

Abteilung Landschaftsökologie
Institut für Natur- und Ressourcenschutz
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Regulierung von Massenvorkommen des
Jakobs-Greiskrautes
(*Senecio jacobaea* L.) durch natürliche
Antagonisten**

Abschlussbericht

Gefördert unter dem AZ 33297/01 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Von

Kathrin Schwarz

Prof. Dr. Tim Diekötter

Dr. John Herrmann

Prof Dr. Tobias W. Donath

Kiel, März 2021

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	33297/01	Referat	33	Fördersumme	203.224 €
Antragstitel		Regulierung von Massenvorkommen des Jakobs-Greiskrautes (<i>Senecio jacobaea</i> L.) durch natürliche Antagonisten			
Stichworte		Jakobs-Greiskraut, JKK, Antagonisten, extensive Grünlandnutzung			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
56 Monate		01.07.2016		28.02.2021	
				Projektphase(n)	
				1	
Zwischenberichte					
Bewilligungs-empfänger		Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Institut für Natur- und Ressourcenschutz Abteilung Landschaftsökologie Prof. Dr. Tobias W. Donath Olshausenstr. 75 24118 Kiel		Tel 0431-880 1198 Fax 0431-880 4083 Projektleitung Prof. Dr. Tobias W. Donath Dr. John Herrmann Prof. Dr. Tim Diekötter Bearbeiterin Kathrin Schwarz	
Kooperationspartner		Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein Eschenbrook 4; 24113 Molfsee Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) Hamburger Chaussee 25; 24220 Flintbek			
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>In extensiv genutzten, naturschutzfachlich wertvollen Grünlandbeständen ist seit Mitte der 2000er-Jahre deutschlandweit eine starke Ausbreitung des Jakobs-Greiskrautes (syn. Jakobs-Kreuzkraut, „JKK“, <i>Jacobaea vulgaris</i> Gaertn., <i>Senecio jacobaea</i> L.) zu beobachten. Aufgrund der von dieser Pflanzenart produzierten Fraßgifte (Pyrrolizidin-Alkaloide, „PAs“) ist von einer potenziellen Gesundheitsgefährdung für Menschen und Tiere auszugehen. Pyrrolizidin-Alkaloide können vom Menschen beispielsweise über Honig aufgenommen werden, von Tieren in der Regel über Futtermittel (Heu, Heulage oder Silage). Durch die potenzielle Vergiftungsgefahr gefährden Jakobs-Greiskraut-Massenvorkommen die Nutzbarkeit und Akzeptanz naturschutzfachlich wertvoller, artenreicher extensiv genutzter Grünlandbestände. Klassische Verfahren zur Bekämpfung wie Nutzungsintensivierung, Umbruch und Herbizideinsatz beschränken sich in ihrer Wirkung nicht auf das Jakobs-Greiskraut und gefährden somit die schützenswerte artenreiche Grünlandvegetation.</p> <p>Neben vermutlich naturschutzfachlich vertretbaren mechanische Bekämpfungsstrategien wie Mähen und Mulchen ist eine weitere Option der Einsatz von in hohen Initialdichten ausgebrachter herbivorer Antagonisten. Bisher liegen Erfahrungen zum Erfolg dieser Maßnahme aber nur aus Ländern vor, in denen Jakobs-Greiskraut und dessen Antagonisten nicht heimisch sind. Im natürlichen Vorkommensgebiet erscheint der gezielte Einsatz natürlicher Antagonisten insbesondere auf Flächen sinnvoll, die aufgrund ihres Mikroreliefs, fortgeschrittener Verbuschung oder hoher Bodenwassergehalte schlecht oder nicht befahrbarer sind; auf Flächen mit mechanischen Regulierungsmaßnahmen könnte der zusätzliche Einsatz von Antagonisten die Regulierung der Jakobs-Greiskraut-Bestände verbessern. Ziel des Forschungsprojektes war es daher zu untersuchen, welche Möglichkeiten natürliche Antagonisten zur Regulierung der Jakobs-Greiskraut-Bestände</p>					

bieten, von welchen Rahmenbedingungen (z.B. Landschaftsstruktur) der Erfolg der Maßnahme beeinflusst wird und ob es neben den bereits bekannten Arten noch weitere vielversprechende Antagonisten gibt. Am Ende sollen den Nutzern extensiv bewirtschafteten Grünlands wirkungsvolle, naturschutzkonforme Maßnahmen zur Regulierung der Jakobs-Greiskraut-Bestände an die Hand geben werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

In AP 1 wurden mit Stand 2019 insgesamt 15 Studienflächen identifiziert und auf diesen Flächen Dauerquadrate zur jährlichen Vegetationserfassung installiert. Auf zehn der Flächen wurde *Tyria jacobaeae* in zwei verschiedenen Dichten (jährlich 50 oder einmalig 500 Raupen) ausgebracht, fünf Flächen mit natürlichem Vorkommen von *T. jacobaeae* dienten als Vergleichsgruppe. Die Anzahl und Deckung der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen sowie das Vorkommen verschiedener Antagonistenarten auf den Flächen wurden jährlich erfasst. Von *Longitarsus jacobaeae* standen aufgrund von Schwierigkeiten bei der Vermehrung nicht genügend Tiere für Aussatzversuche zur Verfügung. Da die Art auf allen Studienflächen bereits natürlicherweise vorkommt, wurde stattdessen eine Bestandserfassung mittels Bodenfallen durchgeführt und mithilfe eines allgemeinen Regressionsmodells der Einfluss verschiedener Umweltfaktoren auf die Abundanz des Flohkäfers untersucht.

In AP 2 wurde ein Käfigversuch durchgeführt, in dem das Wachstum der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen unter verschiedene Kombinationen von Mahdterminen und *Tyria*-Raupen getestet wurde. Außerdem wurde in einem Freilandversuch untersucht, wie sich die Mahd mittels Mulcher beziehungsweise Balkenmäher auf die Tiere auswirkt. Hierzu wurde jeweils die Anzahl *Tyria*-Raupen vor sowie zwei Stunden nach der Mahd aufgenommen und zwischen beiden Methoden verglichen.

In AP 3 wurde das Vorkommen verschiedener weiterer Antagonistenarten erfasst und anhand dieser Daten vier Arten identifiziert, die ab 2018 in Käfigexperimenten an Jakobs-Greiskraut getestet werden sollten. Diese vier Arten sind *Aphis jacobaeae*, *Haplothrips senecionis*, *Contarinia jacobaeae* und *Botanophila seneciella*. Während die beiden letztgenannten Arten nicht vermehrt werden konnten, wurden *A. jacobaeae* und *H. senecionis* in zwei Käfigexperimenten auf ihr Potenzial zur biologischen Kontrolle von Jakobs-Greiskraut untersucht. Hierzu wurden JKK-Pflanzen in Gazekäfigen separiert und mit verschiedenen Dichten der beiden Gegenspieler beimpft. Als Kontrolle dienten Pflanzen ohne Insektenbefall. Im Rahmen einer CAU-internen Kooperation mit der AG Biochemische Ökologie und Molekulare Evolution (Prof. Dr. Dietrich Ober) wurde außerdem der PA-Gehalt der Versuchspflanzen bestimmt.

In AP 4 wurden in einem Umkreis von 1000 m um die Studienflächen Biotoptypen und Jakobs-Greiskraut-Vorkommen kartiert. Diese Daten wurden mittels einer GIS-basierte Landschaftsanalyse ausgewertet, um Einflüsse der Landschaft auf das Vorkommen von *Tyria jacobaeae* zu identifizieren.

Ergebnisse und Diskussion

In AP 1 war die Ansiedelung des Blutbären auf den Studienflächen bis auf einzelne Ausnahmen erfolgreich. Durch das Verfahren konnte in einzelnen Jahren bzw. auf einzelnen Flächen eine Reduktion der Jakobs-Greiskraut-Bestände erreicht werden. Gleichzeitig nahm aber in allen drei Versuchsgruppen die mittlere Individuenzahl des Jakobs-Greiskrautes zu. Hierbei wurden auch die Auswirkungen des Hitzesommers 2018 sichtbar, der vielerorts zur vermehrten Bildung von Offenbodenstellen und dadurch einer verstärkten Keimung des Jakobs-Greiskrautes im Folgejahr führte. In Bezug auf *L. jacobaeae* zeigte sich, dass die Art in Schleswig-Holstein weit verbreitet ist. Temperatursummen, Niederschlag sowie die Verfügbarkeit von Nahrungspflanzen (Rosetten und generative Jakobs-Greiskraut-Pflanzen) korrelierten deutlich positiv mit den Abundanzen des Flohkäfers. Zudem zeigte sich eine negative Korrelation der Flohkäfer-Abundanzen mit der Anzahl an Keimlingen des Jakobs-Greiskrautes, die möglicherweise auf Störereignisse des Bodens zurückzuführen ist.

In AP 2 stellte sich der Balkenmäher als die für *Tyria jacobaeae* deutlich verträglichere Methode dar und es wurden im Vergleich zum Mulcher signifikant mehr Raupen wiedergefunden.

In AP 3 stellte sich *Aphis jacobaeae* als bemerkenswert effizienter Gegenspieler des Jakobs-Greiskrautes heraus. Eine Dichte von 25 Blattläusen / Pflanze war ausreichend für eine rasche Vermehrung der Tiere und konnte das Pflanzenwachstum im Vergleich zur Kontrolle signifikant reduzieren, teilweise auch Pflanzen zum Absterben bringen. Warme, trockene Witterung förderte erwartungsgemäß die Vermehrung der Tiere. *Haplothrips senecionis* vermehrte sich nicht im gleichen

Maße und schädigte auch in hohen Dichten die Pflanzen weniger stark als erwartet. Begleitende Analysen zum PA-Gehalt der Pflanzen zeigten eine hohe inter- und intraindividuelle Variation im PA-Spektrum. *Contarinia jacobaeae* und *Botanophila seneciella* erscheinen aufgrund ihrer schlechten Vermehrbarkeit unter Laborbedingungen als zur biologischen Kontrolle wenig geeignet.

Die in AP 4 durchgeführte Landschaftsanalyse zeigte, dass natürliche *Tyria*-Massenbestände zum einen mit mehr, jedoch kleineren Jakobs-Greiskraut-Beständen im 1000 m-Radius assoziiert waren als Flächen ohne natürliche *Tyria*-Vorkommen. Zusätzlich wurden signifikant mehr Einzelpflanzen sowie ein leicht höherer Flächenanteil von Hecken und Knicks im Umkreis der *Tyria*-Massenbestände gefunden. In Bezug auf die Landschaftskomposition wurden keine Effekte gefunden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Projektes werden in enger Kooperation mit der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein und dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) in Schleswig-Holstein im Rahmen gemeinsamer Publikationen öffentlich zugänglich gemacht. Im Juli 2017 wurde hierzu das Projekt während eines Pressetermins den Vertretern verschiedener Medien vorgestellt. Außerdem wurde das Projekt während des von der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein organisierten Treffens der JKK-Projektarbeitsgemeinschaft (23.11.2017) sowie bei einem Workshop der NABU-Naturschutzstation Münsterland e.V. (08.11.2018) präsentiert. Erste Ergebnisse wurden auf den internationalen Fachtagungen *Ecology Across Borders* (11.12.-14.12.2017 in Gent) sowie auf der Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie (10.09.-14.09.2018) in Wien dargestellt. Derzeit werden die Daten für die Publikation in wissenschaftlichen Fachzeitschriften aufbereitet. Zudem wurde ein Praxisleitfaden zur Vermehrung und Ansiedlung der Blutbären erstellt, der in Kürze auf der Homepage der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein veröffentlicht werden wird.

Fazit

Aufgrund der weiten Verbreitung von *L. jacobaeae* in Schleswig-Holstein kann davon ausgegangen werden, dass die Art in der Lage ist, neue Jakobs-Greiskraut-Bestände zügig und ohne menschliche Hilfe zu besiedeln. Wegen der aufwendigen Vermehrung des Flohkäfers stellt ein zusätzliches Ausbringen dieses Gegenspielers in wirkungsvollen Dichten keine effiziente Maßnahme dar. Die Blattlaus *Aphis jacobaeae* erscheint im Käfigversuch als effizienter Gegenspieler, es fehlen entsprechende Erfahrungen aus dem Freiland. Hingegen war die Ansiedlung des Blutbären *Tyria jacobaeae* in Massenbeständen des Jakobs-Greiskrautes in den meisten Fällen erfolgreich und führte teilweise auch zu einer Reduktion der Jakobs-Greiskraut-Bestände. Es erscheint sinnvoll, im ersten Jahr zunächst eine größere Anzahl Raupen auszusetzen und dann in den Folgejahren bei Bedarf weitere Tiere nachzusetzen, bis sich ein stabiler Bestand etabliert hat. Ein Zeitrahmen von mindestens drei Jahren ist auch seitens der Biologie des zwei- bis mehrjährigen Jakobs-Kreuzkrautes angebracht. Gegebenenfalls sind jedoch weitere, umweltverträgliche Maßnahmen, wie etwa eine regelmäßige Mahd der Jakobs-Greiskrautbestände mit dem Balkenmäher, ergänzend in Betracht zu ziehen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	8
2.	Einleitung	11
AP 1: Ausbringung von <i>Tyria jacobaeae</i> und <i>Longitarsus jacobaeae</i> , zweier herbivorer Antagonisten des Jakobs-Greiskrautes		
2.1.	Auswahl der Studienflächen	14
2.2.	Vermehrung von <i>Tyria jacobaeae</i>	16
2.3.	Ausbringung von <i>Tyria jacobaeae</i>	17
2.4.	Einfluss der Raupen des Blutbären (<i>Tyria jacobaeae</i>) auf Deckung und Individuenzahlen von Jakobs-Greiskraut in Massenbeständen.....	19
2.5.	Bestimmung der Schlupf- und Parasitierungsraten von <i>Tyria jacobaeae</i>	32
2.6.	Vermehrung und Erfassung von <i>Longitarsus jacobaeae</i>	36
3.	AP 2: Synergistische Effekte mechanischer Maßnahmen und herbivorer Antagonisten	41
4.	AP 3: Potenzialfassung weiterer Antagonisten.....	43
4.1.	Potenzialfassung von <i>Contarinia jacobaeae</i> und <i>Botanophila seneciella</i>	45
4.2.	Potenzialfassung von <i>Haplothrips senecionis</i> und <i>Aphis jacobaeae</i>	46
4.3.	Interaktion von <i>Haplothrips senecionis</i> und Pyrrolizidin-Alkaloiden (in Kooperation mit AG Biochemische Ökologie und Molekulare Evolution, Prof. Dr. Dietrich Ober, CAU Kiel).....	56
5.	AP 4: Direkte und indirekte Einflüsse der Landschaft.....	57
6.	Fazit	62
7.	Liste mit Beiträgen und Aktivitäten für das Projekt.....	64
8.	Im Rahmen des Projektes durchgeführte Abschluss- und Projektarbeiten.....	65
9.	Im Rahmen des Projektes erstellte Veröffentlichungen	66
9.1.	Peer-Review	66
9.2.	Weitere Publikationen	66
10.	Literaturverzeichnis.....	67
11.	Anhang	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Karte der Studienflächen, auf denen die Jakobs-Greiskraut-Bestände erfasst und Raupen von <i>Tyria jacobaeae</i> ausgebracht wurden.	15
Abbildung 2: Anordnung der neun Dauerquadrate zur Jakobs-Greiskraut-Erfassung auf den Studienflächen.....	17
Abbildung 3: Anzahl von Rosetten des Jakobs-Greiskrautes auf den Projektflächen, 2018-2020.	19
Abbildung 4: Erfolgreiche Ansiedelung des Blutbären auf der Studienfläche bei Rodau.....	21
Abbildung 5: Jakobs-Greiskraut-Deckung in Prozent pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit natürlichen Massenvorkommen von <i>Tyria jacobaeae</i> , Zeitraum 2017-2020.	23
Abbildung 6: Jakobs-Greiskraut-Deckung in Prozent pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit einmaligem Aussatz von 500 <i>Tyria</i> -Raupen, Zeitraum 2017-2020.	24
Abbildung 7: Jakobs-Greiskraut-Deckung in Prozent pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit jährlichem Aussatz von 50 <i>Tyria</i> -Raupen, Zeitraum 2017-2020.	25
Abbildung 8: Anzahl generativer Jakobs-Greiskraut-Pflanzen pro Quadratmeter (n = 9) für die 5 Flächen mit natürlichen Massenvorkommen von <i>Tyria jacobaeae</i> , Zeitraum 2017-2020.....	26
Abbildung 9: Anzahl generativer Jakobs-Greiskraut-Pflanzen pro Quadratmeter (n = 9) für die 5 Flächen mit einmaligem Aussatz von 500 <i>Tyria</i> -Raupen, Zeitraum 2017-2020.	27
Abbildung 10: Anzahl generativer Jakobs-Greiskraut-Pflanzen pro Quadratmeter (n = 9) für die 5 Flächen mit jährlichem Aussatz von 50 <i>Tyria</i> -Raupen, Zeitraum 2017-2020.....	28
Abbildung 11: Gesamtanzahl der JKK-Pflanzen (alle Entwicklungsstadien) pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit natürlichen Massenvorkommen von <i>Tyria jacobaeae</i> , Zeitraum 2017-2020.	29
Abbildung 12: Gesamtanzahl der JKK-Pflanzen (alle Entwicklungsstadien) pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit einmaligem Aussatz von 500 <i>Tyria</i> -Raupen, Zeitraum 2017-2020.	30
Abbildung 13: Gesamtanzahl der JKK-Pflanzen (alle Entwicklungsstadien) pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit jährlichem Aussatz von 50 <i>Tyria</i> -Raupen, Zeitraum 2017-2020.	31
Abbildung 14: Der Blutbär wird unter anderem von Schlupf- und Brackwespen parasitiert.....	34
Abbildung 15: Gesamtanzahl der im Versuch gefundenen <i>Apanteles</i> -Kokons, bezogen auf je 30 Raupen von <i>Tyria jacobaeae</i>	34
Abbildung 16: <i>Tyria</i> -Puppe während des Versuches zur Bestimmung der Schlupfrate.....	35
Abbildung 17: Startgewicht von <i>Tyria jacobaeae</i> -Puppen	35
Abbildung 18: Darstellung der mittleren Individuenzahlen von <i>Longitarsus jacobaeae</i> pro Bodenfalle und Leerungstermin.	38
Abbildung 19: Anzahl von <i>Tyria</i> -Raupen pro Plot (3m x 3m) vor und nach der Mahd.....	43
Abbildung 20: Prozentualer Anteil generativer Jakobs-Greiskraut-Pflanzen im Jahr 2017, die mit Antagonisten besiedelt waren.	45

Abbildung 21: (A) Kolonie von <i>Aphis jacobaeae</i> an Jakobs-Greiskraut im Laufe des Versuches; (B) Jakobs-Greiskraut-Pflanze mit durch <i>Haplothrips senecionis</i> geschädigtem Blütenstand	49
Abbildung 22: Mittlere Höhe der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen nach Besatz mit <i>Aphis jacobaeae</i> in verschiedenen Dichten; Jahr 2018.	50
Abbildung 23: Mittlerer Durchmesser der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen nach Besatz mit <i>Aphis jacobaeae</i> in verschiedenen Dichten; Jahr 2018	50
Abbildung 24: <i>Aphis jacobaeae</i> vermehrt sich während des Sommers über vivipare Parthogenese..	54
Abbildung 25: verschiedene Entwicklungsstadien von <i>Aphis jacobaeae</i>	54
Abbildung 26: Individuum von <i>Aphis jacobaeae</i> mit frisch gelegten, hellen sowie ausgehärteten, dunklen Eiern.....	55
Abbildung 27: Verschiedene Jugendstadien von <i>Haplothrips senecionis</i>	55
Abbildung 28: Populationszuwachs von <i>Haplothrips senecionis</i> in Abhängigkeit vom Gehalt verschiedener Pyrrolizidin-Alkaloiden (Erucifolin, Jacobin, Senecionin) und dem Gesamtgehalt an PAs pro Gramm Trockenmasse (TM), Versuchsjahr 2018.....	57
Abbildung 29: beispielhafte Ergebnisse der Biototypen-Kartierung im 1000m-Radius der Projektfläche in Kiel-Hammer.	59
Abbildung 30: Prozentualer Flächenanteil (Cover area, CA) der häufigsten vier Biototypen im Umkreis von 250m, 500m und 1000m um die Studienflächen	60
Abbildung 31: Prozentualer Flächenanteil (Cover area, CA) von verschiedenen dichten Jakobs-Greiskraut-Beständen im Umkreis von 250m, 500m und 1000m um die Studienflächen.....	61

1. Zusammenfassung

Der vorliegende Abschlussbericht dokumentiert die Ergebnisse des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts „Regulierung von Massenvorkommen des Jakobs-Greiskrautes (*Jacobaea vulgaris* Gaertn., syn. *Senecio jacobaea* L.) durch natürliche Antagonisten“ zum Projektende nach 56 Monaten Projektlaufzeit (01.07.2016 – 28.02.2021).

Seit Mitte des vorletzten Jahrzehnts ist deutschlandweit eine starke Ausbreitung des Jakobs-Greiskrautes (*Jacobaea vulgaris*) insbesondere in naturschutzfachlich wertvollen, extensiven Grünlandbeständen zu beobachten. Aufgrund der in dieser Pflanze enthaltenen, toxischen Pyrrolizidin-Alkaloiden ist von einer potentiellen Gesundheitsgefährdung für Weidetiere und Menschen auszugehen und es besteht vielerorts der Wunsch nach einer umweltverträglichen Regulierung der Bestände. Bei Freilandhebungen und Aussetzungsexperimenten außerhalb Europas zeigten sich *Tyria jacobaeae* und *Longitarsus jacobaeae* als vielversprechende Antagonisten, aus Mitteleuropa fehlen Praxiserfahrungen. Das vorliegende Projekt untersuchte daher den Einsatz dieser und weiterer Antagonisten zur Regulierung von Jakobs-Greiskraut in dessen natürlichen Verbreitungsgebiet. Hierzu wurden vier Arbeitspakete (AP) bearbeitet. In einem mehrjährigen Aussetzungsexperiment sollten die Antagonisten *Tyria jacobaeae* und *Longitarsus jacobaeae* in verschiedenen Dichten und in jährlicher Wiederholung ausgebracht werden, um den Effekt der Maßnahme auf Jakobs-Greiskraut-Massenbestände zu evaluieren (AP 1). Zudem wurde eine Kombination der Antagonisten, insbesondere *Tyria jacobaeae*, mit mechanischen Regulierungsmaßnahmen getestet (AP 2). Weitere Schwerpunkte des Projektes lagen auf einem systematischen Screening des Regulierungspotentials fünf weiterer natürlicherweise auf Jakobs-Greiskraut vorkommender Insektenarten (AP 3) sowie der Untersuchung des Einflusses von Landschaftsstruktur auf Antagonistenvorkommen (AP 4). Ziel des Forschungsprojektes war es, Nutzern extensiv bewirtschafteten Grünlands wirkungsvolle, naturschutzkonforme Maßnahmen zur Regulierung der Jakobs-Greiskraut-Bestände an die Hand zu geben.

Für das AP 1 (Ausbringung von *Tyria jacobaeae* und *Longitarsus jacobaeae*) wurden geeignete Studienflächen identifiziert und auf diesen Flächen der Jakobs-Greiskraut-Bestand jährlich systematisch erfasst. Durch die kostenneutrale Verlängerung des Projektes bis November 2020 war eine zusätzliche Datenerhebung im Sommer 2020 möglich. Die Flächen wurden mit Raupen von *Tyria jacobaeae* in zwei Dichten (jährlich 50 oder einmalig 500 Individuen) besetzt; als Vergleichsgruppe dienten Flächen mit natürlichem Massenvorkommen von *T. jacobaeae*. Dabei nahmen in einzelnen Jahren beziehungsweise auf einzelnen Flächen sowohl Deckungswerte als auch

Individuenzahlen des Jakobs-Greiskrautes ab, jedoch nahm über die gesamte Projektlaufzeit betrachtet die mittlere Gesamt-Individuenzahl des Jakobs-Greiskrautes in allen drei Versuchsgruppen zu. Dabei waren v.a. auch die Auswirkungen des trockenen, heißen Sommers 2018 zu erkennen. Von *Longitarsus jacobaeae* hingegen standen nicht genügend Individuen für Aussatzversuche zur Verfügung. Zudem deuteten erste Feldbeobachtungen darauf hin, dass diese Art auf den Studienflächen bereits weit verbreitet war. Die Untersuchungen zu diesem Antagonisten des Jakobs-Greiskrautes konzentrierten sich daher auf eine Bestandserfassung der Tiere auf den Studienflächen sowie auf den Einfluss verschiedener Umweltvariablen auf die Abundanzen von *L. jacobaeae*. Ziel war es, solche Umweltvariablen zu identifizieren, welche das Vorkommen des Flohkäfers fördern. Es zeigte sich, dass von den untersuchten Variablen die Temperatursummen, der Niederschlag sowie die Verfügbarkeit von Nahrungspflanzen (Rosetten und generative Jakobs-Greiskraut-Pflanzen) deutlich positiv mit den Abundanzen des Flohkäfers korrelierten. Entgegen unseren Erwartungen zeigte das Model außerdem eine negative Korrelation zwischen den Flohkäfer-Abundanzen und der Anzahl an Keimlingen des Jakobs-Greiskrautes, welche wahrscheinlich auf Störereignisse des Bodens zurückzuführen ist. Die Ergebnisse werden zurzeit zu zwei Publikationen in englischsprachigen Fachjournalen (peer-review) aufbereitet.

Für das AP 2 (Synergistische Effekte von Mahd und Antagonisten) wurde 2018 ein Käfigversuch im Freiland durchgeführt, in dem verschiedene Kombinationen von unterschiedlichen Mahdzeitpunkten und Blutbäruppen auf ihr Potential zur Regulierung des Jakobs-Greiskrautes getestet wurden. Die so erhaltenen Daten erscheinen aufgrund verschiedener Umstände als nicht ausreichend, um die Fragestellung aus AP 2 zu beantworten. Daher wurde 2019 ein weiterer Käfigversuch durchgeführt, in dem das Wachstum der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen unter verschiedene Kombinationen von Mahdterminen und *Tyria*-Raupen getestet wurde. Die Daten aus diesem Versuch werden zurzeit noch im Rahmen einer Projektarbeit ausgewertet. Außerdem wurde in einem Freilandversuch untersucht, wie sich die Mahd mittels Mulcher und Balkenmäher auf die Raupen von *T. jacobaeae* auswirkt. Dabei stellte sich der Balkenmäher als die für die Tiere deutlich verträglichere Methode dar. Während in der Balkenmäher-Gruppe im Mittel $51,3 \pm 56,03$ Prozent der Raupen wiedergefunden wurden, waren es in der Mulcher-Gruppe lediglich $15,9 \pm 32,10$ Prozent ($p = 0,046$).

Für das AP 3 (Potenzialerfassung weiterer Antagonistenarten) wurden vier Antagonistenarten von besonderer Bedeutung identifiziert. Diese sind *Contarinia jacobaeae* (Diptera: Cecidomyiidae), *Botanophila seneciella* (Diptera: Anthomyiidae), *Aphis jacobaeae* (Homoptera: Aphidoidea) und *Haplothrips senecionis* (Thysanoptera: Phlaeothripidae). Die beiden Blütengallbildner *C. jacobaeae* und *B. seneciella* erscheinen aufgrund von Schwierigkeiten bei der Vermehrung nicht zur biologischen Kontrolle des Jakobs-Greiskrautes geeignet. Im 2018 durchgeführten Käfigversuch schädigte *H. senecionis* die Pflanzen deutlich weniger als erwartet, jedoch zeigte sich *A. jacobaeae* als wirksamer

Gegenspieler von JKK. Daher wurde der Versuch im Sommer 2019 mit angepassten Antagonistendichten wiederholt. Wieder war *H. senecionis* nicht in der Lage, das Pflanzenwachstum zu behindern. Mit *A. jacobaeae* behandelte Pflanzen hingegen blieben auch im zweiten Versuchsjahr in ihrem Wachstum signifikant hinter der Kontrollgruppe zurück. Dabei war eine Dichte von etwa 25 Blattläusen pro Pflanze für eine deutlich erkennbare Wirkung der Behandlung ausreichend. Die Daten werden zurzeit zur Publikation in einem englischsprachigen Fachjournal (peer-review) aufbereitet.

Für das AP 4 (Direkte und indirekte Einflüsse der Landschaft) wurde 2017 im Umkreis von 1000 m um die 13 ursprünglichen Studienflächen eine Biotoptypenkartierung durchgeführt. Zusätzlich wurden die Jakobs-Greiskraut-Bestände in diesem Radius erfasst. In Bezug auf die Landschaftskonfiguration zeigte sich, dass natürliche *Tyria*-Massenbestände zum einen mit mehr, jedoch kleineren Jakobs-Greiskraut-Beständen im 1000 m-Radius assoziiert waren als Flächen ohne natürliche *Tyria*-Vorkommen. Zusätzlich wurden signifikant mehr Einzelpflanzen sowie ein leicht höherer Flächenanteil von Hecken und Knicks im Umkreis der *Tyria*-Massenbestände gefunden. In Bezug auf die Landschaftskomposition wurden keine Effekte gefunden.

Ein Praxisleitfaden zur Anwendung des Blutbären für die biologische Kontrolle von Jakobs-Greiskraut wurde erstellt und wird zeitnah auf der Homepage der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein veröffentlicht werden. Zudem werden die erhobenen Daten zurzeit für die Publikation in englischsprachigen Fachjournalen (peer-review) aufbereitet.

2. Einleitung

In extensiv genutzten, naturschutzfachlich wertvollen Grünlandbeständen ist seit Mitte des vorletzten Jahrzehnts deutschlandweit eine starke Ausbreitung des Jakobs-Greiskrautes (syn. Jakobs-Kreuzkraut, „JKK“, *Jacobaea vulgaris* Gaertn., *Senecio jacobaea* L.) zu beobachten. Aufgrund der von dieser Pflanzenart produzierten Fraßgifte (Pyrrolizidin-Alkaloide, „PAs“) ist von einer potenziellen Gesundheitsgefährdung für Menschen und Tiere auszugehen. Pyrrolizidin-Alkaloide aus Jakobs-Greiskraut können vom Menschen beispielsweise über Honig aufgenommen werden (Neumann & Huckauf, 2016; Dusemund et al., 2017), von Tieren in der Regel über Futtermittel (Candrian et al., 1984; Dusemund et al., 2017). Durch die potenzielle Vergiftungsgefahr gefährden Jakobs-Greiskraut-Massenvorkommen die Nutzbarkeit und Akzeptanz naturschutzfachlich wertvoller, artenreicher extensiv genutzter Grünlandbestände (Neumann et al., 2013).

Klassische Verfahren zur Bekämpfung unerwünschter Grünlandarten wie Nutzungsintensivierung, Umbruch und Herbizideinsatz (Stählin, 1969) beschränken sich in ihrer Wirkung nicht auf das Jakobs-Greiskraut und gefährden somit die schützenswerte artenreiche Grünlandvegetation (Werner, 2012; Neumann et al., 2013). Naturschutzfachlich vertretbare mechanische Bekämpfungsstrategien wie Mähen und Mulchen der Jakobs-Greiskraut-Bestände zu verschiedenen Zeitpunkten werden zwar in zahlreichen Handreichungen beschrieben (z.B. Neumann et al., 2013), ein Beleg ihrer Wirksamkeit in der Praxis steht jedoch aus. Vor diesem Hintergrund wurden von 2015 bis 2021 in einem durch die Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein geförderten Projekt verschiedene mechanische Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit zur Regulierung der Jakobs-Greiskraut-Massenbestände getestet (Möhler, 2021). Eine weitere Option zur Regulation von Jakobs-Greiskraut-Beständen ist der Einsatz gezielt hierfür vermehrter und in hohen Initialdichten ausgebrachter herbivorer Antagonisten. Bei Freilandherbungen und Aussetzungsexperimenten außerhalb Europas zeigten sich *Tyria jacobaeae* L. und *Longitarsus jacobaeae* W. als vielversprechende Antagonisten (Roberts & Pullin, 2007). Bisher lagen Erfahrungen zum Erfolg dieser Maßnahme aber nur aus Ländern vor, in denen Jakobs-Greiskraut und dessen Antagonisten nicht heimisch sind (z.B. Australien: Field, 1989; McLaren et al., 2000; Neuseeland: Harman et al., 1990; Syrett, 1983; Tasmanien: Ireson et al., 2000; USA: Hawkes & Johnson, 1976; Coombs et al., 1991; McEvoy et al., 1991; James et al., 1992; Winston et al., 2011; Dauer et al., 2012). Im natürlichen Vorkommensgebiet erscheint der gezielte Einsatz natürlicher Antagonisten insbesondere auf Flächen sinnvoll, die aufgrund ihres Mikroreliefs, fortgeschrittener Verbuschung oder hoher Bodenwassergehalte schlecht oder nicht befahrbarer sind; auf Flächen mit mechanischen Regulierungsmaßnahmen könnte dieser die Regulierung der Jakobs-Greiskraut-Bestände verbessern.

Ziel des Forschungsprojektes war es daher, Nutzern extensiv bewirtschafteten Grünlands wirkungsvolle, naturschutzkonforme Maßnahmen zur Regulierung der Jakobs-Greiskraut-Bestände an die Hand zu geben. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden vier Arbeitspakete (AP) bearbeitet:

Arbeitspaket 1 (Ausbringung von *Tyria jacobaeae* und *Longitarsus jacobaeae*, zweier herbivorer Antagonisten des Jakobs-Greiskrautes) zielte darauf ab, die Praktikabilität des Aussatzes von *Tyria jacobaeae* und *Longitarsus jacobaeae* in verschiedenen Dichten und in jährlicher Wiederholung sowie den Effekt der Maßnahme auf Jakobs-Greiskraut-Massenbestände zu evaluieren.

Arbeitspaket 2 (Synergistische Effekte mechanischer Maßnahmen und herbivorer Antagonisten des Jakobs-Greiskrautes) diente der Ermittlung des Potenzials einer Kombination der Antagonisten, insbesondere *Tyria jacobaeae*, mit verschiedenen Mahdverfahren und -terminen.

Arbeitspaket 3 (Potenzialerfassung weiterer Antagonisten) untersuchte das Potenzial weiterer natürlicher herbivorer Antagonisten von *Jacobaea vulgaris* unter kontrollierten Bedingungen mit dem Ziel, das Repertoire der einsetzbaren Antagonisten zu erweitern.

Arbeitspaket 4 (Direkte und indirekte Einflüsse der Landschaft) hatte zum Ziel, den Einfluss der Landschaftsstruktur auf Antagonistenvorkommen und somit das natürliche Potenzial von Landschaften für die Regulierung des Jakobs-Greiskrautes mittels herbivorer Antagonisten zu bewerten.

Die in diesen Arbeitspaketen erprobten Maßnahmen berücksichtigen insbesondere a) die Situation auf Flächen, auf denen standörtliche Bedingungen mechanische Regulierungsmaßnahmen nicht zulassen, b) den kombinierten Einsatz natürlicher Antagonisten und mechanischer Verfahren zur Effizienzsteigerung der Regulierung von Jakobs-Greiskraut-Massenbeständen, c) eine Erweiterung des Repertoires gezielt eingesetzter natürlicher Antagonisten und d) die landschaftsökologische Bewertung des Besiedlungspotenzials von Jakobs-Greiskraut-Beständen durch natürliche Antagonisten. Zusammenfassend ergeben die Ergebnisse dieser Arbeitspakete einen Überblick über die Möglichkeit der Regulierung von Jakobs-Greiskraut-Beständen mittels natürlicher Antagonisten im natürlichen Verbreitungsgebiet.

AP 1: Ausbringung von *Tyria jacobaeae* und *Longitarsus jacobaeae*, zweier herbivorer Antagonisten des Jakobs-Greiskrautes

Bei Freilandherhebungen und Aussatzungsexperimenten außerhalb Europas zeigten sich *Tyria jacobaeae* L. und *Longitarsus jacobaeae* W. als vielversprechende Antagonisten; in Mitteleuropa fehlen hierzu Praxiserfahrungen. Im vorliegenden Projekt wurden daher Raupen von *Tyria jacobaeae* in verschiedenen Dichten und in jährlicher Wiederholung ausgebracht, um den Effekt der Maßnahme auf Jakobs-Greiskraut-Massenbestände zu evaluieren. Von der ursprünglich angedachten Ausbringung des Flohkäfers *Longitarsus jacobaeae* wurde abgesehen, da dieser aufgrund aufwändiger Vermehrungsbedingungen nicht in ausreichenden Individuenzahlen zur Verfügung steht. Zudem konnte die Art auf allen Projektflächen bereits angetroffen werden (Schwarz et al., in Vorbereitung.). Stattdessen konzentrierten wir uns auf die Bestandserfassung dieser Art mittels Bodenfallen.

Mit Stand Dezember 2019 wurden in AP 1 insgesamt 15 Studienflächen untersucht. Auf fünf der Flächen wurden im Jahr 2017 einmalig 500 Raupen ausgesetzt, auf fünf Flächen wurden während der Projektlaufzeit jährlich 50 Raupen ausgesetzt, weitere fünf Flächen mit natürlichen Massenvorkommen dienten als Vergleichsgruppe. Die Jakobs-Greiskraut-Bestände auf diesen Flächen wurden jährlich aufgenommen. Hierdurch sollte untersucht werden, wie viele Individuen ausreichend sind, um die Regulation des Jakobs-Greiskrautes zu maximieren. Des Weiteren sollte gleichzeitig überprüft werden, ob das Aussetzen einer großen Menge an Antagonisten einen mehrjährig andauernden negativen Effekt auf die JKK-Population auslösen kann, oder ob jährliche, dafür geringere Aussatzzahlen an Antagonisten einen größeren Effekt erzielen können. Im Jahr 2018 beeinträchtigte der außergewöhnlich heiße und trockene Sommer deutlich die Vegetationsentwicklung. Durch die kostenneutrale Verlängerung des Projektes bis November 2020 konnte im Sommer 2020 eine zusätzliche Datenerhebung durchgeführt und so die Belastbarkeit der Daten erhöht werden. Die erhobenen Daten werden zurzeit zur Publikation in einem englischsprachigen Fachjournal (peer-review) aufbereitet.

2.1. Auswahl der Studienflächen

Untersuchungen im Jahr 2017

Seitens des Kooperationspartner „Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein“ wurde im Mai 2017 eine Liste von 32 möglichen Studienflächen mit Massenbeständen von Jakobs-Greiskraut zur Verfügung gestellt. Diese Flächen wurden im Mai und Juni 2017 angefahren, um die jeweilige Bestandssituation des Blutbären (*Tyria jacobaeae*) zu erfassen. Für eine systematische Erfolgskontrolle der Aussatzversuche sind Flächen vonnöten, die a) Massenbestände von Jakobs-Greiskraut aufweisen und b) natürlicherweise frei von *T. jacobaeae* sind. Es scheint, dass der Blutbär im Vergleich zum Zeitraum der Antragstellung seine Vorkommen in Schleswig-Holstein ausweiten konnte, auf vielen Flächen deutlich den Jakobs-Greiskraut-Vorkommen folgte und dort bereits eingewandert ist. Dennoch konnten acht Studienflächen identifiziert werden, auf denen Jakobs-Greiskraut massenhaft auftritt, *T. jacobaeae* jedoch noch nicht vorhanden war.

Zusätzlich zu diesen acht wurden fünf weitere Flächen ausgewählt, auf denen der Blutbär beziehungsweise seine Raupen bereits massenhaft auftreten (**Tabelle 1**, Abbildung 1). Diese Vorkommen werden später zum Vergleich herangezogen werden, um die Auswirkungen von natürlichen und durch Aussatz initiierten Vorkommen von *T. jacobaeae* auf Jakobs-Greiskraut-Bestände vergleichen zu können.

Untersuchungen im Jahr 2018

Im Sommer 2018 wurde der Versuch um drei weitere Flächen ohne natürliches Blutbärvorkommen im Raum Flensburg ergänzt (**Tabelle 1**, Abbildung 1). Auf diesen Flächen wurden im Juli 2018 je 50 Raupen des Blutbären ausgesetzt. Die Fläche „Bollingstedter Au“ musste aus dem Projekt ausgeschlossen werden, da dort im Spätsommer 2017 ein Herbizid ausgebracht wurde und somit als Folge kein Jakobs-Greiskraut mehr vorhanden war.

Untersuchungen im Jahr 2019 / 2020

Ab dem Sommer 2019 wurden insgesamt 15 Studienflächen untersucht: zehn Flächen ohne Vorkommen von *T. jacobaeae* zu Versuchsbeginn sowie fünf Flächen mit natürlichen Massenvorkommen des Blutbären (Vergleichsgruppe).

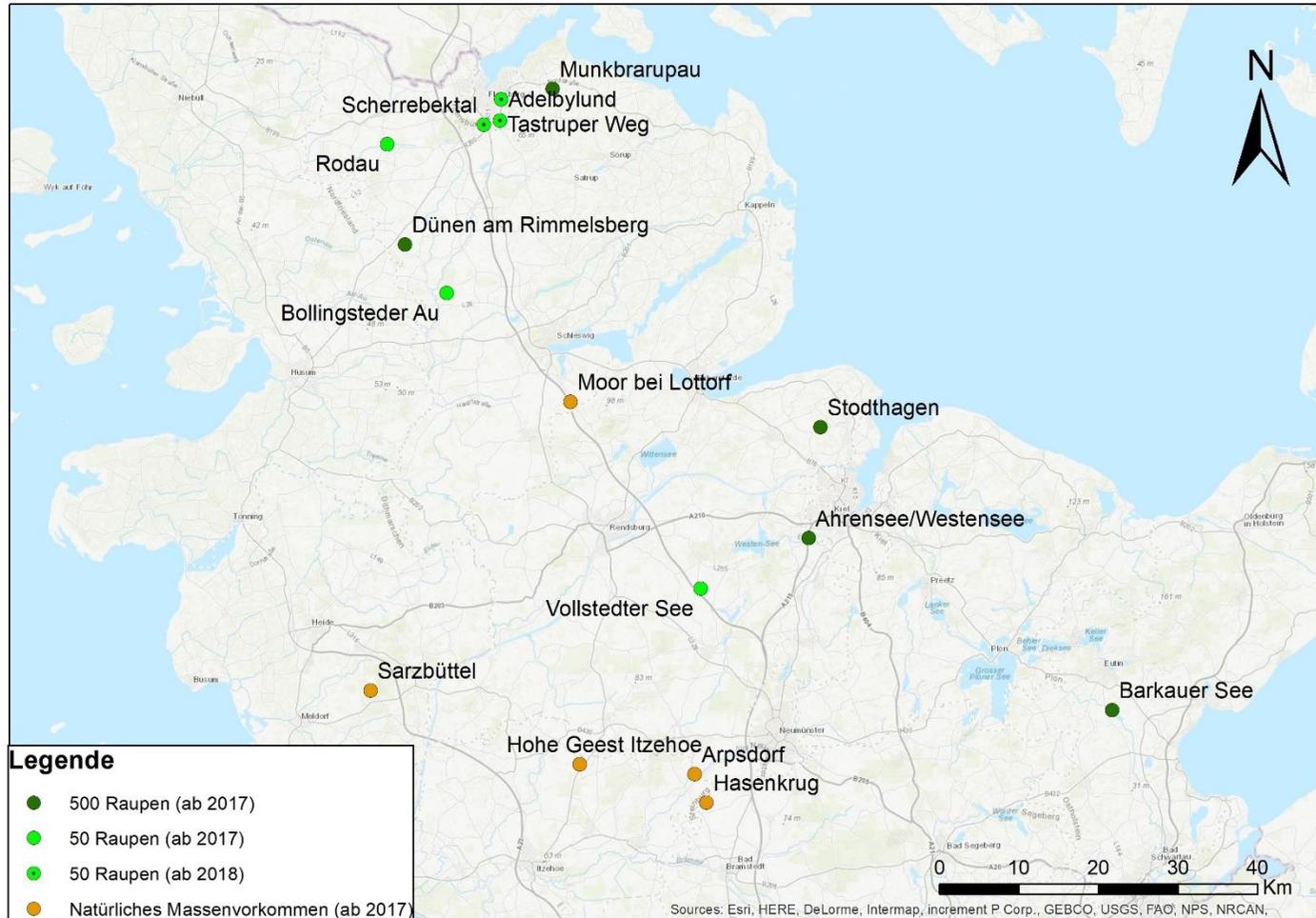


Abbildung 1: Karte der Studienflächen, auf denen die Jakobs-Greiskraut-Bestände erfasst und Raupen von *Tyria jacobaeae* ausgebracht wurden. Dunkelgrün: 500 Raupen; hellgrün: 50 Raupen; orange: natürliches Massenvorkommen / Vergleichsgruppe.

2.2. Vermehrung von *Tyria jacobaeae*

Untersuchungen im Jahr 2016 / 2017

Im Jahr 2016 wurden durch Herrn Dr. Detlef Kolligs etwa 40 adulte Tiere im Freiland eingefangen und zur Vermehrung in ein Gewächshaus verbracht. Diese Tiere wurden im Mai 2017 als Puppen übernommen und in ein eigens zu diesem Zweck errichtetes Gaze-Gewächshaus auf dem Gelände der CAU verbracht. Die 2017 aus diesen Puppen geschlüpften Falter legten zahlreiche Eier, und die sich daraus entwickelnden Raupen konnten problemlos mit geschnittenem Jakobs-Greiskraut großgezogen werden. Auf diese Weise wurden ausreichend Tiere für die Aussatzversuche und die weitere Vermehrung im nächsten Jahr herangezogen.

Untersuchungen im Jahr 2018

Auch im Sommer 2018 wurden die Tiere auf diese Weise weiter vermehrt. Dabei kam es jedoch, nach einem, trotz verhältnismäßig geringer Schlupfrate der Puppen, unauffälligen Saisonstart, Ende Juni zu einem Totalausfall der Zucht, bei dem alle Raupen im Gewächshaus binnen weniger Tage starben. Die genaue Ursache ist unklar; es ist denkbar, dass die hohe Dichte der Tiere im Gewächshaus über mehr als eine Saison eine Infektion mit Pathogenen unterstützt hat (vgl. Rose, 1978). Auch eine Schädigung der Tiere durch die ungewöhnlich warme und trockene Witterung (Stauhitze, Austrocknung) ist denkbar (vgl. Rose, 1978).

Um den Ausfall der Zucht zu kompensieren, wurden aus den vorhandenen Massenbeständen Raupen eingesammelt und auf das Universitätsgelände verbracht. Diese wurden bis zur Verpuppung in Aerarien gehältert. Aus diesen Tieren wurden zum einen die restlichen Versuche des Jahres 2018 bestückt, zum anderen dienten sie zur weiteren Vermehrung im kommenden Jahr, so dass der erfolgreiche Abschluss des Projektes nicht gefährdet ist.

Untersuchungen im Jahr 2019 / 2020

Um eine Folgeinfektion mit gegebenenfalls vorhandenen Erregern auszuschließen, wurden die Tiere ab Sommer 2019 von vornherein in kleineren Gruppen in Aerarien gehältert. Dies hat den Vorteil, dass bei gegebenenfalls auftretenden Infektionen der betroffene Teil der Zuchtpopulation isoliert werden kann. Der Vermehrungserfolg blieb dennoch insbesondere 2020 deutlich hinter den Vorjahren zurück, so dass für den Aussatzversuch zusätzlich Tiere aus den im Freiland vorhandenen Massenbeständen verwendet wurden.

2.3. Ausbringung von *Tyria jacobaeae*

Untersuchungen im Jahr 2017

Auf allen Flächen wurden jeweils neun Dauerquadrate entsprechend der in **Abbildung 2** dargestellten Anordnung eingerichtet. Mittels Magneten wurde die Position der Quadrate markiert, außerdem wurden GPS-Koordinaten genommen. Auf diesen Quadraten wurden die Anzahl und Deckung der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen sowie das Vorkommen verschiedener Antagonistenarten (vgl. „AP 3: Potenzialerfassung weiterer Antagonisten“) systematisch erfasst. Auf den Flächen ohne Vorkommen des Blutbären wurden im Zeitraum 23. Juni bis 04. August 2017 zusätzlich Raupen der Art in zwei verschiedenen Dichten ausgesetzt (jährlich 50 oder einmalig 500 Raupen; $N_{50} = 3$; $N_{500} = 5$; **Tabelle 1**).

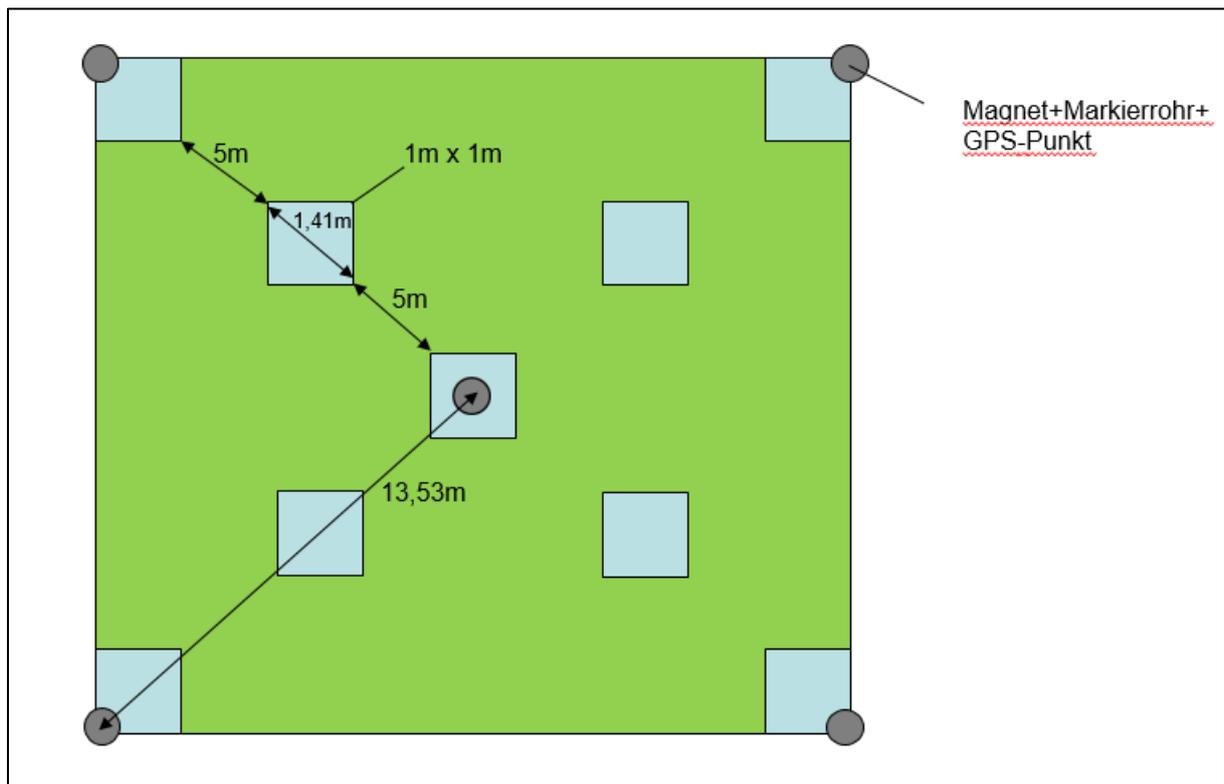


Abbildung 2: Anordnung der neun Dauerquadrate zur Jakobs-Greiskraut-Erfassung auf den Studienflächen.

Untersuchungen im Jahr 2018

Auf den drei neu hinzugekommenen Flächen wurden Dauerquadrate entsprechend des in **Abbildung 2** dargestellten Designs eingerichtet. Auf allen Versuchsflächen wurde im Zeitraum vom 27.06.2018 bis zum 13.07.2018 wie im Vorjahr die Anzahl und Deckung der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen sowie das Vorkommen verschiedener Antagonistenarten (vgl. „AP 3: Potenzialerfassung weiterer Antagonisten“) systematisch erfasst. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch die außergewöhnlich heiße und trockene Witterung im Jahr 2018 die Vegetationsentwicklung deutlich beeinträchtigt war.

Lediglich auf einer der im Vorjahr bestückten Flächen (Stodthagen) konnten im folgenden Sommer keine Tiere gefunden werden. Eine weitere Fläche (Bollingstedter Au) musste aufgrund von

Herbizideinsatz aus dem Projekt gestrichen werden, jedoch waren auch dort im Frühjahr einige Falter zu beobachten. Die ausgewählten Jakobs-Greiskraut-Bestände stellen sich somit mehrheitlich als geeignetes Habitat für den Blutbären dar.

Tabelle 1: Auflistung der Projektflächen für die Ausbringung von *Tyria jacobaeae*.

Fläche	Jahr (Erstaufnahme)	Treatment
Barkauer See	2017	500 Raupen einmalig
Kiel-Hammer	2017	500 Raupen einmalig
Stodthagen	2017	500 Raupen einmalig
Dünen am Rimmelsberg	2017	500 Raupen einmalig
Munkbrarupau	2017	500 Raupen einmalig
Rodau	2017	50 Raupen jährlich
Vollstedter See	2017	50 Raupen jährlich
Bollingstedter Au*	2017	50 Raupen jährlich
Hasenkrug	2017	Vergleichsgruppe
Moor bei Lottorf	2017	Vergleichsgruppe
Hohe Geest Itzehoe	2017	Vergleichsgruppe
Arpsdorf	2017	Vergleichsgruppe
Sarzbüttel	2017	Vergleichsgruppe
Tastruper Weg	2018	50 Raupen jährlich
Adelbylund	2018	50 Raupen jährlich
Scherrebektal	2018	50 Raupen jährlich

*) Fläche wurde aufgrund Herbizideinsatz im Spätsommer 2017 aus dem Projekt gestrichen

Untersuchungen im Jahr 2019

Die Datenerhebung erfolgte wie in den Vorjahren und im Zeitraum vom 01.07.2019 bis 17.07.2019. Zusätzlich wurden Bodenfallen zur Erfassung von *Longitarsus jacobaeae* installiert (siehe 3.2.). Im Jahr 2018 war die Vegetationsentwicklung hitzebedingt deutlich beeinträchtigt. Auf den hierdurch entstandenen Offenbodenstellen zeigte sich im Sommer 2019 vielerorts ein deutlicher Trend zu erhöhten Keimlingszahlen.

Untersuchungen im Jahr 2020

Durch die kostenneutrale Verlängerung des Projektes war vom 03.07.2020 bis zum 31.07.2020 eine zusätzliche Datenerhebung möglich, wodurch die Belastbarkeit der Daten erhöht wurde. Zudem war ein weiterer Aussatz von Raupen auf den Flächen mit jährlicher Beschickung möglich. Es scheint, dass sich viele der Keimlinge aus dem Vorjahr etablieren konnten, denn im Vergleich zu den Vorjahren wurden vermehrt Rosetten des Jakobs-Greiskrautes gefunden (**Abbildung 3**).

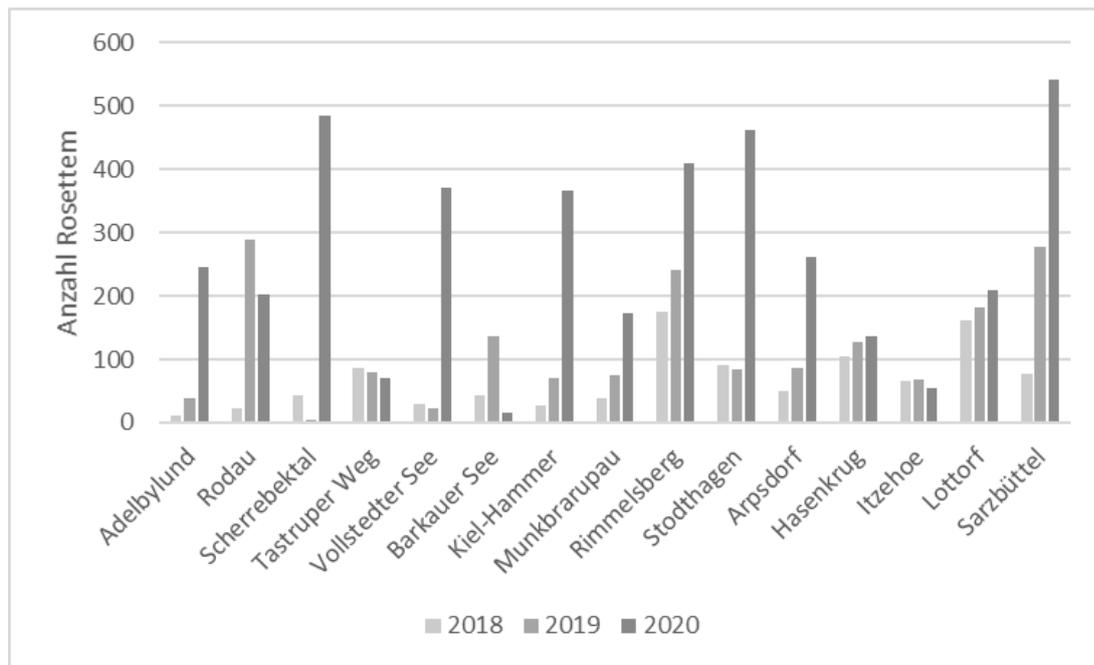


Abbildung 3: Anzahl von Rosetten des Jakobs-Greiskrautes auf den Projektflächen, 2018-2020.

2.4. Einfluss der Raupen des Blutbären (*Tyria jacobaeae*) auf Deckung und Individuenzahlen von Jakobs-Greiskraut in Massenbeständen

In **Tabelle 2** sind die Deckungswerte sowie Individuenzahlen (Keimlinge, Rosetten, Generative, Gesamtanzahl) in den drei Versuchsgruppen zu Beginn und Ende der Erfassung dargestellt. Zwar nahmen in einzelnen Jahren beziehungsweise einzelnen Flächen sowohl Deckungswerte als auch Individuenzahlen des Jakobs-Greiskrautes stark ab (**Abbildung 4**), jedoch nahm die mittlere Gesamt-Individuenzahl des Jakobs-Greiskrautes in allen drei Versuchsgruppen zu (**Tabelle 2**, **Abbildung 5** - **Abbildung 13**). In der Gruppe mit natürlichen Massenvorkommen von *Tyria jacobaeae* zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Anfang und Ende des Versuches, jedoch gab es bei der Gesamt-Individuenzahl einen nah-signifikanten Trend zu erhöhten Individuenzahlen von JKK ($t(4) = 2,51$, $p = 0,07$; **Tabelle 2**). Auf den Flächen mit jährlichem Aussatz von 50 *Tyria*-Raupen hingegen nahm die Anzahl der generativen Jakobs-Greiskraut-Pflanzen signifikant ab ($t(4) = -1,66$, $p = 0,05$), wobei diese Abnahme keinen Einfluss auf die Gesamtanzahl hatte. Stattdessen zeigte sich ein nicht-signifikanter Trend zu erhöhten Rosettenzahlen ($t(4) = 2,87$, $p = 0,09$). Auf den Flächen mit einmaligem Aussatz von 500 *Tyria*-Raupen nahm die Anzahl der Jakobs-Greiskraut-Keimlinge signifikant zu ($t(4) = -3,26$, $p = 0,03$). Außerdem zeigten sich nicht-signifikante Trends zu einer Zunahme der Jakobs-Greiskraut-Rosetten ($t(4) = -2,68$, $p = 0,06$) und -Gesamt-Individuenzahl ($t(4) = -2,67$, $p = 0,06$; **Tabelle 2**).

Zu berücksichtigen sind dabei die Auswirkungen des Dürre-Sommers 2018, in dem die Vegetationsentwicklung durch Trockenheit und Hitze stark beeinträchtigt war. So wurde 2018 über

alle Versuchsgruppen und auf fast allen Studienflächen eine deutliche Reduzierung der Deckungswerte und Individuenzahlen in diesem Jahr beobachtet (Abbildung 5 - Abbildung 13). Auf den so entstandenen Offenbodenbereichen kam es jedoch im Folgejahr 2019 zu einer verstärkten Keimung des Jakobs-Greiskrautes, die sich wiederum ein Jahr später, 2020, vielerorts in steigenden Rosetten- und Gesamt-Individuenzahlen bemerkbar machte (Abbildung 5 - Abbildung 13). Beim Management betroffener Flächen, insbesondere bei der Praxisanwendung des Blutbären, sollten daher auch solche Extremwetterereignisse berücksichtigt und mit einem Anstieg der Individuenzahlen im Folgejahr gerechnet werden.

Der ausbleibende Erfolg der Maßnahme kann zudem in einem unterschiedlichen Alter bzw. einer unterschiedlichen Biomasseentwicklung der untersuchten Jakobs-Greiskraut-Bestände begründet sein. Bestände des Jakobs-Greiskrautes unterliegen zyklischen Populationsschwankungen, denen *Tyria jacobaeae* zügig, aber leicht zeitversetzt folgt (Dempster, 1982; van der Meijden & van der Veen-van Wijk, 1997). Während der Flächenauswahl zeigte sich, dass *Tyria jacobaeae* in den meisten, jedoch nicht allen, Jakobs-Greiskraut-Massenbeständen bereits anzutreffen war. Es ist daher möglich, dass es sich bei den zum Projektstart *Tyria*-freien Beständen um jüngere Populationen des Jakobs-Greiskraut handelte bzw. um solche, die sich an einem Minimum ihrer Populationsentwicklung befanden. Bei solchen Beständen wäre von einer raschen Vermehrung des Jakobs-Greiskrautes auszugehen und es scheint, dass der Blutbär –zumindest in den hier verwendeten Dichten- nicht in gleicher Geschwindigkeit folgen konnte.

Hingegen dürften diejenigen Jakobs-Greiskraut-Bestände, in denen *Tyria jacobaeae* zum Projektstart bereits vorkam, bereits länger etabliert gewesen sein bzw. sich an einem späteren Punkt ihrer Populationsentwicklung befunden haben, so dass der Falter bereits genügend Zeit hatte, seiner Nahrungspflanze zu folgen (van der Meijden & van der Veen-van Wijk, 1997). In diesem Zusammenhang dürfte auch die Anwesenheit von spezialisierten und generalistischen Parasitoiden des Falters in den Beständen eine Rolle spielen (vgl. 2.5).

Aufgrund der hier beobachteten, im Mittel lediglich geringen Reduzierung des Jakobs-Greiskrautes scheint die Methode in der hier untersuchten Form nur begrenzt geeignet, um innerhalb eines akzeptablen Zeitrahmens und mit vertretbarem Arbeitsaufwand eine deutliche Reduzierung von Jakobs-Greiskraut-Beständen herbeizuführen.



Abbildung 4: Erfolgreiche Ansiedelung des Blutbären auf der Studienfläche bei Rodau. Von 2017 (oben) bis 2020 (unten) wurden hier jährlich 50 Raupen des Blutbären ausgesetzt. Bereits nach dem ersten Jahr kam es hier zu einer massenhaften Vermehrung des Blutbären, mit sichtbarem Erfolg.

Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Deckungswerte und Individuenzahlen sowie Vergleich des ersten und letzten Aufnahmejahres mittels gepaartem t-Test (zweiseitig) für die drei Versuchsgruppen mit natürlichen Massenvorkommen, jährlichem Aussatz von 50 Raupen und einmaligem Aussatz von 500 Raupen.

		natürliche Massenvorkommen					50 Raupen jährlich					500 Raupen einmalig				
		Deckung in % / m2	Anzahl Keimlinge / m2	Anzahl Rosetten / m2	Anzahl Generative / m2	Individuenzahl gesamt / m2	Deckung in % / m2	Anzahl Keimlinge / m2	Anzahl Rosetten / m2	Anzahl Generative / m2	Individuenzahl gesamt / m2	Deckung in % / m2	Anzahl Keimlinge / m2	Anzahl Rosetten / m2	Anzahl Generative / m2	Individuenzahl gesamt / m2
erstes Jahr	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Mittelwert	17,72	8,8	9,8	4,7	23,3	18,11	5,6	11,2	7,4	24,2	11,11	1,1	8,7	5,1	14,9
	Standardfehler	2,87	3,0	1,3	0,6	3,6	2,29	1,6	1,4	0,8	2,6	1,99	0,3	1,5	0,8	2,0
	Standardabweichung	19,28	19,9	9,0	4,0	24,0	15,39	10,7	9,3	5,4	17,3	13,34	1,9	9,8	5,1	13,7
letztes Jahr	N	5,00	5,0	5,0	5,0	5,0	5,00	5,0	5,0	5,0	5,0	5,00	5,0	5,0	5,0	5,0
	Mittelwert	11,98	48,2	26,7	4,2	79,1	12,47	47,3	30,6	1,5	79,3	9,32	15,8	31,8	2,6	50,2
	Standardfehler	1,93	10,8	3,7	0,6	11,2	1,24	10,5	4,3	0,3	13,0	1,18	2,6	3,8	0,4	6,1
	Standardabweichung	12,97	72,2	24,8	4,1	75,1	8,34	70,1	28,6	2,2	86,9	7,90	17,4	25,5	2,7	41,0
FG		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
t		0,67	1,65	-1,85	0,26	2,51	1,54	-1,61	-2,25	2,87	-1,66	0,52	-3,26	-2,68	1,30	-2,67
p		0,54	0,18	0,14	0,81	0,07	0,20	0,18	0,09	0,05	0,17	0,63	0,03	0,06	0,26	0,06

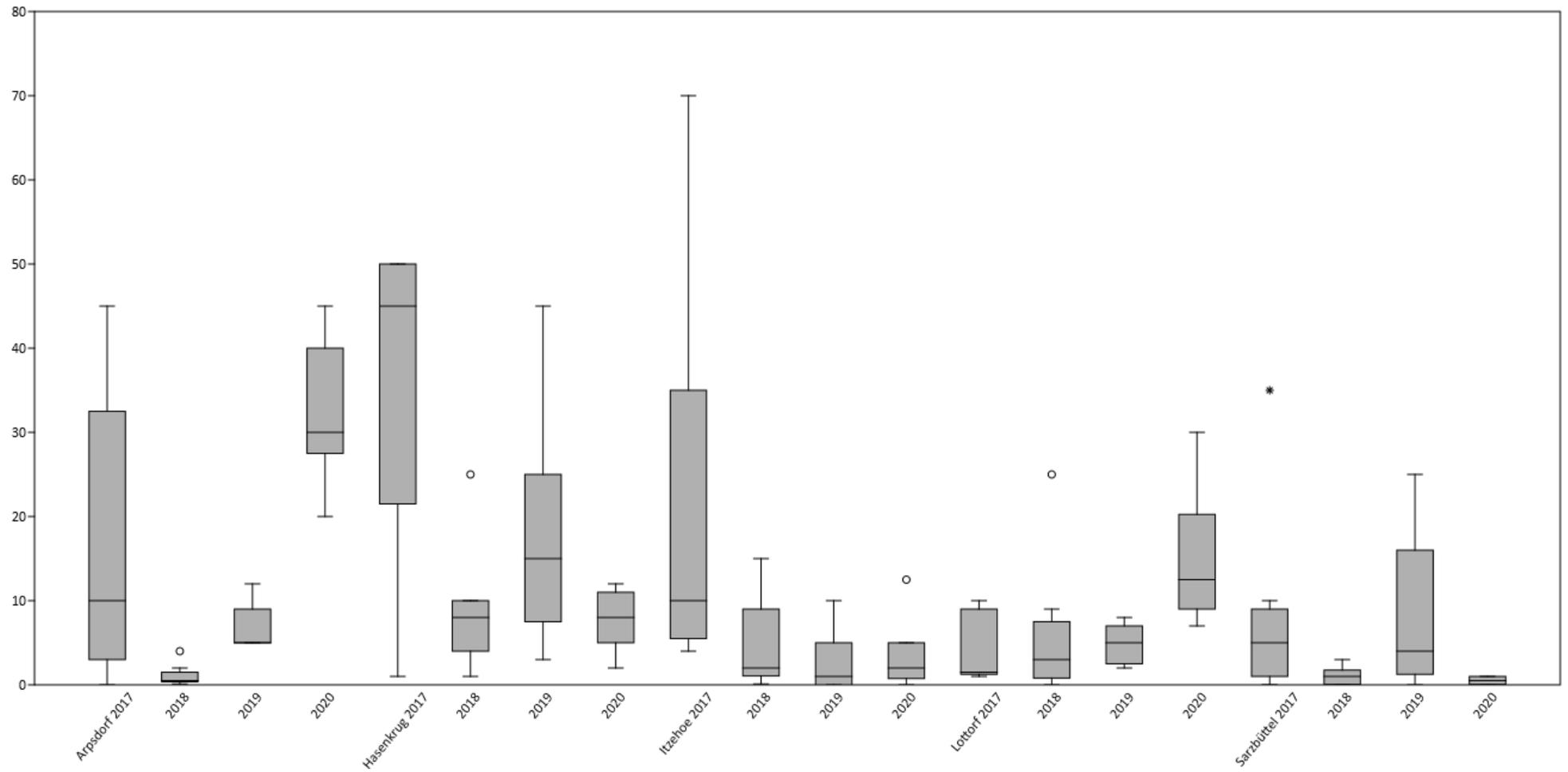


Abbildung 5: Jakobs-Greiskraut-Deckung in Prozent pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit natürlichen Massenvorkommen von *Tyria jacobaeae*, Zeitraum 2017-2020.

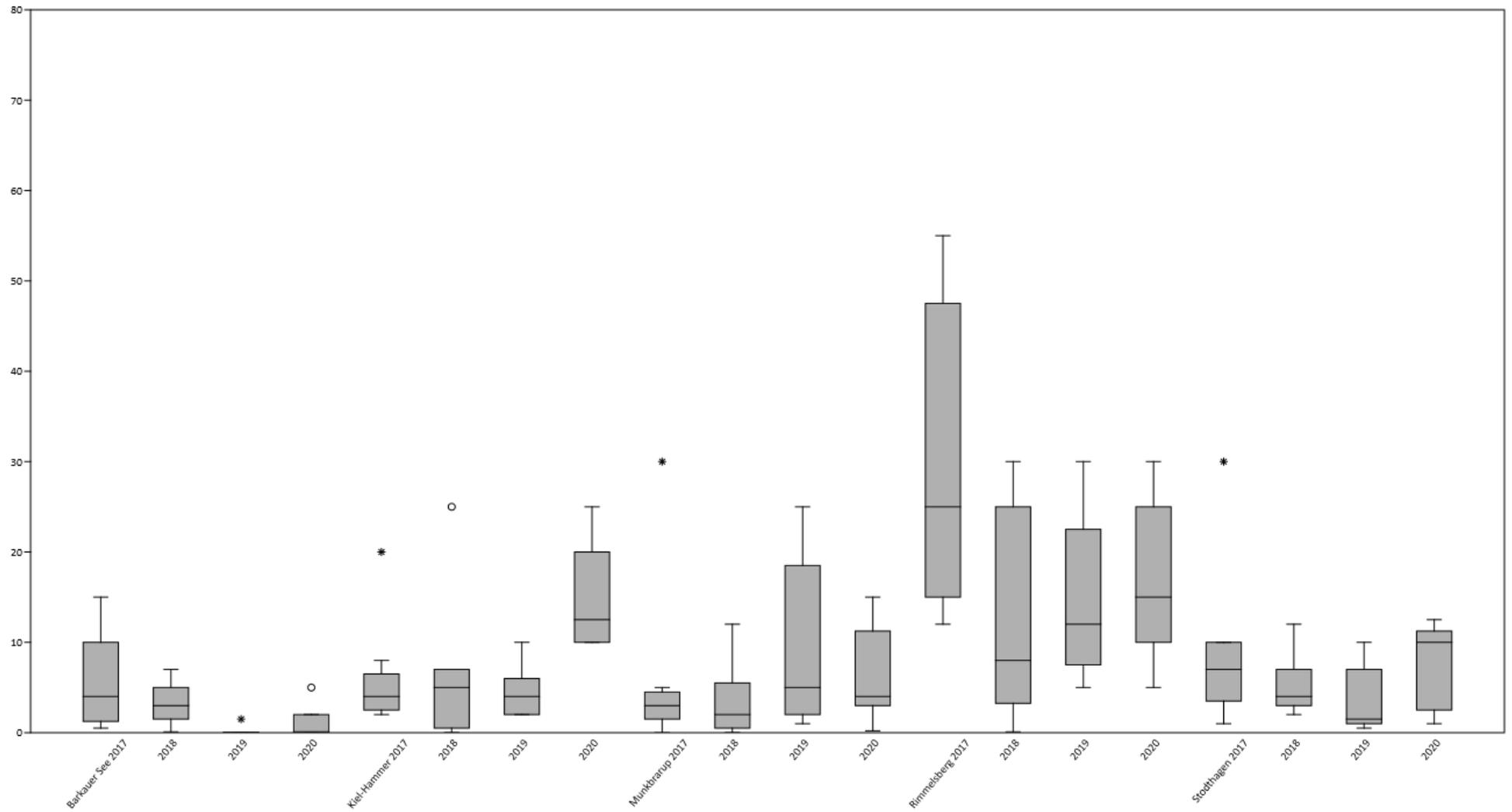


Abbildung 6: Jakobs-Greiskraut-Deckung in Prozent pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit einmaligem Aussatz von 500 *Tyria*-Raupen, Zeitraum 2017-2020.

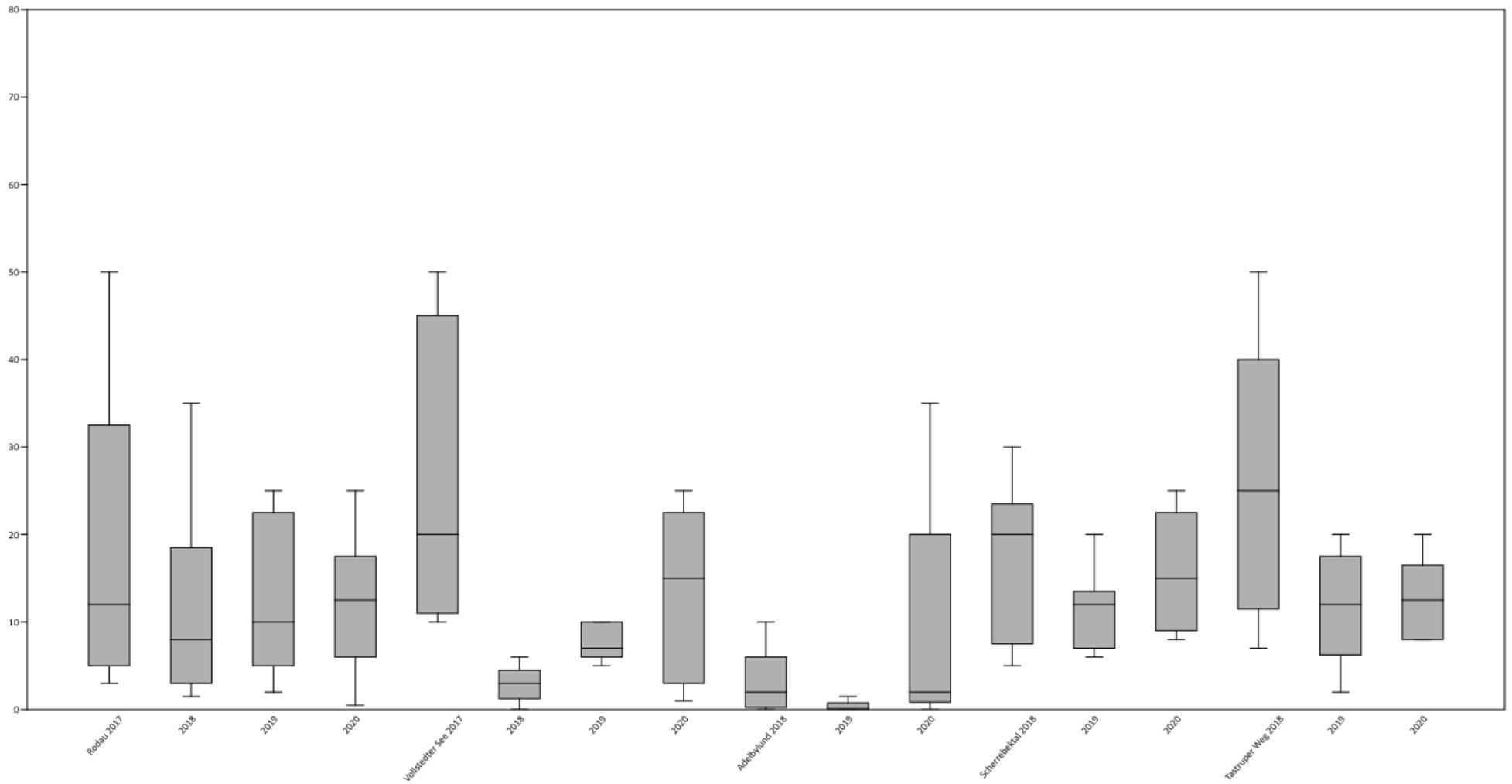


Abbildung 7: Jakobs-Greiskraut-Deckung in Prozent pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit jährlichem Aussatz von 50 *Tyria*-Raupen, Zeitraum 2017-2020.

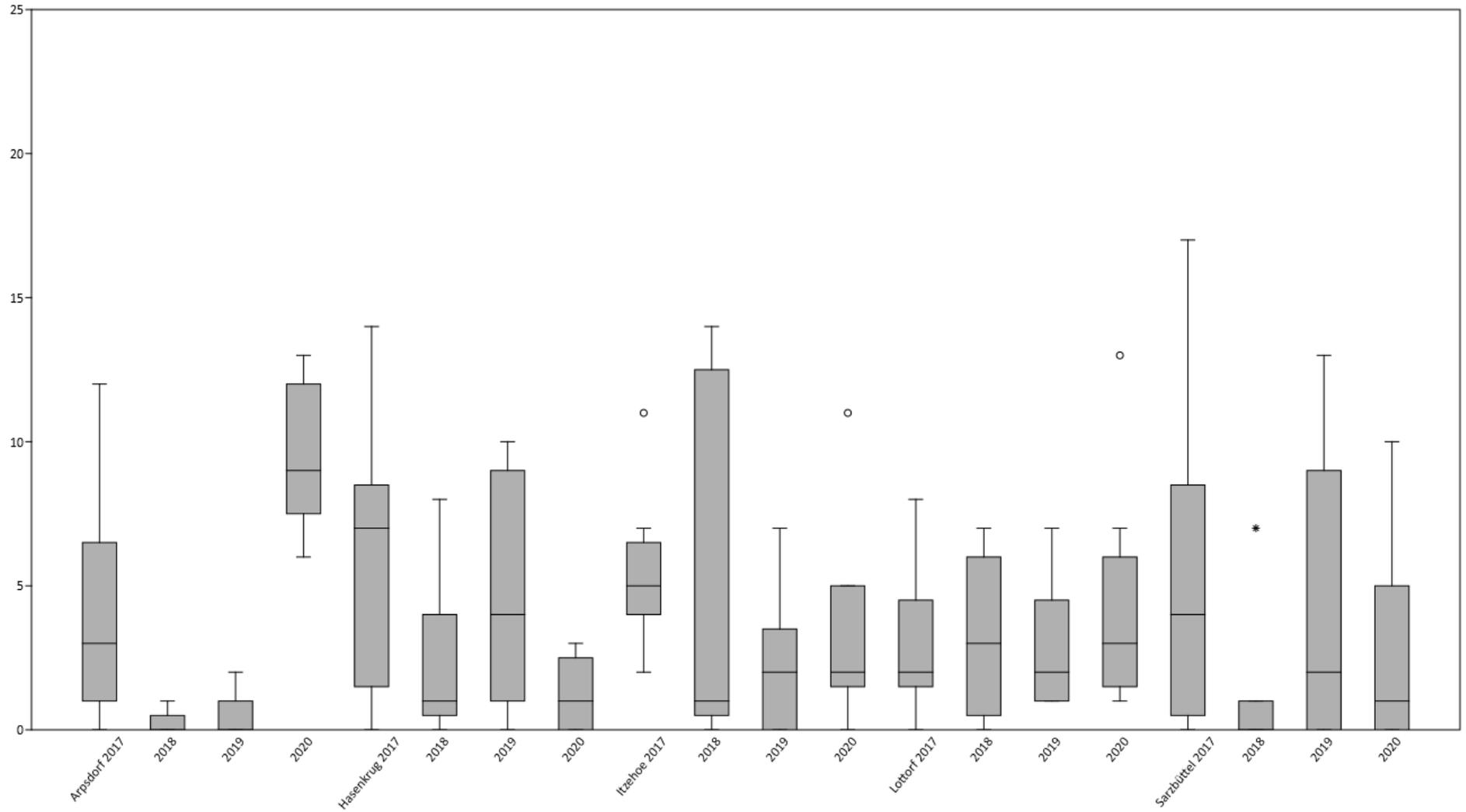


Abbildung 8: Anzahl generativer Jakobs-Greiskraut-Pflanzen pro Quadratmeter (n = 9) für die 5 Flächen mit natürlichen Massenvorkommen von *Tyria jacobaeae*, Zeitraum 2017-2020.

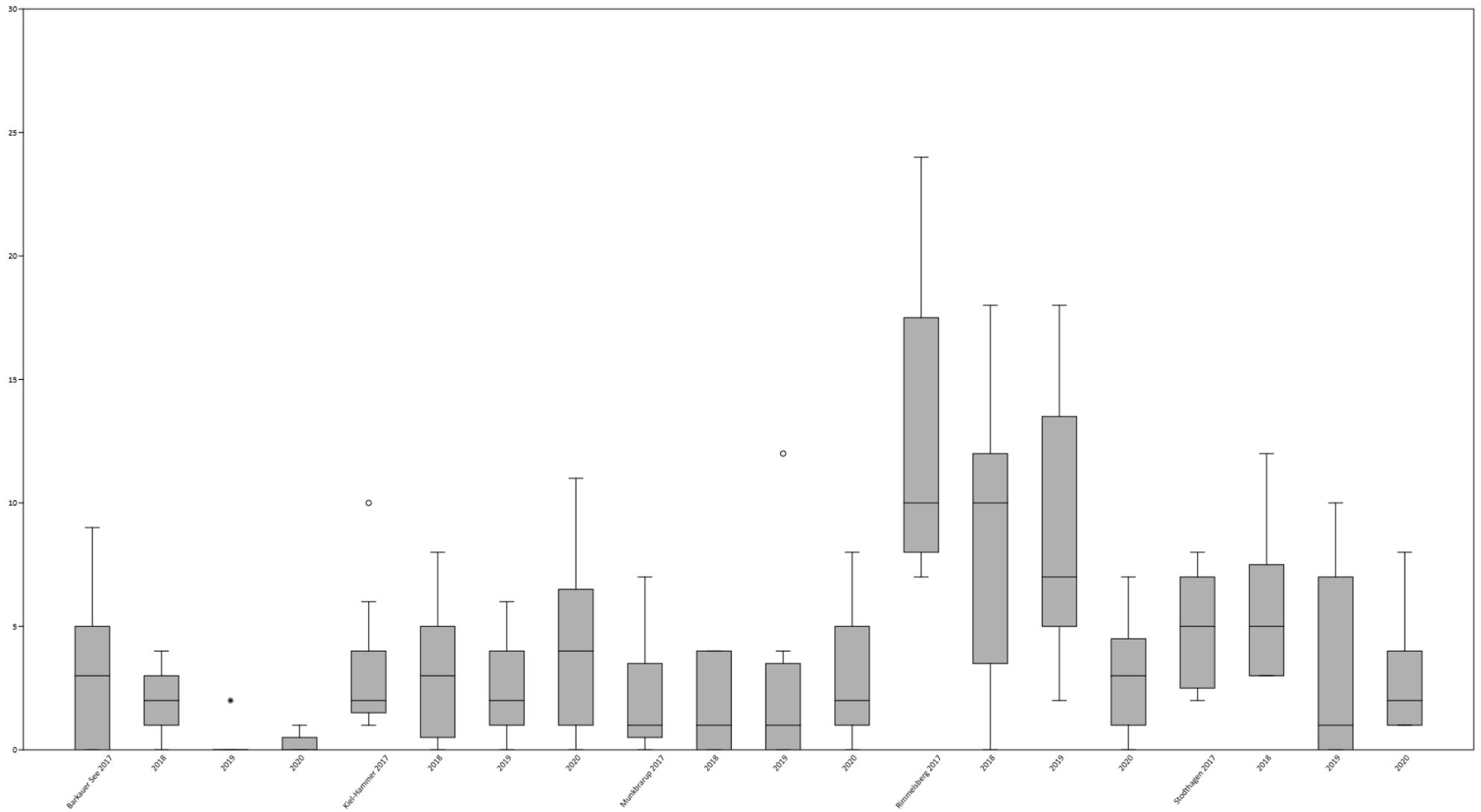


Abbildung 9: Anzahl generativer Jakobs-Greiskraut-Pflanzen pro Quadratmeter (n = 9) für die 5 Flächen mit einmaligem Aussatz von 500 *Tyria*-Raupen, Zeitraum 2017-2020.

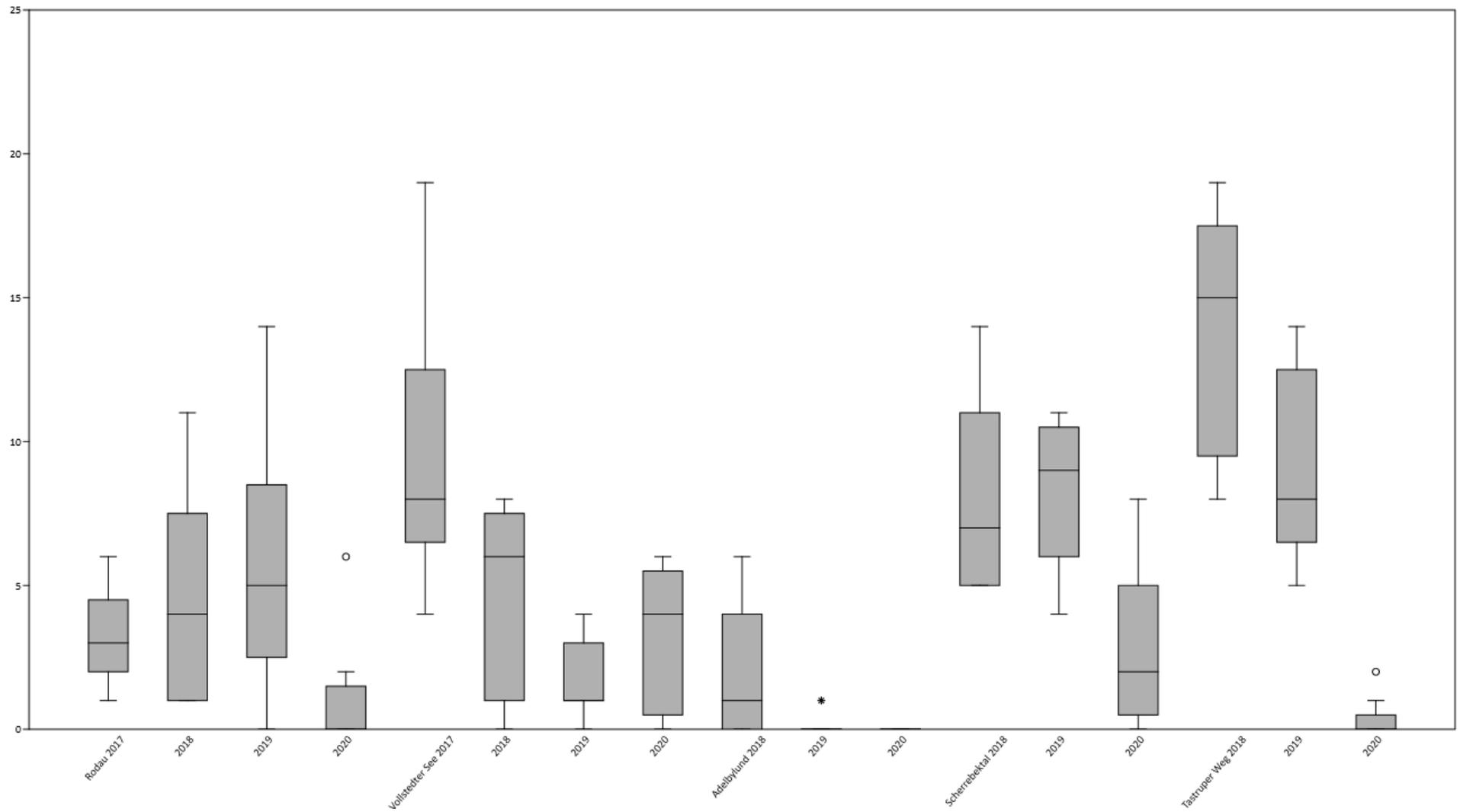


Abbildung 10: Anzahl generativer Jakobs-Greiskraut-Pflanzen pro Quadratmeter (n = 9) für die 5 Flächen mit jährlichem Aussatz von 50 *Tyria*-Raupen, Zeitraum 2017-2020.

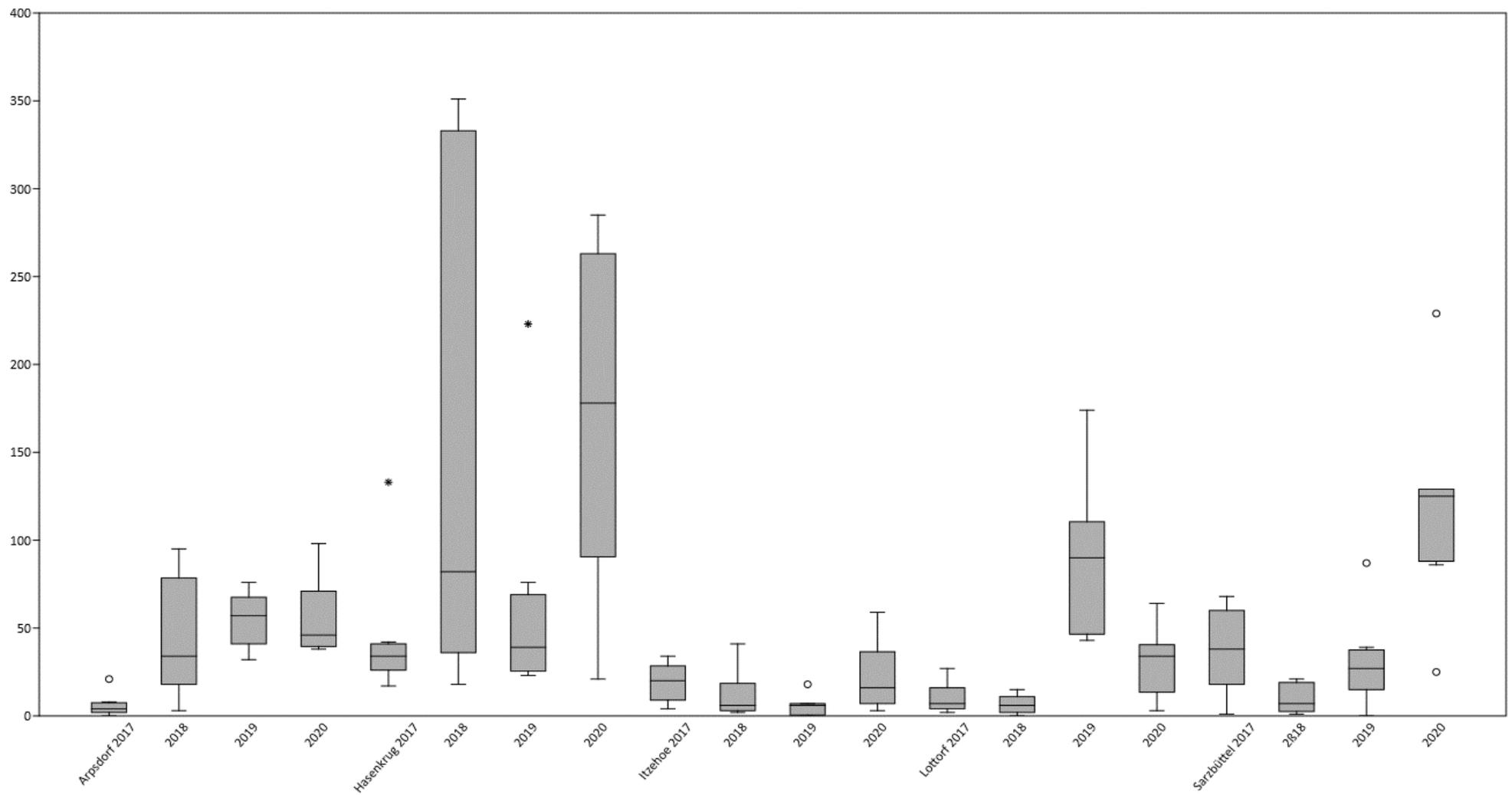


Abbildung 11: Gesamtanzahl der JKK-Pflanzen (alle Entwicklungsstadien) pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit natürlichen Massenvorkommen von *Tyria jacobaeae*, Zeitraum 2017-2020.

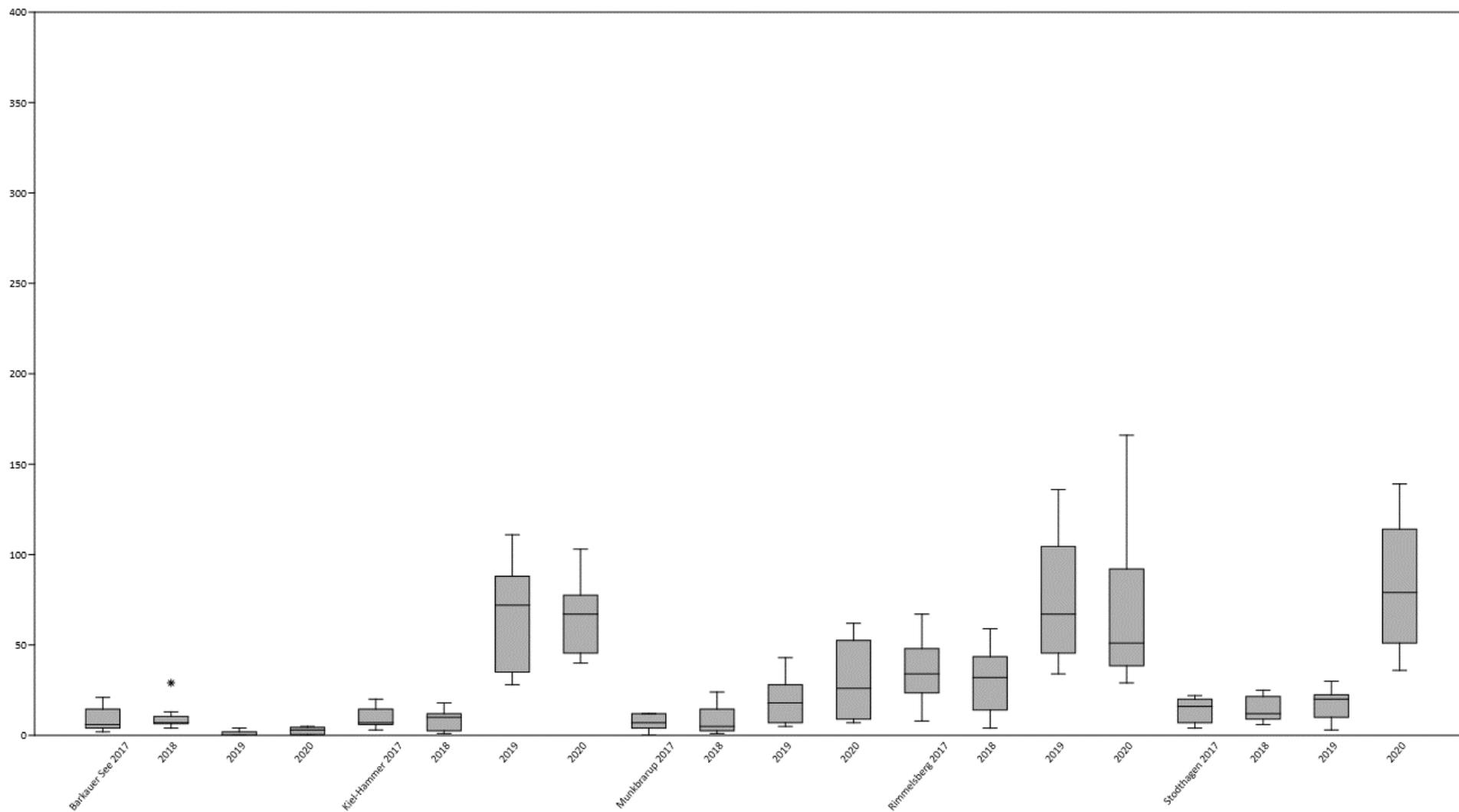


Abbildung 12: Gesamtanzahl der JKK-Pflanzen (alle Entwicklungsstadien) pro Quadratmeter (n = 9) für die fünf Flächen mit einmaligem Aussatz von 500 *Tyria*-Raupen, Zeitraum 2017-2020.

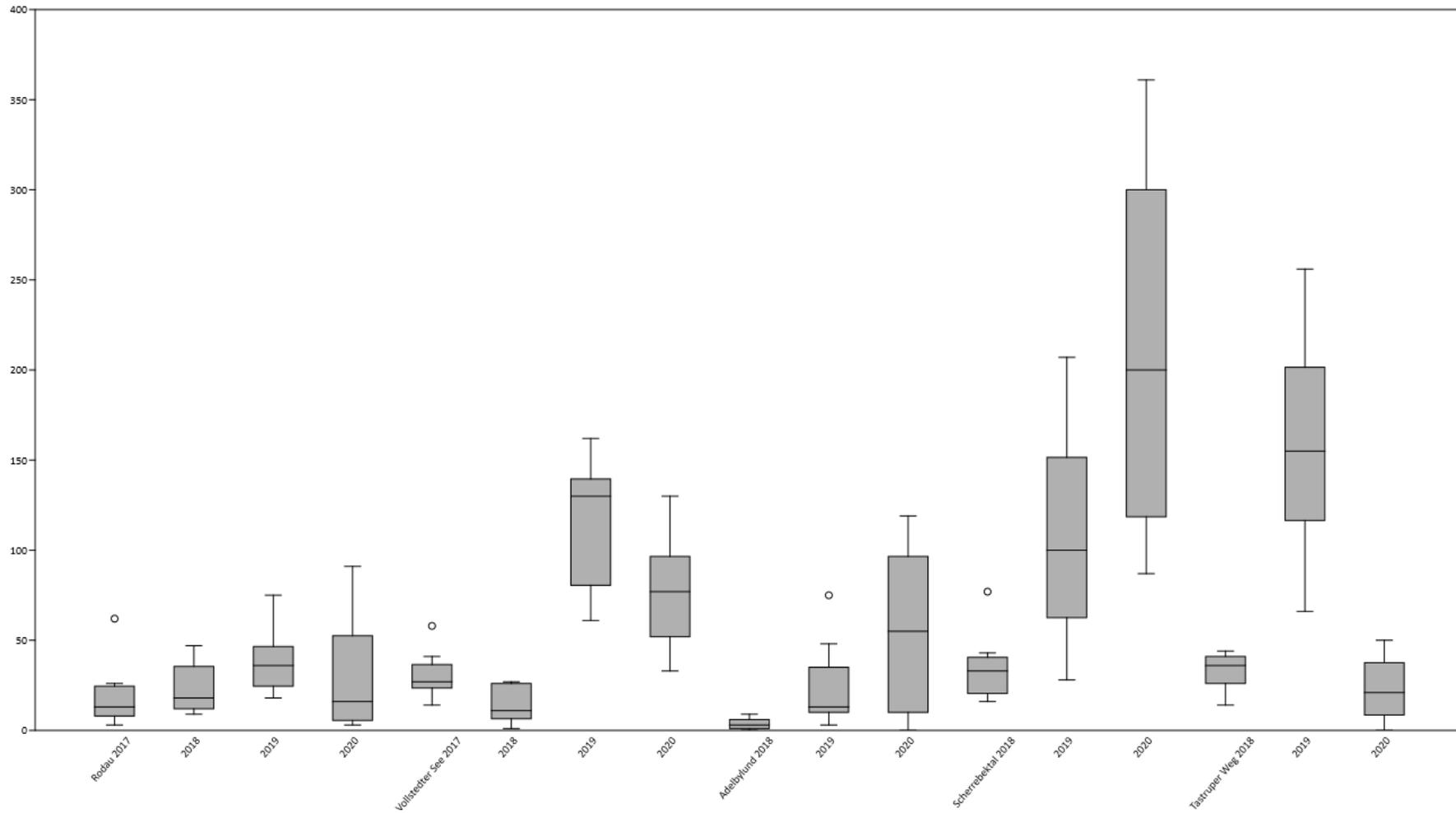


Abbildung 13: Gesamtanzahl der JKK-Pflanzen (alle Entwicklungsstadien) pro Quadratmeter ($n = 9$) für die fünf Flächen mit jährlichem Aussatz von 50 *Tyria*-Raupen, Zeitraum 2017-2020.

2.5. Bestimmung der Schlupf- und Parasitierungsraten von *Tyria jacobaeae*

Im Sommer 2018 wurden auf den Flächen Hammer, Vollstedt, Hasenkrug, Sarzbüttel, Munkbrarup, Arpsdorf, Rimmelsberg, Itzehoe, Barkauer See, Lottorf und Rodau sowie auf dem Parkplatz in der Olshausenstraße 75 jeweils 30 *Tyria*-Raupen des 4. oder 5. Larvalstadiums eingesammelt. Dabei wurde darauf geachtet, nicht mehr als fünf Tiere von derselben Pflanze zu sammeln. Die Tiere wurden anschließend bis zur Verpuppung nach Herkunftsflächen getrennt in Aerarien gehalten. Erfolgreiche Verpuppung, gestörte Verpuppung und gegebenenfalls ein Befall der Raupen mit Parasitoiden wurden protokolliert. Von den anfänglich 360 Raupen verpuppten sich schließlich 158 Tiere erfolgreich. In Bezug auf Parasitoide wurden ausschließlich Brackwespen der auf Raupen von *Tyria jacobaeae* spezialisierten Art *Apanteles popularis* Hal. (syn. *Cotesia popularis* L.) als Parasitoide in den Raupen gefunden (Abbildung 14). Bis zu 15, meist jedoch fünf bis sechs Larven dieser Brackwespenart können sich in einer *Tyria*- Raupe entwickeln und verlassen ihren Wirt während seines fünften Larvalstadiums (Cameron, 1935; Dempster, 1982). Obwohl in den Vorjahren gelegentlich auch Schlupfwespen der Art *Virgichneumon maculicauda* bei den auf dem Universitätsgelände gehälterten Raupen gesichtet wurden, wurden während des Versuches keine Larven dieser Art angetroffen.

Die Anzahl gefundener *Apanteles*-Kokons pro 30 *Tyria*-Raupen ist in **Abbildung 15** dargestellt und reichte von zwei (Sarzbüttel) bis 39 (Vollstedter See). Diese Daten sind als Momentaufnahme zu verstehen, da die Anzahl von *A. popularis* zwischen einzelnen Jahren stark schwanken kann (Cameron, 1935; Soldaat 1990). Beim Betrachten der **Abbildung 15** fällt jedoch auf, dass sich aus den Raupen, welche in natürlichen Massenbeständen von *Tyria jacobaeae* gesammelt wurden, nur verhältnismäßig wenige *Apanteles*-Kokons entwickelten (Mittelwert: 4 Kokons / 30 *Tyria*-Raupen). Den höchsten Wert in dieser Gruppe erreichte die Fläche Lottorf; hier entwickelten sich aus 30 *Tyria*-Raupen acht *Apanteles*-Kokons. Da sich mehrere *Apanteles*-Larven zugleich in einer *Tyria*- Raupe entwickeln können, lässt sich annehmen, dass selbst auf dieser Fläche lediglich eine, maximal zwei der 30 *Tyria*-Raupen parasitiert waren. Die Flächen, welche zum Projektstart nicht von *Tyria jacobaeae* besiedelt waren, wiesen hingegen im Mittel 19,5 *Apanteles*-Kokons pro 30 *Tyria*-Raupen auf. Es ist wahrscheinlich, dass die Anwesenheit von Parasitoiden sich direkt auf die Populationsstärke von *T. jacobaeae* auswirkt. So kann eine starke Parasitoiden-Population die Population von *T. jacobaeae* deutlich reduzieren. Gleichzeitig kann bei einem durch anderweitige Ursachen, z.B. durch Nahrungsmangel, verursachten Einbruch der *Tyria*-Population eine höhere Parasitierungsrate auftreten, da den Parasitoiden nun weniger *Tyria*-Raupen zur Eiablage zur Verfügung stehen (Dempster, 1982).

Die 158 augenscheinlich vitalen Puppen wurden gewogen und anschließend einzeln in mit Sägespänen gefüllten und mit Gaze verschlossenen Kunststoffgefäßen aufbewahrt (**Abbildung 16**). Ab dem 3.5.2019 wurden die Puppen täglich kontrolliert und alle Schlupfereignisse protokolliert.

Insgesamt schlüpften aus den 158 Puppen lediglich 37 Tiere erfolgreich. Der erste Falter erschien verhältnismäßig spät am 28. Mai, der letzte am 22. Juni. Zwischen den erfolgreich geschlüpften und den nicht geschlüpften Puppen zeigte sich ein deutlicher, statistisch signifikanter Gewichtsunterschied (**Abbildung 17**). Puppen, die sich erfolgreich zu Faltern entwickelten, wogen im Durchschnitt 137,17 mg, ungeschlüpfte Puppen hingegen nur 79,36 mg. Alle geschlüpften Falter wiesen ein Puppengewicht von über 100 mg auf. Bereits Dempster (1971) und Rose (1978) wiesen in diesem Zusammenhang auf die Wichtigkeit des Wassergehaltes hin. So können die Puppen im Laufe der Zeit Wasser abgeben und auch wieder aufnehmen; sowohl Austrocknung als auch übermäßige Umgebungsfeuchte führten jedoch zu verringerten Schlupfraten. Es ist wahrscheinlich, dass die heiße und trockene Witterung im Versuchsjahr 2018 zu einer vermehrten Austrocknung der Puppen führte und somit den Schlupferfolg reduzierte. Das im durchgeführten Versuch ermittelte Gewicht von 100 mg scheint dabei einen Schwellenwert darzustellen, bei dem genügend Wasser und Nährstoffe für eine erfolgreiche Larvalentwicklung in der Puppe enthalten sind.

Darüber hinaus wurden ein Teil der ungeschlüpften Puppen (47 Stück) seziiert. Von diesen zeigten 23 ein unauffälliges Inneres, so dass hier von Überliegern ausgegangen wurde, welche im nächsten Jahr möglicherweise noch zum Schlupf gekommen wären. Weitere 20 wiesen eine trockene innere Struktur auf. Hier kann von Austrocknung und infolge dessen Absterben der Puppen ausgegangen werden. Vier Puppen zeigten offensichtliches Wachstum von Schimmelpilzen; es bleibt jedoch unklar, ob dies Ursache des Absterbens war oder die Pilze bereits abgestorbene Puppen besiedelten (vgl. Dempster, 1982).



Abbildung 14: Der Blutbär wird unter anderem von Schlupf- und Brackwespen parasitiert. Links: Aus einer Blutbär-Raupe schlüpfende Brackwespen-Larve der Gattung *Apanteles*. Rechts: Die Larven fallen zu Boden und verpuppen sich in einem gespinnstartigen Kokon. In einer Blutbär-Raupe können mehrere Brackwespen-Larven heranwachsen. Fotos: Kathrin Schwarz.

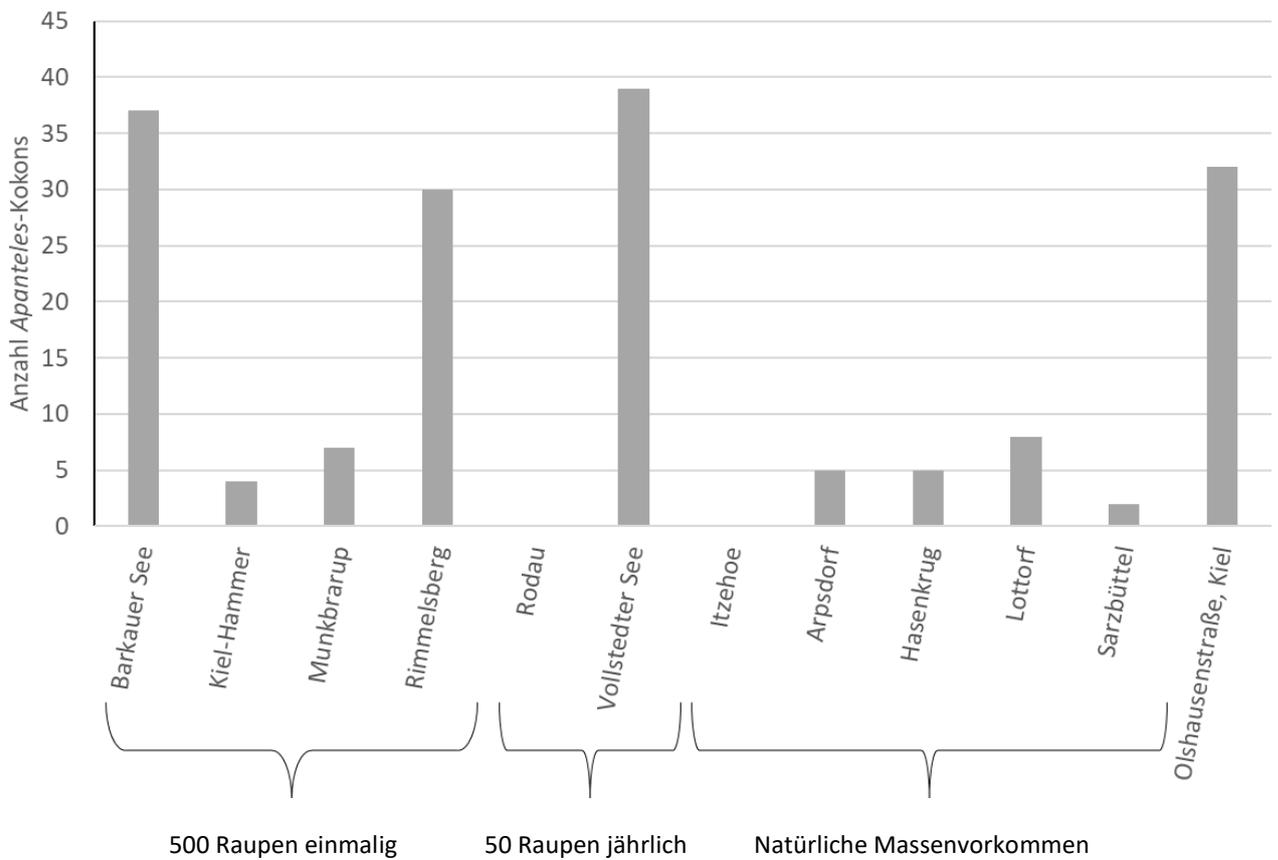


Abbildung 15: Gesamtanzahl der im Versuch gefundenen *Apanteles*-Kokons, bezogen auf je 30 Raupen von *Tyria jacobaeae*.

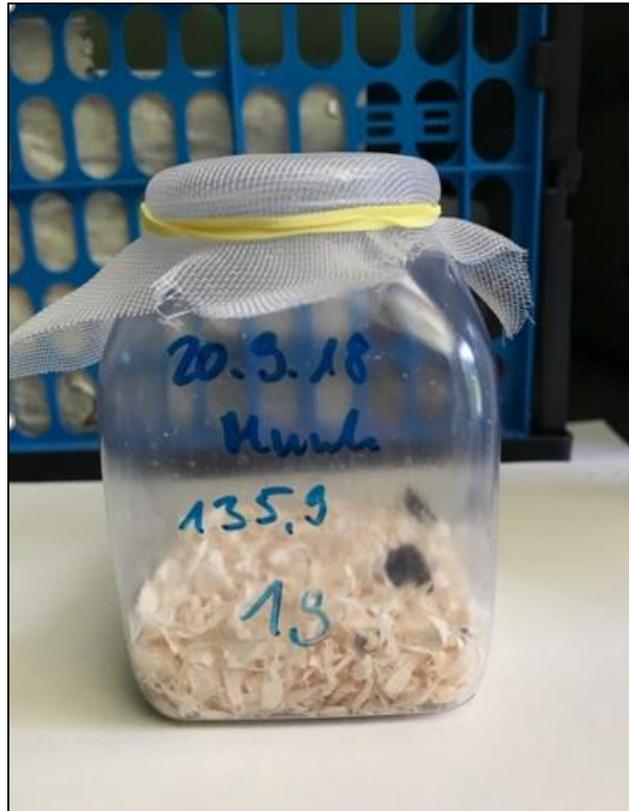


Abbildung 16: *Tyria*-Puppe während des Versuches zur Bestimmung der Schlupfrate. Foto: F. Castillo.

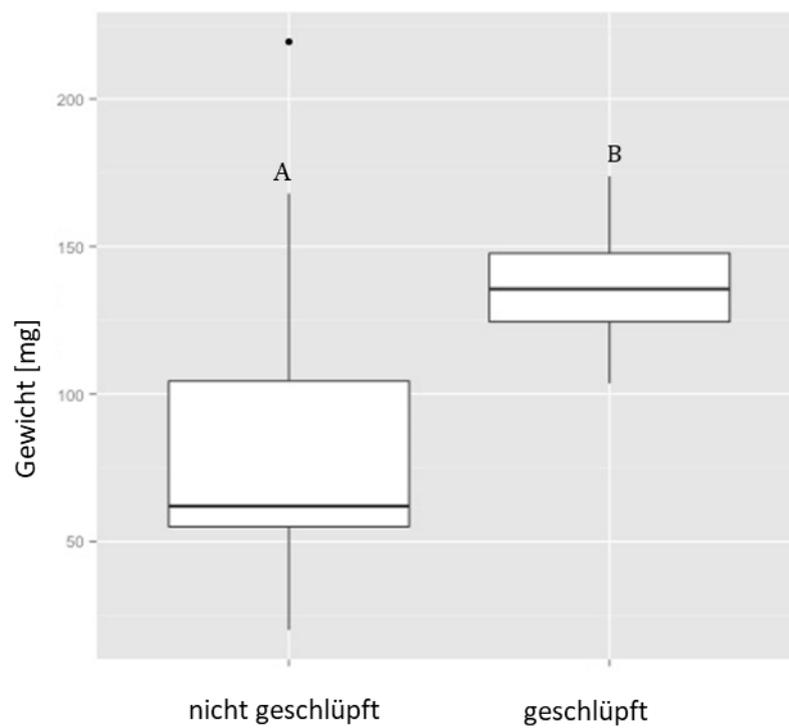


Abbildung 17: Startgewicht von *Tyria jacobaeae*-Puppen (gewogen 20.-22.09.2018). Die Puppengewichte von erfolgreich geschlüpften und nicht geschlüpften Tieren unterscheiden sich höchstsignifikant (Welch's t-test, $t(132, 06) = 13,24$, $p < 2.2e-16$).

2.6. Vermehrung und Erfassung von *Longitarsus jacobaeae*

Im Gegensatz zu *Tyria jacobaeae* stellte sich die Vermehrung von *Longitarsus jacobaeae* als schwierig dar. In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben über das Fortpflanzungsverhalten der Art, was auf den Umstand zurückzuführen ist, dass je nach geographischer Herkunft verschiedene Biotypen von *L. jacobaeae* existieren, welche unterschiedlichen Fortpflanzungszyklen folgen (Frick, 1971; Frick & Johnson, 1972; Frick & Johnson, 1973). Auch wird von geringer Fertilität der Käfer sowie von Schwierigkeiten bei der Aufzucht der Larven aufgrund spezieller Nahrungs- und Temperaturerfordernisse berichtet (Bos et al., 2014).

Im Jahr 2016 wurden im Projekt erste Versuche unternommen, *L. jacobaeae* in Gefangenschaft zu vermehren. Diese blieben jedoch erfolglos. Mitte Mai 2017 wurden daher erneut Jakobs-Greiskraut-Rosetten aus einem bekannten *Longitarsus*-Vorkommen bei Kiel-Hammer in ein eigens zu diesem Zweck errichtetes Gaze-Gewächshaus verbracht. Ende Juni waren die ersten adulten Käfer anzutreffen, welche sich aus im Wurzelbereich vorhandenen Larven entwickelten. Da der Fortpflanzungserfolg im Gewächshaus nicht zu beobachten war, wurden ab Anfang August 2017 einzelne Tiere unter Laborbedingungen in Plastikcontainern, ausgelegt mit feuchtem Papier und Blattstücken von Jakobs-Greiskraut, gehältert. Die Durchführung erfolgte entsprechend Bos et al. (2014). Tatsächlich begannen die Tiere nach kurzer Zeit mit der Eiablage. Die so erhaltenen Eier wurden zur Aufbewahrung in Petrischalen transferiert und später zur weiteren Entwicklung auf Jakobs-Greiskraut-Pflanzen ausgebracht. Diese Methode wurde zunächst in kleinem Maßstab getestet; hierbei wurde eine Schlupfrate von 73 % erreicht. Anschließend wurden im Mai 2018 im Gewächshaus etwa 20 Töpfe Jakobs-Greiskraut mit Flohkäfererier bestückt, die sich trotz der heißen, trockenen Wetterbedingungen ebenfalls erfolgreich entwickelten. Jedoch stellt sich dieses Vorgehen als recht arbeitsintensiv dar und erfordert einen hohen Personaleinsatz beim Umsetzen der adulten Käfer in den Plastikcontainern und beim Übertragen der Eier.

Im Laufe der ersten Feldarbeitsphase im Sommer 2017 hatte sich zudem gezeigt, dass *L. jacobaeae* sowie weitere *Longitarsus*-Arten bereits auf allen Studienflächen mit Jakobs-Greiskraut-Massenvorkommen anzutreffen war. Die jeweiligen Jakobs-Greiskraut-Pflanzen erschienen dadurch in der Regel nicht beeinträchtigt. Es war daher fraglich, ob die Art in Schleswig-Holstein überhaupt zur biologischen Kontrolle von Jakobs-Greiskraut geeignet ist. Daher wurde das Versuchsdesign von AP 1 entsprechend angepasst und zunächst nur Larven von *Tyria jacobaeae* ausgebracht. Um die Bestände von *L. jacobaeae* auf den Studienflächen genauer zu erfassen, wurden von Anfang Juni bis Anfang September 2018 auf 13 Studienflächen je acht Bodenfallen gestellt. Die so gefangenen Individuen wurden im Rahmen einer Bachelor-Arbeit bestimmt und ausgezählt. Da die morphologische Bestimmung von Arten der Gattung *Longitarsus* schwierig und teils nur durch Genitalpräparation sicher durchzuführen ist, wurde zusätzlich bei einigen Individuen die Artbestimmung mittels DNA-

Barcoding bestätigt, um Fehlbestimmungen auszuschließen. Hierzu wurde das Gen der Untereinheit I der Cytochrom c Oxidase (COI) verwendet. Die entsprechenden Laborarbeiten wurden in der Arbeitsgruppe Biochemische Ökologie und Molekulare Evolution (Prof. Dr. Dietrich Ober, CAU Kiel) durchgeführt.

Auf den meisten Studienflächen wurden ab Ende Juni Imagines beobachtet, im August wurde das Maximum der Individuenzahlen erreicht (Abbildung 18). Ab Ende August / Anfang September gingen die Individuenzahlen auf allen Flächen deutlich zurück, so dass die Erfassung abgebrochen wurde. Auf einzelnen Flächen (Vollstedter See, Rimmelsberg) wurden im August bis deutlich über 30 Käfer pro Falle gefangen. Beide Flächen zeichnen sich durch sandige, gut drainierte Böden aus, was sich anscheinend positiv auf die Larvalentwicklung des Flohkäfers auswirkte. Aufgrund dieser Beobachtung erschien es vielversprechend, den Einfluss verschiedener Umweltvariablen auf die Abundanzen von *L. jacobaeae* zu untersuchen. Auf die ursprünglich auch für diesen Gegenspieler angedachte Landschaftsanalyse wurde daher verzichtet. Stattdessen wurde mithilfe eines allgemeinen Regressionsmodelles (GRM; Sokal & Rohlf 1995) der Einfluss von Niederschlag, Temperatur, Bodentyp und Nahrungsverfügbarkeit auf die Abundanz des Flohkäfers untersucht. Hierfür wurden Daten der jeweils nächsten DWD-Wetterstation (DWD Climate Data Center 2020) sowie Bodendaten aus der Datenbank des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR 2020a; LLUR 2020) herangezogen. Aufgrund hoher Interkorrelationen in den verwendeten erklärenden Variablen (z.B. zwischen geographischer Lage und Niederschlag), wurde zunächst eine Faktorenanalyse (FA, Standard Varimax Rotation) durchgeführt (Stevens 2002). Durch die Faktoranalyse ergaben sich vier unabhängige Faktoren-Achsen (

Tabelle 3), welche im Anschluss in das GRM einfließen. Um die für das Modell notwendige Normalverteilung zu erreichen, wurden diese Variablen zusätzlich log₁₀-transformiert. Die Ergebnisse der Modellierung sind in

Tabelle 4 dargestellt.

Es zeigte sich, dass von den untersuchten Variablen die Temperatursummen, der Niederschlag sowie die Verfügbarkeit von Nahrungspflanzen (Rosetten und generative Jakobs-Greiskraut-Pflanzen) deutlich positiv mit den Abundanzen des Flohkäfers korrelierten. Entgegen unserer Erwartungen zeigte das Model außerdem eine negative Korrelation zwischen den Flohkäfer-Abundanzen und der Anzahl an Keimlingen des Jakobs-Greiskrautes. Eine mögliche Erklärung für diesen Zusammenhang könnten Störereignisse des Bodens darstellen, die zum einen die Etablierung des Jakobs-Greiskrautes als Offenbodenkeimer begünstigen (Cameron, 1935) sowie andererseits den Larven des Flohkäfers auf mechanische Art schaden könnten (Strnad & Bergman, 1987; Potter et al., 2004; Simelane, 2007). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden in einem englischsprachigen Fachartikel (peer-review) aufbereitet und zur Publikation eingereicht (Schwarz et al., in revision).

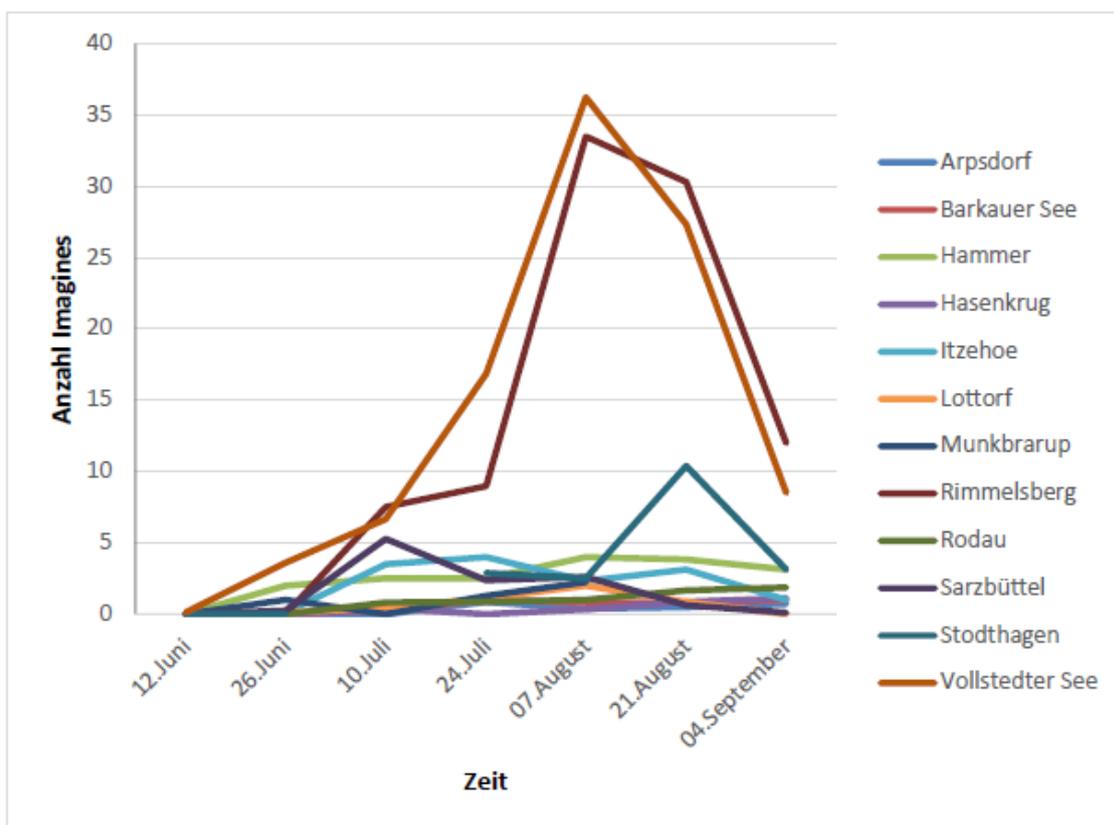


Abbildung 18: Darstellung der mittleren Individuenzahlen von *Longitarsus jacobaeae* pro Bodenfalle und Leerungstermin.

Tabelle 3: Faktorladungen und Eigenwerte der Faktoren-Analyse.

	Faktor 1 <i>Jacobaea vulgaris</i> Rosetten und Generative	Faktor 2 Frost & Temperatur- amplitude	Faktor 3 Niederschlag & Temperatursummen	Faktor 4 <i>Jacobaea vulgaris</i> Keimlinge
Rosetten 2017	0.900	0.300	-0.026	0.126
Rosetten 2018	0.918	-0.221	-0.001	0.178
Generative 2017	0.942	0.141	-0.028	-0.038
Generative 2018	0.800	-0.342	-0.009	-0.307
Temperature-Amplitude vorherige 28 Tage	-0.040	0.870	0.025	0.294
Tage seit letztem Frost	-0.017	-0.956	-0.015	-0.149
Niederschlag	-0.060	-0.078	0.980	0.030
Temperatursumme (5°C)*	0.006	0.056	0.995	0.003
Temperatursumme (10°C)*	0.002	0.064	0.992	0.010
Keimlinge 2017	0.087	0.451	0.012	0.803
Keimlinge 2018	-0.022	0.128	0.025	0.937
Eigenwert	3.193	2.179	2.929	1.776
Erklärte Varianz [%]	29.03	19.81	26.63	16.15

*nach Aceituno, 1979

Tabelle 4: Ergebnisse des GRM für die Effekte der Faktoren 1 bis 4 sowie des Bodentyps auf die Abundanz von *Longitarsus jacobaeae*. Nur Faktoren, die signifikant zum Modell beitrugen, sind dargestellt; FA 2 (Frost and Temperatur-Amplitude) sowie der Bodentyp waren im Modell nicht signifikant.

Effekt	FG	Parameter	beta	MS	p	EV%
Intercept	1	0.597		27.400	≤ 0.0001	
FA1	1	0.189	0.383	2.709	≤ 0.0001	14.70
FA3	1	0.228	0.463	3.945	≤ 0.0001	21.41
FA4	1	-0.144	-0.292	1.576	0.0012	8.55
Error	73			0.140		

FG = Freiheitsgrade, beta = standardisierter Regressions-Koeffizient, MS = mittlere Quadratsumme, p = p-Wert, EV% = erklärte Varianz

3. AP 2: Synergistische Effekte mechanischer Maßnahmen und herbivorer Antagonisten

Untersuchungen im Jahr 2018

In direkter Ergänzung zum Aussetzen herbivorer Antagonisten des Jakobs-Greiskrautes sollte ein weiterer Anwendungsversuch im Feld der Ermittlung des Potenzials der natürlichen herbivoren Antagonisten in Kombination mit mechanischen Regulierungsmaßnahmen für die Zurückdrängung des Jakobs-Greiskrautes dienen. Hierfür wurden zwei Mahdvarianten ausgewählt: Zum einen eine Variante mit zwei Mahdterminen zur Voll- sowie zur Nachblüte des Jakobs-Greiskrautes (Mahd ca. 21.06. und 25.08.), zum anderen eine Variante mit einem Mahdtermin nach der Blüte, jedoch vor der Samenreife des Jakobs-Greiskrautes (Mahd ca. 25.07.). Diese beiden Varianten wurden ausgewählt, da sie bereits beim Management von Jakobs-Greiskraut-Beständen angewendet werden und darüber hinaus die oben genannten Mahdzeitpunkte die geringste Störung der Individual- und Populationsentwicklung der ausgebrachten *Tyria*-Raupen und somit die größten synergistischen Effekte erwarten ließen.

Für diesen Versuch wurden im Frühjahr 2018 auf der Versuchsfläche in Kiel-Hammer 30 Gazekäfige mit ca. 1 m x 1 m im Grundmaße installiert, um dort vorkommende Falter beziehungsweise Raupen von *Tyria jacobaeae* auszuschließen. In den Käfigen wurden sechs verschiedene Kombinationen der Mahd (Nachbarvariante, Imkervariante oder keine Mahd) und des Einsatzes von *T. jacobaeae* (5 Raupen pro Käfig oder keine Raupen) getestet. Die Daten werden zurzeit ausgewertet. Aufgrund der außergewöhnlichen Hitze und Trockenheit nahm der JKK-Bestand jedoch in allen Käfigen so stark ab, dass die Effekte von Wetter und experimenteller Behandlung schwer zu unterscheiden sind. Zudem waren die hier ausgesetzten Tiere möglicherweise ebenfalls vom „Raupensterben“ betroffen (siehe 0), da die Zuchtpopulation kurze Zeit nach dem Aussatz zusammenbrach. Auch scheint die beengte Käfigsituation die realen Bedingungen einer Mähwiese nur begrenzt widerzuspiegeln. So können die Raupen nur eingeschränkt auf benachbarte Pflanzen ausweichen, auch erscheint die simulierte Mahd mittels Schere in Hinblick auf die mechanische Belastung nur bedingt vergleichbar zur Mahd mittels Maschinen. Da die Fläche in Kiel-Hammer, ebenso wie die übrigen Studienflächen, durch Rinder beweidet wird, war zudem eine Sicherung der Käfige mittels Elektrozaun notwendig, was eine regelmäßige Wartung des Zaunes und zweiwöchentlichen Austausch der stromliefernden Batterie erforderte.

Untersuchungen im Jahr 2019

Im Sommer 2019 wurde daher die Fragestellung in zwei zusätzlichen Experimenten weiter untersucht. Zum einen wurden in einem Käfigversuch eine simulierte Mahd zu verschiedenen Zeitpunkten mit gleichzeitigen Fraß durch *T. jacobaeae* durchgeführt. Es wurden sechs Kombinationen aus verschiedenen Mahdzeitpunkten (Imkervariante mit Mahd am 21.6. und 25.08.; Nachbarvariante mit Mahd am 25.7.) und *Tyria jacobaeae* getestet. Die Daten dieses Versuches werden zurzeit noch im Rahmen einer Projektarbeit ausgewertet.

Des Weiteren wurde in einem Freilandversuch das reale Verhalten der Tiere nach Mahd untersucht. Hierzu wurden auf verschiedenen Flächen der Stiftung Naturschutz Plots von 3m x 3m eingerichtet und die Raupenzahl vor und nach Durchfahren des Mähwerks (Balkenmäher mit ca. 30cm Schnitthöhe bzw. bodennaher Mulcher) aufgenommen. Bei Störung rollen die Raupen sich zusammen und lassen sich von den Pflanzen herunter auf den Boden fallen, wo sie schwerer aufzufinden beziehungsweise zu zählen sind. Die zweite Zählung wurde daher etwa zwei Stunden nach der Mahd durchgeführt, um den Tieren die Möglichkeit zur Regeneration und zum erneuten Erklimmen der Pflanzen zu geben. In **Abbildung 19** sind die Ergebnisse der Erfassung graphisch dargestellt.

Im Versuch stellte sich der Balkenmäher als das für die Raupen von *Tyria jacobaeae* verträglichere Verfahren heraus (vgl. Möhler, 2021). Während in der Balkenmäher-Gruppe im Mittel $51,3 \pm 56,03$ Prozent der Raupen wiedergefunden wurden, waren es in der Mulcher-Gruppe lediglich $15,9 \pm 32,10$ Prozent. Der Unterschied zwischen den beiden Methoden ist statistisch signifikant (einseitiger t-Test, $t(26) = -1,75$, $p = 0,046$).

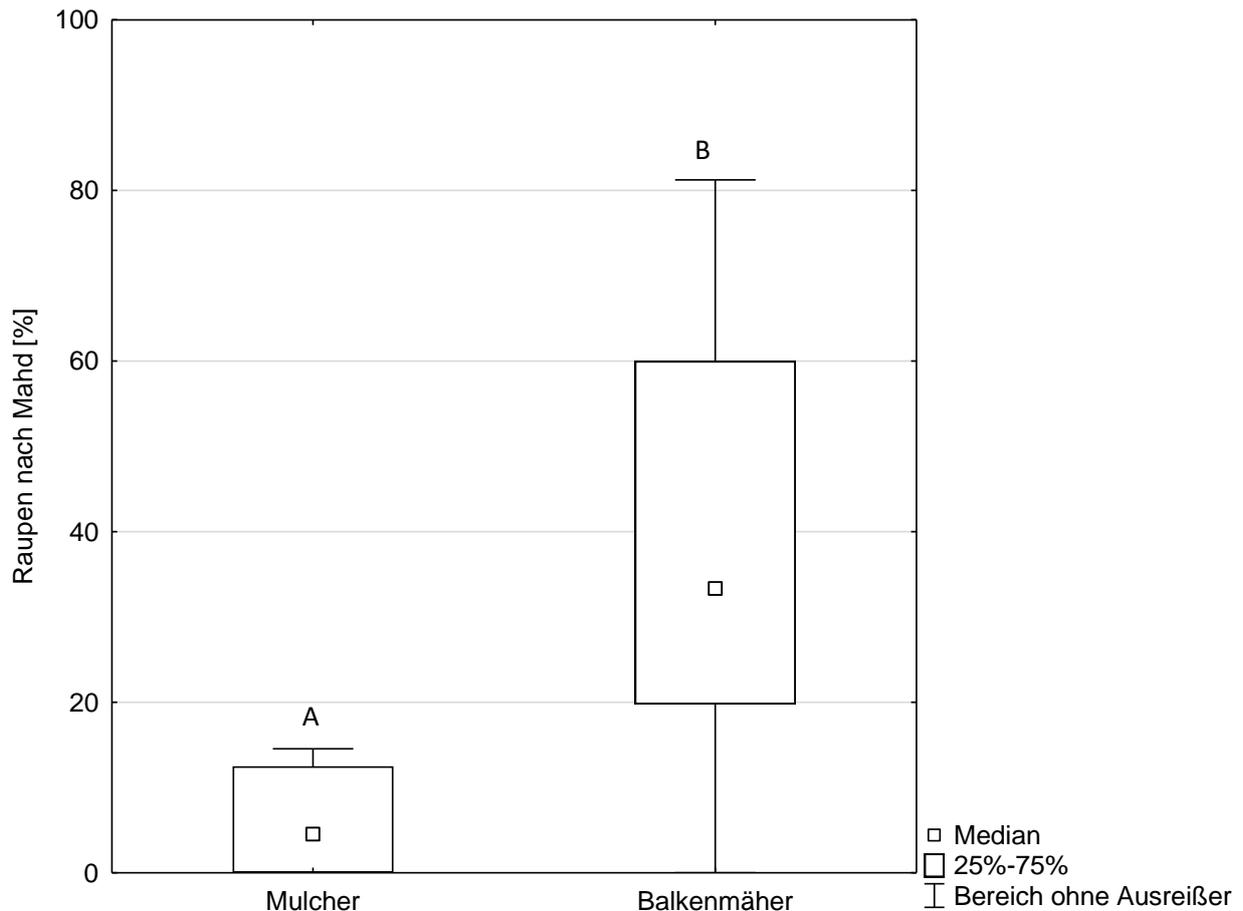


Abbildung 19: Anzahl von *Tyria*-Raupen pro Plot (3m x 3m) vor und nach der Mahd. Die beiden Methoden Mulcher und Balkenmäher unterscheiden sich statistisch signifikant in Bezug auf die Raupenanzahl nach der Mahd (einseitiger t-Test, $t(26) = -1,75$, $p = 0,046$).

4. AP 3: Potenzialerfassung weiterer Antagonisten

Im Gutachten „Erfassung phytophager Insekten an Jakobs-Kreuzkraut in Schleswig-Holstein“ (Kassebeer, 2015) wurden insgesamt 38 phytophage Insektenarten auf Jakobs-Greiskraut in Schleswig-Holstein festgestellt. Neben *Tyria jacobaeae* und *Longitarsus jacobaeae* wurden darin fünf Insektenarten als potentielle Schlüsselarten für eine Regulierung der Jakobs-Greiskraut-Bestände identifiziert. Diese sind:

- „Jakobskreuzkraut-Blattlaus“, *Aphis jacobaeae* (Homoptera: Aphidoidea)
- „Kreuzkraut-Fransenflügler“, *Haplothrips senecionis* (Thysanoptera: Phlaeothripidae)
- „Jakobskreuzkraut-Gallmücke“, *Contarinia jacobaeae* (Diptera: Cecidomyiidae)
- „Kreuzkraut-Bohrfliege“, *Sphenella marginata* (Diptera: Tephritidae)
- „Kreuzkraut-Blumenfliege“, *Botanophila seneciella* (Diptera: Anthomyiidae)

Während der Feldarbeit zu AP 1 wurde 2017 das Vorkommen dieser Arten auf den Plots (vgl. 0) miterfasst. Das Vorkommen der Arten ist in **Abbildung 20** dargestellt. Die Bohrfliege *Sphenella marginata* konnte auf keiner der Studienflächen sicher nachgewiesen werden. Aufgrund ihrer geringen Häufigkeit scheint die Art jedoch keine Bedeutung als effektiver Gegenspieler des Jakobs-Greiskrautes zu haben.

Aphis jacobaeae wurde während der Geländearbeit regelmäßig auf Jakobs-Greiskraut angetroffen. Jedoch waren auf den Flächen stets nur einzelne Pflanzen betroffen. Dieser Umstand erklärt die geringe Häufigkeit der Art in **Abbildung 20**.

Haplothrips senecionis hingegen wurde auf allen Flächen angetroffen, in der Regel waren 80-95 % der generativen Jakobs-Greiskraut-Pflanzen besetzt. Bei intensivem Befall bilden sich weißliche Gespinste und Verpilzungen insbesondere im Blütenbereich, welche die Reproduktionsfähigkeit der Pflanze vermutlich einschränken. Solch ein intensiver Befall wurde nur auf einer der Studienflächen beobachtet.

Durch *Botanophila seneciella* verursachte Blütengallen wurden auf fünf der Studienflächen angetroffen, wobei in der Regel nur einige Pflanzen betroffen waren. Auf einer der Flächen waren jedoch über 70 % der Pflanzen betroffen. Da die Blüten durch die Gallbildung stark beeinträchtigt werden, ist von einer eingeschränkten Reproduktionsfähigkeit auszugehen.

Durch *Contarinia jacobaeae* verursachte Blütengallen waren mit einer Ausnahme auf allen Flächen vorhanden, wobei bis zu 90 % aller Pflanzen betroffen waren. Da die Blüten durch die Gallbildung stark beeinträchtigt werden, ist von einer eingeschränkten Reproduktionsfähigkeit auszugehen.

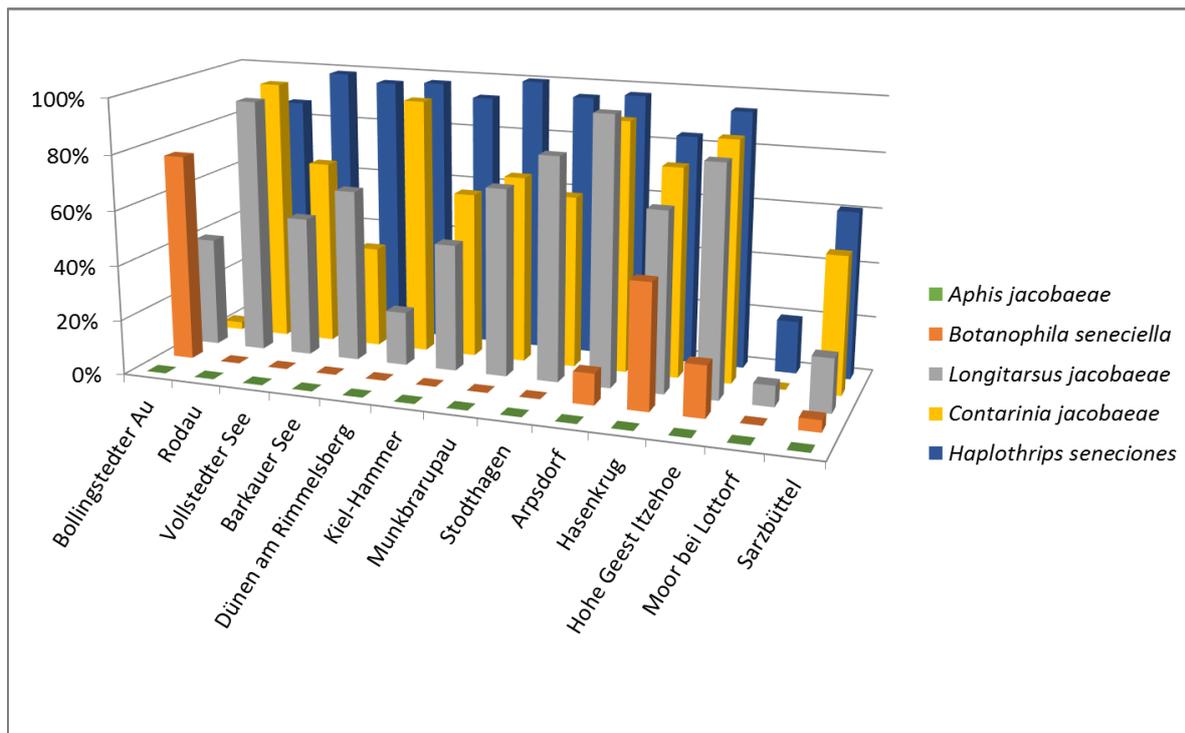


Abbildung 20: Prozentualer Anteil generativer Jakobs-Greiskraut-Pflanzen im Jahr 2017, die mit Antagonisten besiedelt waren.

4.1. Potenzialerschfassung von *Contarinia jacobaeae* und *Botanophila seneciella*

Im Sommer 2017 sowie im Sommer 2018 wurden Blütengallen von *Contarinia jacobaeae* und *Botanophila seneciella* und unter verschiedenen Bedingungen aufbewahrt: 1) einzelne Blüten auf angefeuchteter Erde als Substrat, 2) ganze Blütenstände auf angefeuchteter Erde als Substrat, 3) ganze Pflanzen umgekehrt aufgehängt (pers. Komm. Kolligs; Frick, 1969).

Insbesondere die erstgenannte Methode zeigte sich ansatzweise erfolgreich und ein Teil dieser Gallen entwickelte sich zu Puppen. Jedoch waren alle gefundenen Puppen der Blumenfliege *B. seneciella* zuzuordnen, während keine Puppen von *C. jacobaeae* gefunden werden konnten. Die so erhaltenen Puppen wurden bis zum folgenden Sommer aufbewahrt und dann in Gazekästen mit Jakobs-Greiskraut ausgebracht. Jedoch gelang es nicht, hieraus adulte Tiere von *B. seneciella* zu gewinnen. Insgesamt stellt sich die Vermehrung der Tiere als schwierig da; es scheint bisher unbekannte Faktoren zu geben, die für einen erfolgreichen Schlupf notwendig sind (vgl. Frick, 1969). Da für die Anwendung zur biologischen Kontrolle auch eine gewisse Praktikabilität bei der Vermehrung nötig ist, wird das Potenzial der beiden gallbildenden Arten zur biologischen Bekämpfung des Jakobs-Greiskrautes als eher gering eingeschätzt.

4.2. Potenzialerfassung von *Haplothrips senecionis* und *Aphis jacobaeae*

Die weitere Potenzialerfassung konzentriert sich daher auf *Haplothrips senecionis* (Abbildung 27) und *Aphis jacobaeae* (Abbildung 24 **Abbildung 25**- Abbildung 26). Hierzu wurde von Mitte Mai bis Mitte August 2018 ein Käfig-Experiment auf dem Gelände der CAU durchgeführt, in dem diese Gegenspieler in je drei verschiedenen Dichten auf Jakobs-Greiskraut getestet wurden. Für dieses Experiment wurden im Frühjahr 2018 auf der Versuchsfläche in Kiel Hammer (**Abbildung 1**) 50 Jakobs-Greiskraut-Pflanzen ausgegraben und auf das Freigelände der Universität verbracht. Die Pflanzen wurden gründlich mit Seifenlauge gespült, um bereits vorhandene Antagonisten zu entfernen und dann in ein Sand-Erde-Gemisch getopft.

Zur Bestimmung der im Freiland vorkommenden Dichten der beiden Gegenspieler wurden je sechs befallene Pflanzen im Freiland eingesammelt und alle darauf befindlichen Tiere ausgezählt. Der hierüber bestimmte Mittelwert diente als Richtwert zur Festlegung der im Experiment verwendeten Dichten. Entsprechend dieser Vorstudie wurden die Pflanzen mit 10, 20 oder 40 Individuen von *H. senecionis* beziehungsweise mit 25, 50 oder 100 Individuen von *A. jacobaeae* besetzt; die restlichen Pflanzen dienten als Kontrollgruppe.

In diesem Käfigversuch stellte sich *A. jacobaeae* als bemerkenswert effizient heraus: Die Tiere vermehrten sich schnell und die Pflanzen blieben in ihrem Wachstum deutlich hinter der Kontrollgruppe zurück (**Abbildung 22**, **Abbildung 23**). Dabei waren der Durchmesser der Pflanzen, die Blattzahl sowie die Biomasse (unterirdisch, oberirdisch, gesamt) im Vergleich zur Kontrolle signifikant reduziert (**Tabelle 6**). Bereits etwa fünf Wochen nach Einbringen der Gegenspieler waren alle mit *A. jacobaeae* besetzten Pflanzen eingegangen (**Tabelle 5**). Weiterhin wurde im Laufe des Versuches eine starke Vermehrung der Tiere beobachtet (**Abbildung 21A**, **Abbildung 24**, **Abbildung 25**), die aufgrund der Gaze nicht auf benachbarte Pflanzen ausweichen konnten. Es war daher davon auszugehen, dass bei dieser Art die zur Schädigung der Pflanzen benötigte Antagonistenanzahl überschätzt wurde und auch wenige Tiere in der Lage sind, sich kurzfristig stark zu vermehren und die Pflanzen deutlich zu schädigen.

Entgegen der auf Geländebeobachtungen basierten Erwartungen war *H. senecionis* im Versuch nicht erfolgreich und beeinträchtigte das Wachstum der Pflanzen kaum. Im Freiland sowie an in Töpfen gezogenem Jakobs-Greiskraut wurde jedoch bei intensivem Befall eine deutliche Beeinträchtigung der Pflanzen beobachtet (**Abbildung 21B**). Es war daher davon auszugehen, dass bei dieser Art die zur Schädigung der Pflanzen benötigte Antagonisten-Dichte unterschätzt wurde.

Der Versuch wurde daher 2019 im Rahmen einer weiteren Masterarbeit mit angepassten Antagonistendichten (*Haplothrips senecionis*: 40, 60 oder 100 Tiere; *Aphis jacobaeae*: 5, 10 oder 25

Tiere) wiederholt, um genauere Schwellenwerte für die Schädigung der Pflanzen zu erhalten. Zusätzlich wurde als Positiv-Kontrolle eine weitere Versuchsgruppe mit je einer *Tyria*-Raupe pro Pflanze (n = 6) eingerichtet. Auch in diesem Versuch beeinträchtigte *H. senecionis* die Pflanzen kaum. Selbst in der höchsten eingesetzten Dichte von 100 *H. senecionis* pro JKK-Pflanze zeigte sich kein signifikanter Unterschied in Bezug Höhe, Durchmesser, Blattzahl und Biomasse der Pflanzen im Vergleich zur Kontrollgruppe (**Tabelle 6**). Es ist weiterhin unklar, welche Faktoren zu der im Freiland beobachteten, intensiven Schädigung der Pflanzen durch *H. senecionis* beitragen. Im Gegensatz zu *A. jacobaeae* vermehrte sich *H. senecionis* im Käfigversuch nur wenig und nur wenige Nymphen (Abbildung 27) konnten während der Versuchsdauer beobachtet werden. Es ist anzunehmen, dass *H. senecionis* nur in einer Generation pro Jahr auftritt, was die geringe Reproduktion während der Versuchsdauer erklären würde (vgl. Kassebeer 2016). Dabei könnte das Spülen der Pflanzen vor Versuchsbeginn die Überwinterungsstadien von *H. senecionis* von den Pflanzen entfernt und sich somit negativ auf die Vermehrung der Thripspopulation auf den Pflanzen ausgewirkt haben. Bei Pflanzen im Freiland hingegen könnte möglicherweise eine höhere Reproduktion durch überwinternde Tiere auftreten.

Auch *Tyria jacobaeae* konnte in der eingesetzten Dichte von einer Raupe pro Pflanze diese nicht signifikant schädigen. Ebenso wurden in den beiden Versuchsgruppen mit fünf bzw. zehn Individuen von *A. jacobaeae* keine ausgeprägten schädigenden Effekte auf das Jakobs-Greiskraut beobachtet. Hingegen blieben die mit 25 Individuen von *A. jacobaeae* besetzten Pflanzen wie schon im Vorjahr deutlich hinter der Kontrollgruppe zurück und wiesen eine signifikant geringere Höhe, oberirdische Biomasse und Gesamtbiomasse auf (**Tabelle 6**). Die Unterschiede zwischen den drei Gruppen mit *A. jacobaeae* (5, 10 oder 25 Individuen) waren vor allem auf die unterschiedliche Vermehrung der Blattläuse in den drei Gruppen zurückzuführen. Während in den Käfigen mit 25 Individuen rasch eine exponentielle Vermehrung der Blattläuse einsetzte, war dies in den Käfigen mit fünf bzw. zehn Individuen nicht im selben Ausmaß der Fall, da hier der Verlust einzelner Tiere (z.B. aufgrund von Starkregen) sich deutlich auf die Reproduktion auswirkte. Somit stellt eine Dichte von 25 Blattläusen pro Jakobs-Greiskraut-Pflanze einen Schwellenwert dar, ab dem mit einer starken Vermehrung der Tiere und somit einer deutlichen Schädigung der Pflanze gerechnet werden kann.

Jedoch waren 2019 selbst in der Gruppe mit 25 Blattläusen die Schäden an den Pflanzen weniger deutlich ausgeprägt als im heißen und trockenen Vorjahr 2018; im Gegensatz zum Vorjahr überlebte die Mehrzahl der Versuchspflanzen das Experiment (Tabelle 5, Tabelle 6). Zwar waren sowohl 2018 als auch 2019 überdurchschnittlich warme Jahre, jedoch war es 2018 während der Versuchslaufzeit deutlich trockener und heißer als im selben Zeitraum des Jahres 2019, in dem es weniger heiß war und auch gelegentlich stärker regnete. Um diesen Unterschied zwischen den Jahren statistisch auszuwerten, wurden daher die Versuchsgruppen beider Jahre mit denselben Gegenspieler-Dichten

(*H. senecionis*: 40 Individuen / Pflanze, *A. jacobaeae*: 25 Individuen / Pflanze) genutzt, um die Effizienz der Behandlungen zwischen den zwei Jahren zu vergleichen (**Tabelle 7**). Für *H. senecionis* (40 Individuen / Pflanze) zeigten sich dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren. Hingegen unterschied sich der Effekt von *Aphis jacobaeae* auf den Durchmesser, die Blattzahl, die oberirdische Biomasse, unterirdische Biomasse sowie die Gesamtbiomasse der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen signifikant zwischen den beiden Jahren. Die Behandlung mit *A. jacobaeae* war dabei im heißen und trockenen Jahr 2018 deutlich effizienter (**Tabelle 7**). Einerseits stellen ausgeprägte Hitze und Trockenheit unmittelbare Stressoren für die Jakobs-Greiskraut-Pflanzen dar und können so zu einem reduzierten Pflanzenwachstum führen. Gleichzeitig führen wärmere Bedingungen zu einer erhöhten Reproduktionsrate und somit einer stärker ansteigenden Dichte der Blattläuse (Wyatt & Brown, 1977). Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass sich durch die mit Gaze bespannten Käfige ein verändertes Mikroklima in den Käfigen ergibt. Diese heizen sich im Vergleich zur Umgebung stärker auf, da durch die Gaze weniger Luftaustausch mit der Umgebung stattfinden kann. Auch die Feuchtebedingungen in den Käfigen können von der Umgebung abweichen. Bei geringen Niederschlagsmengen gelangt nur sehr wenig Wasser durch die Gaze. Umgekehrt gelangt bei Starkregen, wie er im Jahr 2019 während des Experiments vereinzelt auftrat, mehr Wasser in die Käfige und hält sich dort länger als in der Umgebung, da die Verdunstung durch die Gaze beschränkt ist. Für die JKK-Pflanzen ergibt sich somit eine Kombination aus dem direkten Stress durch das heiße, trockene Wetter einerseits und dem indirekt dadurch verursachten Stress durch den starken Zuwachs der Blattlaus-Population, was in Summe und insbesondere im Dürre-Jahr 2018 zum Absterben der Pflanzen und somit dem ausgesprochen guten Erfolg der Behandlung führte.

Weshalb jedoch solch starke Schädigungen durch *A. jacobaeae*, wie sie im Käfigversuch auftraten, im Freiland bisher nicht beobachtet werden konnten, konnte nicht abschließend geklärt werden. Ein möglicher Grund könnte das oben beschriebene, im Vergleich zur Umgebung veränderte Temperaturregime und die starke Vermehrung der Blattläuse in den Käfigen sein. Insbesondere konnten die Tiere im Käfigversuch ihre Pflanze nicht verlassen, wie dies im Freiland geschehen würde. Darüber hinaus sind durch die Käfige sowohl die Fraßfeinde der Blattläuse als auch ihre Symbionten wie *Lasius niger* (vgl. Vrieling et al., 1991a) ausgeschlossen. Die Klärung dieser komplexen Zusammenhänge würde jedoch weitere Untersuchungen unter Freilandbedingungen erfordern und kann im Käfigversuch nur begrenzt simuliert werden.

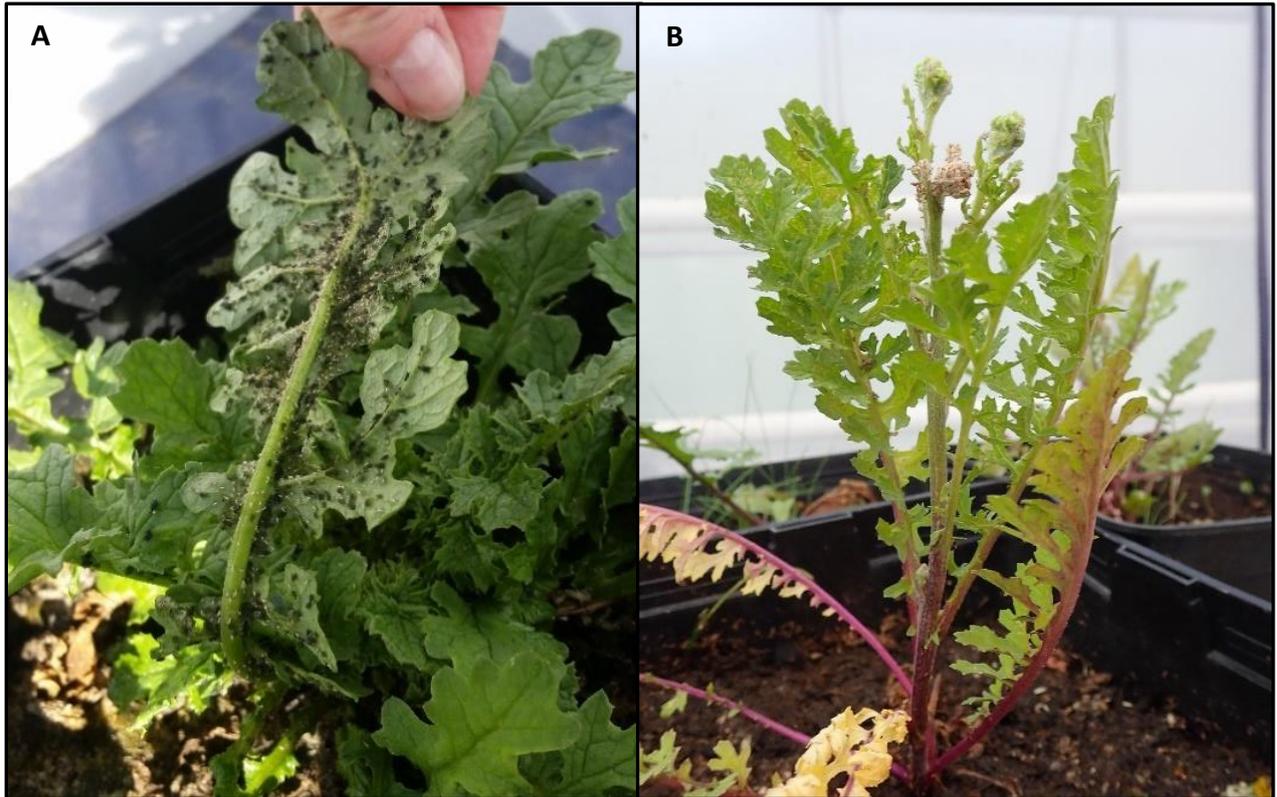


Abbildung 21: (A) Kolonie von *Aphis jacobaeae* an Jakobs-Greiskraut im Laufe des Versuches; (B) Jakobs-Greiskraut-Pflanze mit durch *Haplothrips senecionis* geschädigtem Blütenstand. Solch starke Schädigungen traten im Versuch nicht auf, konnten aber im Freiland beobachtet werden. Fotos: H.Beye / K.Schwarz.

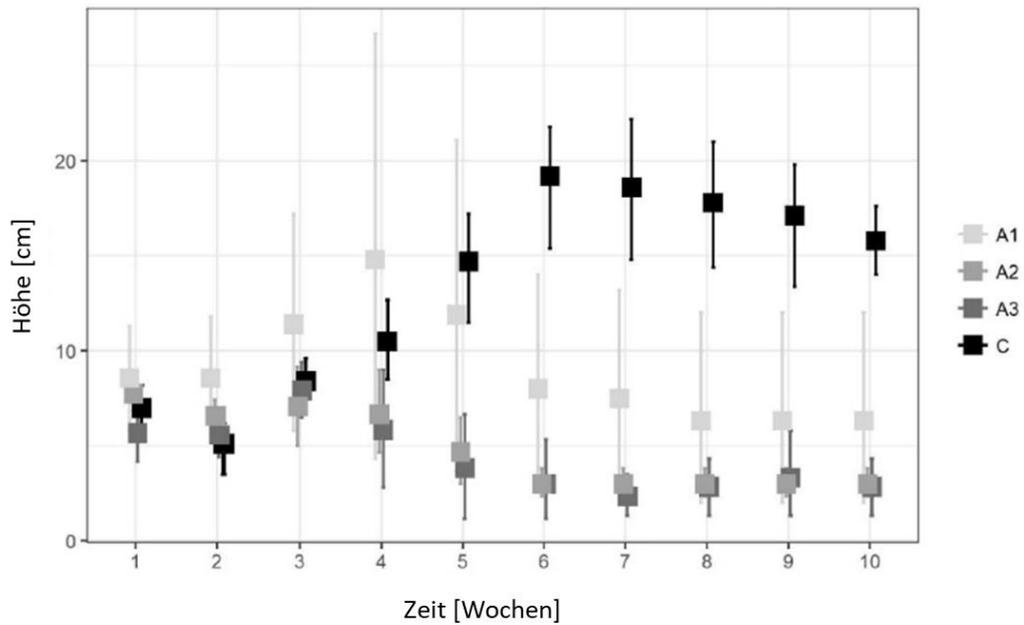


Abbildung 22: Mittlere Höhe der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen nach Besatz mit *Aphis jacobaeae* in verschiedenen Dichten; Jahr 2018. A1: 25 Blattläuse pro Pflanze; A2: 50 Blattläuse pro Pflanze; A3: 100 Blattläuse pro Pflanze; C: Kontrolle, keine Blattläuse. Fehlerbalken visualisieren 95%-Konfidenzintervall.

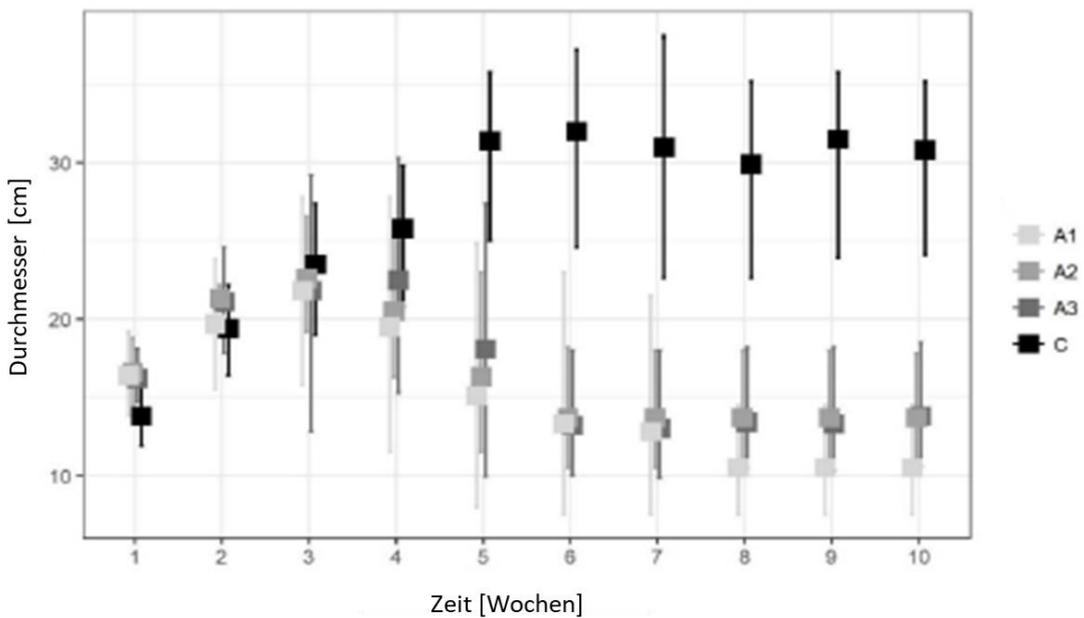


Abbildung 23: Mittlerer Durchmesser der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen nach Besatz mit *Aphis jacobaeae* in verschiedenen Dichten; Jahr 2018. A1: 25 Blattläuse pro Pflanze; A2: 50 Blattläuse pro Pflanze; A3: 100 Blattläuse pro Pflanze; C: Kontrolle, keine Blattläuse. Fehlerbalken visualisieren 95%-Konfidenzintervall.

Tabelle 5: Entwicklungsstadien und Überleben der Jakobs-Greiskraut-Pflanzen zu Versuchsende für ausgewählte Versuchsgruppen in den Jahren 2018 und 2019.

	Kontrolle		<i>Haplothrips senecionis</i> , 40 Individuen / Pflanze		<i>Aphis jacobaeae</i> , 25 Individuen / Pflanze	
	Entwicklungs- stadium	Überleben	Entwicklungs- stadium	Überleben	Entwicklungs- stadium	Überleben
2018	Rosette	ja	Rosette	ja	Rosette	Nein
	Rosette	ja	Generative	ja	Rosette	Nein
	Generative	ja	Generative	ja	Rosette	Nein
	Rosette	ja	Generative	ja	Rosette	Nein
	Rosette	ja	Rosette	ja	Rosette	Nein
	Rosette	ja	Generative	ja	Rosette	Nein
2019	Entwicklungs- stadium	Überleben	Entwicklungs- stadium	Überleben	Entwicklungs- stadium	Überleben
	Rosette	ja	Generative	ja	Rosette	Ja
	Generative	ja	Rosette	ja	Rosette	Ja
	Generative	ja	Generative	ja	Generative	Nein
	Generative	ja	Generative	ja	Rosette	Ja
	Generative	ja	Rosette	ja	Rosette	Ja
	Rosette	ja	Rosette	ja	Rosette	Ja

Tabelle 6: deskriptive Statistik und t-Statistik (zweiseitig) für den Vergleich ausgewählter Versuchsgruppen gegen die Kontrollgruppe des gleichen Jahres.

	Kontrolle		<i>Aphis jacobaeae</i> 25 Individuen (n = 6)				<i>Haplothrips senecionis</i> 40 Individuen (n = 6)				<i>Haplothrips senecionis</i> 100 Individuen (n = 6)				<i>Tyria jacobaea</i> eine Raupe (n = 6)				
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler	t	p	Mittelwert	Standardfehler	t	p	Mittelwert	Standardfehler	t	p	Mittelwert	Standardfehler	t	p	
2018	Höhe [cm]	24,00	20,20	6,33	6,89	2,03	0,070	24,75	16,77	0,07	0,946								
	Durchmesser [cm]	28,30	9,13	10,50	4,97	4,20	0,002	33,17	8,29	0,96	0,359								
	Blattanzahl	58,80	20,87	9,50	5,24	5,62	<0,001	49,50	12,86	0,93	0,373								
	oberirdische Biomasse [g]	14,20	7,12	2,32	2,76	3,81	0,003	11,47	5,05	0,76	0,463								
	unterirdische Biomasse [g]	29,90	24,04	0,21	0,18	3,02	0,013	32,23	36,60	0,13	0,898								
	Gesamtbiomasse [g]	45,10	27,10	2,53	2,93	3,83	0,003	45,65	37,12	0,03	0,978								
2019	Höhe [cm]	49,83	29,62	8,50	5,39	3,36	0,007	42,75	30,78	0,41	0,693	38,08	24,75	0,75	0,473	31,58	32,65	1,01	0,334
	Durchmesser [cm]	32,33	9,56	28,75	18,07	0,43	0,677	34,50	12,00	0,35	0,737	33,75	10,51	0,24	0,812	28,25	11,64	0,66	0,522
	Blattanzahl	21,83	13,39	13,00	7,92	1,39	0,195	20,83	14,72	0,12	0,904	30,83	21,68	0,87	0,407	18,83	15,05	0,37	0,723
	oberirdische Biomasse [g]	22,69	7,43	10,33	3,12	3,76	0,004	20,61	8,86	0,44	0,669	24,78	17,40	0,27	0,792	16,20	7,90	1,47	0,173
	unterirdische Biomasse [g]	13,23	4,63	9,08	7,84	1,12	0,291	10,14	9,99	0,69	0,507	15,81	13,47	0,44	0,667	12,14	7,54	0,30	0,769
	Gesamtbiomasse [g]	38,94	10,64	19,43	9,34	3,38	0,007	32,90	14,88	0,81	0,438	42,11	21,49	0,32	0,753	29,64	13,96	1,30	0,223

Tabelle 7: statistischer Vergleich zwischen den beiden Jahren 2018 und 2019 für die Versuchsgruppen mit überschneidender Antagonistendichte. Zur besseren Vergleichbarkeit der Messwerte wurden diese zunächst durch die Mittelwerte der Kontrollgruppe des gleichen Jahres geteilt und anschließend ln-transformiert. Für Messwerte gleich 0 wurde vor dem Logarithmieren 1 addiert. Anschließend wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben gerechnet.

		2018			2019			t-Statistik: 2018 vs 2019	
		Mittelwert	Varianz	Standardfehler	Mittelwert	Varianz	Standardfehler	t	p
<i>Aphis jacobaeae</i>, 25 Individuen (n = 6)*	Höhe [cm]	1,70	0,01	0,11	2,52	1,61	1,27	1,59	0,144
	Durchmesser [cm]	1,75	0,00	0,04	3,84	3,71	1,93	2,66	0,024
	Blattanzahl	1,69	0,00	0,05	3,54	3,08	1,76	2,58	0,027
	oberirdische Biomasse [g]	1,66	0,02	0,13	3,80	0,12	0,35	14,12	<0,001
	unterirdische Biomasse [g]	1,62	0,05	0,23	3,70	1,93	1,39	3,62	0,005
	Gesamtbiomasse [g]	1,67	0,03	0,16	3,82	0,30	0,55	9,15	<0,001
<i>Haplothrips senecionis</i>, 40 Individuen (n = 6)*	Höhe [cm]	4,47	0,39	0,63	4,15	0,91	0,96	0,69	0,506
	Durchmesser [cm]	4,74	0,07	0,26	4,61	0,21	0,46	0,64	0,535
	Blattanzahl	4,41	0,08	0,28	4,38	0,42	0,65	0,12	0,911
	oberirdische Biomasse [g]	4,28	0,39	0,62	4,39	0,40	0,63	0,32	0,757
	unterirdische Biomasse [g]	4,16	1,37	1,17	4,08	0,54	0,74	0,14	0,890
	Gesamtbiomasse [g]	4,36	0,69	0,83	4,33	0,33	0,57	0,07	0,950

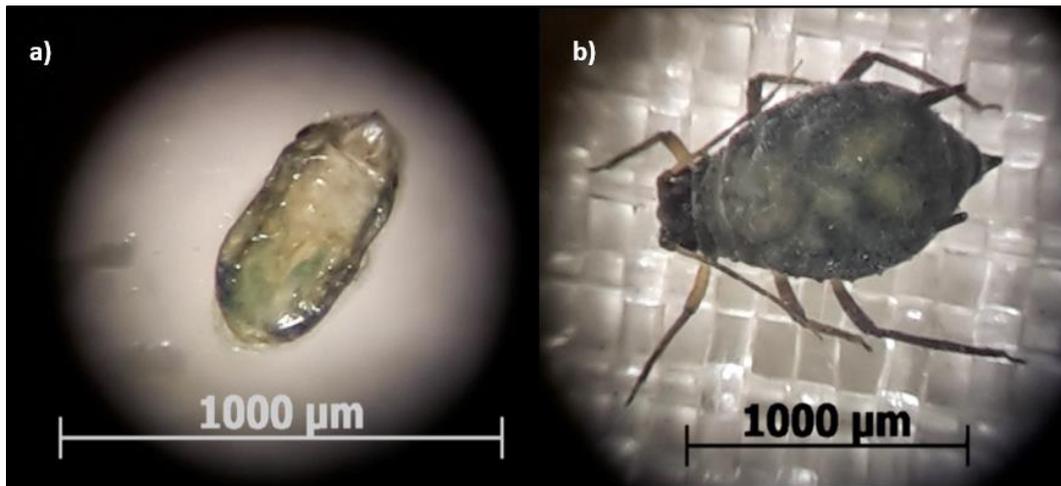


Abbildung 24: *Aphis jacobaeae* vermehrt sich während des Sommers über vivipare Parthogenese. a) aus einem verendeten Tier herauspräpariertes Ei b) Blattlaus mit Nachwuchs, die ungeborenen Nymphen sind bereits zu erkennen. Fotos: A. Tiesler.

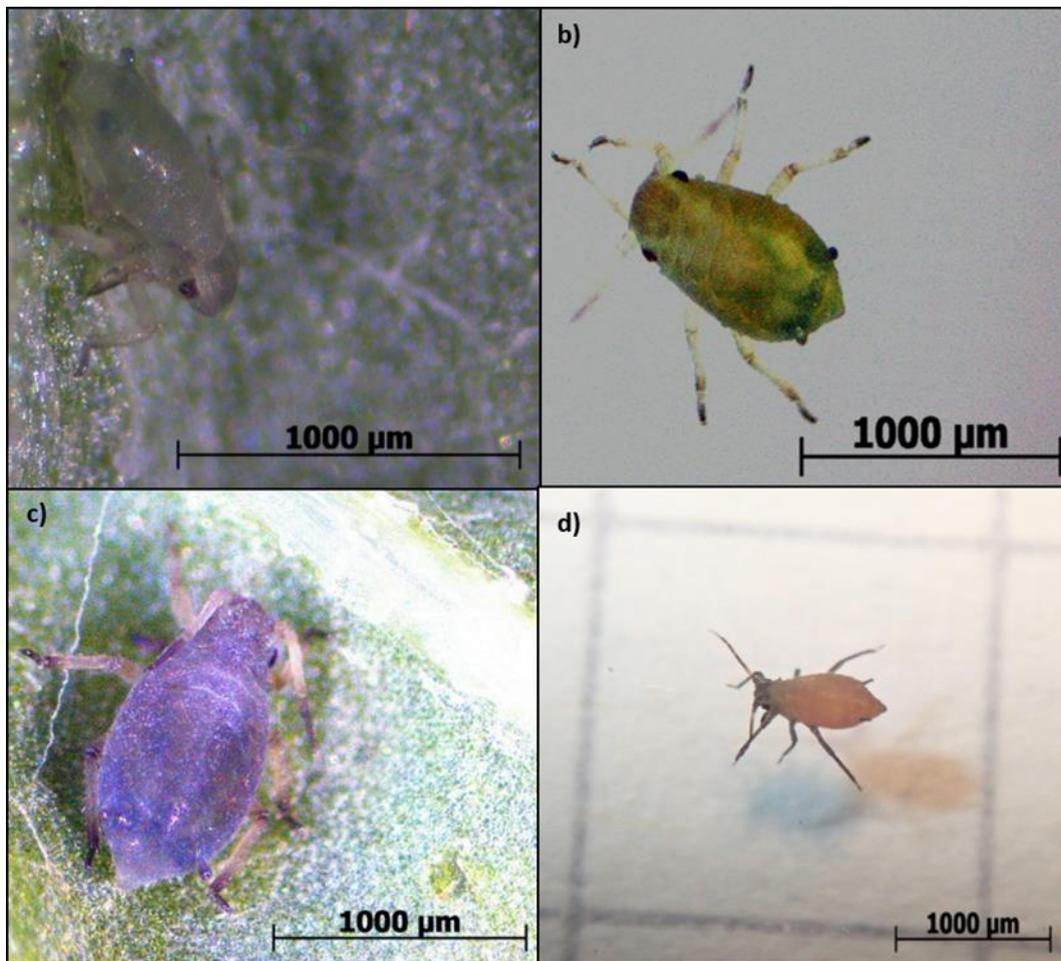


Abbildung 25: verschiedene Entwicklungsstadien von *Aphis jacobaeae*. a) frisch geschlüpfte Nympe b) Nympe nach zwei bis drei Tagen c) Nympe nach der ersten Häutung d) oranger Phänotyp, dieser wurde im September und Oktober gelegentlich beobachtet. Fotos: A. Tiesler.



Abbildung 26: Individuum von *Aphis jacobaeae* mit frisch gelegten, hellen sowie ausgehärteten, dunklen Eiern. Eier wurden erst ab Mitte Oktober beobachtet, während des Sommers vermehren sich die Tiere über vivipare Parthogenese. Foto: A. Tiesler.

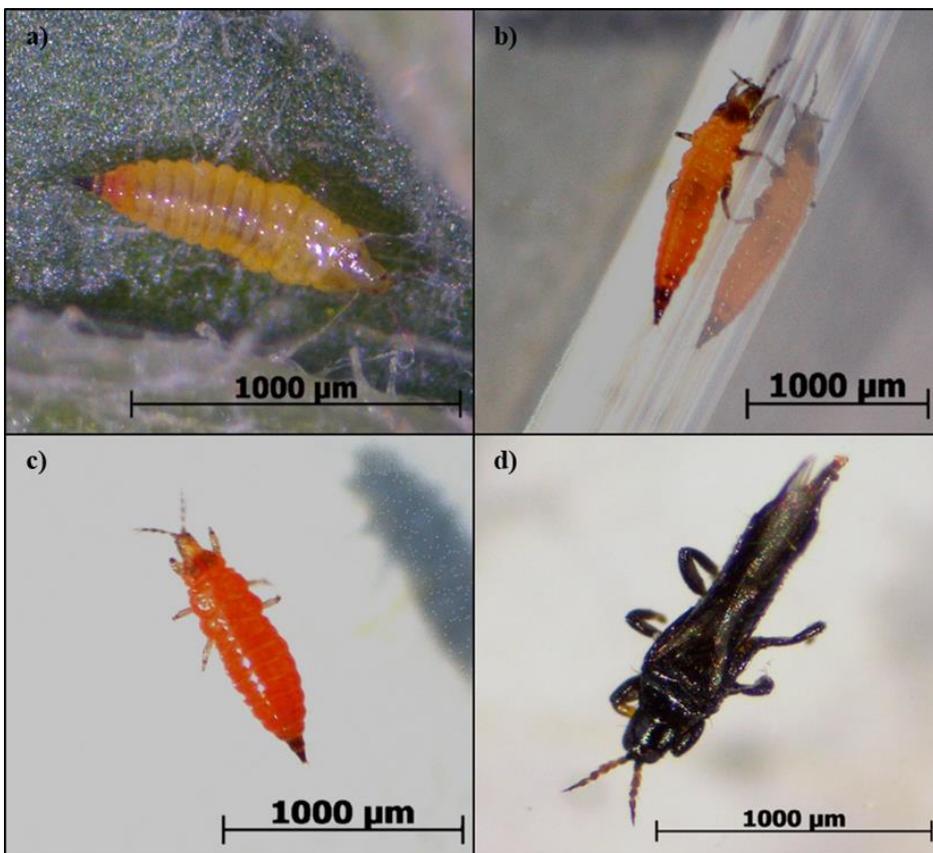


Abbildung 27: Verschiedene Jugendstadien von *Haplothrips senecionis*. a) gelbe Nymphe im Alter von 7 Tagen b) orange Nymphe nach etwa 9 Tagen c) subadulte Nymphe d) Imago mit fertig entwickelten Flügeln. Fotos: A. Tiesler.

4.3. Interaktion von *Haplothrips senecionis* und Pyrrolizidin-Alkaloiden (in Kooperation mit AG Biochemische Ökologie und Molekulare Evolution, Prof. Dr. Dietrich Ober, CAU Kiel)

Aufgrund sich überschneidender Forschungsinteressen mit der Arbeitsgruppe Biochemische Ökologie und Molekulare Evolution (Prof. Dr. Dietrich Ober, CAU Kiel) und der sich daraus ergebenden Synergieeffekte war es möglich, im Sommer 2019 zusätzliche Untersuchungen zur chemischen Ökologie der Pflanzen durchzuführen. Hierfür wurden in dem unter 4.2 beschriebenen Experiment zu Beginn, in der Mitte und zum Ende des Versuches kleine Proben von Blattmaterial genommen und daraus der Gehalt der Pflanzen an verschiedenen Pyrrolizidin-Alkaloiden (PA) bestimmt. Die entsprechenden Analysen erfolgten im Labor der AG Biochemische Ökologie und Molekulare Evolution. Da alle mit *Aphis jacobaeae* besetzten Pflanzen zum Versuchsende eingegangen waren, waren vollständige Analysen nur für die mit *Haplothrips senecionis* besetzten Pflanzen möglich.

Laut Literatur ist die Anwesenheit von *Haplothrips senecionis* nicht mit dem Gehalt an PAs korreliert, da es sich um einen an diese Stoffgruppe angepassten Nahrungsspezialisten handelt (Vrieling et al., 1991b). In unserem Versuch zeigte sich jedoch eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Gehalt des PA Senecionin zu Versuchsende und dem Populationszuwachs der Thripse (**Abbildung 28**). Der Gesamtgehalt an PAs sowie der Gehalt an Erucifolin und Jacobin zeigten hingegen keinen Effekt (**Abbildung 28**). Gleichzeitig wurde festgestellt, dass der Gesamt-PA-Gehalt der Pflanzen sowie die PA-Komposition im Laufe des Versuches stärker schwankte als aufgrund der Literatur angenommen (vgl. Witte et al., 1991; Macel et al., 2004) und sich teils zwischen einzelnen Blättern derselben Pflanze unterschied. Aus diesem Grund wurden bei der Wiederholung des Käfigversuches 2019 nochmals Analysen zum PA-Gehalt der Pflanzen durchgeführt. Dabei wurde Pflanzenmaterial aus Blüten, Stängelblätter und Rosettenblättern getrennt analysiert.

Im Gegensatz zum vorherigen Versuch 2018, in dem ein Zusammenhang zwischen dem Zuwachs der Haplothrips-Population und dem PA Senecionin festgestellt wurde, zeigte die Wiederholung 2019 einen Zusammenhang zu dem PA Erucifolin. Pflanzen des Erucifolin-Chemotyps wiesen 2019 eine signifikant niedrigere Anzahl an Thripsen auf und im Gegensatz zum Vorjahr wurden die höchsten *Haplothrips*-Dichten auf Pflanzen des Jacobin-Chemotyps erreicht (Kruskal-Wallis, $p \leq 0,01$). Es ist anzunehmen, dass aufgrund der hohen Variabilität in der Zusammensetzung des PA-Bouquets des Jakobs-Greiskrautes eine noch größere Stichprobe zur Klärung eines gegebenenfalls vorhandenen Zusammenhangs nötig wäre.

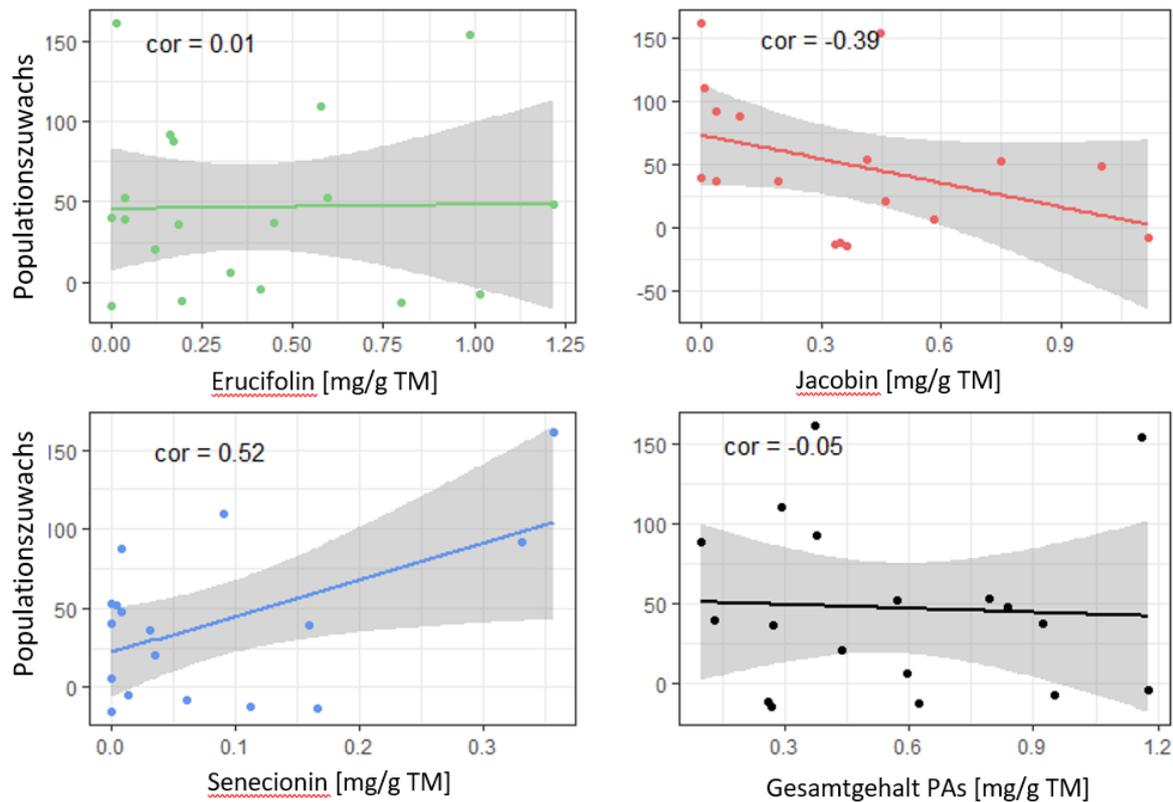


Abbildung 28: Populationszuwachs von *Haplothrips senecionis* in Abhängigkeit vom Gehalt verschiedener Pyrrolizidin-Alkaloiden (Erucifolin, Jacobin, Senecionin) und dem Gesamtgehalt an PAs pro Gramm Trockenmasse (TM), Versuchsjahr 2018, 95 % Konfidenzintervalle grau hinterlegt.

5. AP 4: Direkte und indirekte Einflüsse der Landschaft

Im Oktober 2017 wurde in einem 1000 m-Radius um die ursprünglich 13 Studienflächen (AP 1) herum eine Biotoptypenkartierung durchgeführt (Abbildung 29). Hierfür diente die Kartieranleitung für die Biotopkartierung Schleswig-Holstein als Grundlage (LLUR, 2017). Gleichzeitig wurden alle Jakobs-Greiskraut-Vorkommen in diesem Radius erfasst. Die so erhaltenen Feldkarten wurden digitalisiert und im Rahmen einer Masterarbeit eine GIS-basierten Landschaftsanalyse hinsichtlich Landschaftskonfiguration und -komposition durchgeführt. Die Auswertung dieser Daten zielt darauf ab, Landschaften zu identifizieren, in denen aufgrund der Landschaftsausstattung eine natürliche Besiedelung durch Jakobs-Greiskraut-Antagonisten in ausreichendem Maße stattfindet und von solchen Landschaften abzutrennen, die ein geringes Besiedelungspotenzial durch die Gegenspieler, insbesondere *Tyria jacobaeae*, aufweisen. Dazu wurden die Studienflächen mit natürlichen Massenvorkommen mit denjenigen Flächen verglichen, auf denen der Blutbär erst im Rahmen des Projektes eingeführt wurde. Insbesondere wurde die Landschaftsheterogenität anhand des Anteils naturnaher Habitats (Hecken, Waldränder, extensiven Grünlandes etc.) und deren räumlicher Anordnung quantifiziert. Es wurde außerdem untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der

räumlichen Anordnung, Größe sowie Dichte der Jakobs-Greiskraut-Bestände und dem Vorkommen von *T. jacobaeae* besteht.

In Bezug auf die Landschaftskonfiguration zeigte sich, dass natürliche *Tyria*-Massenbestände zum einen mit mehr, jedoch kleineren Jakobs-Greiskraut-Beständen im 1000m-Radius assoziiert waren (**Abbildung 31**). In Summe ergab sich so im Vergleich zu den Flächen ohne *Tyria*-Vorkommen eine leicht höhere Gesamtdeckung von Jakobs-Greiskraut im Umkreis um die Studienflächen. Zusätzlich wurden signifikant mehr Einzelpflanzen im Umkreis der *Tyria*-Massenbestände gefunden (**Abbildung 31**), was darauf hindeutet, dass diese den Tieren möglicherweise als Trittsteine bei der Besiedelung neuer Habitats dienen. Diese Flächen wiesen weiterhin einen geringeren Anteil an intensiv genutzten Ackerflächen und Intensivgrasland im Umkreis auf als Flächen ohne Vorkommen des Falters (Abbildung 30). *Tyria*-freie Flächen hingegen wiesen eher kleinere, zerteilte JKK-Bestände auf (Abbildung 31). Ein etwas höherer Flächenanteil von Hecken und Knicks in *Tyria*-freien Gebieten könnte auf eine mögliche Barrierewirkung solcher Strukturen auf den Falter hinweisen. In Hinblick auf Optionen zur biologischen Kontrolle des Jakobs-Greiskrautes könnte dieser Umstand eine gezielte und aktive Ansiedlung des Blutbären in zerteilten Landschaften durch den Menschen sinnvoll erscheinen lassen. In Bezug auf die Landschaftskomposition wurden keine Effekte gefunden.

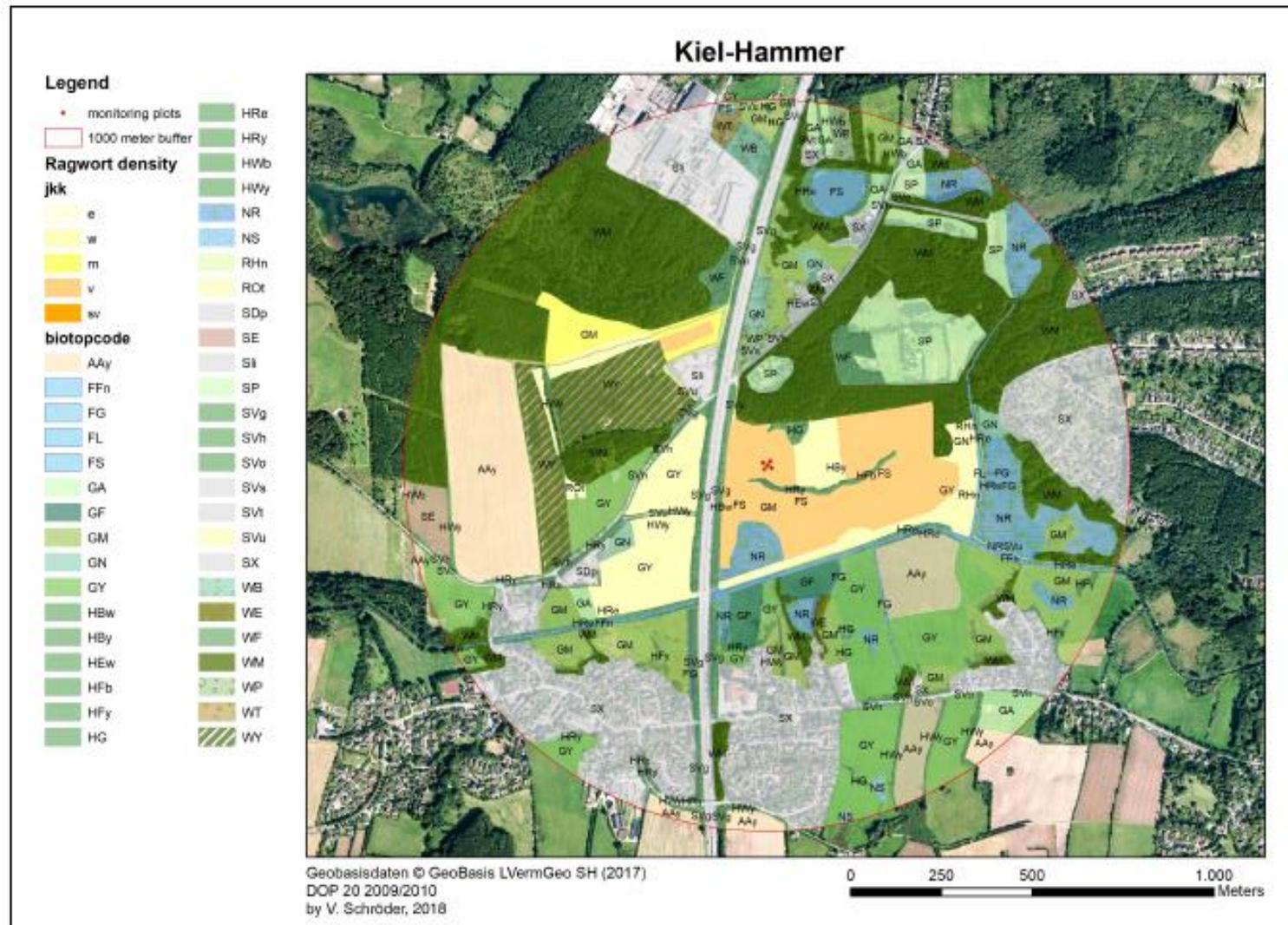


Abbildung 29: beispielhafte Ergebnisse der Biotoptypen-Kartierung im 1000m-Radius der Projektfläche in Kiel-Hammer.

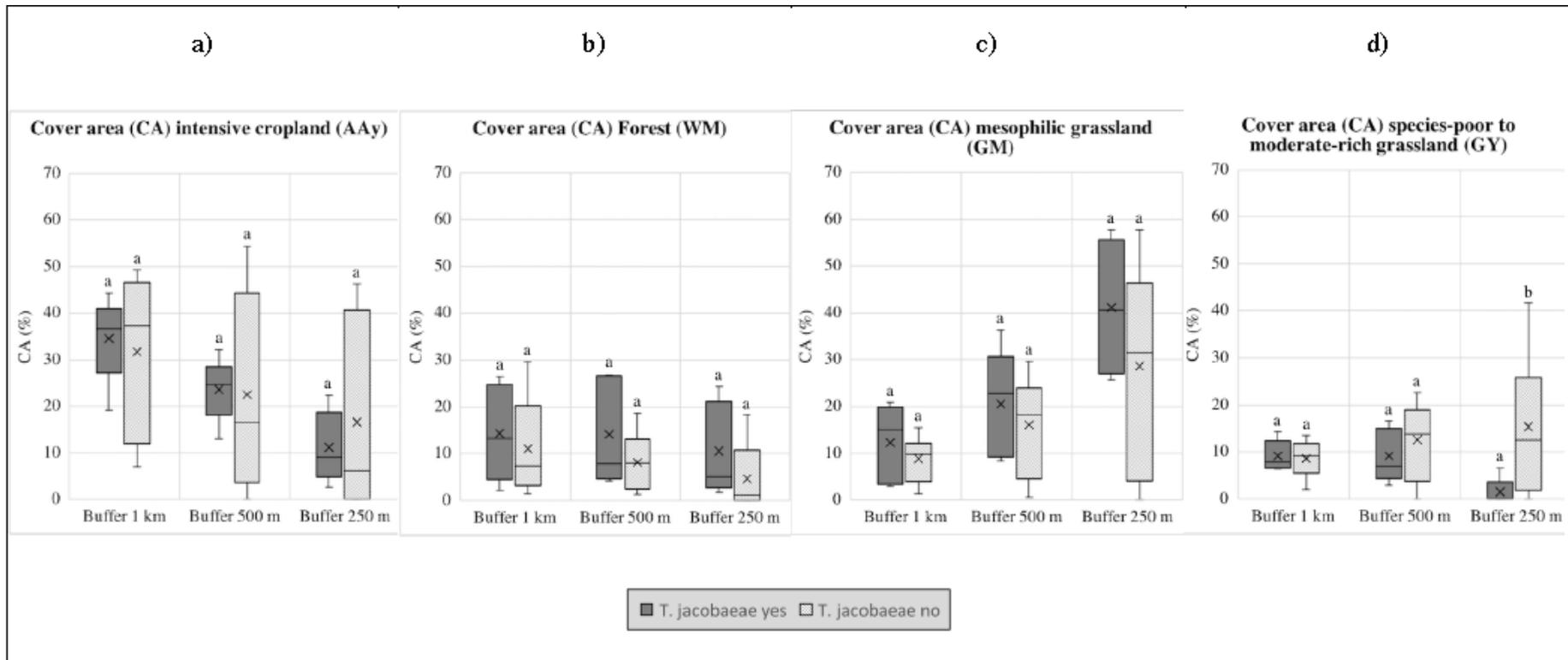


Abbildung 30: Prozentualer Flächenanteil (Cover area, CA) der häufigsten vier Biotoptypen im Umkreis von 250m, 500m und 1000m um die Studienflächen. a) Intensiväcker (AAy). b) Wald (WM). c) mesophiles Grünland (GM). d) artenarmes bis mäßig artenreiches Grünland (GY). Dunkelgraue Balken: Flächen mit natürlichen Massenvorkommen von *Tyria jacobaeae*. Hellgraue Balken: Flächen ohne Massenvorkommen von *Tyria jacobaeae* zum Versuchsstart. Querbalken zeigen den Median, Kreuze den Mittelwert der jeweiligen Gruppen.

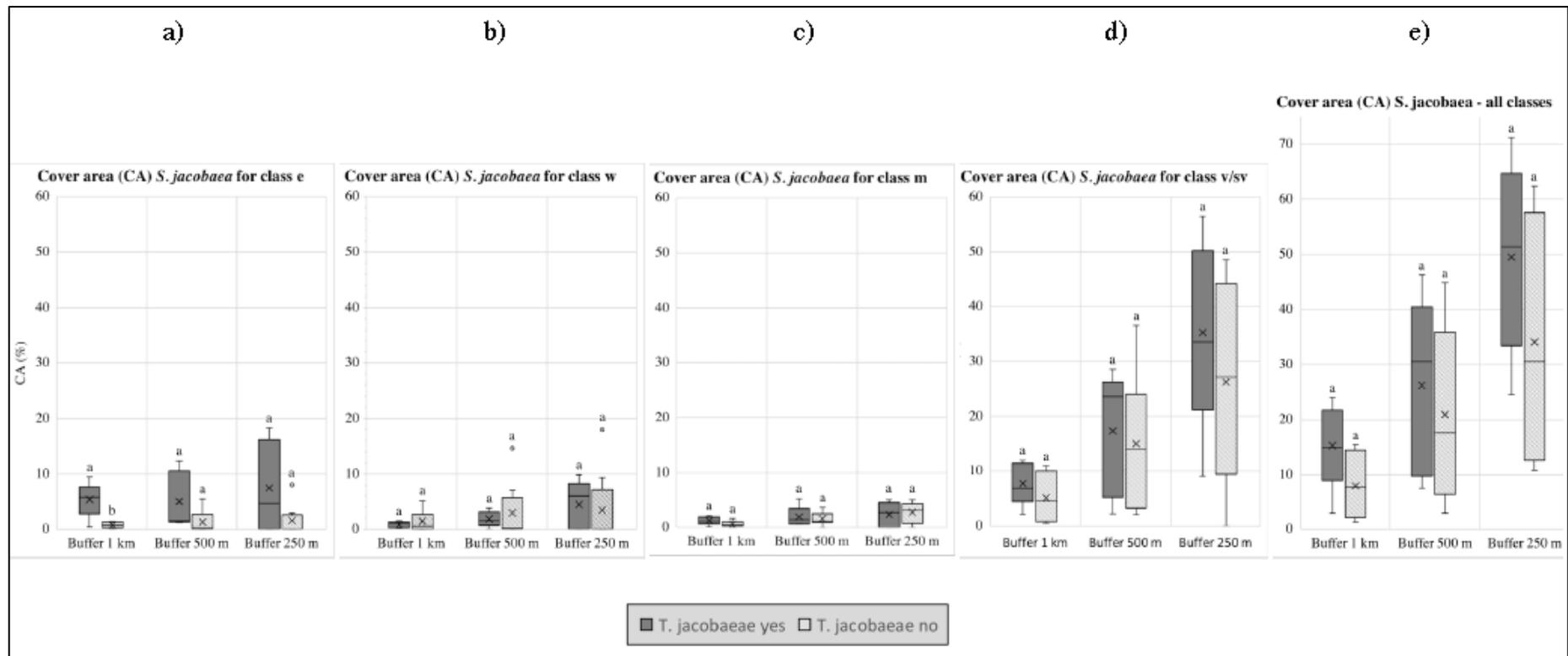


Abbildung 31: Prozentualer Flächenanteil (Cover area, CA) von verschiedenen dichten Jakobs-Greiskraut-Beständen im Umkreis von 250m, 500m und 1000m um die Studienflächen. a) Flächenanteil Einzelpflanzen (1-2 Individuen / 100 m²). b) Flächenanteil wenige Pflanzen (3-5 Individuen / m²). c) Flächenanteil mitteldichte Bestände (6-20 Individuen / m²). d) dichte bis sehr dichte Bestände, Jakobs-Greiskraut als dominante Art (21 bis >100 Individuen / m²). e) gesamter Flächenanteil mit Jakobs-Greiskraut-Beständen. Dunkelgraue Balken: Flächen mit natürlichen Massenvorkommen von *Tyria jacobaeae*. Hellgraue Balken: Flächen ohne Massenvorkommen von *Tyria jacobaeae* zum Versuchsstart. Querbalken zeigen den Median, Kreuze den Mittelwert der jeweiligen Gruppen.

6. Fazit

In AP 1 war die Ansiedelung des Blutbären auf den Studienflächen bis auf einzelne Ausnahmen erfolgreich. Auf einer Fläche setzte bei jährlichem Aussatz von nur 50 Raupen ab dem zweiten Jahr sogar eine Massenvermehrung des Blutbären ein. Durch das Verfahren konnte in einzelnen Jahren bzw. auf einzelnen Flächen eine Reduktion der Jakobs-Greiskraut-Bestände erreicht werden. Gleichzeitig nahm aber in allen drei Versuchsgruppen die mittlere Individuenzahl des Jakobs-Greiskrautes zu. Hierbei wurden auch die Auswirkungen des Hitzesommers 2018 sichtbar, der vielerorts zur vermehrten Bildung von Offenbodenstellen und dadurch einer verstärkten Keimung des Jakobs-Greiskrautes im Folgejahr führte. Anhand dieser Erfahrungen erscheint es sinnvoll, im ersten Jahr zunächst eine größere Anzahl Raupen auszusetzen und dann in den Folgejahren bei Bedarf weitere Tiere nachzusetzen, bis sich ein stabiler Bestand etabliert hat. Ein Zeitrahmen von mindestens drei Jahren ist auch seitens der Biologie des zwei- bis mehrjährigen Jakobs-Kreuzkrautes angebracht. Da die Blutbär-Raupen sich bevorzugt von blühenden Pflanzen ernähren, werden die bei Ansiedlungsbeginn vorhandenen Rosetten meist erst bei ihrer Blüte im Folgejahr gefressen. Ein etablierter Blutbär-Bestand kann auf diese Weise das in jedem Jahr nachwachsende bzw. aus der Samenbank neu keimende Jakobs-Kreuzkraut zügig abfressen. Dadurch kann eine weitere Ausbreitung der Pflanze zumindest eingeschränkt werden. Gegebenenfalls sind jedoch weitere, umweltverträgliche Maßnahmen, wie etwa eine regelmäßige Mahd der Jakobs-Greiskrautbestände mit dem Balkenmäher, ergänzend in Betracht zu ziehen (vgl. AP 2). Von *Longitarsus jacobaeae* standen aufgrund von Schwierigkeiten bei der Vermehrung nicht genügend Tiere für Aussatzversuche zur Verfügung. Da die Art auf allen Studienflächen bereits natürlicherweise vorkommt, wurde stattdessen eine Bestandserfassung mittels Bodenfallen durchgeführt. Anschließend wurde der Einfluss verschiedener Umweltvariablen auf die Abundanzen von *L. jacobaeae* modelliert. Es zeigte sich, dass Temperatursummen, Niederschlag sowie die Verfügbarkeit von Nahrungspflanzen (Rosetten und generative Jakobs-Greiskraut-Pflanzen) signifikant positiv mit den Abundanzen des Flohkäfers korrelierten. Entgegen unseren Erwartungen zeigte das Model außerdem eine negative Korrelation zwischen den Flohkäfer-Abundanzen und der Anzahl an Keimlingen des Jakobs-Greiskrautes. Eine mögliche Erklärung für diesen Zusammenhang könnten Störereignisse des Bodens darstellen, die zum einen die Etablierung des Jakobs-Greiskrautes als Offenbodenkeimer begünstigen sowie andererseits den Larven des Flohkäfers auf mechanische Art schaden. Aufgrund der weiten Verbreitung von *L. jacobaeae* in Schleswig-Holstein kann davon ausgegangen werden, dass die Art in der Lage ist, neue Jakobs-Greiskraut-Bestände zügig und ohne menschliche Hilfe zu besiedeln. Aufgrund der aufwendigen Vermehrung des Flohkäfers und seiner weiten Verbreitung in Schleswig-Holstein

erscheint ein zusätzliches Ausbringen dieses Gegenspielers in wirkungsvollen Dichten keine effiziente Maßnahme darzustellen.

Insgesamt erscheint der Einsatz natürlicher Gegenspieler, insbesondere von *Tyria jacobaeae*, als im Einzelfall vielversprechend. Jedoch ist noch nicht abschließend geklärt, welche Faktoren ausschlaggebend für den konkreten Erfolg oder Misserfolg der Maßnahme sind. Für eine deutliche, schnellere Reduktion von Jakobs-Greiskraut-Beständen ist daher eine Kombination mit weiteren Maßnahmen in Erwägung zu ziehen. Hier empfehlen sich möglichst umweltverträgliche Verfahren wie etwa die Mahd mit dem Balkenmäher (vgl. Möhler, 2021), um die Gegenspieler des Jakobs-Greiskrautes möglichst wenig zu beeinträchtigen.

7. Liste mit Beiträgen und Aktivitäten für das Projekt

- **Abstimmungsgespräche**, 19.04.2017 in Kiel:
Abstimmungsgespräche in den Räumlichkeiten des Instituts für Natur- und Ressourcenschutz mit Dr. Aiko Huckauf, Janna Ruge (beide Kompetenzzentrum JKK der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein [SNSH]) und Juliane Kelm (Flächenmanagement SNSH), um die Freilandarbeit der Saison 2017 abzustimmen und geeignete Studienflächen zu identifizieren.
- **Abstimmungsgespräche und Vortrag bei der SNSH**, 15.05.2017 in Molfsee:
Vorstellung des Projektes vor Mitgliedern der SNSH, insbesondere den Flächenmanagern, um geeignete Studienflächen zu identifizieren.
- **Pressetermin**, 07.07.2017 in Süsel:
Gemeinsamer Pressetermin der SNSH (vertreten durch Dr. Aiko Huckauf) und der Projektverantwortlichen (vertreten durch Frau Kathrin Schwarz) während der Datenerhebung auf der Studienfläche „Barkauer See“ (Anhang 1).
- **Vortrag im Rahmen der JKK-Projektarbeitsgruppe der SNSH**, 23.11.2017 in Molfsee:
Präsentation der bisherigen Projektfortschritte vor Vertretern der SNSH, der Naturschutzbehörde, dem Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (MELUND) und der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- **Ecology Across Borders Joint Annual Meeting 2017**, 11.12. bis 14.12.2017 in Gent, Belgien:
Posterpräsentation „Biological control of *Jacobaea vulgaris*“, im Rahmen der gemeinsamen Jahrestagung der British Ecological Society, Gesellschaft für Ökologie, Nederlands-Vlaamse vereniging voor ecologie und European Ecological Federation (Anhang 2).
- **Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie**, 10.09.-14.09.2018 in Wien, Österreich:
Schwarz, K., Möhler, H., Schröder, V., Erbe, K., Diekötter, T., Herrmann, J., Donath, T.W.: „The relative importance of landscape structure on abundances of the grassland weed *Jacobaea vulgaris* and its herbivore *Tyria jacobaeae*“. Konferenzvortrag.

- **Workshop der NABU-Naturschutzstation Münsterland e.V.**, 08.11.2018 in Münster:
Vorstellung erster Ergebnisse durch Dr. Aiko Huckauf.
- **Kooperation mit der Arbeitsgruppe Biochemische Ökologie und Molekulare Evolution (Prof. Dr. Dietrich Ober, CAU Kiel)**, seit April 2018:
PA-Analytik, gemeinsame Versuchsdurchführung und Betreuung von Abschlussarbeiten sowie regelmäßige begleitende Planungsgespräche, zuletzt gemeinsam durchgeführte Laboranalysen im September / Oktober 2019 für DNA-Barcoding an *Longitarsus jacobaeae* (K. Schwarz / Dr. E. Kaltenegger).

8. Im Rahmen des Projektes durchgeführte Abschluss- und Projektarbeiten

- Beye, H. (2018): Biological control of *Jacobaea vulgaris* – interactive effects of antagonists and pyrrolizidine alkaloids. Masterarbeit im Studiengang Environmental Management.
- Rothhardt, E. (2019): Erfassung von *Longitarsus jacobaeae* in ausgewählten Jakobs-Greiskraut-Beständen in Schleswig-Holstein. Bachelorarbeit im Studiengang Agrarwissenschaften.
- Schröder, V. (2018): Correlation between occurrence of *Tyria jacobaeae* and landscape structure. Masterarbeit im Studiengang Environmental Management.
- Tiesler, A. (2020): *Haplothrips senecionis* and *Aphis jacobaeae*, two possible biocontrol agents of *Jacobaea vulgaris*: reproduction behaviour and impact on plant growth. Masterarbeit im Studiengang Biologie.
- Fischer, F. (2020): Analysen zum PA-Gehalt von *Jacobaea vulgaris*. Projektarbeit im Studiengang Environmental Management.
- Castillo Quimbiulco, F. (2019): Hatching rates of the cinnabar moth *Tyria jacobaeae* in relation to weight and site of origin. Projektarbeit im Studiengang Environmental Management.
- Samanthika, C. (2021): Impact of mowing on caterpillar abundance of *Tyria jacobaeae*. Projektarbeit im Studiengang Environmental Management.
- Singh, H. (laufend): Impact of mowing and *Tyria jacobaeae* on *Jacobaea vulgaris* plant biomass. Projektarbeit im Studiengang Environmental Management.

9. Im Rahmen des Projektes erstellte Veröffentlichungen

9.1. Peer-Review

Schwarz, K., Donath, T.W., Kaltenegger, E. & Diekötter, T. (in Vorbereitung): Effects of biotic and abiotic site conditions on *Longitarsus jacobaeae* abundance.

Schwarz, K., Diekötter, T., Beye, H., Kaltenegger, E., Tiesler, A. & Donath, T.W. (in Vorbereitung): *Aphis jacobaeae* & *Haplothrips senecionis* – two possible biocontrol agents of *Jacobaea vulgaris*?

9.2. Weitere Publikationen

Kolligs, D., Schwarz, K., Diekötter, T., Donath, T. W. (in Vorbereitung): Vermehrung und Ansiedlung des Blutbären (*Tyria jacobaeae* L., 1758) zur Regulierung des Jakobs-Kreuzkrautes (*Jacobaea vulgaris* Gaertn.)

10. Literaturverzeichnis

- Aceituno, P. (1979). Statistical formula to estimate heating or cooling degree-days. *Agricultural Meteorology*, 20(3), 227-232.
- Bos, M., Luske, B., Smit, M., Hennekam, M. (2013): Innovative beheersing van Jacobskruiskruid met de Jacobskruidaardvlo. Eindrapport 2013. Louis Bolk Instituut, Nederlande.
- Candrian, U., Lüthy, J., Schmid, P., Schlatter, C., & Gallasz, E. (1984). Stability of pyrrolizidine alkaloids in hay and silage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32(4), 935-937.
- Coombs, E., Bedell M., Thomas E. & McEvoy, P.B. (1991). Tansy ragwort (*Senecio jacobaea*): importance, distribution, and control in Oregon. In: James, L. F., Evans, J. O., Ralphs, M. H., Child, R. D. (eds): Noxious range weeds. Boulder, San Francisco, & Oxford: Westview Press, Inc.: 419–428.
- Dauer, J. T., McEvoy, P. B. & Van Sickle, J. (2012). Controlling a plant invader by targeted disruption of its life cycle. *Journal of Applied Ecology*, 49, 322–330.
- Dempster, J. P. (1971). The population ecology of the cinnabar moth, *Tyria jacobaeae* L. (Lepidoptera, Arctiidae). *Oecologia* 7(1), 26-67.
- Dempster, J. P. (1982). The ecology of the cinnabar moth, *Tyria jacobaeae* L. (Lepidoptera: Arctiidae). *Advances in Ecological Research*, 12, 1-36. Academic Press.
- Dusemund, B., Rietjens, I. M., Cartus, A., Schaefer, B., & Lampen, A. (2017). Pflanzliche Kontaminanten in Lebensmitteln. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 60(7), 728-736.
- DWD Climate Data Center (2020). Daily temperature means and daily precipitation measurements 2017-2018 of the weather stations Padenstedt, Pelzerhaken, Kiel-Holtenau, Itzehoe, Schleswig-Jagel, Glücksburg-Meyerwik, Schleswig, Leck, Elpersbüttel, and Ostenfeld (Rendsburg), Version 2.0-v1912, data downloaded on 05. March 2020.
- Field, R. P. (1989). Progress Towards Biological Control of Ragwort in Australia. Proc. VII. Int. Symp. Biol.Contr. Weeds, 6–11 March 1988, Rome, Italy. In: Delfosse, E. S. (Ed.): Ist. Sper. Patol. Veg. (MAF), 315-322.
- Frick (1969): Attempt to Establish the Ragwort Seed Fly in the United States. *Journal of Economic Entomology*, 62(5), 1135-1138.
- Frick, K. E. (1971). *Longitarsus jacobaeae* (Coleoptera: Chrysomelidae), a Flea Beetle for the Biological Control of Tansy Ragwort. 2: Life History of a Swiss Biotype 2. *Annals of the Entomological Society of America*, 64(4), 834-840.
- Frick, K. E., & Johnson, G. R. (1972). *Longitarsus jacobaeae* (Coleoptera: Chrysomelidae), a Flea Beetle for the Biological Control of Tansy Ragwort. 3: Comparison of the Biologies of the Egg Stage of Swiss and Italian Biotypes 2. *Annals of the Entomological Society of America*, 65(2), 406-410.

- Frick, K. E., & Johnson, G. R. (1973). *Longitarsus jacobaeae* (Coleoptera: Chrysomelidae), a Flea Beetle for the Biological Control of Tansy Ragwort. 4: Life History and Adult Aestivation of an Italian Biotype 2. *Annals of the Entomological Society of America*, 66(2), 358-367.
- Harman, H. M., Dymock, J. J. & Syrett, P. (1990). Temperature and development of cinnabar moth, *Tyria jacobaeae* (Lepidoptera: Arctiidae), in New Zealand. In: Delfosse, E. S. (Ed.): Proceedings of the VII International Symposium on Biological Control of Weeds, Rome, 1989: 339–346.
- Hawkes, R. B. & Johnson, G. R. (1976). *Longitarsus jacobaeae* aids moth in the biological control of tansy ragwort. Paper presented at the 15th International Congress of Entomology, Washington, D.C., 1976. Proceedings of the 4th International Symposium on Biological Control of Weeds, Gainesville, 1976, 1978: 193–196.
- Ireson, J. E., Leighton, S. M., Holloway, R. J. & Chatterton, W. S. (2000): Establishment and redistribution of *Longitarsus flavicornis* (Stephens) (Coleoptera: Chrysomelidae) for the biological control of ragwort (*Senecio jacobaea* L.) in Tasmania. *Journal of Entomology*, 39, 42–46.
- James, R. R., McEvoy, P. B. & Cox, C. S. (1992). Combining the cinnabar moth (*Tyria jacobaeae*) and the ragwort flea beetle (*Longitarsus jacobaeae*) for control of ragwort (*Senecio jacobaea*) – an experimental analysis. *Journal of Applied Ecology*, 29, 589–596.
- Kassebeer, C. (2015). Erfassung phytophager Insekten an Jakobs-Kreuzkraut in Schleswig-Holstein. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des LLUR. 103 S.
- Kassebeer, C. (2016). Erfassung der in Schleswig-Holstein an Jakobs-Kreuzkraut lebenden Insekten. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des LLUR. 130 S.
- LLUR (2020a): Digital map and data on top soil, including humus content, high resolution, scale-free. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein – Geological Service, unpublished.
- LLUR (2020b): Digital map and data on top soil, including humus content, based on soil appraisal data high, resolution, scale-free. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein –Geological Service, unpublished.
- LLUR, 2017. Kartieranleitung und Biotoptypenschlüssel für die Biotopkartierung Schleswig-Holstein, s.l.: LLUR.
- Macel, M., Vrieling, K., & Klinkhamer, P. G. (2004). Variation in pyrrolizidine alkaloid patterns of *Senecio jacobaea*. *Phytochemistry*, 65(7), 865-873.
- McEvoy, P., Cox, C. & Coombs, E. (1991). Successful Biological Control of Ragwort, *Senecio jacobaea*, by Introduced Insects in Oregon. *Ecological Applications*, 1(4), 430–442.
- McLaren, D. A., Ireson, J. E. & Kwong, R. M. (2000). Biological Control of Ragwort (*Senecio jacobaea* L.) in Australia. In: Neal R. Spencer (Ed.): Proceedings of the X International Symposium on

- Biological Control of Weeds 67, July 4–14, 1999, Montana State University, Bozeman, Montana, USA: 67–79.
- Möhler, H. (2021): Regulierung von *Senecio jacobaeae* L. (Jakobs-Kreuzkraut) in Naturschutzgrünland 2015-2021. Projektabschlussbericht. Christian-Albrechts-Universität, Kiel & Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, Molfsee.
- Neumann, H., & Huckauf, A. (2016). Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*): eine Ursache für Pyrrolizidin-Alkaloide im Sommerhonig? Tansy ragwort (*Senecio jacobaea*): a source of pyrrolizidine alkaloids in summer honey? *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 11(2), 105-115.
- Neumann, H., Lütt, S., Schleich-Saidfar, C., Rabe, I., Walter, A., Böhling, J., Ehlers, B., Trede, J., Werner, M., Ramert, D. & Kruse, M. (2013). Umgang mit dem Jakobs-Greiskraut. Meiden – Dulden – Bekämpfen. 3. Aufl., Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Flintbek: 58 S.
- Potter, K.J.B., Ireson, J.E., & Allen, G.R. (2004). Soil characteristics in relation to the long-term efficacy of the biological control agent, the ragwort flea beetle (*Longitarsus flavicornis* (Coleoptera: Chrysomelidae)) in Australia. *Biological Control*, 31(1), 49-56
- Roberts, P. D. & Pullin, A. S. (2007). The Effectiveness of Management Interventions Used to Control Ragwort Species. *Environmental Management*, 39, 691–706.
- Rose, S. D. (1978). Effect of diet on larval development, adult emergence and fecundity of the cinnabar moth, *Tyria jacobaeae* (L.)(Lepidoptera: Arctiidae). Masterthesis, Oregon State University.
- Schwarz, K., Donath, T.W., Kaltenegger, E., Diekötter, T. (in Vorbereitung): Effects of biotic and abiotic site conditions on *Longitarsus jacobaeae* abundance.
- Simelane, D.O. (2007). Influence of soil texture, moisture, and surface cracks on the performance of a root-feeding flea beetle, *Longitarsus bethae* (Coleoptera: Chrysomelidae), a biological control agent for *Lantana camara* (Verbenaceae). *Environmental Entomology*, 36(3), 512-517.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., (1995). Biometry – The Principles and Practice of Statistics in Biological Research, third edition. W.H. Freeman, New York.
- Soldaat, L. L. (1990). Seasonal variation in parasitoid attack of *Tyria jacobaeae* by *Apanteles popularis*. *Netherlands Journal of Zoology*, 41(2-3), 194-201.
- Stählin, A. (1969): Maßnahmen zur Bekämpfung von Grünlandunkräutern. Das wirtschaftseigene Futter 15: 249–334.
- Stevens, J. (2002). Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences. Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.
- Strnad, S.P., & Bergman, M.K. (1987). Movement of first-instar western corn rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae) in soil. *Environmental Entomology*, 16(4), 975-978.

- Syrett, P. (1983). Biological control of ragwort in New Zealand – a review. *Australian Weeds*, 2(3), 96–101.
- van der Meijden, E., & van der Veen-van Wijk, C. A. (1997). Tritrophic metapopulation dynamics: a case study of ragwort, the cinnabar moth, and the parasitoid *Cotesia popularis*. *Metapopulation Biology*, 387-405. Academic Press.
- Vrieling K., Soldaat L. L. & Smit W. (1991b). The influence of pyrrolizidine alkaloids of *Senecio jacobaea* on *Tyria jacobaeae*, *Brachycaudus cardii* and *Haplothrips senecionis*. *Netherlands Journal of Zoology*, 41. 228–239.
- Vrieling, K., Smit, W., & van der Meijden, E. (1991a). Tritrophic interactions between aphids (*Aphis jacobaeae* Schrank), ant species, *Tyria jacobaeae* L., and *Senecio jacobaea* L. lead to maintenance of genetic variation in pyrrolizidine alkaloid concentration. *Oecologia*, 86(2), 177-182.
- Werner, B. (2012): Regionale Versuche zur chemischen Bekämpfung von Jakobskreuzkraut (*Senecio jacobaea*). 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und – bekämpfung, 13.-15. März 2012 in Braunschweig.
- Winston, R., Randall, C. B., Littlefield, J., Schwarzländer, M., Birdsall, J. & Coombs, E. (2011). Biology and Biological Control of Tansy Ragwort. In: Forest Health Technology Enterprise Team (Ed.): Technology Transfer Series FHTET-2011-02: 122 pp.
- Witte, L., Ernst, L., Adam, H., & Hartmann, T. (1992). Chemotypes of two pyrrolizidine alkaloid-containing *Senecio* species. *Phytochemistry*, 31(2), 559-565.
- Wyatt, I. J., & Brown, S. J. (1977). The influence of light intensity, daylength and temperature on increase rates of four glasshouse aphids. *Journal of Applied Ecology*, 391-399.

11. Anhang

Anhang 1: Einladung an die Medien der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein vom 05.07.2017 zum gemeinsamen Pressetermin am 07.07.2017 in Süsel.

**STIFTUNG
NATURSCHUTZ**
Schleswig-Holstein

Einladung an die Medien

5. Juli 2017

Jakobs-Kreuzkraut: Schmetterlings-Raupen sollen die gelbe Wildpflanze schwächen – neues Projekt misst ihren Fraß-Erfolg

Sie sind nur wenige Zentimeter groß, orange-schwarz geringelt und fressen ausschließlich Jakobs-Kreuzkraut (JKK): die Raupen des Blutbären-Schmetterlings (*Tyria jacobaeae*). Die Raupen fressen zunächst die Blüten, dann stehen die grünen Blätter der heimischen Wildpflanze auf dem Speiseplan. Mit diesem einseitigen Fraßverhalten machen die auffällig gefärbten Tiere dem JKK so sehr zu schaffen, dass die meisten betroffenen Pflanzen absterben bzw. zumindest nicht zur Aussamung gelangen.

Wie nachhaltig die Raupen, die in anderen Ländern bereits sehr erfolgreich zur Eindämmung von JKK-Massenvorkommen eingesetzt worden sind, die Bestände ihrer Nahrungspflanze auch hierzulande schädigen können, wird jetzt von der Biologin Kathrin Schwarz im Rahmen des Projektes „Regulierung von Massen-Vorkommen des Jakobs-Kreuzkrautes durch natürliche Antagonisten“ untersucht.

In den vergangenen 12 Monaten hat die Doktorandin dafür gesorgt, dass in diesen Tagen nach und nach 2.750 Raupen im ganzen Land an zehn verschiedenen Standorten ausgesetzt werden. Bei den Standorten handelt es sich um ausgewählte Flächen der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, auf denen es Massenbestände von Jakobs-Kreuzkraut gibt. **Kathrin Schwarz**, Doktorandin des Instituts für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Landschaftsökologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und **Dr. Aiko Huckauf**, Leiter des JKK-Kompetenzzentrums der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, stellen Ihnen beim Aussetzen von 500 Raupen gerne das Projekt.

Zu diesem Pressetermin am:

Freitag, 7. Juli 2017 um 11 Uhr
Treffpunkt: Roggenhof 19, 23701 Süsel

laden wir Sie herzlich ein.

Hinweis: Wir fahren von dort aus gemeinsam zur Fläche der Aussetzung!

Verantwortlich für diesen Text:
Jana Schmidt, Thomas Voigt, Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, Eschenbrook 4, 24113 Molfsee, Tel.: 0431/210 90-206, -202, weitere Infos: www.stiftungsland.de/jakobs-kreuzkraut/www.stiftungsland.de/jakobs-kreuzkraut/jkk-news/



Institute for Natural Resource Conservation
 Departement of Landscape Ecology

Biological control of *Jacobaea vulgaris*

Kathrin Schwarz, John D. Herrmann, Tim Diekötter & Tobias W. Donath

Background

Common ragwort, *Jacobaea vulgaris* GAERTN., has become widespread in grasslands across the globe. The weed, indigenous to central Europe, contains high amounts of pyrrolizidine alkaloids, thus being highly toxic to domestic livestock and possibly affecting human health through honey contamination. Common management methods are rather unselective (e.g., herbicides) and are not an option on nature conservation sites. Biological control using mono- or oligophagous insects may be an environmentally friendly alternative. In New Zealand and North America, where *J. vulgaris* is invasive, a combination of the cinnabar moth, *Tyria jacobaeae* (Fig. 1 A/B), and the ragwort flea beetle, *Longitarsus jacobaeae* (Fig. 2), has been successfully used to reduce ragwort populations. From the ragwort's natural range in Central Europe, however, there is little experience on the applicability of biological control agents. In the presented study, we investigate the effectiveness and applicability of several herbivorous antagonists as control agents of ragwort in Schleswig-Holstein, Germany.

Methods

(I) We chose eight extensively managed grasslands infested with ragwort but without natural presence of *T. jacobaeae* in Schleswig-Holstein (Fig. 3). We recorded the number and cover of ragwort plants on these sites and released self-reared caterpillars (Fig. 1B) of *T. jacobaeae* in two different densities (50 vs. 500 caterpillars). Release of caterpillars will be repeated in 2018 and 2019. Damages to ragwort plants and populations are currently being compared to five sites with natural presence of caterpillars (Fig. 3). (II) We mapped habitat types and ragwort stands within a 1000 m radius around all study sites. We are currently conducting a landscape analysis to identify landscape elements that promote occurrence of *T. jacobaeae*. (III) We observed *T. jacobaeae* plants on the study sites for feeding damages and identified main antagonist species (Fig. 4, Fig. 5). Feeding experiments using gauze cages will be conducted in 2018 to explore the applicability of these species as control agents.

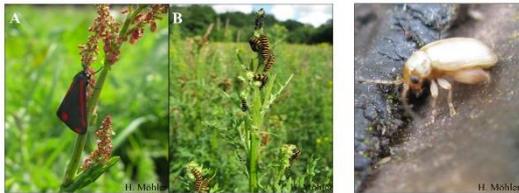


Fig. 1 Adult moth (A) and caterpillars of *T. jacobaeae* feeding on *J. vulgaris* (B) **Fig. 2** Adult *L. jacobaeae*

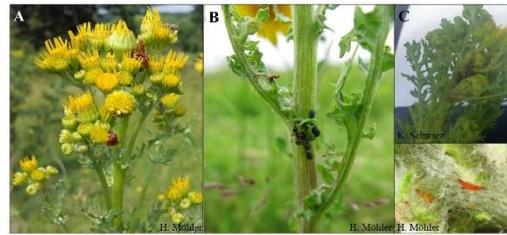


Fig. 4 Antagonists of *J. vulgaris*. (A) Flower galls caused by *Contarinia jacobaeae*, (B) *Aphis jacobaeae* guarded by ants, (C) Feeding damage and larvae of *Haplothrips senecionis*

Research Questions

- (I) Are *T. jacobaeae* and *L. jacobaeae* able to control ragwort in its natural range?
- (II) How does landscape influence the natural occurrence of *T. jacobaeae*?
- (III) Which other insect species can be used as effective control agents?



Fig. 3 Study sites across Schleswig-Holstein, Germany

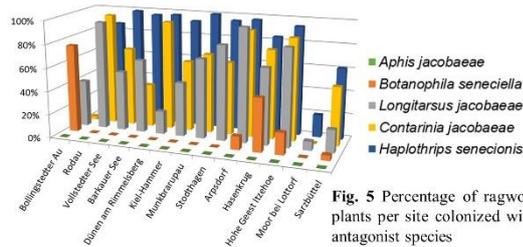


Fig. 5 Percentage of ragwort plants per site colonized with antagonist species

Results & Outlook

We found a heterogeneous distribution of naturally occurring herbivores on ragwort and identified several potential control agents. We are currently identifying local and landscape factors which influence the abundance of natural antagonist, particularly *Tyria jacobaeae*. We are quantifying antagonist abundance and damage caused by antagonist species. Knowledge gained from the results can help to develop environmentally friendly management options for the control of *Jacobaea vulgaris*.

CAU

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
 Faculty of
 Agricultural and Nutritional Sciences

Kathrin Schwarz
 Institute for Natural Resource Conservation
 Tel. +49 431 880-4013
 kaschwarz@ecology.uni-kiel.de
 www.landscape-ecology.uni-kiel.de



STIFTUNG
 NATURSCHUTZ
 Schleswig-Holstein

