

Berichte

aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Reports

from the Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry

Heft 104

2002

Pflanzenschutz im ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze -

Sechstes Fachgespräch am 26. Juni 2001 in Braunschweig

Abwehr von Wühlmausschäden im ökologischen Landbau

Plant protection in organic farming
6th Workshop in Braunschweig on 26 June 2001

bearbeitet von
compiled by

Hans-Joachim Pelz

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry

Herausgeber

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Braunschweig, Deutschland

Kontaktadresse

Dr. Hans-Joachim Pelz
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde
Toppheideweg 88
D-48161 Münster

Telefon +49(0) 251 / 87106-40

Telefax +49(0) 251 / 87106-33

E-mail: J.Pelz@bba.de

Internet <http://www.bba.de>

Inhaltsverzeichnis	Seite
Begrüßung (F. Klingauf)	4
Wühlmausprobleme unter den Rahmenbedingungen des ökologischen Landbaus (Schwerpunkt Obstbau) (B. Kopp)	6
Betriebswirtschaftliche Aspekte der Wühlmausbekämpfung im ökologischen Landbau (Schwerpunkt Milchwirtschaft) (C. Stutz)	10
Dispersal as a key issue in the biological control of small mammals (F. Saucy)	18
Aussichten der Entwicklung neuer Wirkstoffe zur Wühlmausbekämpfung (G. Jakob)	28
Potentielle Bedeutung pflanzlicher Sekundärstoffe zur Abwehr von Wühlmäusen (M. Wink)	31
Erfahrungen mit pflanzlichen Repellentstoffen bei der Abwehr von Wühlmäusen (Arvicolidae) im Wald (M. Müller & T. Heidecke)	45
Ist Populationsregulation bei Wühlmäusen durch Förderung der natürlichen Feinde, speziell der Marder, möglich? (R. Sommer)	54
Einsatz von Migrationsbarrieren und Pheromonen zur Abwehr von Wühlmäusen (H. Wieland)	61
Schadensbegrenzung durch Warnsystem und Ablenkungsfütterung (H.-J. Pelz)	77
Physikalische Detektionsmöglichkeiten von Wühlmausbefall / Schadensverringemde Kulturmaßnahmen (R. Gago)	84
Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Fallen zum Wühlmausfang (J. Malevez)	93
Begasungsmaßnahmen - stoffliche Zusammensetzung der Gase, Effizienz und Gefahren (G. Popow)	100

Begrüßung

Fred Klingauf

Präsident und Professor der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin und Braunschweig, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Kolleginnen und Kollegen,

die Einladung zu dem Fachgespräch über die Abwehr von Wühlmausschäden im ökologischen Landbau hat eine große Resonanz gefunden. Ich ersehe daraus, dass wir mit dieser Frage einen besonderen Nerv getroffen haben und Wühlmausschäden auch im ökologischen Landbau von großer Bedeutung sind. Neben Ökobauern und Vertretern aus Verbänden, Forschungsinstitutionen und Industrie aus Deutschland begrüße ich besonders herzlich die Teilnehmer aus der Schweiz und einen Vertreter der Firma Kwizda aus Österreich. Die Teilnahme von Kolleginnen und Kollegen aus dem deutschsprachigen Ausland unterstreicht die überragende Bedeutung des zu behandelnden Problems.

Es besteht eine zunehmende Nachfrage nach integrierten Verfahren im Pflanzenschutz. Die politische Unterstützung, die dem ökologischen Landbau derzeit zuteil wird, ist letztlich Ausdruck des Wunsches einer zunehmend urbanisierten Bevölkerung nach "sanfteren und nachhaltigeren" Produktionsmethoden. Insbesondere im Hinblick auf die Abwehr von Wirbeltierschäden wird dieser Wunsch von Praktikern und Fachleuten geteilt. Bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln müssen der Schutz der Kulturpflanzen vor Schäden und der Schutz des Naturhaushalts gleichrangig berücksichtigt werden. Dies erfordert eine sorgfältige Situationsanalyse, bei der gewollte und ungewollte Auswirkungen eines Produktes gegeneinander abgewogen werden, bevor eine Entscheidung getroffen werden kann. In diesem Zusammenhang spielt die Bekämpfung von schädlichen Wirbeltieren wegen ihrer engen Verwandtschaft zum Menschen eine besondere Rolle. Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung von Wirbeltieren sind in der Regel auch für eine Reihe von Nicht-Ziel-Wirbeltierarten, einschließlich des Menschen, hoch giftig. Wirbeltiere besetzen auch einen hohen Rang in der öffentlichen Meinung, woraus sich besondere Anforderungen an Wirbeltier-Bekämpfungsmittel aus der Sicht des Tierschutzes ergeben.

Vor diesem Hintergrund wird es verständlich, dass für die Bekämpfung von Wühlmäusen zurzeit durch die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) nur relativ wenige Präparate aus zwei Wirkstoffgruppen zugelassen sind. Dabei ist ungewiss, ob diese Zulassung langfristig erhalten bleiben kann. Wer nun weiß, welcher hohen Aufwand insbesondere die Bekämpfung der Schermaus in ihren unterirdischen Gangsystemen erfordert, kann sich leicht vorstellen, wie willkommen praktikable alternative Abwehrmaßnahmen auch in nicht nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus arbeitenden Wirtschaftsformen wären. Hinzu kommt, dass im forstlichen Bereich, wo Wühlmäuse insbesondere in Neuaufforstungskulturen katastrophale Schäden verursachen, die Anwendung von Rodentiziden durch Länderbehörden zum Teil stark eingeschränkt worden ist.

Bei dem heutigen Fachgespräch, das von einem Arbeitskreis aus Vertretern des ökologischen Landbaus und des deutschen Pflanzenschutzdienstes vorbereitet wurde, soll es darum gehen, alle denkbaren Ansätze zur Entwicklung von für den ökologischen Landbau geeigneten Methoden und Verfahren zu sichten und ihre Eignung für die Praxis zu diskutieren. Als Ergebnis der Tagung soll eine Bündelung und Konzentration der verfügbaren Forschungs- und Versuchskapazitäten auf die aussichtsreichsten Ansätze erreicht werden. Ich freue mich über das Interesse verschiedener Industriefirmen an dieser Tagung, was mir die Hoffnung gibt, dass es dabei zu einer breiten Kooperation zwischen Praktikern, öffentlichen Forschungseinrichtungen und Industrie kommen könnte. Herrn Dr. Pelz aus dem Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt in Münster danke ich sehr herzlich für die Initiative und Organisation dieses Fachgesprächs. Seinen Forschungen und Kontakten zu Fachkolleginnen und -kollegen aus Praxis und Wissenschaft ist der Anstoß zu diesem Gesprächskreis und die rege und kompetente Teilnahme zu danken. Ich wünsche dem heutigen Fachgespräch einen fruchtbaren Diskussionsverlauf und möglichst konkrete Ansätze für zukünftige Forschungsarbeiten zur Lösung der Wühlmausprobleme.

Wühlmausprobleme unter den Rahmenbedingungen des ökologischen Landbaus (Schwerpunkt Obstbau)

Barbara Kopp

Beratungsdienst Ökologischer Obstbau, Weinsberg

Zusammenfassung

Im Ökologischen Obstbau stellt die Wühlmaus ein großes Problem dar, dessen Bekämpfung momentan noch nicht befriedigend gelöst ist.

A Bedeutung des Schadens durch die Wühlmäuse:

Tab 1: verschiedene landwirtschaftliche Kulturen

Kultur	Schaden grundsätzlich gering	Schaden ist wirtschaftlich bedeutsam	Schaden ist wirtschaftlich sehr bedeutsam
Ackerbau	X		
Weideland		X punktuell ein großes Problem; aber keinerlei Bekämpfungsmaßnahmen in Praxisbetrieben	
Gemüse		X bei Wurzelgemüsen, Artischocken und Zucchini Fallenstellen ist notwendig größere Probleme durch Feldmäuse im Jungpflanzenanzuchtbereich und im Winter in Gewächshäusern	
Obst			X

B Die Bedeutung der Wühlmausproblematik für den Obstbau

Im nun Folgenden soll die momentane Situation im Obstbau dargestellt werden.

1. Wirtschaftlicher Schaden durch Mäuse am Beispiel von 2 Obstbauflächen:

Tab. 2: Beispielflächen

Betrieb	Befall/ Fläche	Bewirtschaftungshinweise
1	Von in 2000 850 neu gepflanzten Bäumen 156 vernichtet	Vorbewirtschaftung: Hochstammobstwiese Vor Pflanzung Tiefenlockerung Wegfangen der Mäuse in der Fläche Anpflanzung Gelegentliches Fallenstellen; nicht konsequent
2	80 % Ausfall bei 2 jährigen Bäumen	Kein starker Befallsdruck bei Vorkultur Standort: Intensivobstbaugebiet Einsaat einer Gründüngung vor Pflanzung Anpflanzung Kein konsequentes Wegfangen im 1. Jahr

2. Hauptursachen starken Befallsdrucks:

- Keine ganzjährige konsequente Bekämpfung
- Kein Absuchen des Baumstreifens mit dem Suchstab im Herbst
- Vorkultur: Gründüngung, Mulchtermin
- Standortspezifische Gründe
- In bestehenden Anlagen ist die Zerstörung des Gangsystems nicht möglich

3. Zeitaufwand der Bekämpfung im Durchschnitt aller Betriebe:

Hier zeigt sich deutlich, dass der Zeitaufwand bei ordentlicher Bekämpfung sehr hoch ist. Jährliche Ausfallquoten von durchschnittlich 10 Bäumen/ ha sind wirtschaftlich nur schwer verkraftbar.

Tab 3: Überblick über den Zeitaufwand und die Ausfallquote in 2001

Betrieb	Gerät	Zeitaufwand über das Jahr verteilt	Ausfall in 2001 Durchschnittswerte
1	Falle	7 Std/ ha	3 Bäume/ ha
2	Vergasungsgerät	10 Std/ ha	Bäume/ ha
3 Neu- umsteller	Falle	3 Std/ ha	1,6 Bäume/ ha
4	Falle	5 Std/ ha	10 Bäume/ ha
5	Falle	7 Std/ ha	Extrem gering
6	Falle	10 Std/ ha (Betrieb 18 ha) seit Mai 2000 214 Mäuse	Sehr hoch
7	Vergasungsgerät	1 Std/ ha	6 Bäume/ ha
8	Falle	2- 4 Std/ ha	Sehr hoch 16 Bäume/ha
9	Falle	5 Std/ ha	8-9 Bäume/ha
10	Falle	5-7 Std/ ha	2 Jungbäume pro 100 Bäume
11	Falle	Ständig, aber sehr wenig Zeitaufwand	Kein Ausfall
12	Falle	4 Std/ ha	40 Bäume/ ha

4. Momentane Bekämpfungsstrategien:

Mäusefallen:	größte Bedeutung	
	Bay. Drahtfalle	6 Betriebe
	Neudorff Kastenfalle	2 Betriebe
	Topcat	1 Betrieb
	Schussapparat	1 Betrieb
Vergasen:	Siegwald	1 Betrieb
	Eigenbau	1 Betrieb
Pflegermanagement in der Anlage:	Offenhalten des Baumstreifens auch nach der Ernte	alle Betriebe
	Keine Fahrgasseneinsaaten mit Kräuter- mischungen, möglichst Kurzgrasmulch	alle Betriebe

Die Übersicht zeigt deutlich die große Bedeutung der Mäusefalle, insbesondere der billigen Drahtfalle. Die anderen Fallentypen wurden bei fast allen Betrieben ausgetestet, konnten sich allerdings nicht durchsetzen. Das Vergasungsgerät wird meist aus gesundheitlichen Gründen abgelehnt.

5. Zeitpunkt der Mäusebekämpfung in der Praxis

Tab 4: Überblick über Bekämpfungszeitpunkte in der Praxis

Betrieb	Bekämpfungszeitpunkt
1	Ständig, vor allem Herbst
2	Sommer
3 Neuumsteller	Herbst, zeitiges Frühjahr
4	April- Juni
5	Herbst
6	ständig
7	Oktober/ April
8	April/ Mai
9	Dez/Jan/Mai/Juni
10	Dez/April/Mai
11	ständig
12	Herbst/ April/Mai

Die Übersicht zeigt, dass mancher erst an die Mäusebekämpfung denkt, wenn die Schäden im Frühjahr sichtbar werden.

6. Einschätzung des Befallsdrucks

Tab 5: Überblick über den Befallsdruck in 2001

Betrieb	Subjektive Befallseinschätzung in 2001 gegenüber den letzten Jahren
1	Durchschnittlicher Befallsdruck, vergleichbar mit anderen Jahren
2	Durchschnittlicher Befallsdruck, vergleichbar mit anderen Jahren
3 Neuumsteller	Geringer Befallsdruck
4	Mittlerer Befallsdruck
5	Sehr geringer Befallsdruck
6	Starker Befallsdruck
7	Starker Befallsdruck
8	Starker Befallsdruck
9	Starker Befallsdruck
10	Durchschnittlicher Befallsdruck, vergleichbar mit anderen Jahren

Die Übersicht macht deutlich, dass in den Obstanlagen keine großen Populationsschwankungen bemerkt werden.

7. Auswirkungen der momentanen Situation auf die Produktionsweise im Ökoobstbau

- Entomologie:
Aus Gründen einer größeren Artenvielfalt in der Obstanlage wäre die Weiterentwicklung eines blütenreichen Nahrungsangebotes für Nützlinge sinnvoll
Ständiges Kurzhalten der Fahrgassenbegrünung ist nicht sinnvoll
- Pflanzenernährung:
Sauberhalten des Baumstreifens im Herbst ist wegen Auswaschungsverlusten nicht sinnvoll
- Betriebswirtschaft:
ständiges intensives Sauberhalten der Baumstreifen (Handarbeit, mech. Bearbeitung) ist kostenintensiv

Die Ausführungen machen deutlich, dass die momentane Situation für den Ökologischen Obstbau nicht befriedigend ist und kostengünstigere, einfachere Lösungen dringend geboten wären.

Betriebswirtschaftliche Aspekte der Wühlmausbekämpfung im ökologischen Landbau (Schwerpunkt Milchwirtschaft)

Cornel Stutz

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich

Zusammenfassung

Auf unseren Futterflächen verursachen Mäuse enorme Schäden, die Konsequenzen für den ganzen Betrieb haben. Am Beispiel des Betriebes Bremgarten, Balsthal SO (Schweiz) führen Ertragsausfälle, erhöhter Maschinenverschleiß, Futterqualitätsminderungen, Futterverluste, Leistungsminderungen der Milchkühe sowie Aufwendungen zur Wiederherstellung geschädigter Flächen zu Kosten von über SFr. 1'000.- pro Hektar je nach Bewirtschaftung. Während Dauerweiden weniger geschädigt werden, sind vor allem Heumatten betroffen. Eine ungefangene Maus verursacht Schäden von durchschnittlich SFr. 3.50. Mäusefang ist betriebswirtschaftlich sehr rentabel, wenn billige Arbeitskräfte eingesetzt, wirksame Fanggeräte verwendet und hohe Fangquoten erzielt werden.

Nagetiere verursachen weltweit enorme Verluste durch Schäden an Kultur- und Nutzpflanzen und die Vernichtung von gelagerten Nahrungsmitteln. In Europa sind es im Garten- und Forstbereich sowie in der Landwirtschaft vorwiegend die Wühlmäuse, die Ertragsausfälle in Baumkulturen und im Futterbau verursachen. Ihnen gilt ein besonderes Augenmerk bei der Bekämpfung von Schädlingen.

Wegen Vergrößerungen der Betriebsflächen und personellen Einsparungen bleibt im Grasland oftmals keine Zeit mehr für das Regulieren von Mäusepopulationen. Die Wühlmäuse können sich so ungehindert vermehren und alle 4 bis 8 Jahre in großen Populationen auftreten. Das kann weitreichende Konsequenzen für den Futterbau, die Fütterung und nicht zu letzt auch für das finanzielle Betriebsergebnis haben.

Mäuseschäden im Futterbau sind größer als man denkt

Mäuse im Wiesland schädigen den Landwirtschaftsbetrieb in verschiedenen Bereichen (Abb.1). Je größer eine Mäusepopulation ist, desto gravierender sind auch die Schäden. Gemäss einer Faustregel entspricht der tägliche Futterbedarf einer Wühlmaus ihrem eigenen Körpergewicht. Ein ausgewachsenes Tier nimmt also bis zu 120 Gramm Wurzeln täglich zu sich. Bei einer Population von 100 Tieren pro Hektar verschwinden in einem Monat demzufolge rund 300 kg Pflanzenwurzeln. Dieser Verlust reduziert das Pflanzenwachstum und führt unweigerlich zu Ertragsminderungen. Wenn die Mäuse im Grasland neue Gänge graben oder bestehende säubern, deponieren sie lockeres Erdmaterial an der Oberfläche in Haufenform. Wiesenpflanzen, die von den Erdhaufen überdeckt werden, sterben wegen Lichtmangels in den meisten Fällen ab, so dass eine Lücke in der Pflanzendecke entstehen kann. Ausläuferbildende Wiesenpflanzen und Arten mit einem großen Versammlungspotential besiedeln die entstandenen Lücken und schließen den Bestand. In mittelintensiv bis intensiv genutzten Futterflächen sind diese Lückenbüßer in einem zu großen Bestandesanteil unerwünscht. Als Platzräuber wirken sie ertrags- und qualitätsmindernd.

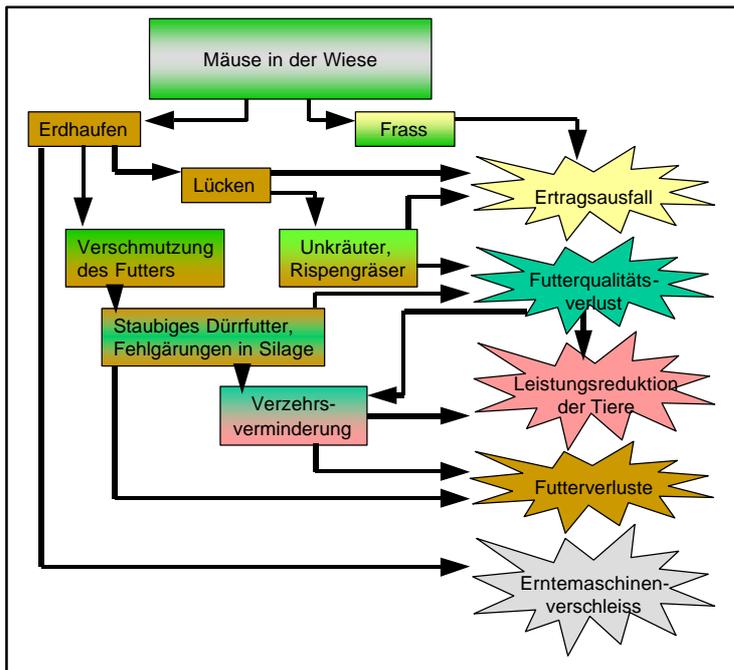


Abb.1: Wühlmausaktivität im Grasland verursacht zahlreiche futterbauliche und betriebswirtschaftliche Schäden.

Beim Mähen werden die Erdhaufen der Mäuse verstoßen. Die Klingen der Schneidwerkzeuge sind dabei von einem erhöhten Verschleiß betroffen und das Futter wird verschmutzt. Verzehrsminderung, mehr Futterverluste in der Krippe und eine Reduktion der Milchleistung sind die Folge. Bei jedem neuen Bau, den eine junge Wühlmaus anlegt, gräbt sie Gänge von zirka 40 Metern Länge. Das Erdmaterial, das sie dabei an die Erdoberfläche schafft, entspricht mit 60 bis 80 Litern dem Inhalt einer gut gefüllten Schubkarre.

Mit verschmutztem Futter weniger Milch

Je feuchter der Pflanzenbestand bei der Ernte ist, desto mehr Schmutzpartikel verbleiben im Futter. Wird verschmutztes Futter siliert, besteht auch ein erhöhter Eintrag an Buttersäure- und Colibakterien anstelle der gewünschten Milchsäurebakterien, was zu Fehlgärungen führen kann. Im Gegensatz zur Milchsäuregärung vermindert sich das pH nur wenig. Colibakterien erhöhen die Temperatur der Silage und bereiten den Weg für die Buttersäurebakterien. Je nach Mikroklima verringern diese die Qualität der Silage oder verderben sie ganz. Schlecht vergorenes Futter führt zu Verzehrsminderungen, Futterverlusten (Bahrenreste) und Milchleistungsreduktionen. In einem Versuch mit Milchkühen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für viehwirtschaftliche Produktion in Posieux (RAP) aus den Jahren 1989/90 (Jans 1991) konnte bei der Verfütterung einer verschmutzten Silage eine Minderleistung von zwei Kilogramm Milch pro Kuh und Tag (Basis: 24 kg Milch pro Tier und Tag) festgestellt werden. Bei staubigem Dürrfutter und verschmutztem Grünfutter muss mit vermehrten Krippenverlusten, aber nicht mit Leistungsminderungen gerechnet werden.

Die wirtschaftlichen Folgen einer Wühlmausplage für einen Futterbaubetrieb

An Hand der Daten (Jahr 2000) des Betriebes Bremgarten in Balsthal im Solothurner Jura werden die wirtschaftlichen Auswirkungen einer Wühlmausplage aufgezeigt. Es handelt sich um einen 57 Hektar großen Naturfutterbaubetrieb auf 1000 Metern über Meer mit einer getreidebetonten Fruchtfolge.

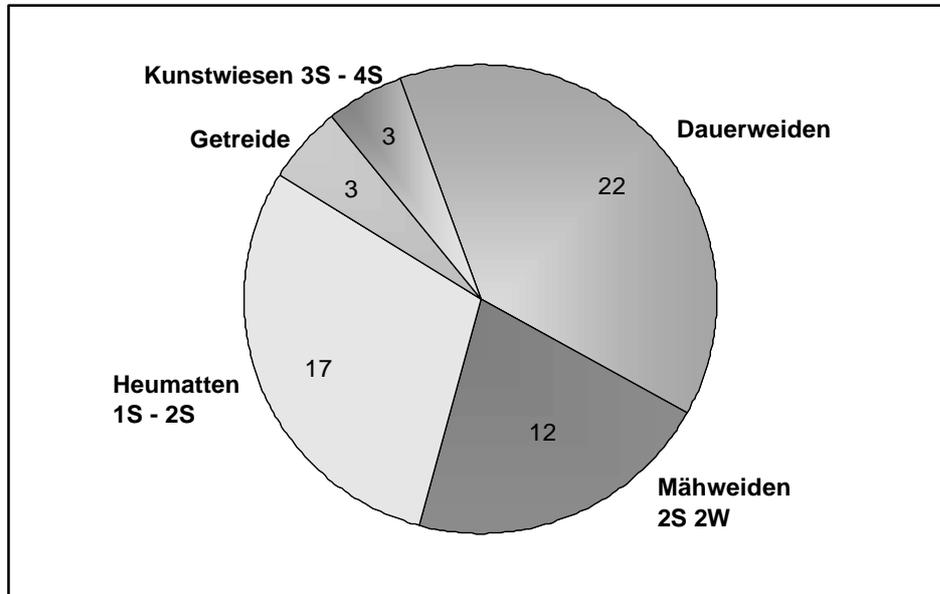


Abb. 2: Flächenverteilung des Betriebes Bremgarten, Balsthal SO, Schweiz. Im Kreis sind die Anzahl Hektar angegeben. Bei den Bewirtschaftungsbezeichnungen ist die Nutzungsart und -häufigkeit pro Jahr angegeben (S = Schnitt beziehungsweise Dürrfutter- oder Silagebereitung; W = Weidegang).

22 Hektar Dauerweiden werden wenig intensiv genutzt und vorwiegend mit Rindern bestoßen. 17 Hektar Heumatten werden ein- bis zweimal jährlich geschnitten und liefern das Winterfutter für Rinder und auch Kühe. Die Mähweiden (total 12 Hektar) werden zweimal geschnitten und zweimal durch die Milchkühe beweidet. 3 Hektar Kunstwiesen werden drei- bis viermal jährlich als Dürrfutter oder Silage konserviert. Auf den verbleibenden 3 Hektar Fruchtfolgeflächen baut der Bewirtschafter Getreide an (Abb. 2).

In den vergangenen Jahren wurde den Mäusen kaum Beachtung geschenkt. Das große Schadenspotential der kleinen Nager erkannte der Betriebsleiter erst im Jahr 2000, als die Mäusepopulationen dank günstiger klimatischer Verhältnisse explosionsartig zunahm. Auf den Dauerweiden war der Mäusebefall im Jahr 2000 eher gering. Die Mäusebauten waren unabhängig voneinander und verstreut auf den flachgründigen steinigen Weideflächen. Pro Hektar lebten weniger als 50 Individuen. Hingegen gab es auf den Mähweiden und den Kunstwiesen beträchtliche Schäden. Die Mauskolonien grenzten im tiefgründigen Boden aneinander und wurden schätzungsweise von 100 bis 200 Mäusen pro Hektar bewohnt. Es schien, dass die Weidenutzung und die nur dreijährige Nutzungsdauer der Kunstwiesen ein weiteres Ansteigen der Mäusepopulation verhinderten. Hingegen gab es im Frühling 2000 einen Totalausfall auf den Heumatten. Nur noch rund 20 % des Bodens wurde von Futterpflanzen

bedeckt. Das restliche Grün wurde von den Mausehaufen überdeckt; Verursacher: 500 bis 1000 Wühlmäuse pro Hektar (Abb. 3).

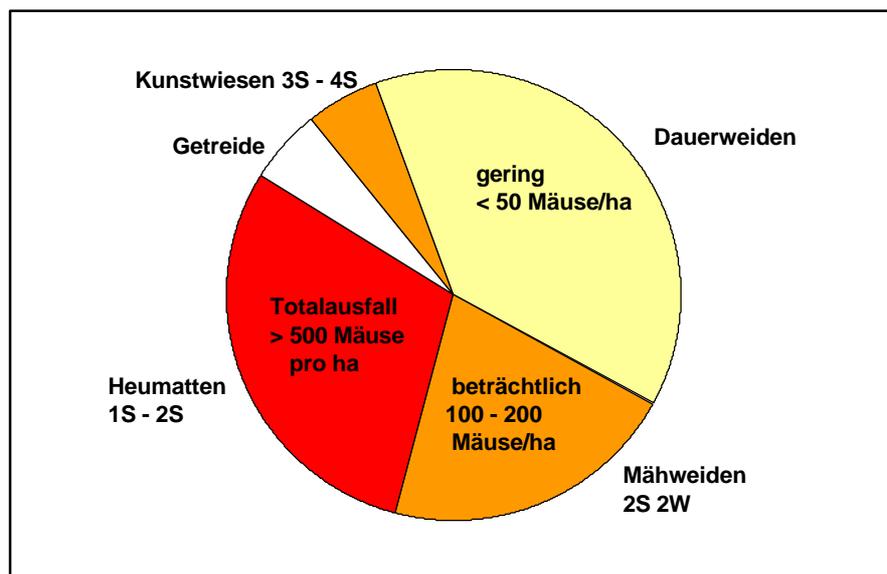


Abb. 3: Geschätzter Mäusebefall im Jahr 2000 der verschiedenen Flächen auf dem Betrieb Bremgarten, Balsthal SO, Schweiz. Die Größe der Teilstücke des Diagramms entsprechen dem Flächenanteil der jeweiligen Bewirtschaftungskategorie. Bei den Bewirtschaftungsbezeichnungen ist die Nutzungsart und -häufigkeit pro Jahr angegeben (S = Schnitt beziehungsweise Dürrfutter- oder Silagebereitung; W = Weidegang).

Tab. 1. Konkrete Auswirkung von Wühlmäusen auf dem Betrieb Bremgarten, Balsthal SO (Schweiz) im Jahr 2000.

Betriebliche Schäden	Dauerweiden	Mähweiden	Kunstwiesen	Heumatten
Ertragsausfall	wenig	zirka 20 %	zirka 20 %	zirka 60 %
Futterqualitätsverluste	wenig	Staubiges Heu, Mangelhafte Silage	Staubiges Heu, Mangelhafte Silage	keine
Tierische Leistungseinbußen	keine	bis 10 % tiefere Milchleistung	bis 10 % tiefere Milchleistung	keine
Futtermittelverluste	keine	mehr Reste in der Futterkrippe	mehr Reste in der Futterkrippe	keine
Erntemaschinenverschleiß	kein	mehr Abnutzung der Mähmesser	mehr Abnutzung der Mähmesser	keine
Zusätzlicher Aufwand bei der Wiesenpflege				
Ausebnen	Walzen oder Wieseneggen	Walzen oder Wieseneggen	Walzen oder Wieseneggen	Eggen
Übersaat	nein	ja	nein	nein
Neuansaat	nein	nein	nein	ja
Säuberungsschnitt	nein	nein	nein	ja, ohne großen Futterwert

Konkrete Auswirkungen von Wühlmausschäden auf den ganzen Betrieb

Tabelle 1 zeigt den Zusammenhang zwischen einer starken Wühlmausaktivität und den Konsequenzen für verschiedene Betriebszweige. Die einzelnen Maushügel in den Dauerweiden bilden Lücken in der Grasnarbe, die in der Folge von Unkräutern und Ungräsern besiedelt werden können, wodurch der Futterertrag und die Futterqualität vermindert würden.

In Mähweiden und Kunstwiesen führten die zahlreichen Erdhaufen, die damit verbundene Verunkrautung und Wurzelfraßschäden zu einer Ertragseinbusse von rund 20 %. Durch Verschmutzungen im Grünfutter (vor allem bei nassen Erntebedingungen), Fehlgärungen bei Silagebereitung und einem höheren Staubanteil im Heu leidet die Futterqualität. Wegen der geringeren Futterqualität reduzierten die Tiere die Futteraufnahme. Da das Futter zugleich einen tieferen Gehalt an Energie aufwies, sank die Milchleistung der Kühe zwangsläufig (bei Silagefütterung bis zu 10 %). Wegen dem hohen Verschmutzungsgrad des Futters blieben auch mehr Reste in der Futterkrippe übrig. Bei maschineller Ernte wurden die Messer der Erntemaschinen durch die Erdhaufen stark beansprucht: Die Klingen des Scheibenmähwerks mussten häufiger geschliffen und ausgewechselt werden. Bei den Mähweiden war eine Übersaat zur Ertragssicherung und zur Vorbeugung eines Überhandnehmens unerwünschter Pflanzen angezeigt. Da die Kunstwiesen bereits nach 3 Jahren wieder untergepflügt werden, konnte auf Maßnahmen zur Verbesserung des Pflanzenbestandes verzichtet werden.

Die stark in Mitleidenschaft gezogenen Heumatten mussten neu angesät werden. Der erste Schnitt (60 % des Jahresertrages) fiel aus. Durch die Neuanlage der Heumatten gab es keine weiteren Folgeschäden wie Futterqualitätsverluste, Leistungseinbussen der Tiere, zusätzliche Futterverluste oder erhöhter Erntemaschinenverschleiß.

Von Wühlmäusen verursachte Kosten pro Hektar

Abbildung 4 zeigt die von den Mäusen verursachten Kosten pro Hektar (Ansätze nach FAT-Tarifen [Ammann, 2000]; Tab. 2) je nach Flächenbewirtschaftung. Am wenigsten zu Buche schlugen die Dauerweiden, die bloß eine Behandlung mit der Wiesenegge benötigten. Die Wiesenegge, Traktor- und Mannstunden beliefen sich auf SFr. 71.- pro Hektar.

Zur Wiederherstellung mussten die Mähweiden mit der Wiesenegge überfahren und übersät werden (Saatgutkosten SFr. 200.-/ha). Die Ertragsausfälle von 20 % auf 80 dt Trockensubstanz mussten durch den Zukauf von gepresstem Heu (SFr. 35.-/dt [SBV, 2000]) wettgemacht werden. Um die geringere Futterqualität, vor allem den Energieverlust, auszugleichen, wurde Kraftfutter mit einem Betrag von SFr. 50.-/ha eingesetzt. Die Leistungsreduktion der Milchkühe wurde durch den Zukauf einer weiteren Kuh für SFr. 3500.- (umgerechnet SFr. 233.-/ha Mähweide und Kunstwiese) aufgefangen, damit das Milchkontingent ausgeschöpft werden konnte. Die Futterverluste ergaben zeitlichen Mehraufwand beim Reinigen der Futterkrippe. Der Erntemaschinenverschleiß betrug durchschnittlich SFr. 20.- pro Hektar. Somit beliefen sich auf den Mähweiden die betriebsfremden Kosten (Futter, Kraftfutter, Saatgut, Maschinen und Ersatzteile) auf SFr. 895.-/ha und die betriebseigenen Kosten (Traktor und Mannstunden) auf SFr. 148.-/ha.

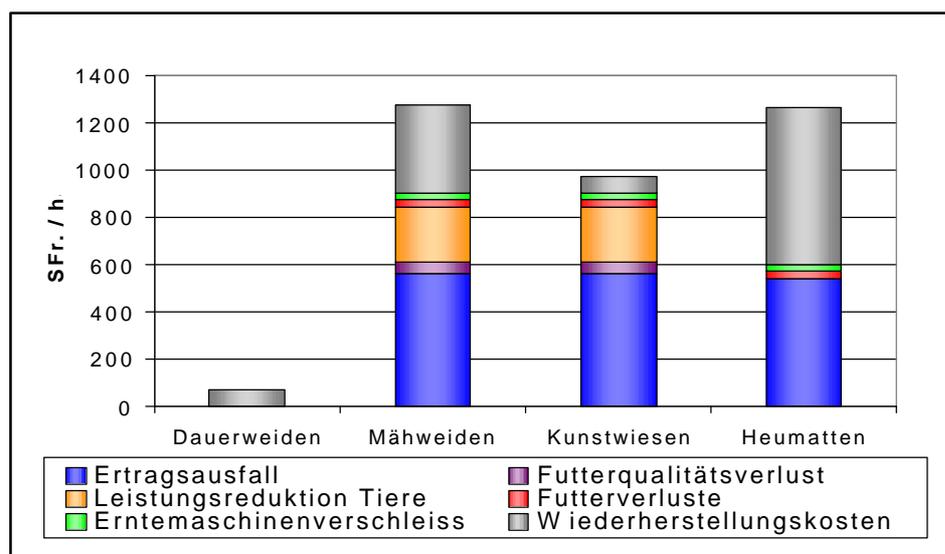


Abb. 4.: Von Wühlmäusen verursachte Kosten pro Hektar im Jahr 2000 auf dem Betrieb Bremgarten, Balsthal SO, Schweiz. Die Wiederherstellungskosten beziffern alle Maßnahmen, die nötig sind, um die geschädigten Flächen zu sanieren in bezug auf Ertragsfähigkeit, Futterqualität und Ebenheit des Geländes.

Im Gegensatz zu den Mähweiden wurden die Kunstwiesen nur mit der Wiesenegge bearbeitet und nicht übersät. Die anderen Aufwendungen können mit denjenigen der Mähweiden verglichen werden. Für die Kunstwiesen wurden total SFr. 647.-/ha betriebsfremde Investitionen (Futter, Kraftfutter, Saatgut, Maschinen und Ersatzteile) und SFr. 94.-/ha betriebseigene (Traktor- und Mannstunden) getätigt.

Tab. 2: Maschinen- und Arbeitskosten der einkalkulierten Geräte nach Amman (2000).

Maschinenart oder Arbeitskraft	Entschädigungsansatz pro Stunde	Entschädigungsansatz pro Hektare
Traktor 4x4, 70 PS	SFr. 32.--	SFr. --.--
Wiesenegge oder Wiesenkamm	SFr. 26.--	SFr. 17.--
Grassämaschine, pneumatisch mit Walze	SFr. 58.--	SFr. 48.--
Federzinkenegge	SFr. 54.--	SFr. 34.--
Motormäher, 1.9 m Messerbalken	SFr. 45.--	SFr. 90.--
Arbeitskosten pro Mann, ohne Verpflegung	SFr. 22.--	SFr. --.--

Zur Wiederherstellung mussten die Heumatten geeggt und neu angesät werden (Saatgutkosten Fr. 300.-/ha). Der erste Aufwuchs konnte wegen zu starker Verunkrautung nicht genutzt werden. Er wurde mit dem Motormäher gemulcht (Säuberungsschnitt). Ertragsausfall belief sich auf 60 % von 30 dt/ha. Als Ersatz wurde gepresstes Heu im Wert von Fr. 30.-/dt (SBV, 2000) zugekauft. Futterqualitätsverluste waren beim zweiten, nutzbaren Aufwuchs nicht zu verbuchen. Die Leistungsminderung der Kühe wurde den Heumatten nicht angelastet, da diese hauptsächlich durch die intensiv nutzbaren Mähweiden und Kunstwiesen ernährt werden. Ebenso entsprechen die Futterverluste und der Maschinenverschleiß (inklusive Beanspruchung des Motormähers beim Säuberungsschnitt) den Werten der Mähweiden und Kunstwiesen. Die fremden Betriebskosten (Futter, Saatgut, Maschinen und Ersatzteile) beliefen sich insgesamt auf Fr. 930.-/ha und die eigenen (Motormäher, Traktor- und Mannstunden) auf Fr. 336.-/ha. Werden die Kosten pro Hektar auf die ganze Futterbaufläche

des Betriebes Bremgarten hochgerechnet, erhält man die stolze Summe von rund SFr. 41'000.-. Der Betriebsleiter musste tief in die Tasche greifen, war aber nicht bereit, alle nötigen Maßnahmen zu treffen. Er beschränkte sich auf das Nötigste und unterließ es, Kunstwiesen, Dauerweiden und Mähweiden auszuebnen und die letzteren zu übersäen. Außerdem scheut er immer noch den Aufwand, die Mäusepopulationen massiv zu dezimieren. Er wird also weiterhin mit qualitativ schlechterem Futter, geringeren Erträgen, lückigen Pflanzenbeständen, erhöhten Maschinenverschleiß, den entsprechenden Unkosten und nach wie vor relativ hohen Mäusebeständen leben müssen.

Welche Kosten verursacht eine Maus?

Die Kosten, die eine Maus überschlagsmäßig verursacht, ist von Betrieb zu Betrieb verschieden. Es kommt beispielsweise auf die Ertragsstärke einer Fläche, die Höhe der Mäusepopulationen, den Einsatz verschiedener Maschinen, die Art der Grünfütter (Weide oder Eingrasen) und den Wiesenfutteranteil in der Ration an.

Am Beispiel des Betriebes Bremgarten schwankt der mögliche Schaden einer Wühlmaus zwischen SFr. 2.- und SFr. 5.- (Durchschnitt SFr. 3.50), je nach Einschätzung der Populationsgröße.

Was kostet das Fangen einer Maus?

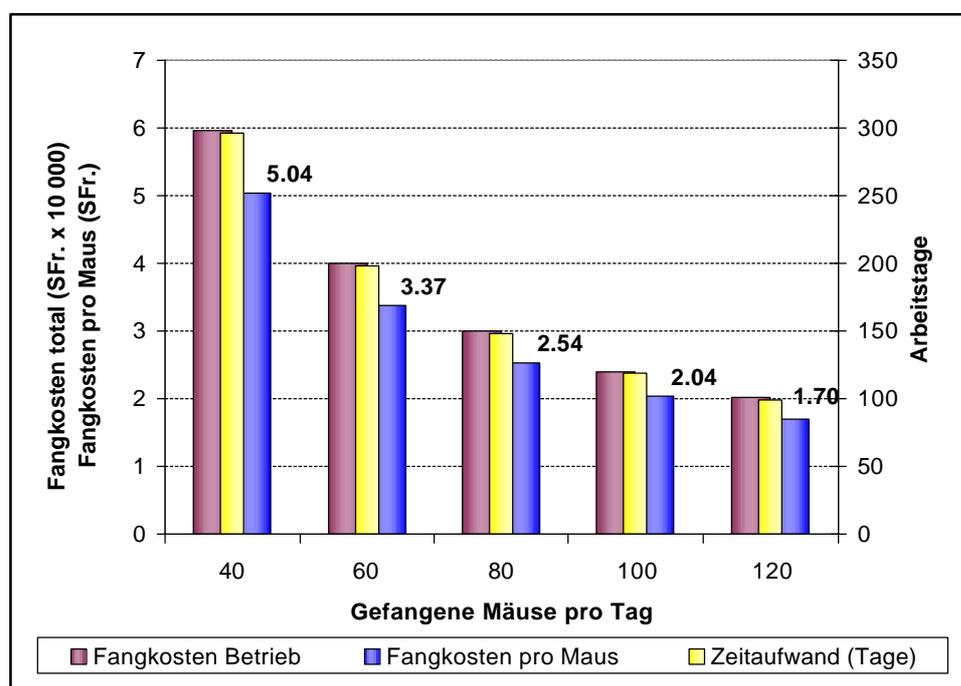


Abb. 5: Berechnung der Mäusefangkosten auf dem Betrieb Bremgarten, Balsthal SO, Schweiz. Für den Mauser wird ein Lohn SFr. 200.-/Tag gerechnet. Gearbeitet wird mit 50 Topcat-Fallen (Anschaffungspreis SFr. 2250.-; Abschreibedauer 5 Jahre). Die gelbe Säule im Diagramm bezieht sich auf die rechte Skala und beschreibt den Zeitaufwand, um die Mäusepopulation des Betriebes Bremgarten auf ein Minimum zu reduzieren. Die roten und die blauen Säulen zeigen die dabei auflaufenden Kosten total und pro gefangene Maus. Je höher die tägliche Beute ist, desto tiefer sind die Kosten.

Auch bei den Mäusefangkosten gibt es sehr große Unterschiede. Es kommt auf die Fangmethode und deren Zuverlässigkeit, auf den Lohn des Mäusefängers, den Preis des Fanggerätes und die tägliche Fangquote an.

Abbildung 5 zeigt ein Rechenbeispiel, das sich auf den Betrieb Bremgarten bezieht. Der Mäusefänger arbeitet mit 50 Topcat-Fallen (Anschaffungspreis SFr. 2250.-; Abschreibedauer 5 Jahre) und erhält einen Lohn von SFr. 200.-/Tag. Je nach Fangquote unterscheiden sich die Fangkosten. Fängt der Mäuser beispielsweise 80 Tiere pro Tag, kostet der Fang eines Tieres rund SFr. 2.50.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

- Wühlmäuse können im Futterbau enorme Schäden anrichten, wenn sich die Mäusepopulation auf einem hohen Niveau befindet und längere Zeit keine Populationsregulierung stattgefunden hat.
- Mäuseschäden im Futterbau belasten auch andere Betriebszweige (Tierernährung, Milchproduktion, Maschinenunterhalt).
- Mäusefang ist betriebswirtschaftlich sehr rentabel, falls billige Arbeitskräfte, effiziente Fanggeräte eingesetzt und hohe Fangquoten erzielt werden.
- Empfehlenswert sind gezielter Mäusefang und flächenspezifische Sanierungen (Dauerweiden nicht mausen; Kunstwiesen, die bald wieder in die Fruchtfolge integriert werden, nicht reparieren).
- Periodisches Mäusen
 - limitiert die Schäden auf den Futterflächen,
 - verhindert negative Auswirkungen auf andere Betriebszweige (Tierernährung, Milchwirtschaft, Maschinenunterhalt) und
 - hält den Aufwand für die Mäuseregulation in Grenzen.

Literaturverzeichnis

AGFF (1998): Sanieren von Mäuseschäden in Wiesen. AGFF-Infoblätter. U6.

AMMANN, H. (2000): Maschinenkosten 2001. FAT Berichte. **554**, 1 - 40.

JANS, F. (1991): Grassilage oder Dürrfutter für Hochleistungskühe? Landwirtschaft Schweiz. Band 4 (7), 333 - 336.

SBV (2000): Preise im Futterbau. In: Schweizerischer Bauernverband, Abteilung Statistik & Landwirtschaftliche Beratungszentrale (LBL) Lindau (Schweiz): Landwirtschaftliches Handbuch - Pflanzen und Tiere, 571 - 574. Wirz Verlag, Basel.

SCHÖNMANN, R. (2001): Persönliche Mitteilungen. Bewirtschafter Betrieb Bremgarten, Balsthal SO.

STUTZ, C.; GAGO, R. (2000): Erfolgreiche Mäuseregulierung im Futterbau. UFA-Revue. **12/00**, 36 - 39.

Dispersal as a key issue in the biological control of small mammals

Francis Saucy

EcoRodControl, Vuippens, Schweiz

Abstract

In this paper, recent discoveries on the dispersal behaviour of the fossorial form of the water vole and their implications for biological control are discussed. It is suggested that dispersal can be manipulated by using semi-permeable fences in order to protect valuable crops or plots of particular interest. In plots protected by semi-permeable fences, i.e. fences equipped with one-way exit doors, small mammals are allowed to quit the plots, but are prevented to recolonise them. Designed to be applied in an integrated pest management strategy, semipermeable fences should be used in connection with other control means, including frequent grass mowing, traditional trapping and measures favouring populations of natural enemies. Such a strategy is likely to offer a long-term protection against unwanted small mammals; it may enhance populations of predators, which can be attracted in order to keep surrounding small mammal population densities as low as possible. In addition, fencing also gives a new significance to traditional trapping.

Introduction

Apart from repellents whose efficacy is generally low or nil, the control of small mammals relies mainly on the **physical destruction** of the animals, either by using various catching devices or by using toxicants introduced in their burrows. Traps have also been widely used and their efficiency is generally considered to be very low. Among the latter, fumigation and the use of anticoagulants are still widespread, but present the drawback of being deleterious for the environment and for non-target species (Saucy & al 2001). Furthermore, both catching devices and toxicants only offer a short term protection of the crops, while they provide empty plots ready for re-colonisation by the small mammals living in the neighbourhood.

The main aim of this paper is to present an alternative approach to rodent control based on the manipulation of the dispersing behaviour of small mammals. It relies on the elucidation of the dispersal behaviour of the fossorial form of the water vole, *Arvicola terrestris*, and to its generalisation to other small mammal species. This method is harmless for the environment and can be used in combination with complementary techniques in order to propose an integrated strategy of rodent control.

Legends, facts and the concept of dispersal

Apart from natality and mortality, the temporal and the spatial population dynamics of small mammals depend on their movements, i.e. immigration and emigration or dispersal. Dispersal can be defined as "one-way movements" between home sites (Stenseth & Lidicker 1992). Theoretical considerations (Lidicker 1962, 1975), as well as field observations (e.g. the "fence effect" or outbreaks of fenced populations due to impaired dispersal; Krebs *et al.* 1969; Krebs 1992) have suggested that dispersal could play a major role in the population dynamics and

regulation of small mammal populations. Lidicker (1975, 1985) proposed an evolutionary view of the process and coined the terms of pre-saturation and saturation dispersal, to describe dispersal in small mammals under contrasted population density conditions. His view was later extended into adaptive and non-adaptive dispersal (Stenseth 1983). These influential publications elicited much field and theoretical research which has been summarised in Stenseth & Lidicker (1992) with the conclusion that pre-saturation is common among small mammals.

However, the actual importance of dispersal is still in dispute and the mechanism itself remains unknown in many cases. In fact, dispersal has long been associated with the identification of rodent outbreaks, in particular with respect of the widespread and popular concept of small mammal "invasions". This idea is best illustrated by the famous legend of the rat invasion of the city of Hamel and by lemming "migrations" in Norway. Long considered to be a legend (Chitty 1996), these movements have been carefully documented in recent decades (Henttonen & Kaikusalo 1993).

The development of theoretical models of dispersal strategies (opposing dispersal to philopatry) also lead to the concept of "disperser" and to the idea that some individuals might choose to disperse while others do not. On the basis of sex or age, Greenwood (1980) proposed to distinguish male from female biased dispersal, as well as to oppose "natal" to "breeding" dispersal (for juveniles and adults that disperse before or after a breeding episode, respectively). Because of the diversity of small mammal social systems, all possible combinations of age- and sex- biases have been documented from natural populations, with a trend towards male natal biased dispersal in small mammals (Greenwood 1980, 1983; Stenseth 1983; Lidicker 1985). A genetic basis for dispersal has also been postulated, but most laboratory and field studies have failed to identify dispersing morphs and to classify dispersers on such a basis (Gaines 1985).

Methodological problems in dispersal studies

The study of dispersal is particularly difficult in small mammals because they are secretive animals. Therefore indirect approaches are required. Many studies rely on the capture-mark-recapture methods applied on restricted areas with the major pitfall that high proportions (often up to 50 %) of the marked individuals are never recaptured. Assessing the fates of these disappearing animals is crucial in order to distinguish mortality (deaths *in situ* and predation) from emigration and immigration. In addition, attempting to recapture all the animals, which disperse from a particular study site, implies to sample areas in proportion to the square of the distances moved by the animals. Therefore, this approach is not recommended (Lidicker 1985). Nevertheless, it remains the source of many data on the distances actually travelled by small mammals. Such distances are likely to be largely underestimated. Using radioisotopes and radio tracking are alternative methods, which partly allow to overcome this problem. They have been frequently used during the last decades (Stenseth & Lidicker 1992; McShea & Madison 1992), but these techniques also have their drawbacks: they are expensive, time consuming and likely to affect the behaviour and the survival of the marked animals. For logistic reasons, it is difficult to equip and follow simultaneously more than 20-30 individuals with radio-transmitters, while detection ranges of radioisotopes are usually very limited. In addition, there is a high risk of environmental contamination with the latter. Therefore, these techniques are more suited for behavioural studies. Dispersal sinks (marginal habitats or areas from which all captured animals are regularly removed) have also been widely used (Krebs

1992). A major critique to this approach is that the success of colonization may well differ between vacant and occupied places and that vacancies can attract animals from neighbouring densely populated areas (Lidicker 1985; Krebs 1992).

One of the major and most critical problems encountered in dispersal studies of small mammals is that it is very difficult to identify actual dispersers. Dispersal is a rare event, which perhaps occurs only once, or a few times in an animal's lifetime. Therefore, such events are difficult to observe and to document. Moreover, if dispersal occurs very early in an animal's life (e.g. at weaning), a correct perception of the phenomenon crucially depends on marking nestlings before they become independent. Apart from a few studies (e.g. by Lambin 1993, Getz & MacGuire 1997 or Verhagen, pers. comm.), this is usually not the case.

Another problem with studies of small mammals, is that most information comes from captures of animals caught in traps set above the ground. Besides the fact that the motivations, which drive an animal to enter a trap, are poorly understood, it is usually impossible to determine the status of the animals which are caught only once and are never or infrequently recaptured. Were these animals resident in the area or were they caught by accident while crossing or exploring the surroundings? The default and most sensible answer to this difficult question is usually to assume that the caught animals actually were established in the sampled area, an interpretation that is likely to yield biased estimates if the assumption is wrong.

Looking for an operational definition of dispersal, Duster *et al.* (1981, 1984) suggested to use a body weight criterion. They made the assumption that animals heavier than a given body mass threshold were unlikely to be born *in situ* because they would have escaped traps during several previous trapping sessions and were therefore probably immigrants. Using this, approach they estimated that the number of immigrants often reached high fractions of the samples caught on their grids. Despite the drawbacks of the method (it is an arbitrary approach; Tamarin 1984; Dueser *et al.* 1984), this procedure has revealed some unexpected aspects of the population dynamics of *Microtus pennsylvanicus* and has shown that the immigrant fraction could reach at times 55% of the resident population. Similar results were found in fossorial populations of *A. terrestris* (Saucy 1988).

Identification of dispersers: Untangling above- from below-ground activity in fossorial *Arvicola terrestris*

The fossorial form of the water vole, *Arvicola terrestris*, has been widely studied using the below-ground capture-mark-recapture technique developed for this animal by Airoidi (1976, 1978). This method is based on decades of below-ground trapping experience acquired by farmers who used special pincers traps in order to control or limit outbreaks of this vole. Although fossorial *A. terrestris* could occasionally be caught in traps set above the ground (Pascal 1981), above-ground trapping is considered as to be an inefficient way for catching this vole. However, indirect observations, i.e. high numbers of young *A. terrestris* in the diet of the owl *Asio otus* (which does not dig into the ground) suggested that this vole might disperse above the ground (Saucy 1988). In order to investigate this hypothesis, the dispersal behaviour of fossorial *A. terrestris* was studied using traps set on the ground along 50 cm high drift fences (Saucy & Schreiner 1997).

Drift fences were used following the assumption that they would be more efficient at intercepting rare dispersing animals than standard trapping grids with unconnected traps set

above the ground. These fences were slightly buried into the ground (5-10 cm). Using this design (which is different from fencing a population), voles could still enter or live the grids using their underground tunnels. Trapping stations of four traps (two on each side of the fences with openings in opposite directions), were set at regular (7,3 m) intervals. According to the assumption that the voles caught along the fences were attempting to cross them, they were released on the other side. Also because of the low expected efficiency of this approach, trapping was conducted on a continuous daily basis with traps being checked twice a day (morning and evening).

In addition, vole populations established in the fenced grids were also studied using the traditional below-ground capture-mark-recapture technique. Trapping sessions were conducted during the daytime, lasted for 2 days and were repeated at 3-to 5 week intervals. This allowed to compare the composition of vole samples caught below and above the ground.

The results of the first 34 days of above-ground trapping (23.3-25.4.1997) yielded a total of 17 nocturnal captures (0,5/night or 0,124 per 100 trap*nights) and confirmed the expectation of low trappability of fossorial *A. terrestris* above the ground. However, this pattern was suddenly broken during the following night with 35 captures recorded on that day. This corresponds to a 70 times increase as compared to the average of the previous month. This event also coincided with the first significant nocturnal rainfall after two months of drought. Following this first observation, several hundreds of captures were registered in waves modulated by nocturnal rainfalls (Saucy & Schneiter 1997). Such observations were continued with the same results during three years (1997-1999; Saucy *et al.* unpublished data).

Interestingly, the adults were uncommon in the above-ground samples and the weight distribution differed from classical below-ground trapping samples. During the first 100 days of the experiment, more than 87% of the above-ground caught voles (183 of 203) were young individuals weighing less than 65 g. By contrast, adult-reproducing voles (body weight >65 g) represented the largest fraction of the diurnal below-ground samples conducted in two fenced and two unfenced grids (i.e. 106 of 171 individuals or 62%). Therefore, the weight distribution of the above-ground samples was very similar to that found in the eared owl pellets, confirming the hypothesis that these birds preyed on young individuals dispersing above the ground.

As expected, below-ground trapping samples failed to show any evidence of a fence effect (Saucy & Schneiter 1997). Moreover, it is worth stressing that breeding adults remained settled in their home-ranges, which excludes the explanation that voles left their burrows because of flooding.

During the study (1997-1999), hundreds of voles have been caught above and below the ground. The results fully confirm the preliminary observations with waves of above-ground captures of juvenile voles occurring during the first rainy night following a dry period. In contrast, adults were very uncommon in our above-ground samples. Moreover, the samples of voles caught below the ground (with high proportions of adults) showed much longer residence times (measured in weeks or months), as compared to the very short residence times (a few hours) of animals caught for the first time above the ground.

Do other small mammals also disperse during rainy nights?

In our study, most other species of the neighbouring woodland small mammal community were also caught along drift fences in statistically significantly higher numbers during rainy nights (Schneiter 1998), suggesting that this dispersal mechanism is not restricted to fossorial *A. terrestris*. Interestingly, more than 40 years ago, Russian mammalogists have already reported the same pattern of above-ground activity during rainy nights in aquatic populations of *A. terrestris* (Panteleyev 1968). It can also be found in the literature that significantly higher numbers of captures of rodents and shrews are often associated with rainfall in many studies on small mammals, both in Europe and North-America (Sidorowicz 1960; Mystkowska & Sidorowicz 1961). More recently, Kirkland & Sheppard (1994) conducted a study using drift fences and also reported peaks of captures associated with rainfall events both in rodents and shrews in Pennsylvania.

While these previous observations have been interpreted by their authors as increased activity associated with rainfall, observations with fossorial *A. terrestris* suggest that they might also correspond to dispersal events and that the mechanism that has been found in *A. terrestris* might be widespread among small mammals.

In contrast with other studies, studying a fossorial species **using simultaneously below- and above-ground trapping** enables one to distinguish between regular activity (below the ground) from actual dispersal events (above the ground). In most species, these two kinds of events cannot be distinguished from each other because trapping is usually only conducted above the ground. Therefore, under such conditions, detecting and identifying dispersers is a difficult and almost insuperable task. However, it is worth mentioning that some authors have suspected that some unusual population sample sizes caught using drift fences might be explained by high numbers of dispersers (Zukal and Gaisler 1992).

Why disperse during rainy nights?

There are at least three potential explanations for this peculiar dispersing behaviour: **predator avoidance, predator overwhelming and opportunities for burrowing** (Saucy & Schneiter 1997). Firstly, it is likely that under dark and rainy conditions, vision, hearing and the sense of smell are impaired or significantly reduced. Therefore, owls, which locate their prey using hearing, probably cannot detect them anymore, while all diurnal predators relying on vision are likely to be absent. Similarly, mammals relying on odors are probably unable to efficiently follow the wet tracks left by dispersers.

Secondly, in *A. terrestris* dispersal is a discrete, synchronous and wave-like phenomenon with dispersers periodically inundating their environment for short periods. In a sense, this dispersal behaviour recalls the synchronous births of large African herbivores which, in order to reduce the risk of predation of neo-nates, overwhelm their predators with vulnerable prey during restricted periods.

Thirdly, besides survival during travelling, the success of a disperser also depends on its abilities to find a suitable burrow where to settle. Establishment of new burrows should be greatly enhanced under wet soil conditions.

Practical consequences for control of small mammals

The understanding of the dispersal mechanism of the fossorial form of the water vole indicates that dispersal and colonisation of new habitats are essential components of the population dynamics and of the development of outbreaks in this species. It also has direct consequences for control strategies, since manipulating dispersal can be used as a new mean to control population outbreaks. In this respect, the use of drift fences can be extended to protect crops and plots of special economical value.

One-way exit- or semi-permeable fences

However, one has to be cautious before applying such an approach. In order to be efficient as a means of control, fencing should satisfy two conditions. On one hand, a fence should protect a plot from the colonisation by small mammals coming from the surroundings. On the other hand, one should also avoid a fence effect, i.e. the outbreak of a small mammal population established in the area before fencing. Such a fenced population would explode because dispersal, i.e. emigration from the fence, is impossible.

A solution to this dilemma can be found in **one-way exit- or semi-permeable fences** (Europe patent request No 01114146.2).

Using this approach, it should therefore be possible to prevent small mammals from colonizing a particular plot and to avoid the outbreak of pre-established animals. More important, one-way exit-doors assure that any animal established inside the fence would be automatically excluded from the plot while crossing the fence. This implies that, instead of an outbreak, one can expect a population decrease within the fenced area.

Several kinds of one-way doors have been used or tested in small mammal studies (e.g. Gaines *et al.* 1979, Verner & Getz 1985). The principle has also recently been applied to develop a new multiple-capture live trap by Fus and Niemeyer, a device which was found to be very efficient in catching fossorial *A. terrestris* dispersing above the ground (Noël & Saucy 2000). Semi-permeable fences result from the combination of fences and such one-way doors.

Integrating semi-permeable fences in a strategy of biological control of small mammals

At the moment, biological control of small mammals relies mostly on trapping and on various repellents. By contrast, the control of dispersal is a very powerful tool, since in principle it provides an automatic and long-term protection against re-invasion. Fencing can also be used in conjunction with an initial trapping operation conducted to eliminate a pre-established population. In this respect, fencing gives a long-term efficacy to trapping operations since re-colonization is prevented in the future. There are however, some problems, which should be addressed. As such, fencing can be used efficiently against many above-ground active small mammals, especially voles of the genus *Microtus* and *Clethrionomys*. By contrast, this kind of fencing does not offer a full protection against fossorial small mammals like moles, pocket gophers or fossorial voles. On the contrary, these animals could establish burrows along the fences and therefore easily colonise a protected plot using tunnels dug below the fences. In such cases, semi-permeable fences should nevertheless reduce the risk of an outbreak inside the fences.

Therefore, in the case of fossorial small mammals, it is recommended to set traps along the external side of the fences in order to catch and eliminate any vole or small mammal coming in contact with the fence. This approach requires to regularly check the catching devices, especially if live traps are used. It also allows to demonstrate to farmers and practitioners that fences offer an effective protection against immigration and to remind them that they should remain permanently in alert. Catching immigrating small mammals also informs them on the development of the neighbouring populations and on the periods of increased risk.

In the description of their trapping device, Fus and Niemeyer, also suggest that caught animals could be offered to predators, the latter being used to empty the traps. This is a seducing idea in the perspective of biological control. Applying this idea tends to sustain predators, instead of destroying them as non-target species as was reported in many cases in which anticoagulants were used (Newton *et al.* 1999; Saucy *et al.* 2001). Applying such a solution involving predators in connection with semi-permeable fences is still under study.

The presence of vegetative cover is also an important component likely to affect dispersal and colonisation by small mammals, which tend to avoid mowed areas. This is also the case in the fossorial form of *A. terrestris* in which voles were found to leave mowed areas for unmowed plots (Saucy 1988; Noël & Saucy 2000). Therefore, mowed plots are less likely to be colonised, but are also a threat and a source of possible dispersers for unmowed plots. In this respect, fences also offer a good protection. In this respect, early mowing, grazing and trampling by cattle are also elements, which can be used to induce dispersal in these animals.

Moreover, a 1-5 m wide strip along the external side of the fences should also be regularly mowed in order to reduce the risk that animals establish burrows along the fences. Therefore, keeping the grass mowed along the fences contributes to reduce the risk of below-ground colonisation of the fenced plots.

Conclusions

The unravelling of the dispersal behaviour of the fossorial form of the water vole, *Arvicola terrestris*, has been made possible by untangling below- from above-ground activity. It has been found that young voles disperse during few rainy nights, probably in order to reduce the risk of predation. It has also been found that this dispersal behaviour could be widespread among small mammals. This discovery offers new perspectives in the biological control in small mammals by attempting to manipulate dispersal using semi-permeable fences. This approach is still in its infancy and is still to be tested under real conditions.

However, in comparison with other environmentally safe approaches or devices, the manipulation of small mammal dispersal is a strong and powerful tool. It is suggested to use it in connection with other approaches, including early mowing and occasional trapping. In this respect, preventing the re-colonisation by fencing a plot gives a new significance to traditional trapping whose effects have long been considered to be of low efficacy.

The concept of semi-permeable fences offers new perspectives in the biological control of small mammals. According to our experience, the onset of a nocturnal drought-breaking rain is in most cases unpredictable. In this respect, the semi-permeable fence is a continuous device, which works continuously and automatically. It is harmless for the environment and for its users. It can be removed at any time without any damage.

However, its long-term efficacy depends on good practice, including grass mowing, avoiding that small mammals become established along the fences and making sure that the exit doors work properly. Otherwise, reverse and unwanted effects might occur, including a small mammal outbreak inside the fenced area, as a consequence of impaired dispersal or fence effect.

Acknowledgements

I am very thankful to J. Pelz for accepting this paper and for supporting travel expenses.

Literature cited

- AIROLDI, J.-P. (1976): Expériences de capture et recapture chez le Campagnol terrestre, *Arvicola terrestris scherman* Shaw (Mammalia, Rodentia). *Terre Vie* **30**, 31-51.
- AIROLDI, J.-P. (1978): Etude par capture et recapture d'une population de Campagnols terrestres, *Arvicola terrestris scherman* Shaw. *Terre et Vie* **32**, 3-45.
- CHITTY, D. (1996): Do lemmings commit suicide? Beautiful hypotheses and ugly facts. Oxford University Press, New York & Oxford.
Small mammals. *J. Mammal.* **65**, 727-729.
- DUESER, R. D; WILSON, M L; ROSE, R K (1981): Attributes of dispersing meadow voles in open grid populations. *Acta Theriologica* **26**, 139-162.
- GAINES, M. S. (1985): Genetics. In: *Biology of new world Microtus* (Tamarin R. H, ed.). Spec. Publ. Amer. Soc. Mammal. No **8**, 845-883.
- GAINES, M. S.; VIVAS, A; BAKER, C L (1979): An experimental analysis of dispersal in fluctuating populations: demographic parameters. *Ecology* **60**, 814-828.
- GETZ, L. L.; MCGUIRE, B (1997): Communal nesting in prairie voles (*Microtus ochrogaster*): formation, composition, and persistence of communal groups. *Can. J. Zool.* **75**, 525-534.
- GREENWOOD, P. J. (1980): Mating systems, philopatry and dispersal in birds and mammals. *Anim. Behav.* **28**, 1140-1162.
- GREENWOOD, P. J. (1983). Mating systems and the evolutionary consequences of dispersal. In: *The ecology of animal movement*, 116-131. I.R. Swingland and P.J. Greenwood (Hrsg.): Clarendon Press, Oxford.
- HENTTONEN, H.; KAIKUSALO, A. (1993). Lemming movements. In: *The biology of lemmings*, 157-186. N.C. Stenseth and R.A. Ims (Hrsg.): The Linnean Society of London, Academic Press, London Kirkland, G. L.; Sheppard, P. K. (1994). Proposed standard protocol for sampling small mammal communities. In: *Advances in the biology of shrews*, 277-283. J.F. Merritt, G.L.

- KIRKLAND AND ROSE, R.K. (Hrsg.): Carnegie Museum of Natural History Pub. No 18, Pittsburgh, PA.
- KREBS, C. J. (1992). The role of dispersal in cyclic rodent populations. In: Animal dispersal. Small mammals as a model, 160-175. N.C. Stenseth and W.Z.Jr Lidicker (Hrsg.): Chapman & Hall, London.
- KREBS, C. J.; KELLER, B. L.; TAMARIN, R. H. (1969): *Microtus* population biology: demographic changes in fluctuating populations of *M. ochrogaster* and *M. pennsylvanicus* in Southern Indiana. *Ecology* **50**, 587-607.
- LAMBIN, X. (1993): Determinants of the synchrony of reproduction in Townsend's voles, *Microtus townsendii*. *Oikos* **67**,107-113.
- LIDICKER, W. Z. Jr (1962): Emigration as a possible mechanism permitting the regulation of population density below carrying capacity. *Am. Nat.* **96**, 29-33.
- LIDICKER, W. Z. Jr (1975): The role of dispersal in the demography of small mammal populations. In: Small mammals: their productivity and population dynamics, 103-128. F.B. Golley, K. Petruszewicz and L. Ryszkowski (Hrsg.): Cambridge University Press, Cambridge.
- LIDICKER, W. Z. Jr (1985): Dispersal. In : R. H. Tamarin (Ed.) *Biology of new world Microtus*. Special Publication of the American Society of Mammalogists No **8**, 420-454.
- MCSHEA, W. J.; MADISON, D M (1992). Appendix 2. Alternative approaches to the study of small mammal dispersal: insights from radio telemetry. In: Animal dispersal. Small mammals as a model, 319-332. N.C. Stenseth and W.Z.Jr Lidicker (Hrsg.): Chapman & Hall, London.
- MYSTKOWSKA, E. T.; SIDOROWICZ,J. (1961): Influence of the weather on captures of Micro-mammalia. II Insectivora. *Acta theriologica* **5**, 261-273
- NOËL, C.; SAUCY, F. (2000): Comparative investigations on the efficiency of a new live trap for small mammals. *Z. Säugetierkunde* **65**, 251-254.
- PANTELEYEV, P. A. (1968): Population ecology of the water vole (English translation A.S. Colley, 1971). National Lending Library, Boston Spa, Yorkshire, England.
- PASCAL, M. (1981): Résultats préliminaires de l'étude de la biologie du Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*) dans le Doubs. *Défense des Végétaux* **208**, 121-134.
- SAUCY, F. (1988): Dynamique de population, dispersion et organisation sociale de la forme fouisseuse du Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris scherman* (SHAW), Mammalia, Rodentia). Thèse de doctorat, Institut de Zoologie, Université de Neuchtel, Switzerland 366 .

- SAUCY, F.; MEYLAN, A; POITRY, R (2001). Lessons from 18 years of use of anticoagulants against fossorial *Arvicola terrestris* in Switzerland. In: Advances in Vertebrate pest Management II, 1-20. J. Pelz, P.D. Cowan and C.J. Feare (Hrsg.): Filander Verlag, Fürth.
- SAUCY, F.; SCHNEITER, B (1997): Juvenile dispersal in the vole *Arvicola terrestris* during rainy nights: a preliminary report. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. **84**, 333-345.
- SCHNEITER, B. (1998): Ein Beitrag zum Ausbreitungsverhalten der Ostschermaus (*Arvicola terrestris*) auf der Bodenoberfläche, Diplomarbeit, Universität Freiburg, Schweiz.
- SIDOROWICZ, J. (1960): Influence of the weather on captures of Micromammalia. I Rodents. Acta theriologica **4**, 139-158.
- STENSETH, N. C. (1983). Causes and consequences of dispersal in small mammals. In: The ecology of animal movement, 63-101. I.R. Swingland and P.J. Greenwood (Hrsg.): Clarendon Press, Oxford.
- STENSETH, N. C.; LIDICKER, W Z Jr. (1992): Animal dispersal. Chapman & Hall, London.
- TAMARIN, R. H. (1984): Body mass as a criterion of dispersal in voles: a critique. J. Mammal. **65**, 691-692.
- VERNER L.; GETZ, L. L. (1985): Significance of dispersal in fluctuating populations of *Microtus ochrogaster* and *Microtus pennsylvanicus*. Journal of Mammalogy, **66**, 338-347.
- ZUKAL, J.; GAISLER, J. (1992): Testing a new method of sampling small mammal communities. Folia Zoologica **41**, 299-310.

Aussichten der Entwicklung neuer Wirkstoffe zur Wühlmausbekämpfung

Gerhard Jakob

DETIA DEGESCH GmbH, Laudenbach

Die Entwicklung neuer Produkte im Bereich des Pflanzenschutzes ist ein langwieriges und kostenintensives Unterfangen, welches nur noch von wenigen Firmen geleistet werden kann. Während in den 60er Jahren noch rund 40 Unternehmen in der Forschung und Entwicklung von Pflanzenschutzmitteln tätig waren, ist deren Anzahl derzeit weltweit auf sieben zurückgegangen. Wesentliche Ursache für diesen Umstand sind die stetig gestiegenen Anforderungen an die Zulassung neuer Produkte. Abbildung 1 verdeutlicht den Zeit- und Kostenaufwand für die Entwicklung eines neuen Pflanzenschutzmittels.

Jahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Mio DM
Wirkstoff	Synthese											100
CHEMIE		Kilolabor										
Formulierung			Verfahrensentwicklung								Produktion*	
		Entwicklung									Produktion*	
Forschung	Screening Labor/Gewächshaus											110
BIOLOGIE		Kleinparzellenversuche										
Entwicklung			Feldversuche (weltweit)									
ABBAU und RÜCKSTÄNDE												80
TOXIKOLOGIE												
ÖKO - TOXIKOLOGIE												
Mio DM		130					160					290

* ohne Kosten für Produktionsanlage

Grafik: nach IVA

Abb. 1: Entwicklung eines Pflanzenschutzmittels

Von der Synthese eines Wirkstoffs bis zur letztendlichen Marktreife muss eine Substanz vielerlei Prüfungen hinsichtlich Produktion, Wirkungsspektrum, Wirkungssicherheit, Abbau- und Rückstandsverhalten, Toxikologie und Ökotoxikologie durchlaufen. In der Regel vergehen dafür acht bis elf Jahre und die Gesamtkosten summieren sich auf rund 290 Mio. DM. Lediglich international agierende Großunternehmen sind in der Lage, diesen immensen Investitionsaufwand wieder einzuspielen.

Da nach dem deutschen Pflanzenschutzgesetz der Einsatz eines Pflanzenschutzmittels und somit auch eines Wühlmausbekämpfungsmittels nicht nur im konventionellen und integrierten, sondern ebenso im ökologischen Landbau an eine durch die BBA ausgesprochene Zulassung gebunden ist, nimmt die Entwicklung eines neuen Produktes für diesen Bereich den gleichen Umfang an Kosten und Zeit ein. Daraus ergibt sich die Frage: "Wer kann neue Produkte für den ökologischen Landbau entwickeln?". Bei kleinen und mittelständischen Unternehmen ist nicht davon auszugehen, dass sie sich einen derartigen

Aufwand leisten können. Großunternehmen hingegen werden in der Regel aus betriebswirtschaftlichen Gründen diese hohen Investitionskosten verweigern, da aufgrund des relativ kleinen Marktes im ökologischen Landbau ein Rückfluss der Investitionen nicht abzusehen ist. Hier bliebe als einzige Zukunftshoffnung das verstärkte Zurückgreifen von konventionellem und integriertem Anbau auf alternative Bekämpfungsmaßnahmen und somit eine Vergrößerung des potentiellen Marktes für ein alternatives Pflanzenschutzmittel. Jedoch werden derartige Möglichkeiten, wie auch eine Ausweitung des ökologischen Landbaus selbst, noch eine gewisse Zeit benötigen; wenn sie denn überhaupt in dem angestrebten Umfang erreicht werden

Pflanzenschutzmittel, die im ökologischen Landbau in Deutschland eingesetzt werden dürfen, müssen drei wichtige Kriterien erfüllen:

sie müssen nach EU-Richtlinie für den ökologischen Landbau erlaubt sein,

sie müssen durch die BBA zugelassen sein,

sie müssen nach den Richtlinien des jeweiligen Anbauverbandes erlaubt sein.

Des weiteren ist das Ziel der ökologischen Produktion an erster Stelle Pflanzenschutzmittel einzusetzen, die aus "natürlich" vorkommenden Substanzen bestehen (z.B. Pflanzenextrakte als Insektizide, "natürliche" anorganische Verbindungen als Fungizide). Möglich ist jedoch auch der Einsatz von Substanzen, die durch Umarbeitungsprozesse zwar industriell hergestellt werden, aber ein "natürliches Vorkommen" aufweisen (z.B. Eisen(III)phosphat als Molluskizid). Keine Möglichkeit besteht für den Einsatz von synthetisch hergestellten Substanzen, die in der Natur nicht vorliegen.

Da wie oben ausgeführt die Entwicklung neuer Substanzen aufgrund der hohen Kosten nahezu unmöglich erscheint, bestünde eine momentane Lösung der Problematik darin, bestehende Verfahren zur Wühlmausbekämpfung für den Ökologischen Landbau zu adaptieren. Ein Beispiel hierfür wären mit Phosphorwasserstoff (PH_3) durchgeführte Begasungen im Erdreich, wie sie im konventionellen und integrierten Anbau eingesetzt werden. Sie würden unter Umständen den oben aufgeführten Richtlinien des ökologischen Anbaus hinsichtlich des Einsatzes von Substanzen, die zwar industriell hergestellt sind, jedoch ein "natürliches Vorkommen" aufweisen, entsprechen. Phosphorwasserstoff ist eine Substanz, von der natürliche Vorkommen bekannt sind. Man hat das Gas als Bestandteil von Sumpf- oder Faulgasen in Mooren, in Sedimenten von Meeren, als Entstehungsprodukt in Kläranlagen und sogar im Darm von Menschen und Tieren gefunden. Es wird davon ausgegangen, dass es beim Abbau von phosphathaltigen pflanzlichen oder tierischen Bestandteilen entsteht. Das Gas selbst wird in der Atmosphäre wiederum sehr schnell in Phosphorsäure und Phosphat abgebaut. Als Ausgasungssubstanz könnte ein in Pelletform vorliegendes Aluminiumphosphidpräparat eingesetzt werden. Die Herstellung dieses Produktes beruht auf den in der Natur vorkommenden Elementen Aluminium (das weitest verbreitete Metall der Erdrinde) und Phosphor. Nach Einbringung der Pellets in die Wühlmausbaue entwickelt sich durch die Bodenfeuchtigkeit und in Abhängigkeit von der Temperatur mehr oder weniger schnell das für die Schädlinge letale Phosphorwasserstoffgas und verteilt sich gleichmäßig im Gangsystem. Die weiteren, nach der Reaktion übrig bleibenden Reste bestehen im wesentlichen aus Tonerde (Aluminiumoxidhydrat), einem natürlichen Bestandteil des Bodens.

Eine andere Richtung hinsichtlich der Entwicklung von Wirkstoffen zur Wühlmausbekämpfung im ökologischen Landbau besteht in der Nutzung des § 6a Abs. 4 Satz 1 Nr. 3 Buchst. a und b des Pflanzenschutzgesetzes. Hier wurde eine zusätzliche Möglichkeit für die Anwendung einiger Pflanzenschutzmittel geschaffen. Danach dürfen solche Mittel im eigenen Betrieb selbst hergestellt werden, wenn die Stoffe und Zubereitungen zur Herstellung nach den Vorschriften der Europäischen Gemeinschaft bei der Erzeugung von Produkten aus ökologischem Anbau angewandt werden können und in einer Liste der Biologischen Bundesanstalt aufgeführt sind. Produkte, die diese Kriterien erfüllen, sind somit ohne das aufwendige Zulassungsverfahren einsetzbar und könnten daher auch von kleinen und mittelständischen Unternehmen entwickelt werden. Allerdings muss auch in diesem Verfahren eine gewisse Planungssicherheit und eine Abschätzung des Kostenaufwandes für die Unternehmen gegeben sein.

Welcher Weg letztendlich eingeschlagen wird, sollte im Interesse des ökologischen Anbaus von untergeordneter Bedeutung sein. Wichtig erscheint nur, dass weiterhin ausreichende und wirksame Möglichkeiten gegeben werden, Schädlinge wie die Wühlmaus bekämpfen zu können. Ansonsten wird es schwer werden, weiterhin hochwertige landwirtschaftliche Produkte aus ökologischem Anbau zu einem angemessenen Preis zu produzieren.

Allerdings müssen Industrie/Forschung, Zulassungsbehörden und Anbauverbände als Interessenvertreter der betroffenen Anbauer Kompromissmöglichkeiten zulassen und intensiv miteinander zusammenarbeiten, um zukünftig Lösungsmöglichkeiten für die dringlichen Probleme der Produzenten zu finden.

Literatur

Jahresbericht 2000/2001 des Industrieverbandes Agrar. Industrieverband Agrar e.V.,
Karlstraße 21, 60329 Frankfurt a. M.

Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG) vom 14. Mai 1998.

BGBI. I, Jahrg.1998, S. 3512. Bundesanzeiger Verlagsgesellsch. mbH, Postfach 1320,
53003 Bonn.

BENZING, L. (1998): Die Sachkundeprüfung (Phosphorwasserstoff, Brommethan, Cyanwasserstoff) in Frage und Antwort. Vorratsschutz GmbH, Postfach 1162, 69510 Laudendach.

Potentielle Bedeutung pflanzlicher Sekundärstoffe zur Abwehr von Wühlmäusen

Michael Wink

Institut für Pharmazeutische Biologie der Universität Heidelberg

Zusammenfassung

Alkaloide und andere Sekundärstoffe stellen mit Sicherheit keine wertlosen Abfallprodukte dar, sondern nehmen eine wichtige Rolle in der Verteidigung von Pflanzen gegenüber Fressfeinden und Mikroorganismen ein. Die Struktur dieser Schutzsubstanzen wurde durch ein evolutionäres "Molecular modelling" dermaßen optimiert, dass sie häufig selektiv zelluläre Zielstrukturen wie Rezeptoren erkennen und modulieren können (z.B. als Analoge der Neurotransmitter). Dadurch sind viele Sekundärstoffe geeignet, mit zellulären Targets zu interagieren und häufig als Gifte zu wirken. Dies stellt die Basis dar, Pflanzen mit Sekundärstoffen in der Landwirtschaft als biorationale Schutzmittel zu nutzen, denn ähnlich einem synthetischen Pestizid, das die Aktivität eines Rezeptors oder Enzyms beeinflusst, so kann ein Sekundärstoff (soweit er für eine spezifische Zielstruktur „optimiert“ wurde) an diesem Target wirken. In Hinblick auf fast 300000 Pflanzenarten kann man ahnen, welches großes, meist noch nicht genutzte Potential in der Natur vorhanden ist, das man potentiell in der Landwirtschaft (z.B. als natürliche Pflanzenschutzmittel) nutzen könnte. Wühlmäuse gehören zu denjenigen Herbivoren, die sich an die Wehrchemie der Pflanzen besonders gut angepasst haben. Viele Substanzen werden toleriert und/oder entgiftet. Dennoch sind etliche Gifte bekannt, die auch gegen angepasste Nager wirken. Mögliche biogene Wirkstoffe mit potentieller Bedeutung in der Abwehr von Wühlmäusen werden diskutiert.

Einleitung

Neben den Primärstoffen (Aminosäuren, Zucker, Fettsäuren, Phospholipide, Steroide, Nucleotide), die in allen Organismen vorkommen, haben Naturstoffchemiker weit über 100000 weitere Substanzen entdeckt, die man als Sekundärstoffe oder Sekundärmetabolite abtrennt. Diese Sekundärstoffe sind häufig auf spezielle Organismengruppen beschränkt und haben keine Funktion im Primärstoffwechsel der Zelle. Über 80000 Strukturen kennt man bereits aus Pflanzen, über 20000 aus Pilzen und Mikroorganismen, weitere 20000 aus Amphibien, Reptilien, Arthropoden und marinen Lebewesen.

Bei der Betrachtung der in Abb. 1 aufgeführten Zahlen der derzeit bekannten Sekundärstoffe aus Pflanzen muss man beachten, dass schätzungsweise nur 20% aller Pflanzen und diese bislang meist nur unvollständig untersucht wurden. Man kann annehmen, dass die Zahl der wirklich vorkommenden Strukturen ein Vielfaches betragen wird, zu deren Aufklärung neuerdings sehr empfindliche und leistungsfähige Methoden, wie z.B. HPLC, GLC, MS und NMR zur Verfügung stehen.

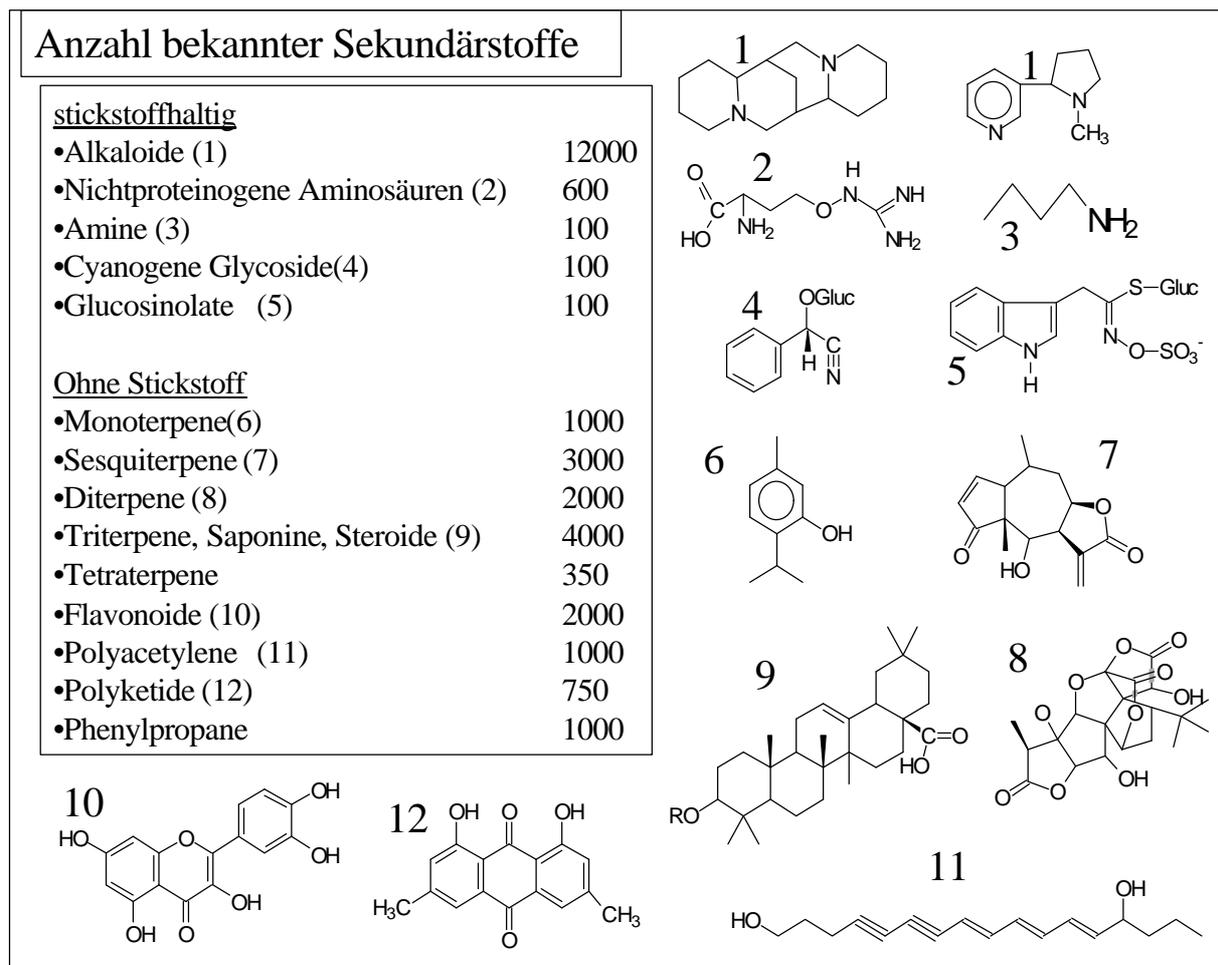


Abb. 1: Anzahl bekannter Sekundärstoffe und Illustration einiger repräsentativer Strukturen

Evolutionäre Basis und Funktion der Sekundärstoffe

Wozu braucht die Natur so viele Sekundärstoffe? Nachdem man lange die pflanzlichen Sekundärstoffe als Endprodukte und Abfallprodukte oder als funktionslose Stoffwechselprodukte angesehen hat, weiß man inzwischen, dass viele Sekundärstoffe für die Fitness und das Überleben der sie produzierenden Pflanze wichtig sind (Rosenthal & Berenbaum 1991, 1992; Harborne 1993; Wink 1993a-c, 1999ab). Von über 360.000 Pflanzenarten, die als autotrophe Organismen an der Basis der Nahrungskette stehen, hängen direkt oder indirekt über 1 Million Tierarten ab. Sowohl Pflanzen als auch Tiere werden von den Mikroorganismen als Substrat genutzt. Wir wissen in vielen Fällen, welche Strategien Tiere benutzen, um sich gegen Mikroorganismen oder gegen Fraßfeinde zu schützen. Da ist zum einen das hochentwickelte Immunsystem gegen Mikroorganismen wie Viren, Bakterien und Pilze, zum anderen sind es Waffen oder Verhaltensweisen (Flucht, Tarnung, etc.) gegenüber Fraßfeinden.

Pflanzen sind unbeweglich und können deshalb nicht fliehen, noch können sie sich aktiv mit Waffen wehren; und gegen Mikroorganismen fehlt ihnen ein Immunsystem. Wir können als gesichert annehmen, dass es nicht das Lebensziel einer Pflanze ist, gefressen zu werden, sondern dass jede Pflanzenart in der Evolution Strategien erworben hat, die ihr Überleben

fördern. Da Pflanzen sich im Allgemeinen sehr erfolgreich behaupten, muss man davon ausgehen, dass sie über wirksame Abwehrmaßnahmen verfügen.

Betrachten wir zuerst einmal die physikalisch- morphologischen Merkmale. Pflanzen sind nach außen meist durch eine wasserabstoßende Kutikula und Rinden abgeschlossen, die sicher den Mikroorganismen ein Eindringen erschweren. Dornen, Stacheln, Drüsen- und Brennhaare dienen offensichtlich der Abwehr von Pflanzenfressern. Die in vielen Pflanzen vorhandenen Milchsaftröhren und Harzkanäle enthalten unter Überdruck stehenden Milchsaft oder Harz, von denen herbivore Insekten bei einem Angriff geradezu überschwemmt werden, so dass ihre Mundwerkzeuge verkleben. Auf der biochemischen Ebene produzieren Pflanzen Enzyme, mit denen eingedrungene Bakterien (z.B. durch Glucanase), Pilze (durch Chitinase) oder Pflanzenfresser (z.B. Lektine, Protease-Inhibitoren) bekämpft werden können. Wohl die wichtigste Funktion spielen die Sekundärstoffe (Abb. 1,2) in diesem Zusammenhang, die konstitutiv, präformiert (z.B. Glucosinolate, cyanogene Glykoside, Cumaroylglykoside, Allicin und Ranunculin werden erst im Verteidigungsfall durch Enzyme aktiviert) oder nur nach Induktion (z.B. nach Pathogenbefall oder Verwundung) vorliegen. Die Hauptfunktion der Sekundärstoffe liegt besonders in der chemischen Abwehr von Pflanzenfressern aber auch von Mikroorganismen und anderen Pflanzen.

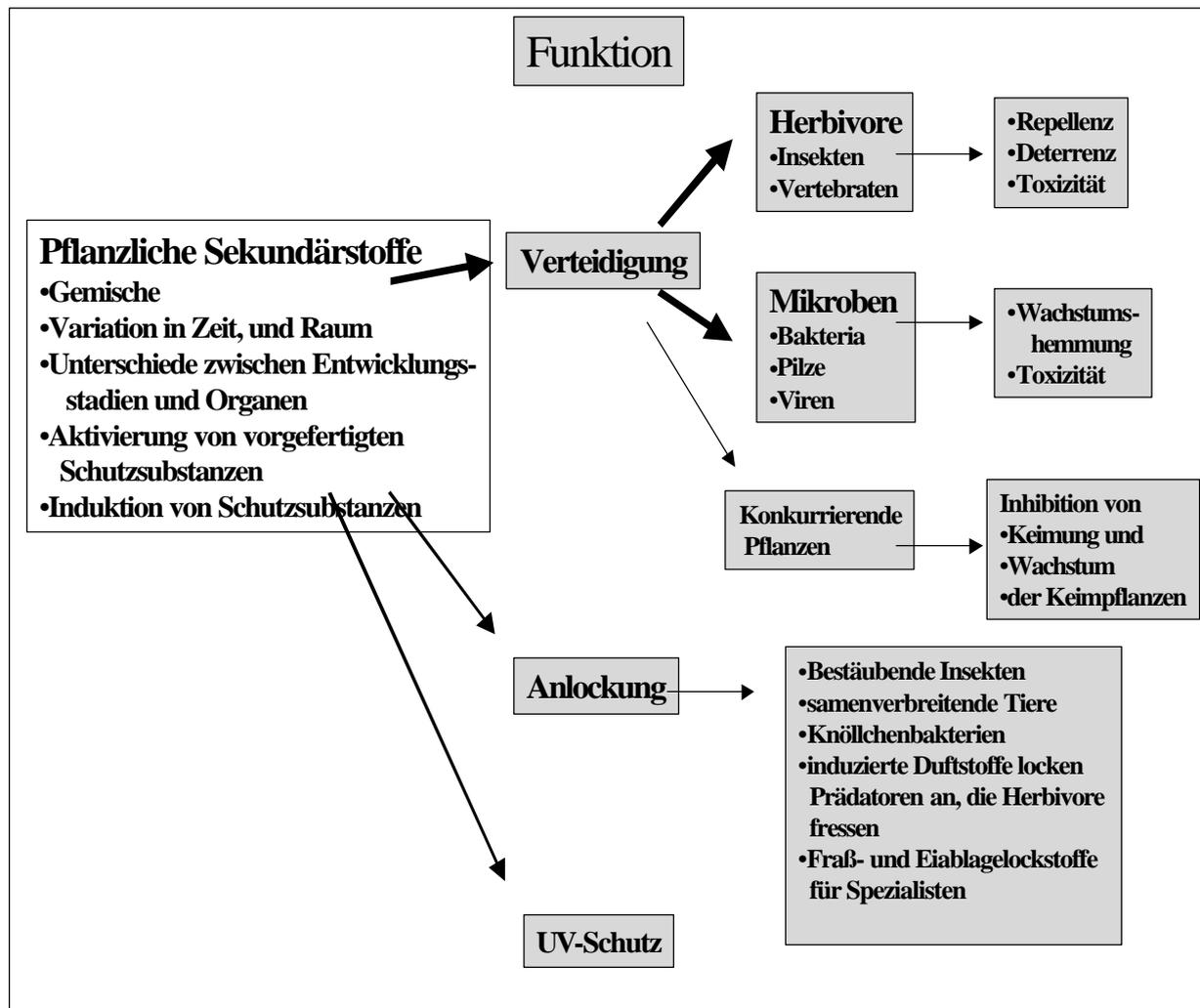


Abb. 2: Hauptfunktionen pflanzlicher Sekundärstoffe

Um die Funktion als chemische Schutzstoffe ausüben zu können, müssen die Sekundärstoffe in der Lage sein, Herbivore zu schädigen oder ihren Stoffwechsel nachhaltig zu stören. Betrachtet man einmal die Tiere aus Sicht der Pflanzenevolution, so bieten sich einige Organsysteme als wichtige Ziele an, gegen die es sich lohnte, Gifte zu entwickeln. Einer Störung des Nervensystems kommt besondere Bedeutung zu, da Substanzen, die mit Zielstrukturen des ZNS interagieren (z.B. Neurorezeptoren, Ionenkanäle oder Enzyme und Proteine der Signaltransduktionswege) für Pflanzen selbst unschädlich sind, da entsprechende Elemente bei ihnen fehlen. In der Tat greifen viele der bekannten Gifte (insbesondere Alkaloide) in das Nervensystem und die neuromuskuläre Signalübertragung ein. Aber auch das Verdauungssystem, Herz und Kreislauf, Atmung, Muskelkontraktion und Fortpflanzung sind geeignete Ziele, deren Störung sich für Pflanzen lohnen sollte (Abb. 3).

Wirkorte und Wirkung pflanzlicher Sekundärstoffe

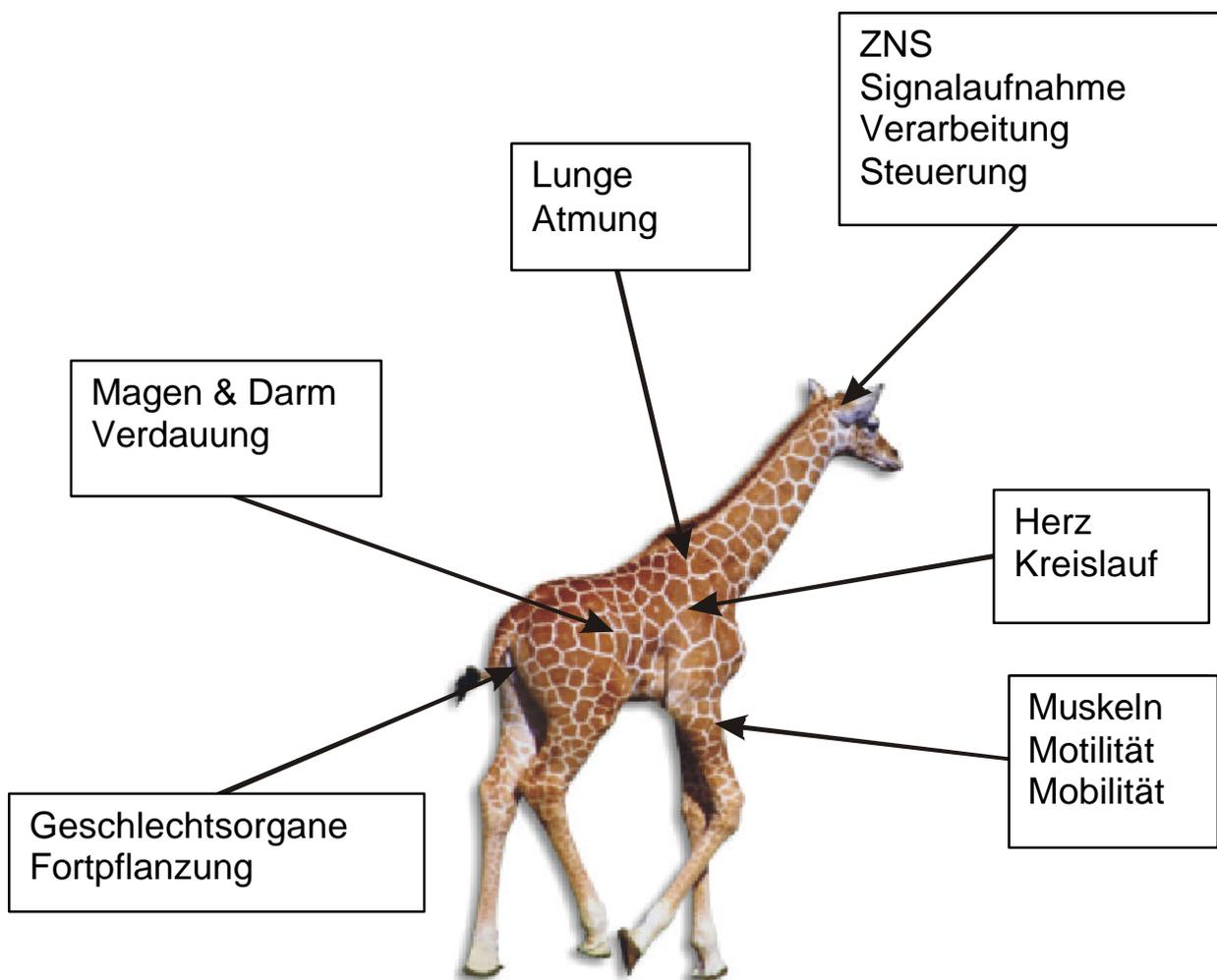


Abb. 3: Potentielle Wirkorte pflanzlicher Sekundärstoffe

Auf welchen Mechanismen beruht die Toxizität von Sekundärstoffen?

Für eine Reihe von Sekundärstoffen ist es gelungen, die Mechanismen, die den toxischen Effekten zugrunde liegen, biochemisch und molekular aufzuklären. Eine Hemmung oder Modifikation wichtiger **zellulärer Zielstrukturen (sogen. Targets)**, z.B. von DNA, RNA, Transcription, Replikation, Protein-Biosynthese, Membranstabilität, Elektronentransportketten, Zytoskelett, Signaltransduktion, Enzymen und Rezeptoren von Neurotransmittern und Hormonen hat man bereits für viele Substanzen nachweisen können (Übersicht Wink, 1993a, 2000)

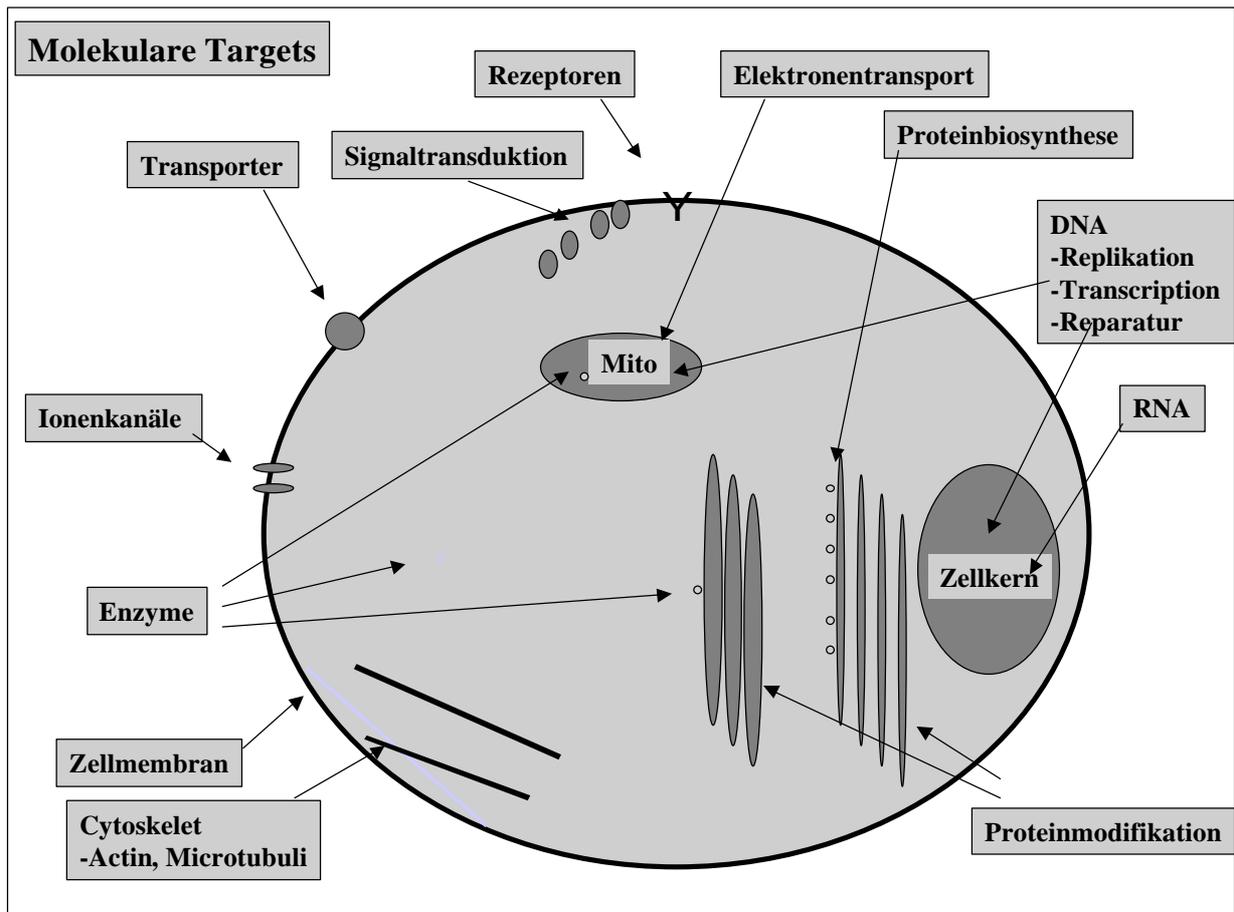


Abb. 4: Übersicht über wichtige molekulare Targets, mit denen Sekundärstoffe interagieren können

Ein besonders wichtiges molekulares Target, das in allen Zellen vorkommt, ist die DNA als Träger der Erbinformation. Beispiele für DNA-interkalierende Sekundärstoffe sind Dictamnin, Ellipticin, Harmanalkaloide, Chinin und andere Chinolinalkaloide, Emetin, Berberin, Chelerythrin und Sanguinarin während Cycasin, Aristolochiasäure, Pyrrolizidinalkaloide, Ptaquiloside und Furanocumarine in der Lage sind, direkt an die DNA zu koppeln („Alkylierung“). Viele der interkalierenden Substanzen sind planar und hydrophob, so dass sie gut zwischen die planaren Basenpaare GC und AT passen. Während die DNA-modifizierenden Naturstoffe die Replikation und Transcription meist indirekt hemmen, greifen andere Substanzen direkt an den DNA- und RNA-Polymerasen oder Topoisomerasen an, wie z.B. Vincristin, Vinblastin, Amanitin, Hippeastrin, Lycorin und

diverse Gerbstoffe. Kurzzeiteffekte im Umfeld von DNA/RNA führen zum Absterben der Zellen (Auslösung von Apoptose), Langzeitwirkungen zu Mutation (Missbildungen) oder Tumoren. Einige Alkaloide, wie Anagyrin, Anabasin und Coniin führen bei trächtigen Rindern und Schafen zu Kälbern mit verkrüppelten Beinen (sog. "crooked calf disease"). Einige der im Germer (*Veratrum album*) vorkommenden Steroidalkaloide, wie Cyclopamin, Jervin und Veratrosin führen bei trächtigen Schafen, Ziegen und Rindern zur Ausbildung eines großen Zentralauges beim Nachwuchs. Die "Alten Griechen" haben diesen Effekt offensichtlich bereits gekannt, so dass die mythische Figur des Zyklops vermutlich eine reale Basis hatte. Man kann sich leicht vorstellen, dass Herbivore, die solche Wirtspflanzen nutzen, eine deutlich reduzierte Fitness aufweisen müssen. In der Tat werden Pflanzen, die reich an Anagyrin, Coniin, Anabasin oder Veratrum-Alkaloiden sind, von Tieren meist gemieden. In Pflanzen der Gattung *Aristolochia* findet man einen ungewöhnlichen Alkaloidtyp, die Aristolochia-Säure, die eine Nitrofunktion aufweist. Dieses Alkaloid wird von Warmblütern wie Nitrosoamine verstoffwechselt und weist entsprechende karzinogene Aktivität auf. Ebenso karzinogen wirken die in ca. 3% aller Pflanzen vorkommenden Pyrrolizidinalkaloide, (Beispiel Senecionin) die erst durch eine Entgiftungsreaktion in der Leber zum alkylierenden Agens werden und Leberkrebs verursachen können. Die im Adlerfarn vorkommenden Ptaquiloside werden ebenfalls in der Leber aktiviert und bilden effektiv kovalente Bindungen mit DNA und Proteinen aus; auch hier wurde Krebs bei Weidetieren und Mensch vielfach festgestellt.

Die **Protein-Biosynthese** ist ein weiterer wichtiger Angriffspunkt, der von den folgenden Alkaloiden gehemmt wird: Vincristin, Vinblastin, Emetin, Cryptopleurin, Harringtonin, Haemanthamin, Lycorin, Narciclasin, Pretazettin, Tylocrebrin, und Tylophorin. Gegen **Elektronentransport-Ketten** (z.B. Atmungskette in Mitochondrien) gerichtet sind: Nicotin, Ellipticin, Alpigenin, Sanguinarin, Tetrahydropalmatin und Capsaicin. Das **Zytoskelett** und der **Spindelapparat** mit den Mikrotubuli wird von Colchizin, den dimeren Indolalkaloiden wie Vincristin, Vinblastin, und von Maytansin, Maytansinin, Taxol und Podophylloctoxin angegriffen, die damit eine starke zytotoxische Wirkung aufweisen. Gerade das Taxol aus Eiben hat in letzter Zeit als wirksames Krebsmittel für einige Schlagzeilen gesorgt. Diese Alkaloide sind für Pflanzenfresser hochtoxisch, und Pflanzen, die diese Alkaloide produzieren, wie *Colchicum* oder *Taxus* werden fast immer gemieden.

Die **Stabilität von Biomembranen** ist für die zelluläre Integrität und für einen geordneten Signalfluss von besonderer Bedeutung. Eine unspezifische Permeabilisierung von Biomembranen wird durch Ellipticin, Berbamin, Cepharanthin, Tetradrin, Steroidalkaloide, Steroid- und Triterpensaponine und viele lipophile Mono- und Sesquiterpene verursacht. Die Steroidalkaloide (z.B. Tomatin, Solanin) und die weit verbreiteten Saponine können Komplexe mit den Membransterolen, wie Cholesterol eingehen und so Zellen "löchrig" machen. Saponine sind in hoher Dosierung toxisch (gegenüber tierischen und pilzlichen Zellen), in niedriger Dosierung aber interessante Phytopharmaka (z.B. Mittel zur Steigerung der Sekretolyse durch Reizung des Nervus Vagus im Magen).

Eine überraschend große Anzahl Alkaloide moduliert hochspezifisch **Ionenkanäle** und **Ionenpumpen** und beeinflusst damit die zelluläre Ionenhomöostase und die Signalleitung der Nervenzellen in Synapsen und neuromuskulären Endplatten. Im Falle der durch Neurotransmitter direkt oder indirekt kontrollierten Ionenkanäle kann man die Alkaloide häufig als Strukturanaloge ansehen, die die natürlichen Liganden von ihrem Rezeptor verdrängen, die Rezeptoren oder die Neurotransmitter deaktivierenden Enzyme blockieren

(Übersicht Wink 1993a, 2000). Beispiele hierfür sind: Harmalin und andere β -Carbolinalkaloide, Chinin, Reserpin, Sanguinarin, Coffein, Spartein, Aconitin, Capsaicin, Cassain, Maitoxin, Brucin, Ergot-Alkaloide, Eseridin, Physostigmin, Gelsemin, Strychnin, Yohimbin, Berberin, Bulbocapnin, Columbamin, Coptisin, Ephedrin, Galanthamin, Laudanosin, Palmatin, Papaverin, Thebain, Cytisin und andere Chinolizidinalkaloide, Heliotrin und andere Pyrrolizidinalkaloide, Chaconin und andere Steroidalkaloide, Cocain, Atropin, Scopolamin, Arecolin, Muscarin, Nicotin, Pilocarpin, Psilocin, Psilocybin, Morphin, Mescaline, etc. Einige dieser Alkaloide (Morphin, Mescaline, Psilocybin, Cocain, Scopolamin, etc.) sind als halluzinogene Substanzen bekannt, die die Fitness eines Pflanzenfressers mit Sicherheit deutlich herabsetzen. Am Beispiel der strukturanalogen Neurotransmitter kann man besonders klar erkennen, dass die Natur im Verlauf der Evolution so etwas wie "Molecular modelling" durchgeführt hat, indem die Struktur der Alkaloide solange abgewandelt wurde, bis sie an die Neurorezeptoren binden konnten. Inhibitoren der Na^+, K^+ -ATPase, die für den Aufbau der Na^+/K^+ Gradienten notwendig ist, wird z.B. durch Herzglykoside, einige Flavonoide und Anthrachinone gehemmt. Auch "Second Messenger"-Systeme (Adenylatzyklase, Phosphodiesterase, Phospholipase) sind Targets, die von Tetrahydroberberin, β -Carbolinalkaloide, Papaverin, Coffein, Theophyllin und Theobromin beeinflusst werden. Da Neurorezeptoren, Ionenpumpen und andere Elemente der Signaltransduktion extrem wichtige Schaltstellen im Tier einnehmen, sind Hemmstoffe gegen diese Targets als Verteidigungssubstanzen besonders so gut nutzbar.

Pflanzen werden, wie alle anderen Organismen auch von Viren, Viroiden und Mikroorganismen befallen. Auch in diesem Zusammenhang wurden im Verlauf der Evolution Sekundärstoffe selektiert, die die Vermehrung von Viren, Bakterien und Pilzen hemmen können. Wirkorte können DNA und RNA, Replikation, Transcription (z.B. durch Alkaloide), Proteinbiosynthese (z.B. durch Antibiotika), Enzyme und Membranfunktionen (z.B. durch lipophile Mono-, Sesqui-, Di- und Triterpene) sein (Übersicht in Wink 1993a). An dieser Stelle soll auch auf die Verteidigungssubstanzen der Bakterien und Pilze hingewiesen werden, die als "Antibiotika" meist separat betrachtet werden, aber funktionell und evolutionär als typische Sekundärstoffe zu sehen sind. Die in den Pflanzen vorkommenden „Antibiotika“ (z.B. Monoterpene, Tri- und Steroidsaponine) sind weniger spezifisch als die bakteriellen und pilzlichen Wirkstoffe, dienten aber unseren Vorfahren bereits als Mittel der Wahl zur Desinfizierung von Wunden und bei Infektionskrankheiten.

Anpassung der Herbivoren an die Wehrchemie der Pflanzen

Herbivoren ist es im Verlauf der Evolution gelungen, Pflanzennahrung zu nutzen, obwohl sie Sekundärstoffe enthält. Herbivore können in zwei große Lager unterteilt werden, die sich in ihren Strategien gegenüber der Wehrchemie der Pflanzen grundlegend unterscheiden. Während die polyphagen Arten ein weites Wirtsspektrum nutzen, sind die mono- und oligophagen Arten nur auf eine oder eine kleine Anzahl, gewöhnlich verwandter Arten spezialisiert. Polyphage Arten sind meist mit einer vorzüglichen Sensorik in bezug auf pflanzliche Sekundärstoffe ausgestattet, die es ihnen erlaubt, die Qualität ihrer potentiellen Nahrungspflanzen zu evaluieren (Bernays & Chapman, 1994). Diese "Generalisten", wie wir diese Untergruppe auch klassifizieren können, werden gewöhnlich durch hohe Sekundärstoffgehalte vom Fressen abgeschreckt. Sie wählen eher die Arten mit wenig oder harmlosen Sekundärstoffen, wie z.B. unsere Kulturpflanzen, denen viele der ursprünglich vorhandenen Gifte abhanden gekommen sind. Oder sie wechseln ihre Wirtspflanzen

regelmäßig, so dass die Chance verringert wird sich zu vergiften. Zusätzlich verfügen die meisten polyphagen Arten über aktive Entgiftungsmechanismen, wie mikrosomale Oxidasen (z.B. Cytochromoxidase p450) und Glutathionperoxidase, die mit der Nahrung aufgenommene Sekundärstoffe schnell abbauen und eliminieren können. Monophage Arten dagegen wählen ihre Wirtspflanze häufig gerade danach aus, ob sie ein gewisses Gift in größerer Menge produziert. Für diese "Spezialisten" sind die üblicherweise giftigen Sekundärstoffe häufig Phagostimulantien. In diese Gruppe fallen vor allem Insekten, die Wirtschemie entweder tolerieren können (so z.B. ist der Tabakswärmer, *Manduca sexta*, nahezu unempfindlich gegenüber Nicotin, das für andere Tiere hochtoxisch ist, da er an dieses Alkaloid seiner Wirtspflanze angepasst ist), oder häufiger, sie speichern die pflanzlichen Gifte und nutzen sie zur eigenen Verteidigung aus. Zahlreiche (meist noch unbekannt) biochemische Anpassungen sind notwendig, bevor ein Insekt monophag die Wehrchemie seiner Wirtspflanze nutzen kann. Am Beispiel des Monarchfalters (*Danaus plexippus*) haben wir zeigen können, dass er Herzglycoside tolerieren kann, weil die Herzglykosid-Bindestelle seiner Na⁺,K⁺-ATPase durch eine Punktmutation so verändert ist, dass diese Glycoside an diesem Target nicht länger angreifen können (Holzinger & Wink, 1996). Diese Spezialisten sind aber nur resistent gegenüber der ihnen bekannten Wirtschemie, aber gewöhnlich empfindlich gegenüber anderen Sekundärstoffen. Vergleicht man die große Anzahl an potentiellen Herbivoren in einem Ökosystem, die eine Pflanze fressen könnten, so ist die Anzahl der wenigen Spezialisten sehr klein und kann offensichtlich von der Pflanze toleriert werden.

Viele Alkaloide, Glycoside und andere Naturstoffe haben für Säugetiere einen bitteren oder scharfen Geschmack, so dass die sie produzierenden Pflanzen auch meist gemieden werden. Beispiele für besonders bitter-schmeckende Naturstoffe sind: Chinin, Strychnin, Brucin, Spartein und viele Tri- und Steroidsaponine, Cyanogene Glycoside und secoiridoide Bitterstoffe; für scharf schmeckende Substanzen Diterpene, Capsaicin und Piperin. Neben dem unangenehmen Geschmack sind die meisten Alkaloide und viele Terpene für Warmblüter, inklusiv *Homo sapiens*, ausgesprochen toxisch. Besonders giftige Sekundärstoffe, von denen nur wenige mg/kg Körpergewicht bereits zum Tode führen können, sind Aconitin, Coniin, Hyoscyamin, Brucin, Curarin, Ergocornin, Physostigmin, Strychnin, Colchicin, Germerin, Veratridin, Cytisin, Delphinidin, Nicotin und Herzglycoside. Die meisten Tiere verfügen über assoziatives Lernen: Führt eine Pflanze zu nachhaltigen Störungen, so wird sie meist zukünftig als Nahrungspflanze gemieden.

Beispiel Lupinen und Lupinenalkaloide

Ein Beispiel aus meiner eigenen Arbeitsgruppe soll das Zusammenspiel zwischen Pflanze, Sekundärstoffen, Ökologien und Evolution näher erläutern. Seit Jahren untersuchen wir Chinolizidinalkaloide, die bei Leguminosen weit verbreitet vorkommen, so z.B. in Lupinen. Diese Alkaloide werden in den Chloroplasten der Blätter synthetisiert und anschließend über das Phloem in alle anderen Pflanzenteile, insbesondere in die reifenden Früchte transportiert. Gespeichert werden die Alkaloide in Vakuolen, in die sie mit Hilfe eines spezifischen Proton-Antiport-Karriers gelangen. Diese Alkaloide sind fraßabschreckend und toxisch für Insekten und Vertebraten; diese Wirkung wird vor allem durch Hemmung von Na⁺-Kanälen, durch Modulation von muscarinergen und nicotinischen Acetylcholin-Rezeptoren hervorgerufen (Wink 1993a-c, 2000; Schmeller et al. 1994). Obwohl die Abwehr von Pflanzenfressern durch diese Alkaloide sicher im Vordergrund steht, scheinen sie auch eine gewisse Bedeutung in der

Abwehr von Bakterien, Pilzen, Viren und anderer Pflanzen zu haben (Wink 1992). Für diese Wirkung könnte eine Hemmung der Proteinbiosynthese verantwortlich sein. Damit Sekundärstoffe als Verteidigungssubstanzen einsetzbar sind, müssen sie in ausreichender Konzentration gespeichert werden. Besonders die für das Überleben und die Fortpflanzung wichtigen Teile (z.B. junge Triebe & Blätter, Samen) sind besonders alkaloidreich. Die gespeicherte Alkaloidmenge reicht aus, um in einem kleinen Herbivor oder Mikroorganismus die notwendigen Hemmkonzentrationen zu erreichen (Übersicht in Wink 1992, 1993c). Um wirksam zu sein, müssen Sekundärstoffe zur rechten Zeit und am rechten Ort vorkommen. Lupinenalkaloide werden so z.B. nicht in allen Zellen, sondern bevorzugt in den Epidermen der Blätter und Stängel gespeichert, wo sie Konzentrationen zwischen 20 und 200 mM erreichen können. Aus Sicht der Chemischen Ökologie ist diese exponierte Lokalisierung besonders vorteilhaft, denn wenn ein kleines Herbivor oder ein Pathogen versucht, eine Lupine zu fressen und in sie einzudringen, so stößt es zuerst auf eine chemische Barriere. Die Speicherung vieler Alkaloide und Gerbstoffe in der Rinde von Wurzeln oder Stämmen, wie z.B. von Berberin, Cinchonin oder Chinin dürfte ähnlich zu interpretieren sein. Die meisten Sekundärstoffe werden konstitutiv gebildet, d.h. sie sind immer vorhanden, was jedoch nicht heißt, dass ihre Konzentration immer gleich hoch ist. Für Lupinenalkaloide, Nicotin und Tropanalkaloide hat man zeigen können, dass die Alkaloide einen schnellen Turnover durchlaufen und tagesrhythmisch produziert werden. Dieses Phänomen überrascht auf den ersten Blick. Alle drei Alkaloidtypen binden an Acetylcholinrezeptoren von Tieren, aber nur dann, wenn sie intakt sind, d.h. in der richtigen Raumstruktur vorliegen. Dadurch, dass diese Alkaloide ständig neu produziert werden, kann die Pflanze sicher sein, dass auch wirklich aktive Moleküle vorliegen und nicht nur inaktive Razemate oder Abbauprodukte. Auch für Lupinenalkaloide konnten wir zeigen, dass ihre Bildung im Verteidigungsfall noch verstärkt werden kann, so wie man es für andere Sekundärstoffe, wie z.B. für Isoflavone, Phenole, Terpene, Protease-Inhibitoren, Cumarine und Furanocumarine kennt. Nach Verwundung nimmt die Bildung von Chinolizidinalkaloiden in Lupinen deutlich zu, so dass der bereits vorhandene Antiherbivor-Effekt noch verstärkt wird (Übersicht in Wink 1992, 1993a,b,c).

Die bislang dargestellten Argumente unterstützen klar die Hypothese, dass Lupinenalkaloide, als chemische Verteidigungssubstanzen anzusehen sind. Aber zusätzlich hätte man gerne experimentelle Befunde, dass diese Annahme auch wirklich stimmt, d.h. den Beweis, dass die Fitness und das Überleben einer Pflanze gesteigert ist, wenn sie Alkaloide produziert. Für Chinolizidinalkaloide in Lupinen lässt sich dieser Beweis tatsächlich antreten. Lupinen haben relativ große Samen, die bis 40% Protein und bis 20% Öl aufweisen können. Ernährungsphysiologisch ist die Lupine damit der Soyabohne ebenbürtig, wenn die Alkaloide nicht wären, die in Lupinensamen bis zu 2-8% des Trockengewichts ausmachen können. Um die Lupine nutzbar zu machen, haben deutsche Pflanzenzüchter vor 90 Jahren begonnen, alkaloidarme Varietäten zu selektieren. Obwohl solche Formen in der Natur äußerst selten sind, ist es inzwischen gelungen, nahezu alkaloidfreie Varietäten von *L. albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus*, *L. mutabilis* und von *L. polyphyllus* zu züchten. Die sog. Süßlupinen unterscheiden sich, soweit wir es heute wissen, nur in ihrem Alkaloidgehalt von den wilden, alkaloidreichen "Bitterlupinen". Diese Süßlupinen eignen sich bestens, um die Frage experimentell zu testen, ob die Lupinenalkaloide für die Lupinen denn wirklich von Vorteil sind. Im Gewächshaus, wo externe Bedrohungen fehlen, sieht man in der Tat kaum Unterschiede zwischen Süß- und Bitterlupinen. Pflanzte man Süß- und Bitterlupinen jedoch unter Freilandbedingungen ohne Zäune und ohne Pestizidanwendungen an, so sind die Unterschiede nicht zu übersehen, was jeder Lupinenanbauer bestätigen kann (Abb. 5).

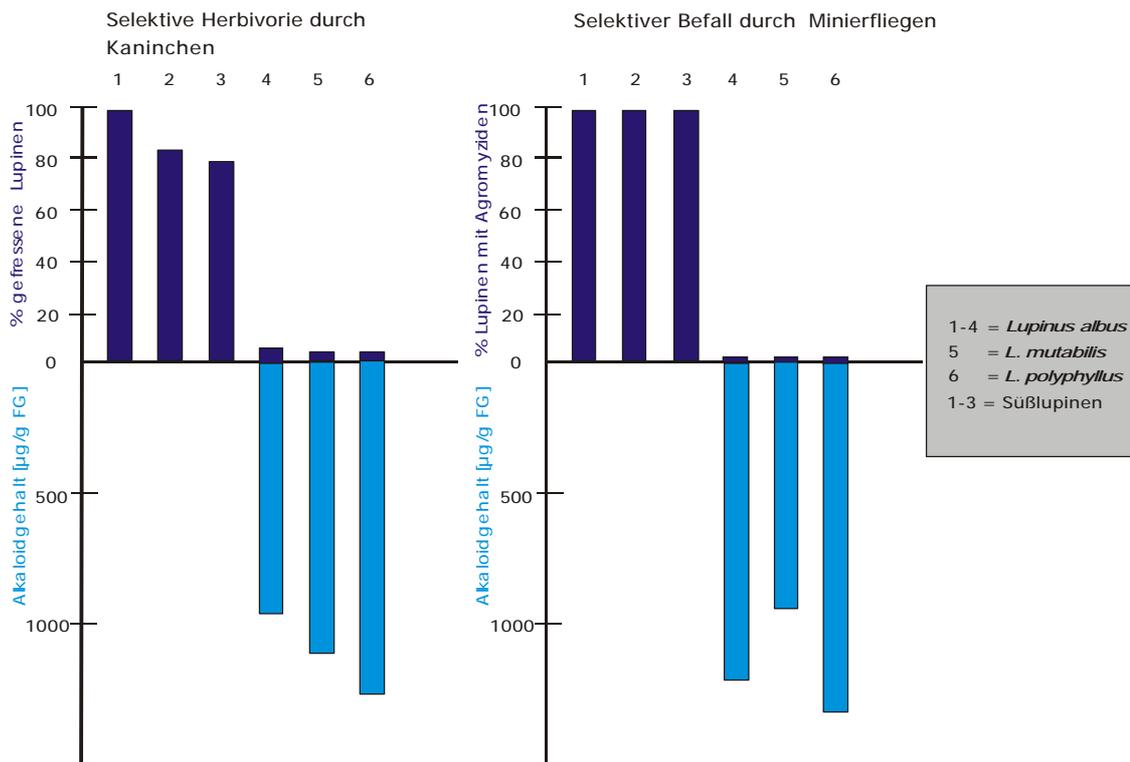


Abb. 5: Selektiver Vorteil von alkaloidreichen Lupinen gegenüber Herbivoren

Alkaloidreiche und alkaloidarme Lupinen waren im Versuchsgarten bzw. Gewächshaus gleichzeitig vorhanden, so dass Kaninchen bzw. Minierfliegen die Wahl zwischen alkaloidreichen und alkaloidarmen Pflanzen hatten.

Süßlupinen werden bevorzugt von Schafen, Hasen und Kaninchen aufgefressen und von Insekten, wie Blattläusen (Bohnen-, Pfirsich- und Erbsenblattlaus), Agromyziden, Käfern (*Sitona lineatus*), Thrips (*Franklinella*) befallen, während die alkaloidreichen Bitterlupinen nahezu unbeschadet stehen bleiben (ausführliche Darstellung in Wink 1985, 1987a,b, 1988, 1992, 1993a-c). Auch der Befall mit Bakterien, Pilzen und Viren scheint bei Süßlupinen erhöht zu sein, doch sind die Zusammenhänge nicht so klar zu erkennen. Diese Experimente belegen die Wirksamkeit der Chinolizidinalkaloide insbesondere gegenüber Herbivoren und beweisen, wie wichtig die Alkaloide für die Lupine sind. Ähnlich wie bei den Lupinen ist man bei vielen unserer Kulturpflanzen vorgegangen: Ohne zu wissen, welche Bedeutung die ursprünglich vorhandenen Sekundärstoffe haben, hat man auf Ertrag gezüchtet und dabei sehr oft die Sekundärstoffe und damit die natürliche Resistenz der Pflanze verloren. Als Konsequenz muss man chemische Insektizide und Fungizide einsetzen mit den bekannten Problemen für unsere Umwelt.

Die Funktion der Alkaloide in Lupinen wird aus dem ökologischen und evolutionären Kontext sichtbar; ähnliche Zusammenhänge gelten vermutlich ebenso für andere Naturstoffgruppen. Da einige Lupinenalkaloide auch insektizide und fungizide Eigenschaften aufweisen, besteht außerdem die Möglichkeit, diese Wirkstoffe als sogen. „Biorationale Pestizide“ im Pflanzenschutz einzusetzen, da sie einige Vorteile gegenüber synthetischen Pestiziden aufweisen (Übersicht in Wink, 1993c).

Kann man Wühlmäuse biologisch mit Sekundärstoffen abwehren?

Nagetiere und Wühlmäuse insbesondere gehören zu den erfolgreichen Herbivoren, denen es im Verlauf der Evolution gelungen ist, eine große Anzahl von Pflanzen als Nahrung zu nutzen, die eigentlich aufgrund ihres Sekundärstoffgehaltes unbedenklich oder sogar giftig sein müssten. Offenbar verfügen Wühlmäuse über hochentwickelte Mechanismen zur Entgiftung der mit der Nahrung aufgenommenen Gifte. In Frage kommen eine gute Ausbildung und Aktivität von Leberenzymen, die Sekundärstoffe modifizieren können (abbauen, hydroxylieren und konjugieren) oder aktive ABC-Transporter, die in Zellen eingedrungene Substanzen sofort wieder nach außen befördern. Zusätzlich könnten Bakterien und andere Mikroorganismen im Darm zur Detoxifikation beitragen. Detaillierte Studien sind notwendig, um die Strategien der Wühlmäuse zur Entgiftung von Sekundärstoffen genauer zu charakterisieren.

Im Rahmen von Toxikologiestudien werden routinemäßig Nager, insbesondere Hausmäuse und Ratten eingesetzt. Für diese Tiere existieren lange Listen mit LD₅₀ und LD₁₀₀ Werten von potentiellen Giften, u.a. von Sekundärstoffen (Tab. 1). Eine kleine Übersicht über die Toxizität von Alkaloiden zeigt, dass etliche Substanzen eine hohe Giftigkeit aufweisen. Meist wurden die Werte nach intravenöser oder intraperitonealer Applikation gewonnen. Im Allgemeinen sind diese Substanzen bei oraler Applikation weniger toxisch (Tab. 1).

Tab. 1: LD₅₀ Werte einiger Alkaloide

Alkaloid	Versuchstiere	LD ₅₀ mg/kg
----------	---------------	------------------------

Alkaloide, die sich von Tryptophan ableiten

Brucin	Ratte	p.o., 1
Cinchonidin	Ratte	i.p., 206
Cinchonin	Ratte	i.p., 152
Ellipticin	Maus	i.v., 1.2
Ergocryptin	rabbit	i.v., 1.1
Ergometrin	Maus	i.v., 0.15
Ergotamin	Maus	i.v., 62
Harman	Maus	i.p., 50
Harmin	Maus	i.v., 38
Physostigmin	Maus	p.o. 4.5
Psilocybin	Maus	i.v., 285
Chinidin	Ratte	i.v., 30; p.o., 263
Chinin	Agelaius	p.o., 100
Reserpin	Agelaius	p.o., 100
Strychnin	Agelaius	p.o., 6
	Ratte	i.v., 0.9
Vinblastin	Maus	i.v., 9.5
Vincamin	Maus	i.v., 75
Vincristin	Maus	i.p., 5.2

Alkaloide, die sich von Phenylalanin/Tyrosin ableiten

Aristolochiasäure	Maus	i.v., 38-70; p.o., 56-106
Berberin	Maus	i.p. 23
Bulbocapnin	Maus	p.o., 413
Canadin	Maus	p.o., 940
Chelerythrin	Maus	s.c., 95
Chelidonin	Maus	i.v., 35
Codein	Maus	s.c., 300
Colchicin	Maus	i.v., 4.1,
Emetin	Maus	s.c. 32
Galanthamin	Maus	i.v., 8; p.o., 18.7
Morphin	Maus	i.v., 226-318
Papaverin	Maus	i.v., 27.5; s.c. 150
Protopin	Maus	i.p., 36-102
Sanguinarin	Maus	s.c., 102; i.v. 16
Thebain	Maus	i.p., 20
Tubocurarin	Maus	p.o. 33.2

Steroidalkaloide

Jervin	Maus	i.v., 9.3
Protoveratrin	rabbit	i.p., <0.1
Solanin	Maus	i.p., 42
Veratridin	Maus	i.p., 1.4

Tropanalkaloide

Atropin	Ratte	p.o., 750
Cocain	Ratte	i.v., 17.5

Pyrrolizidinalkaloide

Echimidin	Ratte	i.p., 200
Heliotrin	Ratte	i.p., 300
Jacobin	Ratte	i.p., 138
Monocrotalin	Ratte	i.p., 175, p.o., 71
Senecionin	Ratte	i.p., 85
Seneciphyllin	Ratte	i.p., 77

Chinolizidinalkaloide

Cytisin	Maus	i.v., 1.7
13-Hydroxylupanin	Maus	i.p., 172
Lupanin	Maus	i.p., 80
N-Methylcytisin	Maus	i.v., 21; i.p. 51
Sparteïn	Maus	i.p., 55-67; p.o., 350-510

Weitere Alkaloide

Aconitin	Maus	i.v., 0.17; p.o., 1
α -Amanitin	Maus	i.p., 0.1
Arecolin	Maus	s.c., 100
Koffein	Maus	p.o., 127-137
Coniin	Agelaius	p.o., 56
Delphinin	Kaninchen	i.p., 1.5-3.0
Maytansin	Ratte	s.c., 0.48
Muscimol	Ratte	p.o., 45
Nicotin	Agelaius	p.o., 17.8
	Maus	i.v., 0.3; p.o., 230
Tetrodotoxin	Maus	i.p., 0.01; s.c., 0.008

i.p. = intraperitoneal, i.v.= intravenös; p.o. = peroral, s.c.= subcutan

Es ist wahrscheinlich, dass es etliche Sekundärstoffe gibt, die auch gegenüber Wühlmäusen eine erhebliche Toxizität aufweisen oder die zur Repellenz oder Deterrenz führen. Solche Wirkstoffe gilt es, in einem systematischen Screening zu ermitteln. In weiteren Versuchen müssten dann Experimente folgen, wie man Kulturpflanzen durch solche Sekundärstoffe als schützen kann. Sollte dies über Repellentien nicht gelingen, müsste man wie bisher versuchen, die Wühlmäuse zu eliminieren. So müssten Köder entwickelt werden, die von den Wühlmäusen akzeptiert werden und in denen die Wirkstoffe stabil und wirksam bleiben.

Literatur

- BERNAYS, E.A. & CHAPMAN, R.F. (1994): Host-plant selection by phytophagous insects. Chapman and Hall, New York, London.
- HARBORNE, J.B., (1993): Introduction to ecological biochemistry.-4th ed. Academic Press, New York.
- HOLZINGER, F. & WINK, M. (1996): Mediation of cardiac glycoside insensitivity in the monarch (*Danus plexippus*): Role of an amino acid substitution in the ouabain binding site of Na⁺,K⁺-ATPase. *Journal of Chemical Ecology* **22**, 1931-1947.
- ROSENTHAL, G. A. & BERENBAUM, M. R. (1991): Herbivores. Their interactions with secondary plant metabolites. 2nd ed. Academic Press, San Diego.
- ROSENTHAL, G. A. & BERENBAUM, M. R. (1992): Herbivores. Their interactions with secondary plant metabolites. 2 ed. Academic Press, San Diego.
- TEUSCHER, E. & LINDEQUIST, U. (1994): Biogene Gifte, 2. Aufl. Fischer Stuttgart.
- WINK, M. (1985): Chemische Verteidigung der Lupinen: Zur biologischen Bedeutung der Chinolizidinalkaloide. *Plant Syst. Evolution* **150**, 65-81.

- WINK, M. (1987a): Chemical ecology of quinolizidine alkaloids. In: Allelochemicals: Role in agriculture, forestry and ecology (Ed. G.R. Waller), American Chemical Society, Symp.Ser. **330**, 524-533.
- WINK, M. (1987b): Quinolizidine alkaloids: Biochemistry, metabolism, and function in plants and cell suspension cultures. *Planta Medica* **53**, 509-514.
- WINK, M. (1988). Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theoretical Applied Genetics* **75**, 225-233.
- WINK, M. (1992). The role of quinolizidine alkaloids in plant-insect interactions. In: Insect-plant interactions (E.A. Bernays, ed.), CRC Press, Boca Raton. **4**, 131-166.
- WINK, M. (1993a). Allelochemical properties or the raison d'être of alkaloids, in: The Alkaloids (G.,A. Cordell, ed.), Academic Press, San Diego, **43**, 1-118.
- WINK, M. (1993b). The plant vacuole: A multifunctional compartment. *Journal of Experimental Botany*, **44**, Supplement, 231-246.
- WINK, M. (1993c) Production and application of phytochemicals from an agricultural perspective. In "Phytochemistry and agriculture, T.A. van Beek, H. Breteler, eds.) Proc. Phytochem. Soc. Europe **34**, 171-213, Oxford University Press, 1993.
- WINK, M (1999a) : Biochemistry of plant secondary metabolism, Sheffield Academic Press and CRC Press, Annual Plant Reviews. **2**.
- WINK, M. (1999b) : Function of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology. Sheffield Academic Press and CRC Press, Annual Plant Reviews,. **3**.
- WINK, M. (2000): Interference of alkaloids with neuroreceptors and ion channels. In Bioactive natural products. Atta-Ur-Rahman (Ed.), Elsevier pp. 3-129.

Erfahrungen mit pflanzlichen Repellentstoffen bei der Abwehr von Wühlmäusen (Arvicolidae) im Wald

Michael Müller und Torsten Heidecke

Technische Universität Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften, Tharandt

Zusammenfassung

Im Rahmen der Entwicklung nachwachsender Rohstoffe wurden aus der Großen Kugeldistel (*Echinops sphaerocephalus* L.) Extrakte gewonnen. In Voruntersuchungen mit Labormäusen erwiesen sich diese als repellent in bezug auf den Fraß behandelten Futters. In Labor- und Freilandversuchen wurden Mäuse (vorrangig Erdmaus, *Microtus agrestis* L.), vom Fraß an behandelten Apfelreibern weitgehend abgehalten. Die beobachtete Abschreckung durch das Echinopsextrakt kann auf die geschmacksintensive Wirkung des enthaltenen alkaloiden Bitterstoffes Echinorin sowie auf Nebenalkaloide bzw. Artefakte zurückgeführt werden. Ein entsprechendes Patent "Mittel zur Abwehr tierischer Fraßaktivitäten" ist beantragt.

Einleitung

Nageschäden durch Kurzschwanzmäuse (Arvicolidae) in forstlichen Kulturen stellen ein schwerwiegendes Waldschutzproblem dar. Die Schäden treten in Abhängigkeit von den zyklischen Schwankungen der Populationsdichte der Mäuse insbesondere dann auf, wenn durch Bodenlockerung und Vergrasung der Waldverjüngungsflächen ideale Habitate entstehen und wenn sich im Herbst und Winter die Qualität und Quantität der normalen Nahrung (vor allem Gräser) verschlechtert. Lokal kann, vor allem bei Vorkommen der Erdmaus (*Microtus agrestis*) und der Schermaus (*Arvicola terrestris*), der Laubbaumanbau in Frage gestellt oder die bereits vorgenommenen Waldumbauten zunichte gemacht werden. In den Jahren 1998 und 1999 beliefen sich die Schadflächen durch Mäuse (außer Schermaus) in Wäldern Deutschlands auf 6.717 bzw. 9.921 ha – Tendenz weiter steigend. Für Österreich wurden 1999 sogar 15.000 ha angegeben (AUTORENKOLLEKTIV 1999; AUTORENKOLLEKTIV 2000). Die kleinen Wühlmausarten wie Erdmaus (*Microtus agrestis*), Feldmaus (*Microtus arvalis*) oder Rötelmaus (*Clethrionomys glareolus*) erreichen alle 2 bis 4 Jahre ein Dichtemaximum. Oft kommt es zur Massenvermehrung mit anschließendem Zusammenbruch der Population (STUBBE 1987, HALLE 1999). Seit Anfang der 90iger Jahre ist eine allgemein zunehmende Tendenz zur Ausprägung von Massenvermehrungen zu erkennen (THIEL 1998).

Ausgangssituation

Im Weiteren sollen sich die Darstellungen auf die Kurzschwanzmäuse außer *Arvicola terrestris* beziehen. Schäden durch Kurzschwanzmäuse im Wald gilt es durch die Anpassung waldbaulicher Verfahren hinsichtlich der Baumartenwahl, der Bodenbearbeitung und der Verhinderung von Maushabitaten in Form von flächenhaften Vergrasungen zu vermeiden. Da Waldverjüngungen jedoch zunehmend mit potentiell gefährdeten Laubbäumen erfolgen sollen und die notwendige Lichtsteuerung in den Waldverjüngungsphasen auch zukünftig Vergrasungen und damit Maushabitate nicht ausschließen wird, müssen Möglichkeiten zur

Schadensabwehr vorgehalten werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Populationsdichte der Mäuse zu verringern. Die natürlichen Gegenspieler, vor allem das Mauswiesel (*Mustela nivalis*) und Greifvögel werden im integrierten Waldschutz gefördert, sind aber nicht in der Lage eine bereits eingetretene Massenvermehrung der Mäuse einzudämmen (STUBBE 1987, STUBBE 1988). Populationen forstschädlicher Mäuse wurden deshalb jahrzehntelang durch Rodentizide bekämpft (KULICKE 1958; KULICKE 1986; BBA 2001). Hinsichtlich der Ökonomie des Einsatzes von Rodentiziden ist neben den erheblichen finanziellen und personellen Aufwendungen für die wiederholten Applikationen zu beachten, dass bei einer Zertifizierung der Waldbewirtschaftung diese Mittel nicht mehr anwendbar sind. Diese Rodentizide sind warmblütertoxisch und befriedigen nicht immer in ihrer schadensverhütenden Wirkung. Zudem dürfen sie nur bei nachgewiesener Bekämpfungsnotwendigkeit und für Nichtzielorganismen unzugänglich ausgebracht werden (BBA 2001). Nebenwirkungen infolge direkter Aufnahme durch Nichtzielorganismen oder durch Aufnahme verendeter Mäuse z. B. durch Beutegreifer sind dennoch nicht vollkommen auszuschließen (RIEDEL et al. 1988; ZAHNER 1996). Darüber hinaus ist es möglich oberirdisch schädigende Mäuse mit Fallen zu fangen. Diese Fangverfahren sind jedoch ebenfalls mit hohen technischen und personellen Aufwendungen verbunden. Die Tötungsverfahren haben außerdem den allgemeinen Nachteil, dass natürliche populationsregulierende Faktoren bei den Mäusen unterdrückt werden könnten (FRANK 1955, GONSCHORREK 1989, HALLE 1999).

Die regelmäßige Schadperiode der Mäuse in Waldverjüngungen ist durch den Eintritt des Nahrungsmangels im Herbst bis zur natürlichen Populationsreduktion zum Ende des Winters gekennzeichnet. Für die Belange der Waldbewirtschaftung würde es im wesentlichen ausreichend sein, in dieser Schadperiode den Schadfraß zu vermeiden. Ein Repellent könnte diese Funktion übernehmen. Dabei würde die Populationsentwicklung der Wühlmausarten weitgehend unberührt bleiben und bei einer ökonomischen Applikationstechnologie könnten Repellentien preiswerter und zudem zum eigentlichen Schadenszeitpunkt im Spätherbst und Winter im Gegensatz zu Rodentiziden auch noch wirksam sein.

Zunächst ist zu bemerken, dass verschiedene Baumarten auch bei vergleichbaren Habitaten unterschiedlich stark durch Wühlmäuse geschädigt werden. Das lässt auf unterschiedliche Nahrungsqualitäten, attraktive aber auch repellente Pflanzeninhaltsstoffe schließen. Die Nahrungswahl der Wühlmäuse wurde in vielfältiger Art und Weise untersucht, ist jedoch wissenschaftlich noch nicht hinreichend geklärt (ROMANKOWOWA 1967, HANSSON 1975, SCHLEGEL-BECHTHOLD 1980; ROUSI 1983, PALO et al. 1985, ROY et al. 1990, HANSSON 1991). Für die wichtigsten Waldbaumarten Deutschlands gibt es abgeleitete Rangfolgen (SCHWERTFEGER 1981, SCHWENKE 1986, MÜLLER-KROEHLING 2001).

Um Repellentien gegen Mäuse zu entwickeln, wurde bisher jedoch kaum auf die genannten Unterschiede zwischen den Baumarten Bezug genommen, sondern auf bekannte Bitterstoffe, Inhaltsstoffe von Nichtfraßpflanzen aus der Krautschicht, Nadelöle von Koniferen, Urin von Prädatoren der Wühlmäuse und mechanische Komponenten zurückgegriffen (JANZEN et al. 1982, BÄUMLER et al. 1990, KAUKAINEN et al. 1992, WAGER-PAGE et al. 1995, SWIHART 1995). Der fungizide Wirkstoff Thiram (Tetramethylthiuramdisulfid) erwies sich bei behandeltem Saatgut als repellent für Nagetiere (SCHEA 1959, MARTELL 1981). Thiram ist der Wirkstoff des heute in Deutschland einzigen zugelassenen Repellents HaTEPELLACOL[®] zur Abwehr von Nageschäden durch Wühlmausarten (BBA 2001).

Die Monopolstellung und die umstrittene Wirkung dieses Präparates sind Anlass für Neuentwicklungen bei Repellentien (LUKE et al. 1975, OTTO 1998, OTTO 1999, BEMMANN 2001). Ziel muss es sein, ein sogenanntes sekundäres Repellent zu finden, das bei den Zielorganismen unangenehme Geschmacksempfindungen oder Unwohlsein hervorruft, so dass gleichzeitig eine abschreckende Wirkung und ein Lerneffekt eintritt, der die Untauglichkeit der zu schützenden Bäume als Nahrungsquelle vermittelt (ROGERS 1978, CLARK 1999). Rotran (R-55, tert-butylsulvenyl-dimethyl-dithiocarbamat) wird als ein sehr wirkungsvolles Repellent beschrieben, das offensichtlich wegen seiner schwach toxischen Wirkung den Effekt eines sekundären Repellents hervorruft (EDWARD et al. 1972). Effekte sekundärer Repellentien können auch aus Beobachtungen zur Köderscheu abgeleitet werden (BÄUMLER 1992). Bei sekundären Repellents muss ein Verkosten zwar hingenommen werden, es entsteht dann jedoch ein länger anhaltender abschreckender Effekt. Probleme können daraus resultieren, dass Rindenverletzungen möglicherweise zu weiterem Fraß an dieser Stelle anregen (SCHLEGEL-BECHTOLD 1980). Zurückzuführen ist dieses Verhalten offensichtlich auf die Nahrungsqualität des Kallusgewebes (GÄRTNER 1991). Die Beobachtung konzentrierten Nagens durch *Microtus agrestis* an Stellen, die an Pflanzen vom HaTe-PELLACOL[®] nicht benetzt oder davon befreit wurden, scheint dies zu bestätigen (THIEL 1999, mündl.).

Eigene Untersuchungen

Bei der versuchsweisen Aufbereitung nachwachsender Rohstoffe wurde aus der Großen Kugeldistel (*Echinops* spp.) ein Extrakt gewonnen, das unter anderem den alkaloiden Bitterstoff Echinorin (einschließlich der abgeleiteten Verbindungen Echinopsin und Echinopsidin) enthält. Echinorin gilt als mindergiftig (LD 100 Maus, subcutan = 600 mg/kg (TUROVA et al. 1957)). Die gewonnenen bzw. in den Versuchen verwendeten Extrakte sind aufgrund des geringen Bitterstoffgehaltes als nicht toxisch anzusehen. Nebenwirkungen auf Nichtzielorganismen sind deshalb z. Z. nicht zu erwarten. In vorläufigen Studien mit Labormäusen (HORN 1999, mündl.) erwies sich das Extrakt als repellent für Labormäuse. Auf der Grundlage der Ergebnisse der ersten Voruntersuchungen wurde ein Antrag auf Erteilung eines Patentes „Mittel zur Abwehr tierischer Fraßaktivitäten“ gestellt.

Im Lehr- und Forschungswildgehege Grillenburg konnte die Aufnahme behandelten Futters durch Rotwild (*Cervus elaphus*) weitgehend verhindert und damit ein Repellenteffekt nachgewiesen werden. In Freilandversuchen wurde mit dem Echinopsextrakt eine mit zugelassenen Wildabwehrmitteln vergleichbare Reduzierung des Terminaltriebverbisses durch Rehwild (*Capreolus capreolus*) erreicht (STÖLZNER 2001).

Zur Prüfung der repellenten Wirkung des Echinopsextraktes gegenüber Wühlmausarten wurden Labor- und Freilandversuche durchgeführt. In beiden Fällen sind Apfelreiser der gleichen Sorte mit verschiedenen Präparaten behandelt worden. Unter Beachtung der EPPO-Richtlinie (EPPO 1996) wurden diese Reiser bei Laborversuchen Erdmäusen (*Microtus agrestis*) angeboten bzw. in den Freilandversuchen auf Waldflächen mit Mäusebesatz in zufälliger Verteilung ausgebracht. Die Attraktivität bzw. Repellenz der Versuchspräparate wurde durch die Bestimmung der Fraßflächen und den Vergleich mit den Null-Varianten sowie mit den Standard-Varianten ermittelt. Genaue Angaben zu den Versuchs- und Auswertemethoden sind bei HEIDECKE (2001) beschrieben.

Ergebnisse der Laborversuche

Die Laborversuche wurden mit Unterstützung der Außenstelle der Biologischen Bundesanstalt in Münster durchgeführt.

In der ersten Versuchsreihe konnte die repellente Wirkung des Echinopsextraktes nachgewiesen werden und bewegte sich auf dem gleichen Niveau wie das Standardmittel HaTe-PELLACOL® (Abb. 1). Wöbra® wurde als weiteres Vergleichsmittel eingesetzt, weil es eine Zulassung zur Abwehr von Nageschäden durch Biber (*Castor fiber*) hat. Da es jedoch nicht in allen Versuchen zur Anwendung kam, soll hier auf dieses Präparat nicht weiter eingegangen werden.

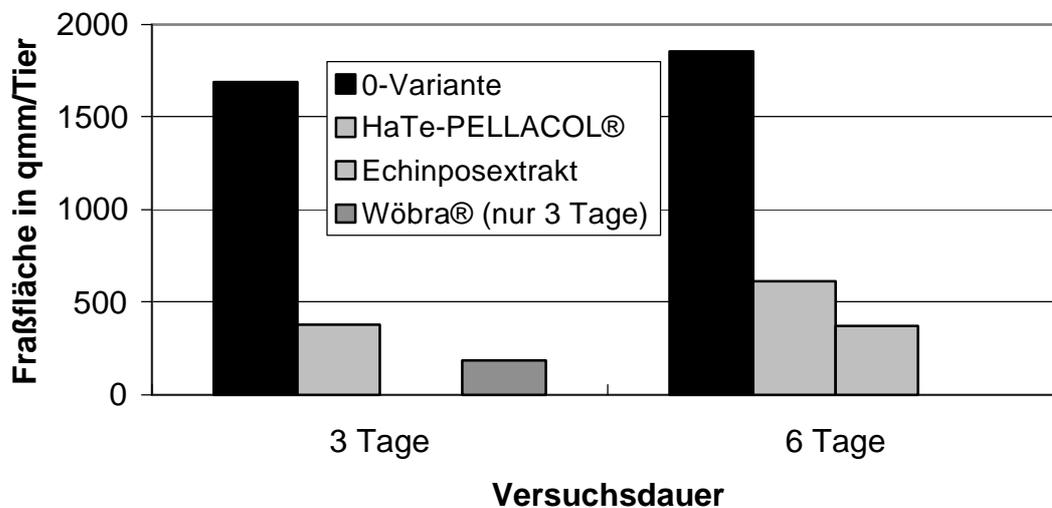


Abb. 1: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe der Laborversuche

In der zweiten Versuchsreihe sollte der Zwang zur Nahrungsaufnahme an den behandelten Apfelreisern durch das Weglassen der Null-Variante erhöht werden. Nach 4 Versuchstagen ähnelten die Ergebnisse denen der ersten Versuchsreihe. Nach 7 Versuchstagen wurde jedoch die mit dem Echinopsextrakt behandelten Apfelreiser stärker angenommen als die mit dem Standardmittel HaTe-PELLACOL® (Abb. 2).

In einer dritten Versuchsreihe wurde angestrebt, die Repellenz des Echinopsextraktes durch eine Konzentrationserhöhung (doppelter Anstrich) zu steigern. Durch den doppelten Anstrich wurde die Fraßfläche auf 2/3 der Fraßfläche beim einfachen Anstrich verringert (Abb. 3).

Änderungen im Verhalten der Versuchstiere durch die Aufnahme der Versuchspräparate wurden nicht beobachtet.

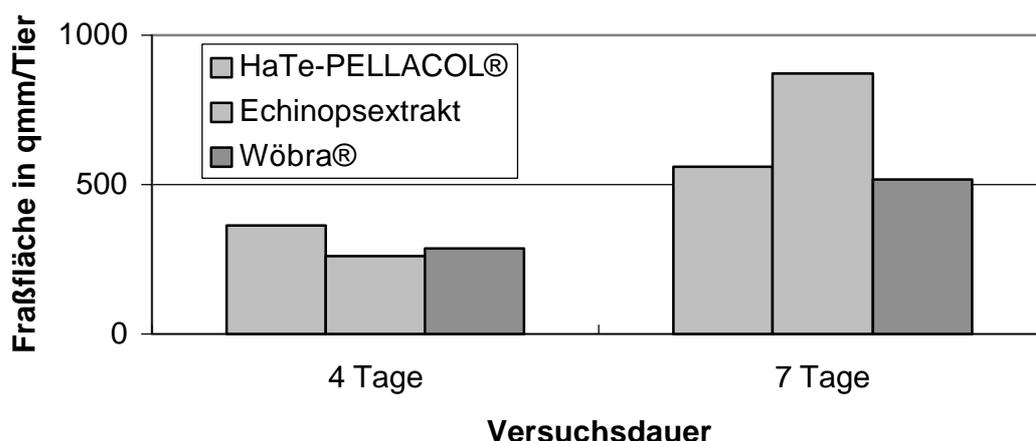


Abb. 2: Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe der Laborversuche

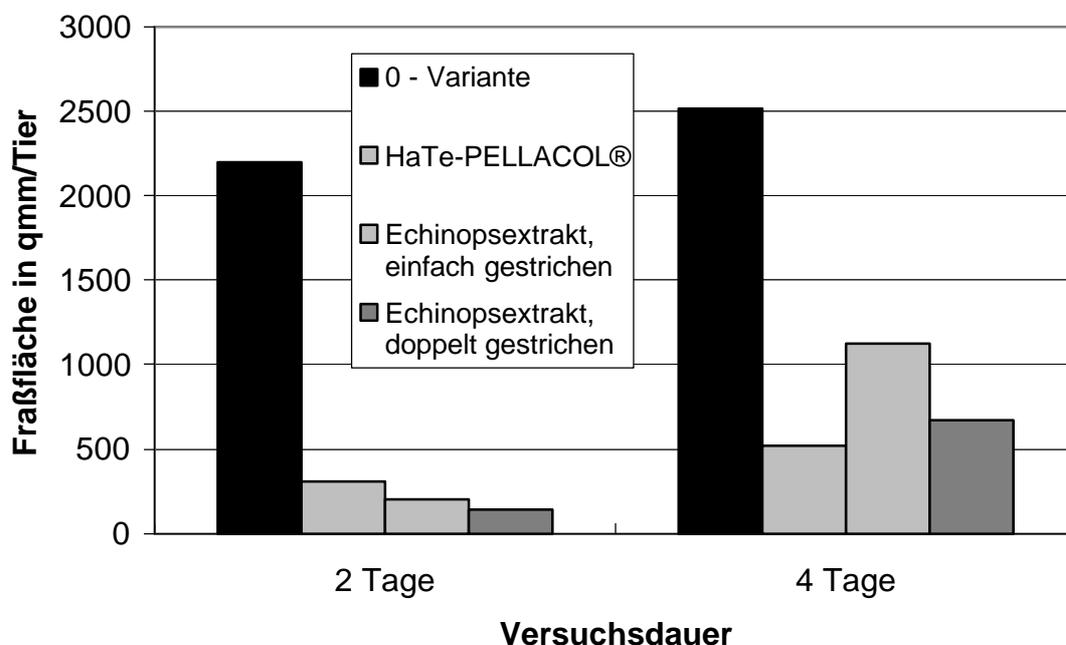


Abb. 3: Ergebnisse der dritten Versuchsreihe der Laborversuche

Ergebnisse der Freilandversuche

In den Freilandversuchen sind zahlreiche andere Präparate und mechanische Komponenten einbezogen worden. Die folgenden Darstellungen konzentrieren sich auf die Standart- und Null-Varianten sowie auf die untersuchten pflanzlichen Komponenten, die teilweise mit Latexgemisch wurden und von denen bekannt ist, dass sie von Wühlmäusen weniger geschädigt oder gemieden werden. Die Ergebnisse der Versuchsfläche in Fischbach sind mit abgebildet, aber wegen des geringen Fraßniveaus, insbesondere an der Null-Variante, nicht auswertbar. Während bei den Apfelreisern an den Null-Varianten bereits nach 30 Tagen

Fraßflächen von 18.000 bis 35.000 mm² erreicht wurden und damit die potentiellen Fraßflächen ausgeschöpft waren, blieben die mit dem Echinopsextrakt behandelten Reiser mit 4.500 mm² Fraßflächen selbst nach 80 Tagen im Bereich des Standardmittels HaTe-PELLACOL[®], das ca. 3.000 mm² Fraßfläche zuließ. Die Beimischung von Latex verringerte die repellente Wirkung des Echinopsextraktes. Die anderen Pflanzenpräparate bestanden aus zerkleinerten Teilen der genannten Pflanzenarten und Latex. Es konnten lediglich bei der Variante Latex + Narzisse repellente Effekte nachgewiesen werden (Abb. 4).

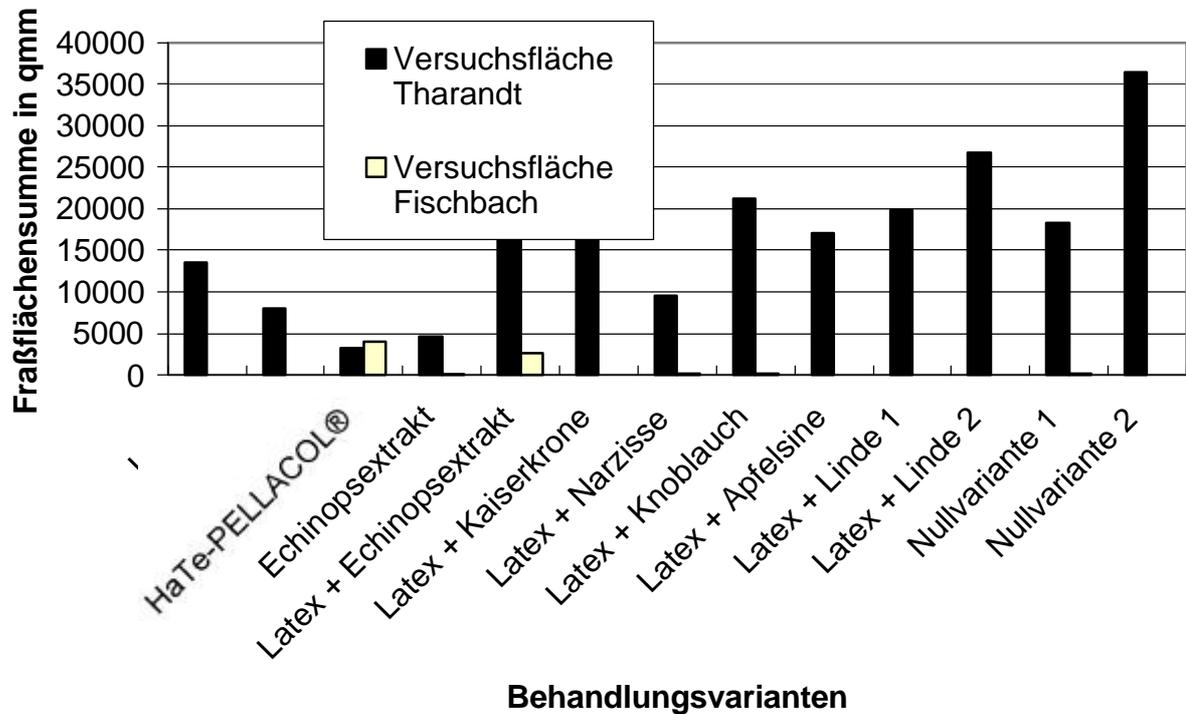


Abb. 4: Ausgewählte Ergebnisse der Freilandversuche nach maximal 80 Versuchstagen

Aussichten

In weiteren Untersuchungen soll die repellente Wirkung des Echinopsextraktes bestätigt und verstärkt werden. Bei den Echinops-Varianten waren relativ viele getrennte Fraßstellen zu beobachten. Offensichtlich wurden die Apfelreiser wiederholt durch die Wühlmäuse verkostet, was typisch für ein sekundäres Repellent wäre. Neben der Modifikation der Wasserlöslichkeit gilt es Fragestellungen zur optimalen Verteilung auf der Pflanzenoberfläche und zur Translokation in der Pflanze nachzugehen. War man bei bisherigen Repellentien bestrebt stark haftende und feste Beschichtungen zu erzeugen, scheint es bei einem sekundären Repellent erstrebenswert ein Fließvermögen zu erhalten, damit unvermeidliche Fraßstellen wieder durch das Repellent benetzt werden. Das wasserlösliche Echinopsextrakt kann diese Option erfüllen. Bisherige Vorversuche zur Pytotoxizität zeigten, dass durch Echinopsextrakt keine pathogenen Veränderungen oder Behinderungen des Austreibens der behandelten Pflanzen zu erwarten sind. Weiterhin sind Fragen der optimalen Extraktion, der Formulierung und der Applikationstechnologie sowie der Zulassung des Präparates zu klären.

Literatur

- AUTORENKOLLEKTIV (1999): Tabellarischer Überblick: Waldschutzsituation im deutschsprachigen Raum. Allgemeine Forst Zeitschrift / Der Wald, **7**, 328.
- AUTORENKOLLEKTIV (2000): Übersicht: Waldschutzsituation im deutschsprachigen Raum. Allgemeine Forst Zeitschrift / Der Wald, **7**, 336.
- BBA (2001): Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis Teil 4 - 2001 – Forst. Saphir Verlag, Ribbesbüttel.
- BEMMANN, M. (2001): Untersuchungen zum Einsatz von HaTe Pellacol und anderer Wildabwehrmittel als Schutz vor Nageschäden durch Wühlmäuse in forstlichen Kulturen. Vortrag am 06. 03. 2001 an der FH Schwarzburg
- BÄUMLER, W. ; MIELKE, H.; ZAHNER, V. (1990): Behandlung von Eicheln mit Repellentien gegen Nagetierschäden. Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz **63**, 15-19.
- BÄUMLERR, W. (1992): Köderscheu bei Wühlmäusen. Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz **65**, 65-67.
- CLARK, L. (1999): Primary repellents as vertebrate pest management tools. Second European Vertebrate Pest Management Conference, Braunschweig, (unveröffentlicht).
- EPPO (1996): Guideline for the efficacy evaluation of rodenticides PP 1/200 (1). European and Mediterranean Plant Protection Organization.
- EDWARD, D. & OLSEN, P. (1972): R-55 rodent repellent on germination on Douglas Fir and Western Hemlock. Canadian Journal Forest Research **2**, 256-263.
- FRANK, F. (1955): Die ungelöste Problematik bei der Bekämpfung von Mäuseplagen. Nachrichtenblatt deutscher Pflanzenschutzdienst **7**, 5-8.
- GÄRTNER, S. (1991): Baumartengefährdung durch Schäden von Erdmäusen (*Microtus agrestis* L.) und Rötelmäusen (*Clethrionomys glareolus* SCHR.). Beiträge für die Forstwirtschaft **25**, 79-82.
- GONSCHORREK, J. (1989): Zur Verbesserung der Schadensprognose für Erd- und Rötelmäuse (*Microtus agrestis* L. und *Clethrionomys glareolus* Schreb.). Dissertation des Forstwissenschaftlichen Fachbereichs der Georg-August-Universität Göttingen.
- HALLE, S. (1999): Massenvermehrungen und Populationszyklen der Microtinae – ein Überblick zum aktuellen Stand der Forschung. 2. Rodentizid-Symposium, Celle.
- HANSSON, L. (1975): Natural Repellence of Plants towards Small Mammals. In HANSSON, L. & NILSSON, B. (Hrsg.): Biocontrol of Rodents, Ecological Bulletins No **19**, 213-219, Swedish Natural Science Research Council, Stockholm.

- HANSSON, L. (1991): Bark consumption by voles in relation to mineral contents. *Journal of Chemical Ecology* **17**, 735-743.
- HEIDECKE, T. (2001): Untersuchung von Repellentien zur Abwehr forst-schädlicher Kurzschwanzmäuse (Microtidae). Diplomarbeit, TU Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt.
- JANZEN, D. H.; LYNN, D. G.; FELLOWS, L. E.; HALLWACHS, W. (1982): The indole alkaloid, Hypaphorine and Pterocarpus seed protection. *Phytochemistry* **21**, 1035-1037.
- KAUKEINEN, D. E.; BUCKLE, A.P. (1992): Evaluation of aversive agents to increase the selectivity of rodenticides, with emphasis on denatonium benzoate (BITREX[®]) Bittering agent. In: BORRECCO J. E. & MARSH, R. E. (Hrsg.): *Proceedings 15th Vertebrate Pest Conference*, University of Calif., Davis.
- KULICKE, H. (1958): Zur Kontrolle des Mäusebesatzes und Bekämpfung der Erdmaus mit Toxaphenpräparaten, Merkblatt Nr. **27**, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde.
- KULICKE, H. (1986): Erkennung, Überwachung und Bekämpfung forstlich bedeutsamer Mäuse, Merkblatt Nr. **42**, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde.
- LUKE, J.; SNETSINGER, R. (1975): Apple trees protected from voles with thiram. *Science in Agriculture* **23**, 7.
- MARTELL, A. M. (1981): Effects of pelleting and repellent-coating of conifer seeds on feeding by deer mice. Report of Great Lake Forest Res. Center, Canada X-330, 5-9.
- MÜLLER-KROEHLING, S. (2001): Gefährdung der Baumarten durch Mäusefraß. Unveröffentlicht
- OTTO, L.-F. (1998): Erst Ergebnisse eines Tauchversuches mit HaTe-Pellacol vor der Pflanzung als Mäuseschutz (Teil 1). Jahresbericht 1997 der sächsischen Landesanstalt für Forsten, Graupa.
- OTTO, L.-F. (1999): Erst Ergebnisse eines Tauchversuches mit HaTe-Pellacol vor der Pflanzung als Mäuseschutz (Teil 2 – Erfolgskontrolle nach einem Jahr). Jahresbericht 1998 der sächsischen Landesanstalt für Forsten, Graupa.
- PALO, R. T.; SUNNERHEIM, K.; THEANDER, O. (1985): Seasonal variation of phenols, crude protein and cell wall content of birch (*Betula pendula* Roth.) in relation to ruminant in vitro digestibility. *Oecologia* **65**, 314-318.
- RIEDEL, B.; RIEDEL, M.; WIELAND, H. & GRÜN, G. (1988): Vogeltoxische Bewertung des Einsatzes von Delicia-Chlorphazinon-Ködern in landwirtschaftlichen Kulturen. *Nachrichtenblatt des Pflanzenschutzes der DDR* **86**, 48-51.
- ROGERS, J. G. (1978): Repellents to protect crops from vertebrate Pests: Some considerations for their use and development. *American Chemical Society - Symposium Series* **67**, 150-165.

- ROMANKOWOWA, A. (1967): The repellent properties of certain plants to small field rodents. *Biuletyn instytutu ochrony roślin* **36**, 93-100.
- ROUSI, M. (1983): Susceptibility of pine to mammalian herbivores in northern Finland. *Silva Fennica* **17**, 301-312.
- ROY, J; BERGERON, J.-M. (1990): Role of phenols of coniferous trees as deterrents against debarking behaviour of meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*). *Journal of Chemical Ecology* **16**, 801-808.
- SCHEA, K. R. (1959): For. Res. Note, Weyerhäuser Co., Centralia, Wash. 24:38.
- SCHLEGEL-BECHTHOLD, A. (1980): Zur Nahrungswahl und Nagetätigkeit der Erdmaus *Microtus agrestis* L. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* **53**, 161- 166.
- SCHWENKE, W. (1986): Die Forstschädlinge Europas. Band 5. Wirbeltiere. Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- SCHWERTFEGER, F. (1981): Die Waldkrankheiten. Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- STÖLZNER, H. (2001): Untersuchungen eines Extraktes aus der Großen Kugeldistel (*Echinops spaerocephalus* L.) als neues Repellent zur Abwehr von Verbisschäden durch Schalenwild. Diplomarbeit, TU Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Fachrichtung Forstwissenschaften Tharandt.
- STUBBE, M. (1987): Populationsökologie von Greifvögel- und Eulenarten. *Wissenschaftliche Beiträge* 14 (P 27). Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- STUBBE, H. (1989): Buch der Hege. Band 1 Haarwild. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- SWIHART, R. K.; MATTINA, M. J. I.; PIGNATELLO, J. J. (1995): Repellence of Predator Urine to Woodchucks and Meadow Voles. In: MASON, J. R. (Hrsg.): *Proceedings of the Second DWRC Special Symposium*, Denver.
- THIEL, J. (1998): Verhinderung von Mäuseschäden im Forst. *Mitteilungen der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Gotha* **14**, 5-41.
- TUROVA , A. D.; IKOLSKAYA, B. S. and TRUTNEVA, E. A. (1957): Pharmacology of the new alkaloid Echinopsine, *Pharmacol. Toxicol.* **20**, 236-240.
- WAGER-PAGE, S. A.; MASON, J. R.; ARONOV, E.; EPPLE, G. (1995): The Role of Sensory Cues and Feeding Context in the Mediation of Pine-Needle Oil's Repellency in Prairie Voles. In: MASON, J. R. (Hrsg.): *Proceedings of the Second DWRC Special Symposium*, Denver.
- ZAHNER, V. (1996): Auswirkungen von Rodentiziden in der Forstwirtschaft auf die Vogelwelt. *Forst und Holz* **8**, 51-53.

Ist Populationsregulation bei Wühlmäusen durch Förderung der natürlichen Feinde, speziell der Marder, möglich?

Robert Sommer

Universität Rostock, Institut für Biodiversitätsforschung

Zusammenfassung

Wühlmäuse (*Arvicolidae*) können durch ihre Fraß- und Grabetätigkeit einen negativen Einfluss auf den Ernteertrag haben. Solche Arten sind z. B. Schermaus (*Arvicola terrestris*) oder Feldmaus (*Microtus arvalis*). Die natürlichen Feinde von Wühlmäusen im Ökosystem sind Beutegreifer, wie z. B. Eulen, tagaktive Greifvögel und Raubsäuger.

Zwei Mustelidenarten, das Mauswiesel (*Mustela nivalis*) und Hermelin (*Mustela erminea*) sind spezialisierte Maus- bzw. Wühlmausjäger (Reichstein, 1993a,b), die sich in ihrer Körperform sichtbar an das Jagen von Kleinsäugetieren in dichter Vegetations- bzw. Bodenstruktur angepasst haben. Biologische Daten von *Mustela nivalis* und *Mustela erminea* zeigen, dass das Vorkommen und die Abundanz dieser Raubsäugerarten wesentlich vom Vorhandensein der Hauptbeute bestimmt wird. Die Dynamik von Mauswiesel und Hermelin wird also (in umgekehrter Weise) eher von den Beutetieren reguliert, als dass die Raubsäuger einen spürbaren Einfluss auf die Kleinsäugerpopulationen haben. Die wirkungsvollste, aber aus Sicht der Schadabwehr wenig sinnvolle Förderungsmaßnahme wäre die Erhöhung des Beuteangebotes. Die Schaffung von Unterschlupfmöglichkeiten (und damit auch Reproduktionsmöglichkeiten) für Mauswiesel und Hermelin wie z. B. Holzhaufen oder Steinhaufen sowie die Schaffung einer strukturreichen Landschaft mit Hecken und Feldrainen sind als Förderungsmaßnahmen anzusehen, die dazu beitragen, die Dichte der Nagetierpopulation zu verringern und Massenvermehrungen zu dämpfen.

Einleitung

Im „ökologischen“ Landbau wird heute versucht Abundanzen von Organismen, deren Vorkommen auf einer Anbaufläche zur Verminderung des Ertrages führen kann, nicht mehr mit industriellen Schädlingsbekämpfungsmitteln, sondern mit den natürlichen „Gegenspielern“ des Ökosystems auf einem niedrigen Niveau zu halten.

Wühlmäuse (*Arvicolidae*) können durch ihre Fraß- und Grabetätigkeit einen negativen Einfluss auf den Ernteertrag haben. Solche Arten sind z. B. Schermaus (*Arvicola terrestris*) oder Feldmaus (*Microtus arvalis*).

Die natürlichen Feinde von Wühlmäusen im Ökosystem sind Beutegreifer, wie z. B. Eulen, tagaktive Greifvögel und Raubsäuger. Viele dieser Beutegreiferarten sind Nahrungsgeneralisten mit einem breitgefächerten Beutespektrum, bei dem Wühlmäuse eine bedeutende Rolle spielen. Einige Arten haben sich auf das Erbeuten von Wühlmäusen spezialisiert. Bei den Eulen sind als spezialisierte Wühlmausjäger Waldohreule (*Asio otus*) und Schleiereule (*Tyto alba*) bekannt (BLÖTZHEIM & BAUER, 1980). Unter den tagaktiven Greifvögeln zählt (anhand von Nahrungs- bzw. Gewöllanalysen) besonders der Turmfalke (*Falco tinnunculus*) als Wühlmausfänger (PIECHOCKI, 1982).

Unter den Raubsäugetieren gibt es mehrere Arten, die sich z.T. saisonbedingt von Arvicoliden ernähren. Zwei Mustelidenarten, das Mauswiesel (*Mustela nivalis*) und Hermelin (*Mustela erminea*) sind spezialisierte Maus- bzw. Wühlmausjäger (REICHSTEIN, 1993a,b), die sich in ihrer Körperform sichtbar an das Jagen von Kleinsäugetieren in dichter Vegetations- bzw. Bodenstruktur angepasst haben.

Zielstellung

Ziel der Arbeit ist es die potentiellen Möglichkeiten der Förderung von auf Wühlmausfang spezialisierten Musteliden, des Hermelins und des Mauswiesels, zu erkennen und zu diskutieren. Dabei ist es notwendig, bisher bekannte autökologische Daten dieser Musteliden sowie die ökologische Beziehung zu deren Hauptbeutetierarten zu berücksichtigen.

Ergebnisse zu den Musteliden

Hermelin (*Mustela erminea*)

Das Hermelin ist vorwiegend in Feldgehölzen, Kahlschlägen, Bruchlandschaften, Wiesen, Hecken, Feldrauten, Böschungen, Heuschobern, an Gewässerufeln mit dichter Vegetation, auf landwirtschaftlichen Nutzflächen, in Gärten und auch in Ortschaften zu finden (s. STUBBE, 1990) zu finden. Nur in geschlossenen Wäldern ist es relativ selten oder fehlt (REICHSTEIN, 1993b). Hermeline lassen keine enge Bindung an ein bestimmtes Habitat erkennen (REICHSTEIN 1993b). Das lokale Vorkommen ist im Gegensatz dazu eher an die Verbreitung der Hauptbeutetiere gebunden. Die Größe des Territoriums eines Einzeltiers kann nach verschiedenen Untersuchungen in Europa 5, 10, 50 oder sogar 200 ha betragen. Die Dichte ist in den meisten Fällen abhängig von der Ausstattung des Habitats mit Requiraten bzw. der Struktur und des Nahrungsangebots.

Hermeline haben sich auf die Erbeutung von Kleinsäugetieren bis zur Größe von Kaninchen spezialisiert. Wie Nahrungsanalysen aus der Schweiz (DEBROT, 1981), aus Westsibirien (KLIMOV, 1940) und Schweden (ERLINGE, 1981) zeigen, besteht die Nahrung der Hermeline in Europa zu über 50% aus Arten von *Arvicola* und *Microtus*.

Mehrere Untersuchungen in Europa (z. B. DEBROT 1983, ERLINGE 1983) über die Populationsökologie von *Mustela erminea* ergaben, dass die Bestandsdichte der Art wesentlich von dem Vorkommen und der Bestandsdichte der Hauptbeutetierarten bestimmt wird. Dieses Phänomen wurde auch bei nordamerikanischen Hermelinen beobachtet (FITZGERALD, 1977). In allen Analysen zwischen den Populationsdichten von *Mustela erminea* und *Arvicola terrestris* und *Microtus*-Arten ergab sich ein enger korrelativer Zusammenhang zwischen der Hermelin-Dichte und der Dichte der Wühlmausarten.

Mauswiesel (*Mustela nivalis*)

Der Lebensraum des Mauswiesels ist mit dem seiner Beutetiere (vorwiegend Wühlmäuse) weitgehend identisch (REICHSTEIN, 1993b). Daher ist die Art in Mitteleuropa in Laub- und Mischwäldern, an Waldrändern, Mooren, Heiden, Äckern, Weiden, Wiesen, Gärten und

Feldgehölzen zu finden. Ebenso ist *Mustela nivalis* in deckungsreichen und von abwechslungsreichem Profil geprägten Lokalitäten wie Hecken, Gräben und Böschungen nachgewiesen. Auch in Gebieten, die durch menschliche Ansiedlungen geprägt sind, leben Mauswiesel und nutzen z. B. Steinwälle, Heuschöber, Strohmieten, Steinhaufen, Holzstapel, Scheunen, Ställe und Schuppen als Unterschlupf (s. STUBBE 1990, REICHSTEIN 1993b).

Mauswiesel bleiben aufgrund ihrer geringen Körpergröße für den Menschen oft unentdeckt und die Anwesenheit der kleinen Tiere wird erst bemerkt, wenn eine Hauskatze ein Exemplar erbeutet hat oder ein aufmerksamer Beobachter ein überfahrenes Tier am Straßenrand findet (vgl. SOMMER, 1996).

Aus allen verfügbaren Quellen (ERLINGE 1974 u. 1975, WALKER 1972, PAROVSCHTSCHIKOV 1963, TAPPER 1976, BARBU 1968) geht hervor, dass *Mustela nivalis* ein extremer Nahrungsspezialist ist, dessen Hauptbeute Wühlmäuse (Arvicolidae) und Langschwanzmäuse (Muridae) sind. Aufgrund dieser Tatsache sowie dem räumlich eng an die Orte der Beutetiere geknüpfte Lebensweise wurden in der Vergangenheit bei chemischen Mäusebekämpfungen lokale Mauswieselbestände neben den Mäusen komplett mit ausgerottet (STUBBE, 1990).

Wie beim Hermelin wurde auch bei Mauswieseln eine Beeinflussung der Populationsdynamik durch das lokale Vorkommen und die Abundanz der Hauptbeutetiere beobachtet (s. TAPPER, 1979). Dieser Fakt ist, wenn man die trophische Spezialisierung von *Mustela nivalis* sowie die Anpassung der Lebensweise an die der Beute beachtet, äußerst verständlich.



Abb. 1. Mauswiesel, *Mustela nivalis* (Foto: E. Grimmberger)



Abb. 2. Größenvergleich zwischen Beutegreifer und ihrer Hauptbeute (von links nach rechts): Hermelin (35 cm), Mauswiesel (20 cm), Schermaus (28 cm), Feldmaus (12 cm) (Maße jeweils Kopfende bis Schwanzspitze) (Foto: A. Sombke)

Schlussfolgerung und Diskussion

Die Biologischen Daten von *Mustela nivalis* und *Mustela erminea* zeigen, dass das Vorkommen und die Abundanz dieser Raubsäugerarten wesentlich vom Vorhandensein der Hauptbeute bestimmt wird.

Die Dynamik von Mauswiesel und Hermelin wird also (in umgekehrter Weise) eher von den Beutetieren reguliert, als dass die Raubsäuger einen spürbaren Einfluss auf die Kleinsäugerpopulationen haben. Wenn man die Lebensweise beider Arten betrachtet, ist diese Tatsache leicht verständlich. Auf kleineren Inseln ist es jedoch in Folge der geografischen Isolierung der Wühlmauspopulationen möglich, dass der Prädationseinfluss der kleinen

Ist Populationsregulation bei Wühlmäusen durch Förderung der natürlichen Feinde möglich?

Marderarten die Beutearten signifikant verringert. Dieser Einfluss kann unter Umständen bis zur vollständigen Auslöschung einer Hauptbeuteart führen. So wurde nach VAN WIJNGAARDEN (zit. Nach REICHSTEIN 1993) auf der niederländischen Insel Terschelling die Schermaus (*Arvicola terrestris*) durch Hermeline ausgerottet. Auf Langenwerder (Ostsee) konnte ein Zusammenhang zwischen dem Zusammenbruch einer Schermauspopulation und verstärktem Auftreten von Hermelin und Mauswiesel nachgewiesen werden (WIELAND, 1973).

Wenn eine Population von Wühlmäusen auf dem Festland z. B. durch die spezielle geomorphologische Struktur des Habitats auf engem Raum lebt, ist es ebenfalls möglich, dass diese durch Mustelidenprädation kurzzeitig eliminiert wird. Dieses wurde z. B. von BARRETO & MACDONALD (2000) in Südengland beobachtet, wo eine verwilderte Farmnerzfähe eine Population von *Arvicola terrestris* vernichtete.

Eine durchgreifende Populationsregulation im Sinne der vollständigen Abwehr von Schäden an Kulturpflanzen bei Wühlmäusen allein durch die Förderung von kleinen Musteliden dürfte deshalb kaum praktisch umzusetzen sein, da Hauptgrundlage für das Vorhandensein (und somit auch Hauptförderungsmaßnahme!) von Mauswiesel und Hermelin ein entsprechend hohes Angebot an Beute wäre.

Hinsichtlich der Faktoren, die Nagetierzyklen steuern besteht in der neueren Literatur weitgehende Einigkeit darüber, dass den Predatoren dabei eine wesentliche Rolle zukommt (z.B. Henttonen 1999, Klemola 1999, Sittler 1999. Die Schaffung von Unterschlupfmöglichkeiten (und damit auch Reproduktionsmöglichkeiten) für Mauswiesel und Hermelin wie z. B. Holzhaufen oder Steinhaufen, Nist und Ansitzhilfen für Taggreifvögel und Eulen sowie die Schaffung einer strukturreichen Landschaft mit Hecken und Feldrainen sind daher als sinnvolle Förderungsmaßnahmen anzusehen, die dazu beitragen, die Dichte der Nagetierpopulation zu verringern und Massenvermehrungen zu dämpfen.

Literatur

- BARRETO, G. R. & MACDONALD, D. W. (2000): The decline and local extinction of a population of water voles, *Arvicola terrestris*, in southern England. *Zeitschrift für Säugetierkunde* **65**: 110-120.
- BARBU, P. (1968): Systematique et ecologie de la belette *Mustela nivalis* L. provenant de quelques forets des districts d'Ifov et de Prahova – Roumanie. Extrait de Travaux du Museum d'Historre Naturelle Grigore Antipa **8** : 991-1002.
- BLOTZHEIM, G. v., BAUER, M. (1980): Handbuch der Vögel Mitteleuropas. Bd. 9, Wiesbaden.
- DERBOT, S. (1981): Trophic relations between the stoat (*Mustela erminea*) and its prey, mainly the water vole (*Arvicola terrestris* Sherman) . In: Chapman, J. A.; Pursley, D. (eds.): Worldwide Furbearer Conference Proceedings II, 1259-1289. Frostburg, Maryland.
- DERBOT, S. (1983): Fluctuations de populations chez l'hermine (*Mustela erminea* L.). *Mammalia* **47**: 323-332.

- ERLINGE, S. (1974): Distribution, territoriality and numbers of the weasel *Mustela nivalis* in relation to prey abundance. *Oikos* **25**: 308-314.
- ERLINGE, S. (1975): Feeding habits of the weasel *Mustela nivalis* in relation to prey abundance. *Oikos* **26**: 378-384.
- ERLINGE, S. (1981): Food preference, optimal diet and reproductive output in stoats *Mustela erminea* in Sweden. *Oikos* **36**: 303-315.
- ERLINGE, S. (1983): Demography and dynamics of a stoat *Mustela erminea* population in a diverse community of vertebrates. *Journal of Animal Ecology* **52**: 705-726.
- FITZGERALD, B. M. (1977): Weasel predation on a cyclic population of the montane vole (*Microtus montanus*) in California. *Journal of Animal Ecology* **46**: 367-397.
- HENTTONEN, H. (1999): Microtine cycles in northern Fennoscandia. In: Ylönen, H. *et al.*: 3rd European Congress of Mammalogy Jyväskylä, Finland, May 29 – June 2 1999, Program and Abstracts, 43-44.
- KLEMOLA, T., KOIVULA, M., KORPIMÄKI, E. & NORRDAHL, K. (1999): Predation and food drive population cycles of voles: Experiments in large enclosures. In: Ylönen, H. *et al.*: 3rd European Congress of Mammalogy Jyväskylä, Finland, May 29 – June 2 1999, Program and Abstracts, 142.
- KLIMOV, Y. N. (1975): Data on the biology of the ermine. In: King, C. M. (ed.): *Biology of mustelids. Some Soviet Research 1*. Boston, British Library Lending Division, 108-117.
- PAROVSCHTSCHIKOV, V. Y. (1963): A contribution to the ecology of *Mustela nivalis* Linnaeus, 1766 in Arkhangelsk region. *Vestnik Československe společnosti zoologické* **27**: 335-344.
- PIECHOCKI, R. (1982): *Der Turmfalke*. Wittenberg Lutherstadt.
- REICHSTEIN, H. (1993a): *Mustela erminea* (L., 1758) – Hermelin. In: *Handbuch der Säugetiere Europas*. Ed. J. NIETHAMMER und F. KRAPP. Wiesbaden: Akad. Verlagsges. Vol. 5: Raubsäuger II. Wiesbaden.
- REICHSTEIN, H. (1993b): *Mustela nivalis* (L., 1766) – Mauswiesel. In: *Handbuch der Säugetiere Europas*. Ed. J. NIETHAMMER und F. KRAPP. Wiesbaden: Akad. Verlagsges. Vol. 5: Raubsäuger II. Wiesbaden.
- SOMMER, R. (1996): Zur Verbreitung des Mauswiesels (*Mustela nivalis*) in Mecklenburg-Vorpommern. *Säugetierkundliche Informationen* **4**(21): 202-205.
- STUBBE, M. (1990): Mauswiesel *Mustela nivalis*. In: *Buch der Hege* (Band 1: Haarwild)

- SITTLER, B. (1999): The role of mustelid predation in microtine cycles - a review. In: Ylönen, H. *et al.*: 3rd European Congress of Mammalogy Jyväskylä, Finland, May 29 – June 2 1999, Program and Abstracts, 213.
- TAPPER, S. C. (1976): The diet of weasels, *Mustela nivalis* and stoats, *Mustela erminea* during early summer, in relation to predation on gamebirds. *Journal of Zoology* **179**: 219-224.
- TAPPER, S. C. (1979): The effect of fluctuating vole numbers (*Microtus agrestis*) on a population of weasels (*Mustela nivalis*) on farmland. *Journal of Animal Ecology* **48**: 603-617.
- WIELAND, H. (1973): Beiträge zur Biologie und zum Massenwechsel der Großen Wühlmaus (*Arvicola terrestris* L.). *Zoologisches Jahrbuch, Abteilung für Systematik*. **100**: 351-428.
- WALKER, D. R. G. (1972): Observations on a collection of weasels (*Mustela nivalis*) from estates in south-west Hertfordshire. *Journal of Zoology*. **166**: 474-480.

Einsatz von Migrationsbarrieren und Pheromonen zur Abwehr von Wühlmäusen

Hartmut Wieland

Landesanstalt für Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Güterfelde

Zusammenfassung:

Es wurden Untersuchungen zur Migration der Feldmaus (*Microtus arvalis* PALL.) und deren Abhängigkeit von inneren und äußeren Faktoren der Population vorgestellt.

Zur Einschränkung der Zuwanderung der Feldmaus in neuangelegte Kulturen kann ein mit speziellen Köderbehältern bestückter Mäusezaun oder ein Mäusegraben dienen.

Mit einem Mäusezaun kann eine Zuwanderung der Feldmaus nahezu unterbunden werden.

Ein Mäusegraben ermöglicht eine ca. 80 %ige Abwehr.

Der Mäusezaun ist ab einer Flächengröße von 13,2 ha und der Mäusegraben schon ab 6 ha preisgünstiger als herkömmliche Pflanzenschutzverfahren. Ein Ersatz des Köderangebots an den Migrationsbarrieren durch Fallen würde jedoch den erforderlichen Aufwand wesentlich erhöhen. Bei hohen Populationsdichten im Herbst bricht die Feldmaus ihre Fortpflanzung vorzeitig ab. Erste Untersuchungen ergaben, dass dieser Fortpflanzungsabbruch auf spezielle Pheromone von weiblichen Tieren zurückzuführen ist. Die gezielte Nutzung dieses Effekts als biologische Alternative zu herkömmlichen Pestizideinsätzen erfordert jedoch noch umfangreiche Forschungsarbeit.

Migrationsbarrieren zur Abwehr von Wühlmausschäden

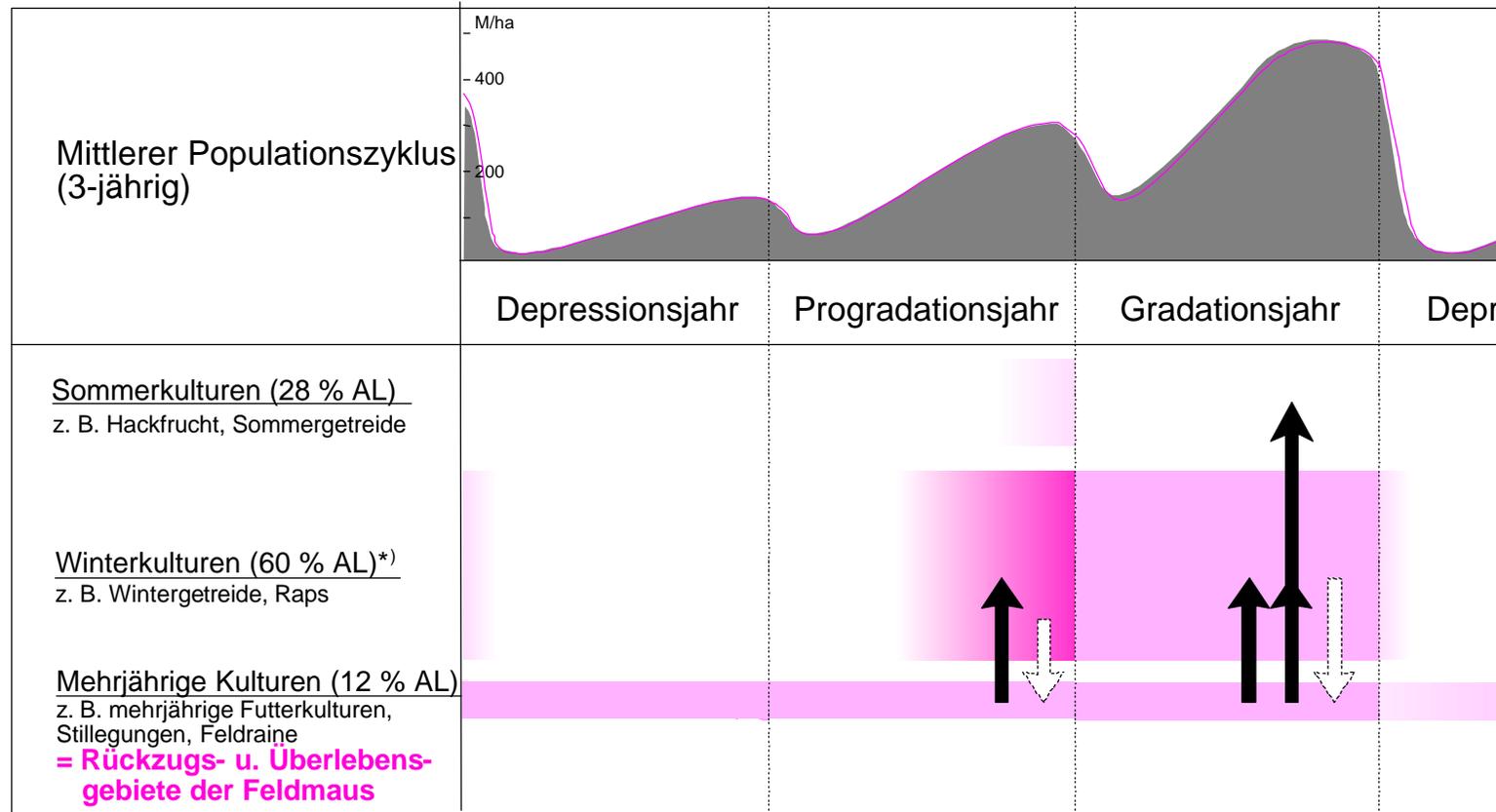
Ich beziehe mich auf meine Untersuchungen zur Abwehr von Feldmäusen durch Migrationsbarrieren (1994 bis 1997 Projekt des BML, Wieland 1997) und möchte daraus ableitend Ansatzpunkte für eine Einschränkung der Zuwanderung von Schermäusen erörtern.

Die beiden Wühlmausarten, Feldmaus und Schermaus, besiedeln unterschiedliche Habitate, die sich jedoch bei Wiesen und Weiden und bei Obstanlagen teilweise überschneiden. Beide dringen in landwirtschaftliche Kulturen ein und erreichen durch Fortpflanzung in diesen kritische Dichten und verursachen dann empfindliche Schäden. Eine Möglichkeit solche Schäden zu verringern oder zu verhindern, ist die Beschränkung der Zuwanderung.

In Abb. 1 ist eine Darstellung der Populationsdichten und Migrationsvorgänge der Feldmaus (*Microtus arvalis* PALL.) in Feldkulturen am Beispiel des Landes Thüringen zu sehen.

Wenn im Spätsommer und im Herbst eine starke Zuwanderung aus Rückzugs- und Überlebensgebieten erfolgt, kann bei günstigen Witterungsbedingungen, die auch eine starke Fortpflanzung ermöglichen, im Folgejahr ein Gradationsjahr eintreten. Vor der Darstellung der Migration der Feldmaus möchte ich auf grundsätzliche Unterschiede zwischen der Lebensweise der Feldmaus und der Schermaus hinweisen.

- Die Migration der Feldmaus vollzieht sich fast ausschließlich an der Oberfläche.
Die Feldmaus meidet Gewässer.
- Die Migration der Schermaus geschieht in den meisten landwirtschaftlich genutzten Gebieten unterirdisch.



% AL = Anteil am Ackerland -
Thüringen 1995

Populationsdichte der Feldmaus

schwach
mittel
stark

M/ha=Feldmäuse/ha,
mehrj. Kulturen

↑ Migration ↓

*) Bei Aussaat nach pflugloser Bodenbearbeitung - Populationsentwicklung ähnlich wie in mehrjährigen Kulturen

Abb. 1: Dynamik von Neubesiedlung und Populationsdichten der Feldmaus (*Microtus arvalis* PALL.) am Beispiel des Landes Thüringen (Teil des Hauptbefallsgebietes)

Die Schermaus schwimmt gern und nutzt u.a. Wasserläufe zur Migration. In den mir bekannten Schermausbefallsgebieten Ostdeutschlands benutzt die Schermaus für ihre Zuwanderung in Obst- und Gartenanlagen bevorzugt die Gänge des Maulwurfs.

Deshalb kann auch der Maulwurf als Schrittmacher für die Zuwanderung der Schermaus bezeichnet werden. Saucy (2001) fing in der Schweiz nach starken Niederschlägen in oberflächlich aufgestellten Fallen gehäuft halbwüchsige Schermäuse. Eine Zuwanderung der Schermaus an der Oberfläche ist besonders in Gebieten mit dünner Humusaufgabe und steinigem Untergrund zu erwarten.

Migration der Feldmaus

Um miteinander vergleichbare Aussagen zur Migration der Feldmaus zu gewinnen, nutzten wir einen Leitzaun, vor dem wir alle eintreffenden Feldmäuse abfingen. Den damit ermittelten Populationsdruck geben wir in auf 100 m Länge des Leitzauns pro Tag gefangenen

Tab. 1: Haupteinflüsse auf den Populationsdruck der Feldmaus (*Microtus arvalis* PALL.)

	Auslösende Faktoren	Art des Einflusses
Population	Populationsdichte Fortpflanzungs-Zustand	Erhöhung des Populationsdruckes mit der Populationsdichte. Weitgehend proportionaler Einfluss ab ca. 300 M / ha Fortpflanzungsabbruch bewirkt den Rückgang des Populationsdruckes auf nahezu null (nach etwa 4 Wochen)
Habitat	Höhe des Pflanzenbewuchses, Deckung	Ein geschlossener Pflanzenbestand fördert die Immigration, ein gemähter Pflanzenbestand fördert die Emigration (Deckungsverlust). Erhöhung des Populationsdruckes durch Ernteschnitt um 70 % bis 170 % Schlechtes Nahrungsangebot (z.B. lückiger Grasbewuchs mit geringem Futterwert) oder gar Nahrungsentzug fördert die Emigration. Gutes Nahrungsangebot fördert die Immigration.
Witterung	Temperatur	Mit steigender Temperatur steigt der Populationsdruck * Bei Temperaturen < 10 °C im Tagesmittel erfolgt ein starker Rückgang des Populationsdruckes.

M / ha = Mäuse pro ha

*) Korrelationskoeffizient = 0,664

Die Populationsdichten wurden mit Hilfe der Lochtretmethode ermittelt, bei der auf einer Feldmäusen an (F-100/d). Als Leitzaun diente ein 16 cm breiter, 4 mm dicker Plaststreifen. Dieser wurde 6 cm bis 8 cm in den Boden eingelassen. Am Zaun standen in 10 m Abstand Schlagfallen, die täglich kontrolliert wurden. Die Wertung begann nach einem 2- bis 3tägigen Abfang der Tiere der angrenzenden Territorien.

250 m² Kontrollfläche die am Tage nach dem Zutreten wiedergeöffneten Mäuselöcher gezählt werden (wgl/250m²).

Über die Sektion gefangener Feldmäuse ermittelten wir den Fortpflanzungszustand der Population, und über die Kopf-Rumpf-Längen Hinweise zur Altersstruktur.

Nach unseren Untersuchungen wird der Populationsdruck der Feldmaus durch Folgendes beeinflusst (Tab. 1).

Zur Population

Mit der Populationsdichte erhöht sich der Populationsdruck. Ähnliches ist bei der Schermaus zu erwarten. Bei der Feldmaus setzt bei etwa 300 Mäusen pro ha (18 wgl/250 m²) ein durchgehender Flächenbefall ein, mit dem sich der Einfluss der Populationsdichte auf den Populationsdruck erhöht. Der Populationsdruck verändert sich nach unseren Untersuchungen bei Flächenbefall etwa proportional der Populationsdichte.

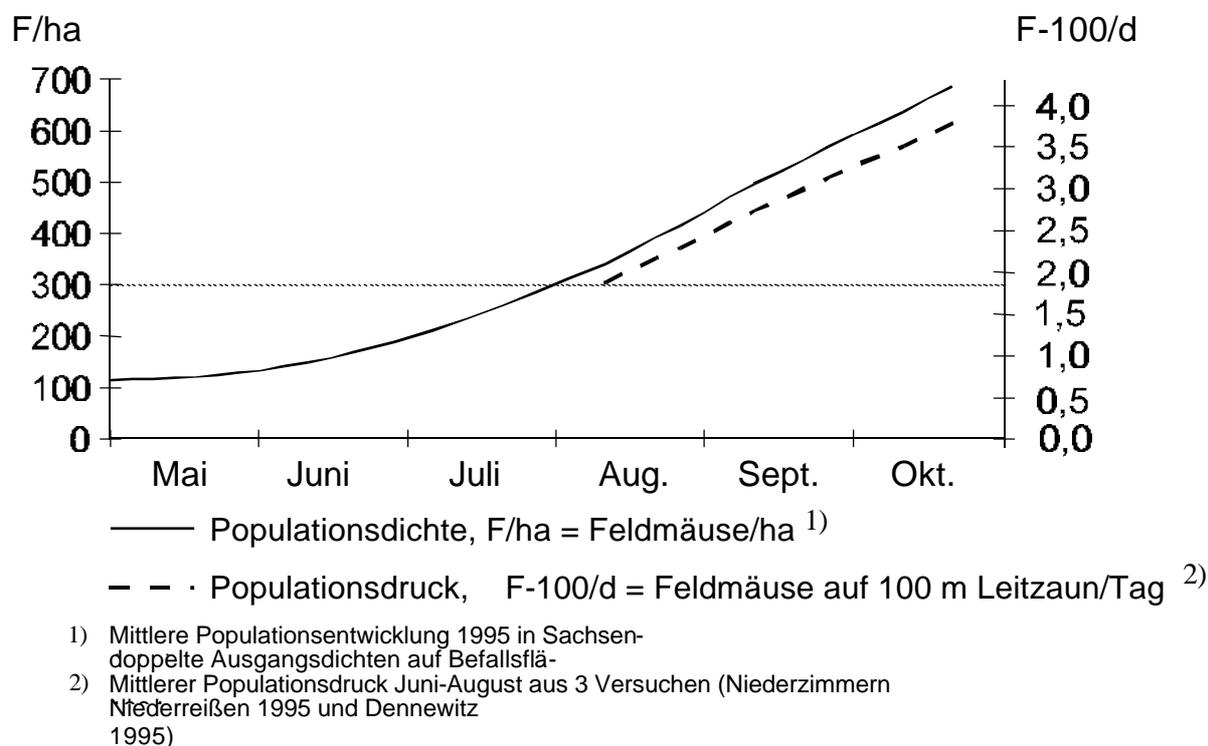
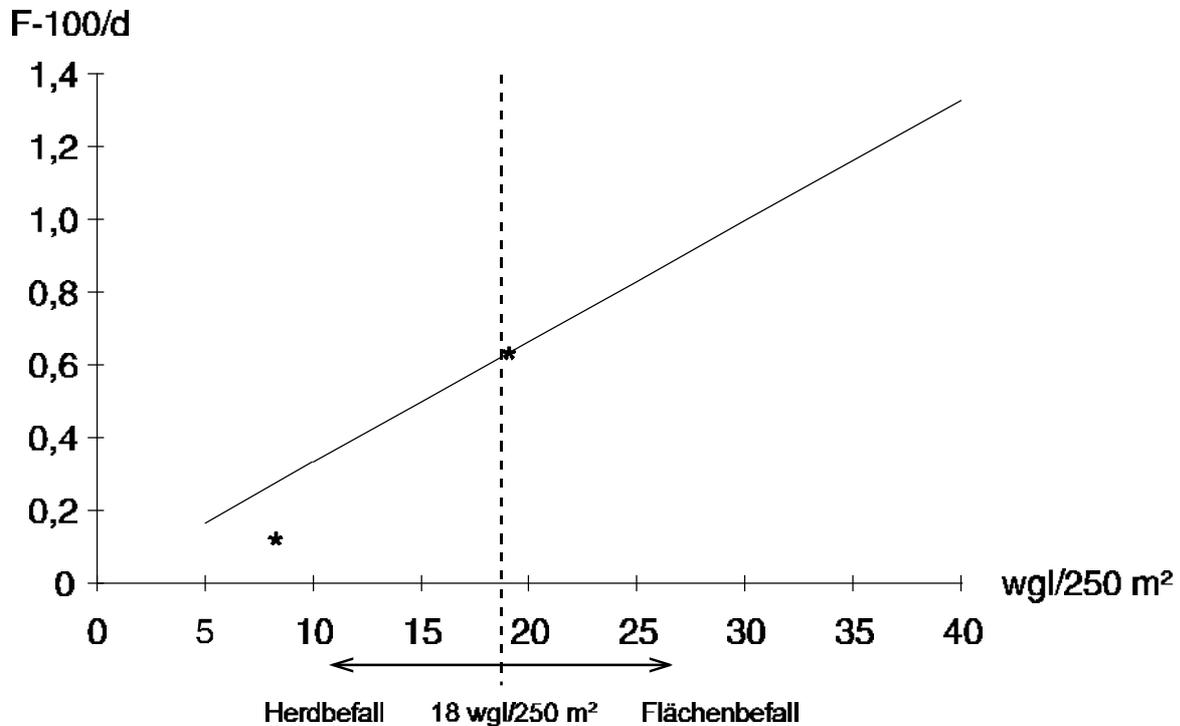


Abb. 2: Der Einfluss der Populationsdichte der Feldmaus (*Microtus arvalis* PALL.) auf den Populationsdruck

In Abb. 2 ist die Entwicklung der Populationsdichten im Jahre 1995 und die Entwicklung der Populationsdrücke aus den Ergebnissen von 3 Versuchen dargestellt. Bei einem Versuch in der Gemarkung Kall (Eifel) fanden wir Bedingungen zwischen Herd- und Flächenbefall durch Feldmäuse vor (Abb. 3:).



* F-100/d = 0,153 real bei Herdbefall
(nur 59,3 % im Vergleich zu proportionaler Abhängigkeit)

Bei Herdbefall bzw. Populationsdichten unter 18 wgl/250 m² fällt der reale Populationsdruck unter den nach proportionaler Abhängigkeit von der Populationsdichte zu erwartenden Wert ab.

Abb. 3: Die Abhängigkeit des Populationsdruckes von der Populationsdichte (am Beispiel der Untersuchungsergebnisse bei Kall 01.10.-25.10.96)

Der Populationsdruck bei Herdbefall war um ca. 40 % geringer als er bei einer proportionalen Abhängigkeit von der Populationsdichte bei Flächenbefall zu erwarten gewesen wäre. Durch den Fortpflanzungsabbruch bedingt sinkt bei der Feldmaus, auch wenn hohe Populationsdichten von über 3000 Mäusen pro ha vorliegen, der Populationsdruck auf Null. Die Tab.2 zeigt Entsprechendes auf einer Luzernefläche. Auf Flächen mit ungünstigem Nahrungsangebot bleibt jedoch, wie auf der Stilllegung mit Gras, ein geringer Populationsdruck erhalten. Von der Schermaus sind mir keine vergleichbaren Untersuchungen zur Migration bekannt.

Tab. 2: Untersuchungen zum jahreszeitlichen Einfluß auf den Populationsdruck der Feldmaus auf Stilllegungsflächen

Zeitabschnitt	Fläche	mittlere Populationsdichte in wgl/250 m ²	Populationsdruck in F-100/d	Populationsdruck bei 20 wgl/250 m ² in F-100/d	Fortpflanzungszustand		n	Ø Tagesmitteltemp. (von-bis) in °C
					♀, Anteil Trächtiger (ohne Juv.) in %	♀, Subad. : Ad.		
16.06.-26.06.95	S 1	54,20	5,46	2,01	35,36	1 : 1,42	67	16,1 (11,1-19,9)
	S 2	47,00	3,64	1,55	64,40	1 : 1,80	37	
07.09.-18.09.95	S 1	29,38	1,92	1,31	0,00	1 : 0,75	12	15,4 (13,4-19,1)
	S 2	220,38	1,56	0,14	0,00	1 : 0,80	18	
20.10.-26.10.95	S 1	70,63	0,43	0,12	0,00	1 : 0,33	43	7,6 (3,6-11,4)
	S 2	189,00	0,00	0,00	0,00	1 : 0,48	37	
28.10.-10.11.95	S 3	58,00	0,28	0,10	0,00	1 : 0,59	46	4,2 (0,0-8,0)

S 1 = Stilllegung, Gras, nicht optimales Nahrungsangebot (bei Dennewitz, Brandenburg)

S 2 = Stilllegung, Luzerne, optimales Nahrungsangebot (bei Dennewitz, Brandenburg)

S 3 = Stilllegung nach Roggen, nicht optimales Nahrungsangebot (Vergleichsversuch bei Philippsthal, Brandenburg)

Subad.: = Subadulte (86-98 mm Kopf-Rumpf-Länge)

Ad.: = Adulte (≥ 99 mm Kopf-Rumpf-Länge)

Zum Habitat

Ein geschlossener Pflanzenbestand von 10 cm oder mehr Höhe fördert die Immigration der Feldmaus, weil er genügend Deckung bietet. Zu diesem Ergebnis kam u.a. Pelikan (1982). Er verglich die Zuwanderung der Feldmaus in eine ungemähte Wiese mit der in eine gemähte. Ein gemähter Bestand fördert die Emigration.

Tab. 3: Erhöhung des Populationsdruckes der Feldmaus durch Ernteschnitt

Zeitraum	Ort	Kultur	Populationsdichte wgl/250 m ²	Populationsdruck		Zunahme des Populationsdruckes auf %
				vor dem Schnitt F-100/d	nach dem Schnitt F-100/d	
Sept. 1991	Apolda	Luzerne (3. Schnitt)	79,20	6,80	11,30	170
11.08.-19.08.94	Niedertrebra	Sommerweizen	15,75	3,90	10,50	270
28.10.-24.11.95	Phillipsthal	selbstbegrünte Stilllegung	64,33	0,11	0,28	250

In Tab. 3 ist die Auswirkung von Ernteschnitten auf den Populationsdruck mit einer Erhöhung bis auf 250 % gegenüber dem Zustand vor der Mahd zu sehen. Bei der Wirkung des angeführten Getreideschnittes hatte auch die damit verbundene Nahrungsverknappung einen Einfluss auf die Emigration.

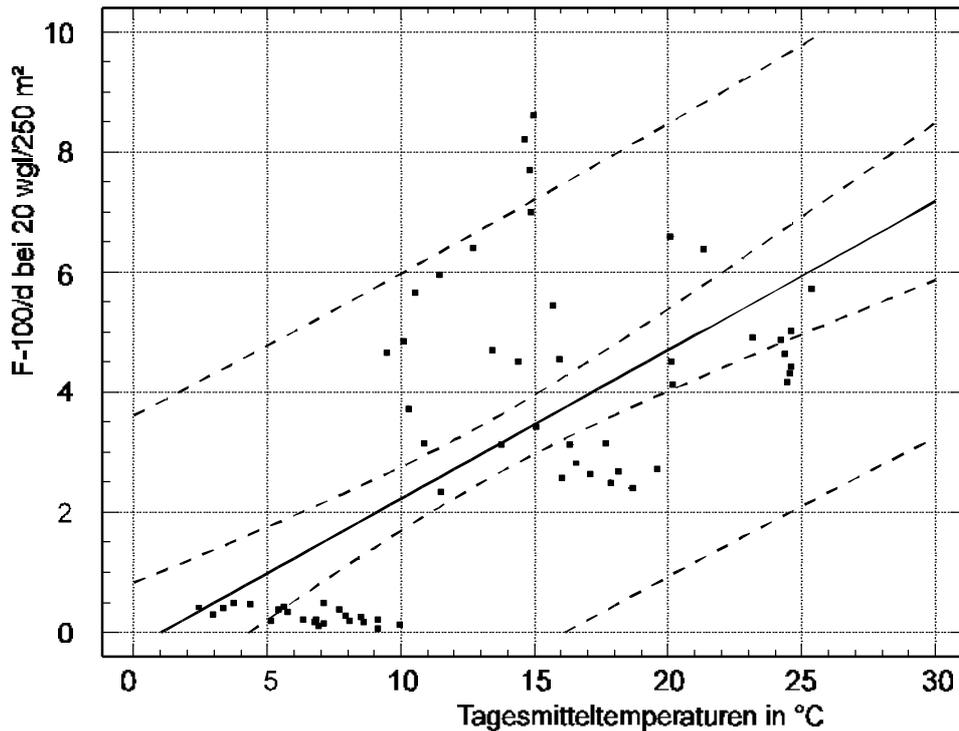
Bei der unterirdisch lebenden Schermaus auf Wiesen und Weiden ist keine verstärkte Abwanderung durch das Mähen bekannt. Oberirdische Wühlmauswechsel setzen einen dichten Pflanzenbewuchs voraus.

Zur Witterung

Der Populationsdruck der Feldmaus ist temperaturabhängig (Abb. 4:). Gleiches ist auch für die Schermaus zu erwarten. Der Einfluss weiterer Witterungsfaktoren konnte bisher nicht untersucht werden.

Altersstruktur der Migranten

Bei der Migration der Feldmaus sind alle Größen bzw. Altersgruppen vertreten (Tab. 4:). Es konnten keine signifikanten Unterschiede der Altersstruktur der Migranten zu der der Population auf der Befallsfläche nachgewiesen werden. Eine nach Alter gemischte Population fördert die Ansiedlung und schnelle Fortpflanzung auf den Zuwanderungsflächen.



Korrelationskoeff.: 0,6641

Irtumswahrscheinlichkeit: 0,1 %

Abb. 4: Abhängigkeit des Populationsdruckes der Feldmaus von der Tagesmitteltemperatur

igrationsabwehr durch einen Mäusezaun

Speisemöhren sind z.B. eine Kultur in der die Feldmaus erhebliche Schäden verursachen kann. Die Schäden sind besonders hoch, wenn als Winterschutz eine Strohabdeckung verwendet wird. So betrug im Winter 1992/93 in der Nähe von Jessen, bei allgemein geringen Populationsdichten (ca. 50 Mäuse pro ha), die Verluste bis 30 % und auf Teilflächen sogar bis 45 %. In Gradationsjahren der Feldmaus sind auf Teilflächen sogar Totalausfälle vorgekommen. Wir entwickelten, gemeinsam mit dem Anbaubetrieb, zur Feldmausabwehr einen Zaun mit dem die Kulturen abgegrenzt wurden. Boden verankert wurden.

Tab. 4: Unterschiede in der Zusammensetzung einer Feldmauspopulation und ihrer Migranten

22,7-43,7 wgl/250m ² 6,88 F-100/d	Tierfänge				trächtig	
	Freifläche	in %	Zaun	in %	Freifläche	Zaun
Anzahl w. Feldmäuse:	49	38,89	112	42,11	0	3
Anzahl m. Feldmäuse:	77	61,11	154	57,89		
gesamt:	126	100,00	266	100,00		
	Populationszusammensetzung der w. in %					
Anzahl w. JUV. (bis 80 mm KRL)	8,16	} 26,53	13,39	} 27,68	0	0
Anzahl w. 4 WT (81-85 mm KRL)	18,37		14,29		0	1
Anzahl w. SUB. (86-92 mm KRL)	30,61		29,46		0	0
Anzahl w. SUB. (93-98 mm KRL)	12,24		11,61		0	0
Anzahl w. ADT. (99-110 mm KRL)	18,37		22,32		0	1
Anzahl w. ADT. (ab111 mm KRL)	12,24		8,93		0	1
	Populationszusammensetzung der m. in %					
Anzahl m. JUV. (bis 80 mm KRL)	5,19	} 12,99	7,79	} 25,97		
Anzahl m. 4 WT (81-85 mm KRL)	7,79		18,18			
Anzahl m. SUB. (86-92 mm KRL)	49,35		40,26			
Anzahl m. SUB. (93-98 mm KRL)	24,68		22,73			
Anzahl m. ADT. (99-110 mm KRL)	6,49		6,49			
Anzahl m. ADT. (ab111 mm KRL)	6,49		4,55			

13.09. - 23.09.94 Niederrimmern
(Luzernestillegung)

JUV: Juvenile
4 WT: Tiere der 4. Lebenswoche
SUB: Subadulte
ADT: Adulte

KRL = Kopf-Rumpf-Länge

Vor dem Zaun standen im Abstand von 15 m bis 20 m spezielle Köderstationen, die zur schnellen Aufnahme des Köders Zinkphosphidweizen führten (Abb. 5:).

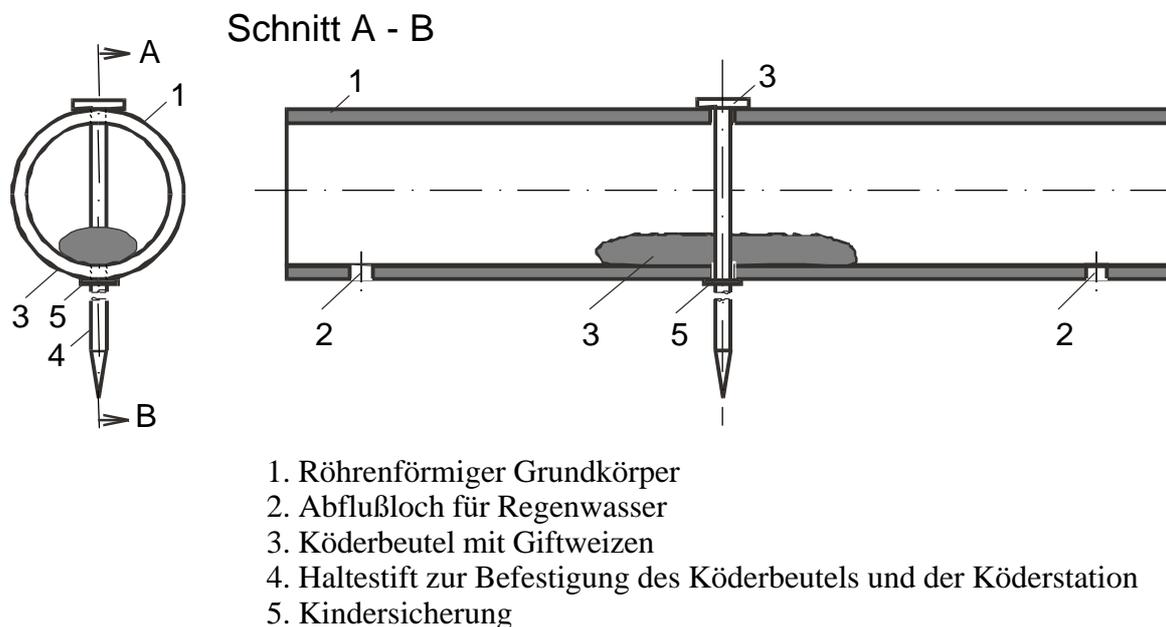


Abb. 5: Einfache kinder- und umweltsichere nagetierattraktive Köderstation
(Pat. Nr. DE 196 13 008 A1)

Ein solcher Zaun sollte vor den ersten Erntemaßnahmen im Anbaugbiet aufgestellt werden, spätestens vor dem Beginn der Rapsernte.

Die Bonituren an 4 Versuchsflächen 1994/95 und 1995/96 ergaben, dass mit Mäusezäunen das Eindringen der Feldmaus in die Kulturen nahezu verhindert werden kann (Tab. 5:).

Tab. 5: Einsatz von Mäusezäunen an Möhrenschlägen zur Feldmausabwehr
(Abstand der Köderstationen 20 m, Köder: Ratron®-Giftweizen)

Jahr	1994/95			1995/96
	Schadewalde	Welsickendorf	Morxdorf	Morxdorf
Möhrenschlag bei				
Flächengröße	33 ha	9 ha	38,5 ha	40 ha
Länge des Mäusezaunes	2255,00 m	1290,00 m	2249,00 m	2250,00 m
Anzahl der Köderstationen	113,00 St	64,00 St	112,00 St	112,00 St
Aufnahme von Giftweizen:				
pro Station	7,24 g	7,51 g	5,89 g	4,45 g
insgesamt	818,36 g	480,53 g	655,58 g	497,87 g
abgewehrte Mäuse ^{x)}	3273,00 St	1922,00 St	2638,00 St	1992,00 St
Durchbrüche am Zaun	0,00	1,00	—	0,00

x) Aufnahme von Zinkphosphidköder bei Wahlfütterung nach TKADLEC (1990)

Tab. 6: Kosten von Aufbau und Wartung eines Mäusezaunes im Rahmen der Vollkosten des Möhrenanbaues. Beispiel: Schlag mit Speisemöhren, 30 ha x)

	Größen	Vollkosten ¹⁾ bzw. Verfahrenskosten ²⁾ mit Strohabdeckung in DM	Vollkosten ¹⁾ bzw. Verfahrenskosten ²⁾ ohne Strohabdeckung in DM
Möhrenschlag	30 ha	315.000,00	105.000,00
Mäusezaun zur Sicherung des Schlages	2255 m	3452,43	3.452,43
Mäusezaun für Strohsicherung (2X, 30 m x 50 m)	220 m	336,82	-
Kosten insgesamt		318.789,25	108.452,43
Kostenanteil der Nagetierabwehr		1,2 %	3,2 %

x) entsprechend Möhrens Schlag 1994/95 bei Schadewalde (Tab. 9)

1.) Auskunft Elster- Gemüse e.G., Ltr. K.-H. Buchholz (14.11.96) Vollkosten Anbau von Speisemöhren ca. 3,5 T DM/ha, dazu Strohabdeckung für Wintermöhren 4-10 T DM/ha (Kosten allein für Hybridsaatgut 1020 DM/ha)

2.) Verfahrenskosten für Mäusezaun, Wieland 1997

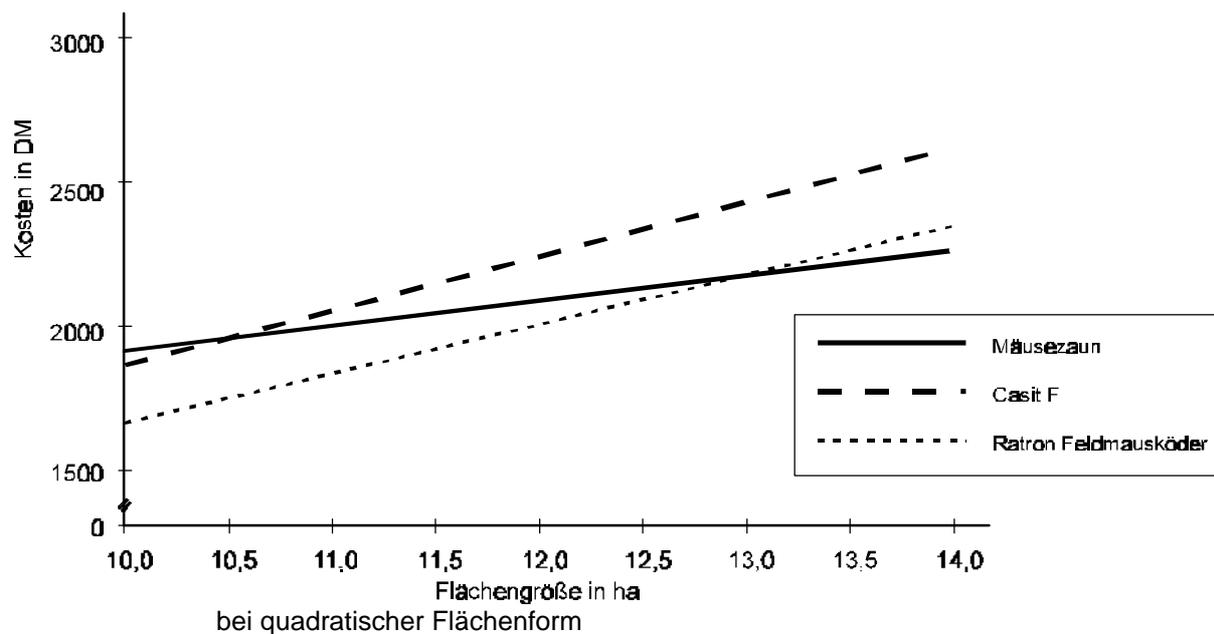


Abb. 6: Kostenvergleich der Anlage von Mäusezäunen mit der Ganzflächenbehandlung mit breitwürfig ausbringbaren Rodentiziden

Mit der Hochrechnung des aufgenommenen Giftgetreides kann auf die Zahl der abgewehrten Feldmäuse geschlossen werden. Im Durchschnitt wurden 1,2 Mäuse pro m Zaun abgewehrt. Die Kalkulation der Verfahrenskosten (Material, Aufbau, Wartung und Abbau) ergab pro 1000 m Mäusezaun Aufwendungen von 1531,-DM. Dabei wurde mit nur dreimaliger Verwendung der Grundmaterialien gerechnet.

Beim Anbau von Speisemöhren mit Strohabdeckung betragen die Kosten der Feldmausabwehr durch den Zaun 1,2 % der Gesamtkosten, und beim Anbau ohne Strohabdeckung 3,2 % der Gesamtkosten (Tab. 6:).

Werden die Kosten der Anlage von Mäusezäunen mit denen einer Ganzflächenbehandlung mit Rodentiziden verglichen, so ist bei Flächengrößen ab 13,2 ha die Anlage von Mäusezäunen preisgünstiger (Abb. 6:).

igrationsabwehr durch Mäusegräben

Der Mäusegraben besteht aus einer ca. 30 cm tiefen Pflugfurche, die im Abstand von 10 m bis 15 m mit Köderstationen belegt wird (Abb. 7:).

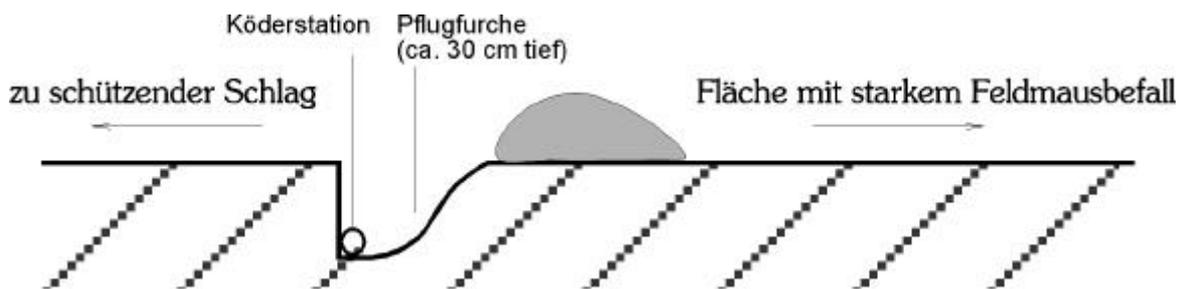


Abb. 7: Mäusegraben (Prinzipiskizze)

Die Erprobung auf Weideland bei Kall (Eifel) ergab einen Wirkungsgrad des Mäusegrabens von 92 %. Weitere Versuche liegen nicht vor.

Bei sorgfältiger Anlage und Wartung von Mäusegräben ist in der Praxis mit etwa 80 % Wirksamkeit zu rechnen. Für die Verfahrenskosten zur Anlage und Wartung von 1000 m Mäusegräben wurden bei dreimaliger Anwendung der Köderbehälter Kosten von 395,-DM kalkuliert. Darin sind Kurzkontrollen zum Zustand des Grabens mit kleinen Nachbesserungen nicht enthalten.

Dieses Verfahren eignet sich besonders zum Schutz von Neuansaat im Herbst vor der Zuwanderung der Feldmaus. In stark befallenen Gebieten ist eine Herdbehandlung mit Köderpräparaten zur Tilgung der zugewanderten Feldmäuse auf Neuansaat sinnvoll.

Verglichen mit einer solchen Herdbehandlung ist schon ab 6 ha Flächengröße das Verfahren eines Mäusegrabens bei vierseitigem Schutz preisgünstiger (Abb. 8:).

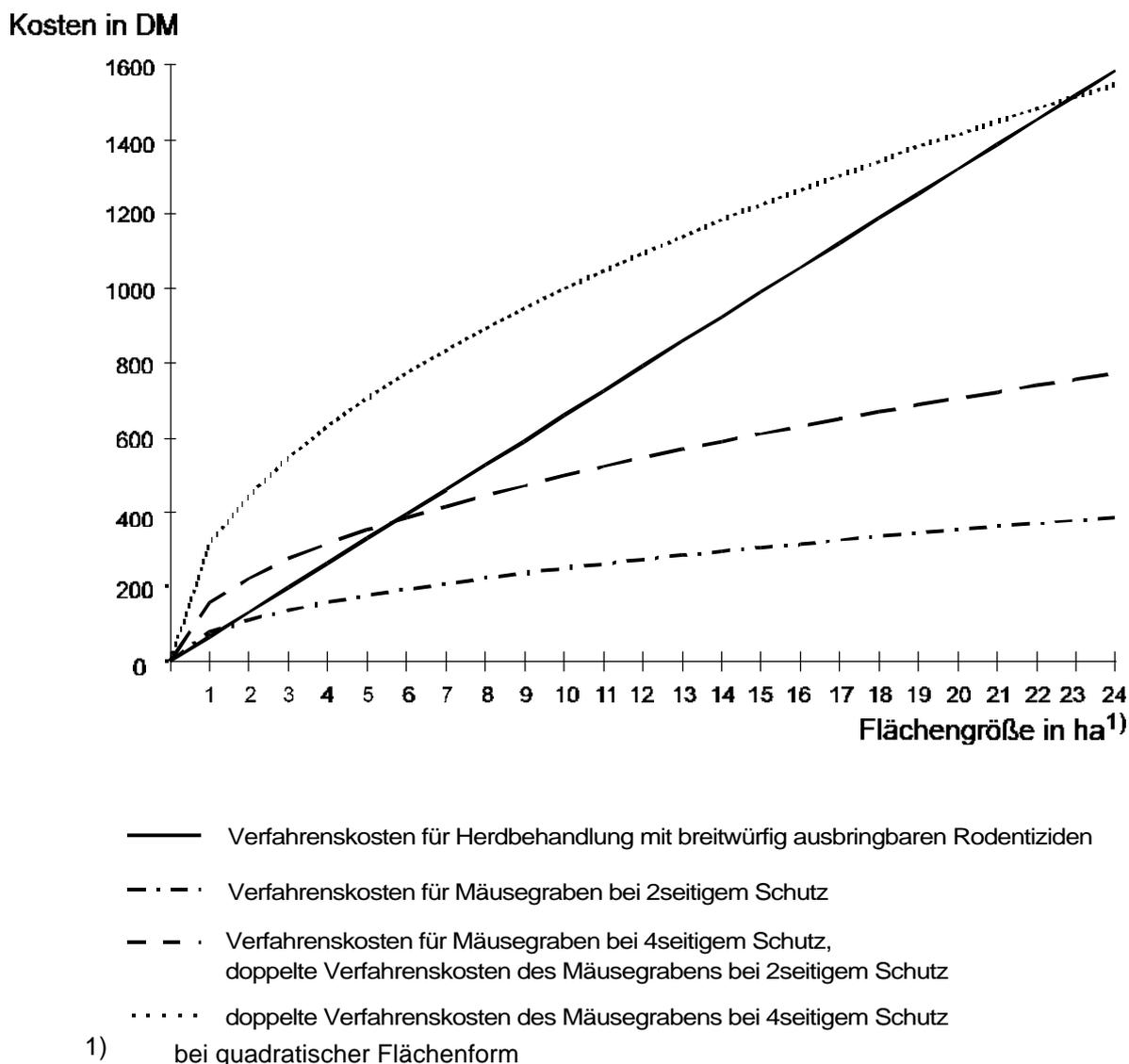


Abb. 8: Kostenvergleich zur Anlage von Mausegräben mit einer Herdbehandlung

Ein solcher Mausegraben hält keine ganze Saison. Wenn die Ränder eingefallen sind, muß der Graben neu angelegt werden. Diese doppelte Anlage ist auf einer Flächengröße von 23 ha preisgünstiger als eine Herdbehandlung mit rodentiziden Köderpräparaten.

Für die Bekämpfung von Mäusen im ökologischen Landbau ist die Anwendung von synthetischen Pestiziden nicht zugelassen. Es bleibt zu klären, ob das auch gilt, wenn die Anwendung, wie bei Einsatz der Migrationsbarrieren, außerhalb der Kulturen erfolgt. Als Alternative bietet sich zur Zeit nur der Fallenfang an. Die verwendeten Fallen sollen möglichst vogelsicher sein. Das ist für den Schutz von Singvögeln erforderlich, aber auch für den Schutz der Fallen vor dem Zugriff von Greifvögeln. So gingen mir zum Beispiel bei einem Migrationsversuch bei Mühlhausen pro Tag bis zu 72 Schlagfallen von etwa 500 verloren.

Unter anderem hatte sich innerhalb einer Woche eine Gruppe von ca. 15 Roten Milanen auf den bequemen Nahrungserwerb an meinen Fallen spezialisiert. Auch der Fuchs war daran beteiligt. Um Fallenverluste zu vermeiden, sollten die Fallen fest am Boden verankert werden. Der Kontrollaufwand für die Fallen an der Migrationsbarriere könnte durch Massenfallen verringert werden. Aus dem Handelssortiment ist mir allerdings keine entsprechend mehrfach fangende Falle bekannt.

Während beim Einsatz von Köderstationen eine generelle Kontrolle erst nach 4 bis 6 Wochen notwendig ist, sind einfache Fallen spätestens nach zwei Tagen und mehrfach fangende Fallen nach 4 bis 5 Tagen zu kontrollieren. Durch den Einsatz von Fallen, gegenüber dem von Köderstationen, wird der erforderliche Arbeitsaufwand stark erhöht.

Die Nutzung der angeführten Migrationsbarrieren könnte dort, wo die Schermaus an der Oberfläche zuwandert, auch getestet werden.

Die von mir verwendeten Köderstationen eignen sich nicht zum Einsatz gegen die Schermaus. Als Alternative bietet sich z.B. die Neudorff-Kastenfalle an, die ohne Vogelgefährdung auch an der Oberfläche gestellt werden kann.

Hemmung der Fortpflanzung der Feldmaus durch Pheromone

Der witterungsbedingte Abbruch der Fortpflanzung der Feldmaus im Herbst wird durch das Absinken der durchschnittlichen Lufttemperaturen im Halbdekadenmittel auf bzw. unter 10° C und gleichzeitigem Minimum am Boden von 0° C und darunter ausgelöst. Der tatsächliche Abbruch erfolgt 3 bis 4 Wochen danach, wenn dazwischen keine Wärmeperioden auftreten und die Temperaturen in etwa den Auslösebedingungen entsprechen. Meist tritt der Abbruch Ende November ein.

Tab. 7: Fortpflanzungsabbruch bzw. extrem starke Fortpflanzungseinschränkung der Feldmaus (*Microtus arvalis* PALL) durch hohe Populationsdichten

Ort/Gebiet	Zeitpunkt	normale Fortpflanzung		Eingeschränkte Fortpflanzung		Bemerkg.
		wgl / 250 m ²	% trächtig ADT	wgl / 250 m ²	% trächtig ADT	
Bad Tennstedt	03.10.84	54	50,1	74	12,1	
Bad Tennstedt	14.09.88			72	0,9	Grenzwert (res.E.)
Wanzleben	09.10.88	10	40	63	0	
Altenburg	18.10.88	49	25	93	0	Grenzwert
				64	12,5	

Kulturen: Luzerne, Rotklee

wgl = Am Tage nach dem Zutreten wiedergeöffnete Feldmauslöcher (Lochtretmethode)

ADT = adulte Weibchen

Auf Flächen mit hohen Populationsdichten kann schon ab Anfang September ein starker Fortpflanzungsrückgang bis zum Abbruch beobachtet werden. Im gleichen Zeitraum verläuft im gleichen Gebiet auf Flächen mit geringer Populationsdichte die Fortpflanzung noch normal (Wieland 1991).

Wie Sie aus der Tab. 2 zur Migration entnehmen können, war 1995 bei Dennewitz auf zwei untersuchten Schlägen mit hohen Feldmausdichten bereits am 07. September die Fortpflanzung abgebrochen.

In der gezeigten Tab. 7 sehen Sie Vergleiche des Fortpflanzungszustandes der Feldmaus auf Futterkulturen bei verschiedenen Populationsdichten im Herbst.

Dieser vorzeitige Fortpflanzungsabbruch wird offenbar durch Pheromone ausgelöst, die mit dem Urin der Mäuse abgegeben werden.

Die meisten Untersuchungen über die Fortpflanzung beeinflussende Pheromone wurden an echten Mäusen, vor allem an der Hausmaus vorgenommen.

Unter den verschiedenen Pheromoneffekten auf die Fortpflanzung von Nagetiergruppen ist im Sinne einer Fortpflanzungseinschränkung vor allem der „Lee-Boot-Effekt“ interessant.

Dabei hindern in sehr dichten Populationen die Pheromone adulter weiblicher Mäuse die Reifung von Jungtieren und weibliche adulte Tiere werden an der Fortpflanzung gehindert (diöstrische Phasen). Heise (1990) gab die erste Bestätigung dieser Annahme bei der Feldmaus (Abb. 9:).

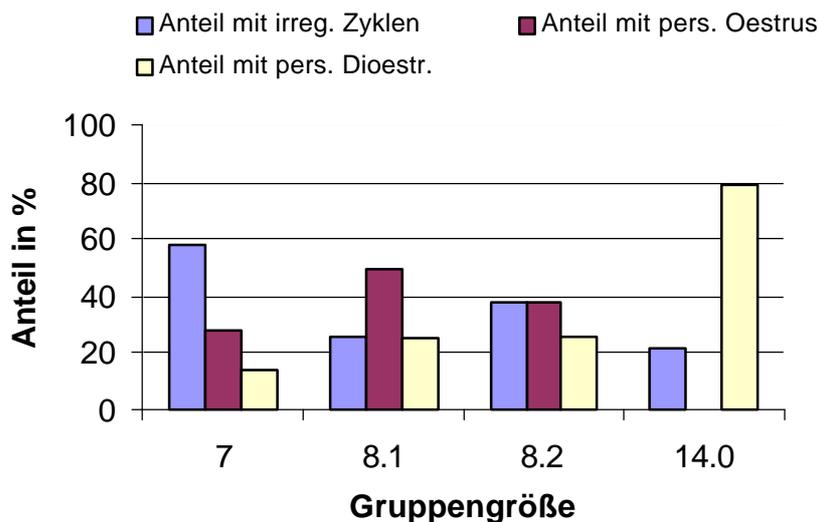


Abb. 9: Prozentuale Anteile von Tieren mit unterschiedlichen Abstrichbefunden in weiblichen Feldmausgruppen (*Microtus arvalis* PALL.) verschiedene Größen (nach HEISE 1990)

Die Bilder der Vaginalabstriche an adulten Feldmäusen zeigen, daß mit der Gruppengröße der Anteil mit persistentem Diöstrus signifikant anstieg. Diöstrische Phasen treten sonst bei Gravidität auf. Über weitere Untersuchungen zu Pheromonen und Verhalten der Feldmaus berichtete Heise (2000).

Der „Lee-Boot-Effekt“ wurde bei speziellen Muridae und Cricetidae nachgewiesen und ist auch bei der Schermaus zu erwarten. Die Anwendung von Pheromonen oder Pheromonderivaten zur Fortpflanzungseinschränkung der Feldmaus und möglicherweise der Schermaus wäre eine echte Alternative zum Einsatz von Pestiziden. Vor der möglichen Anwendung von Pheromonen zur Verhinderung von Nagetierschäden ist jedoch noch weitere Forschung erforderlich.

Literatur

- HEISE, S. (1990): Beiträge zum Wachstum, zur Mortalität und Fertilität von Feldmäusen (*Microtus arvalis* PALLAS, 1779). Dissertation Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 1-171
- HEISE, S. (1991): Untersuchungen zum Wachstum, zur Mortalität und Fertilität der Feldmaus *Microtus arvalis* (PALLAS, 1779): Populationsökologie von Kleinsäugerarten, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Wissenschaftliche Beiträge 1990/34 (P42), 171-181
- HEISE, S. & VAN ACKER, A (2000): The effect of social environment on the immune response of female common voles in matriarchal laboratory groups. *Physiology & Behavior* **71**, 289-296
- PELIKAN, J. (1982): *Microtus arvalis* on mown and unmown meadow. *Acta Sci. Nat., Brno* **16**, 1-36
- SAUCY, F. (2002): Dispersal as a key issue in the biological control of small mammals. In: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau, Probleme und Lösungsansätze: Abwehr von Wühlmausschäden im ökologischen Landbau. *Berichte Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Braunschweig* **104**, 18-27.
- TKADLEC, E. (1990); RYCHNOVSKY, B.: Residues of ZN_3P_2 in the Common Vole (*Microtus arvalis*) and secondary poisoning hazards to predators *Folia zoologica* **39** 2, 147-156
- WIELAND, H. (1991): Beiträge zur Ökologie der Feldmaus *Microtus arvalis* (PALLAS, 1779): Populationsökologie von Kleinsäugerarten, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Wissenschaftliche Beiträge, 1990/34 (P42), 163-170
- WIELAND, H. (1997): Untersuchungen zur Migration der Feldmaus (*Microtus arvalis* PALL.) und ihrer Auswirkungen auf die Fluktuation im Rahmen einer veränderten Agrarstruktur zur Ableitung von Strategien einer integrierten Schadensabwehr. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Forschungsauftrag: -93HS021-

Schadensbegrenzung durch Warnsystem und Ablenkungsfütterung

Hans-Joachim Pelz

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,
Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Münster

Zusammenfassung

Der Prototyp eines Körperschalldetektors, der in Labor- und Gehegeversuchen entwickelt wurde, zeichnet sich durch eine hohe Spezifität in der Reaktion auf Nagegeräusche an Wurzel oder Stamm von Gehölzpflanzen aus. Er erscheint daher geeignet, in Form eines Frühwarnsystems einen Beitrag zur Abwehr von Wühlmausschäden in Obstanlagen zu leisten.

Die Literaturübersicht lässt ein Potenzial für die erfolgreiche Anwendung der Ablenkungsfütterung zur Abwehr von Wühlmausschäden an Gehölzpflanzen erkennen. Wenn Baumrinde und -wurzeln eher eine Notnahrung während der Wintermonate darstellen, sollte es möglich sein, eine künstliche Alternative bereitzustellen, die für die Nager attraktiver ist. Es wird vorgeschlagen, die Möglichkeiten des Frühwarnsystems und der Ablenkungsfütterung in Feldversuchen auf ihre Eignung zur Schadensverringering, insbesondere im ökologischen Obstbau zu prüfen.



Erdmaus



Schermaus



Feldmaus

Abb.1: Wühlmausschäden an Obstbäumen

Einleitung

Nach allem was wir über die Schädigung von Gehölzpflanzen durch Wühlmäuse wissen, entstehen die Schäden ganz überwiegend im Winter. Dies betrifft sowohl die Nageschäden an der Stammbasis, vorwiegend durch Erd- oder Feldmäuse – *Microtus agrestis* bzw. *Microtus arvalis* –, als auch die Wurzelfraßschäden, die vorwiegend durch die Schermaus, *Arvicola terrestris* verursacht werden (Abb. 1). So wurden 50 % der Apfelbäume einer kleinen Obstanlage auf dem Institutsgelände der Biologischen Bundesanstalt in Münster nach Beginn einer Frostperiode innerhalb von zwei Wochen im November durch Feldmäuse total geschädigt. Es gilt also, vor allem für diesen Zeitraum tragfähige Lösungen zum Schutz der Kulturen zu finden. Im vorliegenden Beitrag sollen zwei Ansätze vorgestellt werden, die nach Meinung des Autors einen wichtigen Beitrag bei der Abwehr von Wühlmausschäden im ökologischen Landbau leisten könnten.

1. Körperschalldetektor zur Früherkennung von Wühlmausfraß

In Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Obst- und Gemüsebau der Universität Hannover, der Firma PROKOS, Hannover und der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Münster, wurde ein System zur Früherkennung von Wühlmausfraß an Gehölzen entwickelt (Schönherr *et al.* 2000). Bäume und Sträucher werden von Feld- Erd- oder Schermäusen an der Stammbasis oder an der Wurzel benagt und dadurch zum Absterben gebracht. Die Schäden werden oft erst im Frühjahr sichtbar, wenn die Gehölze nicht mehr austreiben. Zur Schadensprophylaxe werden vielerorts im Herbst Giftköderpräparate flächig ausgebracht. Ziel des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes war es, durch selektive Erfassung des Nagegeräusches am Stamm von Gehölzen beginnenden Schadfraß durch Wühlmäuse rechtzeitig zu erkennen, um frühzeitig und gezielt Abwehrmaßnahmen ergreifen zu können.

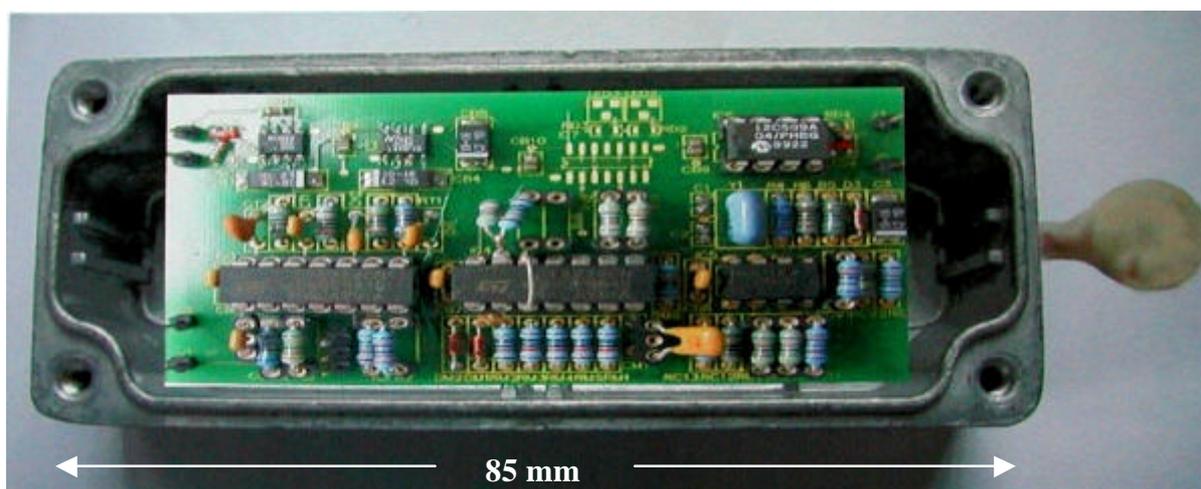


Abb. 2: Detektorsystem mit Sensor (rechts) (Foto: PROKOS)

Zur Überwachung einer Obstanlage sollen die Körperschalldetektoren an ausgewählten Obstbäumen fixiert und die Schwingungssignale laufend überwacht werden. Das System berechnet fortlaufend ein gemitteltetes Referenzsignal, das durch umweltbedingte Körperschallanregungen (z.B. Windgeräusche) verursacht wird. Dieses Referenzsignal wird

in einer Komparatorstufe mit dem aktuellen Messsignal verglichen. Werden die Wurzeln oder die Stammbasis von Wühlmäusen benagt, so wird das Messsignal durch die dabei erzeugten starken impulsartigen Körperschallwellen signifikant verändert. Die Nagegeräusche treten bevorzugt im niederfrequenten Bereich um 100 Hz auf (Abb. 3) und werden im Holz auf den am Stamm befestigten Sensor übertragen. Überschreitet das Körperschallsignal, das durch das Nagegeräusch verursacht wird, das gemittelte Referenzsignal für eine bestimmte Dauer, dann wird der Scherenausfraß vom Detektor erkannt und entsprechend gemeldet.

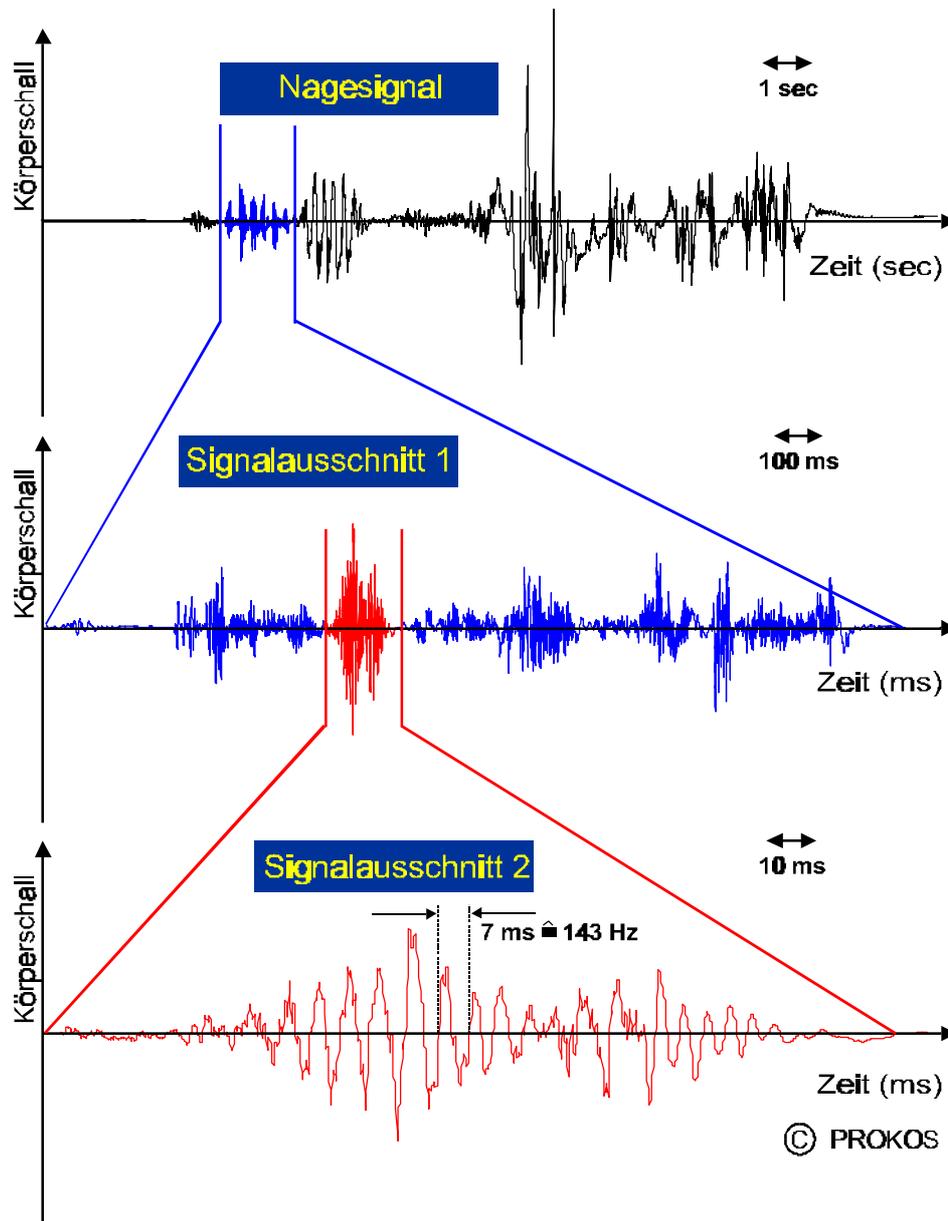


Abb. 3 : Charakteristische Signalausschnitte des spezifischen Nagegeräusches (Zeichnung: PROKOS)

Die Alarmmeldung kann auch über Funk an eine Empfängerstation erfolgen (Abb. 4). Sind mehrere Detektoren im Einsatz, enthält das Signal eine Kennung, die eine Identifizierung des befallenen Baumes und unverzügliche Bekämpfungsmaßnahmen ermöglicht. Der entwickelte Detektor ist klein und robust. Er lässt sich bei entsprechend großen Serien kostengünstig

herstellen und wird mit einem Kleber an den Stamm angekoppelt, so dass eine Verletzung der Rinde ausgeschlossen ist. Bisherige Versuchserfahrungen zeigen eine gute Haftung des Detektors über mehr als zwei Jahre .

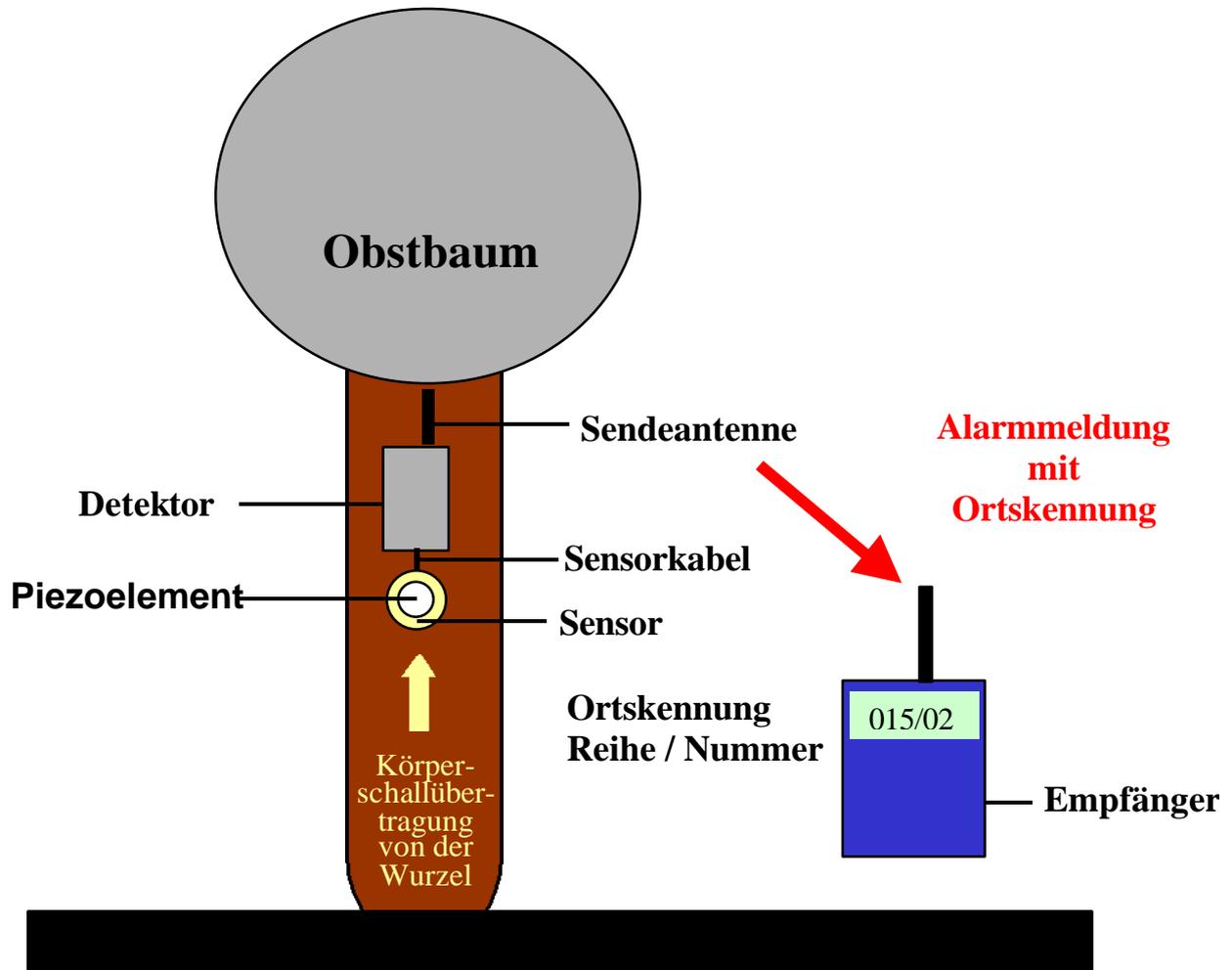


Abb. 4: Funktionsschema des Frühwarnsystems

Für den praktischen Einsatz von Körperschalldetektoren in Obstanlagen muss noch ein Modell für die optimale Platzierung der Detektoreinheiten entwickelt werden. Eine denkbare Variante wäre die Anbringung der Detektoren an für Wühlmäuse besonders attraktiven Gehölzen am Rande zu schützender Anlagen, nachdem diese leergefangen worden sind. Auf diese Weise könnten neu zuwandernde Wühlmäuse frühzeitig entdeckt und gezielt gefangen werden, noch bevor sie in die Anlage einwandern.

In der Forschung dürften die Detektoren sich als ein wertvolles Hilfsmittel erweisen um Informationen zum zeitlichen Muster des Auftretens der Schäden in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen zu gewinnen. Darüber hinaus werden sie die Bewertung des Erfolgs von Abwehrmaßnahmen erleichtern.

2. Ablenkungsfütterung

Ablenkungsfütterung ist eine Methode der Habitatveränderung mit dem Ziel, die Nahrungsbedürfnisse einer Problemart zeitweise in einem begrenzten Gebiet zum Teil oder überwiegend zu befriedigen (Howard, 1967; Sullivan, 1979). Ein Beispiel für die erfolgreiche Nutzung der Ablenkungsfütterung bei Nagern ist die Abwehr von Waldmaus (*Apodemus sylvaticus*)-Fraßschäden an pilliertem Zuckerrübensaatgut (Pelz 1989). Zur Saatzeit im Frühjahr suchen Waldmäuse auf den frisch eingesäten Zuckerrübenflächen nach energiereicher Nahrung. Die Zuckerrübensaat wird vor allem in Frostperioden geschädigt, wenn sich alternative Nahrungskomponenten wie Insektenlarven und Regenwürmer in tiefere Bodenschichten zurückgezogen haben und deshalb für die Waldmäuse nicht erreichbar sind. Wenn man den Waldmäusen jedoch Getreide oder Sämereien leicht erreichbar am Feldrand anbietet, wird die Saat nicht mehr geschädigt. Das ist einleuchtend wenn man bedenkt, dass eine Waldmaus in einer Nacht rund 800 Rübensamen ausgraben muss, wenn sie sich allein davon ernähren will. So ist es energetisch weitaus günstiger, die angebotenen Nahrungsalternativen zu nutzen.

Eine notwendige Voraussetzung zur Beurteilung der Erfolgchancen einer Ablenkungsfütterung bei Wühlmäusen ist die Kenntnis der ernährungsphysiologischen Bedeutung der geschädigten Pflanzen für den Schadensverursacher. Warum nagen Wühlmäuse an Gehölzpflanzen, und warum tun sie das insbesondere im Winterhalbjahr und bei Frosttemperaturen. Sind es bestimmte Nährstoffe, die sie auf diese Weise gewinnen, oder ist das Benagen der Bäume ein Zeichen von Nahrungsmangel? Werden Baumwurzeln und –rinde attraktiv, sobald der Frost die Reservestoffe in Zucker umwandelt (Murneek, 1942)? Untersuchungen von Hansson (1991) zeigen, dass der Bedarf an bestimmten Mineralien wie insbesondere Natrium und möglicherweise auch Calcium den Fraß an Baumrinde durch *Microtus*-Arten beeinflussen kann. Die Rinde von Piniensämlingen, die während einer Phase hoher Populationsdichte durch Wühlmäuse (*Microtus agrestis*) benagt worden waren, enthielten signifikant höhere Konzentrationen an Natrium, Calcium und sogar an Phosphor als benachbarte, nicht benagte Sämlinge. Servello et al (1984) führten in Virginia qualitative Analysen der Nahrung von in Obstanlagen lebenden Wühlmäusen (*Microtus pinetorum*) vor dem Hintergrund der von dieser Art verursachten Wurzelfraßschäden durch. Dabei kamen sie zu folgenden Ergebnissen:

- Der Anteil der verdaulichen Trockenmasse und der verdaulichen Energie in der Nahrung von *Microtus pinetorum* aus Apfelanlagen in Virginia lag von August bis April des folgenden Jahres gleichbleibend bei 66-76 %.
- Die Verdaulichkeit der Wurzelrinde von Apfelbäumen unterliegt nur geringen Schwankungen. Sie betrug für *Microtus pinetorum* zu verschiedenen Jahreszeiten 47-56%.
- Die Verdaulichkeit der Nahrung aus Mageninhalten von *Microtus pinetorum* war wesentlich (15-20%) höher im Vergleich zur Verdaulichkeit von Apfelbaum-Wurzelrinde. Apfelbaum-Wurzelrinde ist daher vermutlich keine bevorzugte Nahrungsquelle für Wühlmäuse im Winter.
- Der Zuckergehalt der Wurzelrinde ist im Winter deutlich höher als im Sommer, wodurch die Attraktivität der Wurzelrinde für Wühlmäuse möglicherweise erhöht wird.

Eine verringerte Verfügbarkeit geeigneter Nahrung könnte demnach ursächlich sein für den Wurzelfraß durch Wühlmäuse im Winter. Ein Indiz dafür ist der Rückgang des Anteils der im Sommer stark bevorzugten dikotylen Kräuter und der höhere Anteil von weniger bevorzugten

Gräsern im Herbst und Winter in der Nahrung der Wühlmäuse (Cengel et al. 1978, Hansson (1988). Die Bereitstellung von Alternativnahrung könnte auf Grund dieser Erkenntnisse dazu beitragen, die Nageschäden an Obstgehölzen zu verringern. Die geringe Verdaulichkeit der Wurzelrinde lässt eine Ablenkungsfütterung erfolgversprechend erscheinen.

Allerdings kann sich eine gute Nahrungsversorgung im Winterhalbjahr positiv auf die Entwicklung von Nagetierpopulationen auswirken, bei sehr guter Nahrungsversorgung kommt es bisweilen auch zur Wintervermehrung. Idealerweise sollte eine Ablenkungsfütterung die Gehölzpflanzen schützen, nicht aber zu einer Förderung der Populationsentwicklung der Wühlmäuse beitragen. Es käme daher darauf an, eine attraktive Ablenkungsfütterung zu finden, die den Rinden- und Wurzelfraß verhindert, gleichzeitig aber nicht zu einer Erhöhung der Bestandsdichte der Wühlmäuse beiträgt.

Praxisversuche zur Ablenkungsfütterung

Untersuchungen zur Wirksamkeit einer Ablenkungsfütterung zur Abwehr von Wühlmausschäden sind von Sullivan und Mitarbeitern in Apfelkulturen (Sullivan & Sullivan 1988) sowie in kanadischen Forstkulturen durchgeführt worden (Sullivan *et al.* 2001). Wie in Europa (Myllymäki, 1977) gehören auch in Nordamerika (Buckner, 1972) und Asien (Sullivan *et al.*, 1991) Wühlmäuse aus der Gattung *Microtus* zu den Hauptschädlingen in Aufforstungskulturen von Nadel- oder Laubgehölzen. In Eurasien kommt die Schermaus (*Arvicola terrestris*) als wichtiger Schadensverursacher hinzu. Insbesondere während der Wintermonate werden Rinde, Gefäße und Wurzeln (letztere besonders durch Schermäuse) benagt. Diese Schäden führen zum Absterben der jungen Bäume oder verzögern das Wachstum subletal geschädigter Pflanzen. In deutschen Forstkulturen sind vor allem Erstaufforstungen mit Eiche und Buche von Wühlmausschäden betroffen. Zur Zeit werden ca. 2000 ha bei einem Investitions- und Fördermittelaufwand von 10,2 Mio Euro pro Jahr neu aufgeforstet. Die Summe der bundesweit geschädigten Flächen lag 1998 und 1999 jeweils über 1000 ha mit einem Pflanzenausfall bis zu 50% pro Fläche. Die jährlichen Verluste werden auf 1,3 bis 1,5 Mio Euro geschätzt (Schneider, 2001). Bei ihren Versuchen in British Columbia (Kanada) setzten Sullivan *et al.* (2001) als Ablenkungsfutter zum Schutz von Nadelholzkulturen (*Pinus contorta*) vor Schadfraß durch *Microtus*-Arten Alfalfa-Pellets, Holz-Pellets oder Rindenmulch ein, die mit Wachs und Sonnenblumenöl zu Blöcken vergossen worden waren. Während eines Dichtemaximums der Population waren die Schäden auf der mit Rindenmulch behandelten Fläche signifikant geringer als auf den Kontrollflächen. Auswirkungen der Ablenkungsfütterung auf die Populationsdichte waren nicht feststellbar. Auf Kahlschlägen wurden die Sämlinge der Kontrollparzellen 2,6 bis 2,8 mal stärker geschädigt als auf den Parzellen mit Ablenkungsfütterung (Alfalfa oder Rindenmulch), wobei sich der Unterschied nicht statistisch absichern ließ. Auf Kleinaufforstungsparzellen (Patchy cuts), wo Rötelmäuse (*Clethrionomys gapperi*) die häufigste Art waren, konnte dieses Ergebnis nicht bestätigt werden. Die Anzahl der Rindenmulchblöcke (400 Blöcke auf 0,5 ha) war angemessen für die 6-monatige Winterperiode bei einer Dichte von 50 Individuen pro ha. Die Anzahl der Alfalfa-Blöcke (600/0,5 ha) war zu gering um ausreichenden Schutz für die gesamte Winterperiode zu gewährleisten. Insgesamt zeigen diese Studie sowie die in Apfelkulturen durchgeführten Untersuchungen (Sullivan & Sullivan, 1988) interessante Ansätze auf, die allerdings noch nicht praxisreif sind. Durch weitere Untersuchungen sollten die Möglichkeiten der Ablenkungsfütterung für Wühlmäuse in Laubholzkulturen erkundet werden.

Literatur

- BUCKNER, C.H. (1972): The strategy for controlling rodent damage to pines in the Canadian midwest. In: Marsh, R.E. (Ed.), Proceedings of the Fifth Vertebrate Pest Conference, 242-253. Fresno, California, March 1972. University of California, Davis.
- CENGEL, D. J., ESTEP, J. E. and KIRKPATRICK, R. L. (1978): Pine vole reproduction in relation to food habits and body fat. *Journal of Wildlife Management* 42, 822-833.
- HANSSON, L. (1988): Grazing impact by small rodents in a steep cyclicity gradient. *Oikos* 51, 31-42.
- HANSSON, L. (1991): Bark consumption by voles in relation to mineral contents. *J. Chem. Ecol.* 17, 735-743.
- HOWARD, W. E. (1967): Biological control of vertebrate pests. Proceedings of the Third Vertebrate Pest Conference San Francisco, California, March 7-9, (ed. M.W. Cummings) 137-157.
- MURNEEK, A. E. (1942): Quantitative distribution of nitrogen and carbohydrates in apple trees. *Monell Agricultural Experimental Station Research Bulletin* 348, 27 p.
- MYLLYMÄKI, A. (1977): Outbreaks and damage by the field vole, *Microtus agrestis* (L.), since World War II in Europe. *EPPO Bull.* 7, 177-208.
- PELZ, H.-J. (1989): Ecological aspects of damage to sugar beet seeds by *Apodemus sylvaticus*. In: Putmann, R.J. (Ed.): *Mammals as pests.* (Chapman and Hall), London, 34-48.
- SCHNEIDER, M. (2001): Schermausschäden im Wald, sowie Möglichkeiten ihrer Bekämpfung im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes. *Gesunde Pflanzen* 53, 126-130.
- SCHÖNHERR, J., TERZYK, T. & PELZ, H.-J. (2000): Körperschalldetektor zur Früherkennung von Schermausfraß (*Arvicola terrestris*). *Mitt. Biol. Bundesanstalt. Land- u. Forstwirtsch. Berlin-Dahlem* 376, 493.
- SERVELLO, F.A.; KIRKPATRICK, R.L.; WEBB JR., K.E. & TIPTON, A.R. (1984): Pine vole diet quality in relation to apple tree root damage. *J. Wildl. Manage.* 48, 450-455.
- SULLIVAN, T.P. (1979): The use of alternative foods to reduce conifer seed predation by the deer mouse, (*Peromyscus maniculatus*). *Journal of Applied Ecology* 16, 475-495.
- SULLIVAN, T.P. & SULLIVAN, D.S., (1988): Influence of alternative foods on vole populations and damage in apple orchards. *Wildl. Soc. Bull.* 16, 170-175.
- SULLIVAN, T.P.; ZHEN-HAO, J.; HELI, L. & SHOU-CAI, W. (1991): Control of vole populations in young pine plantations in northeast China. *For. Chron.* 89, 43-47.
- SULLIVAN, T.P., SULLIVAN, D.S. & HOGUE, E.J. (2001): Influence of diversionary foods on vole (*Microtus montanus* and *Microtus longicaudus*) populations and feeding damage to coniferous tree seedlings. *Crop Protection* 20, 103-112.

1. Physikalische Detektionsmöglichkeiten von Wühlmausbefall

2. Schadensverringende Kulturmaßnahmen

Rafael Gago

Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues, Zürich, Schweiz

Die Wärmebildtechnik auf dem Prinzip der Halbleitertechnik wird seit Jahren in der Industrie, in der Medizin sowie bei professionellen Rettungsorganisationen zur Überwachung und Diagnostik erfolgreich eingesetzt.

1.1 Wenn die Dunkelheit nicht mehr schützt

Die Wärmebildtechnik auf Halbleitertechnik wurde für die Infiltration bei militärischen Einsätzen entwickelt. Das Ziel ist es, ein Objekt auf weite Distanzen (km) in absoluter Dunkelheit zu orten und eliminieren. Somit können militärische Streitkräfte einen Cyberkrieg in der Nacht führen, wie wenn es Tag wäre. Was bis vor ein paar Jahren nur in modernsten Kampfflugzeugen und Panzerfahrzeugen eingebaut war, hat jetzt auch in der zivilen Nutzung Einzug gehalten und schnell breit Fuß gefasst.

1.2 Kompetenzzentren für Wärmebildtechnik

Dank der starken Nachfrage in der Industrie wurde die Wärmebildtechnologie in der Halbleitertechnik rasant verbreitet. Es gibt in der Schweiz mehrere Kompetenzzentren für Wärmebildtechnik, die solche Ausrüstungen vertreiben und auch Schulungen anbieten. Diese Technologie wurde in den letzten Jahren so massiv vorangetrieben, dass heute sehr handliche Wärmebildkameras auf dem Markt vorhanden sind, die zu günstigen Preisen erhältlich sind.

1.3 Einsatzgebiete der Wärmebildtechnik

Es gibt heute fast keine professionelle Rettungsorganisation, die bei einem Brand mit Personenrettung ohne Wärmebildkamera in den Einsatz ausrückt. Somit können Feuerwehrtruppen in brennenden Gebäuden und im dicksten Rauch sehr schnell Personen und Objekte orten und retten oder den Brandherd „Hot Spot“ erkennen und bekämpfen. Die Einsatzmöglichkeiten der Wärmebildkameras sind fast unbeschränkt. Erfolgreich eingesetzt werden die Wärmebildkameras zum Beispiel: bei Überwachungsaufgaben in der Industrie, in der Stromverteilung, in der Gebäudediagnostik und neustens auch in der Medizin zur Brustkrebsdiagnose bei Frauen.

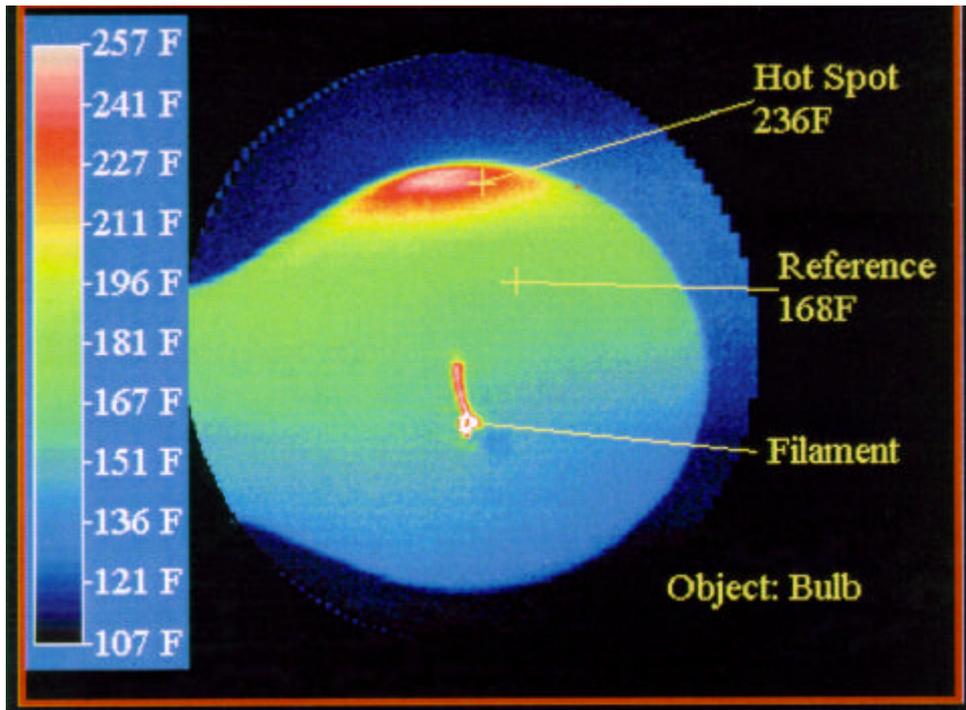


Abb. 1 Wärmebilddiagnostik eines Brandherdes, Fa. Maurer, Zufikon CH

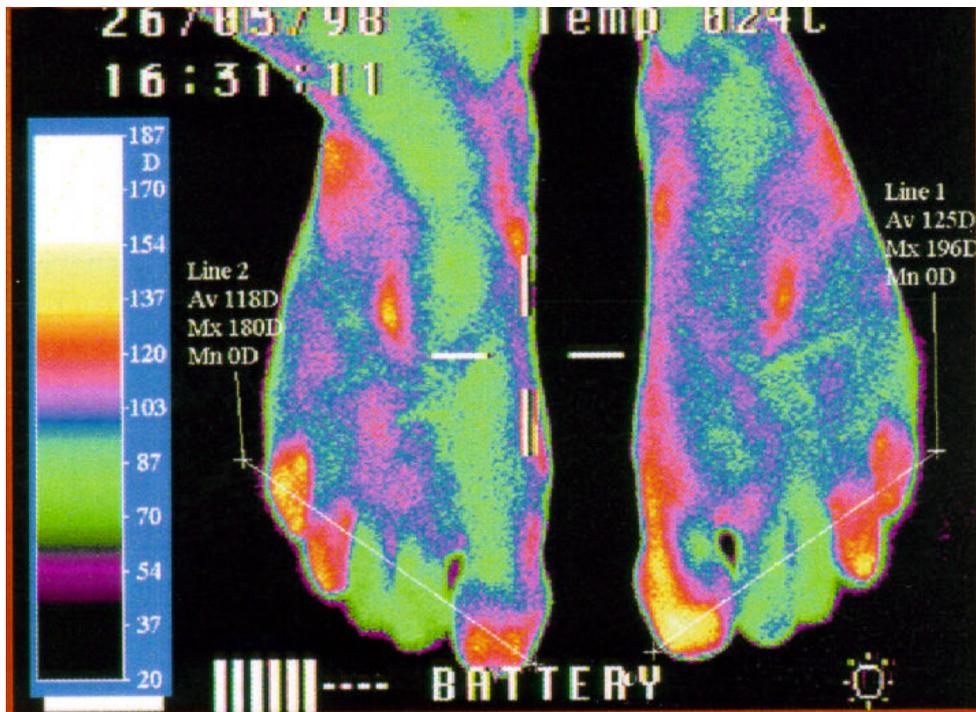


Abb. 2: Wärmebilddiagnostik für medizinische Nutzung, Fa. Maurer, Zufikon CH

1.4 Technische Angaben am Beispiel der Modelle „Solidstate“ und „Industry“

Dimensionen	Länge 310 mm (inkl. Visier) Höhe 156 mm Breite 115 mm
Linse	18 mm
Temperatursensitivität	0.05° C
Blickwinkel	59° diagonal
Auflösung	320 x 240 Pixel
Gewicht	2,2 kg
Leistungsaufnahme	5 Watt
Betriebsdauer	3- 4 Std pro Akku
Video- Interface	EI 525 Lines 60 Hz
Gehäuse	Wasserdicht (1m) Schwer entflammbar (Version Feuerwehr)
Temperaturmessungen	Bereich 0°- 500° C
Video- Overlay	Videobild per Knopfdruck zuschaltbar
Optionen:	
Linse	50 mm
Bildübertragung	per Funk oder Kabel
Monitor	6 Zoll in schlagfesten Kunststoff- Koffern
Video Port	PCMCIA Karte zur Übermittlung der Daten
Software	zur thermographischen Bildbearbeitung



Abb. 3: Wärmebildkamera Industry, Fa. Maurer, Zufikon CH

Hersteller und Preise

Hersteller (Liste nicht abschließend):

- | | |
|--|---|
| • Fa. Dräger, Lübeck, Deutschland | http://www.draeger.com |
| • Fa. Auer, Berlin, Deutschland | http://www.auer.de |
| • Fa. Bullard, Cynthiana, KY | http://www.bulard.com |
| • Fa. Hebesberger, Neuhofen, Austria | http://www.hebesberger.at |
| • Fa. FLIR Systems, Frankfurt am Main, Deutschland | http://www.flir.com |
| • Fa. Siemens, München, Deutschland | http://www.siemens.com |

Preise (Preise Stand Frühjahr 2001 in CHFR.):

- | | |
|--|---------------------------------------|
| • Wärmebildkamera | ab 24`880- 120`258 CHF. * |
| • Funk oder Kabelübertragung | ab. 3`890 CHF. |
| • Portabler Monitor (Funk) | ab. 960 CHF. |
| • Diagnostik- Bildbearbeitungs- Software | ab. 8`400 CHF. |
| ➤ Total komplettes System (durchschnitt) | <u>ab 38`100 – 50`000 CHF.</u> |

*WBG 90 für militärische Zwecke konzipiert

Die größte Preisdifferenz von ca. 100`000 CHF ergibt sich bei den Wärmebildkameras. Diese große Preisspanne ist auf den Verwendungszweck zurück zu führen, ob das Gerät zivil oder militärisch genutzt wird.

1.6 Detektionsversuch einer Wühlmauskolonie am Standort Stans, Schweiz

In der Nacht vom 28. Mai 2001 wurden am Standort Stans zwei Wühlmauskolonien mit einem Wärmebildgerät WBG 90 beobachtet. Diese Geräte werden von der Schweizer Armee zur Geländebeobachtung verwendet. Es wurden zwei Standorte in einer Naturwiese ausgewählt. Es war eine Naturwiese am Damm des Flusses der EngelbergerAa in Stans. Im ersten Teil war die Naturwiese geschnitten, im zweiten Teil war die Naturwiese ungeschnitten. Die Aktivität der Kolonien wurden mit TOPCAT® Fallen überprüft. Es wurden in beiden Bauten adulte Wühlmäuse (*Arvicola terrestris*) gefangen. Die beiden Bauten wurden ab dem Eindunkeln mit dem WBG beobachtet.



Abb. 4: Wärmebildgerät mit kleinem Stativ;
R. Gago, AGFF



Abb. 5: Wärmebildgerät mit Laffette,
R. Gago, AGFF

Verfahren 1

Naturwiese ungeschnitten

Beobachtungsdistanz 1 1m mit kleinem Stativ

Beobachtungsdistanz 2 5m mit grossen Stativ

Verfahren 2

Naturwiese geschnitten

Beobachtungsdistanz 1 1m mit kleinem Stativ

Beobachtungsdistanz 2 5m mit grossen Stativ

An beiden Standorten wurden in der Einsatzdistanz von 5 m deutliche Wärmequellen der oberflächlichen Gangsysteme erkannt. Die Verästelung der Gänge war deutlich zu sehen. Bei der Beobachtungsdistanz von 1 m waren die Gangsysteme schlechter zu sehen, was einerseits wegen der zu Nahen Distanz zum Gangsystem und andererseits ist das WBG 90 zur Beobachtung auf weite Distanzen konzipiert.

1.7 Einsatzmöglichkeiten der Wärmebildtechnik bei Wühlmausbefall

Die Einsatzmöglichkeiten der Wärmebildtechnik zur Beobachtung von Wühlmausbefall kann in zwei Bereiche eingeteilt werden:

1. Beobachtung von bewohnten Kolonien

Mittels eines Bildübertragungssystems per Funk oder Kabel können die Bilder auf ein Notebook übertragen werden.

Mit einer speziellen Software zur thermographischen Bildbearbeitung, können die thermographischen Bilder ausgewertet werden wie zum Beispiel: die Temperatur-Linien oder die Temperatur- Punkte etc.

Die daraus resultierenden Grafiken geben Aufschluss über das thermographische Bild.

2. Beobachtung der Migration von Wühlmauskolonien

Als wohl beste Einsatzmöglichkeit zur Beobachtung ist die Migration von Wühlmauskolonien. Die Migration von Wühlmäusen findet nur Nachts und meistens bei Regen statt (Francis Saucy, 1988).

Weiter sehr interessante und aufschlussreiche Beobachtungen kann auch die Rückwanderung von Wühlmauskolonien in alte bestehende Bauten, die zum Beispiel erfolgreich bekämpft wurden oder deren Kolonien aus irgend einem Grund ausgewandert sind (starke Regenfälle, intensive Bewirtschaftung etc.).

1.8 Schlussfolgerung

Wärmebildkameras können zur Detektion von Wühlmausbefall eingesetzt werden. Bei den einzelnen Kolonien kann man nur die oberen Laufgänge der Bauten durch Wärmeabstrahlung erkennen. Ein Bau selber kann nicht beobachtet werden.

Am besten eignen sich die Kameras zur Beobachtung der Migration von Wühlmauskolonien und deren Rückwanderung in bestehende Bauten.

Wärmebildkameras sind in der Anschaffung sehr teure Geräte und lohnen sich deshalb nur für Forschungszwecke. Darum ist es sehr wichtig, nicht nur ein Gerät anzuschaffen, sondern die Benutzer der Kameras sehr gut auszubilden. Nur gut ausgebildete Benutzer erzielen in der Bildbearbeitungs-Diagnostik beste Ergebnisse für die Forschung.

2. Schadensverringende Kulturmaßnahmen

Im Futterbau sind die schadensverringenden Kulturmaßnahmen zur Mäusebekämpfung sehr wichtig, damit die Population frühzeitig eingedämmt und eine explosionsartige Vermehrung verhindert wird.

2.1 Erste Maßnahmen schon kurz nach Vegetationsbeginn

Schon kurz nach Vegetationsbeginn oder nach der Schneeschmelze können die ersten Kulturmaßnahmen getroffen werden. Am besten empfiehlt sich, die Wiesen und Weiden mit einer Wiesenegge abzuschleppen um so die Mäusehaufen auszuebnen. In Stand- und Mähweiden empfiehlt sich auch eine Glattwalze um die oberflächigen Laufgänge zu zerstören und die Trittschäden auszuebnen.



Abb. 6: Wiesenegge (Schleppe) zum einebnen der Erdhaufen, Archiv AGFF

Aktive Kolonien sind in den abgeschleppten Feldern durch neue Aufstöße deutlich sichtbar und können sofort bekämpft werden. In frisch gemähten Wiesen ist das Aufstellen von Vogelstangen ratsam. Es begünstigt die Aktivität von Greifvögeln, die in den meist offenen Landschaften keine Sitzgelegenheit zur Jagd auf Mäuse haben.

2.2 Bewirtschaftung der Naturwiesen

Die Weidenutzung in Naturwiesen ist eine der wirkungsvollsten indirekten Maßnahmen. Durch den Tritt der Tiere werden die unterirdischen Laufgänge der Wühlmauskolonien zerstört. Die Wühlmause meiden in der Regel Naturwiesen mit einem erhöhten Weidedruck und weichen auf andere Parzellen aus wie zum Beispiel ungenutzte Brachflächen etc.



Abb.7: Weidendes Milchvieh, Gabriela Brändle FAL

2.3 Starke Regulierung durch Bewirtschaftungsintensitäten

In einer Felduntersuchung des Landwirtschaftlichen Instituts in Grangesneuve wurden in unterschiedlich bewirtschafteten Parzellen das Aufkommen von Mäusekolonien erhoben. Es wurden eine intensive Standweide (Kurzrasenweide) und extensive Parzellen mit 2 bis 3 Schnittnutzungen und andere Parzellen mit normaler 4-6 Schnittnutzung überprüft.

Tab.1: Einfluss der Bewirtschaftung auf die Entwicklung von Mäusepopulationen und des Schadensmaßes

Erhebungskriterien der Populationen	Standweide/ Kurzrasenweide	Extensive Nutzung	Normale Nut- zung
Prozentuale Bedeckung durch Wühl- maus- Erdhaufen	1 %	30 %	20 %
Anzahl Kolonien in Linien von 100 x 5m	2.4	42	32
Anzahl Kolonien pro Hektare	7	460	300

Quelle: Josef Emmenegger und Jean-Pierre Rolle, 1999, IAG, AGRI 3. Dezember

2.4 Neuanlagen

Neuanlagen, die in einer Fruchtfolge eingebunden sind, haben selten einen starken Wühlmausbefall, weil durch die Bodenbearbeitung die Bauten zerstört werden. Die Wühlmäuse meiden diese Parzellen. Ist der Befall in Naturwiesen bereits durch Wühlmäuse stark fortgeschritten und kann nicht mehr bekämpft werden, ist nur noch eine Neuanlage möglich.



Abb. 8: durch Wühlmäuse zerstörter Bestand,
Archiv AGFF



Abb. 9: Wühlmausschäden nach der
Schneesmelze; Archiv AGFF

2.5 Schlussfolgerung

Das Walzen und Ausebnen der Wiesen und Weiden und ein erhöhter Weidedruck sind die wirkungsvollsten indirekten Bekämpfungsmaßnahmen. Vogelstangen können den natürlichen Feinden bei der Jagd helfen. Neuanlagen von Wiesen nach starker Bodenbearbeitung werden kaum von Wühlmäusen befallen. Schadensverringende Kulturmaßnahmen helfen nur auf der einzelnen Parzelle oder auf der behandelten Betriebsfläche. Sie verlagert aber das Problem meistens nur in Nachbarparzellen und trägt nicht zur regionalen Eindämmung der Wühlmausepopulation bei. Diese ist nur durch direkte Bekämpfungsmaßnahmen zu regulieren.

Literaturverzeichnis

AGFF (1998): Sanieren von Mäuseschäden in Wiesen. AGFF-Infoblätter, U6

STUTZ, C.;GAGO, R. (2000): Erfolgreiche Mäuseregulierung im Futterbau.
UFA-Revue.12/00: 36-39. Wärmebildgerät (WBG90) Reglement 54.95 d WBG90,
EDMZ

MAURER, Feuerwehrtechnik, Zufikon, Produkte-Dokumentation

DRÄGER, Sicherheitstechnik GmbH, Lübeck, Produkte-Dokumentation

Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Fallen zum Wühlmausfang.

Jean Malevez

Topcat GmbH, Wintersingen, Schweiz

Zusammenfassung

Das Fallenstellen ist eine alte aber heute wieder sehr aktuelle Methode zur Bekämpfung von Wühlmäusen weil sie ökologisch ist und weil moderne Fallen sehr gute Fangergebnisse ermöglichen. Der Fallensteller braucht fundierte Kenntnisse über die vorkommenden Mäusearten und ihr Verhalten. Langjährige Beobachtungen und Erfahrung im Gelände sind sehr hilfreich. Neue Fallenmodelle, die ergonomisch richtig gestaltet sind, erlauben ganztägige Arbeit. Professionelle, ganztägige Arbeit ist jedoch physisch anstrengend.

Schermaus und Feldmaus sind leicht zu befangen. Das sehr geringe Auslösegewicht der modernen Fallen ermöglicht auch das Fangen von Jungtieren. Der Maulwurf ist viel schwieriger zu befangen. Die Präsenz des Maulwurfs auf einer Parzelle erschwert die Arbeit des Fallenstellers erheblich. Die Fangleistung ist abhängig von der Mäuseart, der Populationsdichte und von verschiedenen sehr variablen Faktoren wie Landschaftsstruktur, Bodenbeschaffenheit, Kultur, Bodenbedeckung, Präsenz von natürlichen Feinden, regionalem Verhaltensmuster der Tiere oder Wetter.

Optimal ausgerüstet kann ein erfahrener Mäusefänger in der Schweiz bei einer Populationsdichte von ca. 100 Mäusen pro ha im Sommer auf einer gemähten, gut überblickbaren Wiese in der Regel 60-120 Mäuse pro Arbeitstag fangen. Im Winter, wenn die Mäuse nicht mehr stoßen, ist die Leistung geringer. Die Schadensschwelle der Kultur bestimmt die Wirtschaftlichkeit der Fangtechnik.

1. Einleitung

Als angehender Obstbauer, mit sehr starken Mäuseschäden konfrontiert, hat der Autor vor ca. 4 Jahren angefangen, sich mit dem Problem der Mäusebekämpfung in der Landwirtschaft zu beschäftigen und diverse Techniken zu testen. Am Steinobstzentrum Breitenhof, einem Forschungsbetrieb der Forschungsanstalt Wädenswil, in Wintersingen, Baselland, hat er seine Versuche gemacht. Das hügelige Gebiet wird immer wieder von sehr starke Mäuseplagen heimgesucht.

Nach mehreren Monaten Arbeit mit 2 verschiedenen Vergasungsgeräten (CO Gas) hat er konsequent mit der Schweizerischen Ringligfalle gearbeitet. Von einem sehr erfahrenen traditionellen Fallensteller (Hans Emmenegger) instruiert, hatte er von Anfang an gute Erfolg (aber nur große, adulte Mäuse!).

Durch die nassen Knie und die ständig dreckigen Hände irritiert, machte er sich dann auf die Suche nach einem ergonomisch ausgereifteren und effizienteren Produkt. Verschiedene Fallen die im In- und Ausland erworben werden konnten, wurden ausprobiert.

Seit gut einem Jahr beschäftigt sich der Autor exklusiv mit der Produktion, dem Verkauf und der Entwicklung von ökologischen Mäusebekämpfungsmitteln und der Vermittlung der erforderlichen Kenntnisse für eine erfolgreiche Arbeit mit Fallen. Er hatte Gelegenheit in vielen Regionen Deutschlands und der Schweiz praktisch zu arbeiten und Erfahrungen zu sammeln.

2. Zieltiere

In der Landwirtschaft (Obstbau, Futterbau, Gemüsebau und Gärten), werden folgende Tiere mit Fallen bekämpft: die Schermaus (*Arvicola terrestris*), die Feldmaus (*Microtus*- und *Pitymys*-Arten) aber auch der Maulwurf (*Talpa europaea*).

3. Begleitende Umstände

- Die landwirtschaftlichen **Kulturformen** beeinflussen die Notwendigkeit und die Häufigkeit von Bekämpfungsmaßnahmen der oben genannten Zielarten. Die Ökologisierung der Landwirtschaft bringt vermehrt Wühlmausprobleme mit sich.

Beispiel: ökologische Wiesen die nicht vor Mitte Juni gemäht werden dürfen (CH), bilden optimale Brutstätten für die Wühlmäuse, die praktisch nicht befangen werden können. Ähnliches gilt für Buntbrache oder Rotationsbrache (CH).

- Es wird vermehrt nach ökologischen Bekämpfungsmaßnahmen gesucht.

Beispiel: Im ökologischen Landbau wird vermehrt zu Mäusefallen gegriffen, als Alternative zur Begasung der Mäuse (und des Bodens) mit giftigen Kohlenwasserstoffverbindungen.

- Der Wert der zu schützenden Kulturen bestimmt die Schadensschwelle. Ein Obstbauer der in eine Intensiv-Apfelanlage mit Hagelsschutz, Frostberegnung und Bewässerung 100.000 SFr. pro ha investiert hat, ist anders motiviert als ein Futterbauspezialist im Jura.

- Es zeigt sich immer wieder, dass es viele **regionale Unterschiede** gibt, sowohl im **Erscheinungsbild** als auch im **Verhalten** und im **Zusammenleben** dieser Tiere. Diese Unterschiede sind kaum bekannt und praktisch nicht beschrieben.

Beispiel: *Microtus arvalis* in der Schweiz (Ringeln von Obstbäumen) und in Nord-Deutschland (Wurzelfraß) zeigen unterschiedliches Nageverhalten (eigene Beobachtungen).

- Nationale, kantonale oder Landes- **Gesetze** schützen die Zieltiere und deren natürliche Feinde unterschiedlich.

Beispiel: der Maulwurf ist in Deutschland gesetzlich geschützt. Der Fang von Schermäusen in Regionen, in denen der Maulwurf auch vorkommt, wird dadurch stark erschwert.

- Moderne Fallen die sehr leistungsfähig sind, geben dem Beruf des Fallenstellers eine neue Perspektive.

Beispiele: Neudorff-Fallen, Fangwannen oder die Topcat Falle sind viel leistungsfähiger als herkömmliche Fallen.

Der äußerst schlechte Informationsstand vieler Leute bezüglich der Mäusebekämpfung führt dazu, dass enorme Mengen Geld völlig verfehlt investiert werden und große Schäden durch Mäusefraß entstehen!

Beispiel: Projekt Gen-Bank für Obstbäume entlang von Autobahnen...

4. Anforderungen an das Material

Eine ganz kleine Auswahl von Anforderungen die gestellt werden müssen, um effizient arbeiten zu können und um ökologischen Ansprüchen zu genügen:

Konstruktion:

Robuste Konstruktion, resistent gegenüber Schlägen, Quetschungen, Druck, Kratzern, Reibung, mechanischer Belastung, und ständiger Betätigung (= lange Standzeit, günstige Abschreibung)

Anwendung:

Schnell, ergonomisch und bequem in Stellung zu bringen. Ergonomisch Handhabung: mit wenig Kraft zu spannen (auch für Kinder- und Frauenhände...). Unkomplizierte, einfache, einleuchtende Funktion und Handhabung des Mechanismus. Auf Abstand kontrollierbar (akustisch, optisch, über Signal).

Funktion:

Auch in sehr dreckigem, nassem und verschmiertem Zustand noch zuverlässig.

Tiergerecht:

Angepasst an Biotop und Lebensweise der Zielart. Sehr geringes Auslösegewicht, damit sowohl Jungtiere als ausgewachsene Tiere gefangen werden können.

Ökologisch:

Wiederverwertbares Material, reparierbar

Ökonomisch:

Preisgünstig in der Anwendung.

5. Anforderungen an den Fallensteller

Häufig wird auf den Knien gearbeitet. Das erfordert **Beweglichkeit**. Hände und Kleider sind ständig im Kontakt mit dem Erdreich. **Schmutz und Feuchte** erschweren die Arbeit. Geeignete Kleidung und Handschuhe können einen gewissen Schutz bieten, sind aber häufig bewegungshindernd. Die Arbeitsstellung kann für eine gebückte oder hockende Stellung optimiert werden. Eine **Optimierung der nötigen Bewegungen** hilft viel Energie sparen. Gute **Regenkleidung** ist erforderlich.

Der Fallensteller braucht einen **guten Beobachtungssinn** um die zum Teil sehr kleinen und diskreten Lebenszeichen der Mäuse zu finden. Eine gute **Kenntnis der Kulturen** ist hilfreich. **Wissenschaftlich fundierte Kenntnisse** der Lebensgewohnheiten der Tieren ist erforderlich. Die örtlichen Verhaltensmuster der Tiere und ihre **üblichen Standorte** müssen bekannt sein. Eine **gute Kommunikation** mit dem Auftraggeber ist erforderlich. Konsequentes und exaktes **Aufzeichnen von Beobachtungen** hilft Erfahrungen zu sammeln.

6. Die Technik des Fallenstellen - Analyse der Arbeitstechnik und Entwicklungsmöglichkeiten

Der traditioneller Fallensteller orientiert sich (optisch) an den Mäusehäufen, den Mäuselöchern, den entstandenen Schäden und seinen Erfahrungen aus der Vergangenheit, um den Mäusebau zu finden. Zukünftig könnten hier völlig neue Mittel Hinweise geben: z.B. exakte topografische Aufzeichnungen mittels GPS, Nage-Detektionssonden, elektronische Visualisierung des Baus oder Aufspüren mittels Gaze-Analyse. Auch abgerichtete Hunde können beim Aufspüren von Wühlmäusen sehr hilfreich sein.

Mit dem Finger, dem Fuß, einem Stab oder einer Sonde, oder vielleicht zukünftig mit irgend einem elektronischen Gerät, sucht der Fallensteller die exakte Positionierung der Gänge. Mittels eines Spatens oder Messers (manchmal ein Stück einer alten Sense), von Hand oder mit einem Lochschneider, wird der Gang geöffnet, **oder** ein künstlicher Zugang zum Mäusebau geschaffen. Auch hier lassen sich neue Werkzeuge entwickeln.

Es werden nur wenige Fallen zum Wühlmausfang oberirdisch eingesetzt, obwohl auch so sehr gute Resultate zu erzielen sind. Erwähnenswert ist hier: die einfache Haushalts-Mausefalle, die Scherman-Falle, die Bayerische Fangwanne und die Fribourg-Falle.

Im Boden werden fast alle Wühlmausfallen in Längsrichtung zum Bau eingebaut. Ein Paar Fallen, meistens Lebendfangfallen werden quer und horizontal zum Bau eingebaut. Die Topcat Falle wird vertikal und quer zum Bau eingebaut. Es ist meistens ein starker Eingriff am Bau erforderlich, um die Falle zu platzieren. Der erforderliche Energieaufwand ist groß. Dieser starke Eingriff scheucht die Tieren vielfach auf und veranlasst sie, ihr gewohntes Abwehrverhalten zu zeigen: sie verwühlen die Stelle.

Durch Fallen mit Köder werden Beifänge weitgehend vermieden, sie erfordern andererseits mehr Zeit um in Stellung gebracht zu werden. Fallen die nur durch Berührung ausgelöst werden, brauchen weniger Zeit um aufgestellt zu werden, sind aber nicht selektiv.

Mittels Geruchstoffen lassen sich die Fangergebnisse verbessern und unter Umstände Beifänge meiden. Seifert (1997) hat diesbezüglich eine bemerkenswerte Arbeit geschrieben, die im Internet abrufbar ist.

Mittels Barrieren oder Sperren ist es möglich, die Tieren zu kanalisieren und die Effizienz der Falle zu verbessern. Das Fangen der semi-aquatischen Form von *Arvicola terrestris* mittels Reusen im Wasser ist ein gutes Beispiel hierfür.

Viele Fallen müssen zur Kontrolle ausgegraben zu werden. Wenige zeigen schon auf Abstand und auf den ersten Blick (optisch) ob sie ausgelöst sind. Damit lässt sich aber viel Zeit sparen.

Es besteht eine amerikanische elektrische Haushaltsfalle die mittels eines kleinen Senders einem zentralen Kontrollgerät signalisiert ob sie ausgelöst ist.

Das Auslösen der Falle ist nur in wenigen Fälle akustisch wahrnehmbar.

Einige einfache Fallen, in denen die Tiere ertrinken oder vergast werden, müssen nur gelegentlich entleert werden. Viele Lebendfangfallen müssen nach jedem Fang geleert werden, aber es gibt auch verschiedene Modelle die nur gelegentlich geleert werden müssen (z.B. Tin Cat von Victor). Die Fangwanne wird von Raubvögeln oder Raubwild „automatisch“ geleert.

Alle Totschlagfallen müssen nach jeden Fang geleert werden. Hier besteht Entwicklungsbedarf: eine **automatische Mehrfach-Totschlag-Falle...**

Die meisten Fangstellen können, mit mehr oder weniger Aufwand, wiederholt genutzt werden. „Fangstationen“ könnten entwickelt werden, z.B. kombiniert mit künstlichen Gängen.

7. Fangbarkeit verschiedener Wühlmäuse und des Maulwurfs

<i>Arvicola terrestris scherman:</i>	sehr einfach (eigene Erfahrung)
<i>Arvicola terrestris italicus:</i>	sehr einfach (eigene Erfahrung)
<i>Arvicola terrestris terrestris:</i>	die semi-aquatische Form nur im, oder gerade am Wasser (Saucy, pers. Mitt.)
Feldmaus: oberirdisch:	sehr einfach, aber Beifänge sind häufig (Beco, pers. Mitt.)
unterirdisch:	sehr einfach bei sehr geringen Auslösegewicht (eigene Erfahrung)
Maulwurf:	schwierig, da er die Fallen meistens verwühlt (eigene Erfahrung)

8. Einfluss des Maulwurfs auf den Fallenfang

Während diverser Fangaktionen in Regionen mit relativ hohen Maulwurfpopulationen hat der Autor wiederholt erlebt, dass der Maulwurf bei der Bekämpfung von Wühlmäusen mittels Fallen einen wesentlich erschwerender Faktor ist. Der Maulwurf gräbt sehr lange Gänge, die von diversen Wühlmäusen eingenommen werden. Der Verlauf dieser Gänge ist anders als bei Wühlmausgängen. Die Höhendifferenzen sind viel größer und die Gänge steigen und fallen stark. Sie sind schwerer aufzufinden. Ihre Anlage im Raum ist anders als die der Wühlmausgänge.

Der Maulwurf verwühlt sehr häufig Fallen. Dadurch entsteht eine Menge (frustrierende) Mehrarbeit. Warum der Maulwurf so häufig verwühlt, ist nicht bekannt, aber das Phänomen ist jedem Mäusefänger bekannt. In gewissen Regionen ist dieses Verhalten weniger ausgeprägt. (*Talpa caeca* – *Talpa europaea* ?)

Wer sich in Deutschland an die Gesetze halten will, muss vor jedem Fallenstellen eine Verwühlprobe machen. Dennoch wird er regelmäßig Maulwürfe in Schermausgängen fangen. Andererseits wird er häufig in Gängen zwischen Maulwurfshaufen Schermäuse fangen. Der Fallensteller riskiert jederzeit mit dem Gesetz in Konflikt zu kommen und zum Teil horrenden Bußen bezahlen zu müssen. Häufig sabotieren sogenannte Tierfreunde die Arbeit des Fallenstellers.

Der gesetzliche Schutz des Maulwurfs wird in der Praxis auf vielerlei Art und Weise umgangen, leider häufig mit „nicht ganz tierschutzgerechten“ bis vollkommen unangemessenen „Giftmittel-Cocktails“ die in der (ökologischen) Landwirtschaft nichts zu suchen haben! Eine sinnvoll reglementierte Bekämpfung des Maulwurfs würde diesen Auswüchsen entgegenwirken.

9. Aufwand und Erfolg von Fallenbekämpfungsaktionen an Hand von Praxisbeispielen

Hans Emmenegger, einer der erfahrensten schweizerischen Mäusefänger arbeitete bis vor Kurzem traditionell mit ca. 90-100 schweizerischen Ringli-Fallen. Um diese zu stellen hat er ungefähr 2.5 Stunden gebraucht (viel auf den Knien...). Diese Falle arbeitet nur in einer Richtung und deshalb sind 2 solche Fallen pro Gang notwendig. Nach dem Stellen hat er sogleich mit dem Kontrollieren der erste Fallen begonnen. Dazu müssen die Fallen alle einzeln ausgegraben werden. Fangerfolge von bis zu 90-95 % sind keine Ausnahme. An anderen Tagen werden die Fallen häufiger verwühlt und die Erfolgsquote sinkt merklich. Hans Emmenegger hat seine Ringli-Fallen alle 2 Tagen in Wasser gespült. Abends hat er die Fallen immer abgebaut, damit die Füchse sie nicht verschleppen. Tagesfangquoten von 40-80 Tieren hat Hans

Emmenegger regelmäßig erreicht. Sein Rekord an einem Tag nach 10stündiger harter Arbeit lag bei 133 Mäusen. Die gefangenen Tiere sind meist adulte oder subadulte Tiere. **Praktisch nie** werden **Jungtiere** gefangen, weil die Falle ein zu hohes Auslösegewicht hat.

Heute arbeitet Hans Emmenegger aus gesundheitliche Gründe (Knie, Rücken) mit einer neuen Falle. Vor Kurzem hat er einen neuen persönlichen Rekord aufgestellt: 145 Mäuse in 8.5 Stunden mit 52 Fallen. Das fand in Schüpfheim statt, einer Gemeinde des Entlebuch (Kanton Luzern), die 2001 von eine sehr starken Mäuseplage heimgesucht wurde. Dort werden Populationsdichten von 400-500 Mäuse pro ha gezählt.

Hans Emmenegger arbeitet für 150 SFr. pro Tag, zuzüglich Kost, Logis und Transport.

Am Steinobstzentrum Breitenhof, 13.5 ha in Hügellandschaft, am Fuß des Jura, in einem ausgesprochen Wühlmausgebiet (Parzellen mit Populationsdichten von 500-1000 Wühlmäusen pro ha in der Nähe), wird seit 3 Jahren praktisch nur noch mit Fallenfang gearbeitet. Obwohl es sich hier nur um schwachwachsende, sehr empfindliche Unterlagen handelt, ging seitdem kein Baum mehr verloren. Der Aufwand für die Mäusebekämpfung im Jahr 2000 betrug ca. 135 Stunden, wobei viele Stunden die während der Freizeit geleistet wurden, nicht festgehalten wurden. Insgesamt kann man von ca. 200 Arbeitsstunden ausgehen. Vermerkt werden muss, dass eine Fläche befangen wird, die um einiges größer ist als nur diese 13.5 ha (total ca. 18-20 ha). Um den Hof herum wird an empfindlichen Stellen, 100 - 300 m um die Anlagen herum, regelmäßig mit den Fallen präventiv gearbeitet, um eine Pufferzone zu unterhalten. Es handelt sich dabei um angrenzende Zonen, von denen aus Rückeinwanderungen erwartet werden.

Ähnliche, jüngere Beispiele sind dem Autor bekannt. Vielfach wird der Arbeitsaufwand von Angestellten, von Frauen oder Kindern ausgeführt. Regelmäßig aufgezeichnete Daten sind noch nicht erhältlich.

Laut Aussage vieler Kunden ist der Arbeitsaufwand für die Mäusebekämpfung mit den Mäusefallen etwa gleich groß wie für das Vergasen mit CO-Gas. Die Arbeit ist aber viel angenehmer, bringt keine zusätzlichen Kosten, ist ungefährlich für den Anwender und kann von ungeschultem Personal ausgeführt werden. Das Fallenstellen lässt sich vielfach mit anderen Arbeiten kombinieren. **Das Resultat ist sichtbar** und in vielen Gemeinden können Mäuseschwanzprämien (0.50-2.00 Fr.) eingeholt werden. Dies ist eine wichtige positive Motivation für den Fallensteller. Die sichtbaren Resultate erlauben das Sammeln wertvoller Erfahrungen. Einige Zahlen : mit 50 modernen Mäusefallen ausgerüstet und bei einer Mäusepopulation von ca. 50-100 Mäusen pro ha arbeitet ein Mann, bei günstigen Bedingungen (z.B. gute Sichtverhältnisse, günstiges Wetter) durchgehend. Er kann dann an einem Tag ca. 1 ha sanieren (zu ca. 95 %). Ist die Populationsdichte geringer, kann er an einem Tag 2-3 ha bearbeiten. Dem Autor ist ein Fall aus seinem Wohnort bekannt, wo ein junger Mann, mit 48 Fallen ausgerüstet, an 2 aufeinanderfolgenden Wochenenden jeweils 320 Mäuse gefangen hat, in insgesamt 18 Stunden Arbeit. Fangleistungen von über 100 Mäusen pro Tag sind nicht selten. Eine geübte Person kann auf einer mäßig befallenen (ca. 100 Schermäuse/ha) aber gut überblickbaren Parzelle 25-30 Fallen pro Stunde in Stellung bringen.

Der Autor hat schon manchmal im Team Fallen gestellt. Dabei können bei guten Bedingungen 90-100 Fallen in Stellung gebracht werden. Teamwork macht die Arbeit leichter, schneller und angenehmer. Kaum sind die Fallen im Boden, werden bereits Mäuse gefangen. Fangleistungen von über 200 Mäusen pro Tag hat der Autor im Duo schon erreicht.

Für ideale Teamarbeit werden drei Personen benötigt. Die dritte Person kontrolliert, führt Protokoll und leert die Fallen.

Pro Fangstelle können mit einer sehr empfindlichen Falle regelmäßig mehrere Tiere gefangen werden. Bis zu 8 Schermäuse wurden im Sommer vom Autor aus dem gleichen Loch entnommen. Einem Kunden gelang es, innerhalb von 15 Tagen mit 3 Fallen an drei Fangstellen 75 Feldmäuse zu fangen. Durchschnittliche Fangleistungen von einer Maus pro Falle in ca. 10 Stunden sind normal. Unter günstigen Bedingungen können drei bis vier Mäuse pro Falle in ca. 10 Stunden gefangen werden. In die Praxis zeigt sich aber, dass bei sich reduzierender Zahl der Mäuse der Arbeitsaufwand steigt. Die letzte Maus zu fangen braucht viel Aufmerksamkeit, System und Ausdauer. Systematische Arbeit, eine Voraussetzung für guten Erfolg, erfordert viel Zeit.

Das Sammeln von standardisierten Fangprotokollen von professionellen Mäusefängern könnte in der Zukunft konkretere Zahlen erbringen. Die Auswertung dieser Protokolle dürfte nicht ganz einfach sein, weil eine Unmenge sehr variabler Faktoren die Fangerfolge beeinflusst: Mäuseart, Bodenbeschaffenheit, Region, Bodenkultur, Landschaftsstruktur, Populationsdichte, Zeitpunkt im Vermehrungszyklus, Jahreszeit, Wetter (Temperatur, Feuchte, aufziehende Gewitter, Luftdruckschwankungen), Geräuschpegel, Erschütterungen, Gerüche, Qualität der verwendeten Fallen, Ausdauer des Fallenstellers, Dauer der Fangaktion, u.v.a..

10. Wer arbeitet mit Fallen?

Die sehr leistungsfähigen modernen Mäusefallen erlauben professionellen Einsatz in hochwertigen Kulturen mit sehr niedriger Schadensschwelle. Entschädigungen pro geleistetem Arbeitstag bringen überblickbare Kosten. Dauer-Pflege-Verträge sind denkbar. Die Nachfrage ist sehr hoch. Die meisten Betroffenen führen die Arbeit jedoch selbst aus. Die modernen Fallen erlauben sowohl Männern, Frauen, aber auch Kindern die Arbeit auszuführen. Kinder ab 10 Jahren und Senioren bis ins hohe Alter erreichen sehr gute Resultate.

Gründliche und fundierte Kenntnisse der Zieltiere und ihrer Lebensgewohnheiten motivieren regelmäßig, systematisch und mit viel Ausdauer zu arbeiten. Wer die Wühlmäuse so angeht, erreicht mit Fallen ausgezeichnete Resultate.

Literatur

SEIFERT, TH. (1997): Untersuchungen über einige morpho-physiologische Parameter und über die Fangbarkeit der Schermaus (*Arvicola terrestris*) mit arteigenen Duftstoffen. Diplomarbeit Forstwissenschaftliche Fakultät Univ. München.

Begasungsmaßnahmen - stoffliche Zusammensetzung der Gase, Effizienz und Gefahren

Gabriel Popow

Kantonale Zentralstelle für Pflanzenschutz, Strickhof, Lindau, Schweiz

Zusammenfassung

Verschiedene Begasungsgeräte die 1983 in der Schweiz im Handel oder in Entwicklung waren, wurden auf dem Prüfstand getestet. Es zeigen sich folgende, vermutlich allgemein gültige Tendenzen: Bei Geräten, die Motorenabgase erzeugen, ist vermutlich die Motorenkonstruktion entscheidend für die Abgaszusammensetzung, insbesondere für den CO-Ausstoß. Der CO-Gehalt liegt zwischen 1,8 und 10,5 vol %, die Menge zwischen 1,1 und 10,5 Liter pro Minute. Das zusätzlich hinter dem Zylinder eingebrachte Brennstoffgemisch erhöht den Gehalt an Kohlenwasserstoffen (HC-Verbindungen), hat aber keinen positiven Einfluss auf den CO-Gehalt. Geräte die Holzkohle verbrennen, erzeugen mit 5,2 bis 15,2 vol % respektive 7 bis 49,9 Liter pro Minute wesentlich mehr CO. Die Einsatzkosten liegen bei SFR 13.50 pro Stunde, ohne Bedienungspersonal und (beim Anbaugerät) ohne Schlepper. In einer Wiese mit 300-500 Mäusen / ha ist mit einem Zeitaufwand von 6-12 Stunden zu rechnen um die Population um ca. 90% zu vermindern. Begasung erfasst auch Wiesel die sich in den Gängen aufhalten. Die Belastung mit Kohlenwasserstoffen erreicht bis 100 g pro begasten Gang.

Einleitung

Im Frühjahr 1982 traten in den Hügellagen der Ostschweiz enorme Mäuseschäden auf. In höheren Lagen mit Jahresniederschlägen ab ca. 1200 mm war die Grasnarbe bei der Schneeschmelze weitgehend zerstört oder mit Mäusehaufen bedeckt. Ungefähr ein Viertel des Jahresertrages ging verloren. Schäden von ähnlichem Ausmaß hatte es in der Vergangenheit noch nie gegeben. Wir vermuten, dass im Herbst 1981 eine Population von 500-1000 Wühlmäusen (*Arvicola terrestris*) eingeschneit wurde. Bemerkenswert war, das gleichzeitige Auftreten einer Populationsspitze in der ganzen Ostschweiz, in den Voralpen und auch im Jura (Westschweiz). Diese Schäden verlangten einen vermehrten Einsatz der Pflanzenschutzdienste. Es standen in der Folge Mittel für Bekämpfungsversuche, verschiedenste Untersuchungen und auch größere Forschungsprojekte zur Verfügung. Im Kanton Zürich legten wir einen großen Praxisversuch an, mit dem Ziel den Bauern vernünftige, kostengünstige Maßnahmen aufzuzeigen. Verschiedene Anbieter brachten neue oder auch ältere Mittel und Geräte zur Mäusebekämpfung auf den Markt. Im Angebot waren neben Ultraschallgeräten und verschiedenen Giften auch sechs Begasungsgeräte. Es stellte sich die Frage, ob zwischen den verschiedenen Systemen und Geräten praxis-relevante Unterschiede bestünden. Wir gelangten an die Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, FAT in CH-8356 Tänikon mit der Bitte, die Abgase der Geräte zu messen. Die FAT verfügte nicht über die nötigen Einrichtungen, konnte aber der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt, EMPA einen entsprechenden Prüfauftrag erteilen. Während fast drei Tagen standen die nötigen Einrichtungen samt Fachpersonal zur Verfügung. Die Tests

erfolgten im Frühjahr 1983. Die ausführlichen Ergebnisse wurden damals nicht publiziert. Die FAT veröffentlichte eine Zusammenfassung für die Landwirte (Höhn E. 1984), die Hersteller erhielten die Detailergebnisse ihrer Geräte. Die getesteten Geräte sind entweder nicht mehr erhältlich oder wurden so abgeändert, dass die Prüfdaten nicht mehr zutreffen. Die im folgenden genannten Ergebnisse zeigen aber die vorhandene Bandbreite und allgemein gültige Wechselwirkungen auf.

Prinzip der Begasungsgeräte

Ein stark CO-haltiges Gasgemisch wird in die Mausgänge eingeblasen, es soll die Mäuse schmerzlos betäuben und anschließend töten. Normale Abgase sind fast farblos, um die Ausbreitung des Gases in den Gangsystemen sichtbar zu machen, ist ein Rauch bildender Zusatz nötig. Bei Motoren ist dies Öl, bei Holzkohlevergasern Bitumen, feuchtes Sägemehl oder Briketts. Einzelne Hersteller lieferten spezielle Zusatzstoffe mit unbekannter Zusammensetzung. Je größer der Motor oder der Ventilator, desto schneller ist ein vorhandenes Gangsystem mit Gas gefüllt, größere Geräte sind aber schwerfällig in der Handhabung.

EMPA-Messungen an Begasungsgeräten

Die Messungen erfolgten durch die EMPA in CH-8600 Dübendorf, auf der damals üblichen Anlage zur Prüfung neuer Fahrzeugtypen. Auf die Beschreibung der Testanlage wird an dieser Stelle verzichtet. Das Messprogramm passten wir laufend an, um neu auftauchende Fragen nach Möglichkeit gleich zu beantworten.

Die Messergebnisse sind in den Anhängen 1-3 dargestellt (Abschrift aus EMPA-Bericht 47531, leicht veränderte Darstellung)

Die Geräte 1, 2 und 3 haben ein ähnliches Konstruktionsprinzip: Ein relativ kleiner Motor erzeugt Abgas, hinter dem Zylinder wird ein Benzin / Öl – Gemisch in die Auspuffanlage eingebracht.

Gerät 1: Leichter Stoßkarren Hersteller Leutenegger, Vertrieb Brühwiler

Messergebnisse EMPA (Anhang 1)

Mit rund 100 Liter pro Minute ist die Abgasmenge beachtlich. Der CO-Gehalt liegt bei fast 10 vol %, jener des CO₂-Volumens bei 5 vol %. Auffällig ist der sehr hohe Anteil der Kohlenwasserstoffe mit rund 35 vol %. Der hohe HC-Gehalt ist nicht nötig, für die Markierung. HC entsteht im Überschuss weil zuviel Zusatzgemisch eingesetzt wird. Zunehmender Staudruck hatte keinen Einfluss auf die Gaszusammensetzung. Bei 460 mm Wassersäule wurde der Motor abgewürgt.

Weitere Angaben

In der Praxis war die Lebensdauer des Motors zu kurz, es werden jetzt größere Motoren eingebaut. Die Firmen Leutenegger und Brühwiler haben sich getrennt und treten als Konkurrenten auf. Beide produzieren ihre eigenen Geräte und haben auch Vertretungen in Deutschland. Das damals getestete Gerät war ein Vorläufermodell zu den heutigen Geräten der beiden Firmen. Mit einem Gewicht von rund 30 kg und einer Länge unter 150 cm sind die Geräte noch einigermaßen handlich.

Gerät 2: Prototyp

Messergebnisse EMPA (Anhang 1)

Die produzierte Gasmenge war etwa gleich wie bei Gerät 1, wenn man die Drehzahl berücksichtigt. Der Volumenanteil von CO beträgt 7,4 bis 10,5 vol %, jener von CO₂ 6,5 bis 8,8 vol %. Das Zusatzgemisch wird nicht kontinuierlich in den Auspuff gebracht, sondern manuell durch betätigen eines Ventils stoßweise verabreicht. Der HC-Anteil war bei mäßigem Einsatz des Zusatzgemisches mit 5;4% gering, stieg aber bei übermäßigem Einsatz auf über 40% an. Die tiefere Menge wäre für eine Markierung vermutlich ausreichend (es erfolgten keine Tests im Feld). An den Messungen mit diesem Gerät zeigt sich, dass die Kohlenwasserstoffe vorwiegend vom Zusatzgemisch stammen. Der Anteil des CO wird durch das Zusatzgemisch leicht vermindert.

Weitere Angaben

Das Gerät wurde nicht weiter entwickelt. Die stoßweise Zufuhr des Markiergemisches wäre möglicherweise ein interessanter Ansatz um Brennstoff zu sparen und den unnötigen HC-Überschuss zu vermindern.

Gerät 3:

Messergebnisse Empa (Anhang 2)

Hier ist die CO-Konzentration mit 1,3-5,9% auffallend gering, die Summe von CO und CO₂ liegt aber ebenfalls bei rund 15%. Auffallend hoch ist der HC-Gehalt, wenn ohne Zusatzgemisch gefahren wird. Der Motor dieses Gerätes scheint konstruktionsbedingt wenig CO zu bilden. Mit Einstellungen vor Ort ließ sich keine nennenswerte Steigerung erreichen.

Weitere Angaben

Das Gerät wird nicht mehr hergestellt. Es war als schwerer Stosskarren eher unhandlich im Einsatz. In der Praxis wurde trotz geringem CO-Gehalt eine ausreichende Wirkung erzielt, jedenfalls waren der Firma keine entsprechenden Kundenrügen bekannt.

Gerät 4: Motorsäge

Messergebnisse EMPA (Anhang 2)

Auffallend ist das große Abgasvolumen des kleinen Motors (200l/min.), es ergibt sich durch die sehr hohe Drehzahl. Die CO-Konzentration ist mit 4,8% gering, CO₂ ist mit 2,1% sehr wenig vorhanden. Motorsägen sind nicht für den Dauerbetrieb mit Abgasstau gebaut, noch vor Ablauf des zehnminütigen Testlaufes kam es zu einem Leistungsabfall. Tagelange Mäusebekämpfung würde wohl zu Motorschäden führen.

Weitere Angaben

Die Abgase einer normalen Motorsäge (Sägeblatt entfernt) werden über ein Rohr mit einer „Aufpressplatte“ in Mausgänge geleitet. Zur Markierung wird dem Treibstoff 10% eines Zusatzgemisches (Zweitaktöl) beigefügt. Die Handhabung ist mühsam, weil die Bedienungsperson das Gerät während der mehrere Minuten dauernden Begasung in der richtigen Stellung halten muss (teilweise wurden von Praktikern auch Stützen eingesetzt). Motorsägen erfordern kaum eine Zusatzinvestition. Sie sind geeignet für kleinflächigen Obst- und Gartenbau mit sehr kurzen Einsatzzeiten.

Die Geräte 5 und 6 verbrennen in einem boilerförmigen Kessel Holzkohle. Ein Ventilator bläst Luft durch den Brennkessel. Der Antrieb des Ventilators erfolgt über einen aufgebauten kleinen Benzinmotor oder über die Zapfwelle eines Schleppers.

Gerät 5: Stoßkarren Liggerstorfer

Messergebnisse EMPA (Anhang 3)

Der Hersteller empfahl als Markierzusatz bzw. Brennstoff Briketts. Die Messungen mit diesem Gerät zeigen interessante Zusammenhänge:

- Die CO-Konzentrationen sind mit 5,2 bis 15,8 vol% höher als bei den Verbrennungsmotoren, die Summe von CO und CO₂ erreicht bis 25%.
-
- Der HC-Gehalt ist mit maximal 1,1% auffallend gering, im Feld war genügend Rauch sichtbar. Der sichtbare Rauch besteht möglicherweise aus anderen Substanzen als den messtechnisch erfassten Kohlenwasserstoffen.
-
- Die Zugabe von Briketts als Zusatz- bzw. Brennstoff führt bei höheren Drehzahlen zu einem massiven Rückgang der CO-Konzentration von 15 auf 5 %, siehe auch Tabelle 1.

Tab. 1 Einfluss von Briketts auf den Gehalt der Gase

Gerät 5		Gas-Gehalt ohne Briketts	Zugabe von ca. 1 kg Briketts	
			Anfang	nach 600 Sek.
CO	vol-%	14.60	7.20	5.20
CO ₂	vol-%	9.30	2.70	2.30
HC	vol-%	0.16	1.32	1.17

Weitere Angaben

Das Gerät ist wegen Motor, Ventilator und gefülltem Brennkessel schwer und unhandlich. Dank einem langen Gummischlauch muss es aber nicht bei jedem Einsatz verstellt werden. Es wird zur Zeit nicht vermarktet, könnte aber wieder gebaut werden.

Gerät 6: Anbaugerät Egger**EMPA Messungen (Anhang 3)**

Der Hersteller hat als Rauchbildner den Zusatz von Bitumen oder feuchtem Sägemehl empfohlen (letzteres nicht getestet). Die maximale CO-Konzentration bewegt sich in ähnlichem Rahmen wie bei Gerät 5. Der Zusatz von Bitumen vermindert den CO-Gehalt, im Gegensatz zu Briketts, nicht (Tabelle 2).

Tab. 2 Einfluss von Bitumen auf den Gehalt der Gase

Gerät 6		Gehalt ohne Bitumen	Zugabe von ca. 1 kg Bitumen	
			Anfang	nach 800 Sek.
CO	vol-%	12.70	13.70	13.50
CO ₂	vol-%	11.80	11.00	10.90
HC	vol-%	0.22	1.67	0.42

Weitere Angaben

Die Firma Egger wurde beim Tod des Inhabers aufgelöst, das Gerät wird nicht mehr hergestellt, Pläne sind nicht mehr vorhanden. Ein ähnlicher Nachbau wäre aber ohne große Schwierigkeiten möglich. Der Brennkessel fasst 15 kg Holzkohle, was ausreicht für eine Einsatzdauer von ca. drei Stunden. Das Gerät war mit einem 10 m Gummischlauch ausgerüstet. Für unseren Feldversuch brachten wir einen zweiten Schlauchanschluss an, das Gas konnte so wahlweise auf einen oder auf zwei Schläuche geleitet werden. Es war so möglich im Grünland einen gut 20 Meter breiten Streifen zu begasen.

Kosten und Effizienz der Begasung

Gerätekosten

Zur Zeit sind nur zwei Stosskarren auf dem Markt, es sind Weiterentwicklungen des oben beschriebenen Gerätes 1. Die Anschaffungskosten liegen bei SFR 2000.-/ DM 2600.-.

Der Verrechnungsansatz für die Begasungsgeräte 1 und 6 beträgt nach dem in der Schweiz üblichen FAT-Tarif SFR 13.50 pro Betriebsstunde (inklusive Benzin oder Holzkohle). Es wird dabei eine Lebensdauer von 10 Jahren, eine jährliche Auslastung von 80 Stunden, ein Benzinpreis von SFR 1.40 / l und ein Holzkohlepreis von SFR 1.30 / kg angenommen. Beim Motorgerät (Stosskarren) sind die Fixkosten etwas höher, beim Anbaugerät (Holzkohle) die variablen Kosten. Bei SFR 25.- pro Mannstunde und ca. SFR 23.- pro Schlepperstunde ergeben sich Totalkosten von SFR 48.50 / h für den Stosskarren und SFR 71.50 / h für das Anbaugerät.

Zeitbedarf

Entscheidend für die Kosten pro Flächeneinheit ist die Zahl der Begasungen und die Begasungsdauer. Normalerweise wird an einem Punkt so lange begast bis keine weitere Ausbreitung des Rauches mehr sichtbar ist. Die von den Geräteherstellern genannten zwei Minuten reichen nicht aus, drei bis vier Minuten sind realistischer. Für das Verstellen des Gerätes ist ebenfalls mindestens eine Minute zu veranschlagen, pro Gangsystem ist mit einem totalen Zeitaufwand von rund fünf Minuten zu rechnen. Bei dichter Besiedlung kann man während der Begasung laufend neue Begasungspunkte suchen. Bei dünner Besiedlung ist ein zusätzlicher Zeitbedarf erforderlich zum Suchen von Gängen und Begasungspunkten. Pro Stunde lassen sich je nach Situation 6-12 Gangsysteme begasen.

Kosten und Effizienz auf Grünland

Bei einer angenommenen Wühlmausdichte von 300-500 Tieren sind pro Hektare mindestens 60-100 Begasungen nötig, mit einem Zeitaufwand von mindestens 5 bis 9 Stunden pro Hektare. Oft sind die Gänge nach Beweidung oder nach Überfahrten mit schweren Maschinen unterbrochen. In solchen Fällen sind wesentlich mehr Begasungspunkte erforderlich und der Zeitaufwand steigt stark an. In einem unserer Bekämpfungsversuche benötigten zwei Arbeitskräfte, mit dem Egger-Anbaugerät und zwei Schläuchen für rund 2 Hektar 12 Stunden. Es fielen also folgende Kosten pro Hektar an:

Begasungsgerät	6 Stunden zu SFR 13.50	SFR 81.-
Schlepper	6 Stunden zu SFR 23.-	SFR 138.-
Personal	12 Stunden zu SFR 25.-	SFR 300.-
Total pro Hektare		rund SFR 520.-

Die genaue Mäusedichte der Parzelle war nicht bekannt, auf den Nachbarparzellen wurden auf Stichprobenlinien von 100 Metern Länge 29 bzw. 21 Mäuse festgestellt, was einer Population von 300-500 Tieren pro Hektare nahe kommt. Die Parzelle wird vorwiegend gemäht, war aber 5 Wochen vor der Begasung maßvoll beweidet worden. Ein Betrieb ist nicht in der Lage, kurzfristig 12 Stunden pro ha für die Mäusebekämpfung aufzuwenden. Er muss sich auf die wertvollsten Flächen des Betriebes beschränken. Die Kosten sind nur gedeckt wenn die Grasnarbe durch die Mäuse nachhaltig geschädigt würde, was nur ausnahmsweise der Fall ist. Meistens verschwindet ein erheblicher Teil der Population im Winter, noch bevor Schäden entstanden sind. Eine intensive Bekämpfung ist nur in höheren Lagen in Erwägung

zu ziehen, ob sie sich langfristig rechnet ist zweifelhaft. Ein Populationsmaximum wird ungefähr alle sechs Jahre erreicht, zu wirklich großen Schäden kommt es aber nur jedes dritte oder vierte mal. Eine dauernde Bekämpfung, wird von verschiedenen Beratern empfohlen um die Population immer unter 100 Mäusen pro Hektare zu halten. Diese Strategie scheitert an der fehlenden „langfristigen Motivation“ der Landwirte. Ob die kumulierten Kosten durch vermiedene Schäden aufgewogen würden ist ungewiss.

Kosten und Effizienz in intensiven Obstkulturen

Faktisch besteht eine Nulltoleranz für Wühlmäuse, schon wenige Tiere pro Hektar können pro Jahr mehr als ein Prozent der vorhandenen Bäume zerstören. Bei einem Baumkapital von SFR / DM 20'000-50'000 sind Bekämpfungsmaßnahmen schnell lohnend. Am wichtigsten scheinen die vorbeugenden Maßnahmen:

- Die Obstanlage mit einem „mäusedichten“ Zaun versehen. Der Wildschutzzaun wird 20 cm unter und 40-50 cm über Boden ergänzt durch ein dichtes Drahtgeflecht
- Das Gras durch Mulchen dauernd kurz halten.
- Unter den Bäumen den Boden durch Hacken mindestens zeitweise offen halten. Bei hohem Druck auch entlang des Zaunes den Boden offen halten.
-

Eine direkte Bekämpfung ist umgehend vorzunehmen, sobald Gänge festgestellt werden. Der Obstbauer sollte immer geeignetes Material mitführen, um Mäusebesatz sofort zu markieren z. B. Plastikband oder farbige Kunststoffstäbe. Beim Einsatz von Begasungsgeräten sind die Wegzeiten relativ groß. Die Leistung liegt vermutlich bei 5-7 Gängen pro Stunde; wenn man mehr erreicht, hat es schon zu viele Mäuse. Mit einem (Begasungs-)Aufwand von 2-3 Stunden pro Hektare und Jahr sollte es möglich sein, Schäden weitgehend zu vermeiden. Für vorbeugende Maßnahmen und Kontrollen sind im Mittel der Jahre weitere 7 Stunden nötig (Schätzungen von Praktikern ergeben in der Schweiz total 10 Stunden pro Hektare und Jahr für die Mäusebekämpfung). In Jahren mit Massenvermehrungen ist es lohnend, auch Grünland rund um die Obstanlage zu behandeln, der Aufwand steigt in diesem Fall erheblich an.

Gefahren

Anwender und andere Personen

In geschlossenen Räumen führt der Betrieb von Begasungsgeräten innerhalb kürzester Zeit zu lebensgefährlichen Vergiftungen. Im Freiland ist die Gefahr gering, weil sich das CO schnell verteilt. Die von einem einzelnen Gerät ausgebrachten Mengen sind gering, im Vergleich zu denjenigen, die in den Siebziger Jahren an einer Innenstadtkreuzung ausgestoßen wurden. Damals wurden Verkehrspolizisten nach einer Stunde abgelöst. Beim arbeiten an steilen Hängen und in Mulden wird zur Vorsicht gemahnt.

Tiere, Boden, Umwelt

Wiesel bewegen sich als Räuber oft in Mausgängen, wir haben bei unseren Populationserhebungen einzelne gefangen. Die Begasung ist tödlich für Tiere, die sich in den Gängen aufhalten. Durch die Begasung mit Abgasgeräten werden pro Gangsystem bis 100 Gramm Kohlenwasserstoffe eingebracht. Über mögliche negative Auswirkungen ist wenig bekannt. Vermutlich erfolgt bei den meisten Stoffen ein relativ guter Abbau, einzelne könnten aber auch persistent sein.

Anhang 1 (Abschrift EMPA-Bericht 47531; Auftraggeber FAT)
Begasungsgeräte: Zusammensetzung und Menge der Gase

Gerät	①					②				
Lieferant	Leutenegger / Brühwiler					Prototyp (Silent)				
Technische Daten										
	ELEU-Stoßkarren					Selbstfahrer				
Motortyp	Briggs Stratton					Briggs Stratton				
Hubvolumen	ccm	127				148				
Anzahl Zylinder	1					1				
Leistung	kW	2.20				2.57				
Nenn Drehzahl	min ⁻¹	3600				3600				
Arbeitsweise	4T					4T				
Treibstoff Motor	Normalbenzin					Normalbenzin				
Zusatzeinspritzung	kontinuierlich					manuell, stoßweise				
Zusatzgemisch für Markierung	Normalbenzin mit 4% A)					Normalbenzin mit 4 vol% Motorenöl				
Gebläseantrieb über	—					—				
Messwerte										
Baro	Torr	734				734				
Raumtemperatur	°C	20				20				
Messdrehzahl	min ⁻¹	4100				2050	3200			
Staudruck	mm WS	—	100	280	360	—	—	—	—	—
Zusatzgemisch		ja	ja	ja	ja	nein	nein	1s-St	2s-St	4s-St
V _R (Abgas)	l/min.	105	104	96	93	51	78	78	78	78
Konzentrationen										
CO	vol%	9.75	9.80	9.80	9.70	10.48	8.03	—	7.40	7.80
CO ₂	vol%	5.43	5.45	5.49	5.34	6.53	8.71	7.80	8.20	8.80
HC _{C1}	ml/m ³	353280	338850	338000	325500	25220	26320	53841	279000	409791
	vol%	35.33	33.88	33.8	32.55	2.52	2.63	5.38	27.9	40.98
Abgasausstoß										
V (CO)	l/min. l/St	10.23 —	10.18 —	9.39 —	9.00 —	5.35 —	6.28 —	— —	— 5.79	— 6.10
V (CO ₂)	l/min l/St	5.70 —	5.66 —	5.26 —	4.96 —	3.33 —	6.81 —	— 6.10	— 6.41	— 6.88
V (HC) _{C1}	l/min. l/St	37.08 —	35.19 —	32.40 —	30.20 —	1.29 —	2.06 —	— 4.21	— 21.81	— 32.05
M (CO)	g/min. g/St	12.75 —	12.74 —	11.74 —	11.25 —	6.69 —	7.85 —	— —	— 7.24	— 7.63
M (CO ₂)	g/min. g/St	11.27 —	11.19 —	10.40 —	9.80 —	6.59 —	13.46 —	— 12.06	— 12.68	— 13.61
M (HC) _{C1}	g/min. g/St	23.00 —	21.80 —	20.00 —	18.69 —	0.80 —	1.27 —	— 2.61	— 13.51	— 19.84

l/St = Liter pro Stoß A) Auf Grund chemischer Analyse A vermutlich Gemisch von
g/St = Gramm pro Stoß ca. 60% Diesel und 40% Zweitaktöl
s-St = Anzahl Ventilstöße

**Anhang 2 (Abschrift aus EMPA-Bericht 47531; Auftraggeber FAT)
 Begasungsgeräte: Zusammensetzung und Menge der Gase**

Gerät	③				④		
Lieferant	OBI						
Technische Daten							
					Motorsäge		
Motortyp	ALN 330 WB (ACME Motori)				Husquarna		
Hubvolumen	ccm	327				61.5	
Anzahl Zylinder		1				1	
Leistung	kW	6					
Nenn Drehzahl	min ⁻¹	3600				~12000	
Arbeitsweise		4T				2T	
Treibstoff Motor		Normalbenzin				Normalbenzin mit Zusatz- gemisch 1:10	
Zusatzeinspritzung		Injektor					
Zusatzgemisch für Markierung		Normalbenzin mit 4 vol% Motorenöl				B) 1:10	
Messwerte							
Baro	Torr	734				734	
Raumtemperatur	°C	20				20	
Messdrehzahl	min ⁻¹	2500	3050		~12000		
Staudruck	mm WS	—	—	100	100	—	110
Zusatzgemisch		ja	ja	ja	nein	ja	ja
V _R (Abgas)	l/min.	83.31	116.6	106.2	106.2	204.6	190.5
Konzentrationen							
CO	vol%	1.28	5.92	4.90	2.95	4.80	4.80
CO ₂	vol%	13.65	10.51	11.41	12.45	2.10	2.10
HC _{C1}	ml/m ³ 1)	56850	149556	113644	90000	79200	79200
		98700	262176	388860	—	—	—
	vol% 1)	5.68	14.95	11.36	9.00	7.92	7.92
		9.87	26.21	38.88	—	—	—
Abgasausstoß							
V (CO)	l/min.	1.07	6.9	5.35	3.16	9.82	9.14
V (CO ₂)	l/min	11.37	12.26	12.18	13.34	4.30	4.04
V (HC) _{C1}	l/min.	4.745	17.44	12.13	9.643	16.2	15.08
	l/St	8.220	30.58	41.5	—	—	—
M (CO)	g/min.	1.34	8.63	6.54	3.95	12.28	11.43
M (CO ₂)	g/min.	22.48	24.23	24.07	26.37	8.49	7.98
M (HC) _{C1}	g/min.	2.93	10.88	7.51	5.97	10.03	9.34
	g/St	5.09	18.93	25.69	—	—	—

l/St = Liter pro StoßB) 1) Mittelwert

g/St = Gramm pro Stoß 2) Maximalwert bei Injektorstoß

A) Auf Grund chemischer Analyse B

vermutlich Motorenöl SAE 20

**Anhang 3 (Abschrift aus EMPA-Bericht 47531; Auftraggeber FAT)
Begasungsgeräte: Zusammensetzung und Menge der Gase**

Gerät	⑤								⑥			
Lieferant	Liggenstorfer 8408 Winterthur								AG	Egger & Co. 6312 Steinhausen		
Technische Daten												
	Boilerförmige Feuerkessel als Gaserzeuger											
Motortyp	Cilo											
Hubvolumen	ccm	45										
Anzahl Zylinder	1										Traktor	
Nenn Drehzahl	min ⁻¹	max. 6000										
Arbeitsweise	2T											
Treibstoff Motor	2T-Gemisch											
Brennstoff Gaserzeuger	Holzkohle										Holzkohle	
Zusatzgemisch für Markierung	Briketts										Bitumen	
Gebläseantrieb über	Cilo-Motor										Zapfwelle Traktor 1:7	
Messwerte												
Baro	Torr	734								734		
Raumtemperatur	°C	15								15		
Messdrehzahl	min ⁻¹	1550		2500		5000		6000		230	350	
Zusatzgemisch		nein	ja	nein	ja*	nein	ja	ja	nein	nein	ja	
V _R (Abgas)	l/min.	101.81	101.81	134.0	134.0	316.4	316.4	—	91.0	143.0	143.0	
Konzentrationen												
										K1	K2	K3
CO	vol%	13.20	15.20	14.60	5.20	15.80	5.20	5.20	9.70	12.70	13.50	
CO ₂	vol%	10.75	—	9.33	2.25	7.50	—	—	15.20	11.84	10.94	
HC _{C1}	ml/m ³	1196	4785	1645	11664	2543	8973	10770	3288	2214	4185	
	vol%	0.119	0.478	0.164	1.160	0.250	0.890	1.077	0.328	0.221	0.418	
Abgasausstoß												
V (CO)	l/min.	13.44	—	19.42	7.04	49.90	—	—	8.83	18.47	19.15	
V (CO ₂)	l/min	10.94	—	12.41	3.05	25.00	—	—	13.84	17.71	15.52	
V (HC) _{C1}	l/min.	0.122	—	0.22	1.57	0.80	—	—	0.30	0.32	0.59	
M (CO)	g/min.	16.79	—	24.30	8.80	99.00	—	—	11.03	23.1	23.94	
M (CO ₂)	g/min.	21.64	—	24.50	6.02	31.30	—	—	27.40	34.00	30.68	
N (HC) _{C1}	g/min.	0.075	—	0.135	0.98	0.49	—	—	0.19	0.199	0.37	

* = Werte nach 600 s

K1 = stabilisierte Werte nach 540 s

K2 = stabilisierte Werte nach 280 s

K3 = stabilisierte Werte nach 800

Literatur

HÖHN E (1984): Mäusevergasungsgeräte objektiv betrachtet. Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau **120**: 42-46.

FAT(2000): Maschinenkosten 2001. FAT Berichte **554/2000**

Begasungsmaßnahmen - stoffliche Zusammensetzung der Gase, Effizienz und Gefahren