in ihrer neuen Heimat nicht nur die Zielpflanze schädigen, sondern z. B. auch Kulturpflanzen (MÜLLER-SCHÄRER, 2002). Wenn das alles geklärt wurde und praktische Verfahren entwickelt wurden die Organismen zu verschicken, sie zu vermehren und ordnungsgemäß frei zu lassen, kann mit dem Import begonnen werden. Dazu muss eine angemessene Zusammenstellung der Population erfolgen, die zu den Zielunkräutern passen und den Umweltbedingungen standhalten. Vor der Freilassung müssen die Antagonisten in Quarantäne, um ausschließen zu können, dass ihre Feinde oder andere Arten eingeschleppt werden, die den Erfolg mindern oder sogar Schaden anrichten könnten. Denn einmal ausgesetzt können solche Organismen schlecht wieder eingefangen werden.

Nach der erfolgten Freilassung sollte das Gebiet langfristig überwacht werden, um die Entwicklung der Populationen zu dokumentieren und dadurch neue Erkenntnisse für Folgeprojekte zu gewinnen.

3.4.2 Vorgehensweise bei der inundativen Methode

Wie bei der klassischen Methode muss auch hier erst festgestellt werden, ob ein mit dem vorliegenden Verfahren das Unkrautproblem zu lösen ist. Wenn hier die Kosten-Nutzen-Frage geklärt ist, beginnt die Suche von erkrankten Zielpflanzen im gesamten Verbreitungsgebiet, soweit dies möglich ist. Die Pathogene werden isoliert, taxiert und es wird überprüft, ob sie der Auslöser des festgestellten Krankheitsbildes sind (MÜLLER-SCHÄRER, 2002). Danach werden geeignete Kandidaten ausgesucht, die weitere Tests durchlaufen müssen. Dabei wird ihre Wirkungskraft, Wirtsspezifität und Ausbreitung beobachtet.

Es wird weiterhin untersucht, welche Einschränkungen in der Umwelt vorhanden sind, dass es dort zu keinem Epidemienaufbau kommt, welche Faktoren nötig sind, um eine optimale Entwicklung zur Dezimierung der Unkrautpopulation zu ermöglichen und wie die

Organismen in Massen zu vermehren sind. Außerdem werden die Prinzipien der Infektion und des Krankheitsverlaufes getestet. Alle diese Experimente dienen als Basis für die Weiterentwicklung.

Dabei kommt es auf gute Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie an, um ein in der Praxis anwendbares Bioherbizid herzustellen. Trotz vieler Patentanmeldungen, sind erst wenige Produkte auf dem Markt (siehe Tab. 3).³⁶ Meistens verursachen fehlende Aggressivität, mangelnde Fähigkeiten den Umweltbedingungen zu trotzen und geringe Absatzmarktchancen Probleme beim Weiterführen der Ware zur Praxisanwendung (MÜLLER-SCHÄRER, 2002).

Vor dem Einführen des Produktes in den Markt, müssen noch die entsprechenden Applikationsverfahren und Formulierungen entwickelt werden, die die bestmögliche Anwendung des Bioherbizids versprechen. Dabei sollten mögliche synergetische Effekte zwischen den Bioherbiziden und konventionellen Herbiziden sowie weiteren biologischen Antagonisten in die Überlegungen mit eingeschlossen werden. Von der Formulierung des Bioherbizids sind die Lagerfähigkeit und die Wirksamkeit auf den betroffenen Flächen abhängig.

Tabelle 3: Registrierte Bioherbizide

Bioherbizide, die registriert wurden und ihr aktueller Status, Oktober 2005			
Wo und Wann	Produkt und Pathogen	Zielunkraut	Status
USA 1960	<i>Acremonium diospyri</i>	<i>Diospyros kaki</i> (Kaki-Baum)	Status unbekannt
China 1963	Lubao: <i>Colletotrichum gloeosporioides f. subsp. cuscutae</i>	<i>Cuscuta subsp.</i> (Kleeseide, Teufelszwirn) in Sojabohnen	Wahrscheinlich noch erhältlich

³⁶ Tabelle 3 verändert aus www.landcareresearch.co.nz "What's New In Biological Control Of Weeds?" Issue 34 November 2005

USA 1981	DeVine®: <i>Phytophthora palmivora</i>	<i>Morrenia odorata</i> in Zitrusplantagen	Status unbekannt, wird wohl nicht länger vermarktet
USA 1982	Collego™: <i>Colletotrichum gloeosporioides f. subsp. aeshynomene</i>	<i>Aeschynomene virginica</i> in Reis und Sojabohnen	Seit 2003 wird es nicht mehr produziert oder vertrieben, aber Reisproduzenten zeigen erneut Interesse
USA 1983	CASST™: <i>Alternaria cassiae</i>	<i>Cassia subsp.</i> (Gewürzrinde) in Sojabohnen und Erdnüssen	Nicht länger erhältlich wegen des Fehlens von Werbeunterstützung
USA 1987	Dr BioSedge: <i>Puccinia canaliculata</i>	<i>Cyperus esculentus</i> (Erdmandel) in Sojabohnen, Zuckerrohr, Mais, Kartoffeln und Baumwolle	Registriert, aber gescheitert an einem unökonomischen Produktionssystem und der Resistenz einiger Unkrautbiotypen
Kanada 1992	BioMal® : <i>Colletotrichum gloeosporioides f. subsp. malvae</i>	<i>Malva pusilla</i> (Kleinblütige-Malve) in Weizen, Linsen und Flachs	Zur Zeit nicht im Handel erhältlich, aber kürzlich von einem neuen Geldgeber wieder aufgenommen, der die Marktchancen untersucht. Kann auf Wunsch hergestellt werden
Südafrika 1997	Stumpout™: <i>Cylindrobasidium leave</i>	Akazien-Arten in einheimischer Vegetation und Wasserversorgung	Noch käuflich erwerbbar, obwohl die Nachfrage gesunken ist, aufgrund fehlender Werbung. Kann wieder aufgenommen werden von „Working for Water“
Niederlande 1997	Biochon™: <i>Chondrostereum purpureum</i>	holzige Unkräuter, z. B. <i>Prunus serotina</i> (Späte Traubenkirsche) in Waldschonungen	Erhältlich bis Ende 2000. Marketing/Produktion stoppten aufgrund von geringen Verkaufszahlen und organisatorischen Angelegenheiten
Japan 1997	Camperico™: <i>Xanthomonas campestris pv. poae</i>	<i>Poa annua</i> (Einjähriges Rispengras) auf Golfplätzen	Wahrscheinlich im Handel erhältlich

Südafrika 1999	Hakatak: <i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Hakea gummosa</i> und <i>H. sericea</i> (Nadelblättriges Nadelkissen) in einheimischer Vegetation	Nie registriert, aber wird auf Wunsch produziert
USA 2002	Woad Warrior: <i>Puccinia thlaspeos</i>	<i>Isatis tinctoria</i> (Färberwaid) auf Farmen, Weideland, Brachland und am Straßenrand	Registriert, aber nie im Handel erhältlich, aufgrund fehlender Geldgeber. Als es registriert war, wurde der Pilz durch Forscher verbreitet
Kanada 2004	Chontrol™ = Ecoclear™: <i>Chondrostereum purpureum</i>	Erlen, Pappeln und andere Harthölzer in der Nähe von Wegen und Wäldern	Im Handel erhältlich
Kanada 2004	Myco-Tech™ paste: <i>Chondrostereum purpureum</i>	Blätterabwerfende Bäume in der Nähe von Wegen und Wäldern	Im Handel erhältlich
USA 2005	Smolder: <i>Alternaria destruens</i>	Teufelszwirn-Arten in der Landwirtschaft, trockenen Sümpfen bzw. Mooren, Gärtnereien	Gerade erst registriert. Firma plant mehr Felduntersuchungen und es ab 2007 zu vermarkten

3.5 Aktueller Forschungsstand – In Europa und der Welt

Im Folgenden werden aktuelle Themen im Bereich der biologischen Unkrautbekämpfung vorgestellt. Es sind ausgewählte Forschungsarbeiten aus Europa und der Welt.

3.5.1 Forschungsarbeiten aus Europa

Im Jahr 1994 wurde ein Forschungsprojekt namens COST-816 gegründet, an dem 20 Institutionen aus 14 Ländern beteiligt waren. Laut SCHEEPENS et al. (2001) wurden Forschungsgruppen formiert, die sich mit verschiedenen Problemunkräutern Europas befassten. So konzentrierten sich die Wissenschaftler auf *Amaranthus subsp.* (Amarant-Arten), *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß), *Senecio vulgaris* (Gewöhnliches Greiskraut), *Convolvulus arvensis* (Ackerwinde) und *Calystegia sepium* (Gewöhnliche Zaubwinde), sowie ab 1997 auch auf *Orobanche subsp.* (Sommerwurz). Allerdings war es den oben genannten Autoren bewusst, dass keine praxisrelevanten Verfahren, während der Projektlaufzeit bis ins Jahr 2000, entwickelt werden würden.

Fünf Jahre beschäftigten sich Forscher aus sechs Ländern mit den Amarant-Arten *Amaranthus retroflexus* (Zurückgekrümmter Fuchsschwanz/Amarant) (siehe Abb. 29), *A. powelli* (Grünähriger Fuchsschwanz) und *A. bouchonii* (Bouchons Fuchsschwanz/Amarant).³⁷

Der Amarant wird von BÜRKI et al. (2001) als Problemunkraut wegen seines invasiven Charakters, aufgrund seines schnellen Wachstums als C4-Pflanze,



Abbildung 29: *Amaranthus retroflexus*

³⁷ Abbildung 29 aus http://de.wikipedia.org/wiki/Amaranthus_retroflexus

seiner Samenproduktion und wegen auftretender Triazin-Resistenz in mindestens zehn Ländern, in Europa als Problemunkraut definiert. Vor allem tritt der Amarant in Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln, Sorghum, Sonnenblumen, Sojabohnen, Gemüse, Obstgärten und im Weinbau als Unkraut auf. Er wird aber auch in Asien, Russland und Osteuropa als Feldfrucht angebaut. Dies könnte im Hinblick auf die biologische Unkrautkontrolle zu Konflikten führen.

Ziel der Wissenschaftler war es, Möglichkeiten zu erforschen und zu entwickeln, um diese drei Amarant-Arten biologisch bekämpfen zu können und diese Methoden in herkömmliche Unkrautmanagementprogramme zu integrieren. In der Schweiz und der Slowakischen Republik wurden unterschiedlichste Insekten an *Amaranthus subsp.* gefunden. Zehn *Coleoptera*-Arten (Käfer) von insgesamt 43 eingesammelten und zehn bis vierzehn *Homoptera*-Arten (Pflanzensauger) von 50, kamen in beiden Ländern an den Pflanzen vor. *Curculionidae* (Rüsselkäfer), *Chrysomelidae* (Blattkäfer), *Alticinae* (Flohkäfer), *Cicadina* (Zikaden) und *Lepidoptera* (Schmetterlinge) wurden getestet, aber keines der untersuchten Insekten war nach Aussage von BÜRKI et al. (2001) als Kontrollorganismus zu nutzen. Daher sollten in folgenden Forschungsarbeiten nach Wurzel minierenden Insekten im Heimatgebiet des Amarants gesucht werden, da diese Art von „feindlichem Angriff“ in Europa nicht gefunden wurde.

Als mögliche Bioherbizide wurden die Pathogene *Aposphaeria amaranthi* und *Phomopsis amaranthi* in Amerika isoliert und erforscht. In Europa wurden u. a. *Alternaria alternata* und *Trematophoma lignicola* an *Amaranthus subsp.* gefunden und in weiteren Versuchen getestet.

Alternaria alternata (siehe Abb. 30) ist ein viel versprechendes Bioherbizidpathogen, das durch die richtige Formulierung und Applikation gute Ergebnisse aufzeigt.³⁸ So wird dieser Pilz eher als Blattbioherbizid genutzt. Durch Verlängerung der Tauphase konnten bessere Resultate erzielt werden.



Abbildung 30: Konidien von *Alternaria alternata*

³⁸ Abbildung 30 aus <http://www.mycology.adelaide.edu.au/gallery/photos/alternaria02.html>

Allerdings sollte man dabei bedenken, dass die Umweltbedingungen nicht immer eine lange Tauphase und damit ein geeignetes, feuchtes Klima für die Pilzkeimung ermöglichen. In einer Rapsölemulsion bei einer Konzentration von 10^7 Konidien/ml wurden mit einer Aerosolspritze bei ca. 1700 bis 2000 l/ha, während des Vier-Blattstadiums der Amarantpflanzen, und einer sechs- bis achtstündigen Tauperiode, eine Wachstumsreduktion von 96 % erreicht. *Trematophoma lignicola* führte bei $1,5 \times 10^6$ Konidien/ml in einer Rapsölemulsion im Vier-Blattstadium, 16 Stunden Tauperiode und einer Ausbringungsmenge von 500 l/ha zum totalen Absterben von *Amaranthus retroflexus*. Aber auch die Bodenapplikation wurde bei diesem Pathogen getestet. Dies zielte vor allem auf das Infizieren der Keimlinge ab, die 17 Tage nach der den Boden durchnässenden Behandlung alle abgestorben waren.

Als Granulat wurden bei Versuchen von BÜRKI et al. (2001) nur unzureichende Ergebnisse erreicht, da die Konidien bei der Herstellung zu Schaden kamen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Sporenpositionierung und Keimungsrate müssen in Zukunft verbessert werden, da ein Verlust von der Spritze bis zum Blatt von 84 % laut BÜRKI et al. (2001) auftritt. Außerdem wäre es wirtschaftlicher die Ausbringungsmenge zu reduzieren, bei gleich bleibender Reaktion. Des Weiteren könnten diese Bioherbizide in Kombination mit kulturellen und ackerbaulichen Maßnahmen angewandt werden, um dadurch die Wirkung zu verbessern, die Amaranthpopulationen zu dezimieren.

In einer anderen Forschungsgruppe wurden Lösungsansätze zu *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) von NETLAND et al. (2001) bearbeitet. *Chenopodium album* (Weißer Gänsefuß) (siehe Abb. 31) ist ein sehr konkurrenzfähiges, von Stickstoff profitierendes Unkraut, das vor allem in Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais, Getreide und Gemüse ein Problem darstellt.³⁹ Das Team forschte



Abbildung 31: *Chenopodium album*

³⁹ Abb. 31 aus Stichmann, 1996, Teil 2, S. 314

an *Asochyta caulina*, das als Bioherbizid geeignet scheint. Hierbei sollte die Formulierung verbessert und die Dosierung verringert werden. Bei der Formulierung probierten NETLAND et al. (2001) sowohl ein Granulat, als auch eine flüssige Version zu entwickeln. Das Granulat stellte sich als nicht brauchbar heraus, so dass weitere Tests unterlassen wurden. Durch die geringe Lebensdauer der Sporen auf dem Boden, die mangelnde Virulenz der Sporen gegenüber der Stängelbasis und Überwucherung der Granulate durch andere Pilze, scheint diese Methode weniger geeignet zu sein.

Um die Formulierung der flüssigen Variante zu verbessern, suchten NETLAND et al. (2001) nach einem passenden Hilfsstoff, der die Evaporation verhindern und damit die Tauphase verlängern sollte. Das beste Ergebnis erzielte ein für die Praxis viel zu teures Präparat, so dass mit einem billigeren, aber dennoch wirkungsvollen Netzmittel (Sylgard 309) weiter experimentiert wurde. Die Anwendung war am verdunstungsärmsten bei folgender Zusammensetzung des Bioherbizides: Konidienkonzentration 5×10^6 /ml, Nährstoffe, Sylgard 309 (0,1 % v/v), Psyllium (0,4 % w/v) und Polyvinylalkohol (0,1 % v/v).

Allerdings müssen erst virulentere Stämme von *Asochyta caulina* entdeckt werden, um ein praxisreifes Bioherbizid herzustellen und die Formulierung weiter zu optimieren. Es wurden auch Synergie-Effekte zwischen chemischen Herbiziden und *Asochyta caulina* erforscht. Durch subletale Dosen des Herbizides Rimsulfuron konnte die Sporenkonzentration erniedrigt und das Absterben des Unkrautes erreicht werden.

NETLAND et al. (2001) untersuchten auch ein Phytotoxin, das von dem Pilz gebildet wird. Aus verschiedenen Versuchen konnten die Forscher den Schluss ziehen, dass eine Kombination von Pilzsporen, Phytotoxinfiltrat und chemischen Herbizid zu einer synergetischen Wirkung führt.

In Feldversuchen wurden weitere Erkenntnisse gewonnen. In Norwegen z. B. half die Bewässerung der infizierten Flächen die Keimungs- und Lebensbedingungen des Pilzes zu unterstützen. Dennoch sind Forschungsarbeiten hierzu noch nicht abgeschlossen. Die Fitness und Austrocknungstoleranz der Sporen müsste verbessert werden, das optimale Verhältnis von Pilz und Herbizid ausgetestet und das Phytotoxin und sein Zusammenwirken mit den anderen Komponenten näher erforscht werden.

AMSELLEM et al. (2001) untersuchten Möglichkeiten zur biologischen Regulierung von *Orobanche subsp.* (Sommerwurzgewächse). *Orobanche subsp.* (siehe Abb. 32) sind obligate



Abbildung 32:
Orobanche subsp.

Schmarotzerpflanzen, die in Südeuropa, Russland, Nordafrika, im Mittleren Osten und auf dem Balkan in Gemüsebeständen, Körnerleguminosen und Sonnenblumen auftreten.⁴⁰ Da obligat parasitische Samenpflanzen sich durch das Fehlen von Chlorophyll auszeichnen, müssen sie die Nährstoffe und das Wasser über ihre Wirtspflanze beziehen, mit der sie über Haustorien verbunden sind (BÖRNER, 1997).

Als Insekt wurde die Minierfliege *Phytomyza orobanchia* (vgl. Abb. 33) untersucht, die in der ehemaligen Sowjetunion schon erfolgreich *Orobanche cumana* und *O. cernua* bekämpft hat.⁴¹ Die Larven dieser Fliege minieren die Triebe und Samenkapseln von *Orobanche subsp.*

Minierfliegen



Minierfliege

Dadurch konnte eine Minderung der Samenproduktion von 10-80 % festgestellt werden. AMSELLEM et al. (2001) forschten fünf Jahre in Marokko an *Phytomyza orobanchia* und ihren Einfluss auf *Orobanche cernua*.

Abbildung 33:
Phytomyza subsp.

Die natürliche Durchseuchung der befallenen Bestände mit der Fliege, verursachte eine Halbierung der Samenproduktion. Von 1996 bis 1998 wurde der Effekt, der durch inundative Freilassungen dieses Insektes entstand, studiert. Hierbei konnten nur 5 % lebensfähige Samen gebildet werden.

Diese inundative Methode ist dort anzuwenden, wo beide Organismen, Fliege und Pflanze, heimisch sind. Die klassische Methode kommt dort zum Zug, wo *Orobanche subsp.* ein invasives Unkraut ist. Insekten können also zur Reduktion der Diasporenbank beitragen oder in schwach verunkrauteten Regionen eine Ausbreitung verhindern. Außerdem sind sie

⁴⁰ Abbildung 32 aus Stichmann, 1996, Teil 2, S. 333

⁴¹ Abbildung 33 aus Hallmann et al. 2007, S. 155

mögliche Virenvektoren und könnten auch den Prozess der Pilzinfektion durch Mykoherbizide beschleunigen.

Als denkbare Pathogene für Bioherbizide wurden von AMSELLEM et al. (2001) einige Fusarienstämme untersucht. *Fusarium oxysporum f. subsp. orthoceras* befällt nur *Orobanche cumana*. Dagegen ist das Wirtsspektrum von *Fusarium oxysporum* E1d und *Fusarium athrosporioides* E4a auf *Orobanche aegyptiaca*, *O. crenata* und *O. ramosa* (Ästige Sommerwurz, Tabakwürger) beschränkt. Kein getesteter Fusariumstamm griff die Wirtspflanzen der *Orobanche subsp. an*. Unter den geprüften Kulturpflanzen waren Melonen, Kartoffeln, Tomaten, und andere Gemüsesorten, sowie Körnerleguminosen und Sonnenblumen.

Weiterhin wurde kontrolliert, bei welcher Dosierung die Effektivität von *Fusarium oxysporum f. subsp. orthoceras* am besten ist, ob der Pilz frühe, im Boden befindliche Stadien von *O. cumana* verseuchen kann, und ob die Infektion von Samen, die noch den Zustand der Keimruhe durchlaufen, möglich ist. Die Menge des Inokulums korreliert positiv mit der Wirkung auf die parasitische Pflanze. Der maximale Effekt trat bei einer Konzentration von 3×10^8 Konidien/kg Boden ein, bei dem 90 % der Triebe infiziert wurden und zwei Drittel der Haupttriebe dezimiert wurden. Die Applikation des Pilzes auf die Samen von *O. cumana* ließ auf eine negative Wirkung auf die Keimung und das Wachstum der Keimschläuche schließen. In einem Versuch keimten sogar nur drei Prozent der Samen.

Ein integriertes Unkrautmanagementprogramm könnte die Kombination von Bioherbiziden und resistenten Züchtungslinien sein. Aber auch das Zusammenspiel von Toxinen, die allein keine sichtbaren Schäden verursachen, und Bioherbiziden wäre eine zu untersuchende Möglichkeit, die Abwehrreaktionen des Unkrautes schwächen.

Aber nicht nur die oben genannten Unkräuter werden in die Forschung der biologischen Unkrautbekämpfung mit einbezogen. So berichten HANN und KROMP (2001) über Wege, die Ampferblattkäfer-Populationen zu unterstützen, um *Rumex subsp.* (Ampfer-Arten) zu dezimieren. Sie untersuchten, ob durch eine schonende Mahd oder durch ungemähte Flächen die Schadenswirkung von *Gastrophysa viridula* (Ampferblattkäfer) (siehe dazu Abb. 34)

gegenüber ihren Wirtspflanzen verbessert werden könnte.⁴² Kurzfristig wurde dies nicht festgestellt, dennoch konnten die Wissenschaftler sagen, dass durch das, der Käferentwicklung angepassten, Mähverfahren die Population in diesen Bereichen begünstigt wurde. Folgeversuche sollen zeigen, ob ein gesteigerter Befall über einen gewissen Zeitraum die Ampferpflanzen schwächen kann.



Abbildung 34: Fraßschäden an Ampferpflanze durch *Gastrophysa viridula*

Auch an der Universität Gießen wurde laut Herrn Dr. LASER⁴³ auf dem Versuchsgut Gladbacher Hof ein Vorversuch gestartet, der Erkenntnisse zur biologischen Bekämpfung von Ampfer liefern sollte. Auf einer stark mit Ampfer verunkrauteten, begrenzten Fläche wurden 3000 Eier des Ampferblattkäfers verteilt. Trotz eines deutlichen Fraßbildes produzierten die Pflanzen eine Vielzahl von Samen.

⁴² Abbildung 34 aus www.bio-angus.de/ampferre.htm

⁴³ durch schriftliche Aussage per E-Mail

Bei GROSSRIEDER und KEARY (2004) wurde nach weiteren potenziellen Antagonisten für *Rumex obtusifolius* (Stumpfblättriger Ampfer) und *Rumex crispus* (Krauser Ampfer) gesucht. Sie richteten ihren Fokus auf Kontrollorganismen, die vor allem in der Schweiz im organischen Landbau genutzt werden können. Sie erwähnen, dass eine neue Chance darin bestünde, heimische Unkräuter mit exotischen Organismen zu bekämpfen, die so genannte neoklassische Methode. Die ist allerdings noch konfliktrichtig und kommt dadurch erst einmal nicht in Frage. Die oben genannten Autoren führen einige Kontrollorganismen auf, die durch die Vermehrungs- oder Erhaltungsmethode den Ampfer dezimieren sollen. So fanden die Forscher *Apion subsp.* (Spitzmäuschen-Arten; Käfer!) an den Ampferarten, stellten aber fest, dass diese Insekten blühende Pflanzen zur Entwicklung brauchen. Diese Voraussetzung ist ein ausgesprochener Nachteil, wenn man daran denkt, dass die Vermehrung dieses Unkrautes vermieden werden sollte. Außerdem hängt der Bestand der Käfer signifikant von der Stängelhöhe und der Stängelanzahl ab. Reduziert sich also die Ampferpopulation, nimmt die Anzahl der Individuen von *Apion subsp.* ebenfalls ab. Daher können sie als effektive Kontrollorganismen ausgeschlossen werden. Ein anderer Kandidat ist *Brachycaudus rumexicolens*, eine Blattlausart, die aber auch Weizen befällt und deren Status als Virenvektor noch unbekannt ist.

Feldversuche zeigten, dass durch *Gastrophysa viridula* (Ampferblattkäfer) das Samengewicht und die Samengröße von *Rumex obtusifolius* verringert werden konnte. Dies hat schwächere Keimlinge zur Folge. Zusammen mit dem Rostpilz *Uromyces rumicis* könnten additive Effekte Erfolge bringen. Des Weiteren werden von GROSSRIEDER und KEARY (2004) noch *Hypera rumicis*, *Lixus cribricollis* (jeweils Käfer), *Pegomya nigritarsis* (eine Blumenfliege) und *Pyropteron subsp.*, sowie *Synansphecica subsp.* (beides Glasflügler) als mögliche Kandidaten genannt. FINZE und BÖHM (2004) verglichen Beweidungssysteme und Dezimierungserfolge von *Rumex subsp.* durch verschiedene Weidetiere. Hierbei stellte sich heraus, dass Schafe den Bestand auf 58 %, Ziegen sogar auf 29 % des Ausgangsbesatzes reduzieren konnten. Im Gegensatz zu den kleinen Wiederkäuern verursachten Rinder einen Anstieg auf 148 % des Ausgangsbesatzes auf der Portionsweide bzw. 114 % auf der Umtriebsweide.

Auch *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel) ist Gegenstand aktueller Forschung. So berichtet DENYS (2002) über die Larven des Schildkäfers *Cassida rubiginosa* (siehe Abb. 35), die



Abbildung 35: Larve von *Cassida rubiginosa*

Fraßschäden an der Pflanze verursachen.⁴⁴ In Kombination mit der Konkurrenzkraft anderer Pflanzen kommt es zum Absterben von 50 % der Disteln. Wenn jedoch der Antagonist des Schildkäfers, die Feldwespe *Polistes dominolus* auftaucht, werden die Erfolge geringer ausfallen oder sogar ganz ausbleiben. *Apion onopordi*, ein Rüsselkäfer, der an der Stängelbasis frisst, hat auf das Wachstum der Distel Einfluss. Allerdings reicht der alleinige Fraß des Käfers laut der BACHER (2003) nicht aus, um als Kontrollorganismus zu fungieren. Da aber die

Weibchen dieser Rüsselkäfer beim Ablegen der Eier *Cirsium arvense* mit dem Pilz *Puccinia punctiformis* infizieren, wie DENYS (2002) erwähnt, sollte diese Art weiter im Auge behalten werden. Bei einer Studie von FISCHL et al. (2004) wurde u. a. erforscht, welche Pilzarten sich auf Samen und vegetativen Vermehrungsorganen von *Cirsium arvense* befinden, die zur biologischen Bekämpfung dieser Pflanze nützlich sein könnten. Neben vielen saprophytischen Pilzgattungen, fanden die Forscher an den Samen u. a. *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima* und *Fusarium subsp.*. Diese Pilze könnten dabei helfen, die Keimlinge des Unkrauts zu vernichten. An den vegetativen Pflanzenteilen wurden insbesondere *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* und *Pythium subsp.* entdeckt.

Neben *Cirsium arvense* wurden durch AMMON und MÜLLER-SCHÄRER (1999) weitere mögliche Unkräuter, die mit biologischer Unkrautregulierung eingedämmt werden könnten, aufgelistet. Hierbei handelt es sich um Unkräuter, die auf Weideflächen vor allem in alpinen Gebieten der Schweiz, anzutreffen sind.

⁴⁴ Abbildung 35 aus Bellman, 2005, S.117



Abbildung 36: *Cirsium vulgare*

Dazu gehören *Rumex obtusifolius* (Stumpfbläättriger Ampfer), *Rumex alpinus* (Alpen-Ampfer), *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel), *Cirsium vulgare* (Gewöhnliche Kratzdistel) (siehe Abb. 36), *Cirsium palustre* (Sumpf-Kratzdistel), *Cirsium spinosissimum* (Alpen-Kratzdistel), *Senecio alpinus* (Alpen-Greiskraut), *Euphorbia subsp.* (Wolfsmilch-Arten), *Veratrum album* (Weißer Germer) (siehe Abb. 37) und *Pteridium aquilinum* (Adlerfarn).⁴⁵



Abbildung 37: *Veratrum album*

In diesen Fällen sind hoch spezifische Kontrollorganismen gefordert, die die hochwertigen Weidepflanzen nicht in ihrem Nahrungsspektrum aufweisen.

Aber nicht nur landwirtschaftlich genutzte Flächen werden von Unkräutern besiedelt, die



Abbildung 38: *Impatiens glandulifera*

durch die biologische Bekämpfung kontrollierbar sind oder sein könnten. So zeigen SHEPPARD, SHAW und SFORZA (2006) in einem Artikel der Zeitschrift *Weed Research* verschiedene invasive Arten in Europa auf, die vor allem Umweltunkräuter darstellen und die heimische Vegetation verdrängen. Hierzu gehören *Buddleja davidii* (Schmetterlingflieder), *Fallopia japonica* (Japanischer Stauden- bzw. Flügelknöterich), *Acacia dealbata* (Silber-Akazie), *Ailanthus altissima* (Götterbaum), *Azolla filiculoides* (Großer Algenfarn), *Impatiens glandulifera*

⁴⁵ Abbildung 36 aus Stichmann, 1996, S. 309

Abbildung 37 aus Stichmann, 1996, S. 215

(Drüsiges Springkraut) (siehe Abb. 38), *Rhododendron ponticum* (Pontischer Rhododendron), *Robinia pseudoacacia* (Gewöhnliche Scheinakazie, Robinie), *Senecio inaequidens* (Schmalblättriges Greiskraut), *Ambrosia artemisiifolia* (Beifußblättriges Traubenkraut), *Carpobrotus edulis* (Essbare Mittagsblume, bzw. Hottentottenfeige), *Heracleum mantegazzianum* (Riesenbärenklau), *Solanum eleagnifolium* (engl. Silverleaf Nightshade), *Baccharis halmifolia* (Kreuzstrauch), *Hydrocotyle ranunculoides* (Hahnenfuß-ähnlicher Wassernabel), *Ludwigia grandiflora* (Großblütiges Heusenkraut), *Crassula helmsii* (Nadelkraut-Dickblatt), *Elodea canadensis* (Kanadische Wasserpest), *Myriophyllum aquaticum* (Brasilianisches Tausendblatt), *Solidago canadensis* (Kanadische Goldrute) (siehe Abb. 39) und *Solidago gigantea* (Riesen-Goldrute) (siehe Abb. 40).⁴⁶



Abbildung 39: *Solidago canadensis*



Abbildung 40: *Solidago gigantea*

Viele dieser Pflanzen wurden als Zierpflanzen und Ziersträucher nach Europa eingeführt und als so genannte Gartenflüchtlinge breiten sie sich nun als Neophyten in der Umwelt aus. Zu einigen dieser Pflanzen wurden schon passende Antagonisten gefunden, bei anderen sind die Forscher noch auf der Suche. So wurden für den aus Ostasien stammenden *Buddleja davidii*

⁴⁶ Abbildung 38 aus Stichmann, 1996, Teil 2, S. 241

Abbildungen 39 und 40 aus Stichmann, 1996, Teil 2, S. 201

zwei Rüsselkäfer aus China nach Neuseeland eingeführt, die nach Risikostudien für einen Einsatz geeignet erschienen. Aber auch zwei Pathogene wurden untersucht, die sich als sehr wirtsspezifisch zeigten. Dagegen ist der optimale Kontrollorganismus laut SHEPPARD et al. (2006) für *Azolla filiculoides* für die europäischen Gebiete noch nicht gefunden worden, denn der in Südafrika erfolgreiche Rüsselkäfer *Stenopelmus rufinasus* ist in kühleren Regionen nicht schlagkräftig genug. Auch für *Heracleum mantegazzianum* ist noch kein geeigneter Antagonist entdeckt worden. Ein potenzielles Pathogen griff auch auf *Pastinaca sativa* (Pastinake) über und musste daher ausgeschlossen werden. Es besteht weiterhin Forschungsbedarf, denn es ist schwierig hoch spezifische Gegenspieler zu finden, die nicht die einheimischen, nahverwandten Pflanzen auch befallen. Für *Solidago canadensis* und *Solidago gigantea* werden vier potenzielle Kontrollorganismen in Erwägung gezogen, die spezifisch genug sind die einheimische Art *Solidago virgaurea* (Gewöhnliche Goldrute) nicht zu schädigen.

3.5.2 Forschungsarbeiten aus der Welt

Der folgende Abschnitt befasst sich mit Forschungsberichten aus Amerika, Afrika und Australien über Themengebiete aus Amerika, Afrika und Indonesien.

Euphorbia esula (Scharfe Wolfsmilch) ist ein invasives Unkraut in Nordamerika, das ursprünglich aus Eurasien stammt. In dem Bericht von NOWIERSKI und PEMBERTON (2002) werden aktuelle Daten aufgeführt, welche Kontrollorganismen schon freigelassen wurden und in welchem gegenwärtigen Status sie sich befinden. In einer Analyse wurden 107 heimische *Euphorbia subsp.* in Amerika festgehalten, von denen 45 östlich des Mississippi verbreitet sind und wiederum davon sechs zur Untergattung *Esula* gehören, zu denen auch die Scharfe Wolfsmilch zählt. In Europa und China, in denen die *Euphorbia esula* zu Hause ist, wird schon seit 1960 bzw. seit Ende der 1980er nach passenden Antagonisten gesucht.

Einige wurden schon freigelassen, so *Hyles euphorbiae* (Wolfsmilchschwärmer) (siehe Abb. 41), *Chamaesphecia tenthrediniformis* (Eselwolfsmilch-Glasflügler), *Oberea erythrocephala* (Rotköpfiger Linienbock), *Aphthona spp.* (gehören zu den Blattkäfern), *Spurgia esulae* und *Lobesia euphorbiana* (gehört zu den Wicklern).⁴⁷ Die beiden Autoren gehen davon aus, dass *Euphorbia esula* durch die *Aphthona*-Arten, vor allem durch *A. nigricutis* und *A. lacertosa*, dezimiert werden kann. Allerdings können sich diese Populationen unzureichend an schattigen Plätzen oder an Uferbereichen ansiedeln. Deshalb müsste man Arten finden, die an solchen Orten fähig sind, die scharfe Wolfsmilch zu reduzieren.



Abbildung 41: *Hyles euphorbiae* – Imago und Raupe

SOBHIAN et al. (2000) waren auf der Suche nach weiteren Kontrollorganismen. Als möglicher Antagonist wurde in der Nähe von Cavaillon in Frankreich *Spurgia capitigena*



Abbildung 42: *Spurgia capitigena*

(Wolfmilchschofpfgalle) (siehe Abb. 42) an *Euphorbia esula* gefunden.⁴⁸ *Spurgia capitigena* (Wolfmilchschofpfgalle) ist an verschiedene Klimaregionen angepasst und senkt die Samenproduktion der Wirtspflanze. Aus Versehen wurde diese Art zusammen mit *Spurgia esula* freigelassen. Die Forscher waren der Meinung, dass *Spurgia capitigena* (Wolfmilchschofpfgalle) genauso wirtsspezifisch wäre, wie *Spurgia esula*. Dies wurde bei der Studie von SOBHIAN et al. (2000) untersucht. Dazu wurden Feldversuche in Frankreich und

⁴⁷ Abbildung 41 aus Stichmann, 1996, Teil 1, S. 325

⁴⁸ Abbildung 42 aus Bellmann, 2005, S. 227

Gewächshausversuche in Montana und Italien durchgeführt. Bei den so genannten „no-choice“ und „choice“ Tests konnte festgestellt werden, dass das Wirtsspektrum von *Spurgia capitigena* (Wolfmilchschofpgalle) auf die Gattung *Euphorbia* mit der Untergattung *Esula* beschränkt ist. Zu dieser Untergattung gehören auch die in Amerika heimischen Arten *Euphorbia incisa* und *E. robusta*, die ebenfalls von *Spurgia capitigena* befallen werden. Jedoch sind die Verbreitungsgebiete dieser Arten zerstreut und befinden sich in trockenen Regionen, welche für *Spurgia capitigena* ungeeignet erscheinen. Weitere Arten die von dieser Art in den Versuchen als Wirt genutzt wurden, sind *Euphorbia cyparissias* (Zypressen-Wolfsmilch), *E. myrsinites* (Walzen-Wolfsmilch) und *E. characias* (Palisaden-Wolfsmilch), sowie *E. telephoides*. Da die Verbreitung der letztgenannten, bedrohten Art sich lokal beschränkt, stellen SOBHIAN et al. (2000) die Vermutung an, dass der Befall durch *Spurgia capitigena* (Wolfmilchschofpgalle) im Freiland unwahrscheinlich ist. Außerdem befallen Insekten unter „no-choice“ Bedingungen mehr Pflanzen, als unter Feldbedingungen. SOBHIAN et al. (2000) sind der Meinung, dass *Spurgia capitigena* (Wolfmilchschofpgalle) in freier Natur sich ähnlich verhalten wird, wie die seit 1985 in Nordamerika eingebürgerte Art *Spurgia esula*, von der keine „Übergriffe“ auf heimische Arten bekannt sind.

LYM und NELSON (2002) untersuchten die Auswirkungen auf *Euphorbia esula* von kombinierten Bekämpfungsmethoden, da noch nicht in allen Verbreitungsgebieten Erfolge verzeichnet werden konnten. Dabei stellte sich heraus, dass durch Kombination von *Aphthona nigricutis* oder *Aphthona czwalinae* und *Aphthona lacertosa* mit einer im Herbst applizierten, subletalen Herbizidgabe von Picloram plus 2,4-D die Bestände des Unkrautes schneller unter Kontrolle gebracht werden konnten, als bei jeder Methode für sich allein. Am besten zeigte diese Methode Wirkung, wenn bestehende Käferpopulationen genutzt wurden. Sie schaffte eine um drei bis fünf Jahre schnellere Reduzierung der Unkrautdichte, als die Verfahren alleine. Danach konnten die Insekten wenigstens sieben Jahre lang *Euphorbia esula* kontrollieren. Die Frühjahrsapplikation verursachte Futtermangel bei den adulten Tieren und dadurch eine unzureichende Entwicklung der Population. Mit der eben erwähnten Methode können laut LYM und NELSON (2002) das drei- bis fünffache an Kosten gespart werden, verglichen mit der chemischen Vorgehensweise. Die gestiegene Wirkung durch die Kombination sind laut NELSON und LYM (2003) additive Effekte und nicht synergetische.

Verglichen mit Hawaii konnte *Lantana camara* (siehe Abb. 43) in Südafrika nicht zufrieden stellend bekämpft werden und stellt bis heute ein Problem in dieser Region dar.⁴⁹ 1961/62 wurden fünf Insekten freigelassen, von denen sich vier etablieren konnten und 1990 noch einmal 16, von denen sich acht verbreiteten. Zur Zeit haben sieben Insektenarten



Abbildung 43: *Lantana camara*

schädigenden Einfluss auf den Zierstrauch, wenn auch nicht flächendeckend und nur sporadisch. 1999 wurde *Falconia intermedia* freigelassen und etablierte sich auch, dennoch erscheint das gesamte Programm der biologischen Regulierung bisher ineffektiv zu sein. Ein möglicher Grund könnte die große Varietät der Biotypen von *Lantana camara* sein, so

berichtet SIMELANE (2002), die nicht von jedem Antagonisten akzeptiert und an die die Insekten angepasst sind. Auch klimatische Unterschiede sind Umstände, die eine breite Bekämpfung bisher nicht möglich gemacht haben. Ein viel versprechender Kandidat ist *Ophiomyia camarae*, der bei Versuchen zur Wirtsspezifität, bei denen 39 Pflanzen aus zwölf Familien getestet wurden, nur auf *Lantana camara*, *L. trifolia* und vier Arten der naheverwandten *Lippia*-Gattung überlebte. In Untersuchungen, so genannten „pair-choice“ Tests, bei denen den Tieren jeweils zwei Arten zur Eiablage zur Verfügung standen, wobei eine davon immer *Lantana camara* war, wählten sie bevorzugt das Wandelröschen. Aus diesen Ergebnissen und dem Vorteil des Insekts über einen kurzen Lebenszyklus, sowie über eine hohe Reproduktionsrate zu verfügen, schließt SIMELANE (2002), dass *Ophiomyia camarae* ein großes Potenzial als Kontrollorganismus hat. Durch das Minieren der Larven entlang der Blattadern, scheint das Transportsystem der Blätter blockiert zu sein und verhilft

⁴⁹ Abbildung 43 aus Bärtels, 2002, S. 152

somit zur Eindämmung der Ziersträucher. Die Freilassung dieser Spezies war für 2001 geplant.

Im Gegensatz zu SIMELANE (2002) sprechen BAARS und HEYSTEK (2003) von drei Kontrollorganismen, die sich im gesamten Verbreitungsgebiet des Wandelröschens etabliert haben und von zweien, die auf die warmen, subtropischen Regionen beschränkt sind. Zu den ersten drei Insekten gehören *Calycomyza lantanae*, *Ophiomyia lantanae* (siehe Abb. 44) und

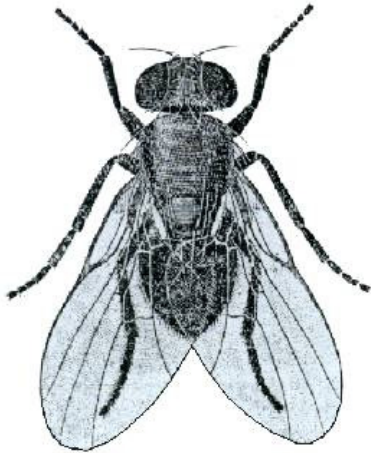


Abbildung 44: *Ophiomyia lantanae*

Teleonemia scrupulosa.⁵⁰ In den warmen Gegenden finden sich *Octotoma scabripennis* und *Uroplata girardi*. BAARS und HEYSTEK (2003) begründen den unbefriedigenden Zustand damit, dass, wie oben schon angeführt, *Lantana camara* eine hohe Variabilität und ein weites Verbreitungsgebiet aufweist, aber auch, dass die Anzahl der Antagonisten durch Feinde gemindert wird. Die Forscher untersuchten das aktuelle Populationsaufkommen der oben genannten Arte und fanden dabei heraus, dass *Teleonemia scrupulosa*, *Uroplata girardi* und *Octotoma scabripennis* die Organismen waren, die dem Wandelröschchen am meisten zusetzten. *Ophiomyia lantanae* war in dieser Studie am

häufigsten vertreten, aber diese Fliegen sind für ihre schwankenden Populationen bekannt. *Teleonemia scrupulosa* und *Calycomyza lantanae* bevorzugen bestimmte Biotypen von *Lantana camara*, was ein selektives Verhalten darstellt und damit keine optimalen Voraussetzungen zur flächendeckenden biologischen Regulierung bietet. Jedoch zeigte die Untersuchung von BAARS und HEYSTEK (2003), dass die fünf Insekten auf vielen Biotypen im Verbreitungsgebiet des Wandelröschchens vorkommen. Einen möglichen weiteren Kandidat zur Bekämpfung von *Lantana camara* erforschten HEYSTEK und BAARS (2005). *Aconophora compressa* stammt aus Mexiko und es wurde berichtet, dass diese Art dort sehr schädlich ist. Dadurch erschien sie für Afrika ein zu prüfender Kontrollorganismus zu sein. Adulte Tiere und Nymphen ernähren sich von dem Saft der Stängel und Äste. Dadurch

⁵⁰ Abbildung 44 aus http://www.ento.csiro.au/aicn/name_s/b_2935.htm

welken Blätter und Blüten, und ein allmähliches Absterben der Äste ist die Folge. Jedoch stellte sich bei den Versuchen von HEYSTEK und BAARS (2005) heraus, dass diese Insekten nicht nur auf anderen in Afrika heimischen, dem Wandelröschen nahverwandten Pflanzen überlebten, sondern, dass sie sogar diese Pflanzen zur Reproduktion bevorzugten und eine gleiche oder auch bessere Vermehrungsrate aufwiesen. *Aconophora compressa* freizulassen wäre demnach zu gefährlich für die einheimischen *Lippia*-Arten und deshalb wurde der Organismus als Antagonist von *Lantana camara* in Afrika ausgeschlossen.

Eine andere Zierstrauchart, die zur Plage wurde, sind *Tamarix subsp.* (Tamarisken-Arten) in Nordamerika, vor allem in der westlichen USA. Der ursprünglich aus Eurasien und Afrika stammende, Anfang des 19. Jahrhunderts nach Amerika eingeführte, Zierstrauch verdrängt an seinen Standorten die heimische Vegetation und erhöht das Risiko sowie die Intensität von Bränden und Fluten, so berichten MUZIKA und SWEARINGEN (2005). Weitere Nachteile dieser Unkrautart sind laut QUIMBY et al. (2003) die Reduktion der Biodiversität, die sie verursachen, die Vergeudung von Grundwasser und das Potenzial Bachverläufe zu verändern. Die Tamarisken in Amerika sind vor allem an Gewässern jeglicher Art und auf feuchten Wiesen und Weiden zu finden. Bei der Bekämpfung mit effektiven, chemischen Herbiziden weisen MUZIKA und SWEARINGEN (2005) darauf hin, dass darauf geachtet werden sollte, dass die Bestimmungen erfüllt sind, um an Gewässern die Zielpflanzen behandeln zu können. Die mechanische Bekämpfung wird auch angewandt. Allerdings ist eine Kombination aus der chemischen, der mechanischen und der biologischen Methode, nach Meinung der oben genannten Autoren, am erfolgreichsten. Bei der biologischen Bekämpfung von *Tamarix subsp.*, von denen vor allem *T. aphylla*, *T. chinensis* (Chinesische Tamariske), *T. gallica* (Französische Tamariske), *T. parviflora* (Kleinblütige Tamariske) und *T. ramosissima* (Kaspische Tamariske) in Amerika vertreten sind, werden zur Zeit 15 Insekten untersucht, die potenzielle Antagonisten darstellen. Zwei Käfer besitzen die vorläufige Erlaubnis zur Freilassung.

Die endgültige Entscheidung wird von dem Effekt, den sie womöglich auf die bedrohte Vogelart *Empidonax trailii extimus* (siehe Abb. 45) ausüben, abhängig gemacht.⁵¹ Der Vogel ist auf die Tamarisken beim Nisten ausgewichen, da seine eigentlichen Nistbäume, die Weiden, von den Tamarisken verdrängt wurden. Es wird befürchtet, dass nach erfolgreicher biologischer Bekämpfung der Tamarisken die heimische Vegetation nicht stark genug ist, ihre angestammten Plätze wieder einzunehmen. QUMIBY et al. (2003) erforschten den Wirtsbereich des Käfers *Diorhabda elongata subsp. deserticola*. Die Käfer, die untersucht wurden, stammen alle aus China oder aus dem östlichen Kasachstan. Bei den Versuchen konnte das Wirtsspektrum von *Diorhabda elongata subsp. deserticola* auf *Tamarix subsp.* eingeengt werden. Bis auf die in Nordamerika heimischen *Francia*-Arten, die als schwache Wirte dem Käfer dienen, wurde keine weitere getestete Pflanze befallen. Daher sollte diese Art nach Meinung der Forscher als Kontrollorganismus in Betracht gezogen werden. Trotz der Umstrittenheit dieses Projektes, wegen des oben aufgeführten Naturschutzproblems, wurden Freilandversuche 2001 und 2002 erlaubt und durchgeführt. Dabei wurden die anfänglichen Ergebnisse als ermutigend bewertet.



Abbildung 45: *Empidonax trailii extimus*

Das nächste Problemunkraut ist *Pueraria lobata* (Kudzu), das ursprünglich aus Ostasien stammt und bis 1950 in den USA als Futter auf überweidetem Grünland oder als Erosionsschutz diente und sogar subventioniert wurde. Innerhalb der folgenden 20 Jahre entwickelte sich diese Pflanze zu einem Unkraut, das bald eine Herausforderung bezüglich der Bekämpfung darstellen würde. QUIMBY et al. (2003) untersuchten diesbezüglich den Pilz *Myrothecium verrucaria*, als möglichen Kontrollorganismus für Kudzu. Die Wissenschaftler verglichen die Wirkung verschiedener Konzentrationen der Pilzsporen an mehreren Wachstumsstadien der Pflanzen bei unterschiedlichen Temperaturen. Außerdem

⁵¹ Abbildung 45 aus <http://dwr.cdc.nv.utah.gov/rsgis2/search/Display.asp?FINm=empitrai>

wurde die Wirkung des Pilzes unter Feldbedingungen getestet und es wurde nach unerwünschten Mykotoxinen gesucht. Bei der höchsten Inokulumgabe (2×10^8 Konidien pro ml) konnten 90 % der Pflanzen im Sieben- bis Achtblattstadium unter Kontrolle gebracht werden. Bei einer Temperatur von 30-40 °C konnten die besten Ergebnisse erzielt werden. Als Hilfsstoff, um den Pilz zu aktivieren, wurde Silwet L-77 (Hilfsstoff auf Silikonbasis) verwendet. Der Pilz braucht einen solchen Hilfsstoff, um wachsen zu können. Daher würde er sich auch nicht wild in der Natur verbreiten, sondern nur dort, wo die Behandlung erfolgte. Bei einem Einsatz von zwei Milliliter Silwet L-77 und einer Konidienkonzentration von 2×10^7 je ml konnte nach 14 Tagen eine 100 %ige Kontrolle nachgewiesen werden. Allerdings erbrachten die toxikologischen Untersuchungen, dass der Pilz phytotoxische, aber auch zytotoxische Mykotoxine auf verschiedenen Medien produziert. Dadurch besteht die Gefahr von Vergiftungserscheinungen bei Tieren, obwohl auf Testpflanzen kein toxisches Mykotoxin entdeckt werden konnte. Aufgrund dieser Tatsache wird in nächster Zeit nach Isolatn geforscht, die keine zytotoxischen Mykotoxine produzieren, um die Gefahren zu minimieren.



Abbildung 46: *Chromolaena odorata*

CRUTTWELL McFADYEN (1999) berichtet über *Chromolaena odorata* (siehe Abb. 46), ein Unkraut, das auf Weideland und Plantagen in Südostasien vorkommt und ursprünglich aus den Tropen Amerikas stammt.⁵² Es wurde über botanische Gärten eingeführt und besiedelt mittlerweile Teile Indonesiens, vor allem Timor und Irian Jaya, sowie Papua-Neuguinea und kann sich demnächst auch auf Australien ausbreiten. Es ist wegen seiner Konkurrenzfähigkeit in tropischen Klimaten und der Fähigkeit, nach Bränden schnell nachzuwachsen, gefürchtet. Zwei Kontrollorganismen wurden nach CRUTTWELL McFADYEN (1999) schon freigelassen, *Pareuchetes pseudoinsulata* und *Procecidochares connexa*. *Pareuchetes pseudoinsulata* hat sich schon auf

⁵² Abbildung 46 aus http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Chromolaena_odorata_1.jpg

mindestens 10000 km² ausgebreitet und kontrolliert in einigen Gegenden erfolgreich die Bestände des Unkrauts. Auf Java und West-Timor konnte sich das Insekt nicht ausreichend ansiedeln. Und auf Sumatra ist die Hälfte der Population von *Pareuchetes pseudoinsulata* von einem Parasiten befallen. Dagegen konnte *Procecidochares connexa* sich in allen Bereichen, in denen es freigelassen wurde, aussichtsreich etablieren. Die einzige Einschränkung ist die Ansiedlung ab einer Höhe von 700 bis 800 m oder bei zu wenig Sonneneinstrahlung und zu viel Regen. Insgesamt werden die Pflanzen durch die Gallenbildung geschwächt und an schwer betroffenen Pflanzen werden eine verringerte Blütenanzahl und das Absterben von Stängeln beobachtet. Letztendlich findet *Procecidochares connexa* auch verstreut liegende befallene Bereiche besser als *Pareuchetes pseudoinsulata*. Die Kombination der beiden Insekten führt im Norden Sumatras zur wirksamen Reduzierung von *Chromolaena odorata*, in anderen Teilen Indonesiens ist *Procecidochares connexa* allein dafür zuständig.

Für einen weiteren Antagonisten, *Actinote antea* (*Lepidoptera*), stand die Erteilung der Erlaubnis zur Freilassung in Indonesien nach Angaben der oben genannten Autorin kurz bevor. Dieser Tagschmetterling und seine Larven fressen die Blätter ihrer Wirtspflanzen. Dazu gehören nur *Chromolaena* und *Mikania*, auf denen die Entwicklung komplett ablaufen kann. Man hofft, dass dieser Schmetterling sich dort ansiedelt, wo *Pareuchetes pseudoinsulata* keinen Erfolg verzeichnen konnte.

An anderen Kontrollorganismen forschen die Wissenschaftler weiterhin, darunter an *Conotrachelus*-Rüsselkäfern, die ihre Eier als Gallen an die Triebspitzen der Wirtspflanze setzen und dadurch deren Wuchs vermindern. *Longitarsus*- Käfer, die an trockenes Klima gewöhnt sind und deren Larven die Wurzeln anfressen, werden speziell für die östlichen Inseln Indonesiens untersucht, auf denen vorwiegend solche Klimabedingungen vorherrschen.

3.6 Grenzen und Risiken dieses Verfahrens

Auch sollten die Grenzen und Risiken der biologischen Unkrautregulierung aufgezeigt werden, denn diese Methode ist nicht immer in allen Situationen von Vorteil, sondern sie beinhaltet auch Nachteile.

In Europa ist die Gesetzeslage für eine vorbeugende Maßnahme zum Schutz der einheimischen Vegetation nicht optimal. So gilt nämlich nur das Einfuhrverbot für Pflanzen, die auf der so genannten Schwarzen Liste stehen. Nach SHEPPARD et al. (2006) sind die Pflanzen „unschuldig“ bis ihnen nachgewiesen werden kann, dass sie invasiv und problematisch sind. Hingegen besitzen z. B. Australien und Neuseeland das Prinzip der Weißen Liste, auf der Pflanzen vermerkt sind, deren „Unschuld“ bewiesen wurde und die deshalb ohne Genehmigung eingeführt werden dürfen.

Durch Restriktionen von Regierungen kann auch die Einfuhr von biologischen, exotischen Kontrollorganismen verboten sein, obwohl bestätigt ist, dass eine Wirtsspezifität vorliegt. Dies kann durch falsche Interpretation von Quarantäne- und Importgesetzen entstehen und durch ungeschulte Mitarbeiter, die das dazugehörige Fachwissen nicht besitzen und sich deshalb in diesem Fachgebiet nur unzureichend auskennen. Außerdem ist die Umsetzung von der EU-Empfehlung in Gesetze der verschiedenen Ländern, laut SHEPPARD et al. (2006), nicht immer einheitlich, wodurch auch Schwierigkeiten entstehen können.

Ein weiteres Hindernis für die Anwendung der biologischen Unkrautbekämpfung ist die Frage der Finanzierung. Das Problem beginnt bereits, wenn darüber diskutiert wird, ob sich eine Bekämpfungsmaßnahme lohnt. Es müssen Investoren gefunden werden, die bereit dazu sind Geld in ein Projekt zu stecken, das auch im Misserfolg enden kann. Dabei muss beachtet werden, dass die Forschungs- und Entwicklungszeit für so ein Konzept Jahre, sogar Jahrzehnte, dauern kann. Während des langen Zeitraums können Mitarbeiter ihren Arbeitsplatz wechseln und Forschungsarbeiten an die „nächste Generation“ weitergereicht werden, wodurch sich die Entwicklungszeit nicht verkürzen wird. Die Investoren sind für „Ackerunkräuter“ eher zu finden, als bei Problemen, die durch „Umweltunkräuter“ entstehen. Die Geldgeber finanzieren die Entwicklung, die Patentsicherung, die Produktionskosten, die Registrierung und sind dadurch an der Marktgröße und der Absatzmenge interessiert, um die

Gewinnspanne zu optimieren (WATSON, 1999). Wenn der Gewinn also zu klein ist, werden sich keine privaten Interessenten finden. Staatliche Unterstützung ist dann die alternative Möglichkeit. Hierbei spielen Interessenskonflikte eine große Rolle. So wird die öffentliche Meinung, die der Naturschutzverbände und nicht zuletzt die der chemischen Industrie möglicherweise mit in die Entscheidung einfließen, ein Projekt der biologischen Unkrautregulierung zu fördern. Jedoch hat die allgemeine Öffentlichkeit oft eine falsche oder gar keine Vorstellung von dem Prinzip dieser Methode und schätzt laut SHEPPARD et al. (2006) die Probleme, die z. B. durch invasive Pflanzen entstehen, verkehrt ein. Im Hinblick darauf müsste verstärkt Öffentlichkeitsarbeit geleistet werden, um die Leute über diese Art der Unkrautbekämpfung zu informieren.

Eine weitere Gefahr dieser Forschungsrichtung besteht im Missbrauch dieser Methode. Wie in fast jeder anderen Sparte, dient auch dieses Verfahren nicht nur dem guten Zweck. Im Krieg beispielsweise würde sich der „Vernichtungseffekt“ dann aber nicht auf unerwünschte Unkräuter auswirken, sondern auf Nutzpflanzen, die die Bevölkerung als Nahrung braucht. Dadurch käme es zu einer Art Aushungerungsstrategie durch Ernteauffälle. Wenn einheimische Antagonisten dabei genutzt würden, könnte der Angriff sogar schlecht nachgewiesen werden.

Hingegen ein weiteres „alltägliches“ Hauptproblem dieser Methode ist in manchen Fällen die Wirksamkeit. Nicht jedes Unkraut ist durch dieses Verfahren einzudämmen und es muss zuvor festgestellt werden, ob die Zielpflanze bekämpfungswürdig ist und ob die biologische Methode eine Möglichkeit hierfür darstellt. Dazu werden, wie vorher schon erwähnt, Kosten-Nutzen-Analysen herangezogen. Die Anwendungsgebiete sind vor allem extensiv genutzte, brachliegende, sowie naturgeschützte Flächen. Aber durch die fortschreitende Entwicklung der Bioherbizide und der System-Management-Methode kommen auch andere, intensiv genutzte Felder in Frage. Wie in den vorangestellten Kapiteln schon erwähnt, reicht nicht immer ein Kontrollorganismus aus, um das Problem zu beheben.

Oft schädigen die Antagonisten zwar ihre Wirtspflanze, schaffen es aber nicht, die Dichte des Bestandes zu reduzieren. Das könnte dann an zu kleinen, zerstreuten Populationen der Organismen liegen, oder auf Umwelteinwirkungen beruhen, die ungünstige Voraussetzungen für die Helfer darstellen. Das Problem bei zu kleinen Populationen könnte die Zeit lösen, da durch Vermehrung über einen Zeitraum hinweg, sich der Bestand erst einmal aufbauen und etablieren muss. Durch eine entsprechend hohe Anfangspopulation, die ausgesetzt

wird, könnte das Problem aber verkleinert oder auch vermieden werden. Zudem könnte durch das Freilassen mehrerer Antagonistenarten die Chance erhöht werden, dass die Kontrolle über das Zielunkraut gelingt.

Bei widrigen Umwelteinflüssen sollte man nach widerstandsfähigeren Gegenspielern suchen oder bessere Umstände, wie z. B. feuchtes Wetter, abwarten. Gerade pilzliche Erreger sind vom Wetter, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängig. Die Anpassung mancher Kontrollorganismen ist nur auf eine Klimaregion beschränkt, andere sind variabler. Einen weiteren Einfluss von außen können mögliche Feinde und Parasiten auf die Population und die Effektivität der „Unkrautvernichter“ ausüben. Sie dezimieren die Bestände der Antagonisten und zerstören dadurch die Schlagkraft der Kontrollorganismen.

An einer zu geringen Wirkung kann auch die unzureichende Pathogenität eines Krankheitserregers Schuld sein, der zu schwach ist, um eine richtige Epidemie in dem Bestand seiner Wirtspflanze auszulösen. Bei Bioherbiziden kann eine schlechte, minderwertige Formulierung oder eine Applikation, die nicht sachgemäß ausgeführt wurde, einen unzureichenden Effekt bewirken. Außerdem ist die Lagerfähigkeit und die Haltbarkeit der Bioherbizide zur Zeit noch begrenzt.

Ein weiterer Nachteil der klassisch-biologischen Unkrautregulierung ist die oft lange Zeitspanne, bis die Wirkung einsetzt. Daher ist sie für Probleme, die eine sofortige Maßnahme benötigen, ungeeignet. Jedoch sollte diese Methode im Gegenzug dazu aber konstant, über eine längere Zeit die Wirkung aufrechterhalten.

Der Vorteil der Selektivität, die Voraussetzung für die biologische Unkrautbekämpfung, kann aber auch einen Nachteil darstellen.

Manche Antagonisten sind derart angepasst, dass sich ihr Wirtsspektrum sogar nur auf einzelne Biotypen, Sorten einer Art beschränkt. Dies hat dann zur Folge, dass der gewünschte Effekt, die gesamte Unkrautpopulation zurückzudrängen, nicht eintritt. Oder wenn auf einer betroffenen Fläche mehr als ein Problemunkraut auftritt, so kann durch die Eigenschaft der Wirtsspezifität die Methode zur Zeit noch nicht alleine angewandt werden. Durch andere Verfahren wird sie dann unterstützt oder ersetzt.

Die Kombination von verschiedenen Verfahren birgt aber auch die Gefahr, dass sich die einzelnen Vorgehensweisen gegenseitig oder einseitig beeinträchtigen. So kann z. B. durch

mechanische oder chemischen Verfahren den biologischen Kontrollorganismen die Nahrungs- oder Fortpflanzungsgrundlage entzogen werden, indem ihre Wirtspflanzen zu einem, für den Lebenszyklus des Antagonisten, falschen Zeitpunkt vernichtet wird.

Für Ungräser gibt es derzeit noch wenige Möglichkeiten, diese biologisch zu bekämpfen. Ein Beispiel ist das Bioherbizid CAMPERICO, deren Pathogen ein Bakterium ist, das das Ungras *Poa annua subsp. annua* (Jährige Rispe) auf Golffrasen wirksam bekämpft. ROSENTHAL et al. (1984) begründen, weshalb erst wenige Möglichkeiten zur biologischen „Ungrasregulierung“ zur Verfügung stehen, durch die nahe Verwandtschaft vieler Ungräser zu wichtigen Getreidearten oder deren Einsatz in anderen Regionen als Futterpflanzen. WATERHOUSE (1999) berichtet, dass aber das Potenzial weiterhin erforscht wird.

Ein mögliches Risiko besteht in der Übertragung von erfolgreichen Projekten auf andere Regionen. Ein Beispiel dafür schildert PEMBERTON (2000), der die Anwendung von passend selektiven Kontrollorganismen befürwortet. Er berichtet über die Käferart *Rhinocyllus conicus* (siehe Abb. 47), die sowohl in den USA, als auch in Argentinien zur Dezimierung von invasiven Distelarten ausgesetzt wurde.⁵³ Allerdings bewirkt sie in USA nicht nur den gewünschten Effekt, wie in Argentinien, sondern befällt zudem noch heimische *Cirsium*-Arten.



Abbildung 47: *Rhinocyllus conicus*

Dies ist auch das häufigste genannte Risiko, das bei der biologischen Unkrautregulierung befürchtet wird. PEMBERTON (2000) zählt ein paar Beispiele auf, bei denen die Antagonisten auch andere Pflanzen als die Zielunkräuter befielen.

Überwiegend waren diese Pflanzen mit dem Zielunkraut nah verwandt oder sogar in der gleichen Gattung, aber ein Kontrollorganismus von *Lantana camara*, *Teleonemia scrupulosa* befiel auf Hawaii sogar eine mit dem Wandelröschen nicht nah verwandte Pflanze, *Myoporum sanwicense*, und in Uganda sogar Bestände von *Sesamum indicum* (Sesam). Daraus lässt sich schließen, dass *Teleonemia scrupulosa* nicht der erwartete Spezialist ist, für

⁵³ Abbildung 47 aus http://www.ento.csiro.au/aicn/name_s/b_3578.htm

den man ihn 1902 bei seiner ersten Freilassung auf Hawaii hielt. Er wurde dort auch ohne Versuche hinsichtlich Wirtsspezifität freigelassen. Bis heute ist sein wahres Wirtsspektrum unbekannt.

Ein weiteres Beispiel, das PEMBERTON (2000) zu diesem Thema aufführt, ist der oben bereits erwähnte Käfer *Rhinocyllus conicus*, der in den USA mittlerweile 22 von 90 heimischen *Cirsium*-Arten (Distelarten) zu seinen Wirtspflanzen zählt. Wahrscheinlich würde *Rhinocyllus conicus* alle Distelarten befallen, wenn diese seinem Lebenszyklus angepasst wären. Denn die Eiablage erfolgt ausschließlich an den Blüten der Disteln, und durch eine verspätete Blüte können sich manche Distelarten dem Befall anscheinend entziehen.

Insgesamt gesehen ist das Risiko jedoch gering, dass die Kontrollorganismen auf andere Pflanzen übergreifen. PEMBERTON (2000) zeigt in einer Auflistung, dass von 117 etablierten Antagonisten in den USA, der Karibik und auf Hawaii 15 Stück einheimische Pflanzen als Wirtspflanzen nutzen. Vierzig von einundvierzig heimischen „Nicht-Zielpflanzen“ sind mit dem Zielunkraut nahe verwandt.

Daraus lässt sich nach Meinung der Verfasserin schließen, dass die Kontrollorganismen nur unzureichend auf ihre Wirtsspezifität getestet wurden, oder dass sie sich an ihre neue Umgebung angepasst haben und einen Wirtswechsel vollständig oder teilweise vollzogen haben.

Ein Lösungsansatz für diese Problematik wäre laut PEMBERTON (2000) vorwiegend Unkräuter für die klassisch-biologische Methode auszuwählen, die wenige oder keine einheimischen Verwandten in dem betroffenen Gebiet besitzen, um die einheimische Vegetation zu schützen und die Gefahr des Wirtswechsels weiter zu verringern. Außerdem sind genaue Versuche zur Wirtsspezifität Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Freilassung von Kontrollorganismen.

3.7 Die Zukunft der biologischen Unkrautregulierung - Möglichkeiten, Ideen, Visionen

Die biologische Unkrautregulierung wird in der Zukunft an Bedeutung gewinnen, wenn immer mehr Unkräuter Resistenzen gegen chemische Herbizide entwickeln, wenn weiterhin invasive Pflanzen einheimische Vegetation verdrängen und wenn der Mensch bewusster mit seiner Umwelt umgehen will und versucht die Herbizidmengen weiter zu reduzieren.

Nach Angaben der Biologischen Bundesanstalt (STARFINGER et al. 2005) zählen 30 der ca. 380 Neophyten in Deutschland zu den Arten, die die heimische Biodiversität gefährden. Mithilfe der biologischen Unkrautregulierung könnten exotische Kontrollorganismen die Bekämpfung dieser invasiven Spezies unterstützen. Dazu sollte nach den Antagonisten in der Heimat dieser Arten geforscht werden, wie das bei *Heracleum mantegazzianum* (siehe Abb. 48), dem Riesen-Bärenklau, schon gemacht wird.⁵⁴ Nach Aussage von SHEPPARD et al. (2005) verursacht der Kontakt mit dem Saft dieser gebietsfremden Pflanze aus dem Kaukasus, in Verbindung mit Sonnenlicht Verbrennungen auf der Haut und ist daher gesundheitsschädlich. Auch *Ambrosia artemisiifolia*, die Beifußblättrige Ambrosie, ist eine Pflanze, die die Gesundheit gefährdet. Sie ist höchst allergen und allein fünf bis zehn Pollen pro Kubikmeter Luft, so geben



Abbildung 48: *Heracleum mantegazzianum*

STARFINGER und SCHRADER (2007) die Konzentration an, können bei empfindlichen Menschen Allergien auslösen. Aber diese Pflanze bereitet auch als landwirtschaftliches Unkraut in Ungarn Probleme. So ist der Anteil an Bedeckung in Maisfeldern, nach Angaben

⁵⁴ Abbildung 47 aus Stichmann, 1996, Teil 2, S. 135

von FARKAS (2004), von 0,4 % im Jahr 1950 auf 5,4 % im Jahr 1996 gestiegen. Damit belegt das Unkraut Platz eins der wichtigsten Unkräuter in Ungarn.

Mit intensiver Forschungsarbeit werden in Zukunft hoffentlich Strategien entwickelt werden können, die dazu beitragen, neue geeignete Kontrollorganismen zu finden, die helfen, die Wechselbeziehung zwischen Antagonist und Zielpflanze besser erkennen und begreifen zu lernen. Außerdem sollte die Anwendung optimiert werden, um dadurch die Erfolgsquote der biologischen Unkrautbekämpfung weiterhin zu steigern.

Einen großen Fortschritt könnte durch bessere Erforschung von interspezifischen Beziehungen zwischen Unkrautarten, Antagonisten, deren Feinden und den angebauten Nutzpflanzen gemacht werden. Wenn die Wechselwirkungen besser verstanden werden, ist es auch leichter Ausgangspunkte zu definieren, an denen angesetzt werden kann. Aber auch die Umweltbedingungen und die anthropogenen Einflüsse müssen berücksichtigt werden, um die vernetzten Schritte der Natur nachzuvollziehen.

Das Thema sollte in der Öffentlichkeit besser beleuchtet werden, um Alternativen oder Ergänzungen für Herbizide aufzuzeigen. Es könnten verschiedene Projekte gestartet werden, die in Zusammenarbeit mit Landwirten oder Naturschutzbehörden die praktische Anwendung der biologischen Verfahrensweisen darstellen und der breiten Masse zugänglich machen. So könnte die Aufmerksamkeit in Deutschland auf diese Methode gerichtet werden, die hier noch in den Kinderschuhen steckt. Gerade für den ökologischen Landbau und für den integrierten Landbau bietet sich hier die Chance, den Problemunkräutern Herr zu werden. Im integrierten Landbau könnten die Herbizidmengen weiter reduziert werden. Durch kombinierte Vorgehensweisen könnte mit guter fachlicher Praxis die Vielfalt der Flora in den Agro-Ökosystemen erhalten bleiben und trotzdem die Dichte der Problemunkräuter reduziert werden.

Auch im ökologischen Anbau, wo keine Herbizide angewandt werden dürfen, könnten Antagonisten helfen, Problemunkräuter, wie Ampfer- und Distelarten, mit weniger Aufwand und Arbeit zu kontrollieren.

In Zukunft könnte ein Versuch für eine folgende Masterarbeit der Autorin gestartet werden, bei dem diese Bachelorarbeit die Grundlage dazu liefert. Dabei könnte untersucht werden, ob Problembestände mit *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel) durch Kontrollorganismen besser zu regulieren sind. In einem angemessenen Vergleichsversuch könnte eine betroffene Fläche in verschiedenen Abschnitte eingeteilt werden, auf denen unterschiedliche Methoden zur Dezimierung untersucht würden. In einer Parzelle sollte zu Vergleichszwecken nichts gemacht werden, eine andere durch mechanische Verfahren bearbeitet werden, eine dritte mit biologischen Kontrollorganismen und auf der vierten könnte, unter Berücksichtigung des Lebenszyklus des Antagonisten, eine Kombination aus beiden Methoden angewandt werden. Dazu müsste eine geeignete Fläche ausgewählt, ein passender Kontrollorganismus und eine kombinierbare mechanische Methode gefunden werden. Außerdem könnten Gewächshausversuche vorher dazu dienen, die Eigenschaften des Pathogens oder Insekts zu erforschen, sie zu beschreiben, um daraus Schlüsse für die Anwendung zu ziehen.

Die biologische Unkrautregulierung kann auch auf anderen Kontinenten weiter ausgebaut werden. Amerika, Asien, Afrika und Australien kämpfen mit zahlreichen Problemunkräutern. Einige davon konnten durch die biologische Methode schon von ihrer Bezeichnung „Problemunkraut“ abgestuft werden und verursachen jetzt keine wirtschaftlichen Schäden mehr, wie zuvor. Jedoch sind genug andere Pflanzen noch vorhanden, die als Zielunkräuter definiert werden, und die durch zukünftige Forschungsarbeiten weiter bearbeitet werden müssen.

Um den Nachteil der Selektivität aufzuheben, wäre auch die Entwicklung von Methoden möglich, bei der ein „Cocktail“ mit verschiedenen Kontrollorganismen ausgebracht wird, bei dem jeder für ein anderes Zielunkraut zuständig ist. Dadurch könnten die Leistungen bei Unkrautgesellschaften verbessert werden. Es müsste darauf geachtet werden, dass sich die Antagonisten nicht gegenseitig beeinträchtigen. Es wäre auch denkbar, dass sie sich sogar unterstützen oder zumindest durch den additiven Effekt schneller Wirkung zeigen. Erwünschte Pflanzen könnten sich vermehrt durchsetzen und die geschwächten Konkurrenten in kürzerer Zeit verdrängen. Dies könnte auf Grünland helfen, das in Gebieten liegt, in denen chemische Anwendungen jedoch verboten sind und dessen Hauptanteil von verschiedenen hartnäckigen Unkräutern dominiert wird. Man könnte auch noch dieses Verfahren für jedes einzelne Unkraut verbessern, indem die unterschiedlichen biologischen Methoden miteinander verbunden werden. So könnten zuerst kleine Wiederkäuer vorweiden,

anschließend Insekten zur Verletzung der Pflanzen aussetzen, die dadurch pilzlichen Erregern die Infektion erleichtern. Wenn diese Schritte womöglich noch mit chemischen, mechanischen oder thermischen Verfahren gekoppelt werden, wird die Unkrautpopulation nicht mehr lange ein Problem darstellen.

4 Zusammenfassung

Die biologische Unkrautregulierung, als Alternative in der Unkrautbekämpfung, ist noch immer Neuland in Europa. Die meisten gelungenen Beispiele mit dieser Methode finden sich in Amerika und Australien. Auch wenn mittlerweile Projekte in Europa angesiedelt werden, sind sie eher die Ausnahme. Die fehlende Bekanntheit, Erfolg versprechende Anwendungsmöglichkeiten und die umweltfreundliche Verfahrensweise dieser Methode waren ausschlaggebend für das Verfassen dieser Arbeit.

Der aktuelle Wissensstand, die Anwendbarkeit in der Landwirtschaft sowie die Grenzen und Risiken dieser Methode wurden u. a. hier beleuchtet.

Es steht außer Frage, dass Unkräuter ein großes Problem in der Landwirtschaft darstellen. Aber nicht nur hier werden sie ungern gesehen, sondern auch in anderen Ökosystemen gewinnen einzelne Arten, meist in Form von Neophyten, an Bedeutung. In der Landwirtschaft entstehen durch Unkrautbesatz Ernteverluste, erhöhte Kosten und Qualitätsminderung der Ernteprodukte. Durch überhöhten Gebrauch von Herbiziden, oder auch durch den Verdrängungseffekt invasiver Arten, nimmt die Biodiversität in der heimischen Vegetation ab.

Mithilfe der biologischen Unkrautregulierung kann der Einsatz von Herbiziden gesenkt und der Erhalt der biologischen Vielfalt gewährleistet werden. Sie wird von MÜLLER-SCHÄRER (2002), als „Einsatz von natürlichen Feinden zur Reduktion einer Unkrautpopulation, mit dem Ziel, diese unter die ökonomische und/oder ökologische Schadensschwelle zu drücken“ (Müller-Schärer, 2002, S. 118) definiert. Es werden vier verschiedene Methoden von MÜLLER-SCHÄRER (2002) unterschieden. Zum einen gibt es polyphage Herbivoren, also nicht spezialisierte, Pflanzen fressende Wirbeltiere. Diese können den Unkrautbestand im Wasser oder an Land durch Beweidung reduzieren. Häufig genutzte Tiere bei dieser Methode sind Schafe, Ziegen und unter Wasser Graskarpfen.

Zum anderen gibt es die Methoden, die im engeren Sinne zur biologischen Unkrautbekämpfung gezählt werden, weil die Antagonisten in den meisten Fällen monophag leben und daher für einzelne Problemunkrautarten bestens geeignet sind.

Zu diesen Verfahren zählt die klassische Methode, oder auch inokulative Methode genannt, bei der wenige Individuen einer faunenfremden Art im betroffenen Gebiet gegen ein florenfremdes Unkraut eingesetzt werden und sich eigenständig vermehren. Hierbei werden hauptsächlich Insekten genutzt.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit sind die Bioherbizide, oder auch unter dem Namen der inundativen Methode bekannt, bei der die Antagonisten heimischen Ursprungs sind und im Gegensatz zur klassischen Methode über die gesamte zu behandelnde Fläche in großen Mengen verteilt werden. Pilze, aber auch Bakterien sind für dieses Verfahren besonders geeignet.

Die letzte und neueste Art der biologischen Unkrautregulierung ist die System-Management-Methode. Mit diesem Verfahren sollen einheimische Krankheiten und Schädlinge der Unkräuter stimuliert und unterstützt werden. Dazu nutzt man wenige Individuen des erwünschten Pathogens oder Schädlings und bringt diese verfrüht auf der verunkrauteten Fläche aus, um einen verstärkten Epidemieverlauf zu erzielen.

Mit und an diesen Methoden wird zur Zeit immer wieder geforscht, neue Erkenntnisse werden gewonnen und, wenn möglich, in die Praxis umgesetzt. So wurde die Forschung in Europa durch ein Projekt vorangetrieben, an dem sich 14 Länder beteiligten. Die Wissenschaftler arbeiteten an fünf wichtigen Unkräutern aus Europa mit der Industrie zusammen. Einige erfolgversprechende Ansätze sind dabei erzielt worden, die jedoch weitere Forschung und Entwicklung benötigen.

Außerdem wird nach Möglichkeiten gesucht, perennierende Unkräuter, wie *Rumex subsp.* oder *Cirsium arvense*, besser kontrollieren zu können. Diese Verfahren würden dann z. B. die mechanische Unkrautbekämpfung im ökologischen Anbau unterstützen. Durch Kombination mehrerer Methoden könnten in Zukunft verbesserte Konzepte entwickelt werden. So wäre es eine Chance im integrierten Landbau weiterhin die Herbizidgaben zu senken, indem biologische Vorgehensweisen zusammen mit chemischen angewandt werden, die nur eine subletale Dosis des chemischen Mittels zur Schwächung des Unkrauts benötigen.

Gegenwärtig sind viele Projekte in der Versuchsphase und es wird noch eine Weile dauern, bis sie sich hier in der Praxis etablieren werden. Der aufwendige Ablauf der Testphasen, zur Untersuchung eines möglichen Kontrollorganismus, spielt dabei auch eine Rolle. Denn vor

der Freilassung in die Natur, müssen die Antagonisten auf ihre Wirtsspezifität und ihre Effizienz getestet werden. Denn nur optimale Umstände während der Anwendung erzielen die gewünschte Wirkung.

Außerhalb Europas werden biologische Unkrautregulierungsmaßnahmen schon länger genutzt. Das erste Beispiel dieser Art fand ungewollt in Indien statt. Dort erkannten die Menschen, dass sie durch die Einfuhr einer „falschen“ Schildlaus die wuchernden Bestände von *Opuntia vulgaris* gezielt eindämmen konnten. Auf Hawaii wurde ab 1902 *Lantana camara* durch Freilassung mehrerer Insekten langsam minimiert. Aber auch heute wird in allen Erdteilen nach zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten, Zielunkräutern und deren Antagonisten gesucht. In den USA und Kanada sind Wissenschaftler damit beschäftigt, neue Lösungsansätze für *Euphorbia esula* zu finden, das vor allem Weideland in vielen Regionen Nordamerikas einnimmt. Durch diese Pflanze müssen viele Farmer Verluste in Kauf nehmen, da ihre Rinder durch den Verzehr kümmern oder sogar eingehen. Neben der Beweidung mit Schafen und Ziegen, die das Unkraut vertragen, werden immer wieder neue Insektenarten aus Europa, der Heimat von *Euphorbia esula*, hinsichtlich ihres Einflusses auf das Unkraut untersucht.

Aber nicht überall wird eine Lösung gefunden. Oft stößt diese Methode an ihre Grenzen, wenn z. B. kein spezialisierter Gegenspieler für das Unkraut gefunden wird. Oder der entdeckte Helfer erweist sich in seiner Wirkungsweise als zu schwach. Dies kann auch durch äußere Umstände eintreten, wenn ein Bioherbizid nicht den gewünschten Anforderungen entspricht, wie z. B. eine geeignete Formulierung oder eine passende Anwendungstechnik.

Die biologische Methode birgt wenige Risiken. Ein immer wieder diskutiertes davon ist die Möglichkeit des Wirtswechsels des Kontrollorganismus von dem Zielunkraut auf heimische Pflanzen. Besonders geschützte oder nützliche Pflanzen sollten daher vorher intensiv darauf getestet werden, ob sie in das Wirtsspektrum des Antagonisten fallen. Denn ein einmal ausgesetzter Kontrollorganismus kann nicht wieder eingefangen werden.

Insgesamt gesehen bietet die biologische Unkrautregulierung eine Ergänzungsmöglichkeit für die anderen Methoden der Unkrautbekämpfung und stellt in einigen Fällen auch die alleinige Alternative dazu dar. In Europa könnte sie in Zukunft bei der Bekämpfung invasiver Neophyten und herbizidresistenter Unkräuter, sowie in Fällen, in denen sie sich als am wirtschaftlich günstigsten erweist, an Bedeutung gewinnen. Aber bis dahin muss noch

einiges an Forschungsarbeit, Öffentlichkeitsarbeit und industrieller Entwicklung geleistet werden.

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

- Ammon, H. U./Müller-Schärer, H.: Prospects for combining biological weed control with integrated crop production systems, and with sensitive management of alpine pasture in Switzerland, in *Journal of Plant Diseases and Protection*, 1999, 106(2), S. 213-220
- Amsellem, Z., et al.: Recent advances in the biocontrol of *Orobanche* (broomrape) species, in *BioControl*, 2001, 46, S. 211-228, www.springerlink.com
- Anderson, Wood Powell: *Weed Science: Principles*, Second Edition, St.Paul, Minnesota, West Publishing Company, 1983²
- Arlt, Klaus: Herbizidresistenz bei Unkräutern, in Zwerger, Peter/Ammon, Hans-Ulrich (Hrsg.): *Unkraut – Ökologie und Bekämpfung*, Stuttgart, 2002, S.205-218
- Baars, J.-R./ Heystek, F.: Geographical range and impact of five biocontrol agents established on *Lantana camara* in South Africa, in *BioControl*, 2003, 48, S.743-759 www.springerlink.com
- Bacher, Sven: Alternativen zur chemischen Bekämpfung von Unkräutern und Schädlingen in Europa (Berner Umwelt-Forschungspreis 2003) <http://www.ufp.unibe.ch/2003/ufp.03.bacher.html>
- Börner, Horst: *Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 7.Aufl., Stuttgart, 1997
- Börner, Horst: *Unkrautbekämpfung*, Jena, Stuttgart, New York, 1995
- Bürki, H.-M. et al.: Biocontrol of *Amaranthus spp.* in Europe: state of the art, in *BioControl*, 2001, 46, S. 197-210, www.springerlink.com
- Chang, Chullee: *Ökologischer Landbau in Südkorea Stand und Entwicklungschancen* <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/chang-chullee-2004-12-03/HTML/chapter3.html>
- Charudattan, R./DeLoach Jr., C. J.: Management of Pathogens and Insects for Weed Control in Agroecosystems, in Liebman, M./Altieri, M. (Hrsg.): *Weed management in agroecosystems*, Boca Raton, Florida, 1988
- Coblenz, B.: Kudzu Battle May Have Animal Ally, 1997, <http://msucares.com/news/print/fwnews/fw97/970512jb.htm>

- Cole, T. C. H.: Wörterbuch der Tiernamen, Heidelberg/Berlin, 2000
- Cruttwell McFadyen, R.: Successful Biological Control of *Chromolaena odorata* Weed in Indonesia Using New Agents from the Americas, in Wai Hong, L. et al. (Hrsg): Symposium on Biological Control in the Tropics, Selangor, Malaysia, 1999
- DeBach, Paul/Rosen, David: Biological control by natural enemies, 2. Aufl., Cambridge, 1991
- Denys, Christine: Biologische Unkrautbekämpfung von Disteln (2002), http://www.voef.de/aktuell_id/20040427104833.htm [12.12.2006]
- Diepenbrock, Wulf/Elmer, Frank/Léon, Jens: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grundwissen Bachelor, Stuttgart, 2005
- Dierauer, Hans-Ulrich/Stöppler-Zimmer, Holger: Unkrautregulierung ohne Chemie, Stuttgart, 1994
- Dierks, R./Heitefuss, R. (Hrsg.): Integrierter Landbau, 2.Aufl., München, Wien, Zürich, 1994
- Edwards, H.: "Trichechus manatus" (On-line) 2000, Animal Diversity Web., http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Trichechus_manatus.html [10.8.2007]
- El-Sayed, W.: Biological control of weeds with pathogens: Current status and future trend, in Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 2005, 112 (3), S.209-221
- Farkas, A.: Die Bedeutung von Nährstoffversorgung und Bodenbearbeitung bei der Bekämpfung des Unkrautes *Ambrosia artemisiifolia*, in Hurle, K./Zwenger, P./Belz, R. (Hrsg.) Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 2004, Sonderheft XIX, S. 279-284
- Fischl, G./Béres, I./ Dongó, A./Kazinczi, G./Mikulás, J.: Fungi isolated from seeds and vegetative reproductive organs of perennial weeds (*Asclepias syriaca*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*), in: Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 2004, Sonderheft XIX, S.605-609
- Frantzen, J. et al. (2001): The system management approach of biological weed control: Some theoretical considerations and aspects of application, in BioControl, 2001, 46, S. 139-155
http://www.unifr.ch/biol/ecology/muellerschaerer/group/mueller/publications_pdf/Frantzen2001.pdf

- Franz, Jost M./Krieg, Aloysius: Biologische Schädlingsbekämpfung, 2. Aufl., Berlin und Hamburg, 1976
- Geiger, G./Biellier H.: Weeding with Geese, 2007
<http://extension.missouri.edu/xplor/agguides/poultry/g08922.htm> [8.8.2007]
- Ghorbani R. et al.: Effects of sheep grazing on weed control in saffron fields, in II International Symposium on Saffron Biology and Technology, Masshad, Iran, 2007
http://www.actahort.org/books/739/739_51.htm [9.8.2007]
- Grossrieder, Manfred/Keary, Ian P.: The potential for the biological control of *Rumex obtusifolius* und *Rumex crispus* using insects in organic farming, with particular reference to Switzerland, in Biocontrol News and Information, 2004, 25(3), S. 65N-79N, <http://www.pestscience.com/PDF/BNIRA68.PDF>
- Hallmann, Johannes/Quadt-Hallman, Andrea/von Tiedemann, Andreas: Phytomedizin – Grundwissen Bachelor, Stuttgart, 2007
- Hann, P./Kromp, B.: Ampferregulierung mittels Ampferblattkäfer: erste Ergebnisse (2001), www.gumpenstein.at/publikationen/expert2001/hann.pdf [August 2007]
- Haug, G./ Schuhmann, G. Fischbeck, G. (Hrsg.): Pflanzenproduktion im Wandel – Neue Aspekte in den Agrarwissenschaften, Weinheim, 1990
- Heystek, F./ Baars, J.-R.: Biology and host range of *Aconophora compressa*, a candidate considered as a biocontrol agent of *Lantana camara* in Africa, in BioControl, 2005, 50, S.359-373, www.springerlink.com
- Hock, B./Fedtke, C./Schmidt R. R.: Herbizide – Entwicklung, Anwendung, Wirkungen, Nebenwirkungen, Stuttgart/New York, 1995
- <http://hgic.clemson.edu/factsheets/hgic1715.htm>, prepared by Whetstone, J. M.: Biological Control of Aquatic Weeds [29.7.2007]
- http://www.colszoo.animalareas/shores/manatee_coast/manateeLife/life-eating.html [10.08.2007]
- http://www.gardenorganic.org.uk/organicweeds/weed_management/show_wman.php?id=10
- <http://www.metzerfarms.com/weeder.htm> [8.8.2007]
- <http://www.montana.edu/cpa/news/nwview.php?article=300> : Sheep Institute a natural step toward weed control, 14.5.2002, MSU Bozeman News Service, [9.8.2007]
- <http://www.nature.com/nature/journal/v188/n4752/abs/188762a0.html>

- [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/depdocs.nsf/all/agdex3446](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/depdocs.nsf/all/agdex3446), 1998, Prepared by Aquaculture Section, Animal Industry Division and Alberta Agriculture, Food and Rural Development, last reviewed 2004 [29.07.2007]
- Hugo, Susanne: Geese the underestimated species, in World Animal Review, 1995, Vol. 83, <http://www.fao.org/docrep/V6200T/v6200T0n.htm> [8.8.2007]
- Julien, M. H. (Hrsg.): Biological Control of Weeds – A World Catalogue of Agents and their Target Weeds, Surrey, 1982
- Koch, Werner: Unkrautbekämpfung, Stuttgart, 1970
- Krieg, Aloysius/ Franz, Jost M.: Lehrbuch der biologischen Schädlingsbekämpfung, Berlin und Hamburg, 1989
- Leginbuhl, J.-M. et al.: Use of Goats as Biological Agents for the Control of Unwanted Vegetation, presented in the International Workshop “Los Arboles en los Sistemas de Producción Ganadera”, Matanzas, 1996, http://www.cals.ncsu.edu/an_sci/extension/animal/meatgoat/MGVeget.htm
- Lym, Rodney G./Nelson, Jeffrey A.: “Abstract” von: Integration of *Aphthona* spp. flea beetles and herbicides for leafy spurge (*Euphorbia esula*) control, in Weed Science, Volume 50, Issue 6 (November 2002), S. 812-819, www.bioone.org
- Mahn, Ernst-Gerhard: Biologie und Ökologie der Unkräuter, in Zwerger, Peter/Ammon, Hans-Ulrich (Hrsg.): Unkraut – Ökologie und Bekämpfung, Stuttgart, 2002, S. 21-74
- Mahn, Ernst-Gerhard: Nutzen der Ackerunkräuter, in Zwerger, Peter/Ammon, Hans-Ulrich (Hrsg.): Unkraut – Ökologie und Bekämpfung, Stuttgart, 2002, S. 14-19
- Müller-Schärer, Heinz: Biologische Verfahren, in Zwerger, Peter/Ammon, Hans-Ulrich (Hrsg.): Unkraut – Ökologie und Bekämpfung, Stuttgart, 2002, S. 118-131
- Müller-Schärer, Heinz: Editorial – Finding solutions for biological control of weeds in European crop systems, in BioControl, 2001, 46, S.125-126, www.springerlink.com
- Muzika, R.-M./Swearingen J.M.: Saltcedar, 20.5.2005 <http://www.nps.gov/plants/alien/fact/tamal.htm>
- Nelson Estobar, E.: Sustainable Use of Goats as Vegetation Management Tool, <http://www.nal.usda.gov/afsic/ndfc/323.htm>
- Nelson, Jeffrey A./Lym Rodney G.: “Abstract” von: Interactive effects of *Aphthona nigriscutis* and picloram plus 2,4-D in leafy spurge (*Euphorbia esula*), in Weed Science, Volume 51, Issue 1 (January 2003), S. 118-124, www.bioone.org

- Netland, J. et al., Biological control of *Chenopodium album* L. in Europe, in BioControl, 2001, 46, S. 175-196, www.springerlink.com
- Nowierski, R.M./Pemberton, R.W.: Leafy Spurge, in Van Driesche, R. et al., 2002, Biological Control of Invasive Plants in the Eastern United States, <http://www.invasive.org/eastern/biocontrol/14LeafySpurge.html> [19.05.07]
- Patriquin, D. G.: Weed Control on Organic Farming Systems, in Liebman, M./Altieri, M. (Hrsg.): Weed management in agroecosystems, Boca Raton, Florida, 1988
- Petr, T.: Interactions between fish and aquatic macrophytes in inland waters, in FAO Fisheries Technical Paper, Nr. 396, Rom, 2000 <http://www.fao.org/DOCREP/006/X7580E/X7580E03.htm> [10.08.2007]
- Quimby Jr, P.C. et al.: Biological control of weeds : research by the United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service : selected case studies, in Pest Manag Sci (online: 2003), 59, S. 671-680
- Rosenthal, S. S./ Maddox, D. M./Brunetti K.: Biological Methods of Weed Control, Fresno, CA, 1984
- Sanders, L. et al.: Triploid Grass Carp as a Biological Control of Aquatic Vegetation, originally published in 1991 as Information Exchanges Bulletin, Vicksburg, <http://www.wvu.edu/~agexten/aquaculture/triploid.htm> [29.7.2007]
- Sedivec, K./Hanson T./Heiser C.: Controlling Leafy Spurge Using Goats and Sheep, 1995, www.ag.rdsu.edu/pubs/plantsci/hay/r1093w.htm
- Sheep and Noxious Weed Control (Informationsbroschüre der ASI American Sheep Industry Association), Centennial www.sheepusa.org/?page=site/get_file&print=1&file_id=4eb17b059dd73a8143adb450b24dde67
- Simelane, D.O.: Biology and host range of *Ophiomyia camaræ*, a biological control agent for *Lantana camara* in South Africa, in BioControl, 2002, 47, S.575-585 www.springerlink.com
- Sobhian, R. et al.: Biology and host specificity of *Spurgia capitigena* (Bremi) (Diot., Cecidomyiidae), for biological control of *Euphorbia esula* L. in North America, in Journal of Applied Entomology, 2000, 124, S. 333-338
- Starfinger, Uwe et al.: Informationsblatt: Gebietsfremde Pflanzen – Bedrohung für die biologische Vielfalt, 2005, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.),

- http://www.bba.bund.de/cln_045/nn_813794/DE/veroeff/popwiss/pdfs/gebietfremdePflanzen,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/gebietfremdePflanzen.pdf
- Starfinger, Uwe/Schrader Gritta: Informationsblatt der BBA: Die Beifuß-Ambrosie, 2007, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.), http://www.bba.bund.de/cln_045/nn_1107664/DE/veroeff/popwiss/pdfs/beifussblaettrige_ambrosie,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/beifussblaettrige_ambrosie.pdf
 - Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2006, 50. Ausgabe
 - The Florida Manatee – A Florida Treasure, Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, <http://myfwc.com/manatee/information/flatreasureposterpdf.pdf>
 - Tojo, Seishu et al.: Effects of loosing Aigamo ducks on the growth of rice plants, weeds, and number of arthropods in paddy fields, in Weed Biology and Management (2007), 7, S. 38-43, <http://www.blackwell-synergy.com/doi/abs/10.1111/j.1445-6664.2006.00237.x> [7.8.2007]
 - Tu et al.: Weed Control Methods Handbook, The Nature Conservancy, Chapter 2 – Grazing, April 2002, <http://tncweeds.ucdavis.edu/products/handbook/04.Grazing.pdf>
 - Verschwele, A./Zwenger, P.: Thermische Verfahren, in Zwenger, Peter/Ammon, Hans-Ulrich (Hrsg.): Unkraut – Ökologie und Bekämpfung, Stuttgart, 2002, S.135-140
 - Waterhouse, D. F.: When is classical biological control the preferred option for exotic weeds? in Wai Hong, L. et al.(Hrsg): Symposium on Biological Control in the Tropics, Selangor, Malaysia, 1999
 - Watson, A. K.: Can Viable Weed Control Be Attainable with Microorganisms? in Wai Hong, L. et al.(Hrsg): Symposium on Biological Control in the Tropics, Selangor, Malaysia, 1999
 - Watson, Allan K. (Hrsg.): Biological Control of Weeds Handbook, Champaign, Illinois, 1993
 - Zander, R. et al.: Handwörterbuch der Pflanzennamen, 17. Aufl., Stuttgart, 2002
 - Zwenger, P.: Unkräuter – Pflanzen mit zwei Seiten, in ForschungsReport 1/1997 <http://www.bmelv-forschung.de/forschungsreport/1-1997-FR.pdf>
 - Zwenger, Peter: Einleitung, in Zwenger, Peter/Ammon, Hans-Ulrich (Hrsg.): Unkraut – Ökologie und Bekämpfung, Stuttgart, 2002, S.10-13

Bild- und Tabellenquellverzeichnis

- Bärtels, A.: Tropenpflanzen, Stuttgart, 2002
- Bellman, H.: Welches Insekt ist das?, Stuttgart, 2005
- DeBach, Paul/Rosen, David: Biological control by natural enemies, 2. Aufl., Cambridge, 1991
- Frantzen, J. et al. (2001): The system management approach of biological weed control: Some theoretical considerations and aspects of application, in BioControl, 2001, 46, S. 139-155
http://www.unifr.ch/biol/ecology/muellerschaerer/group/mueller/publications_pdf/Frantzen2001.pdf
- Hallmann, Johannes/Quadt-Hallman, Andrea/von Tiedemann, Andreas: Phytomedizin – Grundwissen Bachelor, Stuttgart, 2007
- Hock, B./Fedtke, C./Schmidt R. R.: Herbizide – Entwicklung, Anwendung, Wirkungen, Nebenwirkungen, Stuttgart/New York, 1995
- http://de.wikipedia.org/wiki/Amaranthus_retroflexus
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Jakobskrautb%C3%A4r>
- http://de.wikipedia.org/wiki/Lantana_camara
- http://de.wikipedia.org/wiki/Prunus_serotina
- http://de.wikipedia.org/wiki/Rosa_multiflora
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Seek%C3%BChe>
- <http://dwrcdc.nr.utah.gov/rsgis2/search/Display.asp?FINm=empitrai>
- http://res2.agr.ca/lethbridge/weedbio/agents/apicchon_f.htm
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Chromolaena_odorata_1.jpg
- http://www.ento.csiro.au/aicn/name_s/b_2935.htm
- http://www.ento.csiro.au/aicn/name_s/b_3578.htm
- <http://www.mycology.adelaide.edu.au/gallery/photos/alternaria02.html>
- Klaatzen, H./Freitag, J.: Ackerunkräuter und Ackerungräser – rechtzeitig erkennen, Münster/Limburgerhof, 2004
- Krieg, Aloysius/ Franz, Jost M.: Lehrbuch der biologischen Schädlingsbekämpfung, Berlin und Hamburg, 1989

- Stichmann, W. et al.: Der große KOSMOS Naturführer – Tiere und Pflanzen, Stuttgart, 1996
- www.bio-angus.de/ampferre.htm
- www.landcareresearch.co.nz “What’s New In Biological Control Of Weeds?” Issue 34 November 2005
- www.oefg1880.at/fischarten/fotos/GRASKARPFEN.jpg

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Alexandra Sabine Wening

Gießen, August 2007

