

Entwicklung von nachhaltigen Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen (*Microtus arvalis*)

Development of sustainable methods for common vole (*Microtus arvalis*) management

FKZ: 12NA055, 12NA120 und 12NA121

Projektkoordination:

Julius Kühn-Institut (JKI)

Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, AG Wirbeltierforschung

Toppeideweg 88, 48161 Münster

Tel.: +49 251 8710645

Fax: +49 251 8710633

E-Mail: jens.jakob@julius-kuehn.de

Internet: <https://www.julius-kuehn.de/>

Autoren:

Schlötterburg, Annika; Wolff, Christian; Plekat, Alexandra; Wittmann, Christian; Jacob, Jens

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

**Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft**

**Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von
Feldmäusen (*Microtus arvalis*)**

- Abschlussbericht -

Förderkennzeichen: 2812NA055

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2014-31.12.2018

Am Projekt beteiligte Kooperationspartner:



Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in
Gartenbau und Forst, AG Wirbeltierforschung,
Toppeideweg 88, 48161 Münster



Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau
Sachsen-Anhalt, Dezernat für Pflanzenschutz,
Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg



Detia Freyberg GmbH, Dr.-Werner-Freyberg-Str. 11,
69514 Laudendach

Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen (*Microtus arvalis*)

Julius Kühn-Institut (JKI):

M.Sc. Annika Schlötelburg, Telefon +49 (0)251 8710642,

E-Mail annika.schloetelburg@julius-kuehn.de

Dr. Jens Jacob, Telefon +49 (0)251 8710645,

E-Mail jens.jacob@julius-kuehn.de

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG):

Dipl.-Ing. Christian Wolff, Telefon +49 (0)3471 334345,

E-Mail christian.wolff@llg.mule.sachsen-anhalt.de

M.Sc. Alexandra Plekat, Telefon +49 (0)3471 334358,

E-Mail alexandra.plekat@llg.mule.sachsen-anhalt.de

Christian Wittmann, Telefon +49 (0)3471 334358,

E-Mail christian.wittmann@llg.mule.sachsen-anhalt.de

Detia Freyberg GmbH:

Dr. Gerhard Jakob, Telefon +49 (0)6201 708256,

E-Mail gerhard_jakob@detia-degesch.de

Zusammenfassung:

Feldmäuse (*Microtus arvalis*) können schwere Schäden in der europäischen Landwirtschaft verursachen und werden bei Bedarf mit Rodentiziden bekämpft. Nicht-chemische, großflächig anwendbare Alternativen stehen nicht zur Verfügung, was besonders im ökologischen Anbau ein Problem ist. Potenziell geeignete nachhaltige Methoden wurden im Labor entwickelt und in Feldversuchen an Feldrändern angewendet: 1) Pflugfurche mit Repellentien auf abbaubarem Trägermaterial (Dispenser); 2) Pflugfurche mit „Selbstbedienungsfallen“ für Prädatoren, die mit einem attraktiven Feldmaus-Köder bestückt sind.

Eine am Markt verfügbare Selbstbedienungs Falle ist die Standby-Box (Andermatt Biocontrol AG). Dieser Fallen-Typ wurde mit der im Projekt entwickelten Fangwanne verglichen, die an die Form der Pflugfurche angepasst ist. In Feldversuchen stellte sich heraus, dass die Fangwanne zwei entscheidende Vorteile hat. Durch die obere Öffnung 1) können Langschwanzmäuse entkommen (weniger Beifang); 2) haben Vögel Zugang zu Feldmäusen in

der Falle. Dementsprechend konnten mehr Prädatoren und Feldmaus-Entnahmen bei den Fangwannen beobachtet werden. In Gehegeversuchen unterschied sich die Fängigkeit beider Fallen nicht.

Die Fängigkeit der Feldmäuse kann durch einen attraktiven Köder erhöht werden. Im Labor wurden 22 Naturstoffe gescreent. Mit den drei erfolgversprechendsten Stoffen Bisabolol, Eugenol und Maltol als Attraktantien und einer Luzerne-Getreidemischung als Köder-Basis wurden drei neue Köder in Pelletform formuliert. In Gehegeversuchen konnte der Maltol-Köder die Fängigkeit um 60% im Vergleich zum Kontroll-Köder (Pellets ohne Attraktanz) erhöhen. Die Köderaufnahme war jedoch bei den Kontroll-Pellets bei allen drei Varianten höher.

Als geeignetes Feldmaus-Repellent wurden 17 Stoffe im Labor gescreent und die vier erfolgversprechendsten Stoffe Benzaldehyd, Fichtennadel-, Karottensamen- (KS) und Schwarzer Pfefferöl (SP) im Gehege getestet. Mit Schwarzer Pfefferöl konnten die geringste Migrationsrate und mit der Kombination aus SP + KS die geringste Futteraufnahme erzielt werden. Als Dispenser setzte sich das Zellstoffband vor den Zellstoffkugeln und dem Tongranulat durch.

Die Repellent-Variante mit SP + KS auf Zelluloseband sowie die Fangwannen mit dem Maltol-Köder wurden in Feldversuchen in Pflugfurchen am Feldrand ausgebracht und mit zwei experimentellen Kontrollen verglichen 1) Zinkphosphid-Applikation in unterirdische, künstliche Tunnel mit der Mäuseköderlegemaschine WUMAKI C9 und 2) kein Management.

In dem über drei aufeinanderfolgenden Jahren durchgeführten Feldversuchsprogramm kam es auf keinem der jeweils fünf Versuchsstandorte zu einer Feldmaus-Massenvermehrung. Durch das geringe Feldmausauftreten im Zeitraum 2015/16-2017/18 sind Aussagen zur Wirksamkeit der Management-Methoden unter Feldbedingungen nicht möglich. Wenn die Barrierewirkung während einer Massenvermehrung verifiziert werden kann, wäre dies ein Schritt zu einem ökologisch verträglichen und nachhaltigen Feldmaus-Management.

Development of sustainable methods for common vole (*Microtus arvalis*) management

Common voles (*Microtus arvalis*) can cause severe crop damage in European agriculture and are usually managed with rodenticides. Non-chemical, large-scale alternatives do not exist

causing challenges especially for organic farming. Methods potentially suitable for organic production were developed in laboratory and applied in field trials along the refuge-crop interface: 1) ploughed furrow with repellents in biodegradable dispensers; 2) ploughed furrow with “self-service traps” for predators equipped with an attractive common vole bait.

A commercially available self-service trap is the standby-box (Andermatt Biocontrol AG). We compared this trap type with a tub trap developed by us that was adapted to the shape of the ploughed furrow. Due to its open top 1) species belonging to the family Muridae can jump out of the trap (less bycatch); 2) birds have access to voles in the trap. Consequently, more predators and more vole removals could be observed at the tub trap. In enclosures, trapability of voles did not differ between trap types.

An attractive bait can increase trapability of voles. In the laboratory, 22 natural products were screened. With the three most promising substances bisabolol, eugenol and maltol as attractants and an alfalfa-grain mixture as bait base, three new pellet baits were formulated. In enclosure trials, trap success with maltol baits was 60% higher in comparison to trapping with the control bait (pellets without attractants). However, bait uptake of control pellets was higher in comparisons to the three new baits.

As potential common vole repellent, 17 natural products were screened in the laboratory and the four most promising substances benzaldehyde, black pepper oil (SP), carrot seed oil (KS) and spruce needle oil were tested further in enclosures. Lowest migration rate was achieved with SP and lowest food uptake with the combination of SP + KS. A cellulose ribbon was a better dispenser option than cellulose balls or clay granules.

The repellent ribbon with SP + KS as well as the tub traps were applied in a ploughed furrow along field margins and compared to two experimental controls: 1) zinc phosphide application in subterranean, artificial tunnels with the WUMAKI C9 bait applicator and 2) no management action. In field trials, conducted for three consecutive years, outbreaks of common voles did not occur. Due to the low occurrence of common voles in the period 2015/16-2017/18, reliable statements about the effectiveness of the management methods under field conditions are not possible. If effectiveness of these barriers could be proven during outbreaks, it would be a step closer to an ecologically-based and sustainable management.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	10
1.1 Gegenstand des Vorhabens	10
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	12
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	13
2. Stand der Wissenschaft und Technik	17
3. Material und Methoden	21
3.1 Selbstbedienungsfalle für Prädatoren	21
3.1.1 Fängigkeit der Feldmäuse.....	23
3.1.2 Entnahme durch Prädatoren	24
3.1.3 Statistische Auswertung	25
3.2 Köderentwicklung mit Attraktantien	27
3.2.1 Screening der Attraktantien im T-Labyrinth.....	27
3.2.2 Futterwahlversuche zur Auswahl der Getreidebasis.....	29
3.2.3 Gehegeversuche mit drei neuen Ködern.....	30
3.2.4 Statistische Auswertung	31
3.3 Repellentien	32
3.3.1 Screening der Repellentien im T-Labyrinth	32
3.3.2 Gehegeversuche mit vier Repellentien Auf Zellstoffkugeln.....	33
3.3.3 Gehegeversuche mit verschiedenen Dispensern	35
3.3.4 Statistische Auswertung	36
3.4 Feldversuche zum Vergleich ausgewählter Management-Methoden	37
3.4.1 Management-Methoden	37
3.4.2 Auswahl der Versuchsflächen.....	39
3.4.4 Befallsermittlungen	41
3.4.5 Erfassung von Feldmausschäden.....	43
3.4.6 Statistische Auswertung	44
4. Ergebnisse	46
4.1 Selbstbedienungsfalle für Prädatoren	46
4.1.1 Fängigkeit der Feldmäuse.....	46
4.1.2 Entnahme durch Prädatoren	47

4.2 Köderentwicklung mit Attraktantien	51
4.2.1 Screening der Attraktantien im T-Labyrinth.....	51
4.2.2 Futterwahlversuche zur Auswahl der Getreidebasis.....	51
4.2.3 Gehegeversuche mit drei neuen Ködern.....	52
4.3 Repellentien	54
4.3.1 Screening der Repellentien im T-Labyrinth	54
4.3.2 Gehegeversuche mit vier Repellentien und verschiedenen Dispensern	55
4.4 Feldversuche zum Vergleich ausgewählter Management-Methoden	56
4.4.1 Versuchsansatz 2015/16.....	56
4.4.2 Versuchsansatz 2016/17.....	59
4.4.3 Versuchsansatz 2017/18.....	61
5. Diskussion der Ergebnisse	63
5.1 Selbstbedienungsfalle für Prädatoren.....	63
5.2 Köderentwicklung mit Attraktantien	66
5.3 Repellentien	68
5.4 Feldversuche zum Vergleich ausgewählter Management-Methoden	71
6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen der Ergebnisse	75
7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	76
8. Zusammenfassung	78
9. Danksagungen.....	81
10. Literaturverzeichnis	82
11. Veröffentlichungen.....	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Projektziel war eine Barrierewirkung.....	13
Abbildung 3.1: Selbstbedienungsfallen für Prädatoren, die Kleinsäuger fangen, von Prädatoren kontrolliert und entleert werden	21
Abbildung 3.2: Technische Zeichnung des Fangwannen-Prototyps.....	23
Abbildung 3.3: Aufbau der Versuche zur Köderentwicklung	27
Abbildung 3.4: Aufbau der Versuche zur Repellent-Entwicklung	32
Abbildung 3.5: Versuchsaufbau zum Gehegeversuch mit Repellentien	35
Abbildung 3.6: Vergleich der Management-Methoden im Feld	37
Abbildung 3.7: Einsatz von Luzerne-Maltol-Pellets in selbstentwickelter Fangwanne sowie in der Falle gefangene Feldmäuse	40
Abbildung 3.8: Skizze der für den Vergleich der Management-Methoden ausgewählten Fläche im Salzlandkreis für den Versuchsansatz 2017/18	41
Abbildung 3.9: Schema der Fallenordnung	42
Abbildung 4.1: Modell-berechnungen (GLMM) für Feldmaus-Fänge mit Fangwanne und Standby-Boxwährend fünf Fallenkontrollen.	46
Abbildung 4.2: Anteil der gefangenen Feldmäuse mit Fangwannen und Fangwannen Prototyp (P) im Vergleich zur Standby-Box während der Gehegeversuche	47
Abbildung 4.3: Wildtierkamerabilder der Prädatoren bei der Feldmaus-Entnahme aus den Standby-Boxen und Fangwannen (Beispiele).....	48
Abbildung 4.4: Anteil der durch die verschiedenen Prädatoren aus den Fangwannen und Standby-Boxen entnommen Feldmäuse während der Feldversuche im Herbst 2017 und Sommer 2018 insgesamt.....	49
Abbildung 4.5: Anteil der von Fressfeinden innerhalb von 12 h aus Fangwannen/Standby-Boxen entnommenen Feldmäuse	49
Abbildung 4.6: Modellberechnungen (GLM) für einen Raubsäugerbesuch innerhalb von 24 h in Abhängigkeit vom Anteil bebauter Flächen	50
Abbildung 4.7: Modellberechnungen (GLM) für einen Raubvogelbesuch im Sommer 2018 innerhalb von 24 h	50
Abbildung 4.8: Modell-berechnungen (GLM) für den Anteil der Feldmäuse, die sich im T-Labyrinth mit der Falle mit Stoff fangen lassen	51
Abbildung 4.9: Gefressene Pellet- und Weizenmengen im Futterwahl-Käfigversuch innerhalb von 24 h.....	52
Abbildung 4.10: Modellberechnungen (GLMM) für den Anteil der Feldmaus Weibchen und – Männchen, die sich im Gehegeversuch mit den drei Attraktanz-Ködern fangen lassen.....	52
Abbildung 4.11: Anteil der gefressenen Attraktanz-Ködermengen im Futterwahl-Gehegeversuch innerhalb von 24 h	53

Abbildung 4.12: Anteil der Aufenthaltszeit einer Feldmaus in den unterirdischen Boxen mit Attraktanz-Köder im Futterwahl-Gehegeversuch.....	54
Abbildung 4.13: Anteil der Aufenthaltszeit und Besuchsanzahl in der behandelten Box des T-Labyrinths.....	54
Abbildung 4.14: Modell-berechnungen (GLMM) für den Anteil der Migrationen von Feldmaus Weibchen und -Männchen während der Gehegeversuche mit Repellentien	55
Abbildung 4.15: Anteil der Nahrungsaufnahme der Feldmaus-populationen beim Kontroll-Gang während der Gehegeversuche mit Repellentien.....	56
Abbildung 4.16: Anzahl der in den Refugien der fünf Versuchsstandorte 2015/16 gefangenen Feldmäuse.	57
Abbildung 4.17: Anzahl der auf der Ackerfläche der fünf Versuchsstandorte 2015/16 gefangenen Feldmäuse.	58
Abbildung 4.18: Anzahl ährentragender Halme je m ² von Winterweizen	59
Abbildung 4.19: Anzahl der auf den Refugien der fünf Versuchsstandorte 2016/17 gefangenen Feldmäuse.	60
Abbildung 4.20: Anzahl der in den Feldversuchen 2015/16 pro Fangperiode gefangener Feldmäuse in Abhängigkeit von Fangort und Management-Methode.....	60
Abbildung 4.21: Eingeschneite Fangwanne in der Pflugfurche und durch Niederschlag aufgeweichte Luzerne-Maltol-Pellets in einer Fangwanne	61
Abbildung 4.22: Anzahl der im Refugium der Versuchsstrecken (unterschiedliche Management-Methoden) gefangenen Feldmäuse.....	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Zusammenfassung nicht-chemischer und präventiver Verfahren zum Feldmausmanagement.....	11
Tabelle 3.1: Ausgewählte Stoffe für das Screening der Attraktantien.	28
Tabelle 3.2: Ausgewählte Stoffe für das Screening der Repellentien.	34
Tabelle 3.3: Zur Durchführung der Feldversuche ausgewählte Versuchsflächen.	39
Tabelle 3.4: Zeiträume der Feldmauserfassung.	42
Tabelle 3.5: Flächen und Zeitpunkte der Erstellung von Luftbildern.	44

Abkürzungsverzeichnis

BA	Benzaldehyd
Bis	Bisabolol
dc	Doppelte Konzentration
Eug	Eugenol
g.E.	Glykolischer Extrakt
FN	Fichtennadelöl
GLM	Generalisiertes Lineares Modell
GLMM	Generalisiertes Lineares Gemischtes Modell
GLS	Verallgemeinerte Kleinste-Quadrate-Schätzung
KS	Karottensamenöl
LD ₅₀	Lethale Dosis, bei der 50% der Versuchstiere sterben
LMM	Lineares Gemischtes Modell
Mal	Maltol
MKL	Mäuseköderlegemaschine
SD	Standardabweichung
SP	Schwarzer Pfefferöl
V	Vanillin
Vol.	Volumen
W.	Winter

1. EINFÜHRUNG

1.1 GEGENSTAND DES VORHABENS

Die Feldmaus (*Microtus arvalis*) ist eines der häufigsten Säugetiere in unserer Kulturlandschaft (Mitchell-Jones *et al.*, 1999) und kann erhebliche Schäden an Kulturpflanzen wie Raps und Getreide hervorrufen (Jacob & Tkadlec, 2010). Diese Schäden kommen regional unterschiedlich und in regelmäßigen Abständen vor. Alle zwei bis fünf Jahre können Massenvermehrung auftreten (Frank, 1953; Mackin-Rogalska & Nabaglo, 1990), bei denen Populationsdichten von mehr als 1000 Individuen/ha erreicht werden (Bryja *et al.*, 2001). Eine Grundlage für Massenvermehrungen der Feldmaus ist das hohe Fortpflanzungspotenzial. Weibchen sind ab dem 11. Lebensstag reproduktionsfähig und bringen nach einer Tragezeit von 20 Tagen ca. sieben Junge zur Welt (Frank, 1956; Heise *et al.*, 1991). Die ursächlichen Faktoren sind aber weiterhin unklar. Während dieser Massenvermehrungen beginnen Feldmäuse ihre primären Habitate, die von Management-Maßnahmen ungestörten, grasbewachsenen Randgebiete (Refugien), zu verlassen und zunehmend auf Kulturflächen einzuwandern (Jacob *et al.*, 2014).

Um ihre Ernte zu schützen, setzen Landwirte bei Bedarf Rodentizide ein. Allein 2006 wurden in Deutschland 50.000 Hektar mit Rodentiziden behandelt (Barten, 2008). Der einzige für die Feldmausbekämpfung im integrierten Anbau zugelassene Wirkstoff ist Zinkphosphid, welcher in seiner Wirkung als Zellgift und der daraus folgenden Symptomatik bezüglich des Tierschutzes nicht unumstritten ist. Rodentizide sind auch für andere Arten toxisch (Joermann, 1998), so dass auch Nicht-Zielarten, wie z.B. Vögel, gefährdet sein können (Brown *et al.*, 2002; Jacob & Leukers, 2008). Für Zinkphosphid-Anwendungen ist diese Problematik jedoch untergeordnet, weil nur die verdeckte Ausbringung zulässig ist und dadurch die Köder nicht direkt von Vögeln aufgenommen werden können (Jacob *et al.*, 2014). Vergiftungen von Raubtieren und Greifvögeln treten nicht auf, weil das eigentlich toxische Agens Phosphingas, das durch den Kontakt von Zinkphosphid und Magensäure entsteht, sehr schnell in unbedenkliche Stoffe zerfällt.

Die Effektivität der Zinkphosphid-Applikation kann jedoch reduziert sein, wenn attraktive Nahrungsalternativen verfügbar sind, sich eine Köderscheu entwickelt oder wenn Feldmäuse aus den Randgebieten einwandern (Jacob *et al.*, 2009; Jacob *et al.*, 2014). Feldmauspopulationen können sich bereits nach drei Monaten vollständig vom Rodentizid-

Einsatz erholen (Hein & Jacob, 2018; Leukers *et al.*, 2014); jedoch ist die Anwendung in Deutschland auf einmal jährlich begrenzt. Zudem sind chemisch-synthetische Rodentizide keine Optionen im ökologischen Anbau. Auch der konventionelle Anbau könnte von neuen Management-Methoden profitieren, welche die aufwendige und begrenzt wirksame Ausbringung von Zinkphosphid ersetzen bzw. unterstützen könnten.

Alternative praktikable Methoden für den nachhaltigen großflächigen Einsatz gegen Feldmäuse existieren kaum (Jacob & Pelz, 2005; Leukers *et al.*, 2014). Die meisten Methoden lassen sich meist nur auf kleiner räumlicher Skale anwenden und die tatsächliche Wirksamkeit ist häufig unbekannt (Tab. 1.1).

Tabelle 1.1: Zusammenfassung nicht-chemischer und präventiver Verfahren zum Feldmausmanagement (nach Leukers *et al.*, 2014); Anw. – in Anwendung; I.d.E. – in der Entwicklung; Unz. – unzulässig.

Maßnahmen	Zielkultur	Anw.	I.d.E.	Unz.
Förderung natürlicher Feinde durch Sitzkrücken	Ackerbau/Grünland	X		
Vorbeugende Feldbearbeitung – Mahd mit Mulchen	Ackerbau/Grünland	X		
Schwarzbrache/Fruchtfolgegestaltung	Ackerbau/Grünland	X		
Tiefe Grundbodenbearbeitung	Ackerbau/Grünland	X		
Pflugstreifen am Ackerrand	Ackerbau/Grünland	X		
Barrierezaun mit Fallen	Ackerbau/Grünland		X	
Bakterienpräparate	Ackerbau/Grünland			X
Unterschluß für natürliche Feinde	Obst-/Gemüsebau	X		
Barrierezäune	Obst-/Gemüsebau	X		
Drahtkörbe um Wurzelballen	Obst-/Gemüsebau	X		
Ablenkfütterung	Obst-/Gemüsebau		X	
Repellentien	Obst-/Gemüsebau		X	
Immunokontrazeption	Landwirtschaft		X	

Eine kleinskalige Anwendung ist aber möglicherweise ausreichend, wenn die Einwanderung von Feldmäusen von Refugien in Ackerflächen deutlich verringert werden kann, obwohl sich Gegenmaßnahmen auf diese kleine Grenzfläche beschränken. Auch auf der Grundlage fundierter Kenntnisse über die räumlich-zeitliche Ausbreitungsdynamik der Feldmäuse erscheinen Gegenmaßnahmen an der Grenze zum Kulturland erfolgversprechend, um die großflächige Ausbreitung von Feldmäusen zu minimieren (Jacob *et al.*, 2003a).

Die angestrebte Barrierewirkung könnte durch eine tiefe Pflugfurche in Verbindung mit Repellentien oder „Selbstbedienungsfallen“ für Prädatoren erreicht werden (Abb. 1.1). Die Pflugfurche an der Grenze zwischen Refugium und Ackerfläche stellt für einwandernde Feldmäuse vor allem dann ein Hindernis dar, wenn die steile Wand der Pflugfurche an den Acker grenzt (Wieland, 1997). Gelangen die Tiere auf ihrem Weg vom Refugium auf die Ackerfläche in die Pflugfurche, werden sie sich wahrscheinlich zunächst innerhalb der Furche bewegen. Wenn sie dort auf Repellentien treffen, sollten sie den „leichteren Weg“ über die schräge Wand der Pflugfurche zurück in das Refugium wählen. Wenn sie auf eine Falle treffen, dürfte diese eine Struktur darstellen, die Schutz bietet, deshalb eine gewisse Attraktivität ausstrahlt und von den Feldmäusen aufgesucht wird. Als Fallentyp haben Selbstbedienungsfallen für Prädatoren den Vorteil, dass nicht der Landwirt die Falle kontrollieren oder reaktivieren muss, sondern Prädatoren wie z.B. Füchse oder Katzen lernen, die Mäuse aus den Fallen zu entnehmen.

Dadurch sollten die Tiere rechtzeitig an der Ausbreitung gehindert werden, anstatt erst nach Ausbreitung und Vermehrung großflächig Rodentizide anzuwenden. Zudem konzentrieren sich die Gegenmaßnahmen auf sehr kleine Areale (Refugien, Grenzflächen) und der Umfang des großflächigen Einsatzes von Rodentiziden könnte verringert werden.

1.2 ZIELE UND AUFGABENSTELLUNG DES PROJEKTS

In diesem Projekt sollen geeignete Management-Methoden identifiziert und getestet werden, um die Ausbreitung der Feldmäuse von den Refugien auf landwirtschaftliche Nutzflächen vor allem im Ökolandbau zu reduzieren. Dazu gehörten Verfahren, wie das Ziehen einer tiefen Furche kombiniert mit Repellentien aus nicht toxischen Naturstoffen in geeigneten Dispensern sowie Selbstbedienungsfallen für Prädatoren mit Attraktantien, die für den Ökolandbau geeignet sind. Als Selbstbedienungsfallen wurden die käuflich erwerbliche Standby-Box und die entwickelte Fangwanne getestet. Für die neue Anwendung von Attraktantien in Standby-Boxen/ Fangwannen sollten neue Formulierungen getestet werden, um die Fängigkeit zu erhöhen.

Durch die Barrierewirkung sollte ein präventiver Flächenschutz erreicht werden, um die signifikanten Feldmausprobleme bei Massenvermehrungen im Ökolandbau deutlich zu verringern und auch die Mittelanwendung im integrierten Anbau spürbar zu reduzieren. Dies

sollte die Nachhaltigkeit der Schädnerbekämpfung erheblich fördern sowie durch Entlastung des Naturhaushaltes dem Arten- und Tierschutzgedanken Rechnung tragen.



Abbildung 1.1: Projektziel war eine Barrierewirkung zwischen dem Refugium der Feldmäuse (rechts) und der Kulturfläche (links) durch die Kombination einer Pflugfurche (gezogen mit einem einscharigen Pflug) mit 1) Selbstbedienungsfallen für Prädatoren oder 2) Repellentien. (Bild: JKI, A. Schlötelburg)

Die o.g. Verfahren für den Ökolandbau sollten im Sinne der Richtlinie für eine nachhaltige Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten stehen. Das Projekt diene dadurch auch der Weiterentwicklung des integrierten Pflanzenschutzes sowie der Risikominderung im Pflanzenschutz und verfolgte damit wichtige Ziele des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP). Es sollten Wissens- und Erfahrungslücken im ökologischen Landbau und anderer Anbausysteme geschlossen und damit die Wettbewerbsfähigkeit dieser Anbauverfahren nachhaltig gestärkt werden.

1.3 PLANUNG UND ABLAUF DES PROJEKTES

Im ersten Projektjahr 2014 konnten die folgenden geplanten Punkte erfolgreich bearbeitet werden (vgl. Projektantrag 11/2013):

- Planung und Vorbereitung der verschiedenen Versuche (z.B. Materialbeschaffung, Beantragung der Tierversuchsgenehmigungen, Flächenauswahl, Literaturrecherche)

- Entwicklung und Bau einer Fangwanne, angepasst an die Form der Pflugfurche
- Je drei Versuchsdurchgänge zu zwei Feldversuchen mit den Standby-Boxen/ Fangwannen (1. Fängigkeit der Feldmäuse; 2. Entnahme durch Prädatoren)
- Entwicklung einer Ködergrundlage

Es konnte folgende Punkte nicht bearbeitet werden:

- Die Labyrinth- und Gehegeversuche zur Auswahl der Attraktantien und Repellentien wurden durch die neun Monate verspätete Erteilung der Tierversuchsgenehmigung verzögert.

Im zweiten Projektjahr 2015 konnten die folgenden geplanten Punkte erfolgreich bearbeitet werden:

- Durchführung und Auswertung der Labyrinth-, Futterwahl- und Gehegeversuche mit Attraktantien zur Köder-Entwicklung am JKI

Es konnte folgende Punkte nicht bearbeitet werden:

- Die Feldversuche zu den verschiedenen Management-Methoden wurden wie geplant begonnen, mussten jedoch aufgrund geringer Feldmaus-Aktivität und mehrfacher Sabotage der Versuchsanlagen abgebrochen werden.
- Durch die verspätete Erteilung der Tierversuchsgenehmigung konnten die Versuche zur Auswahl der Repellentien und zur Entwicklung des Dispensers zwar begonnen, aber erst 2016 beendet werden.

Im dritten Projektjahr 2016 konnten die folgenden geplanten Punkte erfolgreich bearbeitet werden:

- Durchführung und Auswertung der Labyrinth- und Gehegeversuche mit Repellentien und verschiedenen Dispensern am JKI
- Von April bis Juni wurden die Fangwannen in der Pflugfurche als Management-Methode im Vergleich zur Zinkphosphid-Behandlung (ausgebracht mit Mäuseköderlegemaschine WUMAKI C9) und einer unbehandelten Kontrolle auf Versuchsflächen in Sachsen-Anhalt getestet. Von September bis November wurden die Fangwannen zusätzlich mit dem neuen Köder bestückt.

Es konnte folgende Punkte nicht bearbeitet werden:

- Die Entwicklung der Repellentien wurde erst Ende 2016 abgeschlossen, so dass diese Variante erst ab 2017 als Management-Methode im Feld getestet werden konnte.

Im vierten Projektjahr 2017 konnten die folgenden geplanten Punkte erfolgreich bearbeitet werden:

- Modifizierung der Fangwanne
- Feldversuch zur Entnahme durch Prädatoren mit Standby-Boxen/Fangwannen in Sachsen-Anhalt
- Vollständige Auswertung und Publizierung der Ergebnisse aus den Labor- und Gehegeversuchen mit Attraktantien und Repellentien
- Feldversuche zum Methodenvergleich im Mai und September bis November 2017 in Sachsen-Anhalt

Es konnte folgende Punkte nicht bearbeitet werden:

- Weitere Gehegeversuche am JKI mit verschiedenen Dispensern konnten nicht wiederholt werden, da die apparative Ausstattung nicht verfügbar war und keine geeignete Alternative beschafft werden konnte.
- Die Feldversuche zu den Management-Methoden wurden durch administrative Prozesse bei der LLG verzögert.

Im fünften Projektjahr 2018 konnten die folgenden geplanten Punkte erfolgreich bearbeitet werden:

- Modifizierung der Fangwanne
- Feldversuch zur Entnahme durch Prädatoren mit Standby-Boxen/Fangwannen in Sachsen-Anhalt
- Analyse der Faktoren, die die Entnahme durch Prädatoren bestimmen und die Anwendung verbessern können, sowie Auswertung der Ergebnisse zu den Versuchen mit Standby-Boxen/Fangwannen
- Bau eines Fangwannen-Prototyps (für den möglichen Vertrieb), der in Gehegeversuchen am JKI auf die Fängigkeit im Vergleich zur Standby-Box getestet wurde

- Vorstellung der Fangwanne auf den DLG-Feldtagen 2018 in Bernburg (Stand der BLE, Förderprogramm BÖLN)
- Nach Abbruch des Feldversuchs 2017/18 aufgrund des Zusammenbruchs der lokalen Feldmauspopulation wurden für eine Neuanlage der Versuche Flächen gesucht. Auf fünf Standorten konnten Versuchsstrecken zur Prüfung der Management-Methoden angelegt werden. Eine Fangperiode wurde realisiert.

Es konnte folgende Punkte nicht bearbeitet werden:

- Das im März geplante Projekttreffen wurde durch zwei Telefonkonferenzen ersetzt.
- Wegen des erneuten Ausbleibens ausreichender Feldmaus-Aktivität war eine Weiterführung der neu angelegten Feldversuche ab Mai 2018 nicht sinnvoll.

2. STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Der Erfolg der Bekämpfung bei Feldmaus-Kalamitäten hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab (vgl. 1.1). Es gibt jedoch keine praktikablen, großflächig anwendbaren Management-Methoden (Leukers *et al.*, 2014), was besonders in der ökologischen Landwirtschaft problematisch ist.

Neue Ansätze im Nagetiermanagement beziehen Fachwissen über die Zielart sowie die Kombination verschiedener Bekämpfungsmethoden ein (Singleton *et al.*, 1999). Zum Beispiel können Schadnager in Reisfeldern mit einem Fallen-Barriere-System und Zerstörung der Baue in den Refugien genauso effektiv, aber kostengünstiger bekämpft werden, als mit Rodentiziden (Brown *et al.*, 2006). Allerdings müssen Schlag- und Lebendfallen regelmäßig kontrolliert werden und sind somit für einen großflächigen Einsatz bedingt geeignet (Jacob *et al.*, 2014). Die Arbeitsbelastung für den Landwirt wäre jedoch gering, wenn Feldmaus-Prädatoren diese Aufgaben übernehmen würden.

Prädatoren als biologische Management-Option für Nagetiere haben eine lange Geschichte (Tobin & Fall, 2004). Prädatoren können Nagetierdichten beeinflussen (Salo *et al.*, 2010), aber es mangelt an Studien über die Räuber-Beute-Beziehung bei Schadnagern. So sind derzeit keine gesicherten Erkenntnisse zur Wirkung von Prädatoren auf die Abundanz von Schadnagern oder Effekte auf Schäden und Ernte verfügbar (Labuschagne *et al.*, 2016).

Eine Kombination aus mechanischer und biologischer Bekämpfung könnte die Einwanderung der Schadnager auf Kulturlächen minimieren. Dafür könnten Selbstbedienungsfallen für Prädatoren in einer Pflugfurche ausgebracht werden. Diese Fallen wurden bisher noch nicht im Ackerbau getestet. Fangwannen werden jedoch bereits im Forstbereich angewendet, um in Aufforstungen Schadnagerpopulationen einzudämmen (Niemeyer *et al.*, 1996; Fenner & Schneider, 1997). Um Feldmäuse zu bekämpfen, wurde bisher nur die Selbstbedienungsfalle „Standby-Box“ (Andermatt Biocontrol AG; Schweiz) im Grünland in Kombination mit einem Zaun verwendet. Katzen (*Felis silvestris catus*) und Füchse (*Vulpes vulpes*) lernen, den Zaun zu patrouillieren, den Deckel der Standby-Boxen anzuheben und die Mäuse aus den Boxen zu entnehmen (Fülling *et al.*, 2010). Zäune wären jedoch im großflächigen Ackerbau zu kostenintensiv, allerdings wäre eine Pflugfurche als Orientierungshilfe eine mögliche Alternative und ein neuer Ansatz.

Ebenfalls neu ist die Anwendung von Attraktantien (gittfreien Ködern) zur Anlockung der Feldmäuse in die Fallen. Wegen der oft schlechten Zugänglichkeit wird im Forst darauf verzichtet. Auch die Standby-Boxen wurden in der einzigen bisher publizierten experimentellen Untersuchung nicht beködert (Füllung *et al.*, 2010). Die Bestückung von Fangwannen mit Attraktantien könnte jedoch die Wirksamkeit des Fangs deutlich erhöhen und somit den Managementaufwand reduzieren.

Es ist bekannt, dass Feldmäuse schwieriger zu fangen sind, als andere Nagetiere (Grunwald, 1975). Es gibt jedoch kaum Studien zu den Köderpräferenzen der Feldmaus. Haferflocken werden oft als Köder benutzt, können jedoch aufgrund anderer attraktiver Nahrungsquellen ignoriert werden (Grunwald, 1975). Hansen *et al.* (2016c) identifizierte auf der Suche nach vergrämenden Geruchsstoffen (Repellentien) die einzigen bekannten Feldmaus-Attraktantien. Eugenol, Wacholder- und Neemöl steigern signifikant die Nahrungsaufnahme unter Laborbedingungen.

Mit anderen Nagetieren, insbesondere mit Hausmäusen (*Mus musculus*) und Ratten (*Rattus spec.*), wurden mehr Studien zur Köderpräferenz durchgeführt, vor allem um die Annahme von Giftködern zu verbessern (Clapperton, 2006). Diese Informationen wurden in diese Studie einbezogen (vgl. Tab. 3.1), obwohl primär nach einem anziehenden Geruchsstoff gesucht wurde. Auf Nahrungssuche sind jedoch Geschmack einer Nahrungsquelle so wie ihr Geruch eng verknüpft.

Allgemein wird angenommen, dass man Nager am besten mit Ölen/fettigen Substanzen (Buchalczyk & Olszewski, 1971; Hansson, 1973) oder mit Zucker/süßlich riechenden Stoffen (Marsh, 1988) ködern kann. Kohlenhydrate und Fette sind energiereich und somit eine bevorzugte Nahrungsquelle von Herbivoren (Beauchamp, 1997). Ein anderer Ansatz spricht dafür, dass Tiere am besten auf ihnen bekannte Stoffe reagieren (Bullard, 1985; Leung *et al.*, 2007). Dies können bekannte Gerüche sein, die auf soziale Interaktion, ein geeignetes Habitat oder eine bewährte Nahrungsquelle hindeuten. Für den letzten Punkt muss die Ernährungsökologie der Tierart bekannt sein. Von der Feldmaus weiß man, dass sie eine Vielzahl von Pflanzen frisst, z.B. Schafgarbe (*Achillea millefolium*) oder Wilde Möhre (*Daucus carota*) (Lüthi *et al.*, 2010). Sie bevorzugt jedoch proteinreiche Pflanzen, wie Rotklee (*Trifolium pratense*) und Luzerne (*Medicago sativa*) (Lantova & Lanta, 2009; Janova *et al.*, 2011; Jareno *et al.*, 2014).

Feldmaus-Attraktantien könnten den Fangerfolg und die Wirksamkeit eines Fallen-Barriere-Systems erhöhen. Möglicherweise ließe sich so auch die Akzeptanz der Giftköder verbessern und Wissenslücken über die Nahrungspräferenzen der Feldmaus schließen.

Eine physikalische Barriere könnte aber auch mit einem abschreckenden Geruch kombiniert werden, um die Migration der Feldmäuse auf Kulturlflächen einzuschränken (Witmer *et al.*, 2000). Diese sogenannten Repellentien sind eine nicht letale Alternative, um Schädlinge von einem bestimmten Objekt oder Gebiet fernzuhalten. Zwar zählen dazu auch elektronische Geräte, die Nager durch Töne, elektromagnetische Schwingungen oder Vibrationen vertreiben sollen. Jedoch konnte bisher keine Studie ihre Wirksamkeit bestätigen (Bomford & O'Brien, 1990; Shumake, 1997). Deshalb werden chemische Verbindungen gesucht und oft sekundäre Pflanzenstoffe untersucht, da Pflanzen eine Vielzahl von Stoffen zum Schutz vor Herbivoren entwickelt haben (vgl. Tab. 3.2; Hansen *et al.*, 2016b). Dazu gehören toxische, bitter schmeckende oder schlecht riechende Stoffe aus einer Vielzahl funktioneller chemischer Gruppen (Harborne, 1991). Diese beeinflussen Herbivore physiologisch, oft negativ durch Organ- und Gewebeschäden, eingeschränkte Fruchtbarkeit oder Verdauung, vermehrte Harnausscheidungen, Störungen des Säure-Basen- oder Natrium-Gleichgewichtes (Iason & Villalba, 2006). Herbivore können dagegen eine physiologische Toleranz entwickeln oder ihr Verhalten anpassen (Dearing *et al.*, 2005). Es wird vermutet, dass Säugetiere Informationen des Magen-Darm-Trakts (z.B. Übelkeit) mit einem bestimmten Geschmack oder Geruch verbinden können und somit eine konditionierte Abneigung entwickeln (Provenza *et al.*, 1992; Welzl *et al.*, 2001). Sekundäre Pflanzenstoffe können aber auch direkt bei der Nahrungsaufnahme durch einen unangenehmen Geschmack oder Reizung des Trigemini-nervs wirken. Zum Beispiel ist Capsaicin (Alkaloid der Chilischote) ein wirksamer fraßabschreckender Stoff bei *Microtus spec.* (Witmer *et al.*, 2000). Um jedoch das Raumverhalten zu verändern, scheint ein Geruchsrepellent erfolgsversprechender (Iason & Villalba, 2006).

Bisher gibt es nur zwei Studien unter (halb-) natürlichen Bedingungen zu den abschreckenden Eigenschaften von sekundären Pflanzenstoffen auf Feldmäuse. Methylnonylketon aus der Weinraute (*Ruta graveolens*) und das ätherische Öl aus schwarzem Pfeffer (*Piper nigrum*) vertreiben Feldmäuse aus unterirdischen Boxen in Gehegeversuchen (Hansen *et al.*, 2016a). Methylnonylketon als Schaumapplikation kann Feldmäuse vier bis fünf Tage von ihren Bauen fernhalten (Fischer *et al.*, 2013b).

Neben sekundären Pflanzenstoffe wurden Prädatorengerüche als mögliche Repellentien untersucht. Haut, Fell, Kot und Analdrüsensekret von Prädatoren können Bewegungsmuster, Physiologie, Schmerzempfinden, Fortpflanzung, Nahrungsaufnahme und Fangerfolg bei Nagetieren beeinflussen (Apfelbach *et al.*, 2005; Lindgren *et al.*, 1995). Bei Feldmäusen können Analdrüsensekret vom Hermelin (*Mustela erminea*) und Fuchskot Fangerfolg und Nahrungsaufnahme unterdrücken (Gorman, 1984; Calder & Gorman, 1991).

Seit über 50 Jahren wird nach geeigneten Nager-Repellentien gesucht, jedoch konzentrieren sich die meisten Studien auf Laboruntersuchungen. Diese Ergebnisse können jedoch oft nicht unter natürlichen Bedingungen reproduziert werden (Hansen *et al.*, 2016b). Die Entwicklung eines Feldmaus-Repellents und -Köders sollte deshalb unter Laborbedingungen begonnen und die Ergebnisse in Gehegeversuchen und anschließend im Feld verifiziert werden. Mithilfe dieser Methoden könnte eine Barriere zwischen den Refugien der Feldmaus und den Kulturflächen aufgebaut werden, um Feldmausschäden effektiver und nachhaltiger zu vermeiden.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 SELBSTBEDIENUNGSFALLE FÜR PRÄDATOREN



Abbildung 3.1: Selbstbedienungsfallen für Prädatoren, die Kleinsäuger fangen, von Prädatoren kontrolliert und entleert werden. Als Vergleich in Feld- und Gehegeversuchen diente die Standby-Box (Andermatt Biocontrol AG). Die Fangwanne wurde folgendermaßen entwickelt: 1) Plastikkanister (25 l) wurden diagonal geteilt, damit die Fangwanne an die dreieckige Form der Pflugfurche angepasst ist. Im Laufe der Feldversuche wurde die Fangwanne verbessert: 2) Wechsel von Gittertüren zu Plastik-Schwingtüren; schwarze Färbung; 3) Erhöhung der Fangwanne um 70 mm; 4) Prototyp mit eckigen Einlauffröhen und 5) einer Verlängerung an der Plastik-Tür, auf der die Feldmäuse in der Falle sitzen und deshalb die Tür nicht anheben können. (Fotos: JKI, A. Schlötelburg)

An die Funktionsweise einer Göttinger Fangwanne als etablierte Falle für Schädner angelehnt, wurde eine Fangwanne entwickelt und gebaut, die in ihrer Form und Größe an den Querschnitt einer Pflugfurche angepasst ist (Abb. 3.1, Nr. 1). Dazu wurden unbenutzte Plastikkanister mit einem Fassungsvermögen von 25 Litern (Länge: 0,43 m, Breite: 0,34 m, Höhe: 0,23 m) diagonal geteilt und an den jeweiligen Enden Einlauffrohre (Länge: 80 mm; \varnothing 45 mm) mit Einweg-Gittertüren (Gittergröße: 8 mm) eingebracht. Innerhalb der Falle wurde die obere Hälfte der Einlauffröhen entfernt, damit die Feldmäuse sich nicht vor den Prädatoren verstecken können. Ein Zinkblech-Rahmen (Länge: 0,45 m, Breite: 0,34 m, Rahmenbreite: 50 mm (lange Seite), 80 mm (kurze Seite)) auf der Falle sollte Kurzschwanzmäusen das Herausspringen erschweren und es Greifvögeln ermöglichen, sich

auf die Falle zu setzen. Durch zwei gebohrte Löcher im Boden (\varnothing 45 mm) konnte Niederschlag abfließen.

Diese erste Version der Fangwanne wurde im Herbst 2014 in zwei verschiedenen Versuchen im Vergleich zu der Standby-Box der Andermatt Biocontrol AG im Feld (Sachsen-Anhalt) getestet: 1) Fängigkeit der Feldmäuse und 2) Entnahme der Feldmäuse durch Prädatoren. Bei den Standby-Boxen musste die Größe der Gitter von 12 mm auf 6 mm verkleinert werden, da sonst Feldmäuse mit einem Körpergewicht unter 10 g entkommen konnten.

Nach diesen Versuchen wurde die Fangwanne durch eine schwarze Färbung und Austausch der Gittertüren durch Plastiktüren verbessert. Diese Version (Abb. 3.1, Nr. 2) wurde im Herbst 2017 ein weiteres Mal auf die Entnahme durch Prädatoren getestet. Jedoch wurde dabei beobachtet, dass Feldmäuse mit einem Körpergewicht über 30 g aus der Fangwanne springen konnten. Deshalb wurde die Fangwanne (Abb. 3.1, Nr. 3) um 70 mm erhöht und im Sommer 2018 ein weiteres Mal im Feld auf Entnahme durch Prädatoren getestet. Im Sommer 2018 wurde ein erster Prototyp aus Plastik gebaut. Der Prototyp (Abb. 3.1, Nr. 4; Abb. 3.2) entsprach den Maßen der Fangwanne (aus Wasserkanistern) insofern, dass die Ergebnisse zur Feldmaus-Entnahme durch Prädatoren übertragbar sein müssten. Jedoch wurden zusätzlich die Einlaufrohre und Türen verändert, da beim Vorversuch im Gehege Feldmäuse mit der Zeit lernten, die Türen in den runden Einlaufrohren zu öffnen. Die Türen wurden manuell erstellt und schlossen nicht vollständig ab, so dass die Feldmäuse vermutlich mit ihren Pfoten hinter die Tür gelangten. Für den Prototyp wurden deshalb eckige Einlaufrohre verwendet und die Einweg-Tür hatte am Boden eine Verlängerung. Wenn eine Feldmaus in der Falle an der Tür und somit auf der Verlängerung saß, konnte sie dadurch die Tür nicht anheben.

Diese neuen Einlaufrohren wurden jedoch nicht in die halben Wasserkanister eingebaut, sondern es wurde ein Prototyp für die potentielle Vermarktung aus schwarzem Plastik hergestellt. Hintergrund dafür war eine rege Nachfrage von Landwirten nach käuflich zu erwerbenden Fallen auf den DLG-Feldtagen 2018. Die aus Plastik hergestellte Fangwanne hatte zudem glatte Wände. Auch dadurch könnte ein Ausbruch der Feldmaus erschwert werden. Ihr Boden war im Gegensatz zu den Wasserkanistern nicht rund und hatte deshalb mehr Stabilität, so dass ein Einsatz am Zaun o.ä. möglich wäre. Die Bodenbreite der Falle entsprach der Durchschnittsbodenbreite der Pflugfurche. Dieser Prototyp wurde im Herbst 2018 im Gehege getestet.

Alle Versuche entsprachen den Vorgaben des Tierschutzgesetzes (Tierversuchsgenehmigungnr. LVwA Sachsen-Anhalt: 42502-3-728 (Feldversuche); LANUV 84-02.04.2014.A259 (Gehegeversuch)).

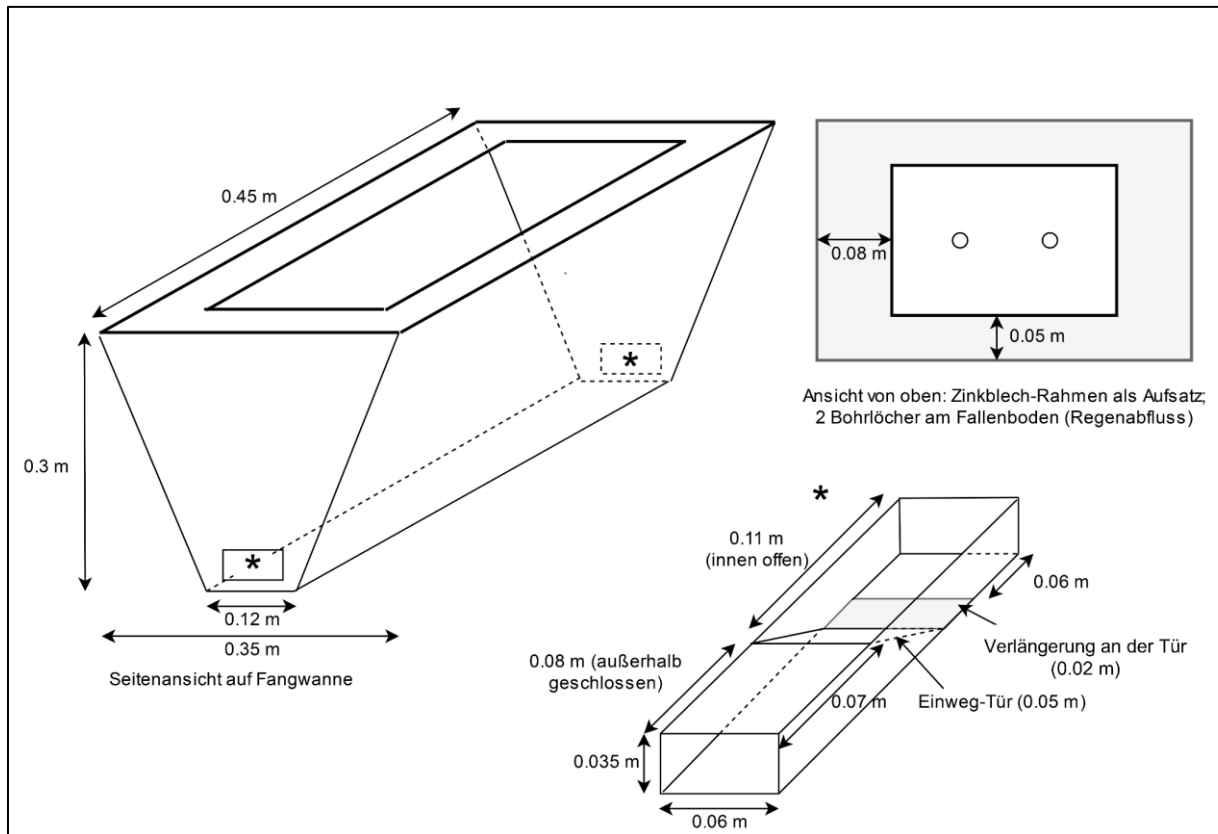


Abbildung 3.2: Technische Zeichnung des Fangwannen-Prototyps

3.1.1 FÄNGIGKEIT DER FELDMÄUSE

Feldversuch zur Fängigkeit – Herbst 2014 in Sachsen-Anhalt:

Auf sechs Weizen- und Rapsflächen wurden abwechselnd je sechs Fangwannen und sechs Standby-Boxen in einer Ackerrandfurche (Länge: 260 m, Breite (oben): 0,7 m, Tiefe: 0,45 m) im Abstand von 20 m ausgebracht und für Prädatoren unzugänglich präpariert. Morgens und abends wurde die Anzahl der gefangenen Nagetiere an jeweils drei Tagen im September, Oktober und November überprüft. Zur Bestimmung der Größe der Feldmauspopulationen wurde vorab eine Fang-Wiederaufnahme-Studie durchgeführt. Dazu wurden parallel zu den Standby-Boxen und Fangwannen in zwei Linientransekten (ein Transekt im Refugium, ein weiteres auf der Kulturfläche) je 12 Ugglan Lebendfallen ausgebracht. Während der fünf Fallenkontrollen pro Monat wurden gefangene Feldmäuse mit Transponderchips (Lux-IDent, Lanškroun, Tschechien) markiert und wiedergefangene Tiere notiert. Die Ergebnisse aus dem Monat September waren jedoch nicht verwertbar. Auf vier Flächen wurden während der

Populationsbestimmung weniger als fünf Mäuse gefangen. Auf der fünften Fläche wurden entgegen zuvor getroffener Absprachen mit dem Landwirt Pflegemaßnahmen während der Versuche durchgeführt, die die Population gestört haben dürften und möglicherweise die Ergebnisse verfälschten. Auf der sechsten Fläche wurden mehrere Standby-Boxen gestohlen, so dass auch hier keine verwertbaren Ergebnisse gewonnen werden konnten. Deshalb wurden die Flächen für die weiteren Untersuchungen im Oktober und November gewechselt.

Gehegeversuch zur Fängigkeit – Herbst 2018 am JKI:

Im Herbst 2018 wurde die Fängigkeit der Fangwanne im Vergleich zur Standby-Box in zwei Gehegen (15 m²) am JKI überprüft. In einem Gehege wurde der neue Fangwannen-Prototyp getestet (Abb. 3.1, Nr. 4), in dem anderen die Fangwanne aus Wasserkanistern (Abb. 3.1, Nr. 3).

In jedes Gehege wurden um 20:00 Uhr zwei Männchen und Weibchen eingesetzt. Nach 12 h wurden eine Fangwanne oder eine Standby-Box an der langen Gehegeseite mittig mit einem Abstand von 140 mm zur Wand aufgestellt. Die Fallen waren mit 15 g Maltol-Köder bestückt und wurden alle 2 h überprüft. Die Chipnummer der gefangenen Feldmäuse wurde notiert und die gefangene Feldmaus aus dem Versuch genommen. Dieser Versuchsablauf wurde wiederholt, bis je sechs Weibchen und sechs Männchen in jedem Gehege gefangen wurden. Danach erfolgte ein zweiter Durchgang, nur wurde die Position der Fallen getauscht. Jeder Fangwannentyp wurde so mit je 24 Weibchen und Männchen getestet.

3.1.2 ENTNAHME DURCH PRÄDATOREN

Feldversuch zur Entnahme durch Prädatoren – Herbst 2014 in Sachsen-Anhalt:

Im September, Oktober und November 2014 wurden Feldversuche in der Nähe der LLG Sachsen-Anhalt durchgeführt, um die Nutzung der Fallen durch Fressfeinde zu überprüfen. Auf je drei Flächen wurden vier Standby-Boxen bzw. vier Fangwannen in einer Ackerrandfurche (Länge: 100 m, Breite (oben): 0,7 m, Tiefe: 0,45 m) im Abstand von 20 m ausgebracht. Die im Versuchsteil zur Fängigkeit gefangenen Feldmäuse wurden einzeln in eine Falle gesetzt. Mit Kamerafallen (Dörr Snapshot MINI BLACK 5.0 MP) wurde beobachtet, ob sie durch einen Prädatoren entnommen werden. Die Kameras waren an Holzpfählen (Höhe: 1,2 m) auf der Höhe von 0,9 m befestigt (Winkel: 30°, Abstand zur Furche/Falle: 0,3 m/0,85 m) und hatten folgende Einstellungen: geringe LED Sensitivität, 3 Fotos pro Auslöser, keine

Zeitverzögerung, höchste Auflösung (8 MP) und Datum-Zeit-Stempel. Im Oktober 2014 waren die Kameras auf Videoaufnahme eingestellt.

Die Eingänge der Fallen waren verschlossen, so dass keine Feldmäuse gefangen werden konnten. Pro Falle wurde eine Feldmaus für 12 h eingesetzt. Während dieser Zeit standen dem Tier Holzwolle, Apfel, Haferflocken und Pellets zur Verfügung. Nach 6 h erfolgten Kontrollen, um das Wohlergehen der Feldmäuse zu garantieren. Vor Versuchsbeginn wurden die Prädatoren zwei Tage mit Hundefutter vorgeködert.

Feldversuch zur Entnahme durch Prädatoren – Herbst 2017 & Sommer 2018 in Sachsen-Anhalt:

An der Grenze von vier Rapsfeldern (2017) bzw. von zwei Weizen-, einer Gerste- und einer Rapsfläche (2018) wurden im Abstand von 20 m abwechselnd je zwei Standby-Boxen und zwei Fangwannen in einer Pflugfurche positioniert. Bis auf diese Unterschiede im Versuchsaufbau entsprach der Versuchsablauf dem der Prädatoren-Überprüfung im Herbst 2014. Im Herbst 2017 wurden die Versuche vier Nächte und im Sommer 2018 fünf Tage und Nächte durchgeführt.

3.1.3 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programm R (Version 3.5.1, RCore Team 2018) durchgeführt. Für alle Modelle wurde das R Paket „lme4“ (Bates *et al.*, 2015) verwendet, das mit der Maximum-Likelihood-Methode (Laplace Annäherung) modelliert. Mithilfe der schrittweisen Rückwärtsselektion wurde das passendste Modell mit dem kleinsten Akaike Informationskriterium ausgewählt. Das finale Modell wurde mithilfe von Residuen-Graphen validiert. Wahrscheinlichkeiten wurden mit dem R Paket „emmeans“ (Lenth, 2018) und „effects“ (Fox, 2003) berechnet und auf mögliche Unterschiede zwischen den Faktoren mit dem Tukey Test verglichen.

Die Fangzahlen im Feld 2014 wurden in Abhängigkeit des Fallentyps, der Beködierung und der Populationsgröße (bestimmt mit DENSITY, Universität Otago, Neuseeland) in einem Generalisierten Linearen Gemischten Modell (GLMM) mit Poisson-Verteilung modelliert. Als zufälliger Effekt wurde die Versuchsfläche einbezogen.

Die Fänge im Gehege mit Standby-Box, Fangwanne und Fangwannen-Prototyp wurden mit Generalisierten Linearen Modellen (GLM) mit Poisson-Verteilung analysiert. Zuerst wurden beide Fangwannen-Typen in separate Modellen im Vergleich zur Standby-Box untersucht.

Danach wurden alle Fänge in einem Binomial-GLM verglichen. Erklärende Faktoren waren Fallentyp, Geschlecht der Feldmäuse, Position der Falle (links oder rechts) und Versuchsdurchgang (1-2).

Die Entnahme der Feldmäuse durch die Prädatoren im Herbst 2017 und Sommer 2018 wurde in einem GLMM mit Binomialverteilung (logit Funktion) analysiert. Erklärende Effekte waren der Fallentyp, Versuchstag, -jahr und Zeitpunkt (Tag oder Nacht) sowie die Interaktion der Faktoren Versuchsjahr und Zeitpunkt. Dadurch wurde für jedes Jahr separat die Entnahmewahrscheinlichkeit am Tag oder in der Nacht berechnet, da 2017 die Versuche (wegen Mangel an Versuchstieren) nur nachts durchgeführt wurden. Da die Feldfläche mehrfach aufgenommen wurde, ging diese als zufälligen Effekt in das Modell ein.

Wovon die Besuche der Raubsäuger oder -vögel innerhalb von 24 h abhängig sein könnten, wurden in separaten GLMs mit Binomialverteilung (logit Funktion) untersucht. Dafür wurde für jedes Transekt innerhalb eines Radius von 2000 m die Landnutzung mit ArcGIS (Version 10.4.5686, ESRI Inc.) bestimmt. Mit CORINE Land Cover Daten (CLC 2012, Version 18.5.1) wurde der Anteil der Landnutzungsklassen innerhalb jedes Radius bestimmt. Die verschiedenen Klassen wurden zu drei Kategorien zusammengefasst und als erklärende Variablen in die GLMs einbezogen:

- Bebaute Flächen: Gebäude, Straßen, Sport- und Freizeitanlagen
- Landwirtschaftliche Flächen: Anbauflächen mit Getreide, Hülsenfrüchten, Viehfutter oder Hackfrüchten, Brachland
- Natürliche und halbnatürliche Flächen: Weiden, Wiesen, landwirtschaftliche Flächen mit min. 25% natürlicher Vegetation, Laubwälder

Die An- und Abwesenheit der Prädatoren konnte außerdem durch das Versuchsjahr (2017 oder 2018) und den Versuchstag (Tag 1-5: vor dem Einsatz der Feldmäuse; Tag 6-10: während des Versuchs) erklärt werden. Da im GLM mit Binomialverteilung für Raubvögel nur das Versuchsjahr die Variabilität der Daten erklärte, wurden die Daten aus 2018 (als mehr Vögel aufgenommen wurden) separat im GLM modelliert.

3.2 KÖDERENTWICKLUNG MIT ATTRAKTANTIEN



Abbildung 3.3: Aufbau der Versuche zur Köderentwicklung. 1) Screening der Stoffe im T-Labyrinth; 2) Futterwahlversuche im Käfig mit Getreide und Luzernemehl als Getreidebasen des neuen Köders; 3) Gehegeversuche mit drei Luzernemehlködern mit Attraktantien (Bisabolol, Eugenol oder Maltol) im Vergleich zum Kontroll-Köder ohne Attraktantien. Mit acht Fallen wurde die Fängigkeit der drei Attraktanz-Köder untersucht. In einem weiteren Gehegeversuch wurden in vier unterirdischen Boxen je 30 g des Attraktanz- und des Kontroll-Köders angeboten und die Köderaufnahme gemessen. (Fotos: JKI, A. Schlötelburg)

3.2.1 SCREENING DER ATTRAKTANTIEN IM T-LABYRINTH

Von April bis August 2015 wurden im Initialscreening 22 Stoffe (Tab. 3.1) einzeln auf ihre anziehende Wirkung an jeweils vier adulten Feldmäusen beider Geschlechter im T-Labyrinth (Labor des JKI) getestet (n=192). Für einen Vergleich wurde ebenfalls ein giftfreies Wühlmauslockmittel von Kieferle und das bisherige am JKI praktizierte Köderverfahren (10 g Haferlocken, 3 g Apfel, 2 Erdnussflips) untersucht. Die im Versuch verwendeten Konzentrationen wurden anhand der LD₅₀-Werte für Nagetiere für eine mindestens 15 g schwere Feldmaus berechnet (Tab. 3.1). Lagen keine LD₅₀-Werte für den Stoff vor, wurden 0,05 ml verwendet. Für mehr Details zu den Versuchstieren und ihrer Haltung vgl. Schlötelburg et al. (2018a).

Tabelle 3.1: Ausgewählte Stoffe für das Screening der Attraktantien. Die Auswahl erfolgte aufgrund vorheriger Studien mit Nagetierarten (Rodentia) im Labor (L) oder Freilandstudien (F) mit anziehenden Geruchsstoffen (G), Geschmacksverbessern (V) oder präferierten Pflanzen (P). Außerdem sind Beispiele für Quellen, die Lieferanten und verwendete Volumen (Vol.) [ml] der ausgewählten Stoffe für die T-Labyrinthexperimente angegeben.

Ausgewählter Stoff	Quelle (z.B.)	Vorherige Studien	Getestete Stoffe	Art	L	F	Lieferant	Vol.
Öle								
Erdnussöl	Erdnuss (<i>Arachis hypogaea</i>)	(Naeem et al., 2011)	Erdnussöl	Bandikutratte (<i>Rattus bengalensis</i>)	V		Essence pur ltd.	0,10
Haselnussöl	Gemeine Hasel (<i>Corylus avellana</i>)	(Clapperton, 2006)	Haselnussaufstrich	Wanderratte (<i>Rattus norvegicus</i>)		G	Essence pur ltd.	0,10
Mandelöl	Mandelbaum (<i>Prunus dulcis</i>)	(Jackson, 2016)	Mandeln	Ratten (<i>Rattus spec.</i>)	V		Spinnrad GmbH	0,10
Rapsöl	Raps (<i>Brassica napus</i>)	(Balmelli et al., 1999)	Rapsblätter	Feldmaus (<i>Microtus arvalis</i>)	P	P	Essence pur ltd.	0,10
Ätherische Öle und glykolische Extrakte (g.E.)								
Buchuöl	Buchu (<i>Agathosma betulina</i>)	(Hansen et al., 2015)	Buchuöl	Weibliche Feldmäuse	G		Diagonal GmbH	0,05
Karottensamenöl	Möhre (<i>Daucus carota</i>)	(Lüthi et al., 2010)	Wilde Möhre	Im Kot von Feldmäusen		P	Essence pur ltd.	0,05
Neemöl	Niembbaum (<i>Azadirachta indica</i>)	(Hansen et al., 2016c)	Neemöl	Feldmaus	G		Diagonal GmbH	0,21
Rotklee g.E.	Rotklee (<i>Trifolium pratense</i>)	(Lantova & Lanta, 2009)	Rotklee	Feldmaus	P		GreenTech GmbH	0,05
Schafgarbenöl	Schafgarbe (<i>Achillea millefolium</i>)	(Lüthi et al., 2010)	Schafgarbe	Im Kot von Feldmäusen		P	Essence pur ltd.	0,05
Einzelstoffe								
Anisaldehyd	Anis (<i>Pimpinella anisum</i>)	(Jokić et al., 2013)	Anisöl	Labormäuse	V		Sigma Aldrich GmbH	0,04
Benzaldehyd	Mandelbaum (<i>Prunus dulcis</i>)	(Jackson, 2016)	Mandeln	Ratten (<i>Rattus spec.</i>)	V		Sigma Aldrich GmbH	0,02
Bisabolol	Echte Kamille (<i>Matricaria chamomilla</i>)	(Hansen et al., 2016c)	Bisabolol	Männliche Feldmäuse	G		Sigma Aldrich GmbH	0,23
Blätteralkohol	In vielen Pflanzenteilen		-				Sigma Aldrich GmbH	0,08
Eugenol	Gewürznelke (<i>Syzygium aromaticum</i>)	(Hansen et al., 2016c)	Eugenol	Feldmaus	G		Sigma Aldrich GmbH	0,03
Linalool	Lippenblütler (Lamiaceae)		-				Sigma Aldrich GmbH	0,05
Linolsäure	Weizen (<i>Triticum spec.</i>)	(Hansson, 1973)	Linolsäure	Erdmaus (<i>Microtus agrestis</i>)	V		Sigma Aldrich GmbH	0,83
Maltol	Kakao (<i>Theobroma cacao</i>)	(Johnston et al., 2005)	Malz	Ziesel	V		Sigma Aldrich GmbH	0,03
Myrcen	Wacholder (<i>Juniperus spec.</i>)	(Hansen et al., 2016c)	Wacholderöl	Feldmaus	G		Sigma Aldrich GmbH	0,22
Valeriansäureethylester	Apfel (<i>Malus spec.</i>)	(Whisson et al., 2005)	Apfelsaft	Wiesenwühlmaus (<i>M. pennsylvanicus</i>)	V		Sigma Aldrich GmbH	0,05
V + Zimtalkohol	Zimt (<i>Cinnamomum spec.</i>)	(Jokić et al., 2013)	Zimtöl	Labormäuse	V		Spinnrad GmbH	0,03
Vanillin (V)	Gewürzvanille (<i>Vanilla planifolia</i>)	(Piudo et al., 2011)	Vanilleextrakt	Köderzusatz für Nagetiere		G	Sigma Aldrich GmbH	0,05
Zimtaldehyd	Zimt (<i>Cinnamomum spec.</i>)	(Jokić et al., 2013)	Zimtöl	Labormäuse	V		Sigma Aldrich GmbH	0,03

Das Labyrinth bestand aus einem transparenten, T-förmigen Röhrensystem (2,40 x 0,50 m), dessen kürzeres Rohr mit einer Start-Box (0,25 x 0,20 x 0,14) verbunden war (Abb. 3.3). Das längere Rohr endete mit zwei Standby-Fallen der Andermatt Biocontrol AG. In den Fallen befanden sich 3 g Apfel und Wattepad mit entweder Wasser (Kontrolle) oder dem zu testenden Stoff. Diese Wattepad waren mit Tesafilm am Deckel in der Standby-Box befestigt. Konnte sich die Feldmaus innerhalb von 20 min für keine Falle entscheiden, wurde der Versuch beendet. Nach Beendigung jedes Versuchsdurchganges wurde das Labyrinth gesäubert und desinfiziert.

Die drei vielversprechendsten Stoffe wurden bei der Detia GmbH mit einer attraktiven Getreidebasis, die zuvor durch einen Futterwahlversuch (vgl. 3.2.2) ausgewählt wurde, zu einem neuartigen Köderpellet verarbeitet. Köderaufnahme und Fängigkeit unter Verwendung der drei verschiedenen Ködervarianten wurden im Gehege unter halbnatürlichen Bedingungen mit Kleinpopulationen getestet (vgl. 3.2.3).

3.2.2 FUTTERWAHLVERSUCHE ZUR AUSWAHL DER GETREIDEBASIS

In einem Two-Choice-Futterwahlversuch wurde am JKI im August 2015 eine Getreideköderbasis ausgewählt. Je vier Männchen und Weibchen wurden einzeln in Käfige (410 x 250 x 150 mm) gesetzt, in denen in zwei Futterraufen (120 x 42 x 35 mm) entweder 15 g Weizen oder 15 g Pellets angeboten wurden. Die Pellets bestanden zu über 70% aus Weizen- und Haferbestandteilen, zu 20% aus Luzerne und zu 10% aus Formulierungshilfsstoffen auf Naturbasis. Sie wurden mit einer Pelletpresse, die nach dem Flachmatrizenprinzip funktioniert, gepresst.

Außerdem befand sich im Käfig ein Blumentopf als Versteckmöglichkeit und Wasser *ad libitum* (Abb. 3.3). Da Feldmäuse gern ihr Futter verschleppen, musste saugfähiges Papier anstelle von Streu verwendet werden. Nach 24 h wurde die verbliebende Futtermenge entnommen, 6 h bei 60°C getrocknet, von Verunreinigungen gereinigt und anschließend gewogen.

Dies wurde vier Tage wiederholt, wobei die Position der Raufen täglich getauscht wurde, um die Effekte einer Seitenpräferenz auszuschließen. Da sich die Pellets als ebenso attraktiv wie Weizenkörner herausstellten, wurde mit dieser Köderbasis weitergearbeitet, da sich in Pellets besser Farb- oder Aromastoffe mischen lassen. Außerdem wurde ein weiterer Futterwahlversuch mit naturfarbenen und/oder maigrünen Pellets durchgeführt. Hätten die

Feldmäuse unabhängig vom Farbton Pellets aufgenommen, hätten die grünen Pellets als visuell unterscheidbare Kontrollvariante im Gehegeversuch genutzt werden können.

3.2.3 GEHEGEVERSUCHE MIT DREI NEUEN KÖDERN

Die drei neuen Köder-Pellets mit den erfolgreichsten Stoffen aus den T-Labyrinth-Versuchen (Bisabolol, Eugenol, Maltol, im Folgenden Attraktantien genannt) wurden in Gehegeversuchen am JKI im September und Oktober 2015 auf ihre Fängigkeit und Aufnahme durch die Feldmäuse getestet.

Gehegeversuch zur Fängigkeit:

In je vier Außengehegen (36 m²) wurden fünf Feldmausweibchen und drei Männchen etabliert. Nach drei Tagen Eingewöhnung wurden je vier Ugglan-Fallen am Gehegerand und in der Gehegemitte (im Abstand von 1,20 m) aufgestellt (Abb. 3.3). In jeder Falle befanden sich entweder 10 g des reinen Luzerneköders (Kontrolle) oder des Luzerneköders versetzt mit einer der drei Attraktantien. Der Köder wurde in einem Teeei angeboten, um eine Habituation durch die Futteraufnahme auszuschließen, so dass von einer Fängigkeit aufgrund des Geruchs ausgegangen werden konnte. Auf der Falle befand sich ein Sensor der Erminea GmbH, der Wärmeveränderungen in der Falle registriert und daraufhin ein Signal an einen Pager aussendet (Notz *et al.*, 2017). Anhand der Sensornummer konnte die Falle zugeordnet werden, ein Datenlogger registrierte die Uhrzeit und der Versuchsleiter konnte umgehend mit einem Transponderlesegerät die gefangene Feldmaus identifizieren und dann wieder freilassen. Die Falle wurde anschließend desinfiziert. Wurde ein Versuchstier für zwei Tage nicht gefangen, wurde es durch ein Tier desselben Geschlechts ersetzt.

Für vier Tage wurde jede Ködervariante von 07:30 bis 19:30 in Fallen angeboten, wobei sich die Position des Kontroll-Köders und des Attraktanz-Köders von Falle zu Falle abwechselte und täglich getauscht wurde.

Gehegeversuch zur Köderaufnahme:

In vier Außengehegen (15 m²) wurden je zwei Weibchen und zwei Männchen eingesetzt (Abb. 3.3). Nach drei Tagen Eingewöhnung wurden die Röhren als Zugänge zu den vier unterirdischen Boxen geöffnet. In der Box befanden sich eine Ring-Antenne und eine Futterschale mit 30 g des Attraktanz-Köders oder des Kontroll-Köders. Die Ring-Antennen waren mit einem Datenlogger verbunden, der die Transponderchips der Feldmäuse registrierte und die Anwesenheitsdauer in den Boxen ermittelte. Nach 24 h wurde das Futter

ausgetauscht und die Position der Köder gewechselt. Die nicht gefressenen Pellets wurden 6 h bei 60°C getrocknet, von Verunreinigungen gereinigt, anschließend gewogen und die gefressene Menge pro Tag ermittelt. Nach 96 h endete der Versuch für eine Variante.

Alle Versuche entsprachen den Vorgaben des Tierschutzgesetzes (Tierversuchsgenehmigungsnr. LANUV 84-02.04.2014.A259).

3.2.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm R (Version 3.5.0, RCore Team 2018) und dem R Paket „lme4“ (Bates *et al.*, 2015), das mit der Maximum-Likelihood Methode (Laplace Annäherung) modelliert. Mithilfe der schrittweisen Rückwärtsselektion wurde das passendste Modell mit dem kleinsten Akaike Informationskriterium ausgewählt. Die Validierung aller Modelle erfolgte über die graphische Auswertung der Residuen. Wahrscheinlichkeiten wurden mit dem R Paket „effects“ (Fox, 2003) und „emmeans“ (Lenth, 2018) berechnet, mit dem Tukey Test verglichen und mit dem R Paket „ggplot2“ (Wickham, 2009) graphisch dargestellt.

Die Feldmausfänge mit der Stoff-Falle im Labyrinthversuch wurden mit einem Generalisierten Linearen Modell (GLM, Binomialverteilung) analysiert. Im Anfangsmodell wurden als erklärende Variablen die verschiedenen Stoffe, Geschlecht, Herkunft (Wildtier oder Nachzucht) und Gewicht der Versuchstiere einbezogen.

Mit einem Linearen Gemischten Modell (LMM) wurden analysiert, ob sich die gefressenen Mengen in den Futterwahlversuchen (Käfig) abhängig vom Futtertyp (Weizen oder Pellets), Gewicht und Geschlecht der Feldmäuse (feste Effekte) unterscheidet. Als zufällige Effekte wurden Versuchstag und -tier einbezogen.

Die Fänge im Gehege mit Kontroll- und Attraktanz-Köder wurden in einem Generalisierten Gemischten Modell (GLMM) mit Binomialverteilung untersucht. Die Fangzahlen konnten erklärt werden durch: Attraktanz, Gehege ID, Geschlecht und Herkunft der Versuchstiere. Als zufälliger Effekt wurde die Versuchstier ID (genestet in Gehege ID) einbezogen.

Die Köderaufnahme der Feldmauspopulationen in den Gehegen wurde mit einem GLMM mit Binomialverteilung analysiert. Als feste Effekte wurden Ködertyp, Lufttemperatur, Kategorien für Niederschlag (ja oder nein), Gehege ID und als zufällige Effekte der Versuchstag (genestet in die Versuchswoche) gewählt.

Die anteilige Aufenthaltszeit der Feldmäuse in den Gehege-Boxen mit den Attraktanz-Ködern wurde mit einem GLM mit Binomialverteilung analysiert. Die abhängige Variable wurde logarithmiert, um die Residuen zu verbessern. Erklärende Variablen waren Ködertyp, Gehege ID, Geschlecht, Gewicht und Herkunft der Feldmäuse.

3.3 REPELLENTIEN



Abbildung 3.4: Aufbau der Versuche zur Repellent-Entwicklung. 1) Screening der Stoffe im T-Labyrinth; 2) Gehegeversuche mit den vier effektivsten Stoffe Benzaldehyd, Fichtennadelöl, Karottensamenöl und Schwarzer Pfefferöl; 3) Gehegeversuche mit zwei weiteren Dispensern (Zellstoffband, Tongranulat), behandelt mit Karottensamen- und Schwarzer Pfefferöl. (Fotos: JKI, A. Schlötelburg)

3.3.1 SCREENING DER REPELLENTIEN IM T-LABYRINTH

Von November 2015 bis März 2016 fand das Screening der Repellentien im Labor des JKI statt. Dafür wurden 17 Naturstoffe ausgewählt, die Bestandteil eines nachgewiesenen Nager-Repellents sind oder eine vergrämende Wirkung gegenüber anderen Wirbeltieren gezeigt haben (Tab. 3.2). Für jeden der 17 Stoffe wurden vier weibliche und vier männliche Tiere mit einem Gewicht über 15 g verwendet (n= 144). Für mehr Details zu den Versuchstieren und ihrer Haltung vgl. Schlötelburg et al. (2018b).

Das Labyrinth bestand aus einem halbtransparenten Röhrensystem (2,4 x 1,0 m), das eine Start-Box (0,25 x 0,20 x 0,14 m) mit zwei Plastik-Boxen (Durchmesser: 0,12 m, Höhe: 0,09 m) verband. Im Deckel der Plastik-Boxen war ein Wattepad befestigt, auf das 5 min vor Versuchsbeginn Wasser (Kontroll-Box) oder der zu untersuchende Stoff appliziert wurde. Die verwendeten Volumina wurden nach den LD₅₀-Werten für eine 15 g schwere Feldmaus berechnet (Tab. 3.2). Lagen keine LD₅₀-Werte für den Stoff vor, wurden 0,05 ml verwendet.

Um die Ziel-Boxen attraktiv zu gestalten, wurden sie mit schwarzer Folie abgedunkelt und 3 g Apfel angeboten. Um die Plastikboxen befanden sich je eine Ring-Antenne, die den Transponder der Feldmaus registrierte (Abb. 3.4). Ein Versuch dauerte 30 min und Aufenthaltszeit und Besuchsanzahl des Tieres in beiden Boxen wurde ermittelt. Die Anwesenheit einer Feldmaus wurde in 1-Sekunden-Intervallen registriert. Gab es kein Signal für 10 s, wurde die nächste Registrierung als neuer Besuch gezählt. Nach jedem Versuch wurde das Labyrinth mit Meliseptol® rapid desinfiziert.

3.3.2 GEHEGEVERSUCHE MIT VIER REPELLENTIEN AUF ZELLSTOFFKUGELN

Ätherische Öle aus schwarzem Pfeffer (SP), Karottensamen (KS) und Fichtennadel (FN), sowie der nach Marzipan riechende Stoff Benzaldehyd (BA) zeigten die erfolgversprechendsten Ergebnisse in den T-Labyrinthversuchen. Die Stoffe wurden bei der Detia GmbH in Zellstoffkugeln (Durchmesser: 15 mm) eingearbeitet und ihre repellente Wirkung in Gehegeversuchen im Juni 2016 am JKI überprüft. Im September 2016 erfolgte ein zweiter Durchgang mit Benzaldehyd und Pfefferöl in doppelter Konzentration (dc) sowie den Kombinationen Schwarzer Pfeffer – Benzaldehyd (SP – BA) und Schwarzer Pfeffer – Karottensamenöl (SP – KS).

Am JKI wurden vier Gehege (ca. 35 m²) in der Mitte mittels einer Barriere aus Zinkblech unterteilt, die jedoch für Feldmäuse durch zwei Durchgänge passierbar war (Abstand zur Wand: 1 m, Durchmesser: 83 mm) (Abb. 3.5). Hinter einem Durchgang wurden 300 g Zellstoffkugeln mit Stoff, hinter dem anderen Zellstoffkugeln ohne Stoff auf mit Erde bedeckten Tablett (0,53 x 0,37 m) ausgebracht. Ring-Antennen vor und hinter den Durchgängen registrierten, wenn eine Feldmaus den Durchgang passierte. Außerdem befand sich auf dem Tablett eine Petri-Schale mit 15 g (1. Durchgang) bzw. 25 g (2. Durchgang) Haferflocken. Die Menge gefressener Haferflocken wurde täglich durch Rückwaage bestimmt.

Tabelle 3.2: Ausgewählte Stoffe für das Screening der Repellentien. Auswahl erfolgte aufgrund vorheriger Studien mit Nagetierarten (Rodentia) im Labor (L), im Gehege (G) oder Freilandstudien (F) mit fraßabschreckenden (f) oder geruchsabschreckenden Stoffen (g). Außerdem sind Beispiele für Quellen, die Lieferanten und verwendete Volumen (Vol.) [ml] der ausgewählten Stoffe für die T-Labyrinthexperimente angegeben.

Ausgewählter Stoff	Quelle (z.B.)	Vorherige Studien	Getestete Stoffe	Art	L	G	F	Lieferant	Vol.
Säugetiergeruch									
Fuchsurin	Fuchsbrunz von Kieferle	(Calder & Gorman, 1991) (Sullivan et al., 1988)	Fuchskot Fuchsurin	Feldmaus (<i>Microtus arvalis</i>) <i>Microtus spec.</i>	f		f/g	Kieferle	0,05
Schweißgeruch	Hukinol von Kieferle	(Drickamer et al., 1992)	Menschenschweiß	Hausmaus (<i>Mus musculus</i>)		g		Kieferle	0,05
Ätherische Öle									
Fichtennadelöl (FN)	Sibirische Tanne (<i>Abies sibirica</i>)	(Roy & Bergeron, 1990)	Nadelbaum-Samen	Wiesenwühlmaus (<i>M. pennsylvanicus</i>)	f			Apotheker Bauer	0,05
Karottensamenöl (KS)	Möhre (<i>Daucus carota</i>)	Schiötelburg et al. 2018a	KS	Feldmaus	g			Sigma Aldrich	0,05
Schwarzer Pfefferöl (SP)	Schwarzer Pfeffer (<i>Piper nigrum</i>)	(Hansen et al., 2016a)	SP	Feldmaus	f	g		Selfmade-Baits	0,05
Einzelstoffe									
Anethol	Fenchel (<i>Foeniculum vulgare</i>)	(Hansen et al., 2016c) (Jokić et al., 2013)	Fenchelöl	Männliche Feldmäuse Labormäuse	f			Sigma Aldrich	0,03
Benzaldehyd (BA)	Mandelbaum (<i>Prunus dulcis</i>)	Schiötelburg et al. 2018a (Kalandakanond- Thongsong et al., 2010)	BA Pfefferminzöl	Feldmaus Laborratten	g			Sigma Aldrich	0,02
Campher	Minze (<i>Mentha spec.</i>)				g			Sigma Aldrich	0,02
1,4-Cineol	Bergamotte (<i>Citrus x limon</i>)	(Hansen et al., 2015)	Bergamottenöl	Weibliche Feldmäuse	f			Sigma Aldrich	0,04
Citral	Bergamotte (<i>Citrus x limon</i>)	(Jokić et al., 2013)	Bergamottenöl	Labormäuse	f			Sigma Aldrich	0,08
Eucalyptol	Minze (<i>Mentha spec.</i>)	Singla & Kaur 2014	Zitronengrasöl	Wanderratte (<i>Rattus rattus</i>)	f/g			Sigma Aldrich	0,04
Geraniol	Geranie (<i>Pelargonium spec.</i>)	(Singla et al., 2014)	Eukalyptusöl	Wanderratte	f			Sigma Aldrich	0,06
Linalylacetat	Lavendel (<i>Lavandula angustifolia</i>)	(Fischer et al., 2013a)	Geraniumöl	Schermaus (<i>Avicula terrestris</i>)	g			Sigma Aldrich	0,23
Methylnonylketon	Weinraute (<i>Ruta graveolens</i>)	(Jokić et al., 2013) (Fischer et al., 2013b) (Hansen et al., 2016a)	Lavendelöl Methylnonylketon	Labormäuse Feldmaus	f		g	Sigma Aldrich	0,09
Myrcen	Kiefer (<i>Pinus spec.</i>)	(Bucyanayandi et al., 1990)	Hohe Konz. in unbeschädigten Nadelbaum-Samen		f	g		Sigma Aldrich	0,21
Pinen	Kiefer (<i>Pinus spec.</i>)	(Bell & Harestad, 1987) (Wager-Page et al., 1995)	Kiefernadelöl	Townsend Wühlmaus (<i>M. townsendii</i>) Präriewühlmaus (<i>M. ochrogaster</i>)	f		f	Sigma Aldrich	0,06
Terpinen	Bergamotte (<i>Citrus x limon</i>)	(Hansen et al., 2015)	Bergamottenöl	Weibliche Feldmäuse	f			Sigma Aldrich	0,06

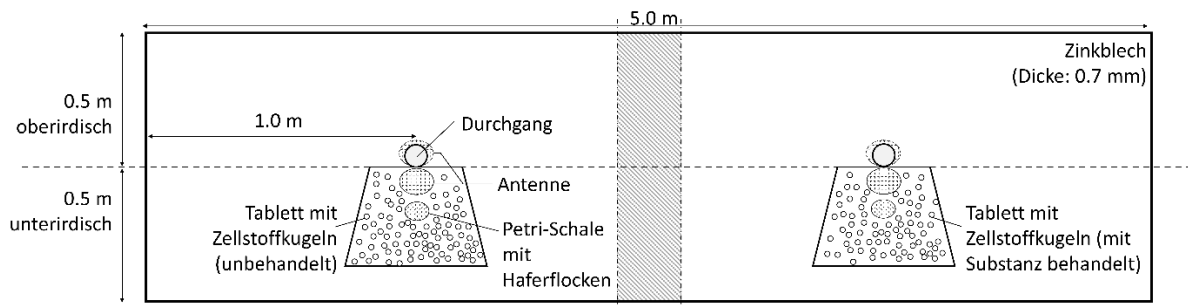


Abbildung 3.5: Versuchsaufbau zum Gehegeversuch mit Repellentien. Die Zinkblech-Barriere zwischen Gehegehälften war nur über zwei Durchgänge passierbar. Vor einem Durchgang befand sich ein Tablett mit unbehandelten Zellstoffkugeln (Kontrolle); vor dem anderen ein Tablett mit Zellstoffkugeln mit dem zu testenden Stoff (Benzaldehyd, Fichtennadelöl, Karottensamenöl, Schwarzer Pfefferöl).

Je zwei Männchen und vier Weibchen wurden drei Tage vor Versuchsbeginn in das Gehege eingesetzt. Während der drei Tage Eingewöhnungszeit waren die Durchgänge blockiert, um die Motivation der Feldmäuse zu erhöhen, zwischen den Gehegehälften zu migrieren. Bei Versuchsbeginn wurden morgens die Durchgänge geöffnet und die Tabletts ausgebracht. Die Zellstoffkugeln wurden täglich gewechselt und getauscht, so dass Kontroll-Zellstoffkugeln und behandelte Zellstoffkugeln abwechselnd auf der rechten oder linken Seite getestet wurden. Nach vier Versuchstagen wurden die Durchgänge wieder für drei Tage blockiert, bevor ein neuer Versuchsdurchgang mit einer anderen Repellent-Variante startete. So wurden alle vier Varianten zur gleichen Zeit und mit jeder Population, aber in unterschiedlichen Gehegen (randomisierte Reihenfolge) getestet. Wurde eine Feldmaus für zwei Tage nicht registriert, wurde sie durch ein Versuchstier desselben Geschlechts ersetzt.

3.3.3 GEHEGEVERSUCHE MIT VERSCHIEDENEN DISPENSERN

Im November 2016 wurden weitere Gehegeversuche mit Tongranulat und Zellstoffband (W. Dimer GmbH; Breite: 0,3 m) als mögliche Dispenser getestet (Abb. 3.4). Diese wurden mit der Kombination aus Schwarzer Pfeffer- und Karottensamenöl getestet, da dies das erfolgversprechendste Repellent in den vorangegangenen Gehegeversuchen war. Versuchsaufbau und -durchführung entsprachen den vorangegangenen Gehegeversuchen (vgl. 3.3.2). Anstatt Zellstoffkugeln wurden jedoch Tongranulat oder Zellstoffband als Trägermaterial für SP + KS genutzt.

Da die Datenlogger aufgrund der ungünstigen Wetterbedingungen nicht korrekt funktionierten, konnten nur die gefressenen Haferflockenmengen auf den Tabletts ausgewertet werden.

Alle Versuche entsprachen den Vorgaben des Tierschutzgesetzes (Tierversuchsgenehmigungsnr. LANUV 84-02.04.2014.A259).

3.3.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Alle Analysen wurden mit dem Programm R (Version 3.5.0, RCore Team 2018) durchgeführt. Für die Modelle wurde das R Paket „lme4“ (Bates *et al.*, 2015) genutzt, das mit der Maximum-Likelihood-Methode (Laplace Annäherung) modelliert. Mithilfe der schrittweisen Rückwärtsselektion wurde das passendste Modell mit dem kleinsten Akaike Informationskriterium ausgewählt. Wenn die Dispersion der Modelle zu hoch war, wurde ein Observation-Level-Random-Effekt eingefügt. Die Validierung aller Modelle erfolgte über die graphische Auswertung der Residuen. Wahrscheinlichkeiten wurden mit dem R Paket „emmeans“ (Lenth, 2018) berechnet, mit dem Tukey Test verglichen und mit dem R Paket „ggplot2“ (Wickham, 2009) graphisch dargestellt.

Für die Aufenthaltszeit und Besuchsanzahl der Tiere in den Boxen des T-Labyrinth wurde das Verhältnis aus behandelter und unbehandelter Box kalkuliert und logarithmiert, da die Daten nicht normalverteilt waren. Mit diesen Daten wurde ein Welch t-Test im Vergleich zu einer Kontroll-Gruppe, bei der in beiden Boxen Wasser appliziert wurde, durchgeführt.

Die Migrationen durch den Kontroll-Gang und den Gang mit dem zu testenden Stoff wurden mit einem Generalisierten Linearen Gemischten Modell (GLMM) mit Binomialverteilung analysiert. Durchgang (mit oder ohne Stoff), Geschlecht und Herkunft (Wildtier oder Nachzucht) der Versuchstiere waren die festen Effekte. Versuchstag, Versuchstier und Gehege wurden wegen der Messwiederholungen als zufällige Effekte einbezogen.

Die gefressenen Haferflockenmengen von den Tablets vor den Durchgängen wurden ebenfalls mit einem GLMM mit Binomialverteilung untersucht. Als erklärende Variable wurden der Repellent-Typ und als zufälligen Effekt der Versuchstag einbezogen.

3.4 FELDVERSUCHE ZUM VERGLEICH AUSGEWÄHLTER MANAGEMENT-METHODEN



Effektivität der verschiedenen Methoden wird verglichen über:



Abbildung 3.6: Vergleich der Management-Methoden im Feld 1) Pflugfurche mit Fangwanne als Selbstbedingungsfalle für Prädatoren; 2) Pflugfurche mit Zellstoffband und ätherischen Ölen aus schwarzem Pfeffer (SP) und Karottensamenöl (KS) als abschreckende Geruchsstoffe (Repellentien); 3) Zinkphosphid-Applikation am Feldrand mittels Mäuseköderlegemaschine (MKL) WUMAKI C9; 4) unbehandelte Kontrolle. Die Effektivität der Methoden wurde mit Fang-Wiederfang-Studien zur Bestimmung der Populationsgrößen im Refugium und auf der Kulturfläche verglichen. Zudem wurden Luftbilder mit Kameradrohnen aufgenommen, die Bestandsdichte ermittelt und Ährenbonituren durchgeführt, um die entstandenen Fraßschäden bei den einzelnen Methoden zu ermitteln und zu vergleichen. (Fotos: JKI, A. Plekat)

Auf der Basis von Feldversuchen sollte die Barrierewirkung verschiedener Management-Methoden unter natürlichen Umweltbedingungen (Freilandbedingungen) beurteilt werden (Abb. 3.6). Zu prüfen war, ob die Methoden eine Einwanderung der Feldmäuse aus dem Refugium in die Ackerfläche reduzieren.

3.4.1 MANAGEMENT-METHODEN

In den Feldversuchen wurden 135 m lange Versuchsstrecken mit unterschiedlichen Management-Methoden nebeneinander angelegt. Zwischen den einzelnen Management-Methoden wurde ein Abstand von mindestens 20 m eingehalten, um einen Austausch von Tieren zwischen einander angrenzenden Versuchsstrecke zu vermeiden. Die konkreten Abstände zwischen den Versuchsstrecken richteten sich nach den lokalen Gegebenheiten, insbesondere den Schlaggrößen und bezogen Landschaftsbesonderheiten ein.

Management-Methode 'Fangwanne mit Attraktantien': In einer zwischen dem Ackerrand und dem Feldmausrefugium mittels Pflug gezogenen, ca. 30 cm tiefen Spaltfurche wurden Fallen aufgestellt. Ziel war es, einwandernde Feldmäuse vor dem Erreichen der Ackerfläche abzufangen. Zu Einsatz kamen Lebendfallen, die den natürlichen Prädatoren der Feldmäuse den Fang als Nahrung anbieten. Als Falle wurde eine selbstentwickelte Fangwanne genutzt (vgl. 3.1; 4.1; 5.1). Sie war hinsichtlich Anschaffungskosten, Beifang und Attraktivität für natürliche Fressfeinde der alternativ geprüften Standby-Box überlegen. In den Fangwannen kamen ab dem Versuchsansatz 2016/17 Luzerne-Maltol-Pellets als Attraktantien zum Einsatz. Diese Pellets hatten sich in den vorausgegangenen Gehegeversuchen als wirksamste Ködervariante herausgestellt (vgl. 3.2; 4.2; 5.2). Auf der Versuchsstrecke waren acht Fangwannen im Abstand von 15 m aufgestellt.

Management-Methode 'Repellent-Band': Im Versuchsjahr 2017/18 wurden die zu vergleichenden Methoden um den Einsatz von abschreckenden Geruchsstoffen erweitert. Basis dieser Barrierevariante war ebenfalls eine tiefe Pflugfurche zwischen Feldmausrefugium und zu schützender Ackerfläche. In dieser Furche wurde ein mit den ätherischen Ölen aus schwarzem Pfeffer und Karottensamen behandeltes Zellstoffband platziert. Die Repellentien und der Dispenser waren bei vorangegangenen Screenings, Labyrinth- und Gehegeversuchen bestimmt worden (vgl. 3.3; 4.3; 5.3). Die Anfertigung der im Feldversuch einsatzfähigen Repellent-Bänder erfolgte durch Detia Freyberg GmbH.

Management-Methode 'Zinkphosphid-Köder': Zinkphosphid-haltige Köder (Giftweizen bzw. Giftlinsen) wurden mit einer Mäuseköderlegemaschine (MKL) ausgebracht. Die Mäuseköderlegemaschine (WUMAKI C9) brachte in drei künstlichen Feldmausgängen (Röhren) Giftweizen oder Giftlinsen im Boden verdeckt aus. Die drei Röhren hatten konstruktionsbedingt einen Abstand von 2,25 m. Die pro Versuchsstrecke ausgebrachte Gesamtmenge Giftweizen betrug ca. 171 g. Giftlinsen wurden mit 135 g je Versuchsstrecke eingesetzt. Der Einsatz der MKL erfolgte bewusst fünf bis sechs Wochen nach Aussaat der Kulturen, um eine Mindestwirkung des Wirkstoffs Zinkphosphid zum Zeitpunkt einer möglichen Einwanderung (für die Feldmaus attraktive Vegetationsentwicklung auf der Ackerfläche) zu gewährleisten.

Versuchsstrecke 'Kontrolle': Als Kontrolle wurde eine Strecke ohne gezielte Managementmaßnahmen festgelegt.

3.4.2 AUSWAHL DER VERSUCHSFLÄCHEN

Die Untersuchungen setzten ein reales Auftreten von Feldmäusen auf den Versuchsflächen bzw. in den angrenzenden Refugien voraus. Daher erfolgte in den als Befallsgebiet bekannten Landschaftsräumen eine intensive Suche nach geeigneten Versuchsstandorten. Wenn belaufene Feldmausbauere gefunden wurden, wurden die Feldmausaktivität und der Umfang der Feldmauspopulationen eingeschätzt. Unter anderem erfolgten Bestimmungen der Feldmausaktivität mit der Lochtretmethode (Zutreten aller Löcher auf definierter Teilfläche und Bestimmung der Anzahl wiedergeöffneter Löcher nach 24 h; Niethammer & Krapp, 1982). Neben dem Auftreten aktiver Feldmauspopulationen war eine für die parallele Anlage der Feldversuchsstrecken ausreichende Ausdehnung der Feldmausrefugien (min. 500 m) zwingend erforderlich. Dieser Sachverhalt schränkte die Auswahl von geeigneten Flächen stark ein. Insbesondere in Untersuchungsjahr 2017/18 entsprach nur ein Schlag, auf dem eine Sondersituation entstanden war, den Mindestanforderungen für eine Versuchsanlage (Tab. 3.3).

Tabelle 3.3: Zur Durchführung der Feldversuche ausgewählte Versuchsflächen.

Versuchsstandorte / Schläge	Anbau	Aussaat	Anlage der Versuchsstrecken	
			'Fangwanne'	'Zinkphosphid'
2015/16 Landkreis Mansfeld-Südharz				
'Buttenbergspan'	W. Weizen	09.10.2015	13.10.2015	12.10.2015
'Krötzl groß'	W. Weizen	09.10.2015	13.10.2015	12.10.2015
'Talstraße'	W. Weizen	06.10.2015	08.10.2015	08.10.2015
'Wasserturm'	W. Weizen	28.09.2015	08.10.2015	28.09.2015
'Königsplan/Schäferei'	W. Weizen	28.09.2015	30.09.2015	29.09.2015
2016/17 Landkreis Mansfeld-Südharz				
'Wasserkreuz 1'	W. Raps	22.08.2016	27.09.2016	13.09.2016
'Wasserkreuz 2'	W. Raps	22.08.2016	27.09.2016	13.09.2016
'Pohlenfeld-Windrad'	W. Raps	22.08.2016	27.09.2016	13.09.2016
'Derlingen'	W. Weizen	20.09.2016	02.11.2016	03.11.2016
'Bahngrube'	W. Weizen	20.09.2016	02.11.2016	03.11.2016
2017/18 Salzlandkreis				
'Quedlinburger Straße F6'	W. Gerste	Ausfallauflauf	21.09.2017 *)	16.10.2017

*) zusätzlich Anlage der Variante 'Repellent-Band'; W. - Winter

Versuchsansatz 2015/16: Im Herbst 2015 wurden auf fünf Winterweizenflächen je drei Versuchsstrecken mit einer Länge von je 135 m angelegt. Auf den Strecken mit Fangwannen kamen jeweils acht Fallen zum Einsatz. Eine Beköderung der Fangwannen erfolgte zunächst durch Bestückung mit Haferflocken, einem Apfelstück und zwei Erdnussflips. Die

Zinkphosphid-haltigen Köder wurden mit der Mäuseköderlegemaschine zu den in Tabelle 3.3 angegebenen Terminen ausgebracht und gleichzeitig jeweils die Kontrollstrecken ohne Managementmaßnahmen eingerichtet.

Versuchsansatz 2016/17: Der Versuchsansatz 2016/17 wiederholte den Feldversuchsansatz des Anbaujahres 2015/16 auf fünf Standorten mit Winterungsanbau (zweimal Winterraps, dreimal Winterweizen). Infolge der unterschiedlichen Aussattermine von Winterraps und Wintergetreide waren die Einrichtung der Management-Methoden 'Fangwannen mit Attraktantien' und 'Zinkphosphid' zeitversetzt durchzuführen. Im Winterraps erfolgten sie im September 2016, im Winterweizen im Oktober 2016 (Tab. 3.3). Ab September 2016 wurden die Fangwannen mit Luzerne-Maltol-Pellets bestückt (Abb. 3.7). Jeder Fangwanne wurden 25 g Köder zugefügt und im Intervall von max. zehn Tagen erneuert.



Abbildung 3.7: Einsatz von Luzerne-Maltol-Pellets in selbstentwickelter Fangwanne sowie in der Falle gefangene Feldmäuse (Mitte; Rechts). (Fotos: JKI, A. Plekat)

Versuchsansatz 2017/18: Für die Anlage der Herbstversuche 2017 wurden ab Spätsommer geeignete Versuchsflächen mit entsprechendem Feldmausbefall gesucht. Die Feldmaus zeigte zu diesem Zeitpunkt allgemein jedoch nur ein sehr geringes Auftreten. Nach erfolglosem intensiven Screening der geplanten Wintergetreide- und Winterrapsanbauflächen, wurden auch alternative Flächen in die Suche einbezogen. Zusätzlich wurden Landwirtschaftsbetriebe und der amtliche Pflanzenschutzdienst vor Ort darum gebeten, Schläge mit Feldmausaufkommen zu melden. Lediglich eine Fläche im Salzlandkreis wies eine Feldmausaktivität auf, die eine sinnvolle Versuchsanlage zur Prüfung der verschiedenen Management-Methoden erlaubte (Abb. 3.8). Hier waren besondere Bedingungen für das Auftreten von Feldmäusen entstanden. Auf der gewählten Versuchsfläche wurde im Anbaujahr 2016/17 Wintergerste angebaut; die Ernte sollte Anfang Juli 2017 erfolgen. Am 22.06.2017 kam es durch ein heftiges Unwetter zu einem Hagelschaden, der zum Totalausfall an Körnern führte. Der Großteil der Fläche wurde nach dem Auflaufen der ausgefallenen Gerste gegrubbert. Ein etwa 12 m breiter Streifen Ausfallgerste blieb unbearbeitet. Dieser

wurde durch Feldmäuse als neues Rückzugsgebiet angenommen und besiedelt. Aufgrund des unterschiedlichen Vegetationsfortschritts der Ausfallgerste auf dem liegengebliebenen Feldstreifen und auf der Gesamtfläche, war eine Überwanderung von Feldmäusen vom neuen Refugium in die Ackerfläche zu erwarten. Die zu untersuchenden Barriere-Varianten wurden daher an der Grenze zwischen dem liegengebliebenen Streifen und der gegrubberten Ackerfläche angelegt.

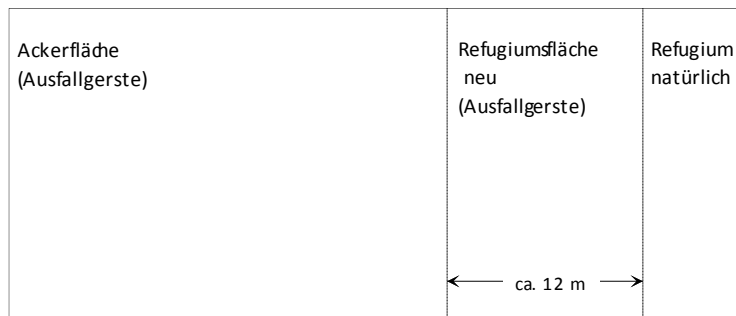


Abbildung 3.8: Skizze der für den Vergleich der Management-Methoden ausgewählten Fläche im Salzlandkreis für den Versuchsansatz 2017/18.

Mittels eines 6-Scharpfluges konnte im September 2017 die für die Einrichtung der Barriere notwendige tiefe Furche gezogen werden. In einen 135 m langen Abschnitt der Furche wurden die Fangwannen mit den Luzerne-Maltol-Pellets aufgestellt. Der Austausch der Köder in den Fangwannen wurde, wie in den davor durchgeführten Versuchen, im Intervall von max. zehn Tagen durchgeführt. In einem weiteren Furchen-Abschnitt wurde zusätzlich das mit Repellentien (Karottensamen- und Schwarzer Pfefferöl) behandelte Zellstoffband getestet. 27 jeweils 5 m lange Zellstoffbandrollen waren per Hand auszulegen und mit Drahtklammern am Boden zu fixieren. Das Zellstoffband musste im Rhythmus von weniger als drei Wochen erneuert werden. Die Variante 'Zinkphosphid' wurde ebenfalls auf 135 m angelegt. Als Kontrolle ohne Managementmaßnahmen war eine vierte 135 m lange Strecke abgegrenzt.

3.4.4 BEFALLSERMITTLUNGEN

Die Bestimmung des Feldmausbefalls, der Populationsgrößen und des Bewegungsverhaltens der Feldmäuse erfolgten mittels der Fang-Wiederfang-Methode. Bei den Fängen kamen Ugglan-Lebendfallen zum Einsatz. Eine Beködierung der Fallen wurde üblicherweise mit Haferflocken, Apfelstückchen und Erdnussflips realisiert. Die aufgestellten Fallen wurden in den jeweiligen Fangperioden zwei Tage vorgeködert, dann scharfgestellt und fünf Mal im Intervall von 12 h kontrolliert.

Von allen gefangenen Feldmäusen wurden Gewicht, Geschlecht und Reproduktionsstatus registriert. Vor der Wiederfreilassung erfolgte eine individuelle Kennzeichnung mit einem

RFID-Transponderchip. Das Auslesen des Chips ermöglichte die Unterscheidung von Neu- und Wiederfängen. Gleichzeitig ermöglichte das Wiederfangen von im Refugium registrierten Feldmäusen auf der Ackerfläche den Nachweis des Zuwanderns.

Tabelle 3.4: Zeiträume der Feldmauserfassung.

Versuchsjahr	Fangperiode
2015/16	
1.	09.09. - 11.09.2015
2.a	14.10.2015 – tierschutzgemäßer Abbruch aufgrund ungünstiger Witterung
2.b	21.10. - 23.10.2015
3.	11.11. - 13.11.2015
4.	16.04. – 18.04.2016
5.	30.05. – 01.06.2016
2016/17	
1.	07.09. - 09.09.2016
2.	05.10. – 07.10.2016
3.	16.11. – 18.11.2016
	im Frühjahr keine Fänge, da die Feldmauspopulationen zusammengebrochen waren
2017/18	
1.	06.09. - 08.09.2017
2.	17.10. – 19.10.2017
3.	22.11. – 24.11.2017
	im Frühjahr keine Fänge, da Bodenbearbeitung für Zuckerrübenanbau auf der Fläche

Die Fänge begannen mit dem Auflaufen des Wintergetreides im Frühherbst und erfolgten einmal monatlich (Tab. 3.4). Der Termin für die erste Fangperiode lag jeweils unmittelbar vor der Einrichtung der Versuchsvarianten.

Zum Fangen wurden die Fallen auf den Versuchsstrecken in mehreren Linientransekten angeordnet (Abb. 3.9). Ein Transekt lag im Refugium. Auf der Ackerfläche wurde in drei Linien gefangen. Die Fangfläche war je Versuchsstrecke 75 m breit und 50 m tief. Dies gewährleistete, dass nur Fänge im zentralen Wirkungsbereich der jeweiligen Management-Methode stattfanden.

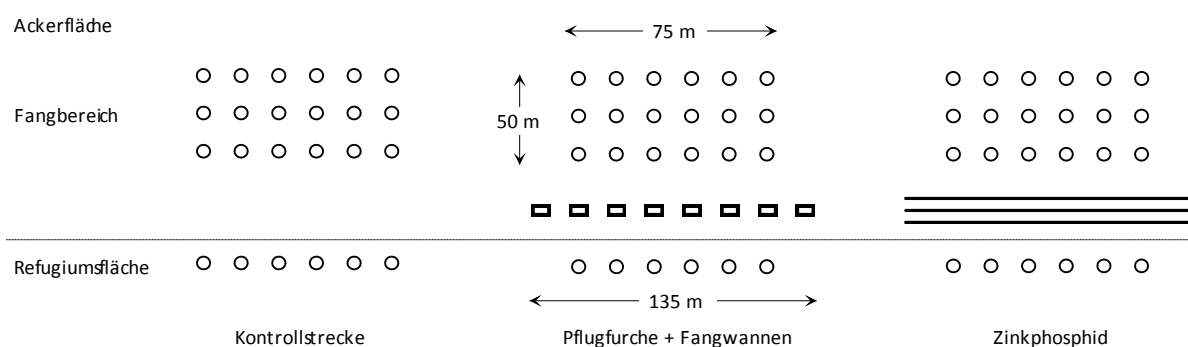


Abbildung 3.9: Schema der Fallenanordnung.

Alle Versuche entsprachen den Vorgaben des Tierschutzgesetzes (Tierversuchsgenehmigungnr. LVwA Sachsen-Anhalt: 42502-3-745 JKI).

Versuchsansatz 2015/16: Für die Ermittlung der Populationsdichte sowie deren Entwicklung wurden auf den jeweiligen Versuchsstrecken 24 Ugglan-Lebendfallen in vier Linientransekten angeordnet. Ein Fallentransekt lag im Refugium und drei auf der Ackerfläche. Die Erfassung des Feldmausauftretens zum September 2015 diente der Bestimmung der Ausgangspopulation vor der Einrichtung der Versuchsvarianten. Zu diesem Termin wurde nur das Transekt im Refugium befangen.

Versuchsansatz 2016/17: Die Befallsermittlungen im Versuchsansatz 2016/17 erfolgten äquivalent zu der schon 2015/16 angewandten Vorgehensweise. Die unterschiedlichen Aussaattermine von Winterraps und Wintergetreide machten jedoch die Bestimmung der Feldmaus-Ausgangspopulation zu verschiedenen Zeitpunkten (Winterraps im September, Wintergetreide im Oktober) notwendig.

Versuchsansatz 2017/18: In dem 12 m breiten Refugium der 2017/18 angelegten Versuchsfläche war Platz für ein zweites Linientransekt. Auf der Ackerfläche wurden die Fallen wieder in den drei Linientransekten aufgestellt. Insgesamt wurden für die Versuchsdurchführung 2017/18 je Untersuchungsvariante 30 Ugglan-Lebendfallen genutzt.

3.4.5 ERFASSUNG VON FELDMAUSSCHÄDEN

Auf den von Feldmäusen besiedelten Ackerflächen sollten Schadenserhebungen durchgeführt werden, um die Befalls-Schaden-Relation zu ermitteln. Die von eingewanderten Feldmäusen an den befallenen Beständen verursachten Schäden waren zu bonitieren. Die Deckungsgrade der Kulturpflanzen und Bestandsdichten wurden parallel zu den Fangterminen ermittelt. Im Juni jeden Jahres wurden zudem die Ährendichten erhoben. Dafür wurden je Versuchsstrecke acht Plots (5 x 5 m) definiert. Die Auszählungen erfolgten mittels Zählrahmen (quadratisch; 0,25 m²) an je vier Bonitурpunkten. Für jeden Bonitурpunkt wurde die Anzahl der ährentragenden Halme auf die mittlere Anzahl Halme pro m² umgerechnet.

Die registrierten Schäden sollten anhand von Luftbildern, die durch eine Befliegung mit einer Kameradrohne gewonnen wurden, verifiziert werden. Die Befliegungen erfolgten mit einem Quadrocopter (DJI Inspire1 Pro mit X5 Kamerasystem) bei 80 m Flughöhe. Die jeweilige Versuchsfläche konnte mit einer Aufnahme erfasst werden. Ausgewählte Flächen wurden 2015 bis 2017 beflogen (Tab. 3.5).

Tabelle 3.5: Flächen und Zeitpunkte der Erstellung von Luftbildern.

Versuchsjahr	Flugtermin	beflogene Flächen
2015/16		
	30.01.2015	'Buttenbergsplan', 'Krötzl groß', 'Talstraße', 'Wasserturm''Königsplan/Schäfererei'
	01.12.2015	'Buttenbergsplan', 'Krötzl groß', 'Talstraße', 'Wasserturm''Königsplan/Schäfererei'
	17.03.2016	'Buttenbergsplan', 'Krötzl groß', 'Talstraße', 'Wasserturm''Königsplan/Schäfererei'
	23.05.2016	'Buttenbergsplan', 'Krötzl groß', 'Talstraße', 'Wasserturm''Königsplan/Schäfererei'
2016/17		
	23.11.2016	'Wasserkreuz 1', 'Wasserkreuz 2', 'Pohlenfeld-Windrad', 'Derlingen', 'Bahngrube'
2017/18		
	27.06.2017	'Quedlinburger Straße F6'

Wirksamkeit der Mäuseköderlegemaschine WUMAKI C9

In Ergänzung des Versuchsprogrammes wurde im Frühjahr 2016 am Versuchsstandort Gerbstedt (Landkreis Mansfeld-Südharz) auf einer Kulturfläche mit Winterweizen die Wirksamkeit der 3-reihigen Mäuseköderlegemaschine (MKL) ermittelt. Im Randbereich der Ackerfläche waren durch den Landwirtschaftsbetrieb mittels der Maschine am 30.10.2015 Giftlinsen mit dem Wirkstoff Zinkphosphid in drei Röhren unterirdisch appliziert worden (ausgebrachte Menge: 100 g/100 m). Den Einsatz der MKL ergänzte der Landwirtschaftsbetrieb durch eine weitere Rodentizid-Behandlung. Sie bestand in der Ausbringung von Giftweizen mit einer Legeflinte und erfolgte am 24.03.2016. Auf diesem Schlag konnte ein Bereich beobachtet werden, in den Feldmäuse auf die Ackerfläche eingewandert waren. Eine Quantifizierung und Lokalisierung eingetretener Feldmausschäden erfolgte hier durch Auszählung der ährentragenden Halme am 16.06.2016 (BBCH 71). Die Ährendichten wurden dabei in unterschiedlichen Abständen zum Feldrand ermittelt. Diese Abstände wurden entsprechend den Rodentizid-Ablageabständen der Mäuseköderlegemaschine definiert. Die Abstände zwischen den einzelnen MKL-Ablagereihen betragen 2,25 m. Es wurden die Ährendichten zwischen Feldrand und der ersten Ablagereihe sowie zwischen den beiden jeweils folgenden Ablagereihen erfasst. Die Auszählungen in dem Schlagbereich von etwa 100 m Länge wurden in fünf Teilabschnitten von je 20 m wiederholt.

3.4.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programm R (Version 3.5.1, RCore Team 2018) durchgeführt. Für alle Modelle wurde das R Paket „lme4“ (Bates *et al.*, 2015) verwendet, das mit der Maximum-Likelihood-Methode (Laplace Annäherung) modelliert. Mithilfe der schrittweisen Rückwärtsselektion wurde das passendste Modell mit dem kleinsten Akaike

Informationskriterium ausgewählt. Das finale Modell wurde mithilfe von Residuen-Graphen validiert. Wahrscheinlichkeiten wurden mit dem R Paket „emmeans“ (Lenth, 2018) und „effects“ (Fox, 2003) berechnet und auf mögliche Unterschiede zwischen den Faktoren mit dem Tukey Test verglichen.

Ob die Ährendichten von der Lage der Erfassungsflächen abhingen, wurde mit einem Linearen Gemischten Modells (LMM) überprüft. Als zufällige Effekte waren die Erfassungsabschnitte und die Aufnahmequadratrate zu berücksichtigen. Hierbei wurden nur die Daten aus dem Versuch zur Wirksamkeit der Mäuseköderlegemaschine (vgl. 3.4.6) einbezogen, da durch die Ährenbonituren im Methoden-Vergleich keine Schäden nachgewiesen wurden.

Die in den Feldversuchen des Versuchsansatzes 2015/16 sowie 2016/2017 gewonnenen Fangzahlen wurden mit einem Generalisierten Linearen Gemischten Modell (GLMM) mit Poisson-Verteilung analysiert. Die Daten aus dem Versuchsjahr 2017/18 wurden aufgrund der geringen Zahlen sowie der Anlage einer weiteren Versuchsstrecke (Repellent-Band) von der Analyse ausgeschlossen. Die Anzahl an gefangenen Feldmäuse konnte durch die Management-Methode, der Fangort (Refugium, Ackerfläche) erklärt werden. Die Versuchsstandorte wurden als zufälliger Effekt einbezogen. Das Modell wies jedoch eine hohe Streuung der Daten auf und die Residuen deuten auf eine schlechte Modellanpassung hin. Die Ergebnisse wurden dennoch graphisch dargestellt (Abb. 4.18), um die geringen Unterschiede zwischen den Management-Methoden zu verdeutlichen.

4. ERGEBNISSE

4.1 SELBSTBEDIENUNGSFALLE FÜR PRÄDATOREN

4.1.1 FÄNGIGKEIT DER FELDMÄUSE

Feldversuch zur Fängigkeit – Herbst 2014 in Sachsen-Anhalt:

Während der fünf Fallenkontrollen im Oktober und November wurden insgesamt 25 Feldmäuse und 16 andere Kleinsäuger mit der Standby-Box und 14 Feldmäuse und 6 andere Kleinsäuger mit der Fangwanne gefangen. Die Beifang-Arten waren Wald- (*Apodemus sylvaticus*), Brand- (*Apodemus agrarius*), Gelbhals- (*Apodemus flavicollis*) und Spitzmäuse (*Sorex spec.*), wobei die beiden Spitzmäuse mit der Standby-Box gefangen wurden. Die gefangenen *Apodemus spec.* in der Fangwanne hätten theoretisch herauspringen können, wären die Fallen nicht oben mit einem Gitter für Prädatoren verschlossen worden. Bei der vorab durchgeführten Fang-Wiederfang-Studie wurden die meisten Feldmäuse im Refugium gefangen. Nur auf zwei Flächen im Oktober und einer Fläche im November wurden max. 10 Feldmäuse auf der Kulturfläche gefangen. DENSITY berechnete Populationsgrößen zwischen 3 und 72 Feldmäusen.

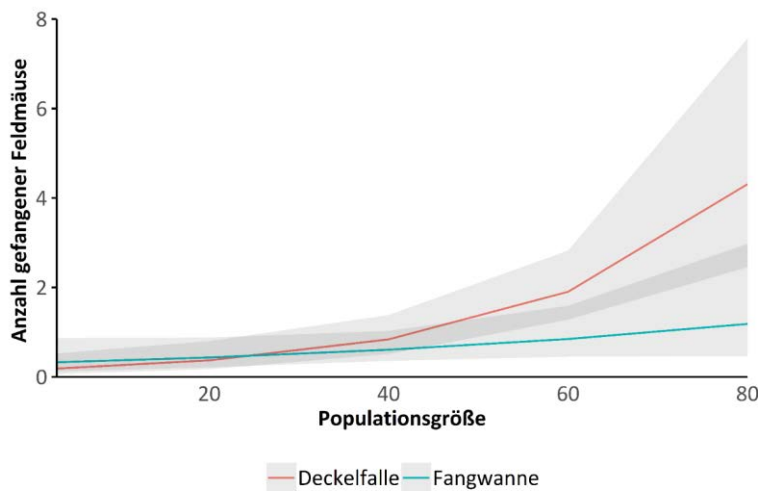


Abbildung 4.1: Modellberechnungen (GLMM) für Feldmaus-Fänge mit Fangwanne (rot) und Standby-Box (blau) während fünf Fallenkontrollen in Abhängigkeit vom Fallentyp und von der mit DENSITY geschätzten Populationsgröße (Interaktion) (grau: 95%-Konfidenzintervall).

Das GLMM schätzte z. B., dass bei einer Populationsgröße von 80 Feldmäusen innerhalb von fünf Fallenkontrollen ca. vier Feldmäuse mit der Standby-Box und eine Feldmaus mit der Fangwanne gefangen werden (Abb. 4.1). Die Fallentypen unterschieden sich jedoch nicht signifikant in ihrer Fängigkeit (Tukey Test: $p=0,402$). Eine Beköderung der Fallen hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Fängigkeit (Tukey Test: $p=0,425$).

Gehegeversuch zur Fängigkeit – Herbst 2018 am JKI:

Es wurden insgesamt 16 Feldmäuse mit dem Fangwannen-Prototyp und 8 mit der Standby-Box sowie 9 Feldmäuse mit der Fangwanne und 15 Feldmäuse mit der Standby-Box gefangen.

Das Binomial-GLM zeigte, dass der Fangwannen-Prototyp mehr Mäuse fing als die Fangwanne ohne modifizierte Eingänge ($p=0,047$) (Abb. 4.2). Das Modell schätzte, dass sich 67% der Feldmäuse mit dem Fangwannen-Prototyp fangen lassen und 33% mit der Standby-Box. Bei der anderen Fangwanne waren es nur 38% (vs. 62% mit der Standby-Box).

Untersuchte man die Anzahl der Fänge separat für jeden Fangwannen-Typ im Poisson-GLM, unterschied sich die Anzahl der gefangenen Feldmäuse nicht zur Standby-Box.

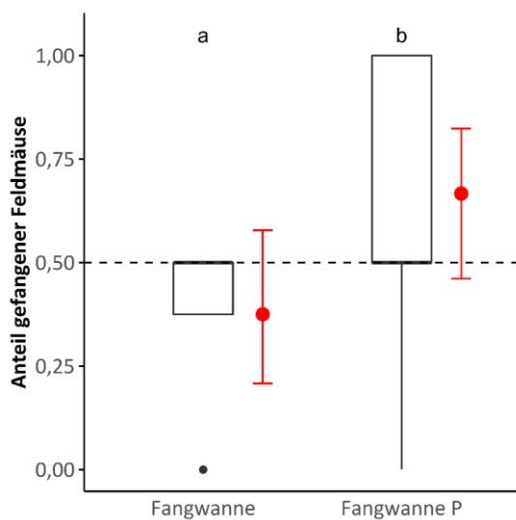


Abbildung 4.2: Anteil der gefangenen Feldmäuse mit Fangwannen und Fangwannen Prototyp (P) im Vergleich zur Standby-Box während der Gehegeversuche (Boxplots) (1= alle Feldmäuse werden mit der Fangwanne gefangen; 0= alle Feldmäuse werden mit der Standby-Box gefangen). Modellberechnungen (GLM) zeigten, dass sich die Fänge zwischen den beiden Fangwannen-Typen unterschieden (Wahrscheinlichkeit, dass 95% mit der Fangwanne gefangen werden in Rot). Unterschiedliche Buchstaben über den Boxplots bedeuten signifikante Unterschiede (Tukey Test).

4.1.2 ENTNAHME DURCH PRÄDATOREN

Feldversuch zur Entnahme durch Prädatoren – Herbst 2014 in Sachsen-Anhalt:

Die Standby-Box wurde von Katzen (*Felis silvestris catus*) und Füchsen (*Vulpes vulpes*) geleert, bei der Fangwanne konnten Katzen, Hermeline (*Mustela erminea*), Waschbären (*Procyon lotor*), Elstern (*Pica pica*), Nördliche Raubwürger (*Lanius excubitor*), Eichelhäher (*Garrulus glandarius*) und Rotmilane (*Milvus milvus*) bei der Feldmausentnahme beobachtet werden (Abb. 4.3).

Die Fangwanne wurde deutlich häufiger von Prädatoren geleert als die Standby-Box. Während insgesamt 27,7% der Mäuse in den Fangwannen von Prädatoren entnommen wurden, war dies nur bei 8,1% der Mäuse in den Standby-Boxen der Fall. Kam ein Prädator vorbei, wurden nur 2,1% der Feldmäuse aus den Fangwannen bzw. 27% aus den Standby-Boxen nicht

entnommen. In die abschließende Bewertung wurden diese Daten jedoch nicht aufgenommen, da ca. 46% der Feldmäuse aus den Fangwannen entkommen konnten und deshalb die Falle anschließend modifiziert wurde.



Abbildung 4.3: Wildtierkamerabilder der Prädatoren bei der Feldmaus-Entnahme aus den Standby-Boxen und Fangwannen (Beispiele). Oben, links: Hauskatze (*Felis silvestris catus*), Mitte: Elster (*Pica pica*), rechts: Fuchs (*Vulpes vulpes*); 2. Reihe von oben, links: Waschbär (*Procyon lotor*), Mitte: Hermelin (*Mustela erminea*), rechts: Steinmarder (*Martes foina*); 3. Reihe von oben, links: Fuchs, Mitte: Nördlicher Raubwürger (*Lanius excubitor*), rechts: Waschbären; Unten rechts: Hauskatze mit Feldmaus, Mitte: Eichelhäher (*Garrulus glandarius*), rechts: Wanderratte (*Rattus norvegicus*). (Fotos: JKI)

Feldversuch zur Entnahme durch Prädatoren – Herbst 2017 & Sommer 2018 in Sachsen-Anhalt:

Im Jahr 2017 wurden 68% der Feldmäuse aus den Fangwannen und 25% aus den Standby-Boxen entnommen. 2018 waren es nur 46% (Fangwanne) bzw. 4% (Standby-Box). Der

häufigste Prädator war an beiden Fallen der Waschbär (Abb. 4.3; Abb. 4.4). Weitere Prädatoren waren Katzen, Füchse, Wanderratten (*Rattus norvegicus*), Steinmarder (*Martes foina*), Elstern und Turmfalken (*Falco tinnunculus*). In acht Fällen war zwar die Feldmaus bei der nächsten Kontrolle verschwunden und Neuntöter (*Lanius collurio*), Eichelhäher oder Elstern wurden in der Nähe der Falle, aber nicht direkt während der Entnahme, aufgenommen.

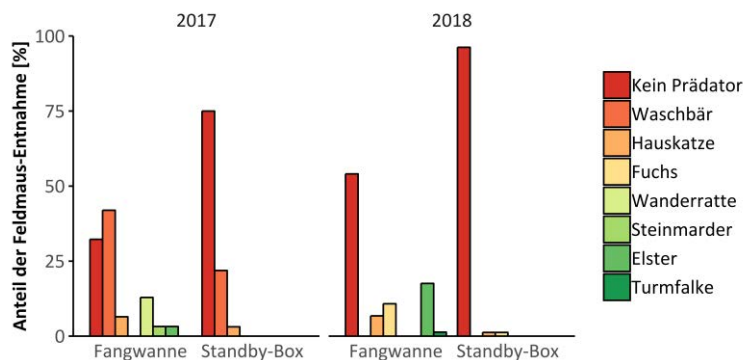


Abbildung 4.4: Anteil der durch die verschiedenen Prädatoren aus den Fangwannen und Standby-Boxen entnommenen Feldmäuse während der Feldversuche im Herbst 2017 und Sommer 2018 insgesamt.

Der Anteil von entnommenen Feldmäusen wurde im GLMM durch den Fallentyp, Versuchsjahr und Tag- oder Nacht-Zeitpunkt bestimmt (Abb. 4.5). Die höchste Wahrscheinlichkeit (76%) für eine Feldmaus-Entnahme berechnete das GLMM für Nächte im Herbst 2017 aus der Fangwanne. Die niedrigste Wahrscheinlichkeit (1%) bestand während der Sommertage 2018 aus den Standby-Boxen. Aus den Fangwannen wurden signifikant häufiger Feldmäuse entnommen (Tukey Test: $p < 0,001$).

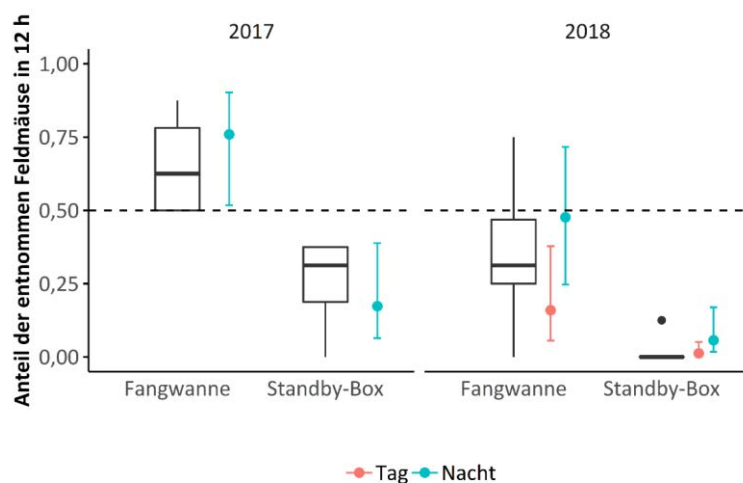


Abbildung 4.5: Anteil der von Fressfeinden innerhalb von 12 h aus Fangwannen/Standby-Boxen entnommenen Feldmäuse (Boxplots) (1= alle Feldmäuse werden in 12 h entnommen; 0= keine Feldmaus wird in 12 h entnommen). Modellberechnungen (GLMM) zeigten, dass sich die Entnahme zwischen Fallentyp, Tag und Nacht sowie Versuchsjahr unterschied (Wahrscheinlichkeit, dass 95% der Feldmäuse innerhalb von 12 h tagsüber (rot) oder nachts (blau) entnommen werden).

Die Besuche der Prädatoren hing von der Landnutzung innerhalb eines Radius von 2000 m um die Versuchsflächen ab (Abb. 4.6; Abb. 4.7). Das GLM berechnete die höchste

Wahrscheinlichkeit für einen Raubsäuger- bzw. Raubvogelbesuch innerhalb von 24 h, wenn der Anteil bebauter Flächen bei 0% (70% bzw. 56% Wahrscheinlichkeit) lag. Wenn innerhalb des Radius mehr als 38% bzw. 62% der Fläche bebaut waren, kam kaum ein Raubsäuger bzw. Raubvogel mehr vor (1% Wahrscheinlichkeit).

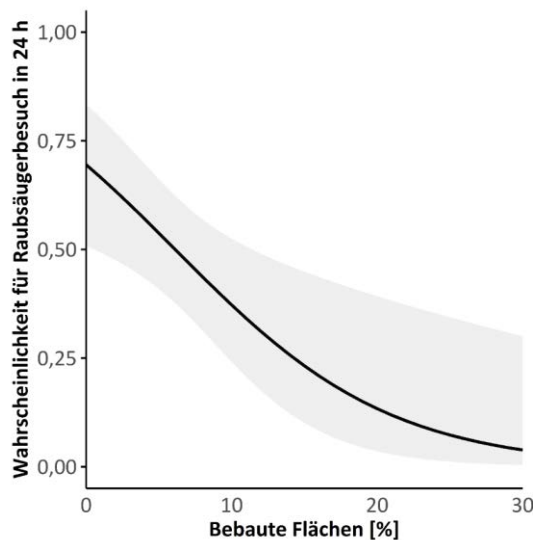


Abbildung 4.6: Modellberechnungen (GLM) für einen Raubsäugerbesuch innerhalb von 24 h in Abhängigkeit vom Anteil bebauter Flächen (grau: 95%-Konfidenzintervall) (1= min. ein Prädator besucht die Fläche innerhalb von 24 h; 0= kein Prädator besucht die Fläche innerhalb von 24 h).

Vogelbesuche (in 2018) hingen zudem vom Anteil der (halb-)natürlichen Flächen ab (Abb. 4.7). Wenn die Umgebung mehr als 25% natürliche Vegetation aufwies, bestand eine Wahrscheinlichkeit von 95%, dass ein Vogel mit einer der vier Wildkameras aufgenommen wurde. Lag der Anteil dieser Flächen bei 0%, kam nur noch in 23 von 100 Fällen ein Raubvogel an den Versuchsfleichen vorbei. Des Weiteren nahmen die Vogelbesuche mit der Zeit zu. Am ersten Tag bestand eine 14%ige Wahrscheinlichkeit, ab Tag 19 eine 95%ige Wahrscheinlichkeit.

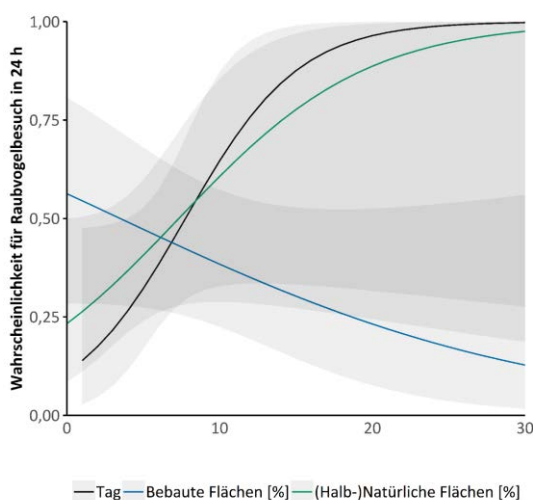


Abbildung 4.7: Modellberechnungen (GLM) für einen Raubvogelbesuch im Sommer 2018 innerhalb von 24 h in Abhängigkeit vom Versuchstag (schwarz) sowie vom Anteil bebauter Flächen (blau) sowie (halb-)natürlicher Flächen (grün) innerhalb eines Radius von 2000 m um die Versuchsfleichen (grau: 95%-Konfidenzintervall) (1= min. ein Raubvogel besucht die Fläche innerhalb von 24 h; 0= kein Raubvogel besucht die Fläche innerhalb von 24 h).

Es konnte kein Zusammenhang zwischen dem Anteil an landwirtschaftlichen Flächen und der Besuche der Prädatoren festgestellt werden. Allerdings war bei allen Versuchsflächen Landwirtschaft die vorherrschende Nutzungsform (69-96%).

4.2 KÖDERENTWICKLUNG MIT ATTRAKTANTIEN

4.2.1 SCREENING DER ATTRAKTANTIEN IM T-LABYRINTH

Die meisten Feldmäuse ließen sich im T-Labyrinth mit Bisabolol, Eugenol und Maltol fangen (Abb. 4.8). Es konnte keine Präferenz für die fettige, süße oder der Feldmaus bekannten Stoffgruppe festgestellt werden. Aus allen drei Gruppen wurden Stoffe favorisiert oder gemieden. Für das Wühlmauslockmittel aus dem Handel haben sich nur zwei von acht Feldmäusen entschieden; für den JKI Köder die Hälfte der Versuchstiere.

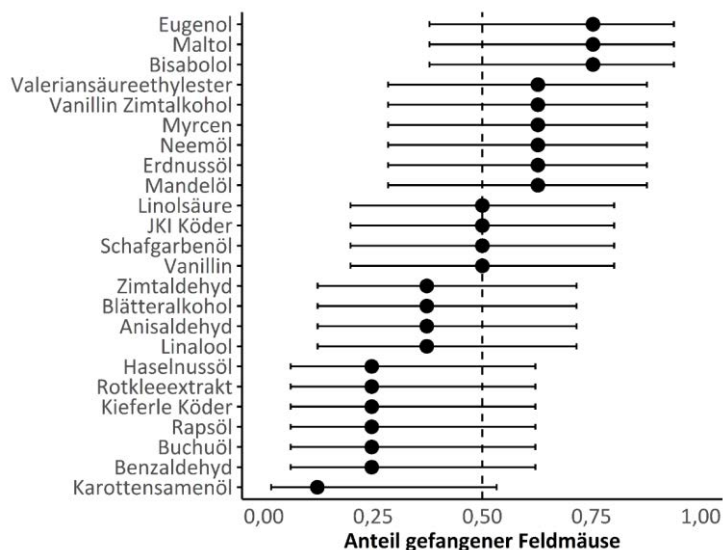


Abbildung 4.8: Modellberechnungen (GLM) für den Anteil der Feldmäuse, die sich im T-Labyrinth mit der Falle mit Stoff fangen lassen (95%-Konfidenzintervall) (1= alle Feldmäuse werden mit der Stoff-Falle gefangen; 0= alle Feldmäuse werden mit der Kontroll-Falle gefangen).

4.2.2 FUTTERWAHLVERSUCHE ZUR AUSWAHL DER GETREIDEBASIS

Im ersten Futterwahlversuch fraßen die acht Feldmäuse durchschnittlich (\pm SD) von den Luzernepellets $2,9 \pm 0,6$ g und vom Weizen $2,7 \pm 0,7$ g. Im zweiten Futterwahlversuch wurden $3,0 \pm 1,7$ g von den naturfarbenen und $1,4 \pm 0,6$ g von den maigrünen Pellets gefressen (Abb. 4.9). Modellberechnungen (LMM) zeigten, dass die Feldmäuse gleich viel Weizen und Pellets (Tukey Test: $p=0,49$) und weniger von den maigrünen Pellets (Tukey Test: $p<0,001$) gefressen haben.

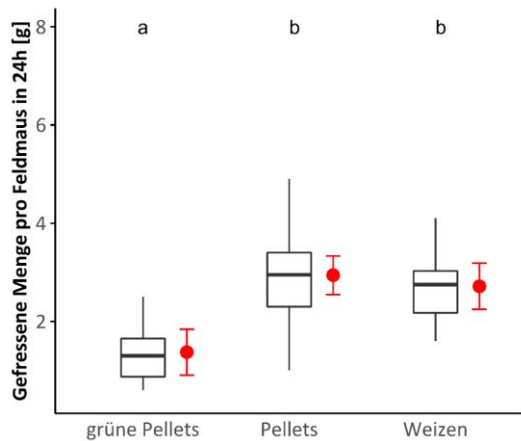


Abbildung 4.9: Gefressene Pellet- und Weizenmengen im Futterwahl-Käfigversuch innerhalb von 24 h (Boxplots). Modellberechnungen (LMM) zeigten, dass die gefressene Futtermenge vom Futtertyp abhängt (geschätzte Futtermenge, die 95% der Feldmäuse innerhalb von 24 h fressen in Rot). Unterschiedliche Buchstaben über den Boxplots bedeuten signifikante Unterschiede (Tukey Test).

4.2.3 GEHEGEVERSUCHE MIT DREI NEUEN KÖDERN

Gehegeversuch zur Fängigkeit:

In den Gehegen liefen die Feldmaus-Weibchen innerhalb von 6 h im Durchschnitt (\pm SD) $1,4 \pm 1,1$ Mal in die Maltol-Fallen und $0,9 \pm 1,0$ Mal in die Fallen mit Bisabolol oder Eugenol. Männchen wurden $1,0 \pm 1,2$ Mal mit dem Maltol-Köder, $0,8 \pm 1,0$ Mal mit Eugenol und $0,7 \pm 0,8$ Mal mit Bisabolol gefangen. Die meisten Fänge wurde mit Maltol erzielt ($65 \pm 37\%$ im Vergleich zur Kontrolle). Der Fangerfolg war mit diesem Köder 60% höher als mit dem Kontroll-Köder (142 Fänge mit Maltol vs. 89 Fänge mit dem Kontroll-Köder). Von allen Versuchstieren entschieden sich 21% ausschließlich für den Maltol- anstatt für den Kontroll-Köder.

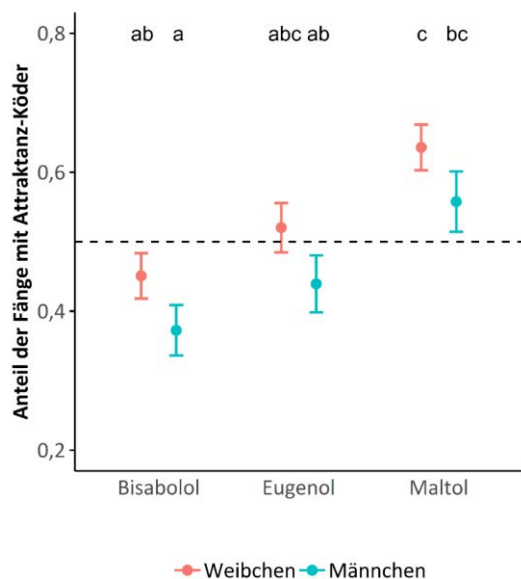


Abbildung 4.10: Modellberechnungen (GLMM) für den Anteil der Feldmaus Weibchen (rot) und –Männchen (blau), die sich im Gehegeversuch mit den drei Attraktanz-Ködern fangen lassen (95%-Konfidenzintervall) (1= alle Feldmäuse werden mit dem Attraktanz-Köder gefangen; 0= alle Feldmäuse werden mit dem Kontroll-Köder gefangen). Unterschiedliche Buchstaben über den Fehlerbalken bedeuten signifikante Unterschiede (Tukey Test).

Vergleicht man alle drei Attraktanz-Köder im GLMM, unterschieden sich die Fänge mit dem Maltol-Köder zu den Ködern, die Eugenol (Tukey Test: $p= 0,03$) und Bisabolol (Tukey Test: $p<$

0,001) enthalten. Weibchen ließen sich mit allen drei Attraktanz-Ködern öfter fangen als Männchen ($p=0,05$; Abb. 4.10).

Gehegeversuch zur Köderaufnahme:

In den Gehegen fraß eine Feldmauspopulation (je zwei Weibchen und Männchen) durchschnittlich (\pm SD) $3,2 \pm 2,1$ g vom Maltol-Köder, $2,6 \pm 1,8$ g vom Eugenol-Köder und $2,1 \pm 2,1$ g vom Bisabolol-Köder. Bezogen auf die gesamte gefressene Menge in allen vier Boxen mit Kontroll- und Attraktanz-Köder, fraßen die Populationen im Durchschnitt (\pm SD) zu $42 \pm 16\%$ vom Maltol-Köder, zu $33 \pm 14\%$ vom Eugenol-Köder und zu $22 \pm 11\%$ vom Bisabolol-Köder (Abb. 4.11). Die Modellberechnungen (GLMM) ergaben, dass vom Maltol-Köder mehr gefressen wurde, als vom Bisabolol- (Tukey Test: $p<0,001$) oder vom Eugenol-Köder (Tukey Test: $p=0,05$).

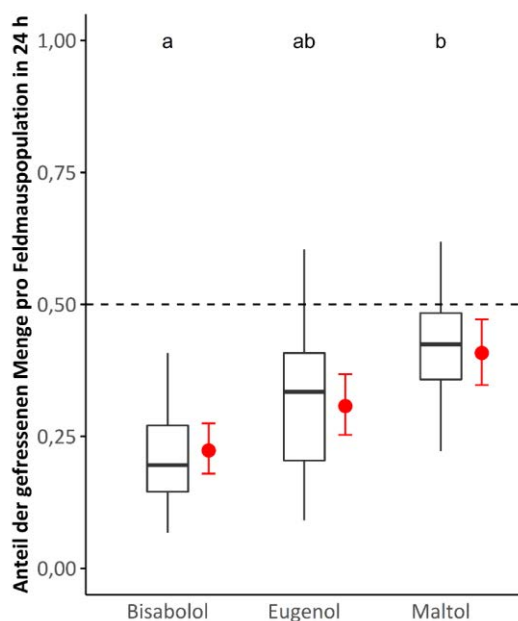


Abbildung 4.11: Anteil der gefressenen Attraktanz-Ködermengen im Futterwahl-Gehegeversuch innerhalb von 24 h (Boxplots) (1= gesamte Feldmauspopulation frisst nur den Attraktanz-Köder; 0= gesamte Feldmauspopulation frisst nur den Kontroll-Köder). Modellberechnungen (GLMM) zeigten, dass die gefressene Futtermenge von der Attraktanz und vom Gehege abhängt (Wahrscheinlichkeit, dass 95% der Feldmauspopulationen innerhalb von 24 h von den Attraktanz-Ködern fressen in Rot). Unterschiedliche Buchstaben über den Boxplots bedeuten signifikante Unterschiede (Tukey Test).

In den unterirdischen Boxen mit Attraktanz-Köder hielten sich die Feldmäuse durchschnittlich (\pm SD) $4,4 \pm 3,4$ h (Maltol), $3,8 \pm 5,1$ h (Eugenol) und $2,9 \pm 4,7$ h (Bisabolol) auf. Im Vergleich zum Kontroll-Köder hielten sie sich im Durchschnitt (\pm SD) $46 \pm 14\%$ der gesamten Aufenthaltszeit in Boxen mit Maltol, $31 \pm 27\%$ in Boxen mit Eugenol und $26 \pm 22\%$ in Boxen mit Bisabolol auf (Abb. 4.12). Im Modell (GLM) gab es jedoch keine Unterschiede zwischen den Ködern. Die Aufenthaltszeit konnte nur durch die Gewichtsunterschiede erklärt werden. Je höher das Gewicht der Feldmaus, desto kürzer hat sie sich in einer der Boxen unabhängig vom Ködertyp aufgehalten.

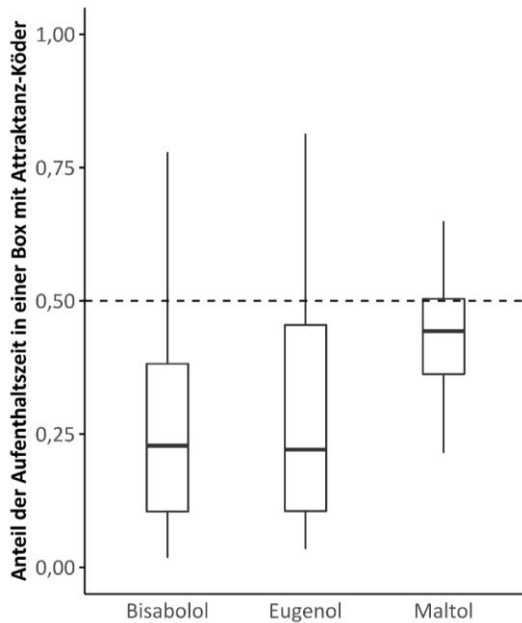


Abbildung 4.12: Anteil der Aufenthaltszeit einer Feldmaus in den unterirdischen Boxen mit Attraktanz-Köder im Futterwahl-Gehegeversuch (1= alle Feldmäuse besuchen Boxen nur mit Attraktanz-Köder; 0= alle Feldmäuse besuchen nur Boxen mit Kontroll-Köder).

4.3 REPELLENTIEN

4.3.1 SCREENING DER REPELLENTIEN IM T-LABYRINTH

Im T-Labyrinth hielten sich die Feldmäuse am kürzesten (\pm SD) in der Box mit KS (69 ± 70 s; $16 \pm 14\%$ der gesamten Aufenthaltszeit in beiden Boxen) und am längsten mit der Box mit Myrcen (693 ± 577 s; $56 \pm 39\%$; Abb. 4.13) auf.

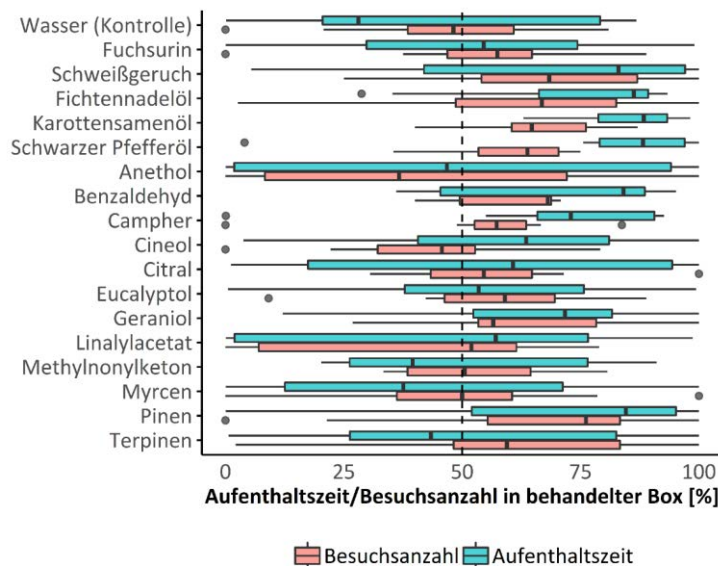


Abbildung 4.13: Anteil der Aufenthaltszeit (blau) und Besuchszahl (rot) in der behandelten Box des T-Labyrinths. Eine Box wurde mit dem zu testenden Stoff, die andere mit Wasser behandelt. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, bei der beide Boxen mit Wasser behandelt waren, reduzierten die drei ätherischen Öle die Aufenthaltszeit (Welch t-Test: KS: $p=0.02$; SP: $p=0.04$; FN: $p=0.05$).

Mit den drei ätherischen Ölen konnte die Aufenthaltszeit im Vergleich zur Kontrollgruppe reduziert werden (Welch t-Test: KS: $p=0.02$; SP: $p=0.04$; FN: $p=0.05$). Fuchsurin, Menschenschweiß und die Einzelstoffe hatten keinen Einfluss auf die Aufenthaltszeit. Ebenso konnten keine Unterschiede bei der Besuchszahl gefunden werden.

Für weitere Versuche in den Gehegen wurden die ätherischen Öle und Benzaldehyd (BA) ausgewählt, da BA der effektivste Einzelstoff war ($p=0,07$).

4.3.2 GEHEGEVERSUCHE MIT VIER REPELLENTIEN UND VERSCHIEDENEN DISPENSERN

Gehegeversuche mit Repellentien auf Zellstoffkugeln:

In den Gehegen durchquerten die Feldmäuse durchschnittlich (\pm SD) die behandelten Gänge am seltensten, wenn SP eingesetzt wurde ($1,2 \pm 1,8$ Mal pro Tag); am häufigsten, wenn mit FN behandelt wurde ($4,7 \pm 8,3$ Mal pro Tag). In Relation zu den Migrationen durch den unbehandelten Kontroll-Gang, wählten die Feldmäuse am seltensten Durchgänge mit SP ($39 \pm 46\%$ aller Migrationen), und am häufigsten Durchgänge behandelt mit BA (dc) ($51 \pm 45\%$; Abb. 4.14). 79% mehr Migrationen erfolgten durch den Kontroll-Gang, wenn bei dem anderen Gang SP ausgebracht war (58 Migrationen durch den Kontroll-Gang vs. 104 durch den SP-Gang). Das Modell (GLMM) konnte jedoch keine Unterschiede zwischen den Behandlungen finden (Tukey Test). Die Herkunft der Versuchstiere (Wildtiere oder F1) war unerheblich, jedoch nicht das Geschlecht der Feldmäuse. Weibchen wählten bei allen Stoffen häufiger den Kontroll-Gang und wurden tendenziell mehr abgehalten als die Männchen.

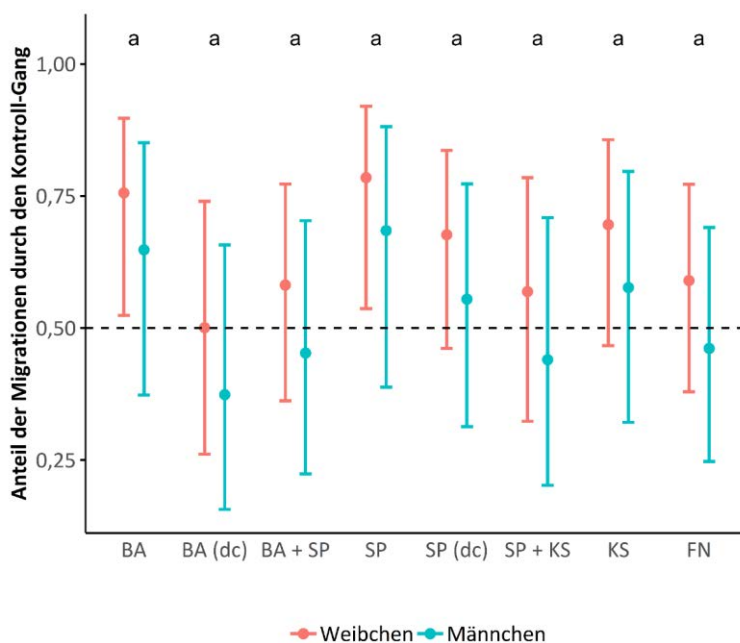


Abbildung 4.14: Modellberechnungen (GLMM) für den Anteil der Migrationen von Feldmaus Weibchen (rot) und -Männchen (blau) während der Gehegeversuche mit Repellentien (95%-Konfidenzintervall) (1= alle Feldmäuse durchqueren den Kontroll-Gang; 0= alle Feldmäuse durchqueren den behandelten Gang (mit Benzaldehyd (BA), Fichtennadelöl (FN), Karottensamenöl (KS), Schwarzer Pfefferöl (SP), in doppelter Konzentration (dc) oder in Kombination). Die gleichen Buchstaben über den Fehlerbalken bedeuten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stoffen (Tukey Test).

Gehegeversuche mit Repellentien und Dispensern:

Durchschnittlich (\pm SD) wurden absolut am wenigsten Haferflocken pro Tag in der Nähe von Karottensamenöl gefressen ($8,6 \pm 4,9$ g). Bezogen auf die gesamte Menge an gefressenen Haferflocken, wurde durchschnittlich am wenigsten beim SP + KS Zellstoffband gefressen (35

± 17%) und am meisten bei FN (47 ± 11%). Die größte Fraßreduktion (44%) erfolgte bei SP + KS Zellstoffband (523 g bei der Kontrolle vs. 293 g bei SP + KS Zellstoffband).

Laut Modell (GLMM), war das SP + KS Zellstoffband effektiver als FN ($p= 0,003$), SP + KS Tongranulat ($p= 0,008$), BA ($p= 0,02$) und SP (dc) ($p= 0,03$) (Abb. 4.15). Bei SP + KS auf Zellstoffkugeln wurde signifikant weniger gefressen als bei FN ($p= 0,03$) (Tukey Test).

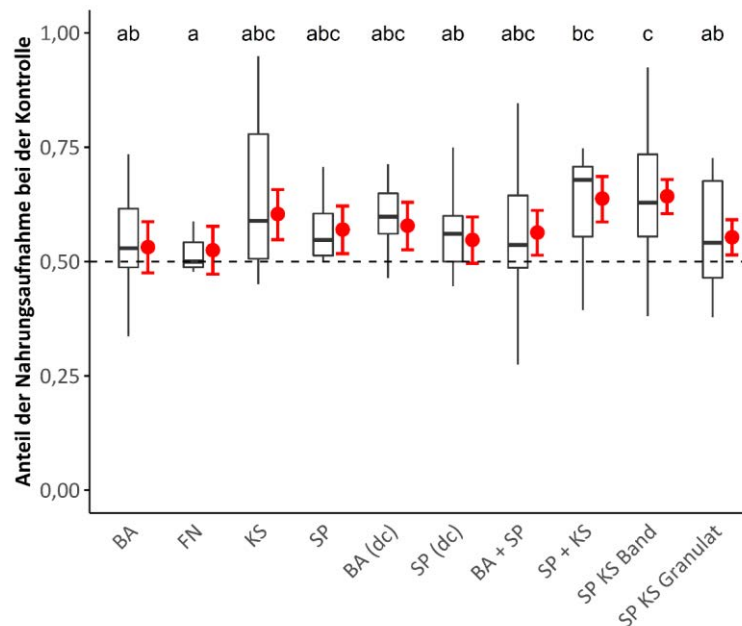


Abbildung 4.15: Anteil der Nahrungsaufnahme der Feldmaus-populationen beim Kontroll-Gang während der Gehegeversuche mit Repellentien (Boxplots) (1= alle Feldmäuse fressen beim Kontroll-Gang; 0= alle Feldmäuse fressen beim behandelten Gang (mit Benzaldehyd (BA), Fichtennadelöl (FN), Karottensamenöl (KS), Schwarzer Pfefferöl (SP), in doppelter Konzentration (dc), in Kombination, auf Zellstoffkugeln, (Ton-)Granulat oder auf (Zellstoff-)Band)). Modellberechnungen (GLMM) zeigten, dass sich die Nahrungsaufnahme zwischen den Behandlungen unterschied (Wahrscheinlichkeit, dass 95% der Feldmäuse beim Kontroll-Gang fressen in Rot). Unterschiedliche Buchstaben über den Boxplots bedeuten signifikante Unterschiede (Tukey Test).

4.4 FELDVERSUCHE ZUM VERGLEICH AUSGEWÄHLTER MANAGEMENT-METHODEN

4.4.1 VERSUCHSANSATZ 2015/16

Die Erfassung des Feldmausauftritts auf den fünf Versuchsstandorten sollte der Beurteilung der Wirkung der Management-Methoden dienen. Die im September 2015 erfassten Daten spiegelten die Ausgangspopulation ohne den Einfluss der Management-Methoden wieder. Auf den Versuchsstrecken konnten in dieser Fangperiode 3-21 Feldmäuse registriert werden, die Mediane der Anzahl gefangener Feldmäuse auf den einzelnen Versuchsstandorten lagen im Bereich 6-14.

Abbildung 4.16 zeigt, wie sich die Anzahl auf den Refugien gefangener Feldmäuse im zeitlichen Verlauf veränderte. Unabhängig von den Management-Methoden war eine allgemeine Abnahme der Feldmauspopulationen auf allen Versuchsstrecken während des Herbstes zu verzeichnen. Über den Winter waren Feldmausfänge witterungsbedingt nicht sinnvoll.

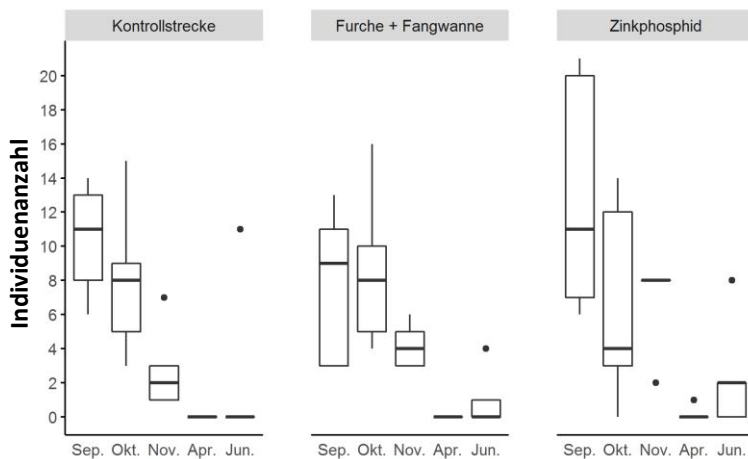


Abbildung 4.15: Anzahl der in den Refugien der fünf Versuchsstandorte 2015/16 gefangenen Feldmäuse. (An einem Fangtermin mehrfach gefangene Individuen wurden nur einmal gezählt. Ausgewiesen werden die Mediane, der Interquartilsabstand als Box, das 1,5-fache des Interquartilabstands als Whisker, die Ausreißer als Datenpunkte.)

Im Frühjahr 2016 wurden die Versuche fortgesetzt. Im April wurde lediglich eine Feldmaus im Refugium eines Versuchsstandes gefangen. Die Zahl der im Juni registrierten Feldmäuse war ebenfalls gering. In den Refugien mehrerer Versuchsstrecken wurden zu diesem Zeitpunkt gar keine Feldmäuse mehr gefangen.

Auf den Ackerflächen der Versuchsstandorte wurden im Oktober und November 2015 keine Feldmäuse gefangen, so dass wahrscheinlich bis zu diesem Zeitpunkt keine oder nur eine sehr geringe Einwanderung der Feldmäuse in die Ackerflächen stattgefunden hat (Abb. 4.17). Beim Befangen der Versuchsstrecken im April 2016 wurden zwei Feldmäuse auf den Ackerflächen gefangen (je eine Feldmaus auf der Kontrollstrecke und auf der Strecke mit Pflugfurche + Fangwannen). Dabei handelte es sich um Feldmäuse, die bisher noch nicht registriert wurden. Durch Anwendung der Lochtretmethode sowie ein direktes Befangen belauener Feldmausbau wurde jedoch Feldmausaktivität auf den Versuchsstrecken nachgewiesen. Es war zu vermuten, dass bei dem attraktiven Nahrungsangebot auf der Ackerfläche (frische Winterweizen-Pflanzen) die mit Apfel, Haferflocken und Erdnussflips beköderten Fallen ignoriert wurden. In Konsequenz dessen erfolgte die Beködierung der Uggan-Lebendfallen zur Populationsbestimmung im Juni 2016 mit den neu entwickelten Maltol-Luzerne-Pellets.

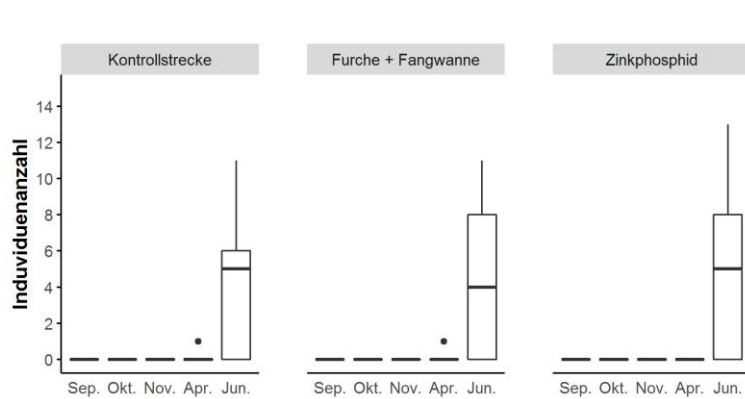


Abbildung 4.16: Anzahl der auf der Ackerfläche der fünf Versuchsstandorte 2015/16 gefangenen Feldmäuse. (An einem Fangtermin mehrfach gefangene Individuen wurden nur einmal gezählt. Ausgewiesen werden die Mediane, der Interquartilsabstand als Box, das 1,5-fache des Interquartilabstands als Whisker, die Ausreißer als Datenpunkte.)

In der Fangperiode Juni 2016 wurden insgesamt 78 Feldmäuse gefangen. Sie traten nur auf drei der fünf Versuchsstandorte auf. 94% der gefangenen Tiere befanden sich in den Ugglan-Fallen auf den Ackerflächen. Im Herbst davor waren nur Feldmäuse im Refugium verzeichnet worden. Bei den Fängen auf den Ackerflächen handelte es sich jedoch in keinem Fall um einen Wiederfang einer markierten Feldmaus aus dem Herbst. Die Anzahl der gefangenen Tiere unterschied sich zwischen den Management-Methoden dabei nicht wesentlich.

Alle zur Erfassung von Schäden an den Pflanzenbeständen der Versuchsflächen durchgeführten Bestandsbonituren, insbesondere die Auszählung der Ährendichten, ergaben keine Schadbefunde. Mit dem Ziel der objektiven Beurteilung erwarteter Feldmausschäden waren die Untersuchungsflächen im Herbst 2015 und im Frühjahr 2016 parallel zu allen Feldmaus-Fangperioden befliegen worden. Da erst im Frühjahr 2016 Feldmäuse im Ackerflächenbereich der Feldversuche auftraten, waren auch auf den erstellten Luftbildern bis zu diesem Zeitpunkt keine Schadsymptome erkennbar. Die Aufnahmen vom Juni 2016 zeigen jedoch vereinzelt Stellen mit Bestandsschäden. Die sichtbaren Schadstellen befanden sich allerdings deutlich außerhalb der festgelegten Untersuchungsbereiche. Sie standen nicht in Beziehung zu den angelegten Feldversuchsstrecken.

Wirksamkeit der Mäuseköderlegemaschine WUMAKI C9 (MKL)

Es war nicht möglich, die Versuche zur Wirksamkeit der MKL auszuwerten, weil ein zusätzliches Management durch den Landwirt mit der Legeflinte im Frühjahr erfolgte. Bei beiden Management-Maßnahmen zusammen nahm die Anzahl der ährentragenden Halme mit dem Abstand zum Feldrand deutlich zu.

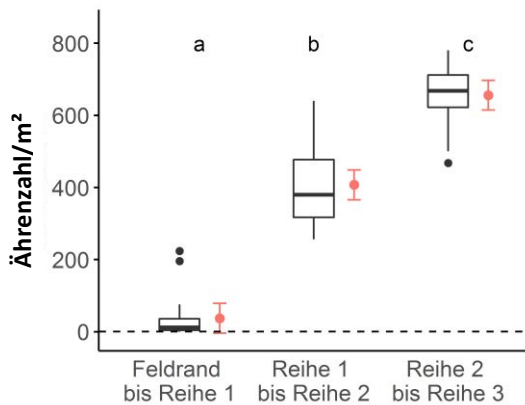


Abbildung 4.17: Anzahl ährentragender Halme je m² von Winterweizen (BBCH-Stadium 71) in den Abständen zum Feldrand. Modellberechnungen (LMM) zeigten, dass die Ährenzahl/m² klar von der Entfernung zum Feldrand abhängt. (Mittlere Ährendichte und Standardabweichung in Rot). Unterschiedliche Buchstaben über den Boxplots bedeuten signifikante Unterschiede (Tukey Test).

Die Anzahl ährentragender Halme im Bereich zwischen dem Feldrand und der ersten durch die MKL mit Zinkphosphid-haltigen Ködern behandelten Reihe betrug im Mittel 37,4 Halme/m². An 15% der Bonitурpunkte im genannten Abschnitt waren keine Ähren mehr vorhanden und an 90% der Punkte betrug die Anzahl der ährentragenden Halme weniger als 100 Halme/m². Der Feldmausschaden im Bereich zwischen der ersten und der zweiten Ablagerreihe der MKL mit im Mittel 407,2 ährentragenden Halmen/m² war wesentlich geringer. Zwischen der zweiten und dritten MKL-Ablagerreihe betrug die Ährendichte im Schnitt 655,8 Halme/m². Geht man davon aus, dass im Winterweizen ein Bestand von 550-650 ährentragenden Halmen/m² (abhängig von Standort, Sortentyp und Saatstärke, Quelle: Saaten-Union) angestrebt wird, lag in diesem Abschnitt keine Schädigung durch Feldmausbefall mehr vor (Abb. 4.18).

4.4.2 VERSUCHSANSATZ 2016/17

Wie im Versuchsjahr zuvor, war auf den Ackerflächen der Untersuchungsstandorte im Herbst 2016 keine Feldmausaktivität zu verzeichnen. Deshalb konnte bis zu diesem Zeitpunkt nicht von einer Einwanderung ausgegangen werden. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich deshalb nur auf das Feldmausaufreten im Refugium (Abb. 4.19). Insgesamt war im Herbst 2016 die Zahl der auf den Refugien gefangenen Feldmäuse sehr gering. Wie im Herbst 2015 fand auch 2016 ab September allgemein eine weitere Abnahme der Feldmauspopulationen statt. Im September wurden auf drei Versuchsstandorten noch 5-8 Feldmäuse gefangen, auf zwei Flächen wurden keine Fänge mehr registriert. Im November wurden je Standort ein bis drei Feldmäuse gefangen. Auf einer Fläche wurden keine Feldmäuse gefangen. In Übereinstimmung mit der sich bereits im Herbst abzeichnenden sehr geringen Feldmausabundanz wurde beim ersten Fangdurchlauf im Frühjahr 2017 lediglich auf einem

Versuchsstandort eine Feldmaus gefangen. Sie war nicht mit einem Transponderchip markiert. In der Fangperiode Juni 2017 lag die Zahl der in den Refugien gefangenen Feldmäuse vollständig bei null.

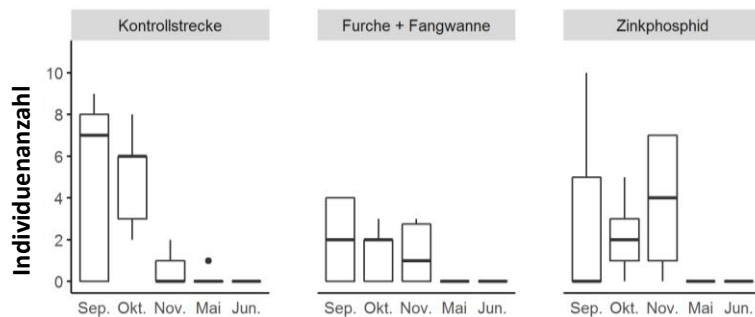


Abbildung 4.18: Anzahl der auf den Refugien der fünf Versuchsstandorte 2016/17 gefangenen Feldmäuse. (An einem Fangtermin mehrfach gefangene Individuen wurden nur einmal gezählt. Ausgewiesen werden die Mediane, der Interquartilsabstand als Box, das 1,5-fache des Interquartilabstands als Whisker, die Ausreißer als Datenpunkte.)

Entsprechend dem Feldversuchsprogramm 2016/17 wurden auch in den Fangperiode Mai und Juni 2017 auf den Ackerflächen der Versuchsstrecken Fallen aufgestellt. Dabei waren jedoch wieder keine Feldmäuse zu registrieren. Eine Besiedelung der Ackerflächen fand offensichtlich nicht statt.

Die Fangzahlen aus 2015/16 und 2016/17 wurden im GLMM analysiert und zeigten keine Unterschiede zwischen den Management-Methoden (Abb. 4.20). Jedoch wurden mehr Feldmäuse im Refugium als auf der Ackerfläche gefangen. Eine Einwanderung hat somit erneut kaum stattgefunden.

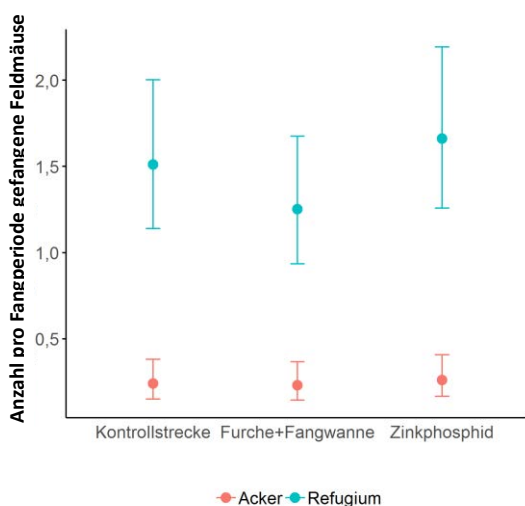


Abbildung 4.19: Anzahl der in den Feldversuchen 2015/16 pro Fangperiode gefangener Feldmäuse in Abhängigkeit von Fangort und Management-Methode. Modellberechnungen (GLMM) zeigten den geringen Einfluss der Versuchsvarianten.

Im Herbst 2016 und im Frühjahr 2017 wurden auf den Versuchsflächen Daten zu den Bestandsdichten erhoben. Es konnten dabei keine durch Feldmäuse verursachten Schäden festgestellt werden. Ende November 2016 erstellte Luftbildaufnahmen der Versuchsflächen

zeigten ebenfalls keine Schadsymptome. Im Frühjahr 2017 wurde aufgrund des Ausbleibens eines Feldmausbefalls auf weitere Luftbilderstellungen verzichtet.

Es konnten folgende Erkenntnisse zum Einsatz der Fangwannen in der Pflugfurche in den Wintermonaten gewonnen werden: Bei Niederschlägen weichten die Pellets in den Fangwannen auf und es entstand eine breiartige Masse (Abb. 4.21). Es war dann nur eine reduzierte Köderwirkung zu erwarten. Bei niedrigen Temperaturen froren die Köder in den Fallen fest. Auch hierbei war von einer Minderung der Attraktivität der Köder auszugehen werden. Des Weiteren kam es zum Festfrieren der Klappen in den Einlaufröhrchen der Fangwannen, so dass der Einlauf bzw. Fang der Feldmäuse nicht sichergestellt werden könnte. Bei erhöhtem Schneefall schneiten die Fangwannen vollständig zu, so dass diese keine Funktion mehr aufwiesen und so keine Wirkung mehr erzielen konnten.



Abbildung 4.20: Eingeschneite Fangwanne in der Pflugfurche (links); durch Niederschlag aufgeweichte Luzerne-Maltol-Pellets in einer Fangwanne (Fotos: LLG, H. Ahrens; JKI, A. Plekat).

4.4.3 VERSUCHSANSATZ 2017/18

Zum Zeitpunkt der Versuchsanlagen waren im September 2017 aktive Feldmausbau auf der Ackerfläche zu beobachten. Bei Einrichtung der Management-Varianten waren einzelne Feldmauslöcher sogar innerhalb der Pflugfurche mit dem Repellentien-Zellstoffband zu sehen. Mit den im Ackerflächenbereich der Versuchsstrecken aufgestellten Ugglan-Fallen wurden jedoch keine Feldmäuse registriert. In den Fangperioden Oktober und November 2017 konnten ebenfalls keine Feldmäuse auf der Ackerfläche gefangen werden.

Auch im Refugium der Versuchsstrecken wurden im gesamten Versuchszeitraum nur wenige Feldmäuse gefangen (18 Individuen). Ein Rückgang der Feldmausanzahl mit fortschreitender

Herbstentwicklung wie in den Vorjahren war nicht zu beobachten (Abb. 4.22). Bedingt durch die geringe Zahl an gefangenen Tieren konnte jedoch keine belastbare Aussage über die Dynamik der Feldmauspopulationen gewonnen werden. Durch das Ausbleiben einer Einwanderung auf die Ackerfläche fehlte auch für die Beurteilung der zu prüfenden Management-Methoden die Datengrundlage.

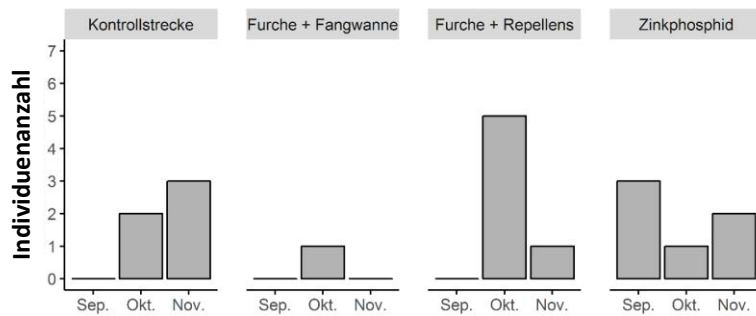


Abbildung 4.21: Anzahl der im Refugium der Versuchsstrecken (unterschiedliche Management-Methoden) gefangenen Feldmäuse (1 Versuchsfläche).

Dennoch wurden bei der Versuchsdurchführung wertvolle Erfahrungen gewonnen: Aufgrund der nur einmaligen Bodenbearbeitung der Ausfallgetreidefläche nach der Ernte ließ sich die Pflugfurche hier lediglich in einer Tiefe von max. 20 cm ziehen. Geringe Niederschlagsmengen führten zusätzlich zu einer trockenen und festen Bodenbeschaffenheit, so dass nach Einsatz des Pflugs die ausgeworfene Erde teilweise zurück in die Furche fiel. Ein manuelles Ausheben im Nachhinein war nötig. Durch die Verwendung eines 6-Schar-Beetpflugs in entsprechender Fahrtrichtung bildete sich eine steile Furchenkante an der Seite des Refugiums. Der Erdauswurf erfolgte zum Feld hin und bildete einen zusätzlichen Wall. Auch im Versuch 2017/18 traten Probleme mit der Stabilität der Köder in den Fangwannen auf. Bei Wasserkontakt weichten die eingebrachten Luzerne-Maltol-Pellets schnell auf. Das notwendige Einlegen mehrerer 5 m langer Zellstoffband-Abschnitte in die Pflugfurche erfolgte manuell und erwies sich als aufwendig und zeitintensiv. Die Bodenfeuchte zum Zeitpunkt des Einsatzes der Maschine war zum Anwendungszeitpunkt optimal. Durch die auf der Fläche nur in geringer Intensität durchgeführte Bodenbearbeitung gestaltete sich der Einsatz der Maschine dennoch schwierig. Die Legerohre konnten nicht ausreichend in den festen Boden eingeführt werden und es erfolgte kein ordnungsgemäßer Antrieb der Walzen und des Sägeaggregates, wodurch die Köderablage behindert wurde. Durch entsprechend veränderte Einstellungen des Oberlenkers an der Maschine konnte der Einsatz aber erfolgreich durchgeführt werden. Für eine ordnungsgemäße Funktion der MKL nach der Aussaat ist eine ausreichend tiefe Bodenbearbeitung im Vorfeld unabdingbar.

5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

5.1 SELBSTBEDIENUNGSFALLE FÜR PRÄDATOREN

Die Feld- und Gehegeversuche führten zu Verbesserungen der Fangwanne, so dass Feldmäuse im Gehege ebenso häufig gefangen wurden wie mit der Standby-Box. Während der Feldversuche wurden zwei Vorteile der Fangwanne gegenüber der Standby-Box deutlich: Beifang-Arten werden seltener gefangen und die Falle wird öfter, u.a. von Raubvögeln, kontrolliert. Die Fangwanne ist außerdem eine preiswertere Option, da sie im Selbstbau weniger als 10 Euro kostet (Standby-Box: ca. 40 Euro). Zudem benötigt die Fangwanne weniger Instandhaltung. Es wurde beobachtet, dass Prädatoren manchmal die Standby-Box bewegen oder den Deckel offenlassen. Diese Ergebnisse sollen im Folgenden, auch bezüglich der limitierenden Faktoren in der Anwendbarkeit, diskutiert werden.

Im Feld wurden 2014 mit der Standby-Box mehr Feldmäuse, aber auch mehr Nicht-Zielarten (Gelbhals-, Wald-, Brand- und Spitzmäuse) gefangen. Möglicherweise verspricht die Standby-Box den Tieren mehr Schutz, da sie im Vergleich zur Fangwanne dunkler wirkt. Durch den Verschluss der Falle mit einem Deckel konnten allerdings keine Langschwanzmäuse herauspringen, was bei der Fangwanne einige Male beobachtet wurde und zum Schutz von Nicht-Zielarten beitragen dürfte. Der Fangerfolg beider Fallen erscheint gering (zwischen 0% und 17% der vorhandenen Tiere innerhalb von fünf Fallenkontrollen), jedoch wurden nur sehr wenige Feldmäuse auf den Kulturflächen und die Mehrheit im Refugium gefangen. Der Populationsdruck schien noch nicht für die Einwanderung auf das Feld ausgereicht zu haben, so dass wahrscheinlich nur wenige Feldmäuse die Ackerrandfurche passierten.

Durch die Verbesserungen an der Fangwanne (schwarze Färbung; Erhöhung um 70 mm, neue Einlauftüren mit der Verlängerung am Boden) konnte die Fängigkeit im Gehege erhöht werden. Diese Ergebnisse müssten jedoch unter Feldbedingungen verifiziert werden, da die Fängigkeit der Feldmäuse von abiotischen und biotischen Faktoren abhängig ist (vgl. 5.2). Es ist z. B. möglich, dass Prädatoren bei den regelmäßigen Besuchen an den Fallen Duftstoffe hinterlassen, die die Fängigkeit beeinflussen könnten. Es wurden jedoch unterschiedliche Beobachtungen gemacht, wie Prädatorengerüche die Fangraten, Nahrungssuche oder Raumnutzung von Nagetieren beeinflussen (zusammengefasst in Apfelbach *et al.*, 2005). In Labyrinthversuchen hatte Fuchsurin keinen Einfluss auf die Aufenthaltszeit der Feldmäuse in der behandelten Box (Schlötelburg *et al.*, 2018b). Es ist allerdings wahrscheinlicher, dass Nager

fliehen, wenn sie mehr als einem Prädator ausgesetzt sind (Mahlaba *et al.*, 2017). Auf das Feldmaus-Management könnte sich dies jedoch auch positiv auswirken, wenn die Besuche der terrestrischen Prädatoren und ihre vermehrt auftretenden Duftstoffe die Feldmaus in ihr Refugium vergrämen. Besuche der Prädatoren an Gruben-Fallen korrelieren nicht mit dem Fangerfolg von texanischen Kleinsäugetieren (Ferguson *et al.*, 2008).

Ein entscheidender Vorteil der Fangwanne ist die häufigere Fallenkontrolle durch ein größeres Spektrum an Prädatoren. Der Lernprozess, die Feldmäuse zu entnehmen, ist kürzer, da die Prädatoren nicht erst lernen müssen, einen Deckel zu öffnen. In der vorherigen Studie konnte dieser Lernprozess bisher nur für Füchse und Katzen nachgewiesen werden (Fülling, 2009). In dieser Studie war der Waschbär der häufigste Räuber an den Fallen. In der Schweiz wurden keine Waschbären beobachtet (Fülling, 2009). Dies könnte daran liegen, dass sich der Waschbär schon 50 Jahre länger in Deutschland als in der Schweiz verbreiten konnte (Salgado, 2018).

Kann es für das Ökosystem von Nachteil sein, dass beide Selbstbedienungsfallen eine exotische, invasive Art unterstützen? Der Waschbär kann negative Auswirkungen haben, wenn er mit seltenen Arten um die gleiche Nahrung und Schlafplätze konkurriert. Diese Wirkung konnte jedoch bisher in Europa nicht valide eingeschätzt werden; die ökonomischen Schäden und die epidemiologische Bedeutung werden als gering eingestuft (Michler & Michler, 2012). Die Fangwanne unterstützt invasive Arten weniger als die Standby-Box, da mit der Zunahme an Prädatoren die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass nur eine Art profitiert. Zudem wäre es besser, wenn Waschbären Wühlmäuse anstatt die Eier von bedrohten Vogelarten fressen würden. Zwar kann eine zusätzliche Futterressource eine höhere Reproduktion bedeuten, dem Waschbären stehen jedoch als Allesfresser in anthropogenen Landschaften viele Nahrungsquellen offen (Kauhala, 1996).

Die Fangwanne wurde häufiger kontrolliert, da außer terrestrischen Räubern auch Vögel Zugang haben. Vögel gehören zu den wichtigsten Fressfeinden der Wühlmäuse in Europa (Erlinge, 1987). Sie sind in der Lage, durch ihre hohe Mobilität schneller auf Fluktuationen der Beute-Populationen zu reagieren (Sekercioglu, 2006). Sie können verschiedene räumlich getrennte Populationen erreichen, während terrestrische Prädatoren ortsgebunden sind (Andersson & Erlinge, 1977).

Ob Raubvögel an den Versuchsflächen mit Wildkameras beobachtet wurden, hing vom Anteil der bebauten und (halb-) natürlichen Flächen in der Umgebung (2 km Radius), dem Versuchstag und Versuchsjahr ab. Im Jahr 2018 wurden mehr Vögel beobachtet als 2017, obwohl 2018 insgesamt weniger Prädatoren die Versuchsflächen besuchten. Die Dürre 2018 könnte durch ihre hohen Temperaturen und äußerst geringen Niederschlagsmengen während der Vegetationsperiode zu Nahrungsmangel und geringem Fortpflanzungserfolg geführt haben, sowohl bei Karnivoren als auch Herbivoren (White, 2008). Davon scheinen Vögel weniger beeinflusst worden zu sein, da sie durch ihre höhere Mobilität auch weiter entfernte Nahrungs- und Wasserquellen erreichen können. Ihr Vorkommen scheint im engen Zusammenhang mit den Charakteristika der unterschiedlichen Versuchsflächen in 2017 (um Bernburg) und 2018 (um Quedlinburg) zu stehen. Im Modell hatte vor allem der Anteil bebauter Flächen einen Einfluss auf Raubvögel wie auch auf terrestrische Prädatoren. Habitatverlust kann zu einem stärkeren Populationsrückgang führen als intensive Landwirtschaft (Reif *et al.*, 2008). Des Weiteren stellen urbane Gebiete insbesondere Vögel vor viele Gefahren, wie z.B. Kollisionen mit Stromleitungen, Autos oder Fenstern (Donázar *et al.*, 2016).

Diese Studie unterstreicht die Bedeutung natürlicher und halbnatürlicher Flächen für Wildtiere in der Agrarlandschaft. Diese grünen Korridore zwischen Monokulturen sind wichtig für das Agroökosystem, da sie eine höhere Diversität an Tieren sowie Pflanzen und heterogenen Mikrohabitaten und somit mehr Futterquellen aufweisen (Červinka *et al.*, 2011; Murcia, 1995).

Die Anwendung der Selbstbedienungsfalle kann nur dann wirksam sein, wenn die Umgebung des Anwendungsgebiets attraktives Habitat für Fressfeinde der Feldmaus bietet. Es wäre interessant zu wissen, ob eine regelmäßige Entnahme der Feldmäuse durch Unterstützungsmaßnahmen des Landwirtes erzielt werden könnte. Deshalb sollten weitere Studien in Kombination mit z.B. Mähen der Randstreifen, Installation von Nistkästen und Sitzkrücken erfolgen. Es sollten Untersuchungsgebiete einbezogen werden, die weniger von intensiver Landwirtschaft geprägt sind. Möglicherweise würde auf Flächen im ökologischen Anbau mit höherem Anteil an natürlicher Vegetation in der Umgebung eine häufigere Entnahme der Feldmäuse durch Prädatoren bedeuten. Eine regelmäßige Kontrolle der Fallen kann ohne weitere Langzeitstudien nicht vorausgesetzt werden.

5.2 KÖDERENTWICKLUNG MIT ATTRAKTANTIEN

Wir haben einen neuen Feldmaus-Köder mit dem süßlich riechenden Stoff Maltol als Attraktanz und einer Luzerne-Getreide-Mischung als Köder-Basis entwickelt. Dieser neue Köder erhöhte den Fangerfolg zumindest unter halbnatürlichen Bedingungen. Weibchen wurden mit Maltol öfter gefangen als Männchen (Abb. 4.8), aber normalerweise werden häufiger Männchen gefangen (Grunwald, 1975). Die hohe Attraktivität für Weibchen ist jedoch während des Managements von Vorteil, da die Populationsentwicklung stark von der Anzahl fortpflanzungsfähiger Weibchen abhängig ist. Soziale Interaktionen und die Reproduktionsphase können die Reaktion auf eine Attraktanz beeinflussen (Bullard, 1985; Jackson, 1972). Nach den Gehegeversuchen war ein Drittel der Weibchen trächtig, so dass sie Maltol aufgrund ihres 32% höheren Kalorienbedarfs bei Trächtigkeit bevorzugt haben könnten (Migula, 1969). Zucker oder süß riechende Stoffe versprechen vielen Nagetieren eine gute Nahrungsquelle (e.g. Lund, 1988; Shumake *et al.*, 1997; Johnston *et al.*, 2005).

Die Attraktivität von Maltol für Feldmäuse wird durch den Vergleich mit dem durchaus attraktiven Luzerne-Getreide-Köder als Kontrolle bestätigt. In Luzernefeldern treten die größten Feldmaus-Abundanzen im Vergleich zu Schlägen mit Mais, Gerste, Weizen oder Zuckerrüben auf (Heroldova *et al.*, 2007). Dennoch konnte mit Maltol als Attraktanz der Fangerfolg signifikant erhöht werden.

Allerdings konnten nicht alle Individuen mit demselben Köder gefangen werden, da es wahrscheinlich keinen universellen Köder gibt (Meehan, 1984). Das Nahrungsverhalten kann von Individuum zum Individuum variieren und auf unterschiedliche Erfahrungen zurückzuführen sein. Säugetiere können aus guten und schlechten Erfahrungen vor, bei und nach der Nahrungsaufnahme lernen (Provenza *et al.*, 1992; Welzl *et al.*, 2001). Da 80% der Feldmäuse im Gehegeversuch Wildfänge waren, könnten sie unterschiedliche Erfahrungen beim Nahrungserwerb gemacht haben.

Wenn der Maltol-Köder im Feld eingesetzt wird, könnten mehrere Faktoren die Fängigkeit beeinflussen, die im geschlossenen System der Gehegeversuche nicht einbezogen wurden. Zum Beispiel wirken sich Quantität und Qualität weiterer Nahrungsquellen negativ auf die Köderannahme aus (Sullivan & Sullivan, 1988). Proteinquellen könnten bevorzugt werden, da die Feldmaus-Reproduktion am höchsten ist, wenn unbegrenzt Protein zur Verfügung steht (Forbes *et al.*, 2014). Auch andere Parameter, wie Vegetationshöhe (Jacob *et al.*, 2003b) oder

Temperatur (Howard, 1951), können einen Einfluss haben. Weitere Versuche unter Feldbedingungen sind deshalb unabdingbar. Dabei könnte zusätzlich untersucht werden, ob ein längeres Vorködern der Fallen oder ein längerer Fangzeitraum den Fangerfolg positiv beeinflussen.

Als Zusatz zum Giftköder sind jedoch weder Maltol noch Eugenol oder Bisabolol geeignet, da im Gehegeversuch mehr von den Luzernepellets ohne Attraktanz gefressen wurde. Auch in einem weiteren Futterwahlversuch im Käfig mit nur der Hälfte der Maltol-Konzentration wurde mehr vom Weizen gefressen. Ein Stoff kann zwar mit seinem starken Geruch eine gute oder bekannte Nahrungsquelle versprechen, sich jedoch durch seine chemischen Eigenschaften negativ auf die Verdauung auswirken. Aus dieser negativen Erfahrung können Herbivore lernen, die Nahrungsquelle zukünftig zu meiden oder nur bis zu einem bestimmten Toleranzlevel aufzunehmen (Provenza *et al.*, 1992; Welzl *et al.*, 2001).

Lipide und Fette sind eine bessere Energiequelle als Kohlenhydrate. Warum hatten die Öle und Fettsäuren keine anziehende Wirkung auf Feldmäuse in den Labyrinthversuchen? Bei vielen Nagern konnte der Zusatz von Ölen die Köderaufnahme signifikant steigern (e.g. Jackson, 2016; Ahmad & Parshad, 1985), jedoch scheint alleine ihr Geruch zum Anlocken nicht ausreichend zu sein. Die Stoffe wurden in diesem Vorhaben nicht nach ihrer Geruchsintensität ausgewählt, sondern nach der maximalen Konzentration, die verwendet werden kann, ohne den Tieren zu schaden. Deshalb ist es schwierig festzustellen, ob die Feldmäuse einen Stoff bevorzugt haben oder nur aufgrund des stärkeren Geruchs angezogen wurden.

Obwohl für fast alle getesteten Stoffe bereits eine anziehende Wirkung auf Nagetiere nachgewiesen wurde (Tab. 3.2), konnten nicht alle Ergebnisse auf Feldmäuse übertragen werden. Des Weiteren wurde keine Geruchsgruppe (süß, fettig oder der Feldmaus bekannt) eindeutig von den Feldmäusen bevorzugt oder gemieden. Das Verhalten von Nagetieren gegenüber Gerüchen unterscheidet sich zwischen Arten, Geschlechtern und sogar zwischen Individuen (Hansen *et al.*, 2016b). Zudem wurden die meisten Studien im Labor durchgeführt, deren Ergebnisse stark von den Resultaten in Feldversuchen abweichen können. Eugenol lockte die meisten Feldmäuse im T-Labyrinth an. In den Gehegeversuchen wurden jedoch weniger Feldmäuse mit Eugenol, als mit dem Kontroll-Köder gefangen. Eine neue Substanz kann anfänglich anziehend auf Wirbeltiere wirken, nach der ersten Aufnahme jedoch Köderscheu auslösen (Bullard, 1985). Der geringe Fangerfolg mit Eugenol zeigt die Grenzen

der Labyrinthversuche. Die Feldmäuse könnten eine Falle nicht wegen des Geruchs betreten haben, sondern weil sie in einer neuen Umgebung Schutz suchen (Witmer *et al.*, 2014). Dies zeigt wiederholt, dass weitere Versuche unter Feldbedingungen unerlässlich sind.

5.3 REPELLENTIEN

Die Kombination aus den ätherischen Ölen des schwarzen Pfeffers (SP; *Piper nigrum*) und Karottensamen (KS; *Daucus carota*) kann Feldmäuse von Haferflocken als attraktive Nahrungsquelle abhalten (Abb. 4.13). Zellstoffkugeln und Zellstoffband sind dafür als Dispenser geeignet; Tongranulat ist weniger effektiv. Dies ist das erste Mal, dass dieser Effekt bei Feldmäusen unter halbnatürlichen Bedingungen erzielt werden konnte. In bisherigen Käfigversuchen konnten Naturstoffe Feldmäuse vom Fraß an Weizen abhalten, jedoch ließen sich diese Ergebnisse nicht im Gehege reproduzieren (Hansen *et al.*, 2016a). Versuche unter (halb-)natürlichen Bedingungen sind jedoch wichtig, um eine Vielzahl an Umweltfaktoren einzubeziehen, die den vergrämenden Effekt eines Stoffes beeinflussen können.

Zum Beispiel können Wetter, alternative Nahrungsquellen und Populationsgröße Einfluss auf die Effektivität eines fraßabschreckenden Stoffs haben (Mason, 1997). Für unseren Versuch haben wir eine Populationsgröße gewählt, die der einer Massenvermehrung entspricht (1714 Individuen/ha). Dadurch ist der Migrationsdruck bei den Feldmäusen höher und ein Repellent muss dementsprechend effektiv sein. Zudem waren im Versuch Haferflocken die einzige attraktive Nahrungsquelle, von der nur ein besonders effektives Repellent vergrämen kann. Trotzdem wirkte die Kombination aus SP und KS fraßabschreckend. Gänge mit SP wurden außerdem am seltensten passiert. Dies bestätigt vorherige Beobachtungen, dass Feldmäuse (Hansen *et al.*, 2015; Hansen *et al.*, 2016a) und andere Säugetiere (Davidson, 2000; Fischer *et al.*, 2013a) SP meiden, wahrscheinlich weil es Augen und Schleimhäute reizt. Dieser vergrämende Effekt konnte durch die Kombination mit KS gesteigert werden. Obwohl Feldmäuse gelegentlich Schäden im Karottenanbau hervorrufen (Jacob *et al.*, 2014), wurden sie von KS vergrämt. KS enthält hauptsächlich Carotol (50%), α - und β -Pinene (5-10%), β -Caryophyllen (4%) und Geranylacetat (3%) (Nathalie *et al.*, 2006). Der vergrämende Effekt könnte auf diese Kombination verschiedener sekundärer Pflanzenstoffe zurückzuführen sein. Carotol wurde bisher noch nicht als Repellent untersucht, aber Pinen war einer der effektivsten Einzelstoffe in den Labyrinthversuchen.

KS ist zwar nicht giftig, aber bei Hautkontakt oder beim Einatmen kann es leicht reizen (Sicherheitsdatenblatt Karottensamenöl, Sigma-Aldrich GmbH). Feldmäuse könnten aufgrund dieser Eigenschaften vergrämt worden sein. Sekundäre Pflanzenstoffe, die vor oder direkt bei der Nahrungsaufnahme abschrecken, scheinen effektivere Repellentien zu sein, als Stoffe gegen die eine konditionierte Abneigung entwickelt wird (Mason, 1997; Schlageter & Haag-Wackernagel, 2012). Machen Herbivore erst bei der Verdauung negative Erfahrungen, kann dies z.T. sehr unterschiedlichen Effekte bei den einzelnen Tieren hervorrufen. So könnten manche Tiere bereits eine konditionierte Abneigung gegen z.B. Linalylacetat vor den T-Labyrinthversuchen entwickelt haben, während andere Tiere noch keinen Kontakt zu diesem Stoff hatten. Dies könnte die hohe Variabilität der individuellen Reaktionen erklären. Ätherische Öle waren in den Labyrinthversuchen effektiver als die Einzelstoffe, da möglicherweise hier mehrere verschiedene Pflanzenstoffe zusammenwirken. Wird ein Stoff aufgrund einer vorangegangenen negativen Erfahrung gemieden, ist es beim ätherischen Öl wahrscheinlicher, dass mehr Feldmäuse negative Erfahrungen mit den unterschiedlichen Bestandteilen gemacht haben.

Der vergrämende Effekt von sekundären Pflanzenstoffen kann auch auf Neophobie zurückzuführen sein (Kimball *et al.*, 2009). Diese anfängliche Meidung von Unbekanntem nimmt jedoch mit der Zeit ab (Fischer *et al.*, 2013b), weshalb der Versuchstag wahrscheinlich einen Einfluss auf die Haferflocken-Aufnahme hatte. Grund dafür könnte sein, dass sich der Geruchssinn von Säugetieren einem kontinuierlichen Geruch anpasst und seine Sensitivität verliert (Beauchamp *et al.*, 1995). Deshalb ist z.B. SP als Repellent besser geeignet, da es den Trigeminusnerv auch nach wiederholter Exposition reizt.

Die Anpassung des Geruchssinns an einen wiederholt exponierten Reiz wird auch durch die Ergebnisse mit BA und SP in doppelter Konzentration reflektiert. Diese Stoffe waren in beiden Konzentrationen ähnlich effektiv. Möglicherweise reagieren Feldmäuse nur bis zu einem bestimmten Schwellenwert; beim Überschreiten wird keine stärkere Reaktion hervorgerufen (Hansen *et al.*, 2015).

Die Wirksamkeit eines Repellents unterscheidet sich zwischen Individuen und Arten (Nolte & Mason, 1998). Es gab zwar für alle getesteten Stoffe einen vergrämenden Effekt auf eine Nagetierart (Tab. 3.2), aber Ergebnisse können nicht ohne vorherige Versuche auf die Zielart übertragen werden. Selbst wenn Arten zur selben Ordnung oder Gattung gehören, können sie

unterschiedlich auf Stoffe reagieren. Zum Beispiel reagieren Hirschmäuse (*Peromyscus melanotis*) ähnlich auf jede Konzentration von Chininhydrochlorid, *P. aztecus* bevorzugt jedoch nur geringe Konzentrationen (Glendinning, 1993).

Auch Weibchen und Männchen einer Art können unterschiedlich auf Stoffe reagieren, wie die Feldmäuse während der Gehegeversuche. Weibchen wurden mehr vergrämt, was mit den Beobachtungen von Hansen *et al.* übereinstimmt (2015; 2016c). Im Käfig reduzierten Feldmaus-Weibchen bei neun Stoffen ihre Nahrungsaufnahme, Männchen nur bei vier Stoffen. Die geringe Anzahl an Migrationen zwischen den Gehegeteilen kann auch am kleineren Aktionsraum der Weibchen liegen. Je niedriger die Vegetation ist (Jacob & Hempel, 2003) und bei hohen Dichten (Erlinge *et al.*, 1990), ist der Aktionsraum der Weibchen kleiner. Zwischen Wildtieren und der F₁-Generation gab es keine Unterschiede. Als Management-Methode ist dies von Vorteil, weil das zeigt, dass keine Vorerfahrung mit den Stoffen für eine Meidung nötig ist.

Der vergrämende Effekt auf Feldmäuse in der einzigen vorangegangenen Feldstudie mit Methylnonylketon (Fischer *et al.*, 2013b) konnte nicht bestätigt werden. Dies könnte an den Unterschieden in der Anwendung liegen. Methylnonylketon als Schaumapplikation in die Tunneleingänge hält Feldmäuse vier bis fünf Tage von der Nutzung der behandelten Tunnel ab. Feldmäuse könnten ihren Aktionsraum nur minimal verschoben haben, um einen andauernden, unangenehmen Geruch auszuweichen. Hingegen sind sie auf Nahrungssuche hochmobil und dem Repellent nur für kurze Zeit ausgesetzt. SP + KS konnte signifikant die Nahrungsaufnahme und damit auch die Aufenthaltszeit beim Repellent reduzieren. Trotzdem hatte diese Kombination keinen Einfluss auf die Migrationen. Wahrscheinlich ist der räumliche oder zeitliche Effekt unzureichend, um die Feldmäuse von der Suche nach Futter oder Fortpflanzungspartnern abzuhalten. Ein ähnliches Verhalten wurde während der Labyrinthversuche beobachtet. In einigen behandelten Boxen hielten sich die Feldmäuse nur sehr kurz auf, dennoch besuchten sie sie ebenso häufig wie die Kontrolle. Im Allgemeinen können sekundäre Pflanzenstoffe nicht zu 100% vergrämen, wenn die damit verbundenen Pflanzen ebenfalls Nährstoffe enthalten (Villalba *et al.*, 2002). Deshalb können Repellentien nur bedingt die Zielart von einem Gebiet fernhalten, wenn Herbivore keine Alternativen für ihre Nahrungssuche haben.

Keiner der Säugetiergerüche (Fuchsurin, Menschenschweiß) konnte die Feldmäuse von den Boxen im T-Labyrinth vergrämen. Unter erhöhter Prädation fliehen Erdmäuse (*Microtus agrestis*) nicht, sondern verringern nur ihre Nahrungsaufnahme (Bolbroe *et al.*, 2000), ihren Aktionsraum oder ändern ihre Bewegungsmuster (Borowski & Owadowska, 2010). Das Überleben von Kleinagern ist bei einer mittleren Mobilität am wahrscheinlichsten (Banks *et al.*, 2000). Eine zu geringe Mobilität bedeutet eine hohe Konzentration an Exkrementen, die anziehend auf die Prädatoren wirken könnte. Dementsprechend sind Säugetiergerüche möglicherweise generell nur bedingt als Feldmaus-Repellent geeignet.

Oft unterscheiden sich Ergebnisse aus Labor- und Feldstudien. Zum Beispiel war FN effektiver als BA während der T-Labyrinthversuche, während der Gehegeversuche war es aber umgekehrt. Ein weiteres Beispiel ist Capsaicin, das unter Laborbedingungen fraßabschreckend bei Grauhörnchen (*Sciurus carolinensis*), Wald- (*Apodemus sylvaticus*), Hirsch- (*Peromyscus melanotis*) und Hausmäuse (*Mus musculus*) wirkt. In einer Feldstudie konnte es jedoch granivore Nagetiere nicht von Samenfraß im Forst abhalten (Leverkus *et al.*, 2013).

Ein Versuch unter Feldbedingungen ist deshalb unabdingbar, auch um Abstände und Länge der Behandlung sowie den Einfluss von Wetterparametern abzuschätzen. Das Zellstoffband mit SP + KS allein wird wahrscheinlich nicht ausreichen, um die Migration auf die Kulturflächen einzuschränken. Eine Kombination aus vergrämenen Geruchsstoff und einer anderen Barriere könnte aber den vergrämenen Effekt erhöhen (Mason & Reidinger, 1983; Clapperton *et al.*, 2012). Kombiniert man das Repellent-Band mit einer Ackerrandfurche, wäre die Feldmaus in der Furche erhöhter Prädation ausgesetzt und müsste Energie zum Flüchten aus der Ackerrandfurche aufwenden. Dies könnte den abschreckenden Effekt von SP + KS erhöhen.

5.4 FELDVERSUCHE ZUM VERGLEICH AUSGEWÄHLTER MANAGEMENT-METHODEN

Die Wirkungen unterschiedlicher Management-Methoden auf natürlich vorkommende Feldmauspopulationen können nur im Freiland untersucht werden. Eine gezielte Anlage der Methoden-Varianten auf Ackerflächen, die allgemein durch Schädner gefährdet sind, bildet die Basis einer derartigen Prüfung. In Sachsen-Anhalt zählen unter anderem das nordöstliche und östliche Harzvorland zu den Gebieten mit bekanntem hohem Feldmaus-Risiko. Zu den hier vorherrschenden Risikofaktoren zählen die für Feldmäuse günstige Anbaubedingungen (Fruchtarten, Bodenbearbeitung), passende Witterungsverhältnisse und das Vorhandensein

von Bodenbedingungen, welche die Anlage von Gangsystemen ermöglichen. Der beschriebene Naturraum eignet sich daher grundsätzlich gut für die durchgeführten Feldversuche. Gebietstypisch große einheitlich bewirtschaftete Ackerflächen erlaubten darüber hinaus die Einrichtung ausreichend langer Versuchsstrecken. Nur auf längeren Versuchsstrecken mit ausreichend großen Abständen zwischen den zu prüfenden Varianten (Ausschluss gegenseitiger Beeinflussung) sind nachvollziehbare Daten zu den Effekten der verschiedenen Management-Methoden zu generieren. Wiederholungen wurden durch Nutzung mehrerer Ackerschläge in unterschiedlicher Lage realisiert, die naturgemäß eigene Standortbedingungen aufwiesen. Unter Ausschöpfung der verfügbaren Arbeitskapazität konnten die Management-Methoden sowohl im Anbaujahr 2015/16 als auch 2016/17 wie geplant auf jeweils fünf Standorten geprüft werden. Die Feldversuche auf den im Februar 2015 ausgewählten Flächen mit Sommerungen, die im April begonnen hatten, musste aufgrund erheblicher Sabotage-Aktionen (Diebstahl und Zerstören der Fallen usw.) im Frühsommer abgebrochen werden. Bis dahin gewonnene Daten waren dadurch nicht mehr nutzbar. Für die Anlage des Feldversuches 2017/18 eignete sich aufgrund des geringen Befallsdrucks nur eine einzige Ackerfläche. Daher wurde im Frühjahr 2018 nach zusätzlichen Flächen gesucht. Nach umfangreichem Screening wurden im Frühjahr 2018 auf zwei Schlägen Versuchsstrecken eingerichtet und die entsprechenden Management-Methoden angewandt. Die Resultate des ersten Fangtermins wiesen dann jedoch den vollständigen Zusammenbruch der zuvor festgestellten Feldmausaktivitäten nach. Eine zielführende Auswertung dieses Versuchsansatzes war somit leider ebenfalls nicht sinnvoll.

In Summe spiegeln die innerhalb der Feldversuche erfasste Individuendichten das im Feldmaus-Monitoring Sachsen-Anhalt beobachtete Mäuseauftreten wider. Nach dem Gradationsjahr 2012 wurde ein Wiederanstiegen der Feldmausaktivität im Anbaujahr 2014/15 beobachtet. Mit August 2015 erreicht die durchschnittlich registrierte Zahl wiedergeöffneter Löcher/250 m² einen Wert von 31 (max.: 179). Im Frühjahr 2016 wurden dann nur noch durchschnittlich fünf (max.: 52) wiedergeöffnete Löcher verzeichnet. Ab diesem Zeitpunkt wurde die Bekämpfungsschwelle von fünf wiedergeöffneten Löchern/250 m² erst im März 2018 kurzzeitig erreicht (Wolff & Plekat, 2018). Starke zyklische Schwankungen im Umfang des Auftretens von Feldmäusen sind allgemein bekannt. Nur wenn die Umweltbedingungen positiv für die Feldmausentwicklung sind, kommt es zu Massenvermehrungen. Auf extreme Dichtezunahmen folgt in den Risikogebieten in der Regel ein großräumiges Zusammenbrechen

der Feldmauspopulationen (Frank, 1953). Die ab Herbst 2015 innerhalb des Untersuchungsprogramms angelegten Feldversuche fielen in einen solchen Abschnitt mit allgemein abnehmender Feldmausaktivität. Im Versuchsansatz 2015/16 wurden in den Refugien an den ersten Fangterminen Feldmäuse noch verhältnismäßig zahlreich erfasst. Im frühen Herbst erreichen Feldmauspopulationen generell ihr jährliches Maximum (Jacob & Tkadlec, 2010). Der Rückgang der Feldmauszahlen zum Winter 2015 stimmt ebenfalls mit der natürlichen Aktivitätsdynamik überein. Einwanderungen der Feldmäuse in die angrenzenden Ackerflächen fanden zu diesem Zeitpunkt nicht statt. Auf allen Versuchsstrecken, auch auf denen ohne besondere Management-Methode, kamen bis zum Winter 2015 Feldmäuse nur in den Refugien vor. Auf deutlich geringerem Aktivitätsniveau zeigen sich diese Verhältnisse auch in den Anbaujahren 2016/17 und 2017/18. Die Besiedelung der Ackerflächen war für die Feldmäuse offensichtlich nicht attraktiv. Großflächige Zusammenbrüche der Populationen sind nicht auszuschließen, so dass in den Refugien zu wenige Tiere für den Aufbau des erforderlichen Abwanderungsdrucks vorhanden waren.

Für drei Standorte ließ sich im Juni 2016 eine Besiedlung der Ackerfläche nachweisen. Gleichzeitig zeigten die beiden anderen Flächen dieses Versuchsansatzes jedoch gar keinen Mäusebefall mehr. Das Feldmausauftreten auf den drei besiedelten Schlägen unterschied sich an diesem Fangtermin nicht zwischen den angewendeten Management-Methoden. Die natürliche Heterogenität des Feldmausauftretens, unterschiedliche Populationsentwicklungen auf den einzelnen Untersuchungsstandorten und der geringe Beobachtungsumfang begrenzen jedoch die Aussagefähigkeit der gewonnenen Daten. Aussagen zur Barrierewirkung der Management-Methoden können für das Frühjahr 2016 auch aus versuchstechnischen Gründen nicht abgeleitet werden.

In den Feldversuchen sollten im Refugien gefangene und markierte Feldmäuse nach Wiederfängen auf der Ackerfläche als Nachweis der Einwanderung dienen. In den Fällen, in denen im Untersuchungszeitraum Besiedelungen der Flächen stattfanden, wurden keine markierten Tiere gefangen. Ob Zuwanderungen über die Barrieren hinweg erfolgten waren, ist daher nicht nachweisbar.

Ein weiterer Ansatz zu Beurteilung der Wirksamkeit der Management-Methoden im Feldversuch bestand in der Erfassung von Schäden beim Befall mit Feldmäusen. Hierzu waren die Pflanzenbestände zu bonitieren. Die konkrete Erfassung der Bestands- und Ährendichten

erfolgte wie üblich anhand von Stichproben auf festgelegten Plots. Für eine ganzflächige Verifizierung der durchgeführten Bestandsbonituren erschien eine Nutzung von UVA-Luftbilddaufnahmen sinnvoll. Leider traten durch das Ausbleiben der Einwanderung von Feldmäusen im Untersuchungszeitraum keine durch Feldmausbefall verursachten Schäden auf.

Bei der Ährenbonitur im Teilversuch zur Wirksamkeit der Mäuseköderlegemaschine konnte eine Abnahme der geschädigten Ähren mit zunehmenden Abstand zum Feldrand festgestellt werden. Es ist aber unklar, ob dieser Effekt tatsächlich auf den Einsatz der Mäuseköderlegemaschine zurückzuführen war, weil der Betrieb zusätzliche Bekämpfungsmaßnahmen auf der Fläche vornahm. Es wurde zwar beobachtet, dass die Feldmäuse künstlich gezogene Gänge durchaus annehmen, allerdings erfolgte sechs Monate später eine flächendeckende Ausbringung von Zinkphosphid mittels Legeflinte durch den Landwirtschaftsbetrieb. Eine weitere Erklärung für das Schadensmuster an den Ähren wäre die natürliche Einwanderung der Feldmäuse, die im Randbereich vermehrt vorkommen und deshalb dort auch mehr Schäden hervorrufen können.

Für eine abschließende Bewertung der Methoden reicht die Datengrundlage aus dem Freiland noch nicht aus. Die Effekte der Management-Methoden können insbesondere durch Berücksichtigung der bei den Feldversuchen gewonnenen und im Ergebnisteil beschriebenen praktischen Erfahrungen für zukünftige Arbeiten jedoch weiter optimiert werden.

6. ANGABEN ZUM VORAUSSICHTLICHEN NUTZEN DER ERGEBNISSE

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

- Repellent im Ökolandbau und der konventionellen Landwirtschaft: Zellstoffband mit Schwarzer Pfeffer-Karottensamenöl
Da die Rohstoffpreise für ein derartiges Produkt relativ hoch sind, muss es in größeren Mengen produziert werden, um es wirtschaftlich interessant zu machen. Würde allerdings das Repellent auch in der konventionellen Landwirtschaft Anklang finden und vermehrt nachgefragt werden, wäre die Produktion bei einem für den Endkunden vertretbaren Preis durchaus lohnenswert.
- Auf Naturstoff basierender Köder, der nachweislich den Fangerfolg von Feldmäusen erhöht
Die Rohstoffpreise der Inhaltsstoffe des Ködermaterials liegen in einer Größenordnung, die einen Preis im Bereich der handelsüblichen Köder ermöglichen würde.
- Ein Fallentyp, der von Prädatoren geleert wird und in einer Barriere am Feldrand die Einwanderung von Feldmäusen verringern kann
Der Bau einer Fangwanne (inkl. Material) hat bei der JVA Burg ca. 20 Euro gekostet. Das ist die Hälfte des Verkaufspreises von der Standby-Box. Bei einer höheren Nachfrage und einem technisierten Bau wäre der Preis wahrscheinlich niedriger.

Wissenschaftliche/technische Erfolgsaussichten

- Entwicklung der Selbstbedienungsfallen für Prädatoren wurde abgeschlossen.
- Erkenntnisse zum Einsatz der Mäuseköderlegemaschine wurde abgeschlossen.
- Verhaltensbiologische Versuche im Labor und zusätzlich aufgenommene Parameter zur Populationsentwicklung während der Freilandversuche führen zu Erkenntnisgewinn über die Zielart.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

- Publikation der Ergebnisse u.a. durch die Pflanzenschutzdienste der Länder, die Bundesländer Arbeitsgruppe Feldmausmanagement sowie in Fachzeitschriften
- Anpassung der Verfahren für die Anwendung in Haus- und Kleingärten ist prinzipiell möglich.
- Übertragung der entwickelten Methoden auf die Bekämpfung anderer Schädnerarten im Landwirtschaftsbereich ist prinzipiell möglich.

7. GEGENÜBERSTELLUNG DER URSPRÜNGLICH GEPLANTEN ZU DEN TATSÄCHLICH ERREICHTEN ZIELEN

Das Ziel des Projekts war es, geeignete Management-Methoden zu identifizieren und ihre Barrierewirkung (Abb. 1.1) zu testen, um die Ausbreitung der Feldmäuse von den Refugien auf landwirtschaftliche Nutzflächen vor allem im Ökolandbau zu reduzieren. Dazu gehören Verfahren wie das Ziehen einer tiefen Furche kombiniert mit Repellentien z.B. aus nicht toxischen Naturstoffen in geeigneten Dispensern sowie Selbstbedienungsfallen für Prädatoren (Fangwannen/Standby-Boxen) mit Attraktantien, die für den Ökolandbau geeignet sind.

Während des Projekts konnten verschiedene Management-Methoden identifiziert, weiterentwickelt und ihre Anwendung verbessert werden. In Labor- und Gehegeversuchen wurde eine Kombination aus Schwarzer Pfefferöl und Karottensamenöl angewendet, mit der die Futteraufnahme von Feldmäusen zum ersten Mal unter halbnatürlichen Bedingungen reduziert wurde. Für die Ausbringung stellte sich das Zellstoffband am effektivsten und am realistischsten in der Anwendung im Vergleich zu Ton- oder Zellstoffkugeln heraus.

Des Weiteren erfolgte die Entwicklung eines neuen Köders, der die Fängigkeit für Feldmäuse in Gehegeversuchen erhöhte. In Labor- und Futterwahlversuchen konnten Maltol als Attraktanz und Getreide-Pellets als geeignete Köder-Basis identifiziert werden. Erste Ergebnisse aus Feldversuchen bestätigen die attraktive Wirkung auf Feldmäuse.

Der Einsatz der Standby-Box wurde im Feld getestet. Da diese Falle normalerweise mit einem Zaun funktioniert, war unklar, ob eine Ackerrandfurche eine kostengünstige Alternative wäre. Die Versuche zur Entnahme von Feldmäusen aus der Falle durch Prädatoren zeigten jedoch, dass nur drei Arten lernen, die Standby-Box in der Furche zu öffnen. Die neu entwickelte Fangwanne ist besser geeignet, da sie häufig von Prädatoren besucht wird. Mit dem Prototyp ließen sich in Gehegeversuchen ähnlich viele Feldmäuse wie mit der Standby-Box fangen.

Zwar wurden geeignete und ungeeignete Management-Methoden in Labor- und Gehegeversuchen identifiziert, jedoch gestalteten sich die vorgesehenen Versuche unter Feldbedingungen schwierig. Zuletzt traten 2015 größere Feldmauspopulationen auf. Zu diesem Zeitpunkt war die Entwicklung aller Methoden jedoch noch nicht abgeschlossen. Während späterer Feldarbeiten zum Methodenvergleich traten keine Massenvermehrungen mehr auf, so dass kaum Einwanderung auf die Kulturflächen stattfand. Erste Ergebnisse und

Beobachtungen aus der Versuchsdurchführung zeigen aber, dass die Kombination aus Pflugfurche, Fangwanne und Köder ein vielversprechender Ansatz ist. Während der Feldversuche konnten zudem viele Erfahrungen gesammelt werden, die die Anwendung und Effektivität dieser Methode verbessern können (vgl. 5.1; 5.4).

8. ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von der Tatsache, dass durch Feldmäuse in Ackerbaukulturen erhebliche wirtschaftliche Schäden verursacht werden können, zielte das Projekt auf die Entwicklung von nachhaltigen Management-Methoden. Vor allem Verfahren, die im ökologischen Landbau anwendbar sind bzw. den Einsatz von Rodentiziden reduzieren, werden aktuell von der landwirtschaftlichen Praxis angefragt.

Zu umfangreichen Schädigungen an den angebauten Feldfrüchten kommt es vor allem, wenn in den zyklisch wiederkehrenden Massenvermehrungsjahren Feldmäuse aus ihren primären Habitaten auf die Ackerflächen einwandern. Dieses Einwandern der Schädiger kann durch die Einrichtung von Zuwanderungsbarrieren eingeschränkt werden. Die Beschränkung des notwendigen Eingriffs auf die Grenzfläche am Ackerrand verringert den Arbeitsaufwand gegenüber flächenhaften Maßnahmen erheblich. Voraussetzung für die Akzeptanz von alternativen Management-Methoden ist ihre technisch großräumige Anwendbarkeit.

Als Zuwanderungsbarrieren wurden folgende Methoden-Kombinationen entwickelt und getestet: 1) eine tiefe Pflugfurche, in der Selbstbedienungsfallen für natürliche Feldmaus-Prädatoren integriert sind; 2) eine tiefe Pflugfurche, in der vergrämende Geruchsstoffe (Repellentien) ausgebracht sind.

Für die Zuwanderungsbarriere mit dem Einsatz von Selbstbedienungsfallen war eine geeignete Falle zu finden. Entwickelt wurde eine Fangwanne mit zwei seitlichen Eingängen, die in ihrem Querschnitt an die Pflugfurche angepasst und oben offen ist. In experimentellen Vergleichen mit einer anderen Selbstbedienungsfall (Standby-Box, Andermatt Biocontrol AG) zeigte die Fangwanne Vorteile. Die obere Öffnung erlaubte neben den typischen terrestrischen Feldmausprädatoren auch Raubvögeln Zugang zu den gefangenen Feldmäusen. Nicht-Zielarten wie Langschwanzmäuse konnten der Falle wieder entkommen. Unter Feldversuchsbedingungen 2014 wurden mit der Fangwanne durchschnittlich weniger Mäuse gefangen. Jedoch fand zu diesem Zeitpunkt keine Einwanderung auf die Ackerflächen statt, so dass insgesamt zwar viele Mäuse im Refugium, jedoch wenige in der Pflugfurche und fast keine auf den Ackerflächen gefangen wurden. Ein weiterentwickelter Fangwannen-Prototyp zeigte unter halbnatürlichen Bedingungen in Gehegeversuchen verbesserte Fangergebnisse. Zur Analyse der Entnahme von in den Fallen gefangenen Feldmäusen durch die Prädatoren wurden 2014, 2017 und 2018 Freilandversuche durchgeführt. Die Artenzusammensetzung der

erfassten Prädatoren hing vom den Standortbedingungen, u.a. vom Anteil bebauter und natürlicher Habitate in der Umgebung der Flächen ab. Unter den Bedingungen Sachsen-Anhalts war der Waschbär häufigster Prädatör.

Die Fangraten von Fallen können allgemein durch eine Bestückung mit Ködern verbessert werden. Im Labor wurden deshalb 22 Naturstoffe auf ihre Attraktivität als Lockstoff gescreent. Mit den drei erfolgversprechendsten Substanzen (Bisabolol, Eugenol und Maltol) als Attraktantien und einer Luzerne-Getreidemischung als Köderbasis wurden drei neue Köder als Pellets formuliert. Im Gehegeversuch zeigte der Maltol-Luzerne-Getreide-Köder im Vergleich zum Kontroll-Köder (Pellets ohne Attraktanz) eine um 60% höhere Fängigkeit. Die Köderaufnahme war jedoch bei den Kontroll-Pellets gegenüber allen drei Köder-Varianten mit Attraktantien höher.

Mit einem Laborscreening und anschließenden Gehegeversuchen sollten vergrämende Substanzen gefunden werden, die in einer Zuwanderungsbarriere als Feldmaus-Repellent einsetzbar sind. Aus einem Screening von 17 Stoffen im T-Labyrinth gingen Benzaldehyd, Fichtennadel-, Karottensamenöl und Schwarzen-Pfefferöl als erfolgversprechend hervor. Sie wurden anschließend im Gehegeversuch geprüft. Feldmäuse durchquerten einen Durchgang durch eine Zinkblech-Barriere am seltensten, wenn Schwarzen-Pfefferöl eingesetzt wurde. Die Kombination aus den ätherischen Ölen des Schwarzen Pfeffers und aus Karottensamen hielt Feldmäuse von Haferflocken als attraktiver Nahrungsquelle ab. Im Gehegeversuch, der neben dem Nahrungsangebot auch den Einflussfaktor Populationsgröße (Bedingungen einer Massenvermehrung mit 1714 Individuen/ha) berücksichtigte, war die vergrämende Wirkung dieser Stoffe signifikant. Generell war die Wirkung der vergrämenden Stoffe auf Feldmaus-Weibchen stärker. Beim Vergleich von Dispensern erwies sich Zellstoffband vor Zellstoffkugeln und dem getesteten Tongranulat als geeignetes Trägermaterial.

In den Anbaujahren 2015/16, 2016/17 und 2017/18 angelegte Feldversuche dienten der Prüfung der alternativen Management-Methoden unter Freilandbedingungen. Auf Praxisschlägen, die mit Blick auf ihr hohes Feldmaus-Befallspotential ausgewählt waren, wurden auf 135 m langen Versuchsstrecken die Feldmaus-Management-Methoden (Zuwanderungsbarriere 1 bzw. 2) angelegt. Im Vergleich wurden eine Kontrollstrecken ohne Management-Maßnahmen und eine betriebsspezifische Zuwanderungsbarriere (Zinkphosphid-haltige Köder, ausgebracht mittels Mäuseköderlegemaschine) getestet. Die

Versuchsanlagen waren je Untersuchungsjahr auf fünf Standorten geplant. Das geringe Feldmausauftreten und z.T. auch Vandalismus im Untersuchungszeitraum bedingten dabei sowohl mehrfache Abbrüche der Versuchsdurchführung (z.T. auch durch Vandalismus) und die erneute Anlage der Versuchsvarianten auf Ersatzstandorten. Basis für die Prüfung der Wirksamkeit der Management-Methoden war eine reale Besiedelung der Ackerfläche bei eintretender Massenvermehrung der Feldmaus. Die Feldversuche fielen nach der Feldmaus-Gradation 2015 in einen Zeitabschnitt mit abnehmender Feldmausaktivität. Nur im Frühjahr 2016 konnte noch eine geringe Zuwanderung von Feldmäusen auf einzelne Ackerflächen beobachtet werden. Die Daten reichen jedoch nicht aus, um die Wirksamkeit der Zuwanderungsbarrieren zu bewerten. Die Effizienz der Management-Methoden ist daher noch nicht sicher verifiziert. Die Management-Methoden können aber mithilfe der bei den Feldversuchen gewonnenen praktischen Erfahrungen weiter optimiert und in zukünftigen Versuchen eingesetzt werden.

9. DANKSAGUNGEN

Vielen Dank an das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft für die Förderung des Projekts!

An diesem Projekt waren viele Menschen beteiligt, deren Hilfe wir nicht unerwähnt lassen möchten. Danke an:

- die Mitarbeiter der AG Wirbeltierforschung (JKI Münster).
- die Mitarbeiter des Dezernats für Pflanzenschutz (LLG Sachsen-Anhalt).
- Mitarbeiter der Gerbstedter Agrar GmbH, der Agrar-Genossenschaft Badeborn e.G. und der Agrar-Genossenschaft Rieder e.G., Eckhard Linse-Wall, Michael Braschoß, Steve Klekott und insbesondere Wolfgang Beer für Bereitstellung der Versuchsfelder, Geräte und Arbeitszeit!
- den vielen Hilfskräften während der Feldversuche, insbesondere Henrik Reinke (ZALF Müncheberg) für die Hilfe während der Prädatoren- und Köderversuche sowie bei der Auswertung der Kamerafallenbilder.
- Lisa Schreiner (Detia Degesch GmbH) für die Produktion der Köder und Repellentien.
- Doreen Gabriel (JKI Braunschweig) für die Hilfe bei der Statistik.
- Bernd Walther (JKI Münster) und die Insassen der JVA Burg für den Bau der Fangwannen.
- Otto Klemm and Frauke Buse (AG Klimatologie, Institut für Landschaftsökologie, WWU Münster) für die Temperatur- und Niederschlagsdaten.
- Dr. Peter Fritzsche (Institut für Zoologie, Uni Halle) für das Ausleihen der Daten-Logger.
- die Bayer AG für die Spende der Wasserkanister.
- die Andermatt Biocontrol AG für das nachträgliche Anpassen der Einlauf-Türen an die Feldmausgröße bei den Standby-Boxen.

10. LITERATURVERZEICHNIS

Ahmad, N., Parshad, V.R., 1985. Bait preferences of rodents in their natural habitat. *Animal Science Journal*. 94, 117-122. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03186335>.

Andersson, M., Erlinge, S., 1977. Influence of predation on rodent populations. *Oikos* 29, 591-597.

Apfelbach, R., Blanchard, C.D., Blanchard, R.J., Hayes, R.A., McGregor, I.S., 2005. The effects of predator odors in mammalian prey species: a review of field and laboratory studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 29, 1123-1144.

Askham, L.R., 1990. Effect of artificial perches and nests in attracting raptors to orchards. <https://digitalcommons.unl.edu/vpc14/2/>.

Balmelli, L., Nentwig, W., Airoidi, J.P., 1999. Food preferences of the common vole *Microtus arvalis* in the agricultural landscape with regard to nutritional components of plants. *Zeitschrift für Säugetierkunde-International Journal of Mammalian Biology* 64, 154-168.

Banks, P.B., Norrdahl, K., Korpimäki, E., 2000. Nonlinearity in the predation risk of prey mobility. *Proceedings of the Royal Society London* 267, 1621-1625.

Barten, R., 2008. Feldmäuse vernichten Grundnahrungsmittel in Milliardenhöhe. Vortrag BVL Fachgespräch Feldmausbekämpfung 25.2.2008.

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., Walker, S., 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67, 1-48.

Beauchamp, G.K., 1995. Chemical signals and repellency: problems and prognosis. In: Mason, J.R. (Hrsg.) *Repellents in wildlife management: Proceedings of a Symposium*. USDA National Wildlife Research Center, Fort Collins, 1–10.

Beauchamp, G.K., 1997. Chemical signals and repellency: problems and prognosis, in: Mason, J.R. (Hrsg.), *Repellents in Wildlife Management: Proceedings of a Symposium*. USDA National Wildlife Research Center, Fort Collins, CO, 1-10.

Bell, C.M., Harestad, A.S., 1987. Efficacy of pine oil as repellent to wildlife. *Journal of Chemical Ecology* 13, 1409-1408.

Bolbroe, T., Jeppesen, L.L., Leirs, H., 2000. Behavioural response of field voles under mustelid predation risk in the laboratory: more than neophobia. *Annales Zoologici Fennici* 37, 169-178.

Bomford, M., O'Brien, P.H., 1990. Sonic deterrents in animal damage control: A review of device tests and effectiveness. *Wildlife Society Bulletin* 18, 411-422.

Borowski, Z., Owadowska, E., 2010. Field vole (*Microtus agrestis*) seasonal spacing behavior: the effect of predation risk by mustelids. *Naturwissenschaften* 97, 487-493.

Brown, P.R., Chambers, L.K., Singleton, G.R., 2002. Pre-sowing control of house mice (*Mus domesticus*) using zinc phosphide: efficacy and potential non-target effects. *Wildlife Research* 29, 27-37.

Brown, P.R., Nguyen, P.T., Singleton, G.R., Phi Thi, T.H., Phung, T.H., Dao, T.H., Tran, Q.T., Nguyen, V.T., Jacob, J., Muller, W.J., 2006. Ecologically based rodent management in the real world: applied to a mixed agroecosystem in Vietnam. *Ecological Applications* 16, 2000-2010.

Bryja, J., Tkadlec, E., Nesvadbova, J., Gaisler, J., Zejda, J., 2001. Comparison of enumeration and Jolly-Seber estimation of population size in the common vole *Microtus arvalis*. *Acta Theriologica* 46, 279-285.

Buchalczyk, T., Olszewski, J.L., 1971. Behavioural response of forest rodents against trap and bait. *Acta Theriologica* 16, 277-292.

Bucyanayandi, J.D., Bergeron, J.M., Menard, H., 1990. Preference of meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*) for conifer seedlings: chemical components and nutritional quality of bark of damaged and undamaged trees. *Journal of Chemical Ecology* 16, 2569-2579.

Bullard, R.W., 1985. Isolation and characterization of natural products that attract or repel wild vertebrates. In: Acree, T., Soderlund, D. (Hrsg.), *Semiochemistry: flavors and pheromones*. Walter de Gruyter & Co., New York, 65-93.

Calder, C.J., Gorman, M.L., 1991. The effects of red fox *Vulpes vulpes* faecal odours on the feeding behaviour of orkney voles *Microtus arvalis*. *Journal of Zoology* 224, 599-606.

Červinka, J., Šálek, M., Pavlůvčík, P., & Kreisinger, J., 2011. The fine-scale utilization of forest edges by mammalian mesopredators related to patch size and conservation issues in Central European farmland. *Biodiversity and Conservation* 20, 3459-3475.

Clapperton, B.K., 2006. A review of the current knowledge of rodent behaviour in relation to control devices. *Science for Conservation* 263, 1-55.

Clapperton, B.K., Porter, R.E.R., Day, T.D., Rwaas, J., Matthews, L.R., 2012. Designer repellents: combining olfactory, visual or taste cues with a secondary repellent to deter free-ranging house sparrows from feeding. *Pest Management Science* 68, 870-877.

Davidson, T., 2000. Animal repellent containing oils of black pepper and/or capsicum. U.S. Patent No. 6,159,474. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Dearing, M.D., Foley, W.J., McLellan, S., 2005. The influence of plant secondary metabolites on the nutritional ecology of herbivorous terrestrial vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 36, 169-189.

Donázar, J.A., Cortés-Avizanda, A., Fargallo, J.A., Margalida, A., Moleón, M., Morales-Reyes, Z., Moreno-Opo, R., Pérez-García, J.M., Sánchez-Zapata, J.A., Zuberogoitia, I., Serrano, D., 2016. Roles of raptors in a changing world: from flagships to providers of key ecosystem services. *Ardeola* 63, 181-234.

Drickamer, L.C., Mikesic, D.G., Shaffer, K.S., 1992. Use of odor baits in traps to test reactions to intraspecific and interspecific chemical cues in house mice living in outdoor enclosures. *Journal of Chemical Ecology* 18, 2223-2250.

Erlinge, S., 1987. Predation and noncyclicality in a microtine population in southern Sweden. *Oikos* 50, 347-352.

Erlinge, S., Hoogenboom, I., Agrell, J., Nelson, J., Sandell, M., 1990. Density-related home-range size and overlap in adult field voles (*Microtus agrestis*) in southern Sweden. *Journal of Mammalogy* 71, 597-603.

Fenner, F., Schneider, M., 1997. Das Hessische Mäuse - Fangwannenverfahren im Praxiseinsatz. *Hessen Forst* 238, 1-2.

Ferguson, A.W., Weckerly, F.W., Baccus, J.T., Forstner, M.R., 2008. Evaluation of predator attendance at pitfall traps in Texas. *The Southwestern Naturalist*, 450-457.

Fischer, D., Imholt, C., Pelz, H.J., Wink, M., Prokop, A., Jacob, J., 2013a. The repelling effect of plant secondary metabolites on water voles, *Arvicola amphibius*. *Pest Management Science* 69, 437-443.

Fischer, D., Imholt, C., Prokop, A., Jacob, J., 2013b. Efficacy of methyl nonyl ketone as an in-soil repellent for common voles (*Microtus arvalis*). *Pest Management Science* 69, 431-436.

Forbes, K.M., Stuart, P., Mappes, T., Hoset, K.S., Henttonen, H., Huitu, O., 2014. Diet quality limits summer growth of field vole populations. *Plos One* 9 (3), e91113.

Fox, J., 2003. Effect Displays in R for Generalised Linear Models. *Journal of Statistical Software*, 8(15), 1-27. <http://www.jstatsoft.org/v08/i15/>.

Frank, F., 1953. Untersuchungen über den Zusammenbruch von Feldmausplagen (*Microtus arvalis* Pallas). *Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik* 82, 95-136.

Frank, F., 1956. Das Fortpflanzungspotential der Feldmaus, *Microtus arvalis* (Pallas) - eine Spitzenleistung unter den Säugetieren. *Zeitschrift für Säugetierkunde-International - Journal of Mammalian Biology* 21, 176-181.

Fülling, O., 2009. Abschlussbericht zum Projekt "Zäune, Fallen und natürliche Prädatoren - Ein Konzept zur Minimierung von Wühlmausschäden.". Universität Bern, 1-19.

Fülling, O., Walther, B., Nentwig, W., Airolidi, J.P., 2010. Barriers, traps and predators - an integrated approach to avoid vole damage. In: Timm, R.M., Fagerstone, K.A. (Ed), *Proceedings of the 24th Vertebrate Pest Conference*, 222-227.

Glendinning, J.I., 1993. Preference and aversion for deterrent chemicals in two species of *Peromyscus* mouse. *Physiology & Behavior* 54, 141-150.

Gorman, M.L., 1984. The response of prey to stoat (*Mustela erminea*) Scent. *Journal of Zoology* 202, 419-423.

Grunwald, H., 1975. Changes in trappability of common vole. *Acta Theriologica* 20, 333-341.

Hansen, S.C., Stolter, C., Imholt, C., Jacob, J., 2016a. Like or dislike - Response of rodents to the odor of plant secondary metabolites. *Integrative Zoology*, 12(5), 428-436.

Hansen, S.C., Stolter, C., Imholt, C., Jacob, J., 2016b. Plant Secondary Metabolites as Rodent Repellents: a Systematic Review. *Journal of Chemical Ecology* 42(9), 970-983.

Hansen, S.C., Stolter, C., Jacob, J., 2015. The smell to repel: The effect of odors on the feeding behavior of female rodents. *Crop Protection* 78, 270-276.

Hansen, S.C., Stolter, C., Jacob, J., 2016c. Effect of plant secondary metabolites on feeding behavior of microtine and arvicoline rodent species. *Journal of Pest Science* 89(4), 955-963.

Hansson, L., 1973. Fatty substances as attractants for *Microtus agrestis* and other small rodents. *Oikos* 24, 417-421.

Harborne, J.B., 1991. The chemical basis of plant defense. In: Palo, R.T., Robbins, C.T. (Hrsg.), *Plant defenses against mammalian herbivory*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 45-59.

Hein, S., Jacob, J., 2018. Population recovery of a common vole population (*Microtus arvalis*) after population collapse. *Pest Management Science* (in press). <https://doi.org/10.1002/ps.5211>

Heise, S., Lippke, J., Wieland, H., 1991. Beiträge zur Populationsregulation der Feldmaus (*Microtus arvalis*, Pallas, 1779) I. Reproduktionsintensität. *Zoologische Jahrbücher Systematik* 118, 257-264.

Heroldova, M., Bryja, J., Zejda, J., Tkadlec, E., 2007. Structure and diversity of small mammal communities in agriculture landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120, 206-210.

Howard, W.E., 1951. Relation between low temperature and available food to survival of small rodents. *Journal of Mammalogy* 32, 300-312.

Iason, G.R., Villalba, J.J., 2006. Behavioral strategies of mammal herbivores against plant secondary metabolites: the avoidance-tolerance continuum. *Journal of Chemical Ecology* 32, 1115-1132.

Jackson, M., Hartley, S., Linklater, W., 2016. Better food-based baits and lures for invasive rats *Rattus* spp. and the brushtail possum *Trichosurus vulpecula*: a bioassay on wild, free-ranging animals. *Journal of Pest Science* 89, 479–488. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0693-8>.

Jacob, J., Budde, M., Leukers, A., 2009. Efficacy and attractiveness of zinc phosphide bait in common voles (*Microtus arvalis*). *Pest Management Science* 66, 132-136.

Jacob, J., Hempel, N., 2003. Effects of farming practices on spatial behaviour of common voles. *Journal of Ethology* 21, 45-50.

Jacob, J., Leukers, A., 2008. Preference of birds for zinc phosphide bait carriers. *Pest Management Science* 64, 74-80.

Jacob, J., Manson, P., Barfknecht, R., Fredricks, T., 2014. Common vole (*Microtus arvalis*) ecology and management: implications for risk assessment of plant protection products. *Pest Management Science* 70, 869-878.

Jacob, J., Pelz, H.J., 2005. Regulierung von Nagetierpopulationen: Aktuelle Ansätze und Zukunftsaussichten. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 57, 177-182.

Jacob, J., Sudarmaji, Singleton, G.R., 2003a. Ecologically-based management of ricefield rats on a village scale in West Java experimental approach and assessment of habitat use. In: Singleton, L.A.H. (Hrsg.), *Mice, rats and people: Rodent Biology and Management*. ACIAR Monograph Number 96. ACIAR, Canberra, 191-196.

Jacob, J., Tkadlec, E., 2010. Rodent outbreaks in Europe: dynamics and damage. In: Singleton, G.R., Belmain, S., Brown, P.R., Hardy, B. (Hrsg.), *Rodent outbreaks – Ecology and impacts*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 207-223.

Jacob, J., Ylönen, H., Runcie, M.J., Jones, D.A., Singleton, G.R., 2003b. What affects bait uptake by house mice in Australian grain fields? *Journal of Wildlife Management* 67, 341-351.

Janova, E., Heroldova, M., Konecny, A.B., J., 2011. Traditional and diversified crops in South Moravia (Czech Republic): habitat preferences of common vole and mice species. *Mammalian Biology* 76, 570-576.

Jareno, D., Vinuela, J., Luque-Larena, J.J., Arroyo, L., Arroyo, B., Mougeot, F., 2014. A comparison of methods for estimation common vole (*Microtus arvalis*) abundance in agricultural habitats. *Ecological Indicators* 36, 111-119.

Joermann, G., 1998. A review of secondary-poisoning studies with rodenticides. *Bulletin OEPP/EPPO* 28, 157-176.

Johnston, J.J., Nolte, D.L., Kimball, B.A., Perry, K.R., Hurley, J.C., 2005. Increasing acceptance and efficacy of zinc phosphide rodenticide baits via modification of the carbohydrate profile. *Crop Protection* 24, 381-385.

Jokić, G., Vukša, M., Đedović, S., Stojnić, B., Kataranovski, D., Šćepović, T., 2013. Effects of different essential oils on the acceptability and palatability of cereal-based baits for laboratory mice. *Pesticidi i Fitomedicina* 28, 111-116.

Kalandakanond-Thongsong, S., Daendee, S., Thongsong, B., Chavananikul, V., 2010. The efficacy of pure natural repellents on rat responses using circular open field. *The Thai Veterinary Medicine* 40, 411-418.

Kauhala, K., 1996. Introduced carnivores in Europe with special reference to central and northern Europe. *Wildlife Biology* 2:3, 197-204.

Kimball, B.A., Taylor, J., Perry, K.R., Capelli, C., 2009. Deer responses to repellent stimuli. *Journal of Chemical Ecology* 35, 1461–1470. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9721-6>

Labuschagne, L., Swanepoel, L.H., Taylor, P.J., Belmain, S.R., Keith, M., 2016. Are avian predators effective biological control agents for rodent pest management in agricultural systems? *Biological Control*, 101, 94-102.

Lantova, P., Lanta, V., 2009. Food selection in *Microtus arvalis*: the role of plant functional traits. *Ecological Research* 24, 831-838.

Lenth, R., 2018. Emmeans: estimated marginal means, aka least-squares means. R package version 1.1

Leukers, A., Plekat, A., Wolff, C., Jacob, J., 2014. Umweltverträgliche Nagetier-Bekämpfung in der Landwirtschaft: Vergleichende Umweltbewertung für Rodentizide, Bewertung nicht-chemischer Alternativen. Projektabschlussbericht für das Umweltbundesamt (Projektnr. 371367405).

Leung, L.K.P., Sopheap, S., Starr, C.R., El, S., Russell, I.W., King, C.A., Vong, T.R., Chan, P., 2007. Selecting bait base to increase uptake of zinc phosphide and warfarin rodenticide baits. *Crop Protection* 26, 1281-1286.

Leverkus, A.B., Castro, J., Puerto-Piñero, C., Rey Benayas, J.M., 2013. Suitability of the management of habitat complexity, acorn burial depth, and a chemical repellent for post-fire reforestation of oaks. *Ecological Engineering* 53, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.003>

Lindgren, P.M., Sullivan, T.P., Crump, D.R., 1995. Review of synthetic predator odor semiochemicals as repellents for wildlife management in the Pacific Northwest. In: Mason, J.R. (Hrsg.) *Repellents in Wildlife Management: Proceedings of a Symposium*, USDA National Wildlife Research Center, Fort Collins, 217-230.

Lund, M., 1988. Rodent behaviour in relation to baiting techniques. *EPPO Bulletin* 18, 185-193.

Lüthi, M., Nentwig, W., Airoldi, J.P., 2010. Nutritional ecology of *Microtus arvalis* in sown wild flower fields and semi-natural habitats. *Revue suisse de Zoologie* 117, 811-828.

Mackin-Rogalska, R., Nabaglo, L., 1990. Geographical variation in cyclic periodicity and synchrony in the common vole, *Microtus arvalis*. *Oikos* 59, 343-348.

Mahlaba, T.A.M., Monadjem, A., McCleery, R., Belmain, S.R., 2017. Domestic cats and dogs create a landscape of fear for pest rodents around rural homesteads. *Plos One* 12(2), e0171593.

Marsh, R.E., 1988. Bait additives as a means of improving acceptance by rodents. *EPPO Bulletin* 18, 195-202.

Mason, J., 1997. Overview of controls: Why they work and how they function: Repellents. Wildlife damage management for natural resource managers. Western Forestry and Conservation Association, Portland, 11-16.

Mason, J.R., Reidinger, R.F., 1983. Importance of color for methiocarb-induced food aversions in red-winged blackbirds. *Journal of Wildlife Management* 47, 383-393.

Meehan, A.P., 1984. Rats and mice. Their biology and control. Rentokil Ltd. East Grinstead, England, 1-383.

Michler, F.U.F., Michler, B.A., 2012. Ökologische, ökonomische und epidemiologische Bedeutung des Waschbären (*Procyon lotor*) in Deutschland—eine aktuelle Übersicht. *Beiträge zur Jagd- und Wildtierforschung*, 37, 389-397.

Migula, P., 1969. Bioenergetics of pregnancy and lactation in European common vole. *Acta Theriologica* 14, 167-179.

Mitchell-Jones, A.J., Amori, G., Bogdanowicz, W., Krystufek, B., Reijnders, P.J.H., Spitzenberger, F., Stubbe, M., Thissen, J.B.M., Vohralik, V., Zima, J., 1999. The atlas of European mammals. T.Poyser, A.D.Poyser, London.

Murcia, C., 1995. Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 10, 58-62.

Naeem, M., Ahmed, I., Hussain, I., Ahmedani, M.S., 2011. Performance of taste enhancers mixed with cereal bases and evaluation of the most preferred bait composition for *Bandicota bengalensis* (Gray). *African Journal of Biotechnology* 10, 3938–3944. <https://doi.org/10.5897/AJB10.2063>.

Nathalie, D., Yannick, G., Caroline, B., Sandrine, D., Claude, F., Corinne, C., Pierre-Jacques, F., 2006. Assessment of the phototoxic hazard of some essential oils using modified 3T3 neutral red uptake assay. *Toxicology In Vitro* 20, 480-489.

Niemeyer, H., Fus, H.R., Krüger, F., Jarchow, D., 1996. Giftfreie Erdmausbekämpfung mit Fangwannen. *Forst und Holz* 51, 349-352.

Niethammer, J., F. Krapp 1982: *Microtus arvalis* (Pallas, 1779) – Feldmaus. In: Niethammer, J., F. Krapp (Hrsg.) *Handbuch der Säugetiere Europas Band 2/I, Nagetiere II*, 284-318.

Nolte, D.L., Mason, J.R., 1998. Bioassays for mammals and birds. In: Haynes, K.F., Millar, J.G. (Hrsg.), *Methods in Chemical Ecology Volume 2: Bioassay Methods*. Springer US, Boston, MA, 326-395.

Notz, E., Imholt, C., Reil, D., Jacob, J., 2017. Testing automated sensor traps for mammal field studies. *Wildlife Research* 44, 72-77.

Piudo, L., Monteverde, M.J., Susan Walker, R., Douglass, R.J., 2011. Rodent community structure and Andes virus infection in sylvan and peridomestic habitats in Northwestern Patagonia, Argentina. *Vector-borne and Zoonotic Diseases* 11, 315-324.

Provenza, F.D., Pfister, J.A., Cheney, C.D., 1992. Mechanisms of learning in diet selection with reference to phytotoxicosis in herbivores. *Journal of Range Management* 45, 36-45.

R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Reif, J., Voříšek, P., Šťastný, K., Bejček, V., Petr, J., 2008. Agricultural intensification and farmland birds: New insights from a central European country. *Ibis*, 150, 596-605.

Roy, J., Bergeron, J.M., 1990. Role of phenolics of coniferous trees as deterrents against debarking behavior of meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*). *Journal of Chemical Ecology* 16, 801-808.

Salgado, I, 2018. Is the raccoon (*Procyon lotor*) out of control in Europe? *Biodiversity and Conservation*, 27(9), 2243-2256.

Salo, P., Banks, P.B., Dickman, C.R., Korpimäki, E., 2010. Predator manipulation experiments: impacts on populations of terrestrial vertebrate prey. *Ecological Monographs* 80, 531-546.

Schlageter, A., Haag-Wackernagel, D., 2012. A gustatory repellent for protection of agricultural land from wild boar damage: An investigation on effectiveness. *Journal of Agricultural Science* 4(5), 61.

Schlötelburg, A., Jakob, G., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018a. Natural bait additives improve trapping success of common voles, *Microtus arvalis*. *Applied Animal Behaviour Science* 208, 75-81.

Schlötelburg, A., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018b. Development of an odorous repellent against common voles (*Microtus arvalis*) in laboratory screening and subsequent enclosure trials. *Journal of Pest Science* (in press). <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1028-3>.

Sekercioglu, C.H., 2006. Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(8), 464-471.

Shumake, S.A., 1997. Electronic rodent repellent devices: a review of efficacy test protocols and regulatory actions. In: Mason, J.R. (Hrsg.) *Repellents in wildlife management*, 253-270.

Shumake, S.A., Gaddis, S.E., Crane, K.A., 1997. Liquid baits for rodent control: A comparison of wild Norway versus wild ricefield rat response to glucose plus saccharin solutions. *Crop Protection* 16, 35-39.

Singla, N., Kaur, R., 2014. Potential of citronella oil as rodent repellent measured as aversion to food. *Applied Biological Research* 16, 191–198. <https://doi.org/10.5958/0974-4517.2014.00010.X>

Singla, N., Thind, R.K., Mahal, A.K., 2014. Potential of eucalyptus oil as repellent against house rat, *Rattus rattus*. Scientific World Journal.

Singleton, G.R., Leirs, H., Hinds, L.A., Zhang, Z., 1999. Ecologically-based management of rodent pests-re-evaluating our approach to an old problem. Ecologically-based Rodent Management, 17-29.

Sullivan, T.P., Crump, D.R., Sullivan, D.S., 1988. Use the predator odors as repellents to reduce feeding damage by herbivores, III. Montane and meadow voles (*Microtus montanus* and *Microtus pennsylvanicus*). Journal of Chemical Ecology 14, 363-377.

Sullivan, T.P., Sullivan, D.S., 1988. Influence of alternative foods on vole populations and damage in apple orchards. Wildlife Society Bulletin 16, 170-175.

Tobin, M.E., Fall, M.W., 2004. Pest control: rodents. USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications 67, 1-21.

Villalba, J.J., Provenza, F.D., Bryant, J.P., 2002. Consequences of the interaction between nutrients and plant secondary metabolites on herbivore selectivity: benefits or detriments for plants? Oikos 97, 282–292. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970214.x>.

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. National Wildlife Research Center Repellents Conference 1995, University of Nebraska, Lincoln, p. 38.

Welzl, H., D'Adamo, P., Lipp, H.-P., 2001. Conditioned taste aversion as a learning and memory paradigm. Behavioural Brain Research 125, 205-213.

Whisson, D.A., Engeman, R.M., Collins, K., 2005. Developing relative abundance techniques (RATs) for monitoring rodent populations. Wildlife Research 32, 239-244.

White, S.M., Rahel, F.J., 2008. Complementation of habitats for Bonneville cutthroat trout in watersheds influenced by beavers, livestock, and drought. Transactions of the American Fisheries Society, 137(3), 881-894.

Wickham, H., 2009. ggplot2: elegant graphics for data analysis. Springer New York 1, 3.

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, Lehr- und Versuchsanstalt für Integrierten Pflanzenbau e.V. Güterfelde - Jahresbericht 1996, 247-63.

Witmer, G.W., Hakim, A.A., Moser, B.W., 2000. Investigations of methods to reduce damage by voles. Proceedings of the Ninth Wildlife Damage Management Conference Place of Meeting: Pennsylvania State University, University Park, PA, 357-365.

Witmer, G.W., Snow, N.P., Moulton, R.S., 2014. Responses by wild house mice (*Mus musculus*) to various stimuli in a novel environment. Applied Animal Behaviour Science 159, 99-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2014.07.007>.

Wolff, C., Plekat, A., 2018: Aktuelles – Situationsberichte aus den Ländern: Sachsen-Anhalt. 10. Sitzung der Bund-Länder Arbeitsgruppe Feldmaus-Management, 26.4.2018, Braunschweig.

11. VERÖFFENTLICHUNGEN

Beiträge in wissenschaftlichen Fachzeitschriften

Schlötelburg, A., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018. Development of an odorous repellent against common voles (*Microtus arvalis*) in laboratory screening and subsequent enclosure trials. *Journal of Pest Science* 92, 677-689. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1028-3>

Schlötelburg, A., Jakob, G., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018. Natural bait additives improve trapping success of common voles, *Microtus arvalis*. *Applied Animal Behaviour Science* 208:75-81.

Schlötelburg, A. et al., 2019. Self-service traps inspected by avian and terrestrial predators as management option for rodents (in preparation).

Beiträge auf wissenschaftlichen Tagungen

Plekat, A., Schlötelburg, A., Wolff, C. & Jacob, J., 2016. Fallenfang und Praxisvariante im Feldversuch: Welche Methode hält die Feldmaus (*Microtus arvalis*) von den Feldern fern? 60. Deutsche Pflanzenschutztagung, 20.-23.09.2016, Halle-Wittenberg

Plekat, A., Schlötelburg, A., Jacob, J., Wolff, C., Jakob, G., 2018. Vergleich ausgewählter Feldmaus-Management-Methoden mit Barrierewirkung. 61. Deutsche Pflanzenschutztagung, 11.-14.09.2018, Hohenheim

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2014. Naturstoffe als giftfreie Köder zum Fallenfang von Feldmäusen, *Microtus arvalis*. 59. Deutsche Pflanzenschutztagung, 23.-26.09.2014, Freiburg

Schlötelburg, A., Eccard, J., Jacob, J., 2015. Natural substances as non-toxic baits for trapping common voles (*Microtus arvalis*). 18. International Plant Protection Congress, 24.-27.08.2015, Berlin

Schlötelburg, A. & Jacob, J., 2016. Maze Runners: Common voles (*Microtus arvalis*) in T-maze trials for identifying repelling or attracting substances. 15. *Rodens et Spatium*, 25.-29.07.2016, Olomouc

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C. & Jacob, J. 2016. Auf der Suche nach dem Stoff: Naturstoffe zur Vergrämung von Feldmäusen (*Microtus arvalis*). 60. Deutsche Pflanzenschutztagung, 20.-23.09.2016, Halle-Wittenberg

Schlötelburg, A. & Jacob, J., 2017. Development of an odorous repellent against common voles (*Microtus arvalis*). 11. European Vertebrate Pest Conference, 25.-30.09.2017, Warschau

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2017. Sustainable management of common voles (*Microtus arvalis*). 10. Young Scientist Meeting, 08.-10.11.2017, Siebeldingen

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018. Do avian and terrestrial predators empty self-service traps for common vole (*Microtus arvalis*)? 6th International Conference of Rodent Biology and Management, 16th Rodens et Spatium, 03.-07.09.2018, Potsdam

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018. Können Prädatoren beim Management von Feldmäusen (*Microtus arvalis*) helfen? 61. Deutsche Pflanzenschutztagung, 11.-14.09.2018, Hohenheim

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018. Self-service traps for common vole (*Microtus arvalis*) predators. 11. Young Scientist Meeting, 11.-14.11.2018, Braunschweig

Beiträge zum Praxistransfer

Plekat, A., Wolff, C., Schlötelburg, A., Jacob, J., 2014. Projektvorstellung Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen (EVAF). 3. Sitzung der Bund-Länder AG Feldmaus-Management, 14.05.2014, Braunschweig

Plekat, A., Wolff, C., Schlötelburg, A., Jacob, J., 2014. Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen – Fallenvergleich 2014. 4. Sitzung der Bund-Länder AG Feldmaus-Management, 14.11.2014, Bernburg/Strenzfeld

Plekat, A., Wolff, C., Schlötelburg, A., Jacob, J., 2014. Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen – Fallenvergleich 2014. Klausurtagung des amtlichen Pflanzenschutzdienstes, 15.-17.12.2014, Thale

Plekat, A., Schlötelburg, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2015. Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen – Feldversuch 2015 –Methodenvergleich. 6. Sitzung der Bund-Länder Arbeitsgruppe Feldmaus-Management, 27.11.2015, Nossen

Plekat, A., Schlötelburg, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2015. Präsentation des Projekts „Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen“. Feldtag der Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung, 02.12.2015, Gerbstedt

Plekat, A., Schlötelburg, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2015. Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen – Feldversuch 2015 –Methodenvergleich. Klausurtagung des amtlichen Pflanzenschutzdienstes Sachsen-Anhalt, 16.-17.12.2015, Benneckenstein

Plekat, A., Schlötelburg, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2016. Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen – Feldversuch 2015 –Methodenvergleich, Klausurtagung des amtlichen Pflanzenschutzdienstes Thüringen, 10.02.2016, Stadtroda

Plekat, A. & Wolff, C., 2016. Projektvorstellung: Entwicklung nachhaltiger Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen. Landesgruppentreffen der Phytomedizinischen Gesellschaft e.V., 24.06.2016, Quedlinburg

Plekat, A., Schlötelburg, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2017. Vergleich ausgewählter Feldmaus-Management-Methoden mit Barrierewirkung. 21. Tagung des Arbeitskreises Wirbeltiere, 08.-09.11.2017, Hamburg

Plekat, A., Schlötelburg, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2017. Vergleich ausgewählter Feldmaus-Management-Methoden mit Barrierewirkung. Klausurtagung des amtlichen Pflanzenschutzdienstes Sachsen-Anhalt, 12.-13.12.2017, Bernburg

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Jacob, J., 2014. Fangwannen und Deckelfallen zum Management von Feldmäusen (*Microtus arvalis*). AG Tierökologie, Universität Potsdam 08.22.2014, Gülpe

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Jacob, J., 2015. Fangwannen und Deckelfallen zum Management von Feldmäusen (*Microtus arvalis*). 5. Sitzung der Bund-Länder Arbeitsgruppe Feldmaus-Management, 06.05.2015, Bad Kreuznach

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Jakob, G., Jacob, J., 2015. Entwicklung nachhaltiger Verfahren gegen Feldmäuse (*Microtus arvalis*). Institutskolloquium JKI, 03.03.2015, Münster

Schlötelburg, A. & Jacob, J., 2015. Was braucht die Maus? 2. Symposium zur schreidadlergerechten Landnutzung, 04.-06.09.2015, Chorin

Schlötelburg, A., Schreiner, L., Jakob, G., Jacob, J., 2015. Naturstoffe als giftfreie Köder für Feldmäuse (*Microtus arvalis*). Arbeitskreis Wirbeltiere des DPG, 17.11.2015, Laudenbach

Schlötelburg, A., Schreiner, L., Jakob, G., Jacob, J., 2016. Naturstoffe als giftfreie Köder für Feldmäuse (*Microtus arvalis*). Institutskolloquium JKI, 12.01.2016, Münster

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Schreiner, L., Jakob, G., Jacob, J., 2017. Auf der Suche nach dem Stoff: Naturstoffe zur Vergrämung von Feldmäusen (*Microtus arvalis*). Institutskolloquium JKI, 21.02.2017, Münster

Schlötelburg, A., Plekat, A., Wolff, C., Jacob, J., 2018: Können Prädatoren beim Feldmaus-Management helfen? Institutskolloquium JKI, 16.01.2018, Münster

Schlötelburg, A., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018: Development of sustainable methods against common voles (*Microtus arvalis*) towards an Ecologically-based rodent management. Vortrag am Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), 18.01.2018, Müncheberg

Schlötelburg, A., Bellingrath-Kimura, S., Jacob, J., 2018: Development of sustainable methods against common voles (*Microtus arvalis*) towards an Ecologically-based rodent management. Seminar im Modul "Forschungsmethoden im Pflanzenbau", 04.07.2018, Humboldt Universität zu Berlin

Wolff, C., Plekat, A., Schlötelburg, A., Jakob, G., Jacob, J., 2014. Projekt EVAF – Entwicklung von nachhaltigen Verfahren zur Abwehr von Feldmäusen. DLG Feldtage, 17.-19.06.2014, Bernburg

Wolff, C. & Plekat, A. (2016): WUMAKI 9 – Die Mäuseköderlegemaschine (MKL). 8. Sitzung der Bund-Länder Arbeitsgruppe Feldmaus-Management, 03.11.2016, Bad Kreuznach

Medienbeiträge:

Diebstahl und Sabotage der Versuchsreihen im Projekt EVAF, Mitteldeutsche Zeitung, 01.06.2015

Diebstahl und Sabotage der Versuchsreihen im Projekt EVAF, Bauernzeitung, 21. KW 2015

Wer lässt die Maus raus? Anna und die wilden Tiere. Kika, 15.11.2015

Gefangen und gechipt – Feldmäusen auf der Spur, MDR Sachsen-Anhalt - MDR um 11, 16.11.2015