

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Zukunftsorientiertes Risikomanagement für biotische Schadereignisse in Wäldern zur Gewährleistung einer nachhaltigen Waldwirtschaft (Akronym: RiMa-Wald)

Teilvorhaben 1:

Waldökologische Forschung zu den Effekten von Insektizidmaßnahmen und natürlichen Störungen auf die Antagonistenfauna in Kiefernwäldern (Arthropodenfauna)

Teilvorhaben 2:

Waldökologische Forschung zu den Effekten von Insektizidmaßnahmen und natürlichen Störungen auf die Antagonistenfauna in Kiefernwäldern (insektivore Singvögel)

Teilvorhaben 3:

Waldökologische Forschung zu den Auswirkungen von Insektizidmaßnahmen auf die Arthropodendiversität und trophische Interaktionen in Eichenwäldern

Teilvorhaben 4:

Erstellung bundeseinheitlicher Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz und Demonstration der Verfahren in Beispielbetrieben

Teilvorhaben 5:

Servicestelle zur Verbesserung der Pflanzenschutzmittelverfügbarkeit im Forst

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1:

Julius Kühn-Institut

Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst

Dr. N. Bräsicke

Institut für Ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz

Dr. M. Stähler

Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz

Dipl.-Ing. D. Rautmann

Teilvorhaben 2:

Landesbetrieb Forst Brandenburg

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, Fachbereich Waldschutz und Wildökologie

Dr. K. Möller

Teilvorhaben 3:

Technische Universität München

Department für Ökologie und Ökosystemmanagement, Lehrstuhl für Terrestrische Ökologie

Prof. Dr. W. W. Weisser

Teilvorhaben 4:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Abteilung Waldschutz

Dr. M. Rohde (Dr. M. Habermann)

Julius Kühn-Institut

Institut für Strategien und Folgenabschätzung

M. Karabensch (Dr. S. Krengel-Horney)

Teilvorhaben 5:

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Abteilung Waldschutz

Dr. A. Hahn (Dr. R. Petercord)

Förderkennzeichen:

22019814, 22012015, 22012115, 22012215, 22012315

Laufzeit:

01.10.2015 bis 31.12.2019

Teilvorhaben 5: Verlängerung bis 30.09.2020

Monat der Erstellung:

Mai/Juni 2020

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

INHALTSVERZEICHNIS - KURZÜBERSICHT

I. Ziele	1
1. Aufgabenstellung	2
2. Stand der Technik	6
3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	19
II. Ergebnisse	21
1. Erzielte Ergebnisse (eingehende Darstellung nach Teilvorhaben)	
Teilvorhaben 1	21
Teilvorhaben 2	67
Teilvorhaben 3	80
Teilvorhaben 4	100
Teilvorhaben 5	110
2. Verwertung	119
3. Erkenntnisse von Dritten	122
4. Veröffentlichungen	126
Anhang (Kurzdarstellung der Teilvorhaben)	128

Schlussbericht

I. Ziele

Angesichts der immensen Herausforderungen, die mit dem Ziel des Walderhalts und seiner Funktionen verbunden sind, wird dem integrierten Pflanzenschutz eine Handlungsaufforderung gegeben mit wissenschaftlicher Forschung und strategischen Maßnahmen Lösungen für die Forstpraxis bereitzustellen.

Die heimischen Waldökosysteme sind engvernetzte Beziehungsgefüge, deren langfristige Entwicklung und Lebensdauer von unzähligen abiotischen und biotischen Komponenten abhängt, die wiederum selbst eng an ökologische, mit dem Klima variierende Parameter gebunden sind. So können klimatische Veränderungen, wie höhere Lufttemperaturen bei gleichzeitig abnehmender Niederschlagsmenge, zu Störungen in Waldökosystemen führen. Gründe sind die auf die Baumart selbst (durch Schwächung infolge zunehmender Witterungsextreme) und auf Pflanzenschädlinge (durch Förderung der Fitness und der Vermehrungsraten infolge besserer Lebens- und Nahrungsbedingungen) wirkenden Klimaveränderungen, die in Folge Massenvermehrungen verursachen können. Die prognostizierten Klimaänderungen betreffen viele einheimische Waldbaumarten, u. a. die Stiel- und Traubeneiche sowie die Waldkiefer. Stiel- und Traubeneiche könnten in ihrer Ausbreitung in Mitteleuropa durch eine Erwärmung des Klimas gefördert werden (JANDL et al. 2012, BECK 2010). Gegen diese Prognose spricht jedoch der aktuell schlechte Gesundheitszustand der Eichen. Dagegen besitzt die Waldkiefer zwar die größte ökologische Amplitude unter den heimischen Wirtschaftsbaumarten, ist aber gegenüber anderen Baumarten (wie Rotbuche oder Stiel- und Traubeneiche) sehr konkurrenzschwach. Mit der Klimaerwärmung wird sie sich trotzdem weiter etablieren, da Wärme und Trockenheit für sie relativ unproblematisch sind (JANDL et al. 2012, RIEK & RUSS 2014), obwohl sie besonders im Reinbestand und bei Altersklassenbewirtschaftung anfällig gegenüber Schädlingskalamitäten ist. Langfristig geeignete waldbauliche Maßnahmen zu erarbeiten und in die Praxis zu integrieren, ist eine Herausforderung der Forstwirtschaft für die Zukunft (KÖLLING 2014). Dabei sind neben den Standortverhältnissen u. a. die Wildproblematik und die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zu berücksichtigen. Kurzfristig gilt es hierbei, durch Schadorganismen gefährdete Waldzustände zu erhalten und nicht dem Gradationsgeschehen ohne Gegenmaßnahmen zu überlassen.

Als Reaktion auf den Klimawandel ist es notwendig, die Maßnahmen im Waldschutz zur Vorbeugung, Kontrolle sowie Regulierung von Schadorganismen in Zukunft aufrecht zu erhalten bzw. anzupassen. Dabei kann auf Grund noch fehlender Alternativen bei biologischen und biotechnischen Verfahren nicht auf Maßnahmen zur Regulation bestandesbedrohender Waldschädlinge, vorläufig auch mittels chemischer Präparate, verzichtet werden. In der Konsequenz werden für die Zukunft verschiedene integrierte Pflanzenschutzmaßnahmen immer notwendiger.

Das gemeinsame Ziel, die Risiken und die Auswirkungen bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auf den Naturhaushalt zu verringern, insbesondere den Verlust an biologischer Vielfalt einzudämmen, ist u. a. Bestandteil des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz - NAP (BMEL/BLE 2020). Für die Umsetzung integrierter Pflanzenschutzmaßnahmen ist die Erarbeitung und Anerkennung sektor- und kulturpflanzen-spezifischer Leitlinien wichtig, welche vor allem die Arbeit der Waldschutzpraxis und Waldschutzberatung unterstützen soll. Für die Erreichung dieser und weiterer Ziele ist eine angewandte Forschung in enger Verknüpfung mit Partnern aus Forstpraxis und Forstberatung ausschlaggebend, die das erworbene Wissen aufnehmen und mittelbar oder unmittelbar einem Nutzungsbereich zuführen kann. Dementsprechend bearbeitete das Verbundvorhaben RiMa-Wald aktuelle und praxisbezogene Themen für den integrierten Pflanzenschutz im Forst mit folgenden Zielen:

- I. Identifikation ökosystemarer Belastungen für Nichtzielorganismen a) bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen im Kronenraum von Wäldern sowie b) bei großflächigen Fraßereignissen forstschädlicher Insekten infolge einer Massenvermehrung.
- II. Erstellung einer sektorspezifischen Leitlinie für den integrierten Pflanzenschutz in der Forstwirtschaft sowie die Umsetzung bewährter Praktiken und alternative Methoden in Demonstrationsbetrieben, als unterstützendes Instrument für Waldschutzpraxis und Waldschutzberatung.
- III. Erarbeitung einer am NAP angepassten Pflanzenschutzstrategie im Forst und Suche nach alternativen Pflanzenschutzmitteln bzw. -wirkstoffen, um die Mittelverfügbarkeit kurz- bis mittelfristig zu optimieren.

Auf Grundlage der im Verbundvorhaben erfolgten Zustandsanalyse soll es zukünftig möglich werden, gegenwärtige Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln zu bewerten, Ansätze für Risikominderungsmaßnahmen zu erarbeiten sowie weitere Waldschutzmaßnahmen zur Sicherung der Stabilität und Vitalität der Waldökosysteme abzuleiten. Gleichzeitig wurde mittels einer Servicestelle die Verfügbarkeit von Wirkstoffen und Präparaten identifiziert, um den Waldschutz kurz- bis mittelfristig handlungsfähig zu erhalten.

Literatur: BECK, W. (2010): Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf den Waldzustand in Deutschland, waldwachstumskundliche Ergebnisse der Studie im Auftrag des BMEL, DVFFA, Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2010 • JANDL, R., T. GSCHWANTNER, N. ZIMMERMANN (2012): Die künftige Verbreitung der Baumarten im Simulationsmodell, BFW-Praxisinformation 30: 9 - 12 • KÖLLING, C. (2014): Wälder im Klimawandel: Die Forstwirtschaft muss sich anpassen, In: LOZÁN, J. L., GRASSL, H., KARBE, L. & G. JENDRITZKY (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, 2. Auflage, elektron. Veröffentlichung (Kap. 5.11) - www.klimawarnsignale.uni-hamburg.de. • RIEK, W., RUSS, A. (2014): Regionalisierung des Bodenwasserhaushalts für Klimaszenarien als Grundlage für die forstliche Planung, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 55: 18-28. • Internet: BMEL/BLE (2020): <https://www.nap-pflanzenschutz.de/ueber-den-aktionsplan/ziele/>.

1. Aufgabenstellung

Waldökologische Forschung

Ausgangspunkt der Forschung waren wissenschaftliche Untersuchungen zu den Störungen in Waldökosystemen, die natürlich - in Folge einer Massenvermehrung von Schadinsekten - oder auch anthropogen - durch die Ausbringung von Insektiziden zum Schutz von Waldbeständen bei Massenvermehrungen - verursacht werden. Hierbei standen unterschiedliche Waldökosysteme (Reinbestände der Kiefer und Eiche) im Vordergrund, die mit verschiedensten Freilandmethoden beprobt wurden. Fokussiert wurde auf die wesentlichen Ziele, Zusammenhänge quantitativ sichtbar zu machen und die Qualität der wissenschaftlichen Aussagen als nicht zufällig zu beweisen.

Die fehlende Definition von einheitlichen Standardmethoden (durch **European Food Safety Authority**) zur Bewertung von Auswirkungen auf die Biodiversität bedingt jedoch eine kritische Betrachtung der gewonnenen freilandökologischen Daten. Entsprechend ist die Variabilität der Verfahrensweisen in den Teilvorhaben zu erklären. Die in der Literatur (RUF & RÖMBKE 1996) benannten Standards, wie a) die Erfassung der unbeflussten Populationsdynamik der zu untersuchenden taxonomischen Gruppen vor und nach der Behandlung mit Insektiziden, b) die Realisierung langjähriger Untersuchungen, um zeitverzögerte Effekte und indirekte Wirkungen erkennen zu können sowie c) die Durchführung begleitender Rückstandsanalysen zur Aufklärung von Kausalitäten, fanden entsprechend Berücksichtigung. Jedoch ist die Erfassung der Zoozönose in abgegrenzten Waldbeständen vor einer chemischen Waldschutzmaßnahme nicht umsetzbar, weil die Festlegung der Behandlungsflächen und -lokalitäten in Abhängigkeit von ihrer akuten Gefährdung während der sachgemäßen Planung zeitnah erfolgt. Weitere Lösungsansätze für eine konkretisierende Risikoabschätzung beinhalten vordringlich: a) die Identifizierung gefährdeter Arten auf Ziel- und Nichtzielflächen (Rote-Liste-Arten) und b) die Erarbeitung von Kenngrößen, um eine nachhaltige Schädigung von Populationen der Nichtzielorganismen beurteilen zu können (FORSTER et al. 1996).

Die Artenvielfalt, die nicht mit der Artenzahl gleichzusetzen ist, ist hierbei ein gutes Maß für die Beschreibung der Biodiversität in Wäldern. Eine Gewichtung der Artenvielfalt sollte die Spezialisierung oder die Gefährdung von Arten einbeziehen. Vor allem Rote-Liste-Arten sind an natürliche, extreme Standortbedingungen gebunden, die es zu erhalten und wiederherzustellen gilt (MÜLLER-KROEHLING 2013).

Unstrittig ist jedoch, dass ein Waldflächenverlust sehr viel größere ökologische Schäden und nachhaltige Veränderungen der Biozönose bewirkt, als temporäre Beeinträchtigungen der Abundanz auf einzelne taxonomische Gruppen der faunistischen Lebensgemeinschaft durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (WULF 1996). Unter Zustimmung dieser Aussage und aus Gründen der Verkehrssicherung wurden stark durch Fraß geschädigte Waldflächen, die sich zunehmend in der Bestandsauflösung befanden, nicht beprobt. Für die freilandökologischen Untersuchungen waren nur Waldflächen relevant, die sich in Regeneration befanden.

Die langjährigen Aufzeichnungen verschiedener Mitteleinsätze, die bei den zuständigen Länderbehörden vorhanden sind, geben die Möglichkeit, eine Reihe von Fragestellungen zu den langfristigen Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln zu bearbeiten. Durch den Vergleich befallener und nicht befallener Bestände (historisch behandelte bzw. nicht behandelte) können Faktoren identifiziert werden, die Massenvermehrungen phytophager Insektenarten begünstigen bzw. hemmen können (HENTSCHEL et al. 2018, WENNING et al. 2017). Die Kooperationspartner in den Ländern stellten die jeweils landes- und bestandsbezogenen Daten der Forsteinrichtung und der direkten Pflanzenschutzmaßnahmen zur Verfügung und unterstützten deren Auswertung.

Für die Determination des Arthropodenspektrums wurden z. T. verschiedene externe Spezialisten gewonnen.

Ihre Unterstützung und praktischen Erfahrungen waren im höchsten Maße wichtig, für die Bestimmung der Tiere bis auf Artniveau und für die Interpretation der Fangdaten. Parallel zur morphologischen Bestimmung fanden im Teilvorhaben 1 Versuche zur DNA-Sequenzierung (DNA-Barcoding) statt. Derzeit erfolgt die weitere Optimierung eines Verfahrens der Non-Destruktiven DNA-Extraktion, ohne die Insekten zu zerstören und eine morphologische Bestimmung weiterhin zu ermöglichen. Exemplarisch wurde die Unterordnung der Brachycera (Fliegen) für die Bearbeitung ausgewählt, weil die benötigten Sequenzen größtenteils in der molekularbiologischen Datenbank „The Barcode of Life Data System – BOLD“ hinterlegt sind.

In den letzten Jahren haben sich neue Verfahren entwickelt, wie die Hochdurchsatz-Sequenzierung (Next-Generation Sequencing (NGS)), das im Teilvorhaben 3 Anwendung fand. Sie beruhen auf der Idee der massiven parallelen Sequenzierung von Millionen DNA-Fragmenten in nur einem einzigen Sequenzierlauf. Unter Berücksichtigung der Fragestellung und der Arbeitshypothesen im Teilvorhaben 3 wurde das Verfahren als geeignet eingestuft. Die Anforderungen an die Interpretation der Daten sind um ein Vielfaches erhöht, weil die Analyse der großen Datenmengen sehr aufwendig ist und eingeschränkte Aussagen zur Individuenabundanz von Arthropoden zulässt.

Teilvorhaben 1 und Teilvorhaben 2

Effekte von Insektizidmaßnahmen und natürlichen Störungen auf die Antagonistenfauna in Kiefernwäldern

In den Teilvorhaben 1 und 2 wurden Untersuchungen zu den direkten und den langfristigen Auswirkungen umgesetzt, die a) bei der Anwendung von Insektiziden mit Luftfahrzeugen und b) bei Massenvermehrungen infolge des starken Nadelfraßes freifressender Schmetterlings- oder Blattwespenlarven verursacht werden. Im Fokus standen sowohl verschiedene Gruppen der Arthropodenzönose als auch die Avifauna, insbesondere der in Nistkästen brütenden Singvögel. Während die direkten Effekte den Zustand unmittelbar nach einer Insektizid-Anwendung bzw. während der Gradation bis zum 3. Jahr danach betrachtet, beschreiben die langfristigen Effekte die Situation ab dem 3. bis 5. Jahr nach einer Applikation bzw. Massenvermehrung. Für die Aufklärung von Kausalitäten sowie zur Überprüfung der Auswirkungen bestehender Anwendungsbestimmungen und Auflagen bei der Ausbringung von Insektiziden mit Luftfahrzeugen sind begleitende Analysen zur ökologischen Chemie und zur direkten Abdrift sowie zur Exposition durchgeführt worden. Die gewählte Modellregion war das Land Brandenburg.

Für die Untersuchungen direkter Effekte war eine aktuelle Massenvermehrung der an Kiefer relevanten Forstschädlinge Voraussetzung. So verbleiben z. B. die Nonne (*Lymantria monacha* (Linnaeus, 1758)) und der Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* (Linnaeus, 1758)) jahre- oder jahrzehntelang auf einem niedrigen Populationsdichteniveau (Latenzphase), bevor sie innerhalb weniger Generationen eine Massenvermehrung mit Kahlfraß aufbauen können. Ebenfalls orientiert sich die Zusammensetzung und die Populationsgröße der Feinde (Prädatoren, Parasitoiden) an der Beutepopulation bzw. folgt dem Schädling mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung (ALTENKIRCH et al. 2002, BEGON et al. 1998). Ebenfalls wichtig war die Einhaltung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis, welche die Ausbringung von Insektiziden nur zur Abwehr von Schadorganismen rechtfertigt. Hierbei wurde auf der Grundlage spezifischer Monitoring- und Prognoseverfahren die Überschreitung entsprechender Schadschwellen nachgewiesen, die eine Anwendung von Insektiziden zum Erhalt der betroffenen Waldbestände notwendig machten.

Grundsätzlich erfolgte die Umsetzung mit klassischen Versuchsaufbauten und der Nutzung etablierter Methoden, um auch die Vergleichbarkeit mit anderen Freilandstudien zu gewährleisten. Zur Aufnahme des IST-Zustandes ausgewählter Versuchsflächen werden Langzeitdaten früherer Begleituntersuchungen des Landeskompentenzentrum Forst Eberswalde (LFE) auf etablierten Untersuchungsflächen hinzugezogen.

Folgende Arbeitsziele standen im Fokus:

- (1) Identifizierung der direkten und langfristigen Auswirkungen von Insektiziden sowie von Fraßereignissen forstschädlicher Insekten in Kiefernwäldern auf die Antagonistenzönose.
- (2) Beurteilung des Verbleibs bzw. der Bioverfügbarkeit angewandter Insektizide in Umweltkompartimenten durch Methoden der ökologischen Chemie (betrifft die Bestimmung der Wirkstoffkonzentration im Boden, in Pflanzenteilen und in abgetöteten Schadinsekten bzw. Nichtzielorganismen).
- (3) Messung der direkten Abdrift und der Exposition am Waldboden bei der Ausbringung von Insektiziden mit Luftfahrzeugen (direkte Abdrift = Anteil der ausgebrachten Wirkstoffmenge, die während der Applikation über die zu behandelnde Fläche durch Luftbewegungen hinausgetragen wird).

- (4) Erarbeitung einer Datengrundlage für Risikominderungsmaßnahmen und für eine Risiko-Nutzen-Analyse im Pflanzenschutz für Luftfahrzeugeinsätze.

Teilvorhaben 3

Auswirkungen von Insektizidmaßnahmen auf die Arthropodendiversität und trophische Interaktionen in Eichenwäldern

Im Teilvorhaben 3 wurden vergleichende waldökologische Untersuchungen in Eichenwäldern durchgeführt. Die Untersuchungen fokussierten auf ausgewählte Arten der Makrolepidopterenfauna und deren Antagonisten sowie der Bodenfauna (insbesondere Makro- und Mesofauna). Im Fokus der Untersuchungen stand der Einzelbaum, als Teil des Waldökosystems. Neben der Aufnahme u. a. des unmittelbaren Totenfalls an Nichtzielorganismen bei Insektizideinsätzen, wurden die Blattminierer als indirekt betroffene Phytophage näher untersucht. Ferner konzentrierten sich die Erhebungen auf die praxisrelevante Applikationsmethode des Hubschraubereinsatzes sowie zusätzlich auf die Drohnen-Anwendung und das „Fogging“ (Vernebelung) - als eine bei Biodiversitätsuntersuchungen ebenfalls häufig verwendete Methode.

Für die Untersuchungen direkter Effekte waren ebenfalls aktuelle Massenvermehrungen der an Eiche relevanten Forstschädlinge (Schwammspinner, Eichenprozessionsspinner) Voraussetzung. Die Zeiträume in denen Gradationen auftreten, unterliegen zeitlichen Schwankungen und der Ursachenkette zwischen Trockenheit (führt zur Erhöhung der Nahrungsqualität der Blätter), Wärme und Licht (bieten günstige Entwicklungsbedingungen für das Insekt) (SCHWENKE 1978). Nach der Massenvermehrung in 2010 befindet sich der Schwammspinner (*Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758)) seit 2018 wieder vermehrt im Massenwechsel in weiten Teilen Frankens (LEMME, LOBINGER & MÜLLER-KROEHLING 2019).

Folgende Arbeitsziele standen im Fokus:

- (1) Identifizierung direkter Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteleinsätzen auf die Biodiversität (Makrolepidopteren und deren Antagonisten, edaphische Bodenfauna) und trophische Interaktionen in Eichenwäldern.
- (2) Erarbeitung einer Datengrundlage für Risikominderungsmaßnahmen und für eine Risiko-Nutzen-Analyse im Pflanzenschutz für Luftfahrzeugeinsätze.

Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutz

Die Kombination verschiedener Pflanzenschutzverfahren wird allgemein als die beste Möglichkeit angesehen, um Kulturpflanzen und Pflanzenerzeugnisse vor erheblichen biotischen und nichtparasitären Beeinträchtigungen zu schützen und um zugleich nachteilige Auswirkungen der Maßnahmen auf die menschliche Gesundheit und den Naturhaushalt weitgehend vermeiden zu können. Wichtige Instrumente sind u. a. die Vorsorge bei Produktionsrisiken, die Bevorzugung wirksamer und nicht-chemischer Maßnahmen sowie die Anwendung chemischer Mittel ausschließlich als letzte Möglichkeit. Der integrierte Pflanzenschutz wird in der Legaldefinition (nach § 3 PflSchG) beschrieben als „*die Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Maßnahmen auf das notwendige Maß beschränkt wird*“. Einen EU-weiten Rahmen für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden schaffen die acht allgemeinen Grundsätze des Anhangs III der europäischen Pflanzenschutz-Rahmenrichtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009. Die Grundsätze sind von jedem beruflichen Verwender von Pflanzenschutzmitteln einzuhalten. Um sie operational zu gestalten, müssen sie zunächst konkretisiert und erläutert werden. Der NAP sieht vor, dass dazu Leitlinien als detaillierte Umsetzungen für wichtige Kulturpflanzen oder einzelne Sektoren der Landnutzung erstellt werden (NAP 2013).

Anforderungen an Leitlinien sind gemäß NAP die Beschreibung verfügbarer Pflanzenschutzverfahren in Anlehnung an den Stand von Wissenschaft und Technik. Außerdem sollen bestehende Verfahrensdefizite aufgezeigt und Weiterentwicklungen unterstützt werden. Im Kriterienkatalog zur Bewertung von Leitlinien des Wissenschaftlichen Beirats beim NAP (Juli 2016) finden sich weitere Erläuterungen. Demnach sollen Leitlinien die Vorbeugungs- und Bekämpfungsstrategien vollständig beschreiben und den Anwender zur Umsetzung der besten verfügbaren Praxis motivieren. Für die sektorspezifische Leitlinie im Forst war die Berücksichtigung verschiedener Besonderheiten wichtig, wie:

- a) die Multifunktionalität des Waldes (die verschiedene Zielkonflikte birgt),
- b) die vergleichsweise langen Produktionszeiträume, die einerseits kulturtechnische Möglichkeiten sehr begrenzen und andererseits zu nachhaltigen Lösungen motivieren sowie

- c) regional unterschiedliche ökologische Bedingungen und verschiedene betriebliche Strukturen, die untereinander standörtlich bzw. historisch bedingt voneinander abweichen.

Insbesondere zu Maßnahmen des Waldbaus, der Holzvermarktung und zur Bereitstellung besonderer Ökosystemleistungen weist der Waldschutz inhaltlich enge Beziehungen auf. Die Ziele der verschiedenen forstlichen Fachgebiete unterstützen oder ergänzen die Risikovermeidung. Zur Erstellung umsetzbarer Lösungen bestand die Notwendigkeit zur fachlichen Abstimmung der Leitlinie unter verschiedenen forstlichen Akteuren. Um eventuell abweichende Interessen ausgewogen und waldschutzfachlich angemessen zu berücksichtigen, musste eine abgestufte, aufeinander aufbauende Beteiligung der wichtigsten Akteure erfolgen. Die fachliche Grundlage sollten zunächst die Waldschutzexperten der Länder schaffen. Anschließend konnten die Anforderungen anderer Fachdisziplinen und forstlicher Interessengruppen eingebunden werden.

Teilvorhaben 4

Erstellung bundeseinheitlicher Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz und Demonstration der Verfahren in Beispielbetrieben

Ziel des Teilvorhabens 4 war die Erstellung einer bundesweiten sektorspezifischen Leitlinie für den integrierten Pflanzenschutz (IPS) in der Forstwirtschaft, als eine Maßnahme zur Vermeidung oder Verminderung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmittelanwendungen auf die menschliche Gesundheit und den Naturhaushalt. Mittels Beispielbetrieben sollten geeignete Pflanzenschutzverfahren einem Fachpublikum und der interessierten Öffentlichkeit demonstriert und zusätzlich über die Erarbeitung einer Bewertungsmethode für die Umsetzung der sektorspezifischen Leitlinie in den Beispielbetrieben beurteilt werden. Darüber hinaus wurden ökologische Begleituntersuchungen von Pflanzenschutzmaßnahmen im Forst durchgeführt.

Die Waldbesitzer, Leiter von Forstbetrieben, Forstwirte, Forstunternehmer und Waldschutzberater, die unmittelbar für den Pflanzenschutz in der Forstwirtschaft verantwortlich sind, sollen durch die Leitlinie darüber informiert werden, wie sie betriebliche Handlungsspielräume nutzen können, um nachteilige Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln für sich selbst, für unbeteiligte Dritte und für die natürlichen Lebensgrundlagen möglichst auszuschließen. Die zu erarbeitende Leitlinie soll die Vorsorge vor Waldschäden, den Vorrang wirksamer nicht-chemischer Abwehr- und Bekämpfungsverfahren und die Begrenzung chemischer Pflanzenschutzmittel auf ein notwendiges Maß in den Mittelpunkt des betrieblichen Managements stellen. Es soll ein Beitrag zum Verständnis dafür geleistet werden, dass integrierter Waldschutz nicht allein wirtschaftlich günstig, sondern auch ökologisch und sozial tragbar ist.

Das Arbeitsziel für das Teilvorhaben war, die sektorspezifische Leitlinie als finale Vorlage zu erstellen und bundesweit mit wichtigen Vertretern der Forstwirtschaft abzustimmen, um die Anerkennung und Aufnahme in den Anhang des NAP bei dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) zu beantragen. Eine bundesweite Implementierung der sektorspezifischen Leitlinie könnte so als maßgeblicher Ratgeber für den praktischen Waldschutz dienen. Das Anerkennungsverfahren wird außerhalb des Projektzeitraumes durchgeführt.

Folgende Arbeitsziele standen im Fokus:

- (1) Erarbeitung einer sektorspezifischen Leitlinie zum integrierten Pflanzenschutz im Forst und deren Vorlage im Anerkennungsverfahren zur Aufnahme in den NAP.
- (2) Betreuung der Beispielbetriebe und Beratung zum Störungsmanagement (Etablierung von Maßnahmen zur Vermeidung von Produktions- und Anwendungsrisiken, Implementierung neuartiger Verfahren für den integrierten PS (z. B. digitales Waldschutzmeldewesen und Regulation des Buchdruckers mit Fangsystemen).
- (3) Entwicklung eines Online-Fragebogens zur Bewertung der Umsetzung von integrierten Pflanzenschutzmaßnahmen im Forst bzw. der sektorspezifischen Leitlinie in den Demonstrationsbetrieben.
- (4) Durchführung und Auswertung ökologischer Begleituntersuchungen am Beispiel der Abwehr von Borkenkäferschäden durch das System TriNet P.

Teilvorhaben 5

Verbesserung der Pflanzenschutzmittelverfügbarkeit im Forst

Die aktuellen Handlungsoptionen der zuständigen Fachbehörden der Länder bei waldbedrohenden Massenvermehrungen direkte Waldschutzmaßnahmen u. a. gegen freifressende Schmetterlingslarven durchzuführen,

sind kurzfristig verbessert worden. Aus langfristiger Sicht sind im Waldschutz jedoch gravierende Indikationslücken entstanden, die u. a. nur durch die Beantragung von Zulassungen für geeignete Pflanzenschutzmittel geschlossen werden können. Es fehlen Wirkstoffe und Präparate für einzelne Schadorganismen in den jeweiligen Anwendungsbereichen, wie Insektizide, Fungizide, Rodentizide. Daher werden konsequente Lösungen zum Schließen der Lücken im Pflanzenschutz angestrebt. Sowohl der Walderhalt als auch der Waldumbau werden beeinträchtigt, falls es nicht gelingen sollte kurz- bis mittelfristig praxisgerechte Lösungen für einen integrierten Pflanzenschutz bereit zu stellen.

Die Servicestelle hat die Arbeiten der Unterarbeitsgruppe Forst der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Lückenindikationen (BLAG-LÜCK), maßgeblich unterstützt. Mittels intensiver Recherchen konnten nützliche Daten gewonnen werden, die zum Schließen von Lücken bei Indikationen im Forst beitragen werden. Vorhandene Lösungen in den europäischen Mitgliedsstaaten und weltweit konnten aufbereitet, Ergebnisse aktueller nationaler und internationaler Forschungsstudien auf ihre Eignung zur Schließung von Lücken im Pflanzenschutz Forst analysiert werden. Im Fokus standen auch nicht-chemische Verfahren. Des Weiteren ist es gelungen, dass die Servicestelle die fachgerechte Antragsstellung und Bearbeitung offener Anwendungsgebiete im Forst übernehmen konnte. Neben der Dokumentation bzw. Auswertung bisherigen Wissens und aktueller Entwicklungen bezüglich der Zulassung bzw. Genehmigung von PSM, gehört langfristig die Erarbeitung einer Pflanzenschutzstrategie für den Forst zu den Schwerpunktthemen.

Folgende Arbeitsziele standen im Fokus:

- (1) Unterstützung der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Lückenindikation (BLAG LÜCK).
- (2) Betreuung der Antragserstellung nach Artikel 51 der EU-VO 1107/2009 „Ausweitung des Geltungsbereichs von Zulassungen von Pflanzenschutzmitteln im Forst auf geringfügige Verwendungen“.
- (3) Durchführung nationaler und internationaler Recherchen: Abfragen und Bekanntmachungen zur Zulassungssituation bzw. zur Verfügbarkeit, Identität von Pflanzenschutzmitteln und Wirkstoffen in EU-Ländern sowie Erhebungen zu aktuellen Forschungsstudien im Bereich Pflanzenschutz.
- (4) Abstimmungsgespräche u. a. mit Forstverbänden, Zulassungsinhabern bzw. Herstellerfirmen von Pflanzenschutzmitteln, Pflanzenschutzdiensten der Länder sowie den Bewertungsbehörden nach Pflanzenschutzrecht (BVL, JKI, BfR).
- (5) Dokumentation der Vorgänge und Aufbau/Aktualisierung einer Datenbank zum integrierten Pflanzenschutz im Forst.

Literatur: ALTENKIRCH, W., C. MAJUNKE, B. OHNESORGE (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage, Eugen-Ulmer GmbH & Co KG, Stuttgart, 434 S. • BEGON, A. E., J. L. HARPER & C. R. TOWNSEND (1998): Ökologie. Spektrum Akademischer Verlag; Auflage: 1, 774 S. • FORSTER, R., H. HEIMBACH, C. KULA, P. ZWARGER (1996): Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nichtzielorganismen: Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 48: 275-279. • HENTSCHEL, R.; MÖLLER, K.; WENNING, A.; DEGENHARDT, A.; SCHRÖDER, J. (2018): Importance of Ecological Variables in Explaining Population Dynamics of Three Important Pine Pest Insects. *Front. Plant Sci.* 9: 1667; <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01667> • LEMME, H., G. LOBINGER, S. MÜLLER-KROEHLING (2019): Schwammspinner-Massenvermehrung in Franken: Prognose, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Naturschutzaspekte., LWF aktuell 121: 37-43. • MÜLLER-KROEHLING, S. (2013): Biodiversitätskriterien für Nachhaltigkeit im Wald. LWF Wissen 72: 59-71. • RUF, A., J. RÖMBKE (1996): Erste Ergebnisse einer Untersuchung zur Wirkung von Dimilin und B.t.k. auf die Bodenfauna und Streuabbau. In: WULF, A., BERENDES, K.-H. (1996): Massenvermehrungen von Forstschmetterlingen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 322: 175-186. • SCHWENKE, W. (1978): Die Forstschädlinge Europas – Bd. 3: Schmetterlinge, Paul Parey, Hamburg, Berlin 467 S. • WENNING, A.; HENTSCHEL, R.; SCHRÖDER, J.; MÖLLER, K. (2017): Datenfriedhof oder Schatzkammer? Nutzungsmöglichkeiten umfassender Waldschutz-Datenbestände für ausgewählte Großschädlinge in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 64: 65-72. • WULF, A. (1996): Resümee aktueller Erkenntnisse aus den jüngsten Schmetterlingskalamitäten im Forst In: WULF, A., BERENDES, K.-H. (1996): Massenvermehrungen von Forstschmetterlingen. Mitteilungen aus der BBA, 322: 239-241.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

Ausgangssituation

Die Wälder Mitteleuropas sind durch verschiedene Schaderreger gefährdet. Zu den bedeutendsten zählen neben den rindenbrütenden Borkenkäfern an Fichte u. a. blatt- und nadelfressende Schmetterlings- und Blattwespenlarven, die häufig große Massenvermehrungen entwickeln können (u. a. ALTENKIRCH et al. 2002, MÖLLER 2009). Häufig gefährdet sind u. a. die Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris*) sowie die Trauben- und Stieleiche (*Quercus petraea*, *Q. robur*), (Tab. I 2-1), die eine bedeutende Rolle im Klimawandel haben.

An der Baumart Eiche haben die Schäden im letzten Jahrzehnt stetig zugenommen (DELB 2012, MÖLLER 2010, WOHLGEMUTH et al. 2019), ausgehend von Gradationen vor allem des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea* (Linnaeus, 1758), EPS) oder des Schwammspinners (*Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758)), (DELB et al. 2019, LEMME et al. 2019). Der massive Blattfraß der Schmetterlingslarven

führt zu Vitalitätsverlusten bis hin zur Auflösung von Eichenwäldern. Ursache hierfür ist die Kombination aus jährlich wiederholt auftretendem Kahlfraß, der nachfolgende Mehltaubefall an Regenerations- und Johannis-trieben sowie Witterungsextreme (Dürre oder Spätfrost). Zusätzlich werden Sekundärschädlinge, wie der Eichenprachtkäfer begünstigt. Durch das Zusammenwirken verschiedener Schadfaktoren wird das sogenannte „Eichensterben“ als Komplexerkrankung eingestuft (u. a. FÜHRER 1990, BRESSEM et al. 2013, LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW 2015).

Tab. I 2-1: Waldschutzsituation von 2014/15 bis 2018/19, unter Angabe der insgesamt gefährdeten Waldfläche durch ausgewählte Forstinsekten an Eiche und Kiefer

(Zusammenstellung der Meldungen in der Fachzeitschrift AFZ-Der Wald, Nr. 7: Waldschutzsituation in den Bundesländern der Jahre 2014 bis 2018, die Angaben (ca.) beziehen sich nicht auf die Ausbringung von Insektiziden mit Luftfahrzeugen)

Waldschutz-jahr	Bundesland	gefährdete Waldfläche [ha], Schadorganismen an Eiche		gefährdete Waldfläche [ha], Schadorganismen an Kiefer	
2014/2015	Sachsen	–		Nonne	800
	Niedersachsen	–		Kiefernspinner	132
	Brandenburg	EPS Eichenfraßgesellschaft	1.320 430	Kieferngroßschädlinge	11.200
2015/2016	Brandenburg	EPS	3.400	Kiefernspinner	530
	Meckl.-Vorpommern	Eichenfraßgesellschaft	609	Kiefernspanner	600
	Thüringen	–		Nonne	300
2016/2017	Niedersachsen	EPS	128	Buschhornblattwespen	3.000
	Hessen	Eichenfraßgesellschaft	388	–	
	Sachsen-Anhalt	EPS	555	Buschhornblattwespen	2.037
	Brandenburg	EPS	225	Buschhornblattwespen	30.000
2017/2018	Brandenburg	EPS	902	–	
	Niedersachsen	EPS	120	–	
	Hessen	EPS	135	–	
		Eichenfraßgesellschaft	166	–	
	Sachsen-Anhalt	Eichenfraßgesellschaft + EPS	1.198	–	
	Baden-Württemberg	EPS	440	–	
	Thüringen	Eichenfraßgesellschaft	500	–	
Meckl.-Vorpommern	Eichenfraßgesellschaft	198	–		
2018/2019	Baden-Württemberg	EPS	1.500	–	
	Bayern	Schwammspinner	1.700	–	
	Rheinland-Pfalz	EPS	600	–	
	Niedersachsen	Eichenfraßgesellschaft	690	–	
		EPS	470	–	
	Hessen	EPS	525	–	
	Sachsen-Anhalt	EPS	847	Kieferngroßschädlinge	1.560
		Eichenfraßgesellschaft	2.320		
Meckl.-Vorpommern	Eichenfraßgesellschaft	240	–		
Brandenburg	–		Kieferngroßschädlinge	3.800	

An der Baumart Kiefer können neben den Afterraupen der Kiefernbuschhornblattwespen, die Schmetterlings-larven des Kiefernspinners, der Forleule, des Kiefernspinners oder der Nonne existenzbedrohende Schäden verursachen (LANGSTRÖM et al. 2001, MÖLLER & ENGELMANN 2008, MENGE & PASTOWSKI 2016). Während einmalige Nadelverluste von bis zu 80 % - in Abhängigkeit von der Witterung und/oder dem Auftreten von Sekundärschädlingen - mit geringen Abgängen am Baumbestand verbunden sind, führen höhere Nadelverluste zu Bestandesauflösungen (WENK & MÖLLER 2013). Starker, ggf. wiederholter Raupenfraß und Kahlfraß gelten als kritisch und sollten im Interesse der Bestandeserhaltung verhindert werden.

Bedingt durch den fortschreitenden Klimawandel ist ein Anstieg von abiotischen (u. a. durch Dürre oder Sturmereignisse) und biotischen Störungen (z. B. durch Gradationen der Kieferngroßschädlinge) zu erwarten (HAYNES et al. 2014, MÖLLER et al. 2017). Vor allem gelten *Dendrolimus pini* (Linnaeus, 1758) und *Diprion pini* (Linnaeus, 1758) als Gewinner des Klimawandels – so werden sich die Verlängerung der Vegetationsperiode und die zunehmenden Lufttemperaturen bei gleichzeitig abnehmenden Niederschlagsmengen positiv auf die Entwicklungsbedingungen der genannten Schadinsekten auswirken (GRÄBER et al. 2012, HENTSCHEL et al. 2018). Für den Eichenprozessionsspinner und Schwammspinner wird ebenfalls ein Zusammenhang mit den sich ändernden Klimabedingungen vermutet (DELB et al. 2019, LEMME et al. 2019,

SCHRÖDER et al. 2016). Eine auf die Vermeidung von Schäden ausgerichtete Strategie wird in Zukunft durch das Ziel, die Regenerationsfähigkeit von Wäldern zu stärken, abgelöst. Steigende Unsicherheiten sollen mit der Erhöhung der Resilienz begegnet, die aktiv durch Waldbewirtschaftung beeinflusst werden können (SEIDL 2017).

Literatur: ALTENKIRCH, W., C. MAJUNKE, B. OHNESORGE (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage, Eugen-Ulmer GmbH & Co KG, Stuttgart, 434 S. • BRESSEM, U., G. LANGER, M. HABERMANN (2013): Anhaltende Belastungen und Schäden bei älteren Eichen, *AFZ-Der Wald* 19: 38-40. • DELB, H. (2012): Eichenschädlinge im Klimawandel in Südwestdeutschland, *FVA-Einblick* 2: 11-14. • DELB, H., P. HALBIG, G. SEITZ, E. WAGENHOFF (2019): Der Eichenprozessionsspinner als Profiteur des Klimawandels: Müssen Baum und Mensch mit dieser Gefahr leben?, *Jahrbuch der Baumpflege* 23 Jg.: 201-213. • FÜHRER (1996): Oak decline in Central Europe: A synopsis and Hypotheses. *Proceedings. Population Dynamics, Impacts and Integrated Management of Forest Defoliating Insects*. USDA Forest Service General Technical Report NE-247: 7-24. • GRÄBER, J., T. ZIESCHE, K. MÖLLER, R. KÄTZEL (2012): Gradationsverlauf der Kiefern-schadinsekten im Norddeutschen Tiefland. *AfZ-Der Wald* 9: 35-38. • HAYNES, K. J., A. J. ALLSTADT, D. KLIMETZEK (2014): Forest defoliator outbreaks under climate change: effects on the frequency and severity of outbreaks of five pine insect pests. *Global Change Biology* 20: 2004–2018, doi: 10.1111/gcb.12506. • HENTSCHEL, R.; MÖLLER, K.; WENNING, A.; DEGENHARDT, A.; SCHRÖDER, J. (2018): Importance of Ecological Variables in Explaining Population Dynamics of Three Important Pine Pest Insects. *Front. Plant Sci.* 9: 1667; <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01667> • LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW (2015): Waldschutz im Klimawandel/Wie bleiben unsere Wälder vital?, becker Druck, Arnsberg, 3. Auflage, 202 S. • LANGSTRÖM, B., A. ERKKI, C. HELLQVIST, M. VARAMA, P. NIEMELÄ (2001): Tree mortality, needle biomass recovery and growth losses in scots pine following defoliation by *Diprion pini* (L.) and subsequent attack by *Tomicus piniperda* (L.). *Scand. J. For. Res.* 16: 342-353 • LEMME, H., G. LOBINGER, S. MÜLLER-KROEHLING (2019): Schwamm-spinner-Massenvermehrung in Franken: Prognose, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Naturschutzaspekte., *LWF aktuell* 121: 37-43. • MÖLLER, K., A. ENGELMANN (2008): Die aktuelle Massenvermehrung des Kiefernspinners, *Dendrolimus pini* (Lep., Lasiocampidae) in Brandenburg, *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie* 16: 243-246. • MENGE, A., F. PASTOWSKI (2016): Kiefern-naturverjüngung und Kahlfraß durch Kiefernspinner, *AFZ-Der Wald* 15: 35-37. • MÖLLER, K. (2009): Aktuelle Waldschutzprobleme und Risikomanagement in Brandenburgs Wäldern, *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 42: 63-72. • MÖLLER, K. (2010): Wem schadet der Eichenprozessionsspinner – Wer muss handeln? Argumente für die aktuelle Waldschutzstrategie. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 44: 71-81. • MÖLLER, K., R. HENTSCHEL, A. WENNING, J. SCHRÖDER (2017): Improved Outbreak Prediction for Common Pine Sawfly (*Diprion pini* L.) by Analyzing Floating ‘Climatic Windows’ as Keys for Changes in Voltinism, *Forests* 8: 319, doi:10.3390/f8090319 • SCHRÖDER, J.; WENNING, A.; HENTSCHEL, R.; MÖLLER, K. (2016): Rückkehr eines Provokateurs: Was steuert die Ausbreitungsdynamik des Eichenprozessionspinners in Brandenburg? *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* Band 62: 77-88. • SEIDL, R. (2017): Resilienz im Waldmanagement, *Forstzeitung* 07: 10-11. • WENK, M., K. MÖLLER (2013): Prognose Bestandesgefährdung – Bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände?, *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 51: 9-14. • WOHLGEMUTH, T., A. JENTSCH, R. SEIDL (2019): *Störungsökologie*, Haupt-Verlag Bern, 396 S.

Risikovorsorge mittels Waldumbau

Ausgehend von den Herausforderungen des Klimawandels und der aktuellen Waldzustandssituation wurde u. a. die Forderung - Waldumbaumaßnahmen zur Erhöhung der Stabilität der Wälder stärker zu forcieren - erneut mit Nachdruck an die Forstwirtschaft adressiert. Ebenso sind Resilienz fördernde Ansätze im Waldmanagement erforderlich (SEIDL 2017).

Der Prozess des ökologischen Waldumbaus ist wichtig, um dominierende Nadelbaum-Reinbestände der Kiefer oder Fichte in naturnähere bzw. naturnahe Mischwälder umzugestalten (FRITZ 2006). Diese großflächigen Nadelbaum-Reinbestände sind im Zuge des Klimawandels durch Wassermangel und extreme Witterungseignisse betroffen, die gleichzeitig die Anfälligkeit gegenüber Schadorganismen weiter erhöhen wird. Mit dem Aufbau stabiler Mischwälder wird dieses Risiko wesentlich verringert (MAJUNKE et al. 2005, ROES et al. 2004).

Waldumbau ist eine Generationenaufgabe und wird seit fast 30 Jahren als wichtiges Ziel der Forstpolitik des Bundes und der Länder - als Bestandteil der Waldbaurichtlinien vieler Landesforsten sowie über staatliche Fördermittel für den Nichtstaatswald - umgesetzt (BMEL/BLE 2020). Standortgerechte Waldumbaumaßnahmen erfordern jedoch eine räumlich-zeitliche Differenzierung nach der verfügbaren Altersstruktur und den standortspezifischen Eigenschaften (STÄHR 2007). Am Beispiel der Baumart Kiefer im nordostdeutschen Tiefland bestätigte die landesweite Waldinventur gute Erfolge des aktiven Waldumbaus. Im Land Brandenburg ist die Waldstruktur vor allem durch umfangreiche Wiederaufforstungsmaßnahmen nach dem Zweiten Weltkrieg geprägt. Von 1990 bis 2014 wurden dort mittels Saat, natürlicher Verjüngung oder Pflanzung 75.000 ha Kiefernwald mit Laubholzarten angereichert (MLUL 2015). Insbesondere wurde der Umbau von ≥ 80 -jährigen, einschichtigen Kiefern-Reinbeständen (auf Standorten der Nährkraftstufe „Z“ - ziemlich arm und „M“ - mäßig nährstoffhaltig im mäßig trockenen bzw. trockenen Tieflandklima) in eichendominierte Mischwälder als Ziel formuliert (SCHRÖDER & BECK 2009, STÄHR 2018). Für die Umsetzung werden Bewirtschaftungskonzepte zur Förderung von Mischbaumarten (z. B. der Trauben- oder Stiel-Eiche über Pflanzung, der Rot-Eiche oder Gemeinen Birke über die natürliche Verjüngung) erarbeitet, um die Großflächigkeit und Strukturarmut in Kieferngebieten zu verringern (STÄHR 2018). Hierbei ist es wichtig die Risiken für den Oberbestand bzw. die Risiken der jeweiligen Mischungsbaumart im Blick zu behalten, um die waldbauliche Zielstellung zu erreichen. Grundsätzlich wird jedoch die Wasserverfügbarkeit der Standorte einen Waldumbau der Kiefern-Reinbestände in Mischbestände limitieren.

Dennoch wird die robuste Nadelbaumart Kiefer eine Haupt-Mischbaumart für die Forstwirtschaft im Klimawandel bleiben. Besonders unter den niederschlagsarmen, sommerwarmen Klimabedingungen ist auf armen bis mittelmäßig nährstoffversorgten Sandböden auch zukünftig vorrangig mit dieser Baumart zu wirtschaften (GREGER 2016). Dort besitzt die Kiefer eine hohe Plastizität gegenüber klimatischen Veränderungen und bietet Lebensräume für gefährdete sowie Trockenheit und Wärme liebende Arthropodenarten, deren Vorkommen an diese Standorte gebunden sind (FRITZ 2006).

Für die gegenwärtig labilen Eichen-Reinbestände wird unter den vorhandenen Klimabedingungen ebenfalls die Umwandlung in Mischwälder, mit standörtlich geeigneten Baumarten, in Erwägung gezogen. Ebenfalls bieten sich die Eichen als Mischungselement innerhalb ihres klimatischen Bereiches an (KÖLLING 2012). Nur die verstärkte Förderung der Eiche, ermöglicht in Zukunft ihre Erhaltung in heimischen Wäldern (MOSANDL & ABT 2016), gleichwohl auch die biotischen Risiken bestehen bleiben bzw. neue Herausforderungen im Waldschutz hinzukommen werden.

Literatur: FRITZ, P. (2006): Ökologischer Waldumbau in Deutschland, oekom verlag, München, 352 S. • GREGER, O. (2016): Grundlagen der Kiefernwirtschaft für die Waldbaupraxis, AFZ-Der Wald 15: 27-30. • KÖLLING, C. (2012): Muss es immer Eiche sein? Baumartenalternativen für warm-trockene Regionen, LWF-aktuell 88: 28-30. • MAJUNKE, C., F. DREGER, U. SCHULZ, M. RÖS, F. TORKLER (2005): Zur Bedeutung des Waldumbaus für die Erhöhung von Biodiversität und der Selbstregulation - Potenziale in kiefern-dominierten Waldbeständen, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band XXIII: 121-138. • MLUL BRANDENBURG (2015): Wälder Brandenburgs, Ergebnisse der ersten landesweiten Waldinventur, LGB Potsdam, 34. S. • MOSANDL, R., A. ABT (2016): Waldbauverfahren in Eichenwäldern gestern und heute, AFZ-Der Wald 20: 28-32. • RÖS, M.; SCHULZ, U.; MAJUNKE, C. (2004): GIS-gestützte Analyse einer Massenvermehrung der Forleule (*Panolis flammea*) in Kiefernforsten: Einfluss von Laubwaldnähe und Habitatfragmentierung. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent. 14: 253-256. • SCHRÖDER, J., W. BECK (2009): Risikoabschätzung durch witterungsbasierte Modelle für Eiche und Kiefer in Nordostdeutschland, DVFFA, Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2009 • STÄHR, F. (2007): Kiefernbestandeszieltypen und ihre standörtlichen Grundlagen, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band XXXII: 391-397 • STÄHR, F. (2018): Praxisnahe waldbauliche Langzeituntersuchungen als betriebliche Entscheidungshilfe – Fallbeispiel: Waldverjüngung mit Eiche., Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 65: 31-48. **Internet:** BMEL/ BLE (2020): [https://www.bundeswaldinventur-2012/lebensraum-wald-mehr-biologische-vielfalt-im-wald/laubbaumanteil-gestiegen/](https://www.bundeswaldinventur.de/dritte-bundeswaldinventur-2012/lebensraum-wald-mehr-biologische-vielfalt-im-wald/laubbaumanteil-gestiegen/). • BMEL/ BLE (2020): [https://www.bundeswaldinventur-2012/lebensraum-wald-mehr-biologische-vielfalt-im-wald/naturnaehe-der-baumarten-zusammensetzung-etwas-verbessert/](https://www.bundeswaldinventur.de/dritte-bundeswaldinventur-2012/lebensraum-wald-mehr-biologische-vielfalt-im-wald/naturnaehe-der-baumarten-zusammensetzung-etwas-verbessert/).

Begrenzung und Abwehr von Waldschäden

Die Notwendigkeit den Wald bei einer prognostizierten Existenzbedrohung zu schützen, rechtfertigt die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (LANGSTRÖM et al. 2001), wenn keine Alternativen der Schadensbegrenzung zur Verfügung stehen bzw. diese nicht ausreichen. Mit der Etablierung von Luftfahrzeugen wurde eine wichtige Applikationstechnik für den Forst geschaffen, um die bedeutenden Forstschädlinge direkt in der Baumkrone zu reduzieren und deren Waldschäden einzudämmen. Hierbei wird eine exakte, gleichmäßige Verteilung des Pflanzenschutzmittels gewährleistet, die mit einem bodengestützten Gerät nicht erzielt werden würde (ALTENKIRCH et al. 2002). Der Einsatz von Luftfahrzeugen ist in Deutschland an bestimmte Voraussetzungen und Genehmigungen sowie strengen Anwendungsbestimmungen und Auflagen gebunden. Grundsätzlich gilt, dass die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen ohne Genehmigung verboten ist. Eine Genehmigung kann gemäß § 18 Abs. 2 PflSchG nur erteilt werden, zur Bekämpfung von Schadorganismen a) im Weinbau in Steillagen oder b) im Kronenbereich von Wäldern. Zusätzliche Auflagen und Anwendungsbestimmungen im Sinne des § 18 Absatz 4 Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) werden ebenfalls von der zuständigen Managementbehörde erteilt (Tab. I 2-2).

In der Richtlinie 2009/128/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden (Artikel 9 (f)) ist festgeschrieben, dass „ab 2013 Luftfahrzeuge mit Ausrüstungen ausgestattet sein müssen, die die beste verfügbare Technologie zur Verringerung der Abdrift darstellen“. Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit hat als zuständige Managementbehörde spezielle Auflagen und Anwendungsbestimmungen erteilt, die im Falle der Luftausbringung gelten bzw. im Falle der Genehmigungen gemäß § 18 Absatz 3 Nr. 2 PflSchG zusätzlich bzw. abweichend gelten. Für Anwendungen im Forst, im Kronenbereich von Wäldern gilt: „Es dürfen nur Hubschrauber mit angebauter Sprühanlage, z. B. von den Herstellern Simplex oder Isolair, und Injektordüsen der Größe 05 verwendet werden“ (gemäß der JKI-Richtlinie 4-1.1 für die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen, 2014). Hierbei handelt es sich um ein Spritzverfahren (große Tropfengröße). Des Weiteren werden im Zulassungsverfahren von Pflanzenschutzmitteln Abdrifteckwerte benötigt, um die Auswirkungen auf Nichtzielorganismen bzw. auf die Gesundheit von Mensch und Tier bewerten zu können und Anwendungsbestimmungen sowie Auflagen für die Risikominimierung festzulegen.

Es ist bekannt, dass in verschiedenen EU-Ländern vorrangig Rotationszerstäuber (z. B. Micronair Atomizer) für die aviochemische Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln verwendet werden. Bei dieser Methode sind

„Ultra Low Volume“ - Anwendungen möglich, um die Präparate unverdünnt auszubringen. Es handelt sich hierbei um ein Sprühverfahren (sehr geringe Tropfengröße). Bezogen auf Deutschland, entspricht diese Applikationstechnik nicht der besten verfügbaren Technologie. Für ULV-Anwendungen liegen keine Abdrifteckwerte vor, um das Risiko für den Naturhaushalt sowie für den Gesundheitsbereich (Bystander, etc.) hinreichend sicher festlegen zu können. Für Luftfahrzeuganwendungen in Deutschland ist die Vorlage solcher Abdrifteckwerte zwingend erforderlich, weil durch die höhere Schwebefähigkeit der Tropfen die Gefahr der Abdrift deutlich ansteigt, verbunden mit einem höheren Risiko für den Naturhaushalt, aber auch für den Gesundheitsbereich.

Tab. I 2-2: Festgesetzte Anwendungsbestimmungen und Auflagen für ausgewählte Insektizide nach PflSchG zur Anwendung mit Luftfahrzeugen gegen freifressende Schmetterlingsraupen in Laub- und Nadelholz (Stand 2015 bis 2019)

(*Genehmigung nach §18 Abs. 3 Nr. 2 PflSchG mit Auflagen gemäß § 18 Absatz 4 PflSchG; ** Zulassung nach Artikel 51 Abs. 1 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 mit Auflagen gemäß § 36 Abs. 3 S. 1 PflSchG)

Insektizide	Dipel ES*	Mimic**	Karate Forst flüssig*
Wirkungssegment	biologisch	„biotechnisch“	synthetisch
NZ180 Applikationstechnik	Hubschrauber mit angebaute Sprühanlage, z. B. von den Herstellern Simplex oder Isolair, und Injektordüsen der Größe 05		
NT185 Abstand zum Bestandesrand	25 m + halbe Arbeitsbreite des Helikopters (erste Flugbahn)		
NW613 Abstand zu Oberflächengewässern	25 m + halbe Arbeitsbreite (erste Flugbahn)	25 m + halbe Arbeitsbreite (erste Flugbahn)	125 m + halbe Arbeitsbreite (erste Flugbahn)
NT1841 Anwendung des Pflanzenschutzmittels innerhalb einer zusammenhängenden Waldfläche	auf höchstens 50% der zusammenhängenden Waldfläche (Einbeziehung von Teilflächen möglich, wenn diese weniger als 100 m voneinander entfernt liegen) Ausnahmetatbestand: abweichend kann die Anwendung auf mehr als der Hälfte der zusammenhängenden Waldfläche erfolgen, wenn die zuständige Behörde bei der Genehmigung nach § 18 Absatz 2 PflSchG im Einzelfall auf der Grundlage eines rechtsverbindlichen, mit ausreichender Auflösung durchgeführten Erhebungsverfahrens festgestellt hat, dass auf mehr als der Hälfte der zusammenhängenden Waldfläche die entsprechenden Schadschwellen überschritten sind und eine Anwendung des Mittels zum Erhalt des Bestandes unbedingt erforderlich ist		
NT182 Anzahl von Behandlungen auf derselben Fläche im Zeitraum von 10 Jahren	max. 5	max. 3	max. 3
NT801 Anwendung in NSG (ab 2020 betrifft es auch die Anwendung in FFH-Gebieten)	keine Anwendung in Naturschutzgebieten Ausnahmetatbestand: abweichend kann im Einzelfall eine Anwendung in Naturschutzgebieten erfolgen, wenn die zuständige Behörde bei der Genehmigung nach § 18 Absatz 2 PflSchG in Abstimmung mit der zuständigen Naturschutzbehörde festgestellt hat, dass eine Behandlung zum Erhalt des Pflanzenbestandes im Sinne der Zweckbestimmung des Schutzgebietes unbedingt erforderlich ist		

Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen in Wäldern stellt ein nicht regelmäßig wiederholtes Verfahren dar, vielmehr ist es eine auf den einzelnen Waldbestand bezogene Ultima Ratio (MÖLLER et al. 2018). Derzeit bleibt der Einsatz von Luftfahrzeugen auf die Insektizide beschränkt. Basierend auf einer fachkundigen Begutachtung der Waldschutz-Dienststellen der Länder - die ein regelmäßiges, flächendeckendes und artspezifisches Monitoring mit bewährten Verfahren nutzen - erfolgt ein Abwägungsprozess unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte (BUB et al. 2006, MÖLLER & ENGELMANN 2008, 2014, MÖLLER et al. 2016, LEMME et al. 2019). Hierzu zählen u. a. die Bestimmung des günstigsten Behandlungszeitpunktes, die biologisch sinnvolle Bestimmung der Behandlungsfläche und die Auswahl des umweltschonendsten Präparates. Natürlich werden auch der Nutzen einer Pflanzenschutzmittelanwendung und die dadurch verursachten Risiken für den Naturhaushalt beurteilt. Bei chemischen Waldschutzmaßnahmen sind verschiedene Wirkungssegmente an Pflanzenschutzmitteln notwendig, die je nach Belaubbungszustand, Witterungsverlauf und Vitalität des Waldbestandes Anwendung finden. Hierzu gehören biologische Präparate, „biotechnische“ Stoffe (Häutungsbeschleuniger/-hemmer) und synthetische Insektizide (z. B. Pyrethroide), (Tab. I 2-3a).

Tab. I 2-3 a: Übersicht zur Wirkungsweise verfügbarer Insektizide (biologische Präparate) nach PflSchG für die Anwendung mit Luftfahrzeugen im Kronenraum der Wälder

(Stand 2019, Pflanzenschutzmittelverzeichnisse des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit; *Genehmigung nach §18 Abs. 3 Nr. 2 PflSchG; ** Zulassung nach Artikel 51 Abs. 1 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009)

PSM-Präparat	Wirkstoff	Schadorganismus	Zulassungsende	Wirkungssegment
XENTARI **	<i>Bacillus thuringiensis aizawai</i>	Freifressende Schmetterlingsraupen	30.04.2020	biologisch
DIPEL ES *	<i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i>	Freifressende Schmetterlingsraupen	31.12.2021	biologisch

Wirkungsweise: Fraßinsektizid
 Diese Insektizide besitzen eine entomopathogene Wirkung. Die Schmetterlingslarven nehmen das ungiftige Protoxin mit der Blattmasse auf, welches erst im Darm zur giftigen Toxinform umgewandelt wird. In Folge wird der Verdauungstrakt der Larven zerstört. Bei der Ausbringung des Präparates muss auf eine ausreichende Blattmasse und optimale Witterungsbedingungen geachtet werden. Es besteht eine selektive Wirkung, weil nur Larvenstadien das Protoxin mit der Nahrung aufnehmen können, daher werden Nützlinge in Wäldern überwiegend geschont. Allerdings können grundsätzlich auch Larven anderer Schmetterlingsfamilien als Nichtzielorganismen betroffen sein, vorausgesetzt diese treten zur selben Zeit wie der Schadschmetterling im Behandlungsareal auf. Weitere Anwendungsgebiete im Pflanzenschutz finden sich im Gemüse-, Obst- und Zierpflanzenbau sowie im Ackerbau oder im Biozidbereich zur Stechmückenbekämpfung.

Literatur: KRIEG, A. (1986): *Bacillus thuringiensis*, ein mikrobielles Insektizid – Grundlagen und Anwendungen, Paul Parey, Berlin, Hamburg, 191 S. • MANDERINO, R., T. O. CRIST, K. J. HAYNES (2014): Lepidoptera-specific insecticide used to suppress gypsy moth. *Agricultural and Forest Entomology* (2014), DOI: 10.1111/afe.12066 • HILL, T. A., R. E. FOSTER (2000): Effect of insecticides on the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), *J. Econ. Entomol.* 93(3): 763-768. • SCHMUTTERER, H., J. HUBER (2005): *Natürliche Schädlingsbekämpfungsmittel*, Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart, 263 S. **Internet:** BVL (2020): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel, <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>.

Tab. I 2-3 b: Übersicht zur Wirkungsweise verfügbarer Insektizide („biotechnische“ und synthetische Präparate) nach PflSchG für die Anwendung mit Luftfahrzeugen im Kronenraum der Wälder

(Stand 2019, Pflanzenschutzmittelverzeichnisse des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit; *Genehmigung nach §18 Abs. 3 Nr. 2 PflSchG; ** Zulassung nach Artikel 51 Abs. 1 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009)

PSM-Präparat	Wirkstoff	Schadorganismus	Zulassungsende	Wirkungssegment
DIMILIN 80 WG	Diflubenzuron	Frei- und Versteckfressende Schmetterlingsraupen sowie Blattwespen (Afterraupen)	31.12.2014	„biotechnisch“
MIMIC **	Tebufenozid	Freifressende Schmetterlingsraupen	31.05.2022	„biotechnisch“

Wirkungsweise: Fraßinsektizid
 Die Wirkungsweise des Häutungshemmers Dimilin 80 WG bzw. des Häutungsbeschleunigers Mimic erfolgt ebenfalls über den Blattfraß der Larven. Bei dem Häutungshemmer wird die Chitinsynthese blockiert, die letztendlich die Häutung der Larven verhindert. Die Wirkung setzt daher erst im Übergang zum nächsten Entwicklungsstadium ein, so dass kein sofortiger Fraßstopp erzielt werden kann. Das Präparat wirkt selektiv, weil sich häutende Entwicklungsstadien und nicht adulte Imagoalstadien betroffen sind. Zusätzlich ist eine ovizide Wirkung feststellbar, da die Chitin-Einlagerung in die Cuticula des Embryos verhindert wird. Mit wenigen Ausnahmen hat Diflubenzuron keine nennenswerte Toxizität auf Vertreter von Parasitoiden der Hymenoptera oder Diptera gezeigt. Das einst regulär im Forst zugelassene Produkt Dimilin 80 WG ist seit Zulassungsende und Aufbrauchfrist nicht mehr verfügbar.

Das Präparat Mimic, als Häutungsbeschleuniger, löst eine verfrühte Häutung von noch unreifen Larvenstadien aus. Ebenso wurde eine eingeschränkte Fortpflanzungsfähigkeit bei den Zielorganismen nachgewiesen. Es wirkt spezifisch auf Schmetterlingslarven. Auch hier gilt, dass grundsätzlich Larven anderer Schmetterlingsfamilien als Nichtzielorganismen betroffen sein können, vorausgesetzt diese treten zur selben Zeit wie der Schadschmetterling im Behandlungsareal auf. Weitere Anwendungsgebiete im Pflanzenschutz finden sich im Gemüse-, Obst- und Weinbau.

Literatur: BERESFORD L. C., R. D. SCHARBACH, R. E. KRAUSE, K. R. KNOWLES (2002), Evaluation of Tebufenozide Carry-Over and Residual Effects on Spruce Budworm (Lepidoptera: Tortricidae), *J. Econ. Entomol.* 95(3): 578-586. • CADOGANA, B. L., R. D. SCHARBACH, K. R. KNOWLES, R. E. KRAUSE (2005): Efficacy evaluation of a reduced dosage of tebufenozide applied aerially to control spruce budworm (*Choristoneura fumiferana*), *Crop Protection* 24: 557–563. • DHADIALLA, T. S., G. R. CARLSON, D. P. LE (1998): New insecticides with ecdysteroidal and juvenile hormone activity, *Annu. Rev. Entomol.* 43: 545–69. • LEGASPI J. C., J. V. FRENCH, B. C. LEGASPI, JR. (2000): Toxicity of novel and conventional insecticides to selected beneficial insects, *Subtropical Plant Science*, 52: 23-32. • PETERCORD, R., G. LOBINGER (2010): Dimilin – Bewertung eines Pflanzenschutzmittels zum Waldschutz, *LWF aktuell* 75: 49-53. • SMAGGHE, G., D. BYLEMANS, P. MEDINA, F. BUDIA, J. AVILLA, E. VIÑUELA (2004): Tebufenozide distorted codling moth larval growth and reproduction, and controlled field populations, *Ann. appl. Biol.* 145: 291-298. • SUN, X., B. A. BARRETT, D. J. BIDDINGER (2000): Fecundity and fertility reductions in adult leafrollers exposed to surfaces treated with the ecdysteroid agonists' tebufenozide and methoxyfenozide, *Entomologia Experimentalis et Applicata* 94: 75–83. • VAN FRANKENHUYZEN, K., J. RÉGNIÈRE (2017): Multiple effects of tebufenozide on the survival and performance of the spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae), *Can. Entomol.* 149: 227–240. **Internet:** BVL (2020): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel, Online-Datenbank, <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>.

KARATE FORST flüssig *	lambda-Cyhalothrin	Freifressende Schmetterlingsraupen	31.12.2020	synthetisch (Pyrethroid)
<p>Wirkungsweise: Kontaktinsektizid</p> <p>Die Anwendung von synthetischen Pyrethroiden erfolgt, wenn die Vitalität und der Belaubungs-/Benadelungszustand eines Waldbestandes sehr stark herabgesetzt ist. Es handelt sich hierbei um Kontaktinsektizide, die auf das Nervensystem aller Entwicklungsstadien der Insekten einwirken, verbunden mit einem schnellen immobilisierenden Effekt. Pyrethroide sind daher nicht selektiv. Weitere Anwendungsgebiete im Pflanzenschutz finden sich im Gemüse- und Ackerbau.</p> <p>Literatur: APEL, K.-H.; DIEZEL, K.; LOCKOW, K.-W.; LÖFFLER, S.; MÖLLER, K.; RIEK, W., SCHINDLER, F. (2005): Differenzierte Re-generation der Kiefern nach Nonnenfraß in der Schorfheide. AFZ/Der Wald 8: 390-393. • HABERMANN, M. (2017): Auswirkungen der Anwendungsbestimmungen für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Luffahrzeugen im Wald. J. Kulturpflanzen 69: 249-254. • MÖLLER, K. (2002): Der Einfluss von Störungen auf die Arthropodenfauna in Kiefernforsten Brandenburgs. Beitr. Forstwirtsch. u. Land-sch.ökol. 36, 2, 77-80. • MÖLLER, K. (2020): Waldschutz in Zeiten von Klimawandel und Fake News. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. Im Druck. • Reike, H.-P.; Möller, K. (2018): Neufunde und Seltenheiten in Brandenburgischen Kiefernforsten. Entomologi-sche Nachrichten und Berichte 62,2:121-126. • Internet: BVL (2020): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel, Online-Datenbank, https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp.</p>				

Für den Bereich Lückenindikation im NAP wurde zur Verbesserung der Verfügbarkeit von PSM das Ziel formuliert, dass bis zum Jahr 2023 in 80 % aller relevanten Anwendungsgebiete mindestens drei Wirkstoffgruppen zur Verfügung stehen sollen. Im Anwendungsbereich Forst sind nur 5 % (Stand 2018) der Lücken geschlossen worden. Neben den Rodentiziden ist auch der Bereich der Insektizide massiv von der schlechten Zulassungssituation betroffen (Tab. I 2-4). Damit werden die Möglichkeiten, entsprechend den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz zu agieren, weiter eingeschränkt.

In der Vergangenheit zeigte sich, dass eine restriktive Ausbringung von Insektiziden mit Luffahrzeugen unter Einhaltung der erteilten Auflagen und Anwendungsbestimmungen weder praktikabel, noch nachhaltig umsetzbar ist (HABERMANN 2017, MÖLLER 2014). In der Folge waren häufig partielle Totalschäden, d. h. ein Verlust an Waldflächen zu beklagen (HABERMANN 2017, SCHAFFELNER & MÖLLER 2019). Aus forstfachlicher Sicht und dem Bestreben der Forstwirtschaft Waldumbaumaßnahmen zu fördern, ist jeder Verlust an Waldflächen eine Katastrophe. Von Seiten des Umweltschutzes ist es bezogen auf Nadelholzwälder eine „Chance für die neue Waldgeneration“ sich in Anlehnung an die potentiell-natürliche Vegetation (PNV nach TÜXEN 1956) zu entwickeln. Leider wird hierbei nicht bedacht, dass die PNV die Endstufe der Vegetationsentwicklung beschreibt, vorausgesetzt das Klima und die Standortfaktoren bleiben konstant, und die menschliche Einflussnahme fehlt gänzlich (BOLTE 2013). Nach ZERBE (1997) sind daher waldbauliche Zielvorstellungen bzw. Maßnahmen an die aktuelle reale Vegetation der Wälder und deren Verjüngungspotential anzupassen.

Die Einhaltung der Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes, die durch die Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments vorgegeben wurde, ist unter den geschilderten Rahmenbedingungen oft nur noch sehr eingeschränkt möglich, da häufig nur ein oder wenige Pflanzenschutzverfahren zur Lösung von Pflanzenschutzproblemen zur Verfügung stehen.

Im Waldschutz stehen für Forstschädlinge keine langfristig zugelassenen Mittel mehr für eine Luffahrzeugapplikation zur Verfügung. Die Anzahl der Anwendungsgebiete (sogenannte Lückenindikationen) von geringfügigem Umfang, für die keine oder keine ausreichenden und praktikablen Pflanzenschutzverfahren existieren oder für die, die zugelassenen Pflanzenschutzmittel keine oder keine ausreichende Problemlösung gewährleisten, nehmen im Einsatzgebiet Forst zu. Somit ist ein nachhaltiger Pflanzenschutz, der ausreichende und vielfältige nicht-chemische sowie chemische Pflanzenschutzverfahren beinhalten sollte, nicht mehr gewährleistet. Ein möglichst breites Spektrum ist wichtig für die Auswahl des jeweils für die gegebene Situation am besten geeigneten Pflanzenschutzverfahrens und für gezielte Resistenzstrategien. Herausragendes Ziel ist neben der weiteren Reduzierung der Risiken die durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln entstehen können, auch die Förderung nicht-chemischer Alternativen.

In Deutschland wurde durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) das Modell- und Demonstrationsvorhaben "Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz" für die Produktionsbereiche Ackerbau, Obst- und Weinbau sowie Gemüsebau und Hopfenanbau initiiert. Mit den Demonstrationsbetrieben werden die Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes umgesetzt, die in Zusammenarbeit mit den Experten der Pflanzenschutzdienste der Länder erarbeitet wurden. In der Forstwirtschaft gibt es diesbezüglich verschiedene Programme, die den Zielen des integrierten Pflanzenschutzes im Wald dienen, wie die „Leitlinie Wald Sachsen-Anhalt“ oder das „LÖWE-Programm“ in Niedersachsen. Bisher fehlt eine länder- und besitzartenübergreifende Verständigung auf einheitliche, anerkannte Leitlinien zum integrierten Pflanzenschutz im Forst. Ab 2015 wird vom NAP vorgegeben, dass die Anwender im Bereich

Pflanzenschutz durch sektor- oder kulturpflanzen-spezifische Leitlinien zu unterstützen sind. Mit der Erarbeitung entsprechender Leitlinien werden die bestehenden allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes sektorspezifisch präzisiert, so dass Anreize für die freiwillige Umsetzung geeigneter Waldschutzmaßnahmen geschaffen und Entscheidungsprozesse unterstützt werden.

Die Erarbeitung einer sektorspezifischen Leitlinie im Forst hatte Besonderheiten gegenüber entsprechenden Maßnahmen anderer Einsatzgebiete zu berücksichtigen. Allgemeine Grundsätze, wie die Wahl möglichst zielartenspezifischer Pflanzenschutzmittel und die Anwendung von Resistenzvermeidungsstrategien sind derzeit leider nicht umsetzbar. Dennoch galt es, die besondere Sorgfalt und die erforderliche fachliche Kompetenz im Umgang mit Pflanzenschutzmitteln herauszustellen, was eine gewisse Unvereinbarkeit birgt. Verschiedene Handlungsoptionen, wie „Fruchtfolge“, „Anwendung geeigneter Kultivierungsverfahren“, „Verwendung resistenter/toleranter Sorten“, „Anwendung von Dünge- und Bewässerungsverfahren“ wurden an die forstlichen Rahmenbedingungen angepasst und finden sich bei den Themen „Baumartenwahl“, „Pflanzverfahren“, „Herkunftswahl“ sowie „Förderung und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit“ wieder. Im Rahmen des Modell- und Demonstrationsvorhabens „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“ (DIPS) für den Ackerbau, Apfelanbau, Weinbau wurden Checklisten für die Bewertung der Umsetzung der Leitlinien entwickelt, die ein Punktesystem nach einem Ampelprinzip verwenden. Für die Erarbeitung einer forstlichen Checkliste wurden diese als Orientierung genutzt.

Tab. I 2-4: Verfügbare Insektizide im Forst nach PflSchG und gegenwärtig bestehende Lücken

(keine Lücke, drohende Lücke, Lücke - Stand Juni 2020, Pflanzenschutzmittelverzeichnis des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, mündl. Informationen des BVL)

Wirkungssegment	biologisch	„biotechnisch“	synthetisch
Schadorganismus			
Freifressende Schmetterlingslarven	DIPEL ES (nicht mehr am Markt verfügbar) XENTARI (unsichere Wirksamkeit, Zulassung bis 30.04.22)	MIMIC (Zulassung bis 31.05.22)	KARATE FORST fl. (Antrag auf Neuzulassung, Bewertung noch nicht abgeschlossen, Zulassung bis 31.12.20)
Verstecktfressende Schmetterlingslarven	Lücke	Lücke	Lücke
Aferraupen der Blattwespen	Lücke	Lücke	Lücke
Rindenbrütende/Holzbrütende Borkenkäfer	Lücke	Lücke	KARATE FORST fl. (Antrag auf Neuzulassung, Bewertung offen, Zulassung bis 31.12.20) FASTAC FORST (Zulassung bis 31.07.20) FORESTER (Zulassung bis 31.10.20) STORANET/TRINET P (Zulassung bis 31.07.20)
Großer brauner Rüsselkäfer	Lücke	Lücke	KARATE FORST fl. (Antrag auf Neuzulassung, Bewertung offen, Zulassung bis 31.12.20) FASTAC FORST (Zulassung bis 31.07.20) FORESTER (Zulassung bis 31.10.20)
Sägehörniger Werftkäfer	Lücke	Lücke	KARATE FORST fl. (Antrag auf Neuzulassung, Bewertung offen, Zulassung bis 31.12.20)
Bockkäfer/Prachtkäfer	Lücke	Lücke	FASTAC FORST (Zulassung bis 31.07.20) STORANET (Zulassung bis 31.07.20)
Maikäfer	Lücke	Lücke	Lücke
Blattläuse	Lücke	Lücke	KARATE FORST fl. (Antrag auf Neuzulassung, Bewertung offen, Zulassung bis 31.12.20) PRIMOR GRANULAT (Zulassung bis 31.10.20)

Literatur: ALTENKIRCH, W., C. MAJUNKE, B. OHNESORGE (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage, Eugen-Ulmer GmbH & Co KG, Stuttgart, 434 S. • BOLTE, A. (2013): Resilienz und Klimawandel, AFZ-Der Wald 17: 28-30. • BUB, G., H. DELB, H.-J. SCHRÖTER (2006): Die Gradation des Schwammspinners 2004/2005 in Baden-Württemberg, Untersuchungen zur Dynamik und Regulierung der Population, Berichte Freiburger Forstliche Forschung 72: 64 S. • BMEL (2019): Jahresbericht 2018, Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, 66 S. • HABERMANN, M. (2017): Auswirkungen der Anwendungsbestimmungen für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen im Wald, Journal für Kulturpflanzen 69: 249-254. • LANGSTRÖM, B., A. ERKKI, C. HELLQVIST, M. VARAMA, P. NIEMELÄ (2001): Tree mortality, needle biomass recovery and growth losses in scots pine following defoliation by *Diprion pini* (L.) and subsequent attack by *Tomicus piniperda* (L.). Scand. J. For. Res. 16: 342-353 • LEMME, H., G. LOBINGER, S. MÜLLER-KROEHLING (2019): Schwammspinner-Massenvermehrung in Franken: Prognose, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Naturschutzaspekte, LWF aktuell 121: 37-43. • MÖLLER, K., A. ENGELMANN (2008): Die aktuelle Massenvermehrung des Kiefernspinners, *Dendrolimus pini* (Lep., Lasiocampidae) in Brandenburg, Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent. 16: 243-246 • MÖLLER, K. (2014): Klimawandel und integrierter Waldschutz: Risikomanagement mit mehr Unbekannten und weniger Möglichkeiten, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 55:59-65. • MÖLLER, K., F. PASTOWSKI, M. WENK (2016): Überwachung der Nonne und Waldverlust-Prognose, AFZ-Der Wald 15: 31-34. • MÖLLER, K., F. PASTOWSKI, K. NIEDZIOLKA (2018): IT-Lösung für den PSM-Einsatz per Hubschrauber, AFZ-Der Wald 18: 28-31. • SCHAFFELNER, C., MÖLLER, K. (2019): Blatt- und nadelfressende Insekten. In: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (eds.) Störungsökologie, UTB-Reihe, Haupt Verlag, Bern. S. 212-235. • TÜXEN, R. (1956): Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung, Angew. Pflanzensoz. 13: 5-42. • ZERBE, S. (1997): Stellt die potentielle natürliche Vegetation (PNV) eine sinnvolle Zielvorstellung für den naturnahen Waldbau dar?, Forstw. Cbl. 116: 1-15.

Risiken für den Naturhaushalt

Sowohl die flächige Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen, als auch der Licht- und Kahlfraß bedeutender Forstschadinsekten können zu Störungen in Waldökosystemen führen. Gleichwohl ist das Ausmaß der einzelnen Störung für das Waldökosystem noch nicht näher abschätzbar. Unstrittig ist, dass ein Einsatz von Insektiziden selbst bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Anwendung auch Nichtzielorganismen (u. a. Antagonisten: Prädatoren, Parasitoide) kurzfristig schädigen kann, auch sind weitere negative Beeinträchtigungen nicht gänzlich auszuschließen. Maßgeblich für das Umweltrisiko sind jedoch die toxischen Substanzen des eingesetzten Präparates. Neben selektiven Insektiziden (z. B. *Bacillus thuringiensis*-Präparate, Häutungshemmer/-beschleuniger), die nur auf wenige Schädlinge und/oder nur auf bestimmte Entwicklungsstadien (fressende Larvenstadien) wirken, werden auch Kontaktinsektizide (Pyrethroide, die alle Entwicklungsstadien schädigen) im Notfall eingesetzt. Hierbei führt der direkte Kontakt während der Applikation des Mittels oder mit benetzten Pflanzenteilen unmittelbar nach der Anwendung zum „knockdown“-Effekt und letztendlich auch zum Absterben betroffener Nichtzielorganismen. Pyrethroide wirken daher nicht selektiv. Interessant für die ökotoxikologische Bewertung und damit den Einfluss auf den Naturhaushalt ist z. B. die Fähigkeit von Insekten, bestimmte insektizide Wirkstoffe enzymatisch abzubauen zu können. Das trifft z. B. auf natürliche Pyrethrine und auch synthetische Pyrethroide (KARATE FORST *flüssig*) zu. Damit besteht die Möglichkeit, dass sich Insekten bei Kontamination mit einer nicht letalen Dosis des Wirkstoffs wieder erholen können. Solche Erholungseffekte sind nach Ausbringung von KARATE FORST *flüssig* zum Beispiel bei Raupenfliegen zu beobachten (MÖLLER 2020). Des Weiteren könnten indirekte Auswirkungen über die Verringerung des Nahrungsangebotes (Beute) oder über die unbeabsichtigte Kontamination von Nahrung auch für insektivore Vögel und Säuger bestehen. Daher könnte der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen zu temporären Beeinträchtigungen u. a. der Arten- und Individuenabundanz der Arthropodenzönose in Wäldern führen, unter Berücksichtigung der jeweils betroffenen Vegetationsschicht (Boden-, Kraut-, Strauch- und Kronenschicht).

Dagegen lässt der durch Forstschadinsekten verursachte Licht- und Kahlfraß größere ökologische Schäden und nachhaltigere Veränderungen der Waldlebensgemeinschaft vermuten, insbesondere bei einem flächigen Absterben der Waldbäume. Bereits ein massiver Blatt- oder Nadelverlust der Bäume bewirkt mikroklimatische Veränderungen (z. B. verstärkte Lichteinstrahlung) im Waldbestand, verbunden mit einer zunehmenden Entwicklung der Bodenvegetation. Denkbar ist ebenfalls die Beeinflussung der Bodeneigenschaften (z. B. Humus- und Nährstoffhaushalt) infolge eines massiven Kofalls der Larven (MÖLLER 2002). Mit der Veränderung von Standortfaktoren können sich auch Folgen für die Zusammensetzung der Artengemeinschaft in Wäldern ergeben (FUNKE 1990, MÖLLER 2002, APEL et al. 2005). Es lässt sich ebenfalls feststellen, dass durch den Einsatz von Insektiziden das Populationsgeschehen von Schadinsekten kurzfristig zu einer Entlastung der Gefährdungssituation führt, langfristig eine Verringerung oder Verzögerung im Verlauf des Massenwechsels keinen Einfluss erzielt (KLIMETZEK 1975).

Zu der Gruppe der Nichtzielorganismen zählen in erster Linie Nutzorganismen, wie natürliche Gegenspieler (Prädatoren, Parasitoide) von Schadinsekten. Aber auch sogenannte indifferente Arten – die weder den nützlichen noch den schädigenden Organismen zuzuordnen sind – gelten als Nichtzielorganismen, da sie u. a. als Nahrungsquelle für bestimmte oligophage und polyphage Nützlinge eine große Bedeutung haben.

Die Diskussionen um ökotoxikologische Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln bestehen seit mehreren Jahrzehnten. Auch waren die Effekte von Pflanzenschutzmitteln auf die Arthropodenfauna häufig Gegenstand

verschiedener nationaler (vgl. u. a. ROTH & FUNKE 1993, KLENNER 1996, METZGER & GMACH 1996, SCHAF & VOGT 1996, MÖLLER & MAJUNKE 1997, 1996, 2001, HACKER 1997, BECK et al. 1999, JÄCKEL & ROTH 1999, SCHANOWSKI 1999, WINTER & GLATZ 2000, MÖLLER 2002, 2007, SCHULZ et al. 2004, REIKE & MÖLLER 2018) und internationaler (vgl. u. a. MILLER 1990, MARTINAT et al. 1993, BUTLER et al. 1997, HILL & FOSTER 2000, LEGASPI et al. 2000, BOULTON et al. 2002, RASTALL et al. 2003, BOULTON & OTVOS 2004, NEWMAN et al. 2004, BOULTON et al. 2007, MANDERINO et al. 2014) Freilandstudien. Hierbei standen eine nach Präparaten bzw. nach Wirkstoffen sowie nach ökologischen Gilden/taxonomischen Gruppen differenzierte Analyse in den verschiedensten Waldökosystemen im Vordergrund. Die Vergleichbarkeit mit nationalen und internationalen Studien zur Erfassung der Abundanz und Diversität von Arthropodengruppen wird im Hinblick auf die Bestandesstruktur, die Baumartenzusammensetzung und die makro- bzw. mikroklimatischen Bedingungen erschwert. Auch fehlende methodische Standards im Versuchsdesign, wie die Konstruktion der Fangautomaten, ihre Replikationszahl und deren räumliche Anordnung sowie die eingesetzte Fangflüssigkeit, oder auch die Auswertung mittels ökologisch-mathematischer Verfahren, wie die Anwendung unterschiedlicher Indices sind in diesem Zusammenhang zu nennen. Daher ist jede Freilandstudie immer eine Momentaufnahme, die grundsätzlich keinen direkten Vergleich mit anderen Studien derselben Fragestellung ermöglicht. Des Weiteren sind umfangreiche Evaluationen der Nebenwirkungen von Insektiziden auf ökosystemarer Ebene schwer zu leisten. So wurden in der Vergangenheit, aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes, exemplarisch nur einzelne Vertreter ausgewählter Gilden berücksichtigt. Die bisherigen freilandökologischen Untersuchungen zu den Effekten von Insektiziden auf Nichtzielorganismen zeigen gegensätzliche Resultate, so dass kein eindeutiger Trend formuliert werden kann. Je nach dem gewählten Präparat oder Wirkstoff und je nach Häufigkeit der Anwendung schwanken die Schlussfolgerungen zwischen elementaren und zu vernachlässigenden ökotoxikologischen Auswirkungen. Die jeweilig hergeleiteten Konsequenzen blieben weiteren Analysen überlassen.

Literatur: APEL, K.-H.; DIEZEL, K.; LOCKOW, K.-W.; LÖFFLER, S.; MÖLLER, K.; RIEK, W.; SCHINDLER, F. (2005): Differenzierte Regeneration der Kiefern nach Nonnenfraß in der Schorfheide. *AFZ/Der Wald* 8: 390-393. • BECK, L., RÖMBKE, J., RUF, A., PAULUS, R., PRINZING, A., WOAS, S. (1999): Auswirkungen des Einsatzes von Dimilin und *Bacillus thuringiensis* auf die Struktur und Funktion der Bodenfauna, *Freiburger Forstliche Forschung* 13: 74-101. • BOULTON, T. J., OTVOS, I. S. (2004): Monitoring native non-target Lepidoptera for three years following a high dose and volume application of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*, *International Journal of Pest Management* 50(4): 297-305. • BOULTON, T. J., OTVOS, I. S., HALWAS, K. L., ROHLFS, D. A. (2007): Recovery of non-target Lepidoptera on Vancouver Island, Canada: One and four years after a gypsy moth eradication program, *Environmental Toxicology and Chemistry* 26/4: 738-748 • BOULTON, T. J., OTVOS, I. S., RINGS, R. A. (2002): Monitoring non-target Lepidoptera on *Ribes cereum* to investigate side effects of an operational application of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*, *Environ. Entomol.* 31(5): 903-913. • BUTLER, L., KONDO, V., BLUE, D. (1997): Effects of tebufenozide for gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) suppression on non-target canopy arthropods, *Environ. Entomol.* 26 (5): 1009-1015 • FUNKE, W. (1990): Struktur und Funktion von Tiergesellschaften in Waldökosystemen – Bodentiere als Indikatoren von Umwelteinflüssen, *Ver. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 127: 1-49 • HACKER, H. (1997): Massenvermehrung des Schwammspinners (*Lymantria dispar* L.) in Mainfranken in den Jahren 1992 bis 1994. Untersuchungen zur Wirkung der Dimilin-Behandlung auf das Artenspektrum der Begleitfauna von Eichenwäldern. *Beitrag II (Insecta: Lepidoptera)*, *Beiträge zur bayerischen Entomofaunistik* 2: 1 - 21. • HILL, T. A., FOSTER, R. E. (2000): Effect of insecticides on the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), *J. Econ. Entomol.* 93 (3): 763-768 • JÄCKEL, A., ROTH, M. (1999): Auswirkung von Insektiziden (Diflubenzuron, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) auf Nichtzielorganismen (edaphische Arthropodenfauna) in Kiefernforsten, *Verh. Ges. f. Ökol.*, 29: 237-246 • KLENNER, M. F. (1996): Die Laufkäferfauna (Col., Carabidae) Diflubenzuron-behandelter und unbehandelter Eichenmischwälder der Westfälischen Bucht, *Gesunde Pflanzen* 7: 248-252 • KLIMETZEK, D (1975) Umfang und Auswirkung von Begiftungsaktionen gegen Kiefernraupen in Nordbayern. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 146, 186-191 • LEGASPI, J. C., FRENCH, J. V., LEGASPI, B. C. JR. (2000): Toxicity of novel and conventional insecticides to selected beneficial insects, *Subtropical Plant Science*: 52: 23-32. • MANDERINO, R., CRIST, T. O., HAYNES, K. J. (2014): Lepidoptera-specific insecticide used to suppress gypsy moth outbreaks may benefit non-target forest Lepidoptera, *Agricultural and Forest Entomology* 16: 359-368. • MARTINAT, P. J., JENNINGS, D. T., WHITMORE, R. C. (1993): Effects of Diflubenzuron on the litter spider and orthopteroid community in a Central Appalachian Forest infested with Gypsy Moth (Lepidoptera: Lymantriidae), *Environ. Entomol.* 22: 1003-1008. • METZGER, J., GMACH, T. (1996): Nebenwirkungen von Entwicklungshemmern auf das Ökosystem Wald, *LWF aktuell* 5: 7-11. • MILLER, J. C. (1990): Field assessment of the effects of a microbial pest control agent on non-target Lepidoptera, *Am. Entomol.* 36: 135-139. • MÖLLER, K. (2002): Der Einfluss von Störungen auf die Arthropodenfauna in Kiefernforsten Brandenburgs, *Beitr. Forstwirtschaft u. Ökol.* 36: 77-79. • MÖLLER, K. (2007): Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Forst- Nebenwirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen, *Eberswalde Forstl. Schriftenreihe*, Band XXIX: 16-21. • MÖLLER, K. (2020): Waldschutz in Zeiten von Klimawandel und Fake News. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*. Im Druck. • MÖLLER, K., MAJUNKE, C. (1996): Vorläufige Ergebnisse zum Einfluss von Bekämpfungsmaßnahmen gegen Kiefernspinner und Nonne auf waldbewohnende Arthropoden, In: WULF, A., BERENDES, K.-H. (1996): Massenvermehrungen von Forstschmetterlingen. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, 322: 164-172. • MÖLLER, K., MAJUNKE, C. (1997): Untersuchungen zum Einfluss von Pflanzenschutzmitteln auf die Arthropodenfauna, *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent.* 11: 255-258. • MÖLLER, K., MAJUNKE, C. (2001): Der Einfluss von Störungen in Kiefernforsten auf die Arthropodenfauna, *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent.* 13: 445-448. • NEWMAN, I. C., WALKER, J. T. S., ROGERS, D. J. (2004): Mortality of the Leafroller parasitoid *Dolichogenidae tasmanica* (Hym: Braconidae) exposed to orchard pesticide residues, *New Zealand Plant Protection* 57: 8-12. • RASTALL, K., KONDO, V., STRAZANAC, J. S., BUTLER, L. (2003): Lethal effects biological insecticide application on non-target Lepidopterans in Two Appalachian Forests, *Environmental Entomology*, 32: 1364-1369. • REIKE, H.-P., MÖLLER, K. (2018): Neufunde und Seltenheiten in Brandenburgischen Kiefernforsten (Coleoptera), *Entomol. Nach. Ber.* 62: 121-126. • ROTH, M., FUNKE, W. (1993): Auswirkungen von Stoffeinträgen auf Tiergesellschaften von Wäldern, *Forst. Cbl.* 112: 75-88. • SCHAAF, C., VOGT, H. (1996). Untersuchungen in einem Gradationsgebiet des Schwammspinners (*Lymantria dispar* L.) - Auswirkungen einer Dimilinapplikation auf die Bodenmesofauna (Collembolen und Milben) im Lampertheimer Wald. *Schwammspinner-Massenvermehrung in Südhessen 1994*. W. u. W. Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung 21: 324-330. • SCHANOWSKI, A. (1999): Auswirkungen des Einsatzes von Dimilin auf die Arthropodenfauna am Beispiel der Nachtfalter, Lauf- und Aaskäfer sowie Borkenkäfer, *FFF-Berichte*: 13, 102-121. • SCHULZ, U., DREGER, F.,

Konzeptionelles Vorgehen zur Abschätzung von Risiken

Die Literaturrecherchen dienten dazu, den aktuellen wissenschaftlichen und technischen Stand zu skizzieren. Hierbei standen der Einfluss von Strukturparametern auf die Entwicklung von Insektengradationen sowie die Nebenwirkungen von Insektiziden auf Nichtzielorganismen (non-target effects) im Fokus. Speziell zu den Nebenwirkungen wurden a) Toxizitätstests unter Laborbedingungen (die toxische Effekte bzw. physiologische Auffälligkeiten an Individuen bei subletalen Dosen testen) und b) Feldstudien (zum Vergleich unbehandelter/behandelter Waldbestände und Auffälligkeiten in der Abundanz und/oder Diversität taxonomischer Gruppen) herangezogen.

a) Labor-Toxizitätstests für DIMILIN 80 WG und MIMIC

Labortests für die aktive Substanz Diflubenzuron (DIMILIN 80 WG) zeigten durch letale und subletale Effekte (GILLETTE et al. 1978, SALAMA et al. 1976) eine hohe Effektivität gegen viele Forstschädlinge, obwohl einige Arten auch weniger sensitiv reagierten (GILLETTE et al. 1978, RETNAKARAN et al. 1980). In einigen Laborstudien wurden Effekte auf Nichtzielorganismen für Räuber, wie Wanzen (ANGELI et al. 2005, CASTRO et al. 2012, DELBEKE et al. 1997), Marienkäfer (RUIZ-SÁNCHEZ et al. 2010) und Florfliegen (MEDINA et al. 2003, Rumpf et al. 1997, 1998) gefunden. Diflubenzuron beeinflusst auch den Parasitoiden *Hyposoter didymator* (SCHNEIDER et al. 2004), zeigt allerdings keinen Einfluss auf die Spinnenart *Philodromus cespitum* (ŘEZÁČ et al. 2010).

Die Toxizität von Tebufenozid (MIMIC) wurde insgesamt weniger untersucht. Der Wirkstoff wies bei schädigenden Lepidopterenlarven letale (DALLAIRE et al. 2004, LI et al. 2012, SMAGGHE & DEGHEELE 1994) und subletale (MYERS & HULL 2003, SETH et al. 2004) Effekte auf. Die meisten Studien fanden kaum Auswirkungen auf die natürlichen Gegenspieler der Lepidoptera (RUMPF et al. 1997, 1998, MEDINA et al. 2003a, 2003b, SCHNEIDER et al. 2004, WANG et al. 2012). Ebenso wenig fanden sich Effekte auf epigäische Arthropoden (ADDISON 1996). Bei einigen Schadinsekten (ohne Lepidoptera) scheint der Wirkstoff Tebufenozid eine eingeschränkte Wirkung zu haben. So zeigte sich beim Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*) eine Hemmung der Eiablage, die allerdings nur bei sehr hohen Konzentrationen auftrat (SMAGGHE & DEGHEELE 1994).

b) Feldstudien mit DIMILIN 80 WG und MIMIC

Der Einsatz von DIMILIN 80 WG erwies sich in Wäldern gegen Schadlepidopteren als effektiv (ABGRALL 1999, GRANETT & DUNBAR 1975; NEISESS et al. 1976). Bei Nichtzielorganismen zeigten Studien hingegen deutlich negative Effekte (BUTLER et al. 1997a, BUTLER & KONDO 1993, SAMPLE et al. 1993). Bei anderen Insektenordnungen oder Arthropodengruppen sind die Ergebnisse divers. So wurden negative Effekte bei Webspinnen, Heuschrecken (MARTINAT et al. 1993), Käfern (BUTLER et al. 1997a, KLENNER 1994), parasitoiden Hautflüglern (ZIJP & BLOMMERS 2001) und einigen Bodenarthropoden (BECK et al. 2004, RIESKE & BUSS 2001) gefunden. Andere Studien fanden hingegen keine Effekte bei einigen dieser Gruppen, z.B. für Coleoptera (SAMPLE et al. 1993), parasitoiden Hymenoptera (WEBB et al. 1989) und Bodenarthropoden (PERRY et al. 1997). MARTINAT et al. (1988) wies auf die Bedeutung der Life-History-Strategien für potentielle Nebenwirkungen hin, wie non-target-Effekte von Diflubenzuron auf Schmetterlinge und andere Insektengruppen mit beißenden Mundwerkzeugen. Pflanzensaftsauger, Blattminierer und Räuber zeigten keine Reaktionen, obwohl viele der Blattminierer auch (Mikro-)Lepidoptera sind.

Feldstudien zeigten bezüglich MIMIC ebenfalls eine gute Effizienz gegenüber Schadlepidoptera (CADOGAN et al. 2005, COOK 2003, MANSFIELD et al. 2006). Die Abundanz und Aktivität von natürlichen Gegenspielern der Schädlinge wurde durch MIMIC nicht beeinträchtigt (GURR et al. 1999, MCCRAVY et al. 2001). Effekte auf Nichtzielorganismen scheinen sich auf die Larvalstadien der Lepidoptera zu beschränken (BUTLER et al. 1997b).

Bislang gab es wenig vergleichende Studien zu DIMILIN 80 WG (GROSSCURT 1993, MÖLLER & MAJUNKE 1996). Die umfangreichste Studie zum Einfluss von Diflubenzuron (140 und 280 g a. i./ha) auf Ameisen fand von 1975-1977 in Wäldern in Oregon auf 130 ha großen Versuchsflächen statt. Die Ameisenkolonien wurden in 2-4-Wochen-Intervallen während der Sommermonate beobachtet. In dieser Studie bewirkte Diflubenzuron keine Veränderungen des Verhaltens, des Aktivitätsniveaus oder der Volksstärke der Ameisen der *Formica rufa* - Gruppe, die wichtige Räuber sind (ROUSH & AKRE 1978 in GROSSCURT 1993). MÖLLER (2007)

konnte diese Aussagen bei Freilandbeobachtungen bestätigen.

Zu den Nebeneffekten von DIMILIN 80 WG und MIMIC im Freiland finden sich Studien, die die Wirkung der Mittel verglichen haben. So wurden im Labor und in Feldstudien beide Insektizide im Vergleich zu *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*-Präparaten eingesetzt. Es bestätigten sich alle Insektizide als wirksam, z.B. gegen die „Douglas-fir tussock moth“ (*Orgyia pseudotsugata*), (COOK 2003).

Für das Teilvorhaben 3 wurde die Systematik möglicher Nebenwirkungen etwas enger gefasst: Die Empfindlichkeit eines Organismus gegenüber einer Substanz ist das Ergebnis der Wechselwirkung zweier Komponenten - der physiologischen Sensitivität und der ökologischen Sensitivität. Die physiologische Sensitivität resultiert aus der direkten toxischen Wirkung der Substanz, die sich in letalen und nicht-letalen Effekten äußert. Die ökologische Sensitivität resultiert aus den Merkmalen der Life-History des Organismus, die ihn gegebenenfalls in Kontakt mit der Substanz bringen. Dabei kann zwischen „avoidance traits“ und „resilience traits“ unterschieden werden (KEFFORD et al. 2012). Laborstudien bzw. klassische Toxizitätstests können somit keine abschließende Aussage über die Sensitivität erbringen. Feldstudien können helfen, die ökologische Sensitivität abzuschätzen (VAN DEN BRINK 2008). Oft sind die Ergebnisse solcher Feldstudien jedoch nicht sehr eindeutig und verschiedene Studien widersprechen sich. Das könnte unter anderem daran liegen, dass die meisten Studien nur ein bestimmtes Taxon untersuchen (z.B. Schmetterlinge) und die Ergebnisse nur auf Ebene dieses Taxons auswerten. Das erscheint sinnvoll, da dadurch recht hohe Zahlen an Individuen zusammengebracht werden und die aufwändige Bestimmung einzelner Arten erspart bleibt. Allerdings besteht hierbei die Gefahr, dass unterschiedliche Arten mit unterschiedlicher Sensitivität (ökologisch bzw. physiologisch) zusammengefasst werden. Dies kann in Folge Effekte auf einzelne Arten überlagern. Von daher ist es sinnvoll, Untersuchungen an einzelnen Arten durchzuführen bzw. nur Arten mit gleichen „avoidance traits“ gemeinsam zu betrachten (Abb. I 2-5).

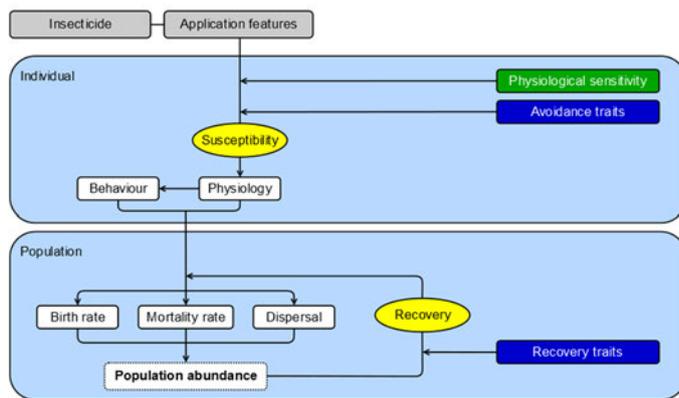


Abb. I 2-5: Ökologische und physiologische Sensitivität

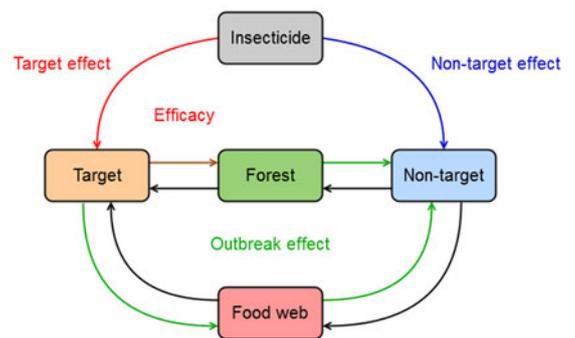


Abb. I 2-6: Wechselwirkungen zwischen Ziel- und Nichtzielorganismen bei einer Gradation bzw. einem Insektizideinsatz

Zusätzlich ist es zur Abschätzung der ökologischen Nebenwirkungen von Insektiziden wichtig, die Effekte von Insektizid-Applikationen vergleichend mit den Effekten unkontrollierter Gradationen zu betrachten. Diese sogenannten „outbreak effects“ haben ebenso Konsequenzen für die restliche Lebensgemeinschaft im Wald und sollten daher grundsätzlich für die Beurteilung ökologischer Effekte von Insektiziden herangezogen werden (Abb. I 2-6). Dies wird bislang jedoch selten gemacht (vgl. u.a. SAMPLE et al. 1996, SCRIBER 2004, MANDERINO et al. 2014 mit *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki*, MÖLLER 2015). Der theoretische Rahmen der Untersuchungen, der die Komponenten der ökologischen und physiologischen Sensitivität, sowie die Berücksichtigung der „outbreak effects“ in einer vergleichenden Studie der unterschiedlichen Insektizide zusammenfassen zeigt Abb. I 2-7.

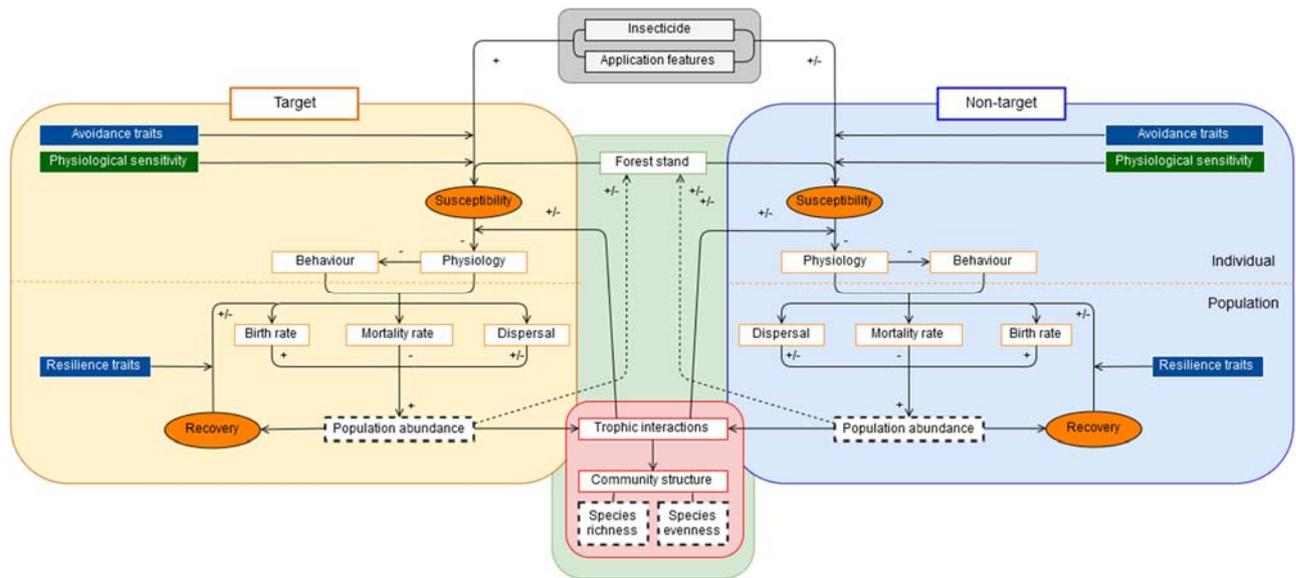


Abb. I 2-7: Theoretischer Rahmen der Untersuchungen im Teilvorhaben 3

Literatur: ABGRALL, J.-F. (1999): Short and medium term impact of aerial application of insecticide against the winter moth (*Operophtera brumata* L.). *Rev. For. Francaise* 51, 395–404. • ADDISON, J.A. (1996): Safety testing of tebufenozide, a new molt-inducing insecticide, for effects on nontarget forest soil invertebrates. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 33, 55–61. <https://doi.org/10.1006/eesa.1996.0006>. • ANGELI, G., BALDESSARI, M., MAINES, R., DUSO, C. (2005): Side-effects of pesticides on the predatory bug *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae) in the laboratory. *Biocontrol Sci. Technol.* 15, 745–754. <https://doi.org/10.1080/09583150500136345>. • BECK, L., RÖMBKE, J., RUF, A., PRINZING, A., WOAS, S. (2004): Effects of diflubenzuron and *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* toxin on soil invertebrates of a mixed deciduous forest in the Upper Rhine Valley, Germany. *Eur. J. Soil Biol.* 40, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2003.08.003>. • BUTLER, L., CHRISLIP, G.A., KONDO, V.A., TOWNSEND, E.C. (1997a): Effect of diflubenzuron on nontarget canopy arthropods in closed, deciduous watersheds in a central Appalachian forest. *J. Econ. Entomol.* 90, 784–794. • BUTLER, L., KONDO, V., BLUE, D. (1997b): Effects of tebufenozide (RH-5992) for gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) suppression on nontarget canopy arthropods. *Environ. Entomol.* 26, 1009–1015. • BUTLER, L., KONDO, V.A. (1993): Impact of Dimilin on non-target Lepidoptera: results of an operational gypsy moth suppression program at Coopers Rock State Forest, West Virginia (No. 924–0107). West Virginia University, Agricultural and Forestry Experiment Station, Morgantown, West Virginia, U.S.A. • CADOGAN, B.L., SCHARBACH, R.D., KNOWLES, K.R., KRAUSE, R.E. (2005): Efficacy evaluation of a reduced dosage of tebufenozide applied aerially to control spruce budworm (*Choristoneura fumiferana*). *Crop Prot.* 24, 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.10.008>. • CASTRO, A.A., LACERDA, M.C., ZANUNCIO, T.V., DE S. RAMALHO, F., POLANCZYK, R.A., SERRÃO, J.E., ZANUNCIO, J.C. (2012): Effect of the insect growth regulator diflubenzuron on the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Ecotoxicology* 21, 96–103. <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0769-z>. • COOK, S.P. (2003): Laboratory and field evaluation of tebufenozide, diflubenzuron, and *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* for suppression of douglas-fir tussock moth (*Orgyia pseudotsugata* (McDunnough)) in Idaho: A case study. *J. Econ. Entomol.* 96, 396–400. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-96.2.396>. • DALLAIRE, R., LABRECQUE, A., MARCOTTE, M., BAUCE, E., DELISLE, J. (2004): The sublethal effects of tebufenozide on the precopulatory and copulatory activities of *Choristoneura fumiferana* and *C. rosaceana*. *Entomol. Exp. Appl.* 112, 169–181. • DELBEKE, F., VERCRUYSE, P., TIRRY, L., DE CLERCQ, P., DEGHEELE, D. (1997): Toxicity of diflubenzuron, pyriproxyfen, imidacloprid and diafenthiuron to the predatory bug *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae). *BioControl* 42, 349–358. • GILLETTE, N.L., ROBERTSON, J.L., LYON, R.L. (1978): Bioassays of TH6038 and difluron applied to Western spruce budworm and Douglas-fir tussock moth. *J. Econ. Entomol.* 71, 319–322. <https://doi.org/10.1093/jee/71.2.319>. • GRANETT, J., DUNBAR, D.M. (1975): TH-6040 - Laboratory and field trials for control of gypsy moths. *J. Econ. Entomol.* 68, 99–102. • GROSSCURT, A. C. (1993): Environmental aspects of the use of diflubenzuron for control of pest lepidoptera in forests. 2nd National Scientific Conference of Entomology, Sofia. • GURR, G.M., THWAITE, W.G., NICOL, H.I. (1999): Field evaluation of the effects of the insect growth regulator tebufenozide on entomophagous arthropods and pest of apples. *Aust. J. Entomol.* 38, 135–140. • KEFFORD, B.J., LIESS, M., WARNE, M. ST. J., METZELING, L., SCHÄFER, R.B. (2012): Risk assessment of episodic exposures to chemicals should consider both the physiological and the ecological sensitivities of species. *Sci. Total Environ.* 441, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.047>. • KLENNER, M.F. (1994): The carabid fauna of diflubenzuron-sprayed and unsprayed plots in Westphalian oak forests - A post-treatment comparison, in: DESENDER, K., DUFRÈNE, M., LOREAU, M., LUFF, M.L., MAELFAIT, J.-P. (Eds.), *Carabid Beetles: Ecology and Evolution*, Series Entomologica. Springer Netherlands, pp. 445–449. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0968-2_67. • LI, H., YAN, S.-C., CAO, C.-W., LI, Q. (2012): Effects of furan tebufenozide on larval development and activity of protective enzymes in *Lymantria dispar*. *J. Beijing For. Univ.* 34, 96–102. • MANDERINO, R., CRIST, T.O., HAYNES, K.J. (2014): Lepidoptera-specific insecticide used to suppress gypsy moth outbreaks may benefit non-target forest Lepidoptera. *Agric. For. Entomol.* 16, 359–368. <https://doi.org/10.1111/afe.12066>. • MANSFIELD, S., WITHERS, T.M., GOUS, S.F., POTTER, K.J.B., KRITICOS, D.J., WATSON, M.C., KIMBERLEY, M.O. (2006): Potential of selective insecticides for managing *Uraba lugens* (Lepidoptera: Nolidae) on eucalypts. *J. Econ. Entomol.* 99, 780–789. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-99.3.780>. • MARTINAT, P.J., COFFMAN, C.C., DODGE, K., COOPER, R.J., WHITMORE, R.C. (1988): Effect of diflubenzuron on the canopy arthropod community in a central Appalachian forest. *J. Econ. Entomol.* 81, 261–267. <https://doi.org/10.1093/jee/81.1.261>. • MARTINAT, P.J., JENNINGS, D.T., WHITMORE, R.C. (1993): Effects of diflubenzuron on the litter spider and orthopteroid community in a central Appalachian forest infested with gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Environ. Entomol.* 22, 1003–1008. <https://doi.org/10.1093/ee/22.5.1003>. • MCCRAVY, K.W., DALUSKY, M.J., BERSFORD, C.W. (2001): Effects of a broad spectrum and biorational insecticides on parasitoids of the Nantucket pine tip moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Econ. Entomol.* 94, 112–115. • MEDINA, P., BUDIA, F., ESTAL, P., VIÑUELA, E. (2003): Effects of three modern insecticides, pyriproxyfen, spinosad and tebufenozide, on survival and reproduction of *Chrysoperla carnea* adults. *Ann. Appl. Biol.* 142, 55–61. • MEDINA, P., SMAGGHE, G., BUDIA, F., TIRRY, L., VIÑUELA, E. (2003): Toxicity and absorption of azadirachtin, diflubenzuron, pyriproxyfen, and tebufenozide after topical application in predatory larvae of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environ. Entomol.* 32, 196–203. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-32.1.196>. • MÖLLER, K.; MAJUNKE, C. (1996): Vorläufige Ergebnisse zum Einfluß von Bekämpfungsmaßnahmen gegen Kiefernspinner und Nonne auf waldbewohnende Arthropoden. *Mittlg. Biol. Bundesanstalt* 322, S. 164–172. • MÖLLER, K. (2015): Nur ein toter Baum ist ein guter Baum – Das Ende der Multifunktionalität des

Waldes? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 59: S. 70-78. • MYERS, C.T., HULL, L.A. (2003): Insect growth regulator impact on fecundity and fertility of adult tufted apple bud moth, *Platynota idaeusalis* Walker. *J. Entomol. Sci.* 38, 420–430. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-38.3.420>. • NEISESS, J., MARKIN, G.P., SCHAEFER, R. (1976): Field evaluations of acephate and DimilinTM against the douglas-fir tussock moth. *J. Econ. Entomol.* 69, 783–786. <https://doi.org/10.1093/jee/69.6.783>. • NEJMANOVÁ, J., CVAČKA, J., HRDÝ, I., KULDOVÁ, J., MERTELÍK, J., MUCK, A., NEŠNĚROVÁ, P., SVATOŠ, A. (2006): Residues of diflubenzuron on horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*) leaves and their efficacy against the horse chestnut leafminer, *Cameraria ohridella*. *Pest Manag. Sci.* 62, 274–278. <https://doi.org/10.1002/ps.1165>. • OZANNE, C.M.P. (2005): Techniques and Methods for Sampling Canopy Insects, in: Leather, S.R. (Ed.), *Insect Sampling in Forest Ecosystems*. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, pp. 146–167. <https://doi.org/10.1002/9780470750513.ch7>. • PERRY, W.B., CHRISTIANSEN, T.A., PERRY, S.A. (1997): Response of soil and leaf litter microarthropods to forest application of diflubenzuron. *Ecotoxicology* 6, 87–99. • RETNAKARAN, A., GRANETT, J., ROBERTSON, J. (1980). Possible physiological mechanisms for the differential susceptibility of two forest Lepidoptera to diflubenzuron. *J. Insect Physiol.* 26, 385–390. • ŘEZÁČ, M., PEKÁR, S., STARÁ, J. (2010): The negative effect of some selective insecticides on the functional response of a potential biological control agent, the spider *Philodromus cespitum*. *BioControl* 55, 503–510. <https://doi.org/10.1007/s10526-010-9272-3>. • RIESKE, L.K., BUSS, L.J. (2001): Effects of gypsy moth suppression tactics on litter- and ground-dwelling arthropods in the central hardwood forests of the Cumberland Plateau. *For. Ecol. Manag.* 149, 181–195. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(00\)00552-1](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(00)00552-1). • RUIZ-SÁNCHEZ, E., CAAMAL-EB, L., CRISTÓBAL-ALEJO, J., MUNGUÍA-ROSALES, R., PÉREZ-GUTIÉRREZ, A. (2010): Supervivencia y desarrollo de *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae) inmaduros expuestos a diflubenzuron. *Agrociencia* 44, 373–379. • RUMPF, S., FRAMPTON, C., CHAPMAN, B. (1997): Acute toxicity of insecticides to *Micromus tasmaniae* (Neuroptera: Hemerobiidae) and *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae): LC50 and LC90 estimates for various test durations. *J. Econ. Entomol.* 90, 1493–1499. • RUMPF, S., FRAMPTON, C., DIETRICH, D.R. (1998): Effects of conventional insecticides and insect growth regulators on fecundity and other life-table parameters of *Micromus tasmaniae* (Neuroptera: Hemerobiidae). *J. Econ. Entomol.* 91, 34–40. • SALAMA, H.S., MOTALGALLY, Z.A., SKATULLA, U. (1976): On the mode of action of Dimilin as a moulting inhibitor in some lepidopterous insects. *Z. Für Angew. Entomol.* 80, 396–407. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1976.tb03343.x>. • SAMPLE, B.E., BUTLER, L., WHITMORE, R.C. (1993): Effects of an operational application of Dimilin® on non-target insects. *Can. Entomol.* 125, 173–179. <https://doi.org/10.4039/Ent125173-2>. • SAMPLE, B.E., BUTLER, L., ZIVKOVICH, C., WHITMORE, R.C., REARDON, R. (1996): Effect of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* and defoliation by the gypsy moth [*Lymantria dyspar* (L.) (Lepidoptera: Lymantriidae)] on native arthropods in West Virginia. *Can. Entomol.* 128, 573–592. <https://doi.org/10.4039/Ent128573-4>. • SCHERF, H. (1964): Die Entwicklungsstadien der mitteleuropäischen Curculioniden (Morphologie, Bionomie, Ökologie). *Abh. Senckenberg. Naturforschenden Ges.* 506, 1–335. • SCHNEIDER, M.I., SMAGGHE, G., PINEDA, S., VIÑUELA, E. (2004): Action of insect growth regulator insecticides and spinosad on life history parameters and absorption in third-instar larvae of the endoparasitoid *Hyposoter didymator*. *Biol. Control* 31, 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.04.013>. • SCRIBER, J.M. (2004 a): Non-target impacts of forest defoliator management options: Decision for no spraying may have worse impacts on non-target Lepidoptera than *Bacillus thuringiensis* insecticides. *J. Insect Conserv.* 8, 243–263. <https://doi.org/10.1007/s10841-004-1357-9>. • SCRIBER, J.M. (2004 b): Non-target impacts of forest defoliator management options: Decision for no spraying may have worse impacts on non-target Lepidoptera than *Bacillus thuringiensis* insecticides. *J. Insect Conserv.* 8, 243–263. <https://doi.org/10.1007/s10841-004-1357-9>. • SETH, R.K., KAUR, J.J., RAO, D.K., REYNOLDS, S.E. (2004): Effects of larval exposure to sublethal concentrations of the ecdysteroid agonists RH-5849 and tebufenozide (RH-5992) on male reproductive physiology in *Spodoptera litura*. *J. Insect Physiol.* 50, 505–517. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2004.03.007>. • SMAGGHE, G., DEGHEELE, D. (1994): Action of a novel nonsteroidal ecdysteroid mimic, tebufenozide (RH-5992), on insects of different orders. *Pest Manag. Sci.* 42, 85–92. • SMITH, B., 1979. European katydid *Meconema thalassinum* (de Geer) recorded from new location on Long Island, New York (Orthoptera: Tettigonidae). *J. N. Y. Entomol. Soc.* 87, 38–41. • SOUTHWOOD, T.R.E., WINT, G.R.E., KENNEDY, C.E.J., GREENWOOD, S.R. (2004): Seasonality, abundance, species richness and specificity of the phytophagous guild of insects on oak (*Quercus*) canopies. *Eur. J. Entomol.* 101, 43–50. <https://doi.org/10.14411/eje.2004.011>. • VAN DEN BRINK, P.J. (2008): Ecological risk assessment: From book-keeping to chemical stress ecology. *Environ. Sci. Technol.* 42, 8999–9004. <https://doi.org/10.1021/es801991c>. • WANG, Y., CHEN, L., YU, R., ZHAO, X., WU, C., CANG, T., WANG, Q. (2012): Insecticide toxic effects on *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Manag. Sci.* 68, 1564–1571. <https://doi.org/10.1002/ps.3343>. • WEBB, R.E., SHAPIRO, M., PODGWAITE, J.D., REARDON, R.C., TATMAN, K.M., VENABLES, L., KOLODNY-HIRSCH, D.M. (1989): Effect of aerial spraying with Dimilin, Dipel, or Gypchek on two natural enemies of the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *J. Econ. Entomol.* 82, 1695–1701. <https://doi.org/10.1093/jee/82.6.1695>. • ZIJP, J.P., BLOMMERS, L.H.M. (2001): The effect of diflubenzuron on parasitism of *Anthonomus pomorum* by *Centistes delusorius*. *Entomol. Exp. Appl.* 98, 115–118.

3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Kooperation des Forschungsverbundes bestand in der Abstimmung der einzelnen Teilvorhaben, die Nutzbarmachung von Schnittstellen und die Bündelung von Einzelergebnissen. Darüber hinaus wurden weitere wissenschaftliche Untersuchungen sowie Informationen z. B. zu rechtlichen Grundlagen mit Bezug zum integrierten Pflanzenschutz im Forst recherchiert und aufgearbeitet. Über die gesamte Projektlaufzeit fanden jährliche Arbeitstreffen mit den Verbundpartnern statt. Aus jedem Teilvorhaben wurden die wichtigsten Meilensteine sowie Ergebnisse präsentiert und diskutiert. In 2019 erfolgte ein Statusseminar, um die wesentlichen, bereits vorliegenden Ergebnisse zu kommunizieren. Die intensive Interaktion des Verbundes zwischen Forschung und Praxis war ein wesentliches Merkmal der wissenschaftlichen Arbeit. Aus dieser entstanden neue Netzwerke und Themen, die den Weg für multilaterale Kooperationen ebneten.

Innerhalb der Teilvorhaben bestanden weiterführende multilaterale Kooperationen, die für das Gelingen dieser wichtig waren. Im Teilvorhaben 1 und 2 bestand eine sehr enge Zusammenarbeit mit dem Landesbetrieb Forst Brandenburg, insbesondere mit dem Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, mit der Oberförsterei Herzberg, mit der Landesoberförsterei Peitz, den Oberförstereien Lieberose und Cottbus sowie mit der Landesoberförsterei Belzig. Auch ansässige Privatwaldbesitzer sprachen ihr Vertrauen aus. Des Weiteren war die Zusammenarbeit mit den Auftragnehmern für die Waldschutzmaßnahmen, für die Abdrift- und Expositionsversuche sowie für die Determination von Arthropodengruppen bereichernd für das Projektvorhaben.

Natürlich gestaltete sich die Kooperation zwischen den Instituten des Julius Kühn-Institutes als sehr konstruktiv und machbarkeitsorientiert.

Im Teilvorhaben 3 bestand eine enge Zusammenarbeit mit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft und mit der Bayerischen Forstverwaltung. Des Weiteren fand eine enge Zusammenarbeit mit den anderen am Verbundprojekt beteiligten Institutionen statt. In Bezug auf die Auswertung der Bakterien ist die Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum München (Prof. Schloter) herauszustellen.

Innerhalb des Teilvorhabens 4 erfolgte eine enge Kooperation zwischen der NW-FVA und dem JKI-SF, welche stark durch den unterschiedlichen fachlichen Hintergrund – einerseits forstlich, andererseits eher landwirtschaftlich geprägt – gefördert wurde. Das Institut JKI-SF trug während der Anfangsphase insbesondere Erfahrungen in der Erarbeitung von Leitlinien und dem Demonstrationsbetriebsnetz „DIPS“ der Landwirtschaft bei. Die Kooperation bestand in der Erarbeitung der sektorspezifischen Leitlinie sowie in der Durchführung von ökologischen Begleituntersuchungen bezüglich des Borkenkäfermanagements. Die NW-FVA unterstützte diese Untersuchungen des Instituts fachlich und beteiligte sich u. a. an der steten Weiterentwicklung des methodischen Ansatzes im Freiland sowie durch praktische Hilfestellungen. Bundesweit wurden die forstlich wichtigen und für den Waldschutz maßgeblichen Akteure an der Erarbeitung der Leitlinie beteiligt, indem ihnen die Möglichkeit der Stellungnahme eingeräumt wurde. Die Auswahl der beteiligten Einrichtungen, die Zusammenstellung der Beteiligungsrunden und die Gewichtung ihrer Stellungnahmen durch die NW-FVA gewährleistete eine weitgehende und angemessene Berücksichtigung unterschiedlicher Interessen. Die Ländereinrichtungen, die an der Leitlinien-Abstimmung beteiligt waren, äußerten Interesse an einer weitergehenden Demonstration von Waldschutzmaßnahmen durch Beispielbetriebe, insbesondere mit einer Beteiligung von Großbetrieben.

Das Teilvorhaben 5 war aufgrund der Fragestellung besonders auf multilaterale Kooperationen angewiesen. Hierbei erfolgte eine verstärkte Kommunikation zwischen den Waldschutz-Dienststellen der Länder, den verschiedenen Gremien im Bereich Wald- und Pflanzenschutz (u. a. BLAG-Lück, NAP AG Wald), den Waldbesitzerverbänden, Pflanzenschutzmittelherstellern und Vertriebsfirmen sowie den Bewertungsbehörden im Zulassungsverfahren nach Pflanzenschutzgesetz.

Die Servicestelle wurde an der Abteilung Waldschutz der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) in Freising/Bayern angesiedelt. Der Kooperationspartner des Teilvorhabens war die AG Lückenindikation des Julius Kühn-Instituts (Institut für Strategien und Folgenabschätzung), mit Sitz in Kleinmachnow/Brandenburg. Es ist die koordinierende Stelle des Bundes für Lückenindikationen auf nationaler und EU-Ebene und ist neben dem Deutschen Bauernverband (DBV) sowie dem Zentralverband Gartenbau (ZVG) ein Projektpartner des bis 31.07.2020 geförderten „Verbundvorhaben Lückenindikation“. Ein Erfahrungsaustausch erfolgte auf Basis der Teilnahme an jährlichen Beiratssitzungen sowie eines Informationsaustausches mit den Teilprojekten „Recherchen“ und „Kommunikation und Datentransfer“. Zudem konnte ein weiterer Lösungsansatz zum Lückenschluss auf EU-Ebene, der „Minor Uses Coordination Facility“ (MUCF), erfolgen. Folglich war es der Servicestelle ab 2017 möglich an Arbeitstreffen von europäischen Lückenindikations-Arbeitsgruppen gartenbau- und landwirtschaftlicher Einsatzgebiete (=Commodity Expert Groups ,CEG) teilzunehmen. Nach Gründung der AG Wald des Nationalen Aktionsplanes zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) im Mai 2017 wurde die Servicestelle zum Mitglied der AG benannt. Eine Mitarbeit erfolgt in der UAG 2 „Forschung und Weiterentwicklung von Pflanzenschutzverfahren“.

II. Ergebnisse

Waldökologische Forschung

Teilvorhaben 1

Effekte von Insektizidmaßnahmen und natürlichen Störungen auf die Antagonistenfauna in Kiefernwäldern (Arthropodenfauna)

UNTERSUCHUNGSGEBIETE UND VERSUCHSFLÄCHEN

A. Untersuchungsgebiet Obf. Herzberg

1. Waldschutzmonitoring und direkte Waldschutzmaßnahmen

Hinweis: Die aufgeführten Waldschutzdaten der artspezifischen Monitoring-Verfahren wurden vom Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) zur Verfügung gestellt. Die Federführenden des TV 1 haben die Monitoring-Verfahren (betrifft die Erfolgskontrollen des Luftfahrzeugeinsatzes) vor Ort begleitet. Weitere Informationen zur jährlichen Waldschutzsituation bieten die Waldschutzberichte des LFE für die Jahre 2016, 2017, 2018 und 2019.

Ausgehend von den Ergebnissen der Winterbodensuche (Januar 2016) wurden für *Diprion pini* im Untersuchungsgebiet der Oberförsterei Herzberg/Revier Buchhain mit 25 Kokons pro m² durch die Forstverwaltung über dem Schwellenwert liegende Dichten ermittelt, die durch zusätzliche Nachsuchen bis Mitte März 2016 bestätigt wurden. Der Stichprobenumfang bezog sich auf Kiefernflächen verschiedener Abteilungen im Rev. Buchhain, so auch direkt auf das Versuchsflächenareal des TV 1 im Verbundvorhaben RiMa-Wald. Die im Boden gefundenen Kokons (Prognosegrundlage für die Frühjahrsgeneration) wiesen einen geringen Parasitierungsgrad und eine hohe Schlupfbereitschaft von 83 % auf. Entsprechend erfolgte der Schlupf der Blattwespen ab Mitte April. Eine bestandesgefährdende Dichte wird für vollbenadelte, vitale Waldbestände bei 12 intakten Kokons pro m² erreicht. Dann lautet die vorläufige Prognose Kahlfraß. Bei Vorschädigung der Wälder muss dieser Wert entsprechend nach unten korrigiert werden. Kritisch für Kiefernabäume ist der Verlust von mehr als 95 % der Nadelmasse (WENK & MÖLLER 2015). Die Regeneration der Bäume nach Larvenfraß wird vor allem durch den Standort, Witterungsextreme und Folgeschädlinge, wie Holz- und Rindenbrüter beeinflusst (MÖLLER 2009).

Es ist dokumentiert, dass die Blattwespen, die im zeitigen Frühjahr schlüpfen, das Aufkommen einer Massenvermehrung bestimmen (MÖLLER et al. 2017). RYVKIN (1969) sprach die Empfehlung aus, im Frühjahr direkte Waldschutzmaßnahmen durchzuführen, um a) die Schädlingspopulation der 1. Generation einzudämmen und um b) die Bildung einer 2. Generation im Jahr (die deutlich schädigender auftritt) zu unterbinden. Eine kritische Dichte von 12 Kokons pro m² (SCHWERDTFEGGER 1960) kann in der nächsten oder übernächsten Generation zur Eruption und zu starken Fraßschäden führen. Verbunden mit einer starken Frühjahrsschlupfwelle und einem günstigen Temperaturverlauf von Frühjahr bis Sommer geraten viele Afterraupen des letzten Larvenstadiums in die photosensitive Phase, entwickeln sich diapausefrei und erzeugen eine 2. Generation (EICHHORN 1991). Auf Grundlage der aktuell geltenden Schadschwelle der Prognose Bestandesverlust für einen Pflanzenschutzmitteleinsatz per Hubschrauber und der Erfahrungen, dass die Entstehung einer 2. Generation fördernde Witterungsbedingungen in Brandenburg nur unregelmäßig zutreffen, finden prophylaktische Waldschutzmaßnahmen nicht statt. Über den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wird anhand der konkreten Überwachungsdaten (Flugbeobachtung, Eiablage) entschieden.

Anfang Juni 2016 wurde (in Kooperation mit dem Landesforstbetrieb Brandenburg, LFE) daher eine aviochemische Waldschutzmaßnahme auf ca. 80 ha Privatwald durchgeführt. Hierbei kamen das Präparat MIMIC (Fraßinsektizid) und das Präparat KARATE FORST flüssig (Kontaktinsektizid) zur Anwendung. Insgesamt **vier Untersuchungsvarianten** wurden in zweifacher Replikation (n=8 Flächen) im Rev. Buchhain beprobt:

1-Kontrolle

2-Fraß_{ab04'16}

3-Einsatz MIMIC_{06'16}

4-Einsatz KARATE FORST flüssig_{06'16}.

Für die abschließende Erfolgskontrolle (Mitte Juni) zum Nachweis der Wirksamkeit der eingesetzten Präparate, erfolgten auf dem Versuchsflächenareal Kotfallmessungen in Verbindung mit Probefällungen der Kiefer. Die Kotfallmessung dient der quantitativen Erfassung der Fraßaktivität und die Baumfällung der Zählung noch

lebender Blattwespenlarven in der Krone. Aus dem Verhältnis von Larvenanzahl und zugehöriger Kotballenzahl lässt sich die Individuenzahl an Larven auf Kiefern im Beprobungsareal ableiten. Die Ergebnisse bestätigten die Wirksamkeit (Wirkungsgrad: 99 %) von KARATE FORST *flüssig*: Auf den behandelten Kiefernflächen konnten nach der Waldschutzmaßnahme im Mittel 4,3 Kotkrümel/dm², bei n=9 vitalen Larven pro Krone ermittelt werden. Der Wirkungsgrad von MIMIC belief sich dagegen auf 0 %: Auf den behandelten Flächen wurde eine hohe Larvenaktivität (im Mittel: 89,4 Kotkrümel/dm² und n=1.341 vitale Larven/Krone) festgestellt, es überwog das L3-Stadium. Entsprechende Entwicklungen waren auch auf den Kontrollflächen nachweisbar (im Mittel: 91,1 Kotkrümel/dm², n=1.046 vitale L3/Krone).

Problematisch ist die Ausbildung einer 2. Generation im Jahr, weil die Kokondichte des Schädling um das ca. 31-fache (EICHHORN 1983) bis 100-fache (LFE 2010) ansteigen kann. Bereits im Juni 2016 war eine schnelle Entwicklung der Larven im Rev. Buchhain erkennbar, die über Probefällungen kontrolliert wurde. Zum einen konnte die Verpuppung in den Kiefernkrönen nachgewiesen und zum anderen eine Anzahl von 32 Kokons pro Baum im Versuchsflächenareal festgestellt werden. Eine konkrete Bestandesgefährdung wurde durch die Revierförster mittels der Eizahlen pro Baum auf Flächen innerhalb (\bar{x} : 10.441 Eier) und in angrenzender Umgebung (\bar{x} : 13.124 Eier) des Versuchsflächenareals ermittelt. Die kritische Zahl, mit der mind. starke Fraßschäden prognostiziert werden, liegt z. B. bei einem 60-jährigen Kiefernbestand der III. Ertragsklasse bei 70 Kokons bzw. 4.300 Eiern pro Baum (BÖHME & HAFFELDER 1999). In Folge waren die Flächen der Untersuchungsvarianten: 1-Kontrolle; 2-Fraß; 3-Einsatz MIMIC von der Ausbildung einer 2. Generation an Blattwespen im Jahr 2016 betroffen. Mit den angrenzenden Forstrevieren betrug die Befallsfläche insgesamt ca. 3.000 ha, die Ende August/Anfang September mit KARATE FORST *flüssig* behandelt wurde. Das Kontaktinsektizid kam auf den Untersuchungsvarianten (UV): 2-Fraß und 3-Einsatz MIMIC zur Anwendung. Auf den im Frühjahr gewählten Kontrollflächen (1-Kontrolle) fand der prognostizierte starke Nadelfraß statt, so dass neue Kontrollen im Frühjahr 2017 im benachbarten Rev. Schlieben, außerhalb des Applikationsgebietes, ausgewählt und in das Versuchsdesign implementiert wurden. Die Konstellation der Versuchsflächen änderte sich von Frühjahr bis Herbst 2016 im Rev. Buchhain wie folgt:

Frühjahr 2016

- 1-Kontrolle
- 2-Fraß_{ab04'16}
- 3-Einsatz MIMIC_{06'16}
- 4-Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{06'16}

Herbst 2016

- ⇒ Fraß_{ab04'16}
- ⇒ Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{08'16}
- ⇒ Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{08'16}
- ⇒ ohne Maßnahme

Dementsprechend wurden ab Frühjahr 2017 insgesamt fünf Untersuchungsvarianten in zweifacher Replikation (n = 10 Flächen) im Untersuchungsgebiet Obf. Herzberg beprobt:

1-Fraß _{ab04'16}	= KF-D	Rev. Buchhain
2-Einsatz KARATE FORST <i>flüssig</i> _{08'16}	= FP-D	Rev. Buchhain
3-Einsatz MIMIC _{06'16} + Einsatz KARATE FORST <i>flüssig</i> _{08'16}	= MP-D	Rev. Buchhain
4-Einsatz KARATE FORST <i>flüssig</i> _{06'16}	= P-D	Rev. Buchhain
5-Kontrolle _{ab04'17} .	= K-D	Rev. Schlieben

Starker Nadelfraß wurde ausnahmslos auf den einstigen Kontrollflächen (Frühjahr 2016) festgestellt, auf den mit Insektiziden behandelten Flächen zeigte sich merklicher Fraß nur auf FP-D1 (UV: *Einsatz KARATE FORST flüssig*_{08'16}), (Tab. Tv1-A 1). Die übrigen Flächen waren nur von geringen Fraßaktivitäten betroffen.

Die weitere Überwachung von *Diprion pini* erfolgte mit der Winterbodensuche (Januar 2017), die für das Untersuchungsgebiet Obf. Herzberg noch 33 Kokons/m² ergab. Die Kokons wiesen einen geringen Parasitierungsgrad, aber auch eine geringe Schlupfbereitschaft auf. Zusätzlich wurden entsprechende Nachsuchen - um weitere mögliche Schlupfwellen von *Diprion pini* zu erkennen - in 2017 durchgeführt, die vereinzelt erhöhte, vitale Kokonzahlen (Mai - \bar{x} : 25/m², Juni - \bar{x} : 10/m², Juli - \bar{x} : 13/m²) im Boden dokumentierten. Ein Einsatz von Insektiziden war im Frühjahr 2017 nicht erforderlich.

Das Waldschutzjahr 2017 war zusätzlich durch erhöhte Befallsdichten (Winterbodensuche) bei der Forleule (*Panolis flammea*) gekennzeichnet. Die geringe Eiablage ließ jedoch eine niedrige Fraßgefährdung erwarten. Dennoch kam es im Rev. Schlieben des Untersuchungsgebietes Obf. Herzberg zu lokal begrenzten Fraßaktivitäten der Forleule. Betroffen waren die zusätzlich implementierten Kontrollflächen (ab 2017), wo es zu einer Verschlechterung des Benadelungszustandes der Kiefernbestände kam (Tab. Tv1-A 1). Ein Einsatz von Insektiziden war ebenfalls nicht erforderlich.

Im Waldschutzzjahr 2018 wurden im Landkreis Elbe-Elster, in dem sich das Untersuchungsgebiet Obf. Herzberg befand, keine Auffälligkeiten bei den Kieferngrößschädlingen beobachtet. Die weitere Überwachung von *Diprion pini* erfolgte mit der Winterbodensuche (Januar 2018), die für das Untersuchungsgebiet Obf. Herzberg noch 11 Kokons/m² betrug. Die Kokons wiesen eine geringe Schlupfbereitschaft auf, so dass ein Einsatz von Insektiziden wie im Vorjahr nicht erforderlich war.

Tab. Tv1-A 1: Übersicht zur Fraßaktivität von *Diprion pini* (L.) auf den Untersuchungsflächen (Obf. Herzberg) mit Angabe weiterer ausgewählter Bestandesdaten

(Daten des LFE abgeleitet aus Satellitenrasterdaten - FVI [%]: relative Vitalität des Kronendaches = Istzustand, Entwicklung: ▼ Verschlechterung, ▲ Verbesserung, ◀ gleichbleibend; *Fraß der Forleule; Revierdaten des Landesforst Brandenburg - Standort: Stamm-Nährkraft-/Feuchtestufe (Z 2-ziemlich arm/mäßig frisch, grundwasserfrei, M 2-mittel/mäßig frisch, grundwasserfrei, +: reicherer Untergrund; rel. Bonität/ Wuchsleistung-Abhängigkeit von Alter und Mittelhöhe)

Untersuchungsvariante	Beprobung	Bezeichnung Flächen	Fraßklasse (2016)	Daten LFE (Rapid-Eye-Aufnahmen)				Alter (2016)	Fläche [ha]	Standort	rel. Bonität
				Nadelverlust (2016)	FVI (Istzustand Nov. 2016)	FVI (Istzustand Juli 2017)	FVI Entwicklung 2016 bis 2017				
Fraß _{ab04'16}	nur 2016 (Hiebsm. 2016/17)	KF-D1	merklich bis stark	> 20 % - 50 % > 50 % - 90 %	> 53 % - 60 % > 27 % - 33 %	> 40 % - 46 % > 20 % - 26 %	▼	62	5,1	Z 2	2,9
Fraß _{ab04'16}	2016 - 2018	KF-D2	stark	> 50 % - 90%	> 26 % - 33 %	> 53 % - 60 %	▲	56	2,9	Z 2	2,3
Fraß _{ab04'16}	2017 - 2018	KF-D3	stark	> 50 % - 90%	> 40 % - 47 %	> 53 % - 60 %	▲	72	1,5	Z 2	3,4
Karate Forst fl. _{06'16}	2016 - 2018	P-D2	gering	0 % - 20 %	> 87 % - 93 %	> 66 % - 73 %	▼	50	3,0	Z 2/M 2	1,9
Karate Forst fl. _{06'16}	2016 - 2018	P-D1	gering	0 % - 20 %	> 87 % - 93 %	> 66 % - 73 %	▼	47	1,1	Z 2	2,2
Karate Forst fl. _{08'16}	2016 - 2018	FP-D2	gering	0 % - 20 %	> 66 % - 73 %	> 60 % - 66 %	▼	52	1,5	Z 2/M+2	2,0
Karate Forst fl. _{08'16}	2016 - 2018	FP-D1	merklich	> 20 % - 50 %	> 53 % - 60 %	> 53 % - 60 %	◀	50	1,4	Z 2	2,7
Mimic _{06'16} + Karate Forst fl. _{08'16}	2016 - 2018	MP-D1	gering	0 % - 20 %	> 73 % - 80 %	> 60 % - 66 %	▼	60	3,4	Z 2	2,9
Mimic _{06'16} + Karate Forst fl. _{08'16}	2016 - 2018	MP-D2	gering	0 % - 20 %	> 73 % - 80 %	> 60 % - 66 %	▼	70	3,7	Z 2	3,0
Kontrolle _{ab04'17}	2017 - 2018	K-D3	gering	0 % - 20 %	> 73 % - 80 %	> 60 % - 66 %	▼*	69	5,7	Z 2	2,8
Kontrolle _{ab04'17}	2017 - 2018	K-D4	gering	0 % - 20 %	> 73 % - 80 %	> 60 % - 66 %	▼*	69	3,2	Z 2	2,4

2. Biologie von *Diprion pini* (L.) und mögliche Generations- und Schlupfwellenfolgen im UG Herzberg

Zu Beginn ist mit den Worten von SCHWENKE (1982) auf folgendes hinzuweisen: „Somit muss auch der Versuch, einen „typischen Lebenslauf“ von *D. pini* zu konstruieren, unbefriedigend bleiben, und man wird gezwungen sein, jede Population als eine infraspezifische Einheit zu betrachten, die sich in einer Reihe von biologischen Parametern von anderen, selbst räumlich benachbarten und unter vergleichbaren Umweltbindungen lebenden unterscheiden kann.“

Diprion pini gilt als Langtaginsekt und besitzt die Fähigkeit ihre Generationszahl durch Messung der Tageslänge den Standortbedingungen anzupassen. Eine Diapause freie Entwicklung erfolgt, wenn das letzte Larvenstadium unter Langtagbedingungen heranwächst, z. B. bei einer Hell-Dunkel-Phase von 16,5 h : 7,5 h. In Verbindung mit dem Makroklima werden die Generationen- und Schlupfwellenfolgen entscheidend beeinflusst (EICHHORN 1977, 1982). Die am LFE erstellten komplexen Datenanalysen (Klassifizierungsverfahren Random Forest), die langjährige Populationsdaten von *Diprion pini*, umfangreiche Klimadaten sowie vielfältige Standort- und Bestandesstrukturdaten berücksichtigten, wurden für den Massenwechselzyklus dieser Art bedeutende „Klimafenster“ ermittelt. So konnte erneut die für diese Art im Vergleich zu anderen Bestandeschädlingen herausragende Bedeutung der Witterung für die Populationsentwicklung dargestellt werden (MÖLLER et al. 2017, WENNING et al. 2017, HENTSCHEL et al. 2018).

Als bivoltines Insekt kann die Entwicklung von *Diprion pini* durch vier Schlupfwellen im Jahr erfolgen: 1. WELLE: Ende April/Anfang Mai, 2. WELLE: Ende Juli/Anfang August, 3. WELLE: Juni, 4. WELLE: August. Während die Schlupfwellen 1, 3 und 4 die 1. Generation bilden, entwickelt sich die 2. Generation aus den Nachkommen der Schlupfwelle 1 (= Individuen der Schlupfwelle 2). Die Schlupfwelle 4 überlappt teilweise mit der 2. Generation. Die Schlupfwelle 1 im Frühjahr geht nur aus den Schlupfwellen 2, 3, 4 des Vorjahres hervor, nicht aus den Überliegern vorhergehender Jahre. Die Imagines der 3. und 4. Schlupfwelle können dagegen von Überliegern abstammen (EICHHORN 1982). Demzufolge ist die Population einer Schlupfwelle in ihrer Herkunft sehr heterogen. Insbesondere die sog. „Tiefelandform“ von *Diprion pini* kann max. vier Schlupfwellen pro Jahr hervorbringen, drei davon entfallen auf die erste Generation und eine Schlupfwelle auf die zweite Generation (EICHHORN 1983, 1991). Das Schlüpfen der Nachkommen in den Folgejahren könnte im Jahr (n+1) als WELLE 3 im Juni sowie als WELLE 4 im August und im Jahr (n+2) als WELLE 3 im Juni erfolgen (EICHHORN 1983).

Da die Biologie dieser Art sehr variabel ist, können die Blattwespen der 1. Generation in zeitlich versetzten Wellen schlüpfen, frühester Flug Ende April/Anfang Mai und der späteste Flug im August (MLUL 2016). In der vorliegenden Studie schlüpfen die Wespen der 1. Generation von *Diprion pini* („Tieflandtyp“) im Untersuchungsgebiet ausschließlich in einer, der ersten möglichen Schlupfwelle (Tab. Tv1-A 2). Auch in der 2. Generation wurde nur eine, erneut die erste mögliche Schlupfwelle der Wespen beobachtet. Auffällig waren somit zwei Schlupfwellen im Jahr: 1. WELLE im April und 2. WELLE im August. Aus Schlupfwelle 1 ging die erste Larven-Generation hervor. Die zweite Larven-Generation entwickelte sich aus den Nachkommen der 1. Schlupfwelle des neuen Wespenfluges. Die Larven der 1. Generation vollzogen den Nadelfraß im Mai und Juni, die Larven der 2. Generation im August bis Oktober. Ab Anfang Oktober begann die Verpuppung in der Bodenstreu. Für die folgenden Jahre muss von einer anhaltenden Diapause des überwiegenden Teils der Populationen ausgegangen werden, da weitere Schlupfwellen ausblieben. Bei monatlichen Bodensuchen von Mai bis August 2017, mit dem Ziel der Prognose erneuter Fraßschäden, wurden eine sehr geringe Schlupfbereitschaft und eine hohe Parasitierung festgestellt (LFE 2016).

Bedingt durch unterschiedlich lange Diapausen im Eonymphenstadium kann sich die Entwicklung der Nachkommen der 1. Generation über 3 Jahre (bis zu 6 Schlupfwellen), die der 2. Generation über 4 Jahre (bis zu 7 Schlupfwellen) erstrecken (GERI 1988). SCHWENKE & STEGER (1961) sowie EICHHORN (1981) stellten zudem fest, dass sich das Schlupfverhalten von *Diprion pini* im Laufe der Massenvermehrung ändert, wobei eine zunehmende Verschiebung des Schlüpfens auf spätere Wellen erfolgt und die Rate an Überliegern ansteigt. In Folge wird die Wirtspopulation zunehmend univoltin und führt zum Zusammenbruch der Gradation. Das Schlupfverhalten von *Diprion pini* in Saison- oder Jahreswellen wird als Selektionsvorteil interpretiert, um alle Gegebenheiten des Standortes optimal nutzen zu können (EICHHORN 1983).

Tab. Tv1-A 2: Generations- und Schlupfwellenfolge der Imagines von *Diprion pini* (L.) mit Angabe verschiedener artspezifischer Monitoringverfahren und deren Ergebnisse im UG Herzberg

(Monitoringdaten des LFE aus 2016, 2017, 2018, 2019 sowie unveröff. Daten)

(¹) geringe Parasitierung, hohe Schlupfbereitschaft, (²) geringe Parasitierung (< 18 %), geringe Schlupfbereitschaft (< 2 %), (³)+(⁴) hohe Parasitierung (> 70 %), geringe Schlupfbereitschaft (< 3 %); *nach Luftfahrzeugeinsatz

	Waldschutzjahr	Jan.-März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
Waldschutz-Monitoring (LFE)	2016	Winterbodensuche 25 Kokons/m ² (¹)	Nachsuche (³)	Nachsuche (³) 25 Kokons/m ²	Nachsuche (³) 10 Kokons/m ²	Nachsuche (³) 13 Kokons/m ²	*Erfolgskontrolle: Kotfallmessung, Baumfällung	Baumfällung 32 Kokons/Ki; 10.441 Eier/Ki	*Erfolgskontrolle: Kotfallmessung, Baumfällung
	2017	Winterbodensuche 33 Kokons/m ² (²)					Nachsuche (³)		
	2018	Winterbodensuche 11 Kokons/m ²							
	2019	Winterbodensuche 6 Kokons/m ² (⁴)							
Schlupfwellen <i>Diprion pini</i>	2016		W 1 - 1. Gen. (bivoltin)				W 2 - 2. Gen. (bivoltin)		
	2017			Fehlen der Schlupfwellen / Nachweis Diapause					
	2018			Fehlen der Schlupfwellen / Nachweis Diapause					

3. Prüfversuch mit dem Präparat MIMIC gegen die Afterraupen von *Diprion pini* (L.)

Das Präparat MIMIC ist ein Insektenwachstumsregulator, der eine vorzeitige Häutung bei den Larvenstadien verschiedener Schadlepidopteren verursacht und schließlich zum Tode dieser führt. Es handelt sich hierbei um ein Fraßinsektizid, welches mit dem behandelten Blattwerk von den Larvenstadien der Lepidoptera durch Fraß aufgenommen wird. Der Wirkstoff Tebufenozid "imitiert" das natürliche Hormon (Ecdyson), um eine Häutung auszulösen. Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch hat MIMIC keine signifikanten Auswirkungen auf die Umwelt bzw. auf nicht-lepidoptere Insektenarten. Damit ist es ideal für die integrierte Schädlingsbekämpfung geeignet, um natürliche Antagonisten zu schonen (HILL & FOSTER 2000). Im Gegensatz zu anderen Insektenwachstumsregulatoren wirkt das Präparat hauptsächlich gegen Larvenstadien der Lepidoptera (Schmetterlinge) und hat keine Auswirkungen auf Wirbellose in terrestrischen Lebensräumen (BUTLER et al. 1997, ADDISON 1995).

Der Ecdyson-Rezeptor steuert die Entwicklung und andere Prozesse, wie die Fortpflanzung bei Insekten. Es handelt sich um ein nicht-kovalentes Heterodimer aus zwei Proteinen: dem EcR-Protein und dem Ultraspiracle-Protein (USP). Der Ultraspiracle-Protein/Retinoid-X-Rezeptor (USP/RXR) ist ein Transkriptionsfaktor,

der eine wesentliche Komponente mit dem Ecdyson-Rezeptor (EcR) darstellt. Bei Insekten bindet dieser Komplex Ecdysteroiden und spielt eine wichtige Rolle bei der Regulierung des Wachstums, der Entwicklung, der Metamorphose und der Fortpflanzung (HULT et al. 2011).

Verschiedene wissenschaftliche Studien befassten sich mit den Unterschieden der Ecdyson-Rezeptoren zwischen den Insektenordnungen, um die Wirkungsweise besser verständlich zu machen. Nach WATANABE et al. (2010) wurden die EcR-Isoformen bei allen holometabolen Insektenordnungen (u. a. Lepidoptera und Hymenoptera) nachgewiesen und neu identifiziert. Der umfassende Strukturvergleich ergab, dass die Isoform-spezifische Region jeder EcR-Isoform evolutionär konservierte Mikrodomänenstrukturen und insektensubgruppenspezifische Strukturmodifikationen enthielt. Unterschiede in der strukturellen Diversität der EcR-Isoformen bestanden bei den holometabolen Insekten, bei Lepidoptera und Hymenoptera in der A-Isoform-spezifischen und in der B1-Isoform-spezifischen Region. Bezüglich der B1-Isoform-spezifischen Region sind sich Lepidoptera und Diptera am ähnlichsten. Innerhalb der Hymenoptera zeigten sich Differenzen zwischen der B1- Isoform-spezifischen Region von Symphyta und Apocrita (WATANABE et al. 2010).

Die Signaltransduktion von Ecdysteroiden ist ein Schlüsselprozess in der Insektenentwicklung und daher ein wichtiges Ziel für die Entwicklung von Insektiziden (DE GEYTER 2012). Basierend auf seinen Untersuchungen stand eine große Anzahl von auf Ecdysteroid reagierenden Zelllinien zur Verfügung. Diese sind so konzipiert, dass sie Marker enthalten, die die Aktivität des Ecdysteroid-Rezeptors (EcR) visualisieren. Das Bindungsmuster des Ecdysteroid-Rezeptors (EcR) ist jedoch entscheidend. Lepidopteren besitzen eine zweite Ecdyson-bindende Tasche (BmEcR-LBD) an der der Ethylphenylring von Tebufenozid andocken kann. Daher ist eine gute Wirksamkeit gegenüber Arten der Lepidoptera bekannt, für andere Insektenordnungen wird jedoch nur eine Minderwirkung formuliert.

Die Resultate der Literaturrecherche zur komplexen Wirkungsweise des Präparates und die Abstimmung mit dem Zulassungsinhaber haben die Entscheidung zur Durchführung eines Prüfversuches mit MIMIC positiv beeinflusst, weil bezüglich der Wirksamkeit eine Grauzone besteht. In den weiterführenden Studien ist von einer Minderwirkung bei anderen Insektenordnungen als den Lepidoptera die Rede, so dass eine Wirksamkeit gegen diese nicht eindeutig auszuschließen war. Des Weiteren wird die Neuentwicklung von Wirkstoffen für den Anwendungsbereich Forst aufgrund der geringen Anwendungsmenge sowie immer umfangreicherer Umweltauflagen erschwert, so dass die Notwendigkeit besteht, alternative Wirkstoffe aus anderen Anwendungsbereichen (u. a. Obstbau) im Zulassungsverfahren nach Pflanzenschutzgesetz unter Freilandbedingungen auf Wirksamkeit zu prüfen. Ebenfalls bestand die Möglichkeit ein Fraßinsektizid für die Analysen der Umweltwirkung im Arbeitspaket 2 des TV 1 zusätzlich zu prüfen.

B. Untersuchungsgebiet Obf. Lieberose/Cottbus

1. Direkte Waldschutzmaßnahmen gegen *Dendrolimus pini* (L.) in 2014

Die Beobachtung der langfristigen Auswirkungen erfolgten im Südosten Brandenburgs, auf Bestandsflächen der Oberförstereien Lieberose und Cottbus. Dort fand 2014 eine Gradation des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* (L.)) statt. Im gesamten Schadgebiet Südbrandenburgs wurden auf insgesamt ca. 10.700 ha Insektizide angewendet (MÖLLER et al. 2015). Auf den durch Kahlfraß existenziell gefährdeten Waldflächen wurde im Frühjahr 2014 das Kontaktinsektizid KARATE FORST *flüssig* (Wirkstoff lambda-Cyhalothrin) mit Luftfahrzeugen ausgebracht. Dagegen erfolgte auf den Flächen im angrenzenden Naturschutzgebiet, wo ebenfalls eine existenzielle Bedrohung mit etablierten Monitoringverfahren nachgewiesen wurde, keine Bekämpfungsmaßnahme. Grund war die verwehrte Genehmigung der Managementbehörde (BVL), im Einvernehmen mit dem Umweltbundesamt (UBA). Die dort betroffenen Waldflächen wurden teilweise stark geschädigt (hervorgerufen durch starken Fraß bis Kahlfraß) und drei verschiedenen Schadstufen zugeordnet. Für die freilandökologische Untersuchung im Verbundvorhaben waren nur Flächen der Schadstufe „geschädigter Kiefernbestand in Regeneration“ relevant. Die Schadstufen „zunehmend auflösender Kiefernbestand“ und „abgestorbener Kiefernbestand“ konnten u. a. aus Gründen der Verkehrssicherheit nicht beprobt werden. Eine komplette Fraßkartierung des Schadgebietes erfolgte durch das LFE mittels RAPIDEYE-Satellitenaufnahmen (MARX et al. 2015), die auch digital zur Verfügung gestellt wurden (Tab. Tv1-B 1).

Die Untersuchung der langfristigen Auswirkungen von Kahlfraß und des Einsatzes von KARATE FORST flüssig beziehen sich auf das 3. bis 5. Jahr nach Auftreten der Störung. Insgesamt drei Untersuchungsvarianten wurden in zweifacher Wiederholung (n = 6 Flächen) beprobt:

1-Kontrolle

2-Fraß₂₀₁₄

3-Einsatz KARATE FORST flüssig₂₀₁₄.

Die Situation der Kieferngrößschädlinge wurde in den Untersuchungsjahren vom LFE mit Monitoringverfahren der Standardüberwachung fortlaufend überwacht. Natürlich gehört die Standardüberwachung zu den regelmäßig durchgeführten Verfahren in Gradationsgebieten, um Gefährdungen abzuschätzen.

Tab. Tv1-B 1: Übersicht zur Fraßaktivität von *Dendrolimus pini* (L.) auf den Untersuchungsflächen (Obf. Lieberose/Cottbus) mit Angabe weiterer ausgewählter Bestandesdaten

(Daten des LFE abgeleitet aus Satellitenrasterdaten - FVI [%]: relative Vitalität des Kronendaches = Istzustand, Entwicklung: ▼ Verschlechterung, ▲ Verbesserung, ◀ gleichbleibend; Revierdaten des Landesforst Brandenburg - Standort: Stamm-Nährkraft-/Feuchtestufe (Z 2-ziemlich arm/mäßig frisch, grundwasserfrei, A 2-, mittelfrisch, grundwasserfern), rel. Bonität/Wuchsleistung in Abhängigkeit von Alter und Mittelhöhe, Schlussgrad ist Maß für die Bestandesdichte)

Untersuchungsvariante	Bezeichnung Flächen	Daten LFE (Rapid-Eye-Aufnahmen)					Alter (2016)	Fläche [ha]	Standort	rel. Bonität	Mittelhöhe [m]	Schlussgrad
		Fraßklasse (2014)	Nadelverlust (2014)	FVI (Istzustand Sept. 2014)	FVI (Istzustand Aug. 2016)	FVI Entwicklung 2014 bis 2016						
Kontrolle ab 2016	K-LA	gering	0 % - 20 %	> 53 % - 60 %	> 66 % - 80 %	▲	65	16,1	Z 2	3,0	14,9	1,0
Kontrolle ab 2016	K-LB	gering	0 % - 20 %	> 40 % - 60 %	kein Wert, außerhalb Kachel		59	9,6	Z 2	3,2	13,2	0,9
Fraß ₂₀₁₄	F-LA	Kahlfraß	> 90 % - 100 %	> 6 % - 40 %	> 66 % - 80 %	▲	62	11,6	Z 2	2,8	15,1	1,1
Fraß ₂₀₁₄	F-LB	Kahlfraß	> 90 % - 100 %	> 6 % - 33 %	> 73 % - 80 %	▲	64	2,1	Z 2	3,8	12,2	1,0
Karate Forst fl. ₂₀₁₄	P-LA	gering	0 % - 20 %	> 53 % - 73 %	> 66 % - 87 %	▲	62	14,5	A 2	2,3	16,7	0,9
Karate Forst fl. ₂₀₁₄	P-LB	gering	0 % - 20 %	> 53 % - 73 %	> 80 % - 87 %	▲	75	9,6	Z 2	3,5	14,9	0,9

C. Klima und Witterung

Für die Erhebung des Mikroklimas in den einzelnen Waldbeständen wurden je zwei Niederschlagsmesser und vier Datenlogger auf den Flächen installiert. Zwei Datenlogger erfassten die bodennahe Temperatur und zwei weitere Lufttemperatur (°C) und relative Luftfeuchtigkeit (%) im Bereich der Baumkronen (UG Lieberose/Cottbus) bzw. in ca. 1,5 m Höhe über dem Boden (UG Herzberg). Die erhobenen Witterungsdaten der drei Untersuchungsjahre (von 2016 bis 2018) wurden mit den Witterungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und einer relevanten Waldklimastation auf Plausibilität geprüft. Des Weiteren wurden verfälschte Daten, wie negative Taupunktwerte (betrifft Luftfeuchtwerte < 20 %) bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Auch Witterungsdaten die durch den Absturz von Luftelektoren oder Datenloggern aus der Krone am Boden erfasst wurden, sind nicht in die Auswertung eingegangen.

Die Analyse der freilandökologischen Daten ist hinsichtlich der Witterungsdaten eine Herausforderung. Grund sind die deutlich abweichenden Witterungsereignisse in den Jahren 2016, 2017 und 2018. Nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2019) „[...] verlief das Jahr 2016 in Deutschland mit einem Plus von 1,4 Grad deutlich zu warm. Bezüglich Niederschlag und Sonnenscheindauer fiel das Jahr durchschnittlich aus. Auch das Jahr 2017 war in Deutschland deutlich wärmer als der vieljährige Klimawert. Dazu gab es einen leichten Überschuss bei den Niederschlägen und beim Sonnenschein. Das Jahr 2018 stand im Zeichen des Klimawandels - es präsentierte sich als das wärmste und sonnigste Jahr seit Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen und gehörte zu den niederschlagsärmsten Jahren seit 1881“.

Die Ergebnisse der mikroklimatischen Erhebung mit Datenloggern bestätigten die erheblichen klimatischen Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren. Das Jahr 2018 war deutlich trockener und wärmer als die Jahre 2016 und 2017. Die Trockenheit spiegelte sich in den vergleichsweise niedrigen Niederschlagswerten und der niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit wider. Die Jahre 2016 und 2018 waren im Vergleich zu 2017 durch sommerliche Temperaturen bis zum September charakterisiert (Tab. Tv1-C 1).

Laut DWD (2019) lag das arithmetische Mittel der Lufttemperatur für die drei Untersuchungsjahre deutlich über dem Jahresmittel für den Referenzzeitraum von 1961-1990 des Landes Brandenburg. Die Jahre 2016 und 2018 gehörten zu den 12 wärmsten seit dem Beginn der Wetteraufzeichnungen. In Bezug auf die Niederschläge wurden die Jahre 2017 und 2018 als ausgesprochen gegensätzlich beschrieben. Im Jahr 2017 lag der Jahresniederschlag mit 721 mm pro m² um 160 mm deutlich über dem langjährigen Mittel. Das Jahr 2018

war mit 390 mm pro m² Jahresniederschlag um 167 mm niedriger als das langjährige Mittel und damit das trockenste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Vor allem die Sommerniederschläge waren in dem Jahr stark reduziert. Die klimatischen Bedingungen des Jahres 2018 entsprachen daher mehr der Vegetationszone der Steppe der arid-gemäßigten Zonen als der Vegetationszone Sommergrüner Laubwälder (FREY & LÖSCH 2010).

Tab. Tv1-C 1: Klimadaten der Untersuchungsgebiete in den Untersuchungsjahren 2016, 2017 und 2018

(Angabe des arithmetischen Mittels der bodennahen Lufttemperatur, der Niederschlagssumme und der relativen Luftfeuchte im Kronenraum nach Fangperioden, Messung mit Datenlogger und Niederschlagsmesser) (vgl. Abs. Erfassungsmethoden und Untersuchungszeitraum)

Untersuchungsgebiet	Herzberg			Lieberose/Cottbus		
Jahr	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Fangperiode - Monat	Lufttemperatur [°C]					
FP 1 - April	keine Daten	7,77	14,31	9,53	7,42	14,22
FP 2 - Mai		17,44	19,76	17,03	16,28	19,29
FP 3 - Juni	19,16	19,20	19,65	18,80	18,95	19,19
FP 4 - Juli	20,10	19,65	22,41	19,68	18,80	20,97
FP 5 - August	18,56	18,68	22,80	17,93	18,86	22,69
FP 6 - September	17,48	13,65	17,48	17,40	13,65	17,40
FP 7 - Oktober	9,31	11,93	10,85	9,56	11,94	10,69
\bar{X} (Fangzeitraum)	–	15,47	18,18	15,70	15,13	17,78
Fangperiode - Monat	Niederschlag [mm/m ²]					
FP 1 - April	keine Daten	9,3	14,6	18,0	16,6	20,0
FP 2 - Mai		19,8	15,1	34,3	20,9	42,3
FP 3 - Juni	25,1	30,6	8,2	44,8	44,3	17,3
FP 4 - Juli	22,2	52,8	13,7	54,3	59,1	22,9
FP 5 - August	11,3	37,5	3,5	27,8	41,9	5,0
FP 6 - September	12,9	21,3	22,6	2,0	35,1	25,3
FP 7 - Oktober	44,9	36,3	7,6	45,1	41,1	2,4
\bar{X} (Fangzeitraum)	–	29,66	12,18	32,32	37,00	19,32
Fangperiode - Monat	relative Luftfeuchtigkeit [%]					
FP 1 - April	keine Daten	78,13	72,52	68,06	80,45	71,67
FP 2 - Mai		66,79	65,25	70,15	69,79	64,14
FP 3 - Juni		70,16	63,85	72,56	68,66	67,28
FP 4 - Juli	76,57	76,92	60,53	74,85	74,37	66,74
FP 5 - August	71,60	78,67	57,66	77,84	74,92	61,55
FP 6 - September	71,94	85,57	69,47	72,49	81,54	71,22
FP 7 - Oktober	94,03	92,37	79,14	92,26	87,03	77,57
\bar{X} (Fangzeitraum)	–	78,37	66,92	75,46	76,68	68,60

Zusätzlich wurde mittels der hemisphärischen Fotografie die diffuse Strahlung (Diffuse Light Index, kurz DLI) in den Kiefernbeständen ermittelt. Mit dieser Methode sollte eine Quantifizierung der Fraßereignisse erfolgen. Die Fisheye-Aufnahmen erfolgten an jeweils drei festgelegten Messpunkten auf der Untersuchungsfläche, wobei verschiedene Einstellungen (u. a. Belichtungsreihen) geprüft wurden. Optimale Aufnahmen waren nur bei homogener Bewölkung möglich, so dass das Zeitfenster für Fotografien begrenzt und die Auswertung der Fish-Eye-Aufnahmen fehleranfällig war. In 2016 überwogen leider die Aufnahmen mit inhomogener Bewölkung und Sonnenschein, die zusätzlich auch zwischen den Flächen nicht einheitlich waren.

Die hemisphärische Fotografie wurde im UG Herzberg im März/April 2017 bei homogener Bewölkung wiederholt. Ein Flächenvergleich hinsichtlich des DLI (= durchschnittliche diffuse, indirekte Strahlung) war grundsätzlich möglich. So zeigte sich im UG Herzberg, dass die Anfang Juni behandelten Flächen mit dem Präparat Karate Forst *flüssig* (P-D 1, P-D 2) die niedrigsten DLI-Werte (von 29 % bis 38 %) aufwiesen. Dagegen auf den Flächen mit Larvenfraß und einem Verlust an Nadelmasse (z. B. KF-D 2, FP-D 1, MP-D 1) höhere DLI-Werte (von 40 % bis 46 %) nachweisbar waren. Im UG Lieberose/Cottbus wurden im September 2017 die hemisphärischen Aufnahmen bei homogener Bewölkung wiederholt. Die Untersuchungsvarianten zeigten keine großen Unterschiede im DLI auf, weil als Fraßflächen geschädigte Kiefernbestände der ersten Schadstufe (d. h. in Regeneration befindlich), gewählt wurden.

D. Wald-/Forstgesellschaft

Die Erfassung weiterer Bestandesparameter beinhaltete Vegetationsaufnahmen nach BRAUN-BLANQUET (1964) und die Ableitung der Forstgesellschaft aus den erfassten Deckungsgraden nach HOFMANN & POMMER (2013) sowie die Ermittlung des Totholzanteiles, modifiziert nach der Methodik der 3. Bundeswaldinventur (POLLEY 2011).

Die Vegetationsaufnahme zur Bestimmung der Wald-/Forstgesellschaft bestätigte Übergangsformen zwischen dem Hagermoos-Kiefernforst und dem Drahtschmielen-Kiefernforst (Tab. Tv1-D 1). Insbesondere zeigte die Draht-Schmiele größere Vorkommen auf den Untersuchungsflächen in beiden Untersuchungsgebieten. Nach ELLENBERG et al. (2001) kennzeichnet die Draht-Schmiele saure, stickstoffarme Standorte. Als Halbschatten- bis Halblichtpflanze kommt sie „selten bei weniger als 20 % relativer Beleuchtungsstärke (r. B.) vor, nur ausnahmsweise im vollen Licht, meist aber bei mehr als 10 % r. B.“ oder „meist bei vollem Licht, aber auch im Schatten bis etwa 30 % r. B.“ (ELLENBERG et al. 2001).

Tab. Tv1-D 1: Übersicht der etablierten Wald-/Forstgesellschaften und deren Charakteristika nach HOFMANN (2001)

Wald-/Forstgesellschaft	Hagermoos-Kiefernforst <i>Dicrano-Cultopinetum sylvestris</i>	Drahtschmielen-Kiefernforst <i>Avenello-Cultopinetum sylvestris</i>
Bestandesbild	<ul style="list-style-type: none"> - Kiefernanzbau auf devastierten Böden - geringwüchsige, oft schlecht geformte Waldkiefern - gelegentlich mit Sandbirken durchsetzt 	<ul style="list-style-type: none"> - künstlicher Anbau der Kiefer - geschlossen, gleichaltrige Bestände - ersetzt bodensaure Eichen-/Buchenwälder
Vegetationsstruktur	<ul style="list-style-type: none"> - fast völliges Fehlen höherer Pflanzen - Moosdecke mit verschiedenen Hagermoosen (u. a. Zypressen-Astmoos, Weißmoos) - an armen Stellen mit Strauchflechten 	<ul style="list-style-type: none"> - vorherrschen der Draht-Schmiele - geschlossene Astmoosdecken mit u. a. Rotstengel-Astmoos, Grünstengelmoos
Standort	<ul style="list-style-type: none"> - sehr saure, im Oberboden nährstoffarme Sande - Wasserhaushalt mäßig trocken bis trocken 	<ul style="list-style-type: none"> - meist podsolige bis podsoliierte Braunerden auf mäßig trockenen ton- und schluffarmen Sanden - ziemlich arme Nährkraftstufe
Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> - Kiefernbestände erbringen nur Mindererträge - kaum Alternativen als die Baumart Kiefer - für die Grundwasserneubildung in Trockengebieten von Bedeutung durch geringere Interzeptionsverluste in der Bodenvegetation 	<ul style="list-style-type: none"> - Rückgrat der Kiefernwirtschaft - Unterbau mit anderen Baumarten eingeschränkt - Waldumbau mit Eichen möglich (ab bestimmten Bestandesalter)
Vegetationswandel	<ul style="list-style-type: none"> - Verbesserungen der Humusverhältnisse bedingen einen Wandel zum Drahtschmielen-Kiefernforst, verbunden mit Wachstums- und Vitalitätsverbesserungen der Kiefer 	<ul style="list-style-type: none"> - Fremdstoffeinträge führen zur Umwandlung in Sandrohr-Kiefernforst

Eine Überprüfung der in 2016 und 2017 aufgenommenen Vegetation bzw. die Bestimmung der Wald-/Forstgesellschaft erfolgte in 2018, um hauptsächlich die Deckungsgrade der dominant vorkommenden Draht-Schmiele sowie der wichtigsten Moosarten nochmals zu schätzen. Dabei konnte keine Veränderung der Wald-/Forstgesellschaft auf den einzelnen Flächen im Vergleich zu den Vorjahren festgestellt werden. Mehrheitlich sind Übergangsformen zwischen dem Hagermoos- und Drahtschmielen-Kiefernforst vorhanden. Auffällig war der zunehmende Deckungsgrad der Draht-Schmiele von 2016 bis 2018 auf einigen Flächen in beiden Untersuchungsgebieten. Dieser lässt auf eine beginnende Vegetationsänderung schließen, in Richtung eines Drahtschmielen-Kiefernforstes. Nach HOFMANN (2001) zeigt diese Entwicklung eine Verbesserung der Humusverhältnisse an.

ERFASSUNGSMETHODEN UND UNTERSUCHUNGSZEITRAUM

In den gewählten Kiefernbeständen wurde jeweils eine Untersuchungsfläche von ca. 60 x 70 m zentral festgelegt, um Rand- und Nachbarschaftseffekte zu vermeiden. Dort kamen je vier Lufttektoren (LEK), drei Bodenphotoektoren (BPE) und sechs Bodenfallen (BF) zum Einsatz. Drei Messpunkte für die hemisphärische Fotografie (DLI) wurden in unmittelbarer Nähe der Bodenphotoektoren markiert. Die Installation der LEK erfolgte im UG Lieberose/Cottbus in den Baumkronen sowie im UG Herzberg auf Orkanstützen. Grund waren verschiedene Extremwetterereignisse (Sturm oder Starkregen), die häufig im Nachgang Neuinstallationen erforderten. Die BPE wurden ein- bis zweimalig in den Untersuchungsjahren umgesetzt, um Leerfänge zu vermeiden. (Tab. Tv1-E 1, Tv1-E 2). Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über drei Jahre, von 2016 bis 2018. Die Fangautomaten wurden in der Vegetationsperiode von April bis Oktober alle vier Wochen geleert.

Tab. Tv1-E 1: Zeiträume der Fangperioden (FP) in 2016, 2017, 2018 im UG Lieberose/ Cottbus⁽¹⁾ Umsetzung der Bodenphotoelektoren zu Beginn der Fangperiode)

FP	Monat	2016	2017	2018
1	April	11.04. – 08.05.	10.04. – 07.05.	09.04. – 05.05.
2	Mai	09.05. – 05.06.	08.05. – 05.06.	06.05. – 03.06.
3	Juni	06.06. – 03.07.	06.06. – 02.07.	04.06. – 01.07.
4	Juli	04.07. – 31.07. ¹⁾	03.07. – 30.07. ¹⁾	02.07. – 29.07. ¹⁾
5	August	01.08. – 28.08.	31.07. – 27.08.	30.07. – 26.08.
6	September	29.08. – 25.09.	28.08. – 24.09.	27.08. – 23.09.
7	Oktober	26.09. – 23.10.	25.09. – 22.10.	24.09. – 21.10.

Tab. Tv1-E 2: Zeiträume der Fangperioden (FP) in 2016, 2017, 2018 im UG Herzberg⁽¹⁾ Wechsel der Kontrollflächen (22./23.06.), ⁽²⁾ Verlagerung der Luftelektoren auf Orkanstützen (19.-21.07.), ⁽³⁾ Umsetzung der Bodenphotoelektoren zu Beginn der jeweiligen Fangperiode)

FP	Monat	2016	2017	2018
1	April	keine Beprobung	11.04. – 08.05.	09.04. – 07.05.
2	Mai	keine Beprobung	09.05. – 06.06.	08.05. – 04.06.
3	Juni	13.06. – 06.07. ¹⁾	07.06. – 03.07. ³⁾	05.06. – 02.07. ³⁾
4	Juli	07.07. – 03.08. ²⁾	04.07. – 31.07.	03.07. – 30.07.
5	August	04.08. – 31.08.	01.08. – 28.08.	31.07. – 27.08.
6	September	01.09. – 28.09. ³⁾	29.08. – 26.09. ³⁾	28.08. – 24.09. ³⁾
7	Oktober	29.09. – 26.10.	27.09. – 23.10.	25.09. – 22.10.

Abweichungen vom ursprünglichen Untersuchungsdesign (UG Herzberg) im Versuchsverlauf 2016, wie ein kürzerer Fangzeitraum und die Veränderungen der Untersuchungsvarianten, müssen bei der Auswertung Berücksichtigung finden. Grundsätzlich repräsentieren die Veränderungen die Realität in der Waldschutzarbeit und Freilandforschung, verbunden mit der Komplexität und unvorhersehbaren Ereignissen.

RELEVANTE ARTHROPODENGRUPPEN

A. Übersicht des Fangspektrums

Alle Fangproben wurden bei der Vorsortierung auf Ordnungsniveau (Insecta: Coleoptera, Neuroptera, Orthoptera; Arachnida: Araneae), als auch teilweise nach der Unterordnung (Insecta: Hymenoptera - Symphyta, Apocrita; Diptera - Brachycera; Hemiptera - Heteroptera) und nach „Sonstige“ gruppiert. Im Vordergrund der Bearbeitung standen die Nichtzielorganismen, insbesondere die Gruppe der Antagonisten, wie die Vertreter der räuberischen Familien der Coleoptera (Carabidae, Staphylinidae, Coccinellidae), der Diptera (Asilidae) und die Ordnung der Araneae (Arachnida) sowie die der parasitoiden Hymenoptera (Apocrita): Chalcidoidea, Ichneumonoidea und Diptera (Brachycera): Tachinidae, Muscidae und Sarcophagidae. Zusätzlich wurden die Curculionidae (Coleoptera) als Phytophage bearbeitet. Natürlich sind aufgrund der Fragestellung nicht nur die Antagonisten oder ausgewählte Phytophage zu berücksichtigen. Vielmehr galt es anhand des Fangspektrums individuell zu entscheiden, welche Familien (u. a. mit hohen relativen Häufigkeiten) zu aussagekräftigen und quantitativ-vergleichbaren Ergebnissen führen können, um Effekte von Störungen nachzuweisen.

Es wurden alle Fangproben aus beiden Untersuchungsgebieten komplett vorsortiert. Bezogen auf die Arthropodengruppen: Arachnida - Araneae, Insecta - Coleoptera, Hymenoptera (Apocrita), Diptera (Brachycera) wurden insgesamt 462.187 Individuen (UG Lieberose/Cottbus: 148.649 Ind., UG Herzberg: 313.538 Ind.) ermittelt (Tab. Tv1-F 1, Tv1-F 2). Erwartungsgemäß dominierten am Gesamtfang in beiden Untersuchungsgebieten die Araneae in den Bodenfallen (UG Lieberose/Cottbus: 66 %, UG Herzberg: 67 %), die Apocrita in den Bodenphotoelektoren (UG Lieberose/Cottbus: 68 %, UG Herzberg: 65 %) und die Brachycera in den Luftelektoren (UG Lieberose/Cottbus: 62 %, UG Herzberg: 57 %). Ebenfalls häufig mit Luftelektoren wurden die Vertreter der Coleoptera (UG Lieberose/Cottbus: 61 %, UG Herzberg: 58 %) nachgewiesen.

Tab. Tv1-F 1: Individuenzahlen relevanter Arthropodengruppen im UG Lieberose/Cottbus(getrennt nach Untersuchungsjahr - 1. bis 7. FP 2016, 2017, 2018 und Fallentyp - BF: Bodenfalle, BPE: Bodenphotoelektor, LEK: Luft-
elektor, Stand: Vorsortierung 05.2020)

Klasse	Ordnung Unterordnung/Familie	BF				BPE				LEK				Gesamt
		2016	2017	2018	Σ	2016	2017	2018	Σ	2016	2017	2018	Σ	
Arachnida	Araneae	5.359	4.707	7.453	17.519	1.573	2.319	2.298	6.190	700	897	1.249	2.846	26.555
Insecta	Diptera Brachycera	3.464	1.900	3.354	8.718	2.229	4.050	3.044	9.323	7.231	9.195	12.516	28.942	46.983
	Coleoptera	887	1.026	1.773	3.686	1.476	2.042	1.797	5.315	4.408	3.876	5.892	14.176	23.178
	Hymenoptera Apocrita	962	2.384	4.177	7.523	6.907	14.272	13.939	35.118	4.476	2.374	2.442	9.292	51.933
	Sonstige	2.014	3.464	4.508	9.986	4.997	2.577	2.809	10.383	6.879	7.491	5.393	19.763	40.132
	Gesamt		12.686	13.481	21.265	47.432	17.182	25.260	23.887	66.329	23.694	23.833	27.492	75.019

Tab. Tv1-F 2: Individuenzahlen relevanter Arthropodengruppen im UG Herzberg(getrennt nach Untersuchungsjahr - 3. bis 7. FP 2016, 1. bis 7. FP 2017, 2018) und Fallentyp (BF: Bodenfalle, BPE: Bodenphotoelektor, LEK: Luft-
elektor, Stand: Vorsortierung 05.2020)

Klasse	Ordnung Unterordnung/Familie	BF				BPE				LEK				Gesamt
		2016	2017	2018	Σ	2016	2017	2018	Σ	2016	2017	2018	Σ	
Arachnida	Araneae	9.854	17.323	24.026	51.203	4.523	8.350	9.495	22.368	563	720	1.239	2.522	76.093
Insecta	Diptera Brachycera	1.997	3.539	5.148	10.684	4.784	8.921	15.296	29.001	5.649	15.715	31.701	53.065	92.750
	Coleoptera	2.557	5.229	7.512	15.298	1.327	4.116	4.796	10.239	3.284	19.616	12.376	35.276	60.823
	Hymenoptera Apocrita	4.127	5.755	5.087	14.969	11.608	22.774	19.749	54.131	5.679	5.669	3.424	14.772	83.872
	Sonstige	5.625	10.766	6.250	22.641	5.223	7.889	6.334	19.446	6.016	12.264	13.024	31.304	73.391
	Gesamt		24.160	42.612	48.023	114.795	27.465	52.050	55.670	135.185	21.191	53.984	61.764	136.939

Die morphologische Determination relevanter Vertreter der ausgewählten Arthropodengruppen erfolgte bis auf Familien- bzw. Artniveau, unter Einbindung von Experten. Gegenwärtig findet die Auswertung der Datengrundlage für die Coleoptera: Coccinellidae, Staphylinidae, Curculionidae bzw. für die Hymenoptera: Ichneumonidae, Braconidae, Chalcidoidea statt. Die Arthropodengruppen Coleoptera: Carabidae, Diptera: Brachycera und Arachnida: Araneae befinden sich weiterhin in der Determination. Daher können zurzeit keine Ergebnisse formuliert werden. Der weitere Zeitplan sieht eine schnelle Aufarbeitung der Fänge und die Auswertung bzw. Veröffentlichung der Daten vor (Tab. Tv1-F 3).

Tab. Tv1-F 3: Aktueller Stand sowie Planung der Auswertung und Veröffentlichung von Daten

Ordnung	Familie	Datengrundlage	Fallentechnik	UG	aktueller Stand
Coleoptera	Carabidae (Laufkäfer)	2016 bis 2018 □	BF	Herzberg + Lieberose	in Determination
	Staphylinidae (Kurzflügelkäfer)	2016 bis 2018 □	BF	Herzberg	Daten vorliegend
	Coccinellidae (Marienkäfer)	2016 bis 2018 □	LEK	Herzberg + Lieberose (nur 2016)	Daten vorliegend, in Auswertung
	Curculionidae (Rüsselkäfer - ohne Borkenkäfer)	nur 2016 □	LEK + BPE	Herzberg + Lieberose	Daten vorliegend
Hymenoptera	Chalcidoidea (Erzwespen)	2016 bis 2017 □	BPE + LEK	Herzberg + Lieberose	Daten vorliegend, in Auswertung
	Ichneumonidae* (Schlupfwespen)	2016 bis 2017 □	BPE + LEK	Herzberg + Lieberose	Daten vorliegend, in Auswertung
	Braconidae (Brackwespen)	2016 bis 2017 □	BPE + LEK	Herzberg + Lieberose	Daten vorliegend
Araneae		2016 bis 2018 □	BF + BPE	Herzberg + Lieberose	in Determination

*in 2016 Determination aller Individuen der Schlupfwespen, in 2017 und 2018 ist *Pleolophus basizonus* (Grav.) prioritär

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE ERGEBNISSE

B. Auswertung ausgewählter Arthropodengruppen

1. Ichneumonidae (Schlupfwespen)

1.a. Einfluss der Ichneumonidae auf die Populationsdynamik von *Diprion pini* (L.) im UG Herzberg

Parasitoiden sind als Gegenspieler der Blattwespen verzögert dichteabhängig. Sie erreichen das Maximum ihrer Wirksamkeit gegen Ende einer Massenvermehrung und in der beginnenden Retrogradationsphase, beschleunigen den Zusammenbruch bzw. bei *Diprion pini* das Wiederauflaufen der Gradation - die häufig ein bis zwei Jahre nach der Kulmination durch Überlieger drohen kann (EICHHORN, 1991). Neben Ei- und Larvalparasitoiden können vor allem Kokonparasitoiden in der 2. und 3. Schlupfwelle von *Diprion pini* bedeutend sein (SCHWENKE 1964). Ein wichtiger Kokonparasitoid (Ichneumonidae: Cryptinae) war in der vorliegenden Untersuchung dominant vertreten: *Pleolophus basizonus* (Gravenhorst, 1829). Mit über 80 % am Gesamtfang der Ichneumonidae konnte diese Art mit Bodenphotoektoren in den Untersuchungsjahren nachgewiesen werden. Die Individuenzahl war besonders in 2016 (2.151) und in 2017 (1.477) erhöht, in 2018 wurden weniger als 400 Individuen registriert.

Ausgehend von den Beobachtungen von EICHHORN (1981) ist die Schlupfwespe *Pleolophus basizonus* ein häufiger, primärer Kokonparasitoid der Buschhornblattwespen. Es werden nur lebende Wirtskokons, bevorzugt weibliche Kokons parasitiert. Direkt nach dem Schlupf der weiblichen Tiere des Parasitoiden erfolgt die Begattung. Befruchtete Weibchen erzeugen beide Geschlechter als Nachkommen, unbegattete Weibchen bringen nur männliche Tiere hervor. Nach einem Tag erfolgt die Eiablage, so legt ein Weibchen von *P. basizonus*, mit einer Lebenserwartung von bis zu 41 Tagen (RICE 1970), max. 2 bis 4 Eier pro Tag (GRIFFITHS 1969). In der Literatur besteht Übereinstimmung, dass *P. basizonus* - ähnlich wie sein Wirt *Diprion pini* - verschiedene Schlupfwellen und mindestens zwei Generationen im Jahr erzeugen kann (PSCHORN-WALCHER 1964, GRIFFITHS 1969, EICHHORN 1981, 1983). Die Schlupfzeiten aus Wirtskokons werden mit Ende April/Anfang Mai, Ende Mai/Anfang Juni und Anfang September angegeben (EICHHORN 1981).

Grundsätzlich parasitieren Kokonparasitoiden nur einige der verfügbaren Wirtskokons. Es ist dokumentiert, dass die Weibchen von *P. basizonus* bereits besuchte Orte mit Geruchspuren markieren, die auch von anderen weiblichen Artgenossen erkannt werden (PRICE 1969, 1972, HERZ & HEITLAND 2005), in Folge erweitern die Weibchen ihr Suchareal (EICHHORN 1982). Ihr spezielles Suchverhalten ist vor allem dann erfolgreich, wenn der Wirt punktuell und zufällig in der Waldstreu verteilt ist. Sie können so zeitnah auf die zunehmenden Wirtsdichten reagieren (HERZ & HEITLAND 2003). SCHEHYING (1995) berichtete, dass die Wirtskokons bevorzugt am Boden mit dichtem Moos oder dichter Grasdecke zu finden sind. In Folge würde die Kokonparasitierung mit dem Deckungsgrad der Krautschicht und der Baumdichte korrelieren, aber nicht mit dem Baumalter. Eine Überprüfung der These von SCHEHYING (1995) bzw. des Zusammenhanges zwischen den Schlupfzahlen von *P. basizonus* und weiteren spezifischen Bestandesdaten ist in Erarbeitung.

Aussagen über die funktionale Rolle der parasitoiden Apocrita als Schädlingsantagonisten lassen sich anhand der Fangzahlen (Schlupfaktivität) beider Geschlechter oder nur auf Grundlage der weiblichen Tiere tätigen. Bekanntermaßen befallen nur die Weibchen ihre Wirtsorganismen und besitzen daher die entscheidende Bedeutung als Antagonisten. Grundsätzlich ist in der Literatur dokumentiert, dass durch den Anstieg der Wirtspopulation das Geschlechterverhältnis der parasitoiden Apocrita zugunsten der Weibchen verschoben wird (HARDY 1992, GODFRAY 1994). Die Bestimmung des Geschlechterverhältnisses erfolgte über die Berechnung der relativen Häufigkeiten (in %) der Weibchen von *Pleolophus basizonus* aus Bodenphotoektoren am Gesamtfang der einzelnen Untersuchungsvarianten. Es waren deutliche Unterschiede in den relativen Häufigkeiten erkennbar, die eine Verschiebung zugunsten der Weibchen dokumentierten (Abb. Tv1-B 1a-1). Die Beobachtungen von EICHHORN (1981) wurden bestätigt. Der Anteil weiblicher Individuen am Gesamtfang betrug in 2016: 87 %, in 2017: 75 % und in 2018: 88 %. Die weitere Auswertung fokussierte sich daher auf die Schlupfaktivitäten der Weibchen.

Die eingesetzten Erfassungsmethoden zum Nachweis der Ichneumonidae, insbesondere von *P. basizonus*, unterschieden sich in ihrer Fangeffizienz. So wurden mit Bodenphotoektoren (BPE) in 2016: 1.812 und in 2017: 1.101 weibliche Individuen erfasst. Mit geringeren Aktivitätsdichten konnte die Art mit Bodenfallen (weibl. Individuen 2016: 437, 2017: 288) nachgewiesen werden. Obwohl diese Fangmethode nur beschränkt für die Erfassung der parasitoiden Apocrita geeignet ist, zeigten die Ergebnisse, dass die Weibchen von *P. basizonus* konsequent am Boden bzw. in der Streu nach Wirtskokons suchen. Ferner konnte EICHHORN (1983) eine hohe Parasitierung von Sommerkokons (im Kronenraum) im Jahr der Kulmination von *Diprion pini*

beobachten. Auch HERZ & HEITLAND (2005) bestätigten das Vorkommen der Schlupfwespe in allen Vegetationsschichten. Diesbezüglich kann mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung keine Aussage getroffen werden, weil die einst im Kronenraum installierten Lufttektoren zeitnah im Juni 2016 auf 1,5 m über dem Boden herabgesetzt wurden. Dennoch zeigten die Individuenzahlen weibl. Tiere aus den Lufttektoren (2016: 339, 2017: 165), dass der Parasitoid ebenfalls oberirdisch an Gräsern, Ästen, Zweigen und Stämmen nach Blattwespenkokons sucht und dementsprechend ein gutes Wirtsfindungsvermögen aufweist (EICHHORN 1981).

Im ersten Jahr des Massenwechsels von *Diprion pini* wurde *P. basizonus* verzögert dichteabhängig vor allem im September und im Oktober mit höheren Schlupfzahlen nachgewiesen (Abb. Tv1-B 1a-1). Die zuvor im Frühsommer (Ende Juni bis Juli) vereinzelt geschlüpften weibl. Imagines von *P. basizonus* könnten die frisch eingesponnenen Larven sowie die Eonymphen des Wirtes parasitiert haben (PSCHORN-WALCHER 1964). Die ausschüpfende 2. Generation des Parasitoiden im August - mit ansteigenden Individuendichten - würden vorwiegend die in Diapause befindlichen Eonymphen der Blattwespe (PSCHORN-WALCHER 1964, EICHHORN 1977, GERI 1988, SHAROV 1993) sowie die Wirtskokons der 1. Generation von *Diprion pini* befallen (EICHHORN 1977, SHAROV 1993). Jedoch entwickeln sich nicht alle unreifen Stadien des Parasitoiden Mitte August direkt zum Imago, sondern etwa die Hälfte der Individuen gehen in eine Diapause (GRIFFITHS 1961). In Anlehnung an GRIFFITHS (1969) könnten die im September und im Oktober geschlüpften Imagines von *P. basizonus* weitere Generationen im Jahr darstellen, die vorwiegend die frischen Wirtskokons der 2. Generation parasitieren (EICHHORN 1977, 1983, SHAROV 1993).

2016		Schlupfwellen <i>Diprion pini</i>		W 1 - 1. Gen.		Anfang Juni Karate F. fl. / Mimic		Ende August Karate F. fl.		W 2 - 2. Gen.					
Untersuchungsvarianten	Bezeichnung	FP 1: April	FP 2: Mai	FP 3: Juni	FP 4: Juli	FP 5: Aug.	FP 6: Sept.	FP 7: Okt.							
		W	Σ	W	Σ	W	Σ	W (%)	W	Σ	W (%)	W	Σ	W (%)	
Fraß _(ab 04'16)	KF-D	keine Beprobung			↓ 0	0	↔ 11,5	12,5	92	↑ 20,5	20,5	100	↔ 10	10,5	95
Karate Forst fl. _(06'16)	P-D	keine Beprobung			↓ 1,5	1,5	↓ 1	1	100	↑ 19	19	100	↔ 12,5	12,5	100
Karate Forst fl. _(08'16)	FP-D	keine Beprobung			↓ 4	6	↑ 23	26	88	↑ 26	85	↑ 18	19,5	92	
Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)	MP-D	keine Beprobung			↓ 2	2,5	↓ 18,5	19,5	95	↑ 54,5	82	66	↑ 38,5	41,5	93
								kurzer Fangintervall		Anf. Sept. Umsetzung BPE					

Abb. Tv1-B 1a-1: Mediane der Individuendichte (Ind./m²) des Kokonparasitoiden *Pleolophus basizonus* (Grav. 1829) bezogen auf die Untersuchungsvarianten (UV) in 2016

(nach Fängen mit Bodenphotoektoren von Juli bis Oktober, Gesamtindividuenzahl: 2.088; Abk.: W - weibl. Individuen, Σ - Individuen gesamt, W (%) - Anteil der weibl. Ind.)

2017		Schlupfwellen <i>Diprion pini</i>		Fehlen der Schlupfwellen / Nachweis Diapause												
Untersuchungsvarianten	Bezeichnung	FP 1: April	FP 2: Mai	FP 3: Juni	FP 4: Juli	FP 5: Aug.	FP 6: Sept.	FP 7: Okt.								
		W	Σ	W	Σ	W (%)	W	Σ	W (%)	W	Σ	W (%)	W	Σ	W (%)	
Fraß _(ab 04'16)	KF-D	↓ 3	5,0	↑ 7,5	8,5	88	↑ 6,5	9	72	↑ 7,5	8	94	↓ 1	1,5	↓ 1,5	1,5
Karate Forst fl. _(06'16)	P-D	↓ 1,5	3,5	↑ 11	13	85	↔ 5,5	6	92	↔ 4	4,5	89	↓ 3	3	↓ 2	2,5
Karate Forst fl. _(08'16)	FP-D	↓ 2	4	↑ 14,5	21,5	67	↔ 5	10	50	↓ 3	4	75	↓ 2,5	5,5	↓ 1	1,5
Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)	MP-D	↓ 1,5	6	↑ 24,5	39	63	↓ 6,5	8	81	↓ 3	3,5	86	↓ 2	7	↔ 7,5	10
Kontrolle _(ab 04'17)	K-D	↓ 0	1	↑ 5	5	100	↔ 2	3	67	↑ 5	5	100	↔ 2,5	2,5	↓ 1	1
								Anf. Juni Umsetzung BPE				Anf. Sept. Umsetzung BPE				

Abb. Tv1-B 1a-2: Mediane der Individuendichte (Ind./m²) des Kokonparasitoiden *Pleolophus basizonus* (Grav. 1829) bezogen auf die Untersuchungsvarianten (UV) in 2017

(nach Fängen mit Bodenphotoektoren von April bis Oktober, Gesamtindividuenzahl: 1.469; Abk.: W - weibl. Individuen, Σ - Individuen gesamt, W (%) - Anteil der weibl. Ind.)

Ausgehend von einer Entwicklungsdauer von ca. 27 bis 30 Tagen (bei 20 °C) für eine neue Generation (GERI 1988, EICHHORN 1982), hat *P. basizonus* mehrere partielle Generationen im Jahr 2016 (Abb. Tv1-B 1a-1) erzeugen können (EICHHORN 1983). Der optimale Temperaturbereich für die Entwicklung von *Pleolophus* liegt im Sommer, verbunden mit einer maximalen Entwicklungsrate und einem hohen Anteil an weiblichen Tieren sowie gering ausgebildetem Voltinismus. Eine kontinuierliche Entwicklung des Parasitoiden ist in einem Temperaturbereich von 20 °C bis 25 °C gegeben, wobei ab 30 °C die Mortalitätsrate ansteigt. Das Eintreten in die Diapause wird ebenfalls weitgehend von der Temperatur bestimmt (GRIFFITHS 1969). Die Prüfung eines Zusammenhanges zwischen der monatlich erfassten Lufttemperatur (Messwerte/Tag/h) und den Schlupfzahlen von *P. basizonus* ist ebenfalls in Erarbeitung.

Parallelen bezüglich des Schlupfzeitpunktes des Kokonparasitoiden ergeben sich zu den Beobachtungen von DUSAUSSOY & GERI (1971) bzw. von EICHHORN (1981, 1983), wonach *P. basizonus* während der Gradation im August und im September aus Erdkokons sowie im Folgejahr im April/Mai bzw. im Juni schlüpfte. Nach den Angaben von GERI (1988) schlüpft *P. basizonus* im Folgejahr aus Kokons der 2. Wirtsgeneration im April/Mai. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung (Abb. Tv1-B 1a-1, Tv1-B 1a-2) bestätigen diese Angaben und zeigen, dass im Laufe der Gradation die Individuendichte des Antagonisten zeitnah schnell anstieg. Die Zusammensetzung und das Schlupfmuster des Parasitoiden erlauben nach EICHHORN (1977) Rückschlüsse auf den Voltinismus von *Diprion pini* im Untersuchungsgebiet: In der Obf. Herzberg ist die Wirtsortart bivoltin, in Folge werden die Parasitoidenarten mit hohen Abundanzwerten und mit mehreren ausgeprägten Schlupfwellen dominieren, was am Beispiel von *P. basizonus* gezeigt werden konnte.

Schlupfwellen <i>Diprion pini</i>		Fehlen der Schlupfwellen / Nachweis Diapause														
2018	Bez.	FP 1: April		FP 2: Mai		FP 3: Juni			FP 4: Juli		FP 5: Aug.		FP 6: Sept.		FP 7: Okt.	
Untersuchungsvarianten		W	Σ	W	Σ	W	Σ	W (%)	W	Σ	W	Σ	W	Σ	W	Σ
Fraß _(ab 04'16)	KF-D	↓ 0	0	↓ 0,5	1	↑ 2	2	100	↓ 0,5	0,5	↓ 0	1	↓ 0	0,5	↑ 2,5	2,5
Karate Forst fl. _(06'16)	P-D	↓ 0	0	↓ 2	2	↑ 5,5	6	92	↓ 1,5	1,5	↓ 0	0	↓ 0	0	↓ 0	0
Karate Forst fl. _(08'16)	FP-D	↓ 0,5	1	↓ 3	3,5	↑ 5	5	100	↓ 1	1	↓ 0	0,5	↓ 0,5	1	↓ 1	1
Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)	MP-D	↓ 0	0	↓ 3	3	↑ 5	5	100	↓ 2	2,5	↓ 0,5	0,5	↓ 0	1	↓ 3	3
Kontrolle _(ab04'17)	K-D	↓ 0	0	↓ 0,5	1	↑ 2	2	100	↓ 0,5	1	↓ 1	1	↓ 0	0	↓ 0,5	0,5
											Anf. Juni Umsetzung BPE			Anf. Sept. Umsetzung BPE		

Abb. Tv1-B 1a-3: Mediane der Individuendichte (Ind./m²) des Kokonparasitoiden *Pleolophus basizonus* (Grav. 1829) bezogen auf die Untersuchungsvarianten (UV) in 2018

(nach Fängen mit Bodenphotoelektoren von April bis Oktober, Gesamtindividuenzahl: 372; Abk.: W - weibl. Individuen, Σ - Individuen gesamt, W (%) - Anteil der weibl. Ind.)

Hinweis: Für die Sichtung und Ergebnisauswertung wurde der Median (\bar{x}) genutzt, weil alle erfassten Werte (Beobachtungswerte) stark variieren. Zudem wird der Median bei schiefer, einseitiger Verteilung der Beobachtungswerte empfohlen bzw. häufig angewandt (MÜHLENBERG 1993).

Im Parasitoidenkomplex der Kiefernbuschhornblattwespen besteht häufig eine interspezifische Konkurrenz u. a. zwischen den vorkommenden Larval- und Kokonparasitoiden. So konnte EICHHORN (1977) eine Multiparasitierung von ca. 40 % feststellen, die überwiegend durch Kokonparasitoide wie *Pleolophus basizonus* verursacht wird. Die gut an den Wirt angepassten Larvalparasitoide sind im Nachteil, weil sie ähnlich wie der Wirt überliegen und gegen den Angriff der Kokonparasitoide wehrlos sind bzw. in Folge außerordentlich stark von diesen dezimiert werden können (EICHHORN 1977). PSCHORN-WALCHER (1964) konnte mit quantitativen Untersuchungen zeigen, dass diese Multiparasitierung den Gesetzen des Zufalls unterliegen, d. h. die Kokonparasitoide können nicht zwischen parasitierten und unparasitierten *Diprion*-Kokons unterscheiden. Als häufige Larvalparasitoide an *Diprion pini* werden innerhalb der Ichneumonidae: *Exenterus amictorius* und *E. oriolus* genannt (EICHHORN 1981).

Konkurrenzsituationen innerhalb der Kokonparasitoide sind in der Literatur wenig dokumentiert. SHAROV (1993) berichtete von insgesamt drei häufig vertretenden Ichneumonidae als Antagonisten von *Diprion pini*. Dazu zählen *Pleolophus basizonus* (Grav.), *Oresbius subguttatus* (Grav.) und *Agrothereutes adustus* (Grav.). Während *Pleolophus* vorwiegend die Kokons am Boden und *Agrothereutes* die im Kronenraum parasitierten, war *Oresbius* in beiden Vegetationsschichten als Kokonparasitoid präsent (SHAROV 1993).

Welche artspezifischen Anpassungen für die Koexistenz von den jeweiligen Arten entwickelt wurden, bleibt an dieser Stelle leider unbeantwortet. Der Aspekt der Multiparasitierung erscheint für die Beurteilung des Nutzens vorkommender Parasitoidenarten bei Massenvermehrungen unwesentlich, ist aber für das Verständnis der Beziehungen innerhalb eines Wirt-Parasitoid-Komplexes wichtig (HAESELBARTH 1979) und sollte an dieser Stelle mit erwähnt werden.

1.b. Direkte Effekte auf den Kokonparasitoiden *Pleolophus basizonus* (Grav.) im UG Herzberg

Bezugnehmend auf die Ergebnisse von 2016 (vgl. Abb. Tv1-B 1a-1) ist auf allen Untersuchungsvarianten ein Anstieg der Individuendichte des Antagonisten *Pleolophus basizonus* in der 6. Fangperiode (September) erkennbar, wobei ebenfalls im Oktober noch hohe Abundanzen ermittelt wurden. Aufgrund der Biologie von *P. basizonus* und der optimalen Entwicklungsbedingungen im Sommer sowie im Herbst 2016 sind kurze Entwicklungszeiten bzw. die Beendigung der Diapause in den beiden letzten Fangperioden als Gründe denkbar. Weitere Auswertungen mit den vorliegenden mikroklimatischen Daten werden diesbezüglich Aufschluss geben.

Die niedrigsten Individuendichten auf allen Untersuchungsvarianten zeigten sich im Frühsommer, im Juli 2016, weil der Parasitoid verzögert dichteabhängig im August und im September aus Erdkokons schlüpft (DUSAUSSOY & GERI 1971, EICHHORN 1981, 1983).

Erhöhte Individuendichten konnten auf der Untersuchungsvariante MP-D (*Einsatz MIMIC_{06'16} + Einsatz KARATE FORST flüssig_{08'16}*) im August ($\bar{x}_{(e)}$: 18,5 Ind./m²), im September ($\bar{x}_{(e)}$: 54,5 Ind./m²) und Oktober ($\bar{x}_{(e)}$: 38,5 Ind./m²) erfasst werden. Ursache ist zum einen, dass sich aufgrund der nicht vorhandenen Wirksamkeit des Präparates MIMIC *Diprion pini* ungehindert auf den Flächen weiterentwickeln konnte. Natürlich könnte ebenso ein Zusammenhang zwischen der Kokonparasitierung und dem Deckungsgrad der Krautschicht bzw. der Baumdichte bestehen (SCHEHYING 1995), weil auf der Untersuchungsvariante KF-D (*Fraß_{ab04'16}*, August - $\bar{x}_{(e)}$: 11,5 Ind./m², September - $\bar{x}_{(e)}$: 20,5 Ind./m², Oktober - $\bar{x}_{(e)}$: 10 Ind./m²) tendenziell geringere Abundanzen von *Pleolophus* ermittelt wurden. Welcher Zusammenhang jedoch tatsächlich besteht, ist noch zu prüfen. Zum anderen ergibt sich der Rückschluss, dass das Präparat MIMIC keine direkten Auswirkungen auf die Schlupfrate von *P. basizonus* hatte. Ein direkter Zusammenhang zu den bedingten Veränderungen infolge des Nadelfraßes ist ebenfalls nicht offensichtlich.

Ein direkter, negativer Effekt infolge der Applikation von KARATE FORST flüssig Anfang Juni bzw. Ende August war in 2016 nicht erkennbar. Das bestätigen die Ergebnisse der Untersuchungsvarianten FP-D (*Einsatz KARATE FORST flüssig_{08'16}*, August - $\bar{x}_{(e)}$: 23 Ind./m², September - $\bar{x}_{(e)}$: 26 Ind./m², Oktober - $\bar{x}_{(e)}$: 18 Ind./m²) und MP-D (*Einsatz MIMIC_{06'16} + Einsatz KARATE FORST flüssig_{08'16}*, im August - $\bar{x}_{(e)}$: 18,5 Ind./m², September - $\bar{x}_{(e)}$: 54,5 Ind./m², Oktober - $\bar{x}_{(e)}$: 38,5 Ind./m²). Die geringen Abundanzen von *P. basizonus* auf der UV P-D (*Einsatz KARATE FORST flüssig_{06'16}*, August - $\bar{x}_{(e)}$: 1 Ind./m²) in der 5. Fangperiode sind indirekt auf die Insektizidanwendung zurückzuführen und über den Wirt erklärbar (MÖLLER & MAJUNKE 1997, 2001). Der Wirt *Diprion pini* wurde Anfang Juni mit einer aviochemischen Waldschutzmaßnahme an der Weiterentwicklung der 1. Generation und Ausbildung einer 2. Generation nachhaltig gehindert. Daher war eine Parasitierung sich frisch verpuppender Wirtslarven durch die ausschlüpfenden Individuen des Parasitoiden im Frühsommer nicht möglich.

Im Folgejahr (2017) waren im Mai, im Juni und im Juli noch höhere Individuendichten von *P. basizonus* im Untersuchungsgebiet nachweisbar (Abb. Tv1-B 1a-2). Angesichts der ermittelten Kokonzahlen aus Winterbodensuche und Nachsuche ist das plausibel (Tab. Tv1-A 2). Die höchsten Medianwerte zeigten sich im Mai. Auf der UV K-D (*Kontrolle_{ab04'17}*, außerhalb des Applikationsgebietes) wurden tendenziell geringere Individuendichten ($\bar{x}_{(e)}$: 0 - 5 Ind./m²) des Parasitoiden gefangen. Das bestätigt a) ein Vorhandensein des Schädling auch im angrenzenden Rev. Schlieben, b) das Vorkommen des Kokonparasitoiden in der Latenzphase von *Diprion pini* und c) die gute Vergleichbarkeit der Untersuchungsflächen mit denen im Applikationsgebiet. Geringere Abundanzen von *Pleolophus* wurden auch in 2018 noch nachgewiesen, hauptsächlich im Juni (Abb. Tv1-B 1a-3). Ein negativer Einfluss der untersuchten Pflanzenschutzmittel auf den Kokonparasitoiden war in den Folgejahren nicht vorhanden.

1.c. Direkte Effekte auf die Parasitoidengemeinschaft der Ichneumonidae (UG Herzberg)

Die Vertreter der Ichneumonidae wurden bis auf Gattungsebene und im Falle der Möglichkeit bis auf Artebene für die Untersuchungsjahre 2016 und 2017 determiniert. Natürlich ist der aktuelle Kenntnisstand der parasitoiden Apocrita ausbaufähig und die Artbestimmung mit vielen Unsicherheiten behaftet. So sind viele Bestimmungsschlüssel veraltet, ebenso benötigen die europäischen Arten der parasitoiden Apocrita eine Revidierung, Synonymisierung und Neubeschreibung (SCHMITT 2004). Dennoch war es mit der Unterstützung durch Experten möglich, eine gemeinsame Auswertungsgrundlage auf Gattungs- bzw. Artebene zu erarbeiten, die dankenswerter Weise überwiegend durch Dipl. Biologe Herrn H. Schnee übernommen wurde. Nur ein sehr geringer Teil des Tiermaterials konnte nicht bis auf Gattungsebene bestimmt werden. Dazu gehörten ca. 2 % der Individuen am Gesamtfang.

Neben *Pleolophus basizonus* - als Hauptparasitoid im Applikationsgebiet - konnten weitere Vertreter der Ichneumonidae nachgewiesen werden. Mit einer deutlich geringeren Individuenzahl waren es hauptsächlich Einzelindividuen von Larven- und Kokonparasitoiden der Buschhornblattwespen (Tab. Tv1-B 1c). Die vorkommenden Arten der Gattung *Gelis* sind u. a. im Parasitoidenkomplex der Diprionidae als Hyperparasitoide in der Literatur benannt und mit aufgeführt worden.

Auffällig ist, dass die Anzahl an vorkommenden Gattungen der Parasitoidengemeinschaft (betrifft „unberücksichtigt“) auf der UV P-D (*Einsatz KARATE FORST flüssig_{06'16}*) am niedrigsten war. Ein direkter Effekt - in

Folge der im Frühjahr 2016 durchgeführten Waldschutzmaßnahme - wird als Ursache ausgeschlossen, weil die Ergebnisse auf der UV FP-D (*Einsatz KARATE FORST flüssig_{08'16}*) diesen Effekt nicht bestätigten. Dort wurde eine Vielzahl an Gattungen in 2016 und 2017 ermittelt. Denkbar wäre ein indirekter Effekt durch die Verringerung verfügbarer Wirte. Um eine abschließende Erklärung geben zu können, ist jedoch die Recherche des Wirtskomplexes der determinierten „unberücksichtigten“ Arten notwendig. Auf den Kontrollflächen im Rev. Schlieben (*Kontrolle_{ab04'17}*) wurden aufgrund einer lokalen Vermehrung der Forleule in 2017 vereinzelt Kokonparasitoide des Forstschädling nachgewiesen und mit aufgeführt.

Tab. Tv1-B 1c: Übersicht der potenziellen Parasitoidengemeinschaft (Hymenoptera: Ichneumonidae) von *Diprion pini* (Diprionidae) nach Fängen mit Bodenphotoektoren bezogen auf die Untersuchungsvarianten in 2016 und 2017

(die Benennung/Einordnung der Parasitoidenarten erfolgte nach MORRIS et al. (1937), PSCHORN-WALCHER (1964), RYVKIN (1969), HAESELBARTH (1979), EICHHORN (1981) - „unberücksichtigt“ blieben alle Gattungen/Arten, die in der Literatur nicht als natürliche Gegenspieler der Diprionidae benannt wurden bzw. gänzlich unbestimmbare Individuen; Abk.: w - weibl. Individuen, Σ - Individuen gesamt (weibl. + männl. Individuen), Σ_w - weibl. Individuen gesamt, Σ_G - Gesamtindividuenzahl)

Unterfamilie	Art	Wirtsspektrum	2016								2017								Σ_w	Σ_G		
			KF-D		P-D		FP-D		MP-D		KF-D		P-D		FP-D		MP-D				K-D	
			w	Σ	w	Σ	w	Σ	w	Σ	w	Σ	w	Σ	w	Σ	w	Σ			w	Σ
Kokonparasitoide																						
Cryptinae	<i>Pleolophus basizonus</i>	Diprionidae	292	309	201	201	488	548	831	1029	206	237	194	229	260	386	325	490	109	120	2906	3549
Cryptinae	<i>Agrothereutes adustus</i>	<i>Diprion pini</i>	12	12															1	1	17	17
Ichneumoninae	<i>Barichneumon bilunulatus</i>	<i>Panolis flammea</i>					1	1													1	1
Ichneumoninae	<i>Rictichneumon pachymerus</i>	<i>Panolis flammea</i>																	3	3	3	3
Cryptinae	<i>Polytribax arrogans</i>	<i>Panolis flammea</i>																	1	1	1	1
Ichneumoninae	<i>Barichneumon praeceptor</i>	<i>Ematurga atomaria</i>								1	1										1	1
Cryptinae	<i>Mastrus deminuens</i>	verschied. Arten					1	1	0	1											1	2
Cryptinae	<i>Mastrus</i> sp.	verschied. Arten	0	1																	0	1
Larvalparasitoide																						
Tryphoninae	<i>Exenterus amictorius</i>	Diprionidae							0	1								1	1		1	2
Ctenopelmatinae	<i>Zemiothorax scutulata</i>	Diprionidae	0	1														1	1		1	2
Tryphoninae	<i>Exenterus oriolus</i>	<i>Diprion pini</i>						1	1					1	1						2	2
Ctenopelmatinae	<i>Hypsantyx lituratus</i>	<i>Diprion pini</i>			0	1							1	1	1	2	0	2	0	1	2	7
Hyperparasitoide																						
Cryptinae	<i>Gellis areator</i>					5	5	2	3				1	1	2	2	0	1	2	2	12	14
Cryptinae	<i>Gellis bicolor</i>					1	1												0	1	1	2
Cryptinae	<i>Gellis cursitans</i>		1	1				1	1										3	3	5	5
Cryptinae	<i>Gellis festinans</i>		24	24		17	17	9	9	2	2										52	52
Cryptinae	<i>Gellis longicauda</i>					1	1												1	1	2	2
Cryptinae	<i>Gellis proximus</i>													1	1				0	1	1	2
Cryptinae	<i>Gellis</i> sp.		2	3		0	1	2	3	13	13			10	10	11	11	0	1	38	42	
Cryptinae	<i>Gellis</i> sp.nov.							2	2												2	2
unberücksichtigt																						
Individuenzahl			41	69	30	53	46	90	28	39	31	42	31	45	41	57	46	65	55	82	349	542
Anzahl Gattungen			14	14	9	11	12	15	12	13	10	14	11	13	18	23	11	11	12	15	45	51

Die Form der Häufigkeitsverteilung der Arten in einer Gemeinschaft lässt sich mit dem **Diversitätsmaß α (log serie)** gut beschreiben (MÜHLENBERG 1993). In einer Gemeinschaft sind nicht alle Gattungen oder Arten gleich häufig vertreten, d. h. während wenige Gattungen/Arten häufig anzutreffen sind, kommen die meisten Gattungen/Arten nur mit wenigen Individuen vor. Grundlage für die Berechnung bildeten die Daten auf Gattungsebene der Bodenphotoektoren, a) die der weiblichen Individuen bzw. b) die der Gesamtindividuen. Hierbei wurden jedoch keine deutlichen Unterschiede festgestellt, so dass im Folgenden die Resultate auf Grundlage der weiblichen Individuen dargestellt werden.

Die Ergebnisse zeigen grundsätzlich in beiden Jahren niedrige Werte der Diversität α (log serie) auf allen Untersuchungsvarianten. Die maximalen Werte wurden in 2016 auf der Untersuchungsvariante KF-D (*Fraß_{ab04'16}* – $\alpha = 3,4$) und in 2017 auf FP-D (*Einsatz KARATE FORST flüssig_{08'16}* - $\alpha = 5,8$) berechnet. Die niedrigste Diversität zeigte sich auf den UV P-D (*Einsatz KARATE FORST flüssig_{06'16}* - $\alpha = 1,9$) in 2016 sowie MP-D (*Einsatz MIMIC_{06'16}* + *Einsatz KARATE FORST flüssig_{08'16}* - $\alpha = 2,9$) in 2017. Anhand der berechneten Werte der Diversität α (log serie) lässt sich jedoch kein eindeutiger Trend feststellen.

Der Vergleich der Faunengemeinschaft erfolgte mittels des **SÖRENSEN-Quotienten** auf Gattungsbasis. Neben den Artenzahlen (basierend auf presence/absence Daten) werden auch quantitative Daten (= Individuenzahlen) in die Auswertung mit einbezogen. Je nachdem, wie die Elemente gewichtet werden, können sich unterschiedliche Ähnlichkeitsbeziehungen ergeben. Je höher die Werte, umso größer ist die Ähnlichkeit (MÜHLENBERG 1993). Grundlage für die Berechnung bildeten die Daten auf Gattungsbasis aus Bodenphotoektoren, a) die der weiblichen Individuen bzw. b) die der Gesamtindividuen. Hierbei wurden ebenfalls keine Unterschiede festgestellt, so dass im Folgenden die Bewertung auf Grundlage der weiblichen Individuen erfolgte.

Basierend auf den presence/absence Daten zeigten sich keine Ähnlichkeiten zwischen den Untersuchungsvarianten in 2016 und in 2017. Die Berücksichtigung quantitativer Daten brachte eindeutiger Ergebnisse

hervor. Die höchste Faunenähnlichkeit wies die UV P-D (*Einsatz KARATE FORST flüssig_{06'16}*) zur UV KF-D (*Fraß_{ab04'16}*) auf (2016: 0,82; 2017: 0,95), die geringste Faunenähnlichkeit bestand dagegen im Vergleich zur UV MP-D (*Einsatz MIMIC_{06'16} + Einsatz KARATE FORST flüssig_{08'16}*), in 2016 (0,42). Die außerhalb des Applikationsgebietes ausgewählten Kontrollflächen (K-D) zeigten in 2017 grundsätzlich eine gute Faunenähnlichkeit zu den Flächen im Schadgebiet.

Eine höhere Disposition von Ei- oder Larvalparasitoiden gegenüber den in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Insektiziden wurde nicht festgestellt. In der Studie von JÄKEL & ROTH (1999) reagierten vor allem die larvalparasitischen Vertreter der Platygasteridae, Ceraphronidae, Ichneumonidae und Eulopidae auf die Applikation von Diflubenzuron (Fraßinsektizid und Häutungshemmer) mit einer deutlichen Verringerung der Aktivitätsdichten während der Hauptaktivitätsphasen. Auch MÖLLER & MAJUNKE (2001) können u. a. eine direkte Wirkung des Pyrethroideinsatzes auf die Platygastroidea nicht gänzlich ausschließen. Mit den aktuell vorliegenden Ergebnissen können vorerst nur Aussagen zum Kokonparasitoiden *Pleolophus basizonus* getroffen werden. Im Weiteren ist es sinnvoll die erwähnten Familien (Platygasteridae, Ceraphronidae) ebenfalls zu betrachten und auszuwerten.

1.d. Langfristige Effekte auf die Parasitoidengemeinschaft der Ichneumonidae (UG Lieberose)

Der Kiefernspinner gehört zu den bedeutendsten Schadschmetterlingen an der Baumart Kiefer. Ein Kahlfraß der gefrässigen Larven kann neben Zuwachsverlusten das Absterben großflächiger Waldbestände verursachen. Ein langfristiger Lebensraumverlust für viele Arten ist die Folge (MÖLLER 2002). Wie stark sich die Fauna in sich regenerierenden Kiefernwäldern ändert, wurde in einem Gradationsgebiet zwei Jahre nach einer Störung (Insektizidanwendung, Kahlfraß) untersucht. Im Fokus standen u.a. die Vertreter der Schlupfwespen. Während die Zuordnung des überwiegenden Teils der Individuen bis auf Gattungsebene gelang, wurde nur ein sehr geringer Teil des Tiermaterials nicht bestimmt. Dazu gehörten ca. 2,8 % der Individuen am Gesamtfang.

Im Fangzeitraum 2016 und 2017 besaßen die Unterfamilien Cryptinae (D: 39,2%), Orthocentrinae (22,8 %), Campopleginae (10,7 %), Ichneumoninae (9,0 %) und Metopiinae (6,2 %) die höchsten Dominanzanteile. Die Medianwerte der Individuendichte bezogen auf die Ichneumonidae sowie Cryptinae zeigten keine großen Unterschiede auf den Flächen der Versuchsvarianten (Tv1-B 1d). In 2017 waren tendentiell höhere Individuendichten (Ichneumonidae, Cryptinae) auf den Störungsflächen (Kahlfraß₍₂₀₁₄₎, Karate Forst *fl.*₍₂₀₁₄₎) erkennbar, dass auf eine Präsenz von Antagonisten in der Latenzphase der Kieferngrößschädlinge schließen lässt.

Tab. Tv1-B 1d: Mediane der Individuendichte (Ind./m²) der Familie Ichneumonidae bzw. der Unterfamilie Cryptinae bezogen auf die Untersuchungsvarianten (UV) am Gesamtfang in 2016 und 2017

(nach Fängen mit Bodenphotoelektoren von April bis Oktober, Gesamtindividuenzahl: 355; Abk.: ♀ - weibl. Individuen, Σ - Individuen gesamt)

Untersuchungsvarianten	Jahr Fläche	Ichneumonidae				Cryptinae			
		2016		2017		2016		2017	
		♀	Σ	♀	Σ	♀	Σ	♀	Σ
Kontrolle _(ab 2016)	K-LA	3,0	3,0	5,0	8,0	0	0	3,0	3,0
	K-LB	8,0	11,0	1,0	3,0	1,0	1,0	0	0
Kahlfraß ₍₂₀₁₄₎	F-LA	2,0	5,0	5,0	7,0	1,0	2,0	1,0	1,0
	F-LB	1,0	1,0	11,0	13,0	1,0	1,0	8,0	9,0
Karate Forst <i>fl.</i> ₍₂₀₁₄₎	P-LA	5,0	6,0	12,0	15,0	4,0	4,0	9,0	10,0
	P-LB	5,0	8,0	13,0	17,0	1,0	1,0	6,0	7,0

Neben *Pleolophus basizonus* - als Hauptparasitoid der Diprionidae - konnten weitere Vertreter der Ichneumonidae nachgewiesen werden. Mit einer deutlich geringeren Individuenzahl waren es hauptsächlich Einzelindividuen von Larven- und Kokonparasitoiden verschiedener Kieferngrößschädlinge (Tab. Tv1-B 1d - 2). Die Arten der Gattung *Gelis* wurden ebenfalls als Hyperparasitoiden nachgewiesen. Die Anzahl der Gattungen auf den Störungsflächen unterschied sich nur geringfügig von den Kontrollflächen. Die Kontrolle K-LB war jedoch auffällig, da sich die Anzahl an nachgewiesenen Gattungen von 2016 auf 2017 reduzierte.

Tab. Tv1-B 1d-2: Übersicht der potenziellen Parasitoidengemeinschaft (Hymenoptera: Ichneumonidae) der kieferngrößschädlinge nach Fängen mit Bodenphotoelektoren bezogen auf die Untersuchungsvarianten in 2016 und 2017

(die Benennung/Einordnung der Parasitoidenarten erfolgte nach MORRIS et al. (1937), PSCHORN-WALCHER (1964), RYVKIN (1969), HAESELBARTH (1979), EICHHORN (1981) - „unberücksichtigt“ blieben alle Gattungen/Arten, die in der Literatur nicht als natürliche Gegenspieler von Kieferngrößschädlingen benannt wurden bzw. gänzlich unbestimmbare Individuen; Abk.: ♀ - weibl. Individuen, Σ - Individuen gesamt (weibl. + männl. Individuen), Σ_w - weibl. Individuen gesamt, Σ_G - Gesamtindividuenzahl)

Unterfamilie	Art	Wirtsspektrum	2016												2017												Σ_w	Σ_G			
			F-LA		F-LB		K-LA		K-LB		P-LA		P-LB		F-LA		F-LB		K-LA		K-LB		P-LA		P-LB						
			♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂					
Kokonparasitoide																															
Cryptinae	<i>Pleolophus basizonus</i>	Diprionidae	1	1											1	1	6	6	4	4	4	4	1	1	15	15	13	13	45	45	
Cryptinae	<i>Mastrus boreaphilus</i>	verschied. Arten													1	1													1	1	
Cryptinae	<i>Mastrus sordipes</i>	verschied. Arten																						1	1				1	1	
Ichneumoninae	<i>Aoplus defraudator</i>	Geometridae						1	1																				1	1	
Ichneumoninae	<i>Coelichneumon biannulatus</i>	Noctuidae																							1				0	1	
Larvalparasitoide																															
Tryphoninae	<i>Exenterus amictorius</i>	<i>Diprion pini</i>		1																							1	1	1	2	
Ctenopalmatinae	<i>Lamachus frutetorum</i>	Diprionidae																											0	1	
Ctenopalmatinae	<i>Zemliophora scutulata</i>	Diprionidae					1	1	2	3																		1	3	6	
Hyperparasitoide																															
Cryptinae	<i>Gelis areator</i>						1	2	2	3	3															1	1		6	7	
Cryptinae	<i>Gelis bicolor</i>		1	1																										1	1
Cryptinae	<i>Gelis festinans</i>													3	3	5	5									3	3		11	11	
Cryptinae	<i>Gelis fortificator</i>					1	1																						1	2	
Cryptinae	<i>Gelis longicauda</i>								1	1																			2	2	
Cryptinae	<i>Gelis sp.</i>								1	1																			1	2	
unberücksichtigt																															
Individuenzahl			14	21	4	5	9	10	16	26	8	9	16	28	17	19	22	25	23	28	5	10	40	45	22	36	196	262			
Anzahl Gattungen			8	13	3	3	7	7	10	12	7	7	7	9	11	13	13	14	13	17	5	8	13	17	13	16	46	46			

Die Form der Häufigkeitsverteilung der Arten in einer Gemeinschaft wurde mit dem **Diversitätsmaß α (log serie)** beschrieben. Es zeigt grundsätzlich Unterschiede bezüglich der Abundanzverteilung an. Grundlage für die Berechnung bildeten die Daten auf Gattungsbasis der Bodenphotoelektoren (Gesamtindividuen). In 2016 wurden α (log series)-Diversitäten von $\alpha=3,2$ (F-LB) bis $\alpha=19,7$ (F-LA) errechnet. Die Kontrollflächen zeigten hohe Diversitäten, mit $\alpha=11,8$ (K-LA) bis $\alpha=12,6$ (K-LB) und auch die mit KARATE FORST fl. behandelten Flächen wiesen eine α (log series)-Diversität von 8,0 (P-LA, P-LB) auf. Jedoch auffällig war der große Unterschied zwischen den Fraßflächen, deren Resultat sich auf die sehr geringe Gattungsanzahl ($n=3$) und Individuenzahl ($n=5$) zurückführen lässt. In 2017 gleichen sich die errechneten α (log series)-Diversitäten untereinander an und erreichen Werte von $\alpha=13,0$ (F-LB) bis $\alpha=19,2$ (K-LA). Deutliche Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten sind damit nicht erkennbar.

Die Faunenähnlichkeit nach dem **SÖRENSEN-Quotienten** (quantitativ) auf Gattungsbasis zeigte, dass die Kontroll- und Fraßflächen sehr hohe Ähnlichkeiten besaßen (von 0,8 bis 1,0). Dagegen konträr und ohne Tendenz war die Ähnlichkeit der Faunengemeinschaft zwischen Insektizid- und Fraßflächen (P-LA zu F-LA: 0,8; zu F-LB: 0,5; P-LB zu F-LA: 0,6; zu F-LB: 1,0) sowie zwischen Insektizid- und Kontrollflächen (P-LA zu K-LA: 0,7; zu K-LB: 0,8; P-LB zu K-LA: 0,5; zu K-LB: 0,6). Die Ergebnisse in 2017 bestätigten dies.

⇒ Es ist darauf hinzuweisen, dass die dargestellten Resultate einen ersten Überblick geben und weitere Analysen der Datenauswertung notwendig sind. Die wirtsorientierte Parasitoidengemeinschaft ist hierbei in den Fokus zu stellen, verbunden mit der Auswertung nach Gilden. Eine Gilde kennzeichnet eine Gruppe von Taxa oder Gattungen, die die selbe Ressource (Wirt) nutzen und zudem eine ähnliche Lebensweise besitzen. Zu berücksichtigen sind hierbei die Parasitierungsstrategie, Super- bzw. Hyperparasitismus und die inter-/intra-spezifische Konkurrenz. Schwierigkeiten bei der Auswertung bergen a) fehlende biologische Kenntnisse bei der Vielzahl an parasitoiden Hymenoptera, b) Mehrfachnennungen hinsichtlich der Parasitierungsstrategie und c) die auf wenige Taxa begrenzten Studien oder kleinflächig angelegte Untersuchungen, die die Gefahr von Fehlinterpretationen bewirken.

Literatur: ADDISON, J. A. (1996): Safety Testing of Tebufenozide, a new molt-inducing insecticide, for effects on nontarget forest soil Invertebrates. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 33: 55-61. • BÖHME, R., HAFELDER, M. (1999). Vergleich der Verfahren verschiedener Bundesländer zur Winterbodensuche für die Kiefern-schadinsekten und Vorschlag für ein einheitliches Verfahren. *Eberswalder Forstl. Schriften*. 3, 47–51. • BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensozioökologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. neubearbeitete und wesentlich vermehrt veröffentlichte Auflage - Springer, Wien: 865 pp. • BUTLER, L., V. KONDO, D. BLUE (1997): Effects of Tebufenozide (RH-5992) for Gypsy Moth (Lepidoptera: Lymantriidae) suppression on nontarget canopy arthropods. *Environ. Entomol.* 26: 1009-1015. • DE GEYTER, E. (2012): Toxicity and mode of action of steroid and terpenoid secondary plant metabolites against economically important pest insects in agriculture. PhD dissertation, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Ghent. ISBN: 978-90-5989-536-2. • DUSAUSSOY, G. & C. GERI (1971): Etude des populations résiduelles de *Diprion pini* après la gradation de 1963–1964. *Ann. Sci. Forest.* 28: 297–322. • DEUTSCHER WETTERDIENST – DWD (2019): https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_node.html;jsessionid=475C3AC31C63E1720E09077E801C4B8D.live21061 • DEUTSCHER WETTERDIENST – DWD (2019): Klimareport Brandenburg. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main.

40pp. • EICHHORN, O. (1977): Autökologische Untersuchungen an Populationen der Gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae). I. Herkunftsbedingte Unterschiede im Schlüpfverlauf und Diapauseverhalten. Z. ang. Ent. 82: 395-414. • EICHHORN, O. (1977): Autökologische Untersuchungen an Populationen der Gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae). II. Zur Kenntnis der Larvenparasiten und ihrer Synchronisation mit dem Wirt. Z. ang. Ent. 83: 15-36. • EICHHORN, O. (1981): Autökologische Untersuchungen an Populationen der Gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae). IV. Zur Kenntnis der Kokonparasiten und *Exenterus*-Arten. Z. ang. Ent. 92: 252-285. • EICHHORN, O. (1982): Untersuchungen der Ökologie der Gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae). VII. Populationsdynamische Faktoren. Z. ang. Ent. 94: 271-300. • EICHHORN, O. (1983): Dormanzverhalten der Gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae) und ihrer Parasiten. Z. ang. Ent. 95: 482-498. • EICHHORN, O. (1983): Untersuchungen der Ökologie der Gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae). VIII. Verlauf der Massenvermehrung in Speyer (Pfalz) 1976-1978. Z. ang. Ent. 96: 291-303. • EICHHORN, O. (1991): Voltinismus und Schüpfwellenfolge mitteleuropäischer Ökotypen der Gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae), ihre Mechanismen und ihre Bedeutung für den Massenwechsel. Z. ang. Ent. 112: 437-453. • Frey, W. & R. Lössch (2010): Geobotanik – Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit. 3. Aufl. 2010, Nachdruck 2014, xvi, 622 S. Springer Spektrum. • GERI, C. (1988): The pine sawfly in central France. In Berryman A.A. (ed): Dynamics of Forest Insect Populations. Patterns, causes, Implications. Plenum Press, New York, pp. 377–405. • GODFRAY, H. C. J. (1994): Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology. – Princeton University Press, Princeton 473 S. • GRIFFITHS, K. J. (1961): The life history of *Aptesis basizona* (grav.) on *Neondiprion sertifer* (Geoff.) in southern Ontario. Can. Ent. 93: 1005-1010. • GRIFFITHS, K. J. (1969): Development and diapause in *Pleolophus basizonus* (Hymenoptera: Ichneumonidae). Can. Ent. 101: 907-914. • HAESSELBARTH, E. (1979): Zur Parasitierung der Puppen von Forleule (*Panolis flammea* [Schiff.]), Kiefernspanner (*Bupalus piniarius* [L.]) und Heidelbeerspanner (*Boarmia bistortata* [Goeze]) in bayerischen Kiefernwäldern, Teil I. - Z. ang. Ent. 87: 186-202. • HARDY, I. C. W. (1992): Non-binomial sex allocation and brood sex ratio variances in the parasitoid Hymenoptera. – Oikos 65: 143-158. • HENTSCHEL, R.; MÖLLER, K.; WENNING, A.; DEGENHARDT, A.; SCHRÖDER, J. (2018): Importance of Ecological Variables in Explaining Population Dynamics of Three Important Pine Pest Insects. Front. Plant Sci. 9: 1667; <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01667> • HERZ, A., W. HEITLAND (2003): Impact of cocoon and parasitism on endemic populations of the common pine sawfly, *Diprion pini* (L.) (Hymenoptera, Diprionidae) in different forest types. – Agricultural and forest entomology 5: 35-41. • HERZ, A. & W. HEITLAND (2005): Species diversity and niche separation of cocoon parasitoids in different forest types with endemic populations of their host, the Common Pine Sawfly *Diprion pini* (Hymenoptera: Diprionidae). - Eur. J. Entomol. 102: 217–224. • HILL, T. A., R. E. FOSTER (2000): Effect of Insecticides on the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). J. Econ. Entomol. 93: 763-768. • HOFMANN, G.; POMMER, U. (2013): Die Waldvegetation Nordostdeutschlands. - Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 54: 1–596. • HULT, E. F., S. S. TOBE, B. S. W. CHANG (2011): Molecular Evolution of Ultraspiracle Protein (USP/RXR) in Insects. - PLoS ONE 6(8): e23416. doi:10.1371/journal.pone.0023416. • JÄKEL, A. & M. ROTH (1999): Auswirkungen von Insektiziden (Diflubenzuron, Bacillus thuringiensis var. kurstaki) auf Nichtzielorganismen (edaphische Arthropodenfauna) in Kiefernforsten. Verh. Ges. Ökol. 29: 237-246. • LANDESKOMPETENZZENTRUM FORST EBERSWALDE (LFE) (2010): Waldschutzordner - Anleitung für die Forstpraxis in Brandenburg, 1. Auflage mit jährl. Ergänzungslieferungen, Druck: ProBUSINESS Berlin. • MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHE ENTWICKLUNG, UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES BRANDENBURG (MLUL), Landesbetrieb Forst Brandenburg (2016): Informationen für Waldbesitzer - Die Gemeine Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini*). Flyer, 1. Auflage, Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft Potsdam. • MÖLLER, K., C. MAJUNKE (1997): Untersuchungen zum Einfluß von Pflanzenschutzmitteln auf die Arthropodenfauna in Kiefernforsten. Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent. 11: 255-258. • MÖLLER, K. & C. MAJUNKE (2001): Der Einfluss von Störungen in Kiefernforsten auf die Arthropodenfauna. Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent. 13: 445-448. • MÖLLER, K. (2009): Aktuelle Waldschutzprobleme und Risikomanagement in Brandenburgs Wäldern. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 42, S. 63-72. • MÖLLER, K., R. HENTSCHEL, A. WENNING, J. SCHRÖDER (2017): Improved Outbreak Prediction for Common Pine Sawfly (*Diprion pini* L.) by Analyzing Floating 'Climatic Windows' as Keys for Changes in Voltinism. Forests 8: 319-338. • MORRIS, K. R. S., E. CAMERONA, W. E. JEPSON (1937): The insect parasites of the spruce sawfly (*Diprion polytomum* Htg.) in Europe. Bull. ent. Res. 28: 341-393. • MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie. 3., überarbeitete Auflage, Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg, 511 S. • POLLEY, H. (2011): Aufnahmeanweisung für die dritte Bundeswaldinventur (BWI³) (2011-2012) - Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn: 107 pp. • PRICE, P. W. (1969): Trail odors: recognition by insects parasitic on cocoons. Science 170: 546–547. • PRICE, P. W. (1970): Characteristics permitting coexistence among parasitoids of a sawfly in Quebec. Ecology 51: 445-454. • PRICE, P. W. (1972): Behavior of the parasitoid *Pleolophus basizonus* (Hymenoptera: Ichneumonidae) in response to changes in host and parasitoid density. Can. Entomol. 104: 129–140. • PSCHORN-WALCHER, H. (1964): Zur Kenntnis der gesellig lebenden Kiefernbuschhornblattwespen (Hym., Diprionidae) der Ostalpen. Teil II. Die Parasiten der untersuchten Diprioniden. Pflanzen-Berichte 31: 49–66. • RYVKIN, B. V. (1969): Die Diprionidae und die Komplexe ihrer natürlichen Feinde. Beitr. Entomol. 19: 595–605. • SCHEHYING, F. R. (1995): Kleinsäuger als Prädatoren der Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini* (L.)). Diploma Thesis, Ludwig-Maximilians-Universität München. • SCHMITT, G. (2004): Die Parasitoidengemeinschaft (Hymenoptera) in einer Agrarlandschaft: Effekte von Nutzungstypen und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf strukturelle Parameter. Dissertation, TU Dresden, Tharandt: 200 S. + Anhang. • SCHWENKE, W., STEGER, O. (1961): Über Auftreten und Bekämpfung der Kiefernbuschhornblattwespen in Nordbayern 1959/60. Allgem. Forstz. 16: 145–147. • SCHWENKE, W. (1964): Grundzüge der Populationsdynamik und Bekämpfung der Gemeinen Kiefernbuschhorn-Blattwespe, *Diprion pini* (L.). Z. Angew. Entomol. 54: 101–107. • SCHWENKE, W. (1982): Die Forstschädlinge Europas. Band 4: Hautflügler und Zweiflügler. Paul Parey, Hamburg, Berlin, 392. S. • SCHWERDTFEGER, F. (1960): Probesuchen nach Kieferninsekten in der Bodendecke. Merkbl. Nr. 11, Nieders. Forstl. Vers. Anst. Göttingen. • SHAROV, A. A. (1993): Biology and population dynamics of the common pine sawfly, *Diprion pini* L., in Russia. In WAGNER M., RAFFA K.F. (eds): Sawfly Life History: Adaptations to Woody Plants. Academic Press, San Diego, pp. 409–429. • WATANABE T., H. TAKEUCHI, T. KUBOET (2010): Structural diversity and evolution of the N-terminal isoform-specific region of ecdysone receptor-A and -B1 isoforms in insects. - BMC Evolutionary Biology 2010, <http://www.biomedcentral.com/1471-2148/10/40>. • WENK, M., K. MÖLLER (2013): Prognose Bestandesgefährdung – Bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 51: 9 – 14. • WENNING, A.; SCHRÖDER, J.; HENTSCHEL, R.; MÖLLER, K. (2017): Univoltin oder Bivoltin? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 64: 75.

2. Coccinellidae (Marienkäfer)

Die Familie Coccinellidae ist als populäre Nützlingsgruppe in den letzten Jahrzehnten zum Sinnbild des biologischen Pflanzenschutzes geworden. Vor allem in Agrarökosystemen sind einige Vertreter als Blattlausprädatoren bekannt. Deshalb stehen seit vielen Jahren die Nebenwirkungen von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf die räuberisch lebenden Imagines und Larven der Coccinellidae im Fokus, die es im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes weiter zu verringern gilt (TRILTSCHE et al. 1996). So zeigten verschiedene Freilandstudien in landwirtschaftlichen Kulturen u. a. Effekte durch die Ausbringung von Pyrethroiden (NIEHOFF & POEHLING 1994). Neben der Verringerung der Aufwandmenge erwies sich eine frühzeitige Applikation im Jahr, z. B. vor Einwanderung der Marienkäfer in die Getreidebestände, als nützlingsschonend (TRILTSCHE et al. 1996). In Waldökosystemen sind die Marienkäfer weder auffällig präsent, noch besitzen sie einen regulatorischen Einfluss auf Massenvermehrungen von Forstschadinsekten. Es ist daher nicht verwunderlich, dass nur wenige Untersuchungen zu dieser Käferfamilie im Kronenraum der Wälder vorliegen. Dennoch zeigten sich in der vorliegenden Studie erhöhte Aktivitätsdichten, die die bisherigen Erkenntnisse zur Käferzönose in Kiefernwäldern erweitern. Einige Arten sind in Wäldern zu finden, ob als Überwinterungsgast oder als bevorzugte Waldart, insgesamt sind bis zu 14 Arten der Coccinellidae in Kiefernwäldern präsent (MAJUNKE et al. 2001, HÖREGOTT 1960).

Ebenfalls sind einzelne Marienkäferarten als Bioindikatoren relevant, die eine enge Bindung an einen geeigneten Lebensraum besitzen (WOIN, VOLKMAR & WETZEL 2000) bzw. die charakteristisch für intakte Habitats mit wechselnden Biotopstrukturen sind (KLAUSNITZER 1993). Bei der vorliegenden Untersuchung könnten sie zur Kennzeichnung des ökologischen Zustandes von Wäldern (Laub-, Nadel- und Mischwälder) genutzt werden (KLAUSNITZER 1993).

Bei der vorliegenden Studie waren die Coccinellidae besonders in den Luftklektoren auffällig. Der Einsatz dieser Fanggeräte ist grundsätzlich gut geeignet, fliegende Insekten u. a. in großen Baumhöhen zu erfassen, wie es ursprünglich Ziel dieser Untersuchung war. Leider überwogen infolge der unbeständigen Witterung die Abstürze der Fanggeräte aus der Krone, so dass diese zwangsweise im Untersuchungsgebiet Herzberg untergesezt werden mussten, um weitere Daten erheben zu können. Diese Vorgehensweise beeinflusst natürlich die Aussagekraft der Daten, weil ein anderes Vegetationsstratum als der Kronenraum befangen wurde. Die Luftklektoren wurden ca. 1,5 m über dem Boden auf Orkanstützen installiert.

2.a. Direkte Effekte auf die Marienkäferzönose (1. bis 3. Jahr der Störung)

Im Untersuchungsgebiet Herzberg standen die durch Insektenfraß oder durch den Einsatz von Insektiziden verursachten Veränderungen in Waldbeständen im Fokus. Die Ergebnisse basieren auf der Auswertung von insgesamt 2.083 Individuen der Coccinellidae, aus Fängen mit Luftklektoren von 2016 bis 2018. Grundsätzlich ist eine teils drastisch geringere Aktivitätsdichte (Median) auf den mit Insektiziden behandelten Flächen erkennbar, dass betrifft insbesondere die mit KARATE FORST fl. behandelten Flächen P-D1, P-D2 und FP-D1 (Tab. Tv1-B 2a-1). Die Flächen der Untersuchungsvariante (UV) MP-D wiesen vergleichsweise höhere Aktivitätsdichten auf, obwohl auf diesen Flächen zwei Applikationen im Jahr 2016 erfolgten. Auf der Untersuchungsvariante Fraß (KF-D) wurden die höchsten Aktivitätsdichten (Median) in 2016 festgestellt, die zudem im September kulminierten (Tab. Tv1-B 2a-1). Im Folgejahr der Waldschutzmaßnahmen setzte sich dieser Trend fort, auf den mit Insektiziden behandelten Untersuchungsvarianten wurden die niedrigsten Aktivitätsdichten (Median) der Coccinellidae festgestellt (Tab. Tv1-B 2a-2). Auffälligkeiten bezüglich des Behandlungszeitpunktes gab es nicht. Die UV KF-D (Fraß) und UV K-D (betrifft die in 2017 neu implementierten Kontrollen) wiesen die höchsten Aktivitätsdichten auf. Erkennbar war eine Kulmination der Werte im Mai und im Oktober 2017. Im Untersuchungsjahr 2018 war eine Annäherung der Aktivitätsdichten zwischen den Störungsflächen erkennbar. Die Kontrollflächen im benachbarten Revier zeigten vor allem im September und im Oktober deutlich höhere Individuenzahlen der Marienkäfer (Tab. Tv1-B 2a-3).

Tab. Tv1-B 2a-1: Median der Aktivitätsdichte (Ind./LEK) der Coccinellidae nach Fängen mit Luftklebtonen

(ca. 1,5 m über dem Boden, 5.-7. FP 2016, Gesamtindividuenzahl: n = 580)

Untersuchungsvariante	Bezeichnung	2016		keine Beprobung		13.06.-06.07.	07.07.-03.08.	04.08.-31.08.	01.09.-28.09.	29.09.-26.10.	Gesamt
		Fläche	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oktober		
Fraß _(ab 04'16)	KF-D	KF-D1						5,5	33	6,5	↑ 42,5
		KF-D2						4	22,5	6,5	↑ 32,5
Karate Forst fl. _(06'16)	P-D	P-D1						0	1	0,5	↓ 1,5
		P-D2						2,5	1	0,5	↓ 3
Karate Forst fl. _(08'16)	FP-D	FP-D1						6	4	1,5	→ 9
		FP-D2						8	5,5	1	→ 16
Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)	MP-D	MP-D1						7	6	1	→ 15,5
		MP-D2						7	5,5	1,5	→ 14,5

Tab. Tv1-B 2a-2: Median der Aktivitätsdichte (Ind./LEK) der Coccinellidae nach Fängen mit Luftklebtonen

(ca. 1,5 m über dem Boden, 1.-7. FP 2017, Gesamtindividuenzahl: n = 721, Störung: Fallen nicht auswertbar)

Untersuchungsvariante	Bezeichnung	2017		11.04.-08.05.	09.05.-06.06.	07.06.-03.07.	04.07.-31.07.	01.08.-28.08.	29.08.-26.09.	27.09.-23.10.	Gesamt
		Fläche	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oktober		
Fraß _(ab 04'16)	KF-D	KF-D1	1,5	8,5	1,5	2	0	1	7	↑ 26,5	
		KF-D2	3	11,5	2	1,5	2	0,5	16	↑ 37	
Karate Forst fl. _(06'16)	P-D	P-D1	0,5	2	0	0	0	0	0	↓ 5,5	
		P-D2	0	2	0	0,5	0	0	0	↓ 3,5	
Karate Forst fl. _(08'16)	FP-D	FP-D1	1	3	1	0	0	0	1	↓ 6	
		FP-D2	1	1,5	0	0,5	0	0,5	0	↓ 5	
Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)	MP-D	MP-D1	1	3	0	1,5	1	0	1	→ 9,5	
		MP-D2	0	5	0,5	1,5	1	0	0	↓ 7,5	
Kontrolle _(ab 04'17)	K-D	K-D3	1,5	4	1	Störung	0	0,5	15,5	↑ 22,5	
		K-D4	0,5	6	0	0,5	0,5	0	41,5	↑ 50,5	

Tab. Tv1-B 2a-3: Median der Aktivitätsdichte (Ind./LEK) der Coccinellidae nach Fängen mit Luftklebtonen

(ca. 1,5 m über dem Boden, 1.-7. FP 2018, Gesamtindividuenzahl: n = 782, Störung: Fallen nicht auswertbar)

Untersuchungsvariante	Bezeichnung	2018		09.04.-07.05.	08.05.-04.06.	05.06.-02.07.	03.07.-30.07.	31.07.-27.08.	28.08.-24.09.	25.09.-22.10.	Gesamt
		Fläche	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oktober		
Fraß _(ab 04'16)	KF-D	KF-D1	4,5	2	0,5	1	1,5	0,5	1,5	→ 10,5	
		KF-D2	4	0,5	0,5	1,5	2	0,5	3,5	→ 14	
Karate Forst fl. _(06'16)	P-D	P-D1	2	0,5	0	2,5	0	2,5	0	↓ 8	
		P-D2	0	0	0	0,5	1,5	1,5	0,5	↓ 6	
Karate Forst fl. _(08'16)	FP-D	FP-D1	1,5	0	0	0	1,5	1	0	↓ 5,5	
		FP-D2	2	0,5	Störung	2	0,5	0,5	Störung	↓ 5,5	
Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)	MP-D	MP-D1	2	0,5	0	1	0	0	0	↓ 4,5	
		MP-D2	2,5	0,5	0	1	0,5	0,5	1	↓ 7,5	
Kontrolle _(ab 04'17)	K-D	K-D3	5	1	2	1	3,5	17	37,5	↑ 68,5	
		K-D4	5	1	1	2	1	10	40,5	↑ 63	

Die Schätzung der β -Diversität, welche die Artenzusammensetzung in Gemeinschaften von benachbarten, sehr ähnlichen Lebensräumen beschreibt und eine Veränderung der Artenzusammensetzung kennzeichnet (BEIERKUHNEIN 2003), erfolgte über die Faunenähnlichkeit mittels des **SOERENSEN-Index** (modifiziert nach BRAY & CURTIS 1957). Neben der Artenzahl wird auch die Individuenverteilung unter den Arten berücksichtigt. Oft auf Anwendbarkeit getestet und häufig als Indices verwendet, zeigt der SOERENSEN-Index Werte zwischen 0 und 1 an, d. h. je höher der Wert, desto größer die Faunenähnlichkeit (MAGURRAN 1988).

Der Vergleich der Faunengemeinschaft auf Artbasis mittels des **SÖRENSEN-Index** (quantitativ) bestätigte die Unterschiede zwischen den Untersuchungsvarianten, die sich besonders in den Folgejahren 2017 und 2018 manifestierten. In 2016 wiesen die Flächen der UV Fraß (KF-D) die größten Unterschiede im Vergleich zu den UV mit Insektizidapplikation (P-D, FP-D und MP-D) auf, die größte Unähnlichkeit bestand zu den Flächen P-D1 und P-D2. Die Flächen innerhalb einer UV waren sich jeweils untereinander relativ ähnlich, mit Ausnahme der P-D-Flächen (Abb. Tv1-B 2a-1). In 2017 konnten dagegen hohe Ähnlichkeiten der Marienkäfergemeinschaft auf den Flächen innerhalb einer UV festgestellt werden (Abb. Tv1-B 2a-2). Die Ausnahme bildeten die Kontrollflächen (K-D). Während die Flächen der UV Fraß (KF-D) hohe Ähnlichkeiten zu den Flächen der UV Kontrolle (K-D) aufwiesen, waren sich die Untersuchungsvarianten mit der Insektizidanwendung (FP-D, P-D, MP-D) untereinander sehr ähnlich, aber im Vergleich zur UV Fraß (KF-D) und UV Kontrolle (K-D) am unähnlichsten. Dieser Trend lässt sich für 2018 bestätigen (Abb. Tv1-B 2a-3), mit der Ausnahme, dass sich die Habitatqualität auf der UV Fraß (KF-D) deutlich verändert haben muss. Im Vergleich mit den Kontrollflächen

(K-D) wurden dort nur geringe Ähnlichkeiten errechnet. Dagegen im Vergleich mit den Flächen der Insektizidanwendung (FP-D, P-D, MP-D) eine höhere Faunenähnlichkeit bestand.

2016	KF-D1	KF-D2	FP-D1	FP-D2	P-D1	P-D2	MP-D1	MP-D2
KF-D1		0,78	0,30	0,43	0,06	0,14	0,45	0,43
KF-D2	Fraß _(ab 04'16)		0,38	0,53	0,06	0,18	0,54	0,54
FP-D1				0,74	0,32	0,67	0,74	0,77
FP-D2	Karate Forst fl. _(08'16)				0,21	0,45	0,97	0,98
P-D1						0,59	0,20	0,21
P-D2	Karate Forst fl. _(06'16)						0,49	0,45
MP-D1								0,97
MP-D2	Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)							

Abb. Tv1-B 2a-1: Faunenähnlichkeit nach SOERENSEN (quantitativ) nach Fängen mit LEK, 5.-7. FP 2016

2017	K-D3	K-D4	KF-D2	KF-D3	FP-D1	FP-D2	P-D1	P-D2	MP-D1	MP-D2
K-D3		0,61	0,99	0,83	0,32	0,23	0,23	0,23	0,39	0,28
K-D4	Kontrolle _(ab 04'17)		0,66	0,82	0,21	0,15	0,15	0,11	0,24	0,21
KF-D2				0,80	0,37	0,30	0,25	0,21	0,42	0,35
KF-D3	Fraß _(ab 04'16)				0,26	0,22	0,20	0,15	0,34	0,27
FP-D1						0,88	0,79	0,59	0,98	0,94
FP-D2	Karate Forst fl. _(08'16)						0,84	0,79	0,89	0,97
P-D1								0,88	0,72	0,90
P-D2	Karate Forst fl. _(06'16)								0,74	0,80
MP-D1										0,97
MP-D2	Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)									

Abb. Tv1-B 2a-2: Faunenähnlichkeit nach SOERENSEN (quantitativ) nach Fängen mit LEK, 1.-7. FP 2017

2018	K-D3	K-D4	KF-D2	KF-D3	FP-D1	FP-D2	P-D1	P-D2	MP-D1	MP-D2
K-D3		0,98	0,26	0,46	0,17	0,13	0,23	0,18	0,12	0,20
K-D4	Kontrolle _(ab 04'17)		0,26	0,37	0,14	0,13	0,22	0,17	0,12	0,19
KF-D2				0,83	0,63	0,64	0,98	0,77	0,62	0,87
KF-D3	Fraß _(ab 04'16)				0,49	0,51	0,59	0,27	0,47	0,69
FP-D1						1,00	0,88	0,67	0,97	0,74
FP-D2	Karate Forst fl. _(08'16)						0,63	0,85	0,97	0,77
P-D1								0,79	0,64	0,86
P-D2	Karate Forst fl. _(06'16)								0,81	0,90
MP-D1										0,74
MP-D2	Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)									

Abb. Tv1-B 2a-3: Faunenähnlichkeit nach SOERENSEN (quantitativ) nach Fängen mit LEK, 1.-7. FP 2018

Zur Beschreibung der α -Diversität, die sich auf die Artenvielfalt in einem Habitat bezieht und auch die Diversität einer Stichprobe („Punktdiversität“) repräsentieren kann (MÜHLENBERG 1993), eignen sich nichtparametrische Indizes, die eine dominanzabhängige Gewichtung der Arten vornehmen, wie der Simpson-Index (MAGURRAN 1988). Je nach Verwendung des Simpson's original index, des Simpson's reciprocal index oder des Simpson's index of diversity werden verschiedene Werte ausgegeben, die sich in der Aussage unterscheiden. Der **Simpson's index of diversity** nimmt Werte von 0 bis 1 an, d. h. je höher der Wert, desto größer die Diversität. Der Kehrwert von Simpson's original index variiert von 1 bis s, der Anzahl der Arten in der Probe. In dieser Form kann der **Simpson's reciprocal index** als die Anzahl gleich häufiger Arten interpretiert werden, die erforderlich sind, um die beobachtete Heterogenität der Probe zu erzeugen.

Die Ergebnisse zeigten, dass der Diversitätswert (Simpson's index of diversity und Simpson's reciprocal index) mit der zunehmenden Gleichverteilung der vorhandenen Individuen unter den Arten anstieg. Eine maximale Diversität ergab sich, wenn alle Arten in einer Gemeinschaft im gleichen quantitativen Verhältnis vorhanden waren. So wurden hauptsächlich auf den Flächen mit der Insektizidanwendung (P-D, FP-D, MP-D) hohe Diversitätswerte in 2016 und in 2017 errechnet - im Vergleich zur UV Fraß (KF-D), (Tab. Tv1-B 2a- 4). In 2018 näherten sich die Diversitätswerte zwischen den Flächen der Untersuchungsvarianten einander an, die Ausnahme bildete die Kontrollfläche K-D4. Die geringen Evenness-Werte in den Jahren 2016 bis 2018, bestätigten die extreme Ungleichverteilung zwischen Arten- und Individuenzahlen (HOB OHM 2000), vor allem in 2017 auf der UV Kontrolle (K-D) und der UV Fraß (KF-D).

Tab. Tv1-B 2a-4: Diversität der Artengemeinschaften (Simpson's reciprocal index, Simpson's index of diversity und Simpson's evenness) nach Fängen mit Lufteklektoren (ca. 1,5 m über dem Boden, 5.-7. FP 2016, 1.-7. FP 2017, 2018)

Untersuchungsvarianten (UV)		Kontrolle (ab 04'17)		Fraß (ab 04'16)			Karate Forst fl. (08'16)		Karate Forst fl. (06'16)		Mimic (06'16) + Karate Forst fl. (08'16)	
Jahr	Flächen	K-D3	K-D4	KF-D1	KF-D2	KF-D3	FP-D1	FP-D2	P-D1	P-D2	MP-D1	MP-D2
2016	Simpson's reciprocal index	ab 2017 bebrot		1,27	1,28	ab 2017 bebrot	3,33	2,55	7,50	5,45	5,28	2,58
	Simpson's index of diversity			0,22	0,22		0,70	0,61	0,87	0,82	0,81	0,61
	Simpson's Evenness			0,10	0,10		0,26	0,20	0,58	0,42	0,41	0,20
2017	Simpson's reciprocal index	1,69	1,35	nur 2016 bebrot	1,76	1,80	5,80	4,50	6,65	7,00	6,00	7,04
	Simpson's index of diversity	0,41	0,26		0,43	0,44	0,83	0,78	0,85	0,86	0,83	0,86
	Simpson's Evenness	0,09	0,07		0,10	0,10	0,32	0,25	0,37	0,39	0,33	0,39
2018	Simpson's reciprocal index	1,99	1,50	bebrot	2,10	2,96	3,98	5,63	3,26	2,56	2,55	2,34
	Simpson's index of diversity	0,50	0,33		0,52	0,66	0,75	0,82	0,69	0,61	0,61	0,57
	Simpson's Evenness	0,11	0,08		0,12	0,16	0,22	0,31	0,18	0,14	0,14	0,13

Das Artenspektrum umfasste in 2016 (5.-7. FP): 13 Arten, in 2017 und in 2018 (1.-7. FP) jeweils 18 Arten aus vier Unterfamilien (Tab. Tv1-B 2a-5, Tab. Tv1-B 2a-6). Darunter befanden sich zwei Arten (*Novius cruentatus* (Mulsant), *Vibidia duodecimguttata* (Poda)) der bundesdeutschen Roten Liste (BINOT et al. 1998), die als gefährdet (Status 3) eingestuft sind. Die Arten der Coccinellidae unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Habitatbindung und Lebensraumpräferenz (HODEK 1973). Neben Arten, die nur wenige spezielle Lebensräume besiedeln (stenotope Arten), wurden hauptsächlich eurytope Arten (Dominanzanteil in 2016: 79%, in 2017: 78% und in 2018: 87 %), die in vielen verschiedenen Biotopen vorkommen, ermittelt. Das Artenspektrum war durch eine spezifische Waldfauna (2016: 75 %, 2017: 69 %, 2018: 66 %) geprägt. Teilweise waren Arten, die an die Baumart Kiefer gebunden sind, verbreitet (Tab. Tv1-B 2a-5, Tab. Tv1-B 2a-6). Dementsprechend betrug der Dominanzanteil „arboricoler + silvicoler“ Arten insgesamt 77 %, als ausschließlich arboricol konnten 10 % der Arten eingestuft werden. In 2018 dominierten die Hauptarten *Exochomus quadripustulatus* L. und *Chilocorus bipustulatus* (L.), zusätzlich wurde die Rote-Liste-Art *Vibidia duodecimguttata* (Poda) auf der Fläche FP-D 1 nachgewiesen.

Von besonderer Relevanz für die Diskussion der Effekte verschiedener Störungen auf die Marienkäfergemeinschaft sind die biologischen und ökologischen Besonderheiten der Arten, wie der Entwicklungszyklus und die abiotischen Habitatfaktoren. Ausgehend vom Entwicklungszyklus, der jeweils artspezifisch ist, werden im Jahresverlauf saisonale Unterschiede im Migrationsdrang der Marienkäfer beschrieben (HODEK et al. 1993). So lässt sich der Lebenszyklus grundsätzlich in vier verschiedene Phasen einteilen. Im Oktober bis März erfolgt die Überwinterung, wobei das Aufsuchen der Überwinterungsquartiere (teils in großen Schwärmen) bereits im August des Jahres erfolgt. Anfang April steigt der Migrationsdrang der Tiere, die beginnen nach Fortpflanzungsbiotopen zu suchen. Ab Ende Mai stoppt der Migrationsdrang und es erfolgt die Reproduktionsphase. Im August bis September erscheinen die Individuen der neuen Generation, verbunden mit einer hohen Aktivität, auf der Suche nach geeigneten Nahrungsquellen (TRILTSCHE et al. 1996). In der vorliegenden Studie war *Exochomus quadripustulatus* in allen Untersuchungsjahren als eudominante Hauptart vertreten. Bezüglich der Übereinstimmung der artspezifischen Aktivität mit den erwähnten Lebenszyklusphasen im Jahresverlauf bleibt im Weiteren noch zu klären.

Die Habitatqualität beeinflusst die Verweildauer und das Vorkommen der Marienkäfer in einem Lebensraum. Entscheidendes Kriterium in Kulturpflanzenbeständen ist hierbei die Blattlausdichte (HODEK 1967). In der vorliegenden Studie wurde am Beispiel für das UG Lieberose eine nur bedingt positive Beziehung zwischen der Aktivitätsdichte von Blattläusen und Marienkäfern festgestellt (vgl. Abs. Langfristige Effekte). Demnach kann eine Abnahme der Individuenzahlen der Marienkäfer, nicht eindeutig auf die Abnahme der Blattlausdichte - als indirekter Effekt der Insektizidanwendung - zurückgeführt werden. Neben den trophischen haben vor allem mikroklimatische Faktoren, wie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit einen großen Einfluss auf die Habitateignung (FRAZER 1988, HODEK 1967). So konnte für *C. septempunctata* als thermophile Art in Getreidekulturen, die Bestandesdichte als wichtige Einflussgröße für die Populationsdichte ermittelt werden, die wiederum Aussagen auf die abiotischen Faktoren ermöglichen (HONEK 1982, 1985). Für die vorliegende Untersuchung ist die Prüfung eines Zusammenhanges zwischen der Aktivitätsdichte der Coccinellidae und den verschiedenen mikroklimatischen Faktoren sowie ausgewählter Bestandesdaten zurzeit in Erarbeitung.

Das Vorhandensein u. a. von Marienkäferantagonisten kann ebenfalls das Abwandern bzw. die Mortalität der Tiere verstärken. Neben verschiedenen Prädatoren sind auch parasitoide Arten der Hymenoptera (z. B. Braconidae) oder Diptera (z. B. Phoridae, Tachinidae) bekannt (TRILTSCHE et al. 1996). Der Einfluss auf die Aktivität und Reproduktion der Arten durch die Parasitierung wird jedoch in Waldökosystemen als geringer eingeschätzt, gleichwohl die resultierende Einflussnahme auf die Blattlauspopulation in Agrarökosystemen als bedeutsam beschrieben wird (TRILTSCHE et al. 1996).

Tab. Tv1-B 2a-5: Artenspektrum der Coccinellidae nach Fängen mit Luftklektoren in 2016

(ca. 1,5 m über dem Boden, 5.-7. FP 2016 - mit Angabe der Hauptarten (n=3) nach ENGELMANN (1978), der Artenfunde weiterer Studien (HÖREGOTT 1960, ZIESAR 1998, MAJUNKE et al. 2001) bzw. der Einstufung nach Habitatbindung (e: eurytop, s: stenotop), Lebensraumpräferenz (versch. L.: verschiedene Lebensräume, KiWä: Kiefernwälder, MiWä: Mischwälder, NW: Nadelwälder, NB: Nadelbaum, LB: Laubbaum, H+Tr: Heidegebiete & Trockenrasen) und der Verbreitung an *Pinus sylvestris*, Kennzeichnung ^{RL BRD}: Rote Liste für Deutschland - nach BENISCH 2020)

2016	Fraß (ab 04'16)		Karate Forst fl. (08'16)		Karate Forst fl. (06'16)		Mimic (06'16) + Karate Forst fl. (08'16)		Gesamt	Höregott (1960)	Ziesar (1998) in Majunke et al. (2001)	Habitat- bindung	Lebensraum- präferenz	bevorzugt o. gebunden an Kiefer
	KF-D1	KF-D2	FP-D1	FP-D2	P-D1	P-D2	MP-D1	MP-D2						
<i>Exochomus quadripustulatus</i> L.	184	115	20	37	1	5	22	35	419	*	*	e	KiWä+MiWä	
<i>Coccinella septempunctata</i> L.	10	2	5	5	2	4	12	7	47	*	*	e	versch. L.	
<i>Scymnus suturalis</i> Thunberg	1	0	5	9	2	3	10	7	37	*	*	s	NB	*
<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (L.)	4	3	1	2			5	1	16		*	e	versch. L.	
<i>Anatis ocellata</i> (L.)	1	4	2				5	2	14	*	*	e	NB	*
<i>Chilocorus bipustulatus</i> (L.)	3	5	1	1	1			1	12	*		e	versch. L.	
<i>Harmonia quadripunctata</i> (Pontoppidan)	4		1				4	2	11		*	s	KiWä+MiWä	*
<i>Harmonia axyridis</i> Pallas	1	1	1	1		3	2	2	11			e	versch. L.	
<i>Myrrha octodecimguttata</i> (L.)			1	3		1			5		*	s	NW+MiWä	
<i>Novius cruentatus</i> (Mulsant) ^{RL BRD}				2				2	4		*	s	NB	*
<i>Myzla oblongoguttata</i> (L.)				1				1	2		*	s	NW	*
<i>Adalia decempunctata</i> (L.)			1						1			e	LB	
<i>Coccinula quatuordecimpustulata</i> (L.)								1	1			e	H+Tr	
Gesamtindividuen	208	130	38	61	6	16	63	58	580					
Artenzahl	8	7	10	9	4	5	9	9	13					

Die geringen Ausgangswerte der Marienkäfer in 2016 auf den Flächen der UV P-D könnten mit der Frühjahrsapplikation von KARATE FORST fl. im Zusammenhang stehen, weil Ende Mai die Reproduktionsphase der Coccinellidae erfolgt. Eine spätere Behandlung im Jahr (Ende August) scheint keine Auswirkungen auf die Individuenzahlen zu haben, da sich die Aktivitätsdichte auf allen Untersuchungsvarianten verringerte. Auch die Behandlung mit MIMIC im Frühjahr zeigte keinen deutlichen Effekt auf die Aktivitätsdichte der Coccinellidae. Die maximalen Individuenzahlen im September 2016 auf den Flächen der UV KF-D können auf das Erscheinen der neuen Marienkäfergeneration zurückzuführen sein, verbunden mit der aktiven Suche nach geeigneten Nahrungsquellen und Überwinterungsquartieren.

Tab. Tv1-B 2a-6: Artenspektrum der Coccinellidae nach Fängen mit Luftklektoren in 2017

(ca. 1,5 m über dem Boden, 1.-7. FP 2017 - mit Angabe der Hauptarten (n=4) nach ENGELMANN (1978), der Artenfunde weiterer Studien (HÖREGOTT 1960, ZIESAR 1998, MAJUNKE et al. 2001) bzw. der Einstufung nach Habitatbindung (e: eurytop, s: stenotop), Lebensraumpräferenz (versch. L.: verschiedene Lebensräume, KiWä: Kiefernwälder, MiWä: Mischwälder, NW: Nadelwälder, NB: Nadelbaum, LB: Laubbaum, WB: Weinbergsbrache, Wr: sonnige Waldränder, H: Heidegebiete, Tr: Trockenrasen) und der Verbreitung an *Pinus sylvestris*, Kennzeichnung ^{RL BRD}: Rote Liste für Deutschland - nach BENISCH 2020)

2017	Kontrolle (ab 04'17)		Fraß (ab 04'16)		Karate Forst fl. (08'16)		Karate Forst fl. (06'16)		Mimic (06'16) + Karate Forst fl. (08'16)		Gesamt	Höregott (1960)	Ziesar (1998) in Majunke et al. (2001)	Habitat- bindung	Lebensraum- präferenz	bevorzugt o. gebunden an Kiefer
	K-D3	K-D4	KF-D1	KF-D2	FP-D1	FP-D2	P-D1	P-D2	MP-D1	MP-D2						
<i>Exochomus quadripustulatus</i> L.	74	190	74	114	9	6	3	5	3	1	479	*	*	e	KiWä+MiWä	
<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (L.)		2	19	23	8	7	6	2	9	10	86		*	e	versch. L.	
<i>Anatis ocellata</i> (L.)	9	13		3		1	2	1	5	4	38	*	*	e	NB	*
<i>Scymnus suturalis</i> Thunberg	4	4	1	4	2		3		9	4	31	*	*	s	NB	*
<i>Harmonia axyridis</i> Pallas	1	3	2	4				2	1	3	16			e	versch. L.	
<i>Hyperaspis campestris</i> (Herbst)	2		1	3		2	1	2	3	1	15	*		s	WB+Wr	
<i>Chilocorus bipustulatus</i> (L.)	5	3				1	1	1	1	1	11	*		e	versch. L.	
<i>Coccinella septempunctata</i> L.	1	1	2	1	2	2	1		1	1	11	*	*	e	versch. L.	
<i>Tythaspis sedecimpunctata</i> (L.)					3				1	6	10			e	H+Tr	
<i>Harmonia quadripunctata</i> (Pontoppidan)	1	1			2		2	1	1	1	9		*	s	KiWä+MiWä	*
<i>Myrrha octodecimguttata</i> (L.)		2	1	1					1		5		*	s	NW+MiWä	
<i>Scymnus auritus</i> Thunberg			1		1				1		3			e	LW+Wr	
<i>Coccinula quatuordecimpustulata</i> (L.)		2									2	*	*	e	H+Tr	
<i>Novius cruentatus</i> (Mulsant) ^{RL BRD}				1							1		*	s	NB	*
<i>Myzla oblongoguttata</i> (L.)				1							1		*	s	NW	*
<i>Coccinella quinquepunctata</i> L.					1						1		*	s	versch. L.	
<i>Hippodamia variegata</i> Goeze					1						1			e	versch. L.	
<i>Rhyzobius chrysomeloides</i> (Herbst)				1							1		*	e	NB	*
Gesamtindividuen	97	221	101	156	29	19	18	14	33	33	721					
Artenzahl	8	10	8	11	9	6	7	7	9	11	18					

In 2017 und 2018 setzte sich der Trend mit geringen Aktivitätsdichten sowohl auf den Untersuchungsvarianten mit einer Insektizidapplikation, als auch auf der UV Kontrolle fort. Vor allem auf

den Kontrollflächen kulminierten die Aktivitätsdichten im Oktober 2017 bzw. im September und Oktober 2018. Im Zuge dessen scheint die Habitatqualität auf allen Störungsflächen (UV: KF-D, P-D, MP-D, FP-D) zwei Jahre nach den Waldschutzmaßnahmen für die Coccinellidae eingeschränkt zu sein. Denkbar ist der Einfluss mikroklimatischer Faktoren, da sich die Witterung in 2017 im Vergleich zum Vorjahr als niederschlagsreicher und kühler bzw. in 2018 als extrem trocken präsentierte. Ebenfalls möglich ist ein indirekter Effekt der Insektizidanwendung auf die Beuteverfügbarkeit. Der trophische Einfluss muss leider unbeantwortet bleiben, weil in dem Untersuchungsgebiet Herzberg keine Erhebungsdaten zu Pflanzenläusen im Kronenraum vorliegen. Der Grad der artspezifischen Habitatbindung kann ebenfalls eine Rolle spielen, so können die Tiere verschiedene Entwicklungshabitate aufsuchen, d. h. für die Fortpflanzung können vielfach andere Biotope bevorzugt werden, als für die Entwicklung im Zusammenhang mit dem Reifungsfraß (KLAUSNITZER & KLAUSNITZER 1986). Die hohen Aktivitätsdichten Anfang Herbst auf der UV K-D deuten auf einen hohen Migrationsdrang infolge der Nahrungssuche und der Suche nach Überwinterungsquartieren hin.

2.b. Eignung der Coccinellidae als (Bio)Indikatoren

In der Freilandökologie werden z. B. verschiedene Laufkäferarten als Bioindikatoren verwendet, weil sie von der Beschaffenheit ihrer Umwelt abhängig sind und sie schnell auf veränderte Umweltbedingungen reagieren können. Für eine Zustands- oder Bewertungsindikation eignen sich daher Arten, die in einem betreffenden Lebensraum charakteristisch sind (FRITZE & REBHAN 1998). Zudem sollten geeignete Arten:

- in hohen Individuenzahlen vorkommen,
- durch ihre differenzierte Lebensweise unterschiedliche Habitate bevorzugen,
- empfindlich auf Umweltveränderungen reagieren,
- einfach zu erfassen sein (Fangmethode) und
- in Taxonomie und Ökologie einen herausragenden Wissensstand aufweisen (LUKA 1996).

Die Möglichkeit Marienkäferarten als Bioindikatoren einzusetzen, um über ihr Vorhandensein oder Fehlen nach Insektizidmaßnahmen in Wäldern Rückschlüsse auf die Umwelt tätigen zu können, ist grundsätzlich nicht abwegig. In Bezug auf die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung werden jedoch die genannten Voraussetzungen für eine Zeigerfunktion auf Artbasis nicht vollständig erfüllt. Gleichwohl es Auffälligkeiten in der Habitatqualität von mit Insektiziden behandelten und nichtbehandelten Flächen sowie von durch Insektenfraß gestörten Flächen gibt, die künftig über eine deskriptive und explorative Datenanalyse noch auszuwerten sind.

2.c. Langfristige Effekte auf die Marienkäferzönose (3. bis 5. Jahr nach der Störung)

Im Untersuchungsgebiet Lieberose/Cottbus konnten in 2016 insgesamt 398 Individuen der Coccinellidae mit Luftklektoren in der Kronenregion der Kiefer (ca. 15 m über dem Boden) gefangen werden. Das Artenspektrum umfasste 13 Arten aus 4 Unterfamilien (Tab. Tv1-B 2c-1). Darunter befanden sich zwei Arten (*Novius cruentatus* (Mulsant), *Vibidia duodecimguttata* (Poda)) der bundesdeutschen Roten Liste (BINOT et al. 1998), die als gefährdet (Status 3) eingestuft sind. Das Artenspektrum war durch eine spezifische Waldfauna (Artenzahl: n=5, Individuenzahl: n=142) geprägt. Des Weiteren betrug der Dominanzanteil arboricoler Arten 99 %, von denen 65 % gleichzeitig als silvicol einzustufen sind.

Eindeutige Unterschiede in den Arten- und Individuenzahlen lassen sich zwischen den Untersuchungsvarianten nicht erkennen. Auf den Kontrollflächen wurden tendenziell höhere Individuenzahlen ermittelt. Der Vergleich der Faunengemeinschaft auf Artbasis mittels des SÖRENSEN-Index ergab mit quantitativen Daten Unterschiede in den Ähnlichkeitsbeziehungen. Demnach waren sich die Störungsflächen (betrifft Flächen mit Kahlfraß und Einsatz Karate Forst fl.) untereinander am ähnlichsten (F-LA/P-LA: 1,0; F-LA/P-LB: 0,98 sowie F-LB/P-LA: 0,97; F-LB/P-LB: 0,83). Auch die Kontrollfläche K-LA zeigte im Gegensatz zur Fläche K-LB hohe Ähnlichkeiten mit den Störungsflächen (F-LA: 0,94; F-LB: 0,79; P-LA: 0,89; P-LB: 0,96). Deutlich differenziert war die zweite Kontrolle K-LB, die jedoch zu K-LA eine hohe Ähnlichkeit aufwies (0,81). Die presence/absence Daten bestätigten diese Ergebnisse in abgeschwächter Form.

Von besonderem Interesse war die positive Dichterückkopplung der Abundanz zwischen Blattläuse (Aphidoidea) und adulten, räuberisch lebenden Marienkäfern, um den Einfluss der Insektizide besser beurteilen zu können. Die Luftklektoren im Kronenraum der Kiefern schienen hierfür besonders geeignet. Leider werden mit dieser Fangmethode nur die Aktivitätsdichten ermittelt. Die Ergebnisse der Korrelations- und Regressionsanalyse zeigten eine Abhängigkeit. So konnte in 2016 eine moderat positive Beziehung festgestellt werden ($R=0,69$, $p>0,05$), bei der 48 % der Streuung in einem linearen Zusammenhang erklärt werden. D. h. die Coccinellidae reagierten nur bedingt auf den Blattlausbefall in 2016. Im Folgejahr bestätigte sich eine starke positive Beziehung ($R=0,85$, $p>0,05$), bei der 73 % der Streuung in einem linearen Zusammenhang erklärt werden. In Agrarökosystemen war ein Zusammenhang nur bedingt nachweisbar (TRILTSCHE et al. 1996).

Ausgehend von weiteren Studien in Kiefernkrönen konnten neben den erhöhten Individuenzahlen der Blattläuse, vor allem eine Kulmination der Individuenzahlen im saisonalen Verlauf, mit Maximalwerten im Mai und Juni bestätigt werden (MAJUNKE et al. 2001, HÖREGOTT 1960). Eine weitere Analyse der Daten bleibt offen, weil nur die Determinationsdaten der Coccinellidae für 2016 im UG Lieberose vorliegen.

Tab. Tv1-B 2c-1: Artenspektrum der Coccinellidae in den Kiefernkrönen (ca. 15 m über dem Boden) nach Fängen mit Luftelektoren in 2016

(1.-7. FP 2016 - mit Angabe der Hauptarten (n=5) nach ENGELMANN (1978), der Artenfunde weiterer Studien (HÖREGOTT 1960, ZIESAR 1998, MAJUNKE et al. 2001) bzw. der Einstufung nach Habitatbindung (e: eurytop, s: stenotop), Lebensraumpräferenz (versch. L. - verschiedene Lebensräume, KiWä - Kiefernwälder, MiWä - Mischwälder, NW - Nadelwälder, NB - Nadelbaum, LB - Laubbaum) und der Verbreitung an *Pinus sylvestris*, Kennzeichnung ^{RL BRD}: Rote Liste für Deutschland - nach BENISCH 2020)

2016	Kontrolle		Kahlfraß (2014)		Karate Forst fl. (2014)		Gesamt	Höregott (1960)	Ziesar (1998) in Majunke et al. (2001)	Habitatbindung	Lebensraumpräferenz	bevorzugt o. gebunden an Kiefer
	K-LA	K-LB	F-LA	F-LB	P-LA	P-LB						
<i>Chilocorus bipustulatus</i> (L.)	25	50	1	2	9	42	129	*		e	versch. L.	
<i>Exochomus quadripustulatus</i> L.	22	37	20	7		5	91	*	*	e	KiWä+MiWä	
<i>Anatis ocellata</i> (L.)	6		19	14	11	6	56	*	*	e	NB	*
<i>Harmonia quadripunctata</i> (Pontoppidan)	6	1	11	14	12	9	53		*	s	KiWä+MiWä	*
<i>Myrrha octodecimguttata</i> (L.)	7	3	8	4		1	23		*	s	NW+MiWä	
<i>Scymnus suturalis</i> Thunberg	4	4	2	4	1	1	16	*	*	s	NB	*
<i>Novius cruentatus</i> (Mulsant) ^{RL BRD}	2	2	4			3	11		*	s	NB	*
<i>Myzia oblongoguttata</i> (L.)	2		1	2	1		6		*	s	NW	*
<i>Harmonia axyridis</i> Pallas			1			2	3			e	versch. L.	
<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (L.)	2					1	3		*	e	versch. L.	
<i>Coccinella septempunctata</i> L.				1	1		2	*	*	e	versch. L.	
<i>Chilocorus renipustulatus</i> (Scriba)		1					1			e	LB	
<i>Vibidia duodecimguttata</i> (Poda) ^{RL BRD}				1			1			s	versch. L.	
Gesamtindividuen	76	98	67	49	41	64	395					
Artenzahl	9	7	9	9	9	6	13					

Literatur: BEIERKUHNEIN, C. (2003): Der Begriff Biodiversität. Nova Acta Leopoldina NF 87, Nr. 328: 51-71. • Benisch, C. (2020): Käferfauna Deutschlands - <https://www.kerbtier.de/> • BINOT, M., BLESS, R., BOYE, P., GRUTTKKE, H. und PRETSCHER, P. (Bearb.) (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schr.R. f. Landschaftspf. u. Natursch. 55, 434 S. • BRAY, J.R., CURTIS, J.T. (1957) An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. Ecological Monographs, 27, 325-349. • ENGELMANN, H.D. (1978) Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. Pedobiologia, 18, 378-380. • FRAZER, B. D. (1988): Coccinellidae. In Minks, A. K. & Harrewijn, P. (Edits.): Aphids – Their biology, natural enemies and control, Volume B, Elsevier Amsterdam, 231-247. • FRITZE, M.-A. & H. REBHAN (1998): Laufkäfer als Indikatoren für die naturschutzfachliche Bedeutung der Kalkmagerrasen des „Obermainischen Hügellandes“. Bayer. Akad. Natursch. Landschaftspf. 8/98: 183-194. • HOBHOM, C. (2000): Biodiversität. Quelle und Meyer, Wiebelsheim, UTB, 214 S. • HODEK, I. (1967): Bionomics an ecology of predaceous Coccinellidae. Annual Review of Entomology 12: 79-104. • HODEK, I. (1973): Biology of Coccinellidae. Academia, Prag, 260 S. • HODEK, I., IPERTI, G., HODKOVA, M. (1993): Long-distance flights in Coccinellidae. European Journal of Entomology 90: 403-414. • HONEK, A. (1982): Factors, which determine the composition of field communities of adult aphidophagous Coccinellidae (Coleoptera). Zeitschrift für Angewandte Entomologie 94: 157-168. • HONEK, A. (1985): Habitat preferences of aphidophagous coccinellids. Entomophaga 30: 253-264. • HÖREGOTT, H. (1960): Untersuchungen über die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Arthropodenfauna in den Kiefernkrönen. Beiträge zur Entomologie 10: 891-916. • KLAUSNITZER, B. (1993): Zur Eignung der Marienkäfer (Coccinellidae) als Biodeskriptoren (Indikatoren, Zeigergruppe) für Landschaftsplanung und UVP in Deutschland. Insecta, Berlin 1: 184-193. • KLAUSNITZER, B., H. KLAUSNITZER (1986): Marienkäfer (Coccinellidae). 3. Auflage NBB 451, Ziemsen Verlag, Wittenberg. • LUKA, H. (1996): Laufkäfer: Nützlinge und Bioindikatoren in der Landwirtschaft. AgrarForschung 3: 33-36. • MAGURRAN, A.E. (1988) Ecological Diversity and Its Measurement. Croom Helm, London, 178. • MAJUNKE, C., K. MÖLLER, A. MEUßLING, A. LEHMANN (2001): Zur Fauna der Kiefernkrönen unter besonderer Berücksichtigung der Marienkäfer (Col., Coccinellidae). Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent. 13: 415-418. • MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie. – UTB für Wissenschaft. Uni-Taschenbücher, 3. Aufl., QUELLE & MEYER Verlag, Heidelberg u. Wiesbaden, 595 S. • NIEHOFF, B., H. M. POEHLING (1994): Zur Nutzung reduzierter Aufwandmengen von Insektiziden zur Bekämpfung von Getreideblattläusen unter Berücksichtigung von Nebenwirkungen auf stenophage Prädatoren. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 301, Parey Berlin, 76 S. • TRILTSCH, H., B. FREIER, M. MÖWES (1996): Marienkäfer (Coleoptera, Coccinellidae) als Nützlinge in agrarischen Ökosystemen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 323, Parey Berlin, 96 S. • WOIN, N., C. VOLKMAR & T. WETZEL (2000): Seasonal activity and diversity of ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae) as ecological bioindicators in paddy fields. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent. 12: 203-206.

3. Diptera: Brachycera (Fliegen)

Für die Bearbeitung der Diptera (Brachycera) wurde das Verbundprojekt personell verstärkt. Eine zusätzliche Stelle für einen Wissenschaftler wurde am 01.10.2018 für 36 Monate über Haushaltsmittel des JKI implementiert. Die Bearbeitung der Unterordnung Brachycera nimmt eine dezidierte Stellung in dem Teilvorhaben 1 ein. Die Beantwortung folgender Fragestellungen wird fokussiert:

- i. Artbestimmung mit Hilfe des DNA-Barcoding:
 - a. Welche Modifikationen der DNA-Extraktion sind für die Aufarbeitung von Insektenproben (Diptera: Brachycera) aus freilandökologischen Untersuchungen erforderlich, die mit gesättigter Benzoesäurelösung gefangen wurden?

- b. Welche Möglichkeiten und Grenzen bietet das DNA-Barcoding zur Artidentifikation von Insekten im Rahmen von Biodiversitätsuntersuchungen in Wäldern am Beispiel der Fliegengemeinschaft?
- ii. Freilandökologische Untersuchungen zum Einfluss von Störungen:
 - a. Wie sind die Familien- und Artenzusammensetzung der Fliegengemeinschaft in Kiefernwäldern des nordostdeutschen Tieflandes charakterisiert?
 - b. Sind direkte und/oder langfristige Effekte beim Einsatz von Insektiziden mit Luftfahrzeugen auf die Struktur der Brachycerenfauna erkennbar? Gibt es Auswirkungen auf die Fliegengemeinschaft, die auf starke Fraßereignisse zurückzuführen sind?

Die Diptera, insbesondere die Brachycera (Fliegen) stellen eine interessante Unterordnung dar. Viele Vertreter gehören wichtigen antagonistischen Familien an und zählen zu den wichtigsten Bodentieren (THIEDE 1977). Die Brachycera (Fliegen) und die Nematocera (Mücken) stellen u. a. in Waldökosystemen der Buche (ALTMÜLLER 1976b, 1976a, 1979; HÖVEMEYER 1984; KOLBE 1981; SCHAUERMANN 1976) und der Fichte (THIEDE 1977) die bedeutendste Ordnung unter den Pterygota (Fluginsekten).

Als Nichtzielorganismen sind u. a. die Antagonisten von Kieferngrößschädlingen von besonderer Bedeutung. Bei den Fliegen können die Larven und Imagines als Prädatoren und Parasitoiden auftreten (OOSTERBROEK 2006). Als potenzielle Antagonisten gelten u. a. die Familien: Tachinidae und Sarcophagidae als Endoparasitoiden und die Asilidae als Prädatoren. Die Tachinidae zählen zu den Larvenparasitoiden verschiedener Kieferngrößschädlinge (GÄBLER 1952, SCHWENKE 1982). Grundsätzlich können einige Vertreter die Latenzphase ausgewählter Schadinsekten verlängern und/oder die Retrogradationsphase bei einer Massenvermehrung beschleunigen (SCHWENKE 2011). Die Art *Drino inconspicua* (Meigen, 1810) erfüllt zum Beispiel beide Funktionen. Die Parasitierung kann direkt durch die Eiablage auf den Wirt oder indirekt durch die Eiablage in dessen Nähe auf der Wirtspflanze erfolgen. Je nach Art schlüpfen die Larven unmittelbar nach der Eiablage auf dem Wirt oder entwickeln sich mehrere Tage im Ei am Wirt. Die Sarcophagidae zählen generell zu den Aasfressern. Bei vielen Arten sind jedoch Übergänge zu einer parasitoiden Lebensweise möglich. Als Parasitoiden übernehmen sie dann in der Latenzphase eine wichtige Funktion. Unter den Wirtstieren finden sich Arten der Lepidoptera und Hymenoptera (OOSTERBROEK 2006). Die Vertreter der Asilidae sind innerhalb der Brachycera die größten Prädatoren. Die Images sind aufgrund ihrer Körperlänge (3 bis 40 mm - OOSTERBROEK 2006) und ihrer generalistischen Lebensweise als Antagonisten der Kieferngrößschädlinge denkbar. Bevorzugt werden sonnige Lebensräume, zu denen Kiefernwälder auf trocken-armen Standorten zählen (OOSTERBROEK 2006). Sie ergreifen ihre Beute oft im Flug (STUBBS & DRAKE 2001), wie Individuen der Hymenoptera (DENNIS & LAVIGNE 2007) und Lepidoptera (DENNIS et al. 2009). ECKSTEIN (1915) beobachtete, dass *Lymantria monacha* zum Beutespektrum der Gattungen *Asilus* und *Andrenosoma* gehört. In neuerer Literatur werden diese Angaben jedoch nicht bestätigt und andere Insektengruppen als Beute aufgeführt (GHAHARI et al. 2014; HAYAT et al. 2008; HOLLOWAY et al. 2003; STARÝ 1990; WOLFF et al. 2018). Die Art *Laphira gilva* gilt als Räuber von *Dendroctonus ponderosae* („mountain pine beetle“, Scolytinae), ein bedeutender Kiefern schädling in Nordamerika (SCHMID 1969).

3.a. Artbestimmung mit Hilfe des DNA-Barcoding

Die morphologische Determination erfolgt aktuell bis zur Familie nach dem Familienschlüssel von OOSTERBROEK (2006) bzw. als Ergänzung der Familienschlüssel von SHTAKEL'BERG (1989). Die Determination bis auf Artniveau ist für die erwähnten Familien: Tachinidae, Sarcophagidae und Asilidae geplant, unter Verwendung familienspezifischer Bestimmungsschlüssel (TSCHORSNIG & HERTING (1994) für die Tachinidae, PAPE (1987) für die Sarcophagidae und WOLFF et al. (2018) für die Asilidae). Eine Nachbestimmung der Taxa ist durch Experten angedacht.

Aufgrund frei zugänglicher Daten bei BOLD (Barcode of Life Data System) wird auf Basis von u. a. POHJOIS-MÄKI et al. (2016) und GEIGER et al. (2016) eine kladistische Analyse von DNA-Sequenzen der Tachinidae beabsichtigt. Zur Klassifizierung von Arten der Raupenfliegen werden neben den klassischen morphologischen Merkmalen und der Wirtsspezifität, zunehmend genetische Analysen von Nukleinsäuresequenzen genutzt (O'HARA 2013). Mit der Berechnung phylogenetischer Bäume kann der Grad der Verwandtschaft zwischen verschiedenen Spezies aufgezeigt werden. Es ist möglich, die bisherige Taxonomie auf ihre Gültigkeit zu überprüfen, und Vorschläge zur Vereinheitlichung der Nomenklatur zu erarbeiten. Durch eine genauere Zuordnung können eventuell Rückschlüsse auf das Nahrungsspektrum, die Lebensweise und verschiedenen morphologischen Merkmalen gezogen werden.

Um den Prozess der morphologischen Bestimmung zu beschleunigen, werden die Arten innerhalb der oben genannten Familien mit Hilfe des DNA-Barcodings (HERBERT et al. 2004) bestimmt. Hierzu werden die Primercocktails C_LepFolF (LepF1 und LCO1490) und C_LepFol_R (LepR1 und HCO2198) nach HERNÁNDEZ-

TRIANA et al. (2014) verwendet, die für die Familie der Tachinidae empfohlen werden (POHJOISMÄKI et al. 2016) und bei einem Großteil der Dipterenfamilien eine Bestimmung bis zur Art erlauben (GEIGER et al. 2016). Da die verwendete Fangflüssigkeit (gesättigte Benzoesäurelösung) als PCR-Inhibitor wirkt (MIZUSHINA et al. 2000), ist eine Optimierung der DNA-Extraktion geplant, so dass ausgehend von dem DNA-Template Cytochrome c Oxidase Subunit I Fragmente bei der PCR amplifiziert werden können. Die DNA-Extraktion soll nach Möglichkeit non-destruktiv erfolgen, um die morphologischen Merkmale der Individuen zu erhalten und eine spätere morphologische Bestimmung der Arten zu ermöglichen.

Zur Optimierung der DNA-Extraktion wurden zwei verschiedene Zuchtfliegen unterschiedlicher Größe (*Lucilia sericata* (Meigen, 1826), Körperlänge: 0,5 cm – 1,1 cm; *Drosophila hydei* Sturtevan, 1921, Körperlänge: 0,3 cm – 0,4 cm) verwendet und konserviert. Neben der sofortigen Tiefkühlung der Individuen, kamen die Konservierung in 70 %-igem Ethanol und in gesättigter Benzoesäurelösung zur Anwendung. In letzterem Fall wurden die Fliegen ca. vier bzw. acht Wochen in der Flüssigkeit aufbewahrt. Im Idealfall gelingt die DNA-Extraktion unabhängig von der Körpergröße der Zuchtfliegen sowie unabhängig von der Konservierungsflüssigkeit. Anschließend kann das DNA-Barcoding für alle Fangproben durchgeführt werden. Gelingt dies ausschließlich mit *Lucilia sericata* (Mg.) können zumindest größere Exemplare der Brachycera mit dem DNA-Barcoding determiniert werden. Die COI-Fragmente werden anschließend sequenziert (LGC Genomics) editiert und analysiert, so dass sie in der BOLD-Sequenzdatenbank hinterlegt werden können. Wenn bereits Sequenzen für die Taxa vorhanden sind und sichergestellt werden kann, dass in zwei der zu Grunde gelegten Arbeiten die Fliegen unabhängig voneinander morphologisch bestimmt wurden, ist die Artbestimmung abgeschlossen. Ansonsten muss die Probe morphologisch bis zur Art determiniert werden. Sind Sequenzen bei BOLD bisher nicht hinterlegt, kann bei ausreichender Stichprobenzahl eine neue „Barcode Index Number“ (BIN) für die Probe angelegt und nach morphologischer Bestimmung mit einem Artnamen hinterlegt werden. Nach erfolgreicher Identifikation der Arten erfolgt ein Vergleich der Strukturen innerhalb der Fliegengemeinschaft, um direkte und/oder langfristige Effekte von Insektizid-Applikationen und Fraßereignissen der Kieferngrößschädlinge auf die Brachycera zu erarbeiten.

Eine non-destruktive DNA Extraktion wurde in Anlehnung an IZUMITSU et al. (2012) zum Zwecke des DNA-Barcoding (HEBERT et al. 2003) mit Zuchtfliegen modifiziert. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass im Gegensatz zu bereits etablierten Verfahren (CASTALANELLI et al. 2010) keine Beeinträchtigung der Stabilität der Flügel zu beobachten ist. Zusätzlich zeigte sich in Vorversuchen, dass Verfahren mit kommerziellen Kits, wie von KIM et al. (2013), zu einem Pigmentverlust und dem Lösen dorsaler Thoraxborsten führten. Außerdem liegt der Zeitaufwand bei dem modifizierten Verfahren deutlich niedriger als bei der Anwendung kommerzieller Kits. Allerdings konnte das Verfahren leider nicht auf die freilandökologischen Proben übertragen werden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die DNA bereits stark degradiert sein kann. Die Degradation hat sich auf die Menge der vorhandenen DNA und die Länge der noch verbleibenden DNA-Fragmente negativ ausgewirkt. Die genutzte Fangflüssigkeit (gesättigte Benzoesäurelösung) ist ausschließlich für die Konservierung der Eidonomie von Vorteil (RATSCHKER 2001), wahrscheinlich aber nicht für den Erhalt der DNA. Daher wird in einem zusätzlichen Freilandversuch die gesättigte Benzoesäurelösung mit einer weiteren Fangflüssigkeit (2% ige SDS-Lösung mit 100 mM/l EDTA), die zum Zweck der DNA-Konservierung im Freiland erarbeitet wurde (POKLUDA et al. 2014), auf verschiedene Kriterien untersucht. Im Mittelpunkt stehen hierbei die Konservierung der DNA, die Verdunstungsrate, der Erhaltungszustand der Arthropoden und die attrahierende Wirkung infolge einer trocken-warmen Witterung.

Für die angestrebte Sequenzierung der Freilandproben wird aktuell die destruktive DNA-Extraktion als Verfahren angewendet, um DNA durch die Verwendung von doppelt vorhandenen Körperteilen (Beine/Flügel) zu isolieren. So könnten die für die morphologische Bestimmung notwendigen Merkmale trotzdem erhalten werden. Erste Versuche zu diesem Verfahren ergaben, dass DNA nur aus größeren Exemplaren gewonnen werden kann, bei kleineren Exemplaren ist die Degradation der DNA zu weit fortgeschritten. Trotzdem sollte die DNA-Extraktion für die antagonistischen Familien der Brachycera gelingen, weil die Individuen überwiegend größer sind. Die kleineren Exemplare könnten nach der morphologischen Bestimmung für eine DNA-Extraktion genutzt werden.

⇒ Fazit: Es werden zwei unterschiedliche Ansätze zur Analyse von Freilandproben verfolgt, um deren Vor- und Nachteile zu vergleichen. In der Bearbeitung ergeben sich jedoch viele zusammenhängende Probleme, die es zu erkennen und zu minimieren gilt.

3.b. Erste Ergebnisse direkter und langfristiger Effekte im Untersuchungsjahr 2016

Insgesamt konnten in beiden Untersuchungsgebieten 49 Familien der Brachycera erfasst werden. Davon wurden 44 Familien im UG Herzberg und 36 Familien im UG Lieberose/Cottbus nachgewiesen. Die Familienstruktur der Brachycera war in beiden Untersuchungsgebieten durch eine ähnliche Zusammensetzung charakterisiert. Es dominierten nach Fängen mit Bodenphotoektoren die Familien Phoridae, Empididae, Hybotidae und Chloropidae (Tab. Tv1-B 3b-1, Tab. Tv1-B 3b-2). Eine geringere Präsenz besaßen die Familien: Asilidae, Tachinidae und Sarcophagidae, die in der vorliegenden Studie im Fokus stehen.

Die definierten Hauptfamilien werden natürlich ebenfalls als Nichtzielorganismen berücksichtigt, insbesondere die Phoridae (Körperlänge: 0,5 mm bis 6,0 mm). Als Buckelfliegen bezeichnet, zählen sie zu den artenreichsten Dipterenfamilien, entsprechend divers ist auch ihre Ernährungsweise. Sie können sich phytophag, mykophag oder nekrophag ernähren. Einige Vertreter gelten als Hyperparasitoide, wie *Megaselia rufipes* Meigen, die die Larven endoparasitoider Brachycera (Tachinidae) von *Lymantria monacha* parasitiert (FAHRINGER 1941, TERESHKIN 2015 (1988)). Die Chloropidae oder Halmfliegen genannt (Körperlänge: 1,0 mm bis 5,0 mm) leben in offenen Habitaten und in Wäldern - dort vor allem im Totholz und unter der Borke. Viele Arten sind Blütenbesucher (OOSTERBROEK 2006). Die Larven ernähren sich phytophag, koprophag oder nekrophag. Die Empididae (Tanzfliegen, Körperlänge: 1,0 mm bis 12,0 mm) und die Hybotidae (Buckeltanzfliegen, Körperlänge: 1,0 mm bis 6,0 mm) erbeuten andere Insekten oder leben von Pollen und Nektar. Besonders die Tanzfliegen treten in Schwärmen auf (OOSTERBROEK 2006) und gelten als Bewohner von Fichtenforsten und Buchenwäldern (ELLENBERG et al. 1986).

Die Ergebnisse von THIEDE (1977) in Fichtenreinbeständen zeigen, dass die Dominanzstruktur der Brachycera durch die Empididae, Hybotidae und Phoridae charakterisiert wird, während die Chloropidae in 90-jährigen Fichtenbeständen nur sporadisch vorkommen bzw. in 45-jährigen Fichtenbeständen gänzlich fehlen. Im Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie kann das Vorkommen der Halmfliegen in den untersuchten Kiefernwäldern eine Folge der höheren Lichtintensität (Bestandesstrahlung) sein. Fichtenbestände sind grundsätzlich schattiger und verfügen über eine niedrigere Lichteinstrahlung als Kiefernbestände (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010). Inwieweit das Auftreten der Chloropidae positiv mit dem Lichtangebot der untersuchten Kiefernbestände korreliert, wird mit den Daten der hemisphärischen Fotografie zu überprüfen sein.

Tab. Tv1-B 3b-1: Dominanzverteilung nach ENGELMANN (1978) im UG Lieberose/Cottbus, basierend auf Fängen mit Bodenphotoektoren (1.-7. FP 2016, *Rang nach Häufigkeit)

Rang*	Familien	Individuenzahl	Individuen- dominanz (%)	Dominanzklasse
1	Phoridae	1019	48,45	eudominant
2	Empididae	455	21,64	dominant
3	Hybotidae	243	11,55	dominant
4	Chloropidae	183	8,70	subdominant
5	Sphaeroceridae	56	2,66	rezedent
6	Asilidae	48	2,28	rezedent
7	Fanniidae	39	1,85	rezedent
8	Chamaemyiidae	11	0,52	subrezedent
9	Heleomyzidae	8	0,38	subrezedent
10	Tachinidae	6	0,29	sporadisch
13	Sarcophagidae	3	0,14	sporadisch
	Sonstige (n=12)	32	1,52	sporadisch

Der Einsatz von Bodenphotoektoren (BPE) ist am besten für den Nachweis der Brachycera geeignet. Die Fänge mit Luftektoren (LEK) dienen als Ergänzung. Während im UG Lieberose/Cottbus der Kronenraum in ca. 15 m Höhe befangen wurde, konnten im UG Herzberg die Fluginsekten auf ca. 1,5 m über dem Boden erfasst werden. Bei dem Vergleich der Ergebnisse aus BPE und LEK zeigte sich, dass die Beprobung unterschiedlicher Fanghöhen die Zusammensetzung der Fliegengemeinschaft beeinflusst. So zeigten die Empididae und Tachinidae tendenziell höhere Aktivitätsdichten in 1,5 m Fanghöhe, während die Asilidae bevorzugt im Kronenraum nachgewiesen wurden. Der Einsatz der Luftektoren als zusätzliche Fangmethode bestätigte sich am Beispiel der Familie Calliphoridae (Schmeißfliegen): Im UG Herzberg wurden die Vertreter nicht mit BPE erfasst, während mit LEK ein Nachweis möglich war (n= 49 Ind.). Eindeutige Unterschiede

werden mit den Ergebnissen der Jahre 2017 und 2018 erwartet, die gleichzeitig die Habitatqualität zu berücksichtigen haben. Der Einsatz von Bodenfallen ist zur Erfassung der Brachycera ungeeignet, dennoch konnten einzelne Familien mit höheren Individuenzahlen erfasst werden. Dazu gehörten die Sphaeroceridae (Dungfliegen), die eine hohe Aktivität am Boden aufweisen (BÄHRMANN 1976; VEN & DE BRUYN 1991), und die Sarcophagidae, die wahrscheinlich durch den bei warmer Witterung entstehenden Verwesungsgeruch in den Fallen attrahiert wurden. Daher werden die Fänge der Bodenfallen nicht weiter berücksichtigt.

Tab. Tv1-B 3b-2: Dominanzverteilung nach ENGELMANN (1978) im UG Herzberg, basierend auf Fängen mit Bodenphotoelektoren (4.-7. FP 2016, *Rang nach Häufigkeit)

Rang*	Familie	Individuenzahl	Individuen- dominanz (%)	Dominanzklasse
1	Phoridae	3341	79,30	eudominant
2	Hybotidae	297	7,05	subdominant
3	Empididae	263	6,24	subdominant
4	Chloropidae	195	4,63	subdominant
5	Sphaeroceridae	21	0,50	subrezedent
6	Tachinidae	20	0,47	subrezedent
7	Asilidae	19	0,45	subrezedent
8	Drosophilidae	16	0,38	subrezedent
	Sonstige (n=16)	41	0,97	sporadisch

Am Beispiel der Phoridae lassen sich für 2016 verringerte Individuendichten (UG Herzberg) nach der Anwendung von Insektiziden feststellen (Tab. Tv1-B 3b-3). Die Ergebnisse der Abundanz nach der Insektizidanwendung Ende August 2016 stehen hierbei im Fokus. Auf den Flächen der Versuchsvariante FP-D sowie der MP-D zeigte sich teilweise ein tendenzieller Rückgang der Individuendichte. Als direkter Effekt in Folge der Waldschutzmaßnahme lässt sich die Reduktion jedoch nicht eindeutig erklären, weil auf den Flächen der UV KF-D ebenfalls die Abundanz abnahm.

Tab. Tv1-B 3b-3: Mediane der Individuendichte (Ind./m²) der Phoridae bezogen auf die Untersuchungsvarianten im UG Herzberg (nach Fängen mit Bodenphotoelektoren, 4.-7. FP 2016)

Untersuchungsvariante	Fläche	FP 3: Juni	FP 4: Juli	FP 5: Aug.	FP 6: Sept.	FP 7: Okt.
		13.06.-06.07.	07.07.-03.08.	04.08.-31.08.	01.09.-28.09.	29.09.-26.10.
Fraß _(ab 04'16)	KF-D 1	Werte nicht vergleichbar (verkürzter Fangintervall)	89	51	27	16
	KF-D 2		20	31	29	18
Karate Forst fl. _(06'16)	P-D 1		34	28	24	16
	P-D 2		32	31	14	26
Karate Forst fl. _(08'16)	FP-D 1		21	22	7	3
	FP-D 2		55,5	62	16	30
Mimic _(06'16) + Karate Forst fl. _(08'16)	MP-D 1		44	20	25	7
	MP-D 2		56	55	18	109

Im UG Lieberose/Cottbus konnten nach vorliegenden Ergebnissen keine langfristigen Auswirkungen von Karate Forst *flüssig* nachgewiesen werden. Die Individuendichte der Phoridae zeigte in 2016 zwischen den Flächen der Versuchsvarianten Fraß (F-L), Einsatz Karate Forst *fl.* (P-L) und Kontrolle (K-L) keine Auffälligkeiten. Im Juli waren die höchsten Abundanzen feststellbar (Tab. Tv1-B 3b-4).

Tab. Tv1-B 3b-4: Mediane der Individuendichte (Ind./m²) der Phoridae bezogen auf die Untersuchungsvarianten im UG Lieberose (nach Fängen mit Bodenphotoelektoren, 1.-7. FP 2016)

Untersuchungsvariante	Fläche	FP 1: Apr.	FP 2: Mai	FP 3: Juni	FP 4: Juli	FP 5: Aug.	FP 6: Sept.	FP 7: Okt.
		11.04.-08.05.	09.05.-05.06.	06.06.-03.07.	04.07.-31.07.	01.08.-28.08.	29.08.-25.09.	26.09.-23.10.
Fraß ₍₂₀₁₄₎	F-L A	1	1	2	19	11	4	6
	F-L B	1	1	3	11	6	3	9
Karate Forst fl. ₍₂₀₁₄₎	P-L A	2	0	1	13	5	0	6
	P-L B	1	0	6	31	27	6	13
Kontrolle	K-L A	2	1	1	23	8	7	10
	K-L B	1	0	2	52	10	3	3

Relativ gering war der Anteil an Raupenfliegen (Tachinidae) und Jagdfliegen (Asilidae) am Gesamtfang. Im UG Herzberg waren die Tachinidae nur mit einem Anteil von 0,47 % und im UG Lieberose/Cottbus mit 0,29 % vertreten. Die Studie von FUNKE et al. (1994) stellte eine Individuendominanz (mit BPE) der Tachinidae von 8,4 % in Fichtenreinbeständen fest. Die Asilidae waren zumindest im UG Lieberose/Cottbus rezendent (2,28 %) vertreten (UG Herzberg: 0,45 %).

Im UG Herzberg wäre aufgrund der Gradation von *Diprion pini* (in 2016) ein Vorkommen der Tachinidenarten *Drino inconspicua* (Meigen, 1830) und *Drino gilva* (Hartig, 1838) zu erwarten gewesen. Insgesamt wurden dort in 2016: 59 Tachinidae erfasst, von denen aktuell 18 bis zur Art bestimmt sind. Unter ihnen befand sich nur ein Exemplar von *Drino inconspicua* (Meigen, 1830), *Drino gilva* (Hartig, 1838) fehlte ganz. Die Ursache ist bisher ungeklärt, weil *Drino gilva* eine entscheidende Rolle als Parasitoid von *Diprion pini* in der Latenzphase zukommt. Diese Art kann während der Latenzphase 60 % bis 94 % der Afterraupen der Kiefernbuschhornblattwespen parasitieren (HERZ & HEITLAND 1999). Ebenfalls als Einzelnachweis wurde der Larvenparasitoid *Blondelia inclusa* (Hartig, 1838) (HERTING 1960) erfasst.

Eine Ursache für den sporadischen Nachweis der Tachinidae könnte die interspezifische Konkurrenz u. a. zwischen den vorkommenden Larval- und Kokonparasitoiden sein. Als sekundär fakultativer Hyperparasitoid von Larvenparasitoiden eignet sich z. B. der Kokonparasitoid *Pleolophus basizonus* (EICHHORN 1977). Diese Ichneumonidae wurde im Rahmen des Teilvorhabens als Antagonist von *Diprion pini* dominant nachgewiesen und könnte seine Funktion als Hyperparasitoid bestätigen. Dabei gilt, je länger die Blattwespenkokons der Parasitierung ausgesetzt sind, desto höher ist der Anteil der Hyperparasitoiden (EICHHORN 1981). Demzufolge könnte es die Tachinidae *Drino inconspicua* und *Drino gilva*, die im Kokon überwintern (EICHHORN 1980), betreffen. Das Risiko kann zusätzlich durch das Einlegen einer Diapause gesteigert werden. Bei *Drino inconspicua* sind Diapausen allerdings die Ausnahme (EICHHORN 1977). *Drino gilva* kann bis zu drei Jahre überliegen (EICHHORN 1980). Hinsichtlich der Effektivität der Fangsysteme ist festzustellen, dass die Tachinidae aus den Wirtskokons am Boden schlüpfen und daher mit Bodenphotoektoren gut erfasst werden können. In Bezug auf die Gradation von *Diprion pini* in 2016 (UG Herzberg), trifft das überwiegend für die 1. Generation zu. Welche Effektivität die Luftektoren für den Nachweis der Tachinidae besitzen, könnten die Ergebnisse von 2017 und 2018 zeigen.

ERREICHTE NEBENERGEBNISSE

A. Kritische Betrachtung des Versuchsdesigns und Optimierungsmöglichkeiten

Methodische oder systematische Fehler können bei der Durchführung von freilandökologischen Studien und deren Datenauswertung vorkommen. Jede Untersuchung stößt zwangsläufig auf Hindernisse oder Beschränkungen, die zum Zeitpunkt der Planung eines Projektes noch nicht präsent waren.

Im vorliegenden Teilvorhaben 1 befinden sich die erhobenen Freilanddaten aktuell in der statistischen Auswertung, verbunden mit der Frage nach geeigneten statistischen Methoden, einer strukturierten Ergebnisdarstellung und zu guter Letzt auch in dem Bewusstsein möglicher Schwachstellen. So stellen z. B. die Anzahl der Wiederholungen einer Untersuchungsvariante sowie die verwendete Anzahl an Fangautomaten pro Versuchsfläche – mit dem im Projekt verfügbaren Personal- und Zeitbudget – Schwachstellen dar. Ebenso ist die Unabhängigkeit der Versuchseinheiten ausschlaggebend, wobei die Grenze zwischen Replikat und Pseudoreplikat fließend ist. Bei der vorliegenden Untersuchung erfolgte die Ausbringung der Insektizide mit Luffahrzeugen praxisnah, d.h. mit einer Anwendung pro Präparat für eine definierte Behandlungsfläche. Aus diesem Grund ist es fraglich, ob die Wiederholungen als Replikate zu bewerten sind, nach HURLBERT (1984) wären es Pseudoreplikate.

Aus den Erfahrungen der Freilanduntersuchung lassen sich für die Zukunft wertvolle Hinweise zusammenfassen, wie das Versuchsdesign modifiziert werden kann, um den Arbeitsaufwand zu bewältigen und die Qualität sowie Repräsentativität der Daten sicherzustellen. Das Versuchsdesign sollte grundsätzlich schlanker gestaltet werden, bei gleichzeitiger Erhöhung der Replikate. Diese sollten nicht auf nur eine Flugzeugapplikation pro Präparat beruhen, sondern jede Fläche der Untersuchungsvariante müsste separat behandelt werden. Während hierbei der personelle Aufwand nahezu gleich bliebe, steigen der Zeitbedarf und die finanzielle Ausgabenplanung deutlich an.

Außerdem wäre die Auflösung des Ansatzes der kategorialen Differenzierung nach Behandlungstypen möglich, mit der Einführung einer neuen erklärenden Variable, wie der zeitliche Abstand der letzten Applikation eines Präparates (z. B. Karate Forst fl.) bis zur Installation der Fallensysteme. Eine größere Auswahl an potenziellen Untersuchungsflächen würden zur Verfügung stehen. Es können Flächen in das Versuchsdesign

aufgenommen werden, auf denen die letzte Applikation auch mehrere Jahre zurückliegt. Das Ergebnis einer Regressionsanalyse (FAHRMEIR et al. 2009) wäre theoretisch: je größer der zeitliche Abstand, desto geringer der Effekt auf die Zielvariable (= Häufigkeiten der untersuchten Arthropodengruppen). Zudem ist eine Abschwächung der Homogenitätskriterien für die Flächenauswahl notwendig, um die Anzahl potenzieller Replikate zu erhöhen. Die Situation im Untersuchungsgebiet Herzberg zeigte, dass in dem begrenzten Schadgebiet eine Einrichtung von mehr als zwei Replikaten mit den formulierten Bestandeskriterien nicht möglich war. Jedoch sollten bei Studien mit Fokus auf Kiefernbeständen trocken-armer Standorte keine Mischbestände oder Bestände mit Voranbauten einbezogen werden, da sich der Lebensraumtyp und damit die Zusammensetzung der Arthropodengemeinschaft erheblich ändert (SCHULZ et al. 2004).

Aufgrund begrenzter personeller Ressourcen bei ökologischen Freilanduntersuchungen muss der Arbeitsaufwand pro Replikat reduziert werden. Eine Möglichkeit wäre die Beschränkung der einzusetzenden Fallensysteme und/oder die Verringerung der Fallenzahl (vgl. Abs. Diskussion der Fangsysteme). Die Entscheidung zum Einsatz von Fangsystemen ist u. a. mit der Fragestellung der jeweiligen Untersuchung bzw. mit der Entscheidung, welche Vegetationsstraten dafür relevant sind, verbunden. Im vorliegenden Projekt standen anfangs die Krautschicht und der Kronenraum im Fokus, wobei aufgrund von Witterungsereignissen die Abbildung auf Höhe der Strauchschicht als Ersatz für den Kronenraum gewählt werden musste.

Bezüglich der zu nutzenden Fallenzahl gibt es je nach Fangsystem und Arthropodengruppe unterschiedliche Auffassungen. Für die Anwendung von Bodenfallen (BF) zur Erfassung des nahezu vollständigen Artenspektrums sollten 6 bis 10 Fallen pro Fläche genutzt werden (SCHLUMPRECHT 1991). In weiteren Studien fanden 8 bis 10 Fallen pro Fläche Anwendung (ZIESCHE & ROTH 2004, JUNKER 2005, JÄKEL et al. 2004). In der vorliegenden Untersuchung wurden 6 BF pro Fläche gewählt, weil keine vollständige Arterfassung notwendig war. Für den Einsatz von Bodenphotoelektoren (BPE) gibt GRIMM et al. (1974) mindestens 12 Fallen pro Fläche an. In weiteren Untersuchungen wurden 6 BPE pro Versuchseinheit genutzt (SCHMITT 2004, JUNKER 2005). Der Bodenphotoelektor gehört zur Standardmethodik bei der Untersuchung der Fauna von Waldökosystemen. Sein Einsatz ermöglicht den Fang einer hohen Anzahl an Arthropoden pro Quadratmeter. Daher wurden nur drei BPE im vorliegenden Projektvorhaben pro Versuchsfläche eingesetzt, zusätzlich erfolgte die zweimalige Umsetzung im Vegetationsverlauf. Der Einsatz von Luftelektoren (LEK) im Kronenraum von Wäldern gehört ebenfalls zur Standardmethodik. In bisherigen Studien wurden 6 bis 8 LEK eingesetzt (JÄKEL et al. 2004, GOSSNER 2004). Als Kompromiss wurden in der vorliegenden Studie insgesamt 4 LEK auf der Fläche montiert, die nach einmaliger Installation durch Baumkletterer des LFE (im UG Lieberose/Cottbus) gut vom Boden aus zu bedienen waren. Um das erfasste Artenspektrum (vorerst für die Familie Coccinellidae) bei der gewählten Fallenzahl zu überprüfen, wurde die Rarefaction-Methode nach SHINOZAKI (1963) angewandt. Demnach war in beiden Untersuchungsgebieten (UG Lieberose/Cottbus in 15 m, UG Herzberg in 1,5 m) eine befriedigende Erfassung des Artenspektrums mit vier LEK möglich, die jedoch für die Bearbeitung der Fragestellung ausreichend erscheint. Der Anstieg der Akkumulationskurven lässt weitere Arten mit Erhöhung der Fallenzahl erwarten.

Anderenfalls ist es denkbar die Fangperioden bzw. den gesamten Fangzeitraum im Jahr zu reduzieren. In der vorliegenden Untersuchung betrug der Fangzeitraum April bis Oktober und die einzelne Fangperiode 4 Wochen. Unter Berücksichtigung der Hinweise ist es denkbar, den Fangzeitraum von z. B. April bis Juni (zum Zeitpunkt des Frühjahrsfraßes der Larven von Kieferngrößschädlingen) zu reduzieren. Natürlich kann ebenfalls der Herbstfraß von August bis Oktober (bei *Diprion pini*, *Dendrolimus pini*) zusätzlich in den Fokus der Studie gestellt werden. Die einzelnen Fangperioden sollten dann an zwei bis drei Aufnahmezeiträume (z. B. 14-tägig) angepasst werden. Der Zeitraum der Datenerfassung bleibt bei allen Replikaten identisch und sollte so gewählt werden, dass der zeitliche Abstand zur Flächenapplikation (auf den beprobten Replikaten im aktuellen Jahr) nicht zu groß wird, so dass kein Effekt mehr durch eine kompensatorische Wiederbesiedlung messbar ist. Bei Untersuchungen zu Effekten von Pyrethroiden in Agrarkulturen wurde eine kompensatorische Wirkung festgestellt (PULLEN et al. 1992; RICHARD et al. 1993). Demnach wären die Fallensysteme auf den Versuchsflächen so zu installieren, dass ihr Abstand zur Grenze der Behandlungsfläche möglichst groß ist und der Abstand als erklärende Variable bei einer Regressionsanalyse berücksichtigt werden kann.

Die Reduktion der Fangperioden, als auch die der Fangsysteme und der Fallenzahl hat zur Folge, dass nur einzelne Arthropodengruppen in einem begrenzten zeitlichen Rahmen betrachtet werden. Letztlich steht die Frage nach den Effekten von Insektiziden im Fokus bzw. die Frage der zeitlichen Wiederbesiedlung. Hierbei gilt es ebenfalls die Determinationsebenen festzulegen. Da die Determination bis zur Art nicht konsequenterweise auch zu einer größeren Informationsschärfe bzw. zu validen/signifikanten Statistiken führt. Besser erscheint die Bearbeitung von Überfamilien oder Familien, insbesondere für die Hymenoptera, Diptera oder Coleoptera.

Die Auswirkungen von Insektiziden auf bestimmte Gruppen der Arthropodengemeinschaft (einschließlich potentieller Antagonisten der Hymenoptera oder Diptera) zu untersuchen, sollte ausschließlich über Dauerbeobachtungsflächen in Gradationsgebieten erfolgen. Hierbei wäre gewährleistet, dass der Zustand vor und nach einer Waldschutzmaßnahme erhoben werden kann. Nach GRIMM et al. (1974) sollten Untersuchungsflächen mindestens über einen Zeitraum von 7 Jahren beobachtet werden, um jährliche Schwankungen in den Häufigkeiten der Arthropodengruppen auszugleichen. Natürlich benötigt eine Dauerbeobachtung neben Zeit-, Personal- und Finanzressourcen auch Ausdauer, um die Entwicklung von Gradationen begleiten zu können.

B. Betrachtung der Fangsysteme

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass in Abhängigkeit von der Lebensweise der Arthropodengruppe unterschiedliche Fangsysteme in ihrer Effektivität differieren (BÄHRMANN 1976, VEN & DE BRUYN 1991, PARR & CHOWN 2001, BĂNCILĂ & PLĂIAȘU 2009, DEWAARD et al. 2008). Die vorliegende Arbeit bestätigt diese Problematik. Eine Erfassung der vollständigen Arthropodengemeinschaft konnte aufgrund der Zielstellung im vorliegenden Projekt nicht gewährleistet werden bzw. war zu keiner Zeit Gegenstand der Untersuchung. Die Festlegung der Fangsysteme bzw. der Fallenzahl pro Versuchsfläche wird immer einen Kompromiss zwischen der verfügbaren Zeit-, Personal- und Finanzressource darstellen. Grundsätzlich ist es jedoch möglich verschiedene Fallensysteme (in unterschiedlichen Vegetationsstraten) zu nutzen, um verschiedene Arthropodengruppen in Abhängigkeit von ihrer Lebensweise zu erfassen (MÜHLENBERG 1993).

In der vorliegenden Untersuchung wurden Bodenphotoelektoren (BPE), Bodenfallen (BF) und Luftelektoren (LEK) eingesetzt. Die BPE nach FUNKE (1971) ermöglichen die Erfassung der Individuendichte bezogen auf eine definierte Grundfläche von 1 m². Mit diesem Fallentyp werden vorwiegend Stratenwechsler nachgewiesen, die während ihres Lebenszyklus obligat vom Bodenstratum in die höheren Vegetationsstraten (Kraut-, Strauch- oder Baumschicht) wechseln (ULRICH 2001; FUNKE 1971). Die BF nach BARBER (1931) stellen eine wichtige Ergänzung zu den BPE dar, weil vorwiegend epigäisch aktive Arthropoden erfasst werden. Die Fangergebnisse dienen zur Berechnung der Aktivitätsdichte (relative Häufigkeiten). Beeinflusst wird die Fängigkeit z. B. durch kleinörtliche Unterschiede der umgebenden Vegetation oder durch den bei warmer Witterung auftretenden Verwesungsgeruch, welcher auch attrahierend wirken kann (ADIS 1979). Aus den Beobachtungen u. a. von LANG (2000) geht hervor, dass die Fangzahlen dominanter Prädatorengruppen (Arachnida: Araneae, Coleoptera: Carabidae, Staphylinidae) nicht den tatsächlichen Häufigkeiten im Freiland (im Vergleich zu BPE) entsprechen - größere Arten der Coleoptera werden in BF stärker selektiert als kleinere Arten. Hierbei geht LANG (2000) davon aus, dass größere Arten tendenziell mobiler sind, als kleinere Arten - in Folge müsste deren Aktivitätsdichte pro Individuum erhöht sein und zu einer Überbewertung gegenüber kleineren Arten führen. Für flugfähige Arthropoden sind BF weniger geeignet, obwohl auch Vertreter der Hymenoptera (Ichneumonidae) und Diptera (Brachycera) mit höheren Individuenzahlen in diesem Fangsystem nachgewiesen wurden (BÄHRMANN 1976). Die Luftelektoren dienen als Ergänzung zur Erfassung fliegender Insekten im Kronenraum bzw. in der Höhe von 1,5 m über dem Boden (repräsentativ für die Strauchschicht). Diese Fangmethode eignet sich gut für die Untersuchung der Baumkronenfauna und wurde in verschiedenen Studien erfolgreich eingesetzt (JÄKEL et al. 2004, GOSSNER 2008, SEIBOLD et al. 2019).

Ein alternatives Fangsystem ist die Malaise-Trap (MALAISE 1937), mit dem Vorteil, dass quantitative Erfassungen grundsätzlich möglich sind und hohe Fangzahlen erzielt werden können (VAN ACHTERBERG 2009). Allerdings ist die Handhabung sehr aufwendig und umständlich. So werden die Fallen an Randstrukturen, wie auf Waldwegen oder auf Rückegassen in Wäldern aufgestellt, indem das Fallensystem zur Sonne und die Fallenöffnung zum Waldbestand hin ausgerichtet wird. Auch die Größe der Falle mit ca. 4 m² Grundfläche erweist sich als problematisch, bei der Suche nach dem optimalen Standort (VAN ACHTERBERG 2009). Als automatisches Fangsystem ist ihr Einsatz nur kontrolliert bzw. unter regelmäßiger Wartung vorzunehmen. Genutzt werden Malaisefallen zum Erfassen der Biodiversität flugaktiver Insekten (Diptera, Hymenoptera) mäßig häufiger oder seltender Arten (ZOOLOGISCHE STAATSSAMMLUNG MÜNCHEN 2019). Für das vorliegende Projekt war dieses Fangsystem ungeeignet, weil die Erfassung häufiger Arthropodenfamilien gewährleistet werden sollte, bei gleichzeitig guter Handhabung des Fangsystems.

Zur Erhebung der Individuendichte am Stamm gibt es weitere geschlossene Fangsysteme, wie den Stammeklektor für stehende Bäume nach BEHRE (1989). Hierbei ist zu beachten, dass die Anbringung am Stamm einem Höhengradienten folgen sollte. Der arboreale Photoelektor (APE) nach FUNKE (1971) hätte ebenfalls als Ergänzung genutzt werden können, um die Arthropoden zu erfassen, die am Boden, in der Kraut- oder Strauchschicht schlüpfen und sich anschließend in Richtung des Baumstammes bzw. der Baumkrone

bewegen. Diese und weitere Fangsysteme am Stamm erfassen aktive Arthropoden, die u. a. auch Teil der Kronenfauna sind (MOEED & MEADS 1983). Gemeinsam mit den verschiedenen Modellen an Asteklektoren (KOPONEN et al. 1997, BEHRE 1989) sind diese Fangsysteme mit großem Aufwand zu installieren und zu bedienen.

Literatur: ADIS, J. (1979): Problems of Interpreting Arthropod Sampling with Pitfall Traps. *Zoologischer Anzeiger* 202 (3): 177–184. • ALTMÜLLER, R. (1976a): Ökoenergetische Untersuchungen an Dipiterenpopulationen im Buchenwald. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* (6): 133–138. • ALTMÜLLER, R. (1976b): Zum Energieumsatz von Dipterenpopulationen im Buchenwald (Luzulo-Fagetum). Dissertation, Göttingen (DE). Georg-August-Universität. • ALTMÜLLER, R. (1979): Untersuchungen über den Energieumsatz von Dipterenpopulationen im Buchenwald (Luzulo-Fagetum). *Pedobiologia* 19: 245–278. • BÄHRMANN, R. (1976): Vergleichende Untersuchungen der Ergebnisse verschiedener Fangverfahren an brachyceren Dipteren aus dem Naturgebiet „Leutratl“ bei Jena (Thür.). *Entomologische Abhandlungen Staatliches Museum für Tierkunde in Dresden* 41 (2): 19–47. • BÄHRMANN, R. (2011): Bestimmung wirbelloser Tiere. 6. Auflage Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg (DE). 396S. • BĂNCILĂ, R. i.; PLĂIAȘU, R. (2009): Sampling Efficiency of pitfall traps and winkler extractor for inventory of the Harvestman (Arachnida: Opiliones). *Travaux de l'Institut de spéologie Emile Racovitza* 48: 59–67. • BARBER, H. S. (1931): Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 46 (2): 259–266. • BEHRE, G. F. (1989): Freilandökologische Methoden zur Erfassung der Entomofauna (Weiter- und Neuentwicklung von Geräten). *Jahresberichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Wuppertal e.V* 42. • CASTALANELLI, M. A.; SEVERTSON, D. L.; CRUMLEY, C. J.; SZITO, A.; FOOTTIT, R. G.; MUNYARD, K.; GROTH, D. M. (2010): A rapid non-destructive DNA extraction method for insects and other arthropods. *Journal of Asia Pacific Entomology* 13 (3): 243–248. • DENNIS, D. S.; LAVIGNE, R. J. (2007): Hymenoptera as prey of robber flies (Diptera: Asilidae) with new prey records. *Journal of the Entomological Research Society* 9: 23–42. • DENNIS, D. S.; LAVIGNE, R. J.; DENNIS, J. G. (2009): Lepidoptera as prey of robber flies (Diptera: Asilidae) with unpublished records. *Journal of the Entomological Research Society* 11: 71–84. • DEWAARD, J. R.; IVANOVA, M. H.; PAUL, D. N. H. (2008): Assembling DNA Barcodes. *Analytic Protocols*. In: C. Christofre Martin (Hg.): *Environmental Genomics*. Totowa (USA): Humana Press (Methods in Molecular Biology, 410). • ECKSTEIN, K. (1915): Die Schmetterlinge Deutschlands. Mit besonderer Berücksichtigung ihrer Biologie. K.G Lutz' Verlag. Stuttgart (DE) (Schriften des Deutschen Lehrervereins für Naturkunde, 32). • EICHHORN, O. (1977): Autökologische Untersuchungen an Populationen der gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae). II. Zur Kenntnis der Larvenparasiten und ihrer Synchronisation mit dem Wirt. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 83 (1-4): 15–36. • EICHHORN, O. (1980): Autökologische Untersuchungen an Populationen der gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym.: Diprionidae). V. Untersuchungen über die larvenparasitischen Tachinen, insbesondere *Drino gilva* Htg., *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 89: 455–470. • EICHHORN, O. (1981): Autökologische Untersuchungen an Populationen der Gemeinen Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* (L.) (Hym., Diprionidae). VI. zur Kenntnis der Kokonparasiten und Exenterus-Arten. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 92: 252–285. • ELLENBERG, H.; DIERSCHKE, H. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht; 203 Tabellen. Unter Mitarbeit von Christoph Leuschner. 6., vollständig neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart (UTB Botanik, Ökologie, Agrar- und Forstwissenschaften, Geographie, 8104). 1333 S. • ELLENBERG, H.; MAYER, R.; SCHAUERMANN, J. (1986): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Solling-Projekts. Ulmer. Stuttgart (DE). 507 S. • ENGELMANN, H.-D. (1978): Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. *Pedobiologia* 18: 378–380. • FAHRINGER, J. (1941): Zur Kenntnis der Parasiten der Nonne (*Lymantria monacha* L.). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 28 (2/3): 335–358. • FAHRMEIR, L.; KNEIB, T.; LANG, S. (2009): Regression. Springer. Berlin, Heidelberg. 517S. • FUNKE, W. (1971): Food and Energy Turnover of Leaf-eating Insects and their Influence on Primary Production. In: ELLENBERG, H. (Hrsg.): *Integrated Experimental Ecology*. Berlin (DE), Heidelberg (DE): Springer (Ecological Studies, 2): 81–93. • FUNKE, W.; JANS, W.; PFEIFER, M.; RAU, U.; UHL, K. (1994): Auswirkungen von ausgewählten Pflanzenschutzmitteln auf die Zoozönose eines Waldbodens. Abschlussbericht. Hansa-Print Service. München (DE). • GÄBLER, H. (1952): Die Raupenfliegen. Die Neue Brehm-Bücherei, Heft 53. Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig K.-G., Leipzig. • GEIGER, M. F.; MORINIERE, J.; HAUSMANN, A.; HASZPRUNAR, G.; WÄGELE, W.; HEBERT, P. D. N.; RULIK, B. (2016): Testing the Global Malaise Trap Program - How well does the current barcode reference library identify flying insects in Germany? *Biodiversity data journal* 4: e10671. • GHAHARI, H.; HAYAT, R.; LAVIGNE, R. J.; OSTOVAN, H. (2014): An annotated checklist of Iranian Asilidae. *Linzer biologische Beiträge* 46 (2): 1379–1446. • GOSSNER M. 2008: Heteroptera (Insecta: Hemiptera) communities in tree crowns of beech, oak and spruce in managed forests: Diversity, seasonality, guild structure, and tree specificity. In FLOREN A. & SCHMIDL J. (eds): *Canopy Arthropod Research in Central Europe - Basic and Applied Studies from the High Frontier*. Bioform Entomology, Nuernberg: 119-143. • GRIMM, R.; FUNKE, W.; SCHAUERMANN, J. (1974): Minimalprogramm zur Ökosystemanalyse. Untersuchungen an Tierpopulationen in Wald - Ökosystemen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* (4): 77–87. • HAYAT, R.; GHAHARI, H.; LAVIGNE, R. J.; OSTOVAN, H. (2008): Iranian Asilidae (Insecta: Diptera). *Turkish Journal of Zoology* 32: 175–195. • HEBERT, P. D. N.; CYWINSKA, A.; BALL, S. L.; DEWAARD, J. R. (2003): Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences* 270 (1512): 313–321. • HEBERT, P. D. N.; PENTON, E. H.; BURNS, J. M.; JANZEN, D. H.; HALLWACHS, W. (2004): Ten species in one. DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astrartes fulgerator*. *PNAS* 101 (41): 14812–14817. • HERNÁNDEZ-TRIANA, L. M.; PROSSER, S. W.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, M. A.; CHAVERRI, L. G.; HEBERT, P. D. N.; GREGO-RY, T. R. (2014): Recovery of DNA barcodes from blackfly museum specimens (Diptera: Simuliidae) using primer sets that target a variety of sequence lengths. *Molecular Ecology Resources* 14 (3): 508–518. • HERTING, B. (1960): Biologie der westpalaarktischen Raupenfliegen, Dipt. Tachinidae. Paul Parey. Hamburg (D); Berlin (DE) (Monographien zur angewandten Entomologie, 16). 188S. • HERZ, A.; HEITLAND, W. (1999): Larval parasitism of a forest pest, the common pine sawfly *Diprion pini* (L.) (Hym., Diprionidae), during an endemic density phase. *Journal of Applied Entomology* 123 (3): 129–137. • HOLLOWAY, G. J.; DICKSON, J. D.; HARRIS, P. W.; SMITH, J. (2003): Dynamics and foraging behaviour of adult hornet robberflies, *Asilus crabroniformis*. Implications for conservation management. *Journal of Insect Conservation* 7: 127–135. • HÖVEMEYER, K. (1984): Die Dipterengemeinschaft eines Buchenwaldes auf Kalkstein. Produktion an Imagines, Abundanzen und räumliche Verteilung insbesondere der Larven. *Pedobiologia* 26: 1–15. • HURLBERT, S. H. (1984): Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments. *Ecological Monographs* 54 (2): 187–211. • IZUMITSU, K.; HATOH, K.; SUMITA, T.; KITADE, Y.; MORITA, A.; TANAKA, C. et al. (2012): Rapid and simple preparation of mush-room DNA directly from colonies and fruiting bodies for PCR. *Mycoscience* 53 (5): 396–401. • JÄKEL, P.A., BRÄSICKE, N., RATSCHKER, U.M. & ROTH M. (2004): Conversion of pure pine stands into close-to-nature mixed deciduous forests: Effects on arthropod pest antagonists. – In: FÜRST, C., A.W. BITTER, D.-R. EISENHAEUER, F. MAKESCHIN, H. RÖHLE, A. ROLOFF, S. WAGNER (eds.): *Sustainable Methods and Ecological Processes of a Conversion of Pure Norway Spruce and Scots Pine Stands into Ecologically Adapted Mixed Stands*, Contributions to Forest Sciences: 203 - 212. • JUNKER, E. (2005): Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen auf die Raubarthropodenzönose im Bergmischwald. Dissertation. Technische Universität Dresden, Tharandt (DE), 259 S. & XV S. Anhang. • KIM, S. Y.; PARK, S. H.; PIAO, H.; CHUNG, U.; KO, K. S.; HWANG, J.-J. (2013): Vouchering of Forensically Important Fly Specimens by Nondestructive DNA Extraction. *ISRN Entomology* 2013 (4): 1–5. • KOLBE, W. (1981): Die Arthropoden-Fauna im Staatswald Burgholz in Solingen, ermittelt mit Boden- und Baum-Photoektoren (Minimalprogramm zur Ökosystemanalyse). Ein Jahresbericht. *Decheniana* 134: 87–90. • KOPONEN, S.; RINNE, V.; CLAYHILLS, T. (1997): Arthropods on oak branches in SW Finland, collected by a new trap type. *Entomologica Fennica* 8: 177–183. • LANG, A. (2000): The pitfalls of pitfalls. A comparison of pitfall trap catches and absolute density estimates of epigeal invertebrate predators in arable land. *Anzeiger für Schädlingkunde/ Journal of Pest Science* 73 (4): 99–106. • MALAISE, R. (1937): a new insect-trap.

Entomologisk Tidskrift 58: 148–160. • MIZUSHINA, Y.; MIYAZAKI, S.; OHTA, K.; HIROTA, M.; SAKAGUCHI, K. (2000): Novel anti-inflammatory compounds from *Myrsine seguinii*, terpeno-benzoic acids, are inhibitors of mammalian DNA polymerases. *Biochimica et Biophysica Acta* 1475 (1): 1–4. • MOEED, A.; MEADS, M. J. (1983): Invertebrate fauna of four tree species in Orongorongo valley, New Zealand, as revealed by trunk traps. *New Zealand Journal of Ecology* 6: 39–53. • MÜH-LENBERG, M. (1993): Freilandökologie. 3. überarbeitete Auflage. Quelle & Meyer. Heidelberg (DE) (Uni Taschenbücher, 595). 512S. • O'HARA, J. E. (2013): History of tachinid classification (Diptera, Tachinidae). *ZooKeys* (316): 1–34. • OOSTERBROEK, P. (2006): The European Families of Diptera. Identification, diagnosis, biology. KNNV. Zeist (NL). 209S. • PAPE, T. (1987): The Sarcophagidae (Diptera) of Fennoscandia and Denmark. E.J. Brill; Scandinavian Press. Leiden (NL) (Fauna Entomologica Scandivavia, 19). 105S. • PARR, C. L.; CHOWN, S. L. (2001): Inventory and bioindicator sampling. Testing pitfall and Winkler methods with ants in a South African savanna. *Journal of Insect Conservation* 5 (1): 27–36. • POHJOISMÄKI, J. L. O.; KAHANPÄÄ, J.; MUTANEN, M. (2016): DNA Barcodes for the Northern European Tachinid Flies (Diptera: Tachinidae). *PloS one* 11 (11): e0164933. • POKLUDA, P.; CIZEK, L.; STRIBRNA, E.; DRAG, L.; LUKES, J.; NOVOTNY, V. (2014): A goodbye letter to alcohol: An alternative method for field preservation of arthropod specimens and DNA suitable for mass collecting methods. *European Journal of Entomology* 111 (2): 175–179. • PUL-LEN, A. J.; JEPSON, P. C.; SORTherton (1992): Terrestrial Non-Target Invertebrates and the Autuum Application of Synthetic Pyrethroids. *Experimantal Methodology and the Trade-off Between Replication and Plot Size. Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 23: 146–258. • RATSCHKER, U. M. (2001): Die Zönose der Spinnen und Weberknechte in der Agrarlandschaft des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin. Dissertation. Technische Universität Dresden, Tharandt (DE). 218S. • RICHARD, J.; THACKER, M.; JEPSON, P. C. (1993): Pesticide Risk Assessment and Non-Target Invertebrates. Integrating Population Depletion, Population Recovery, and Experimental Design. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 51: 523–532. • SCHAUERMANN, J. (1976): Zur Abundanz- und Biomassedynamik der Tiere in Buchenwäldern des Solling. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* (6): 113–124. • SCHLUMPRECHT, H. (1999): Handbuch landschaftsökologischer Leistungen, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Selbstverlag der VUBD - Vereinigung umweltwissenschaftlicher Berufsverbände Deutschlands e.V. (Hrsg.), Nürnberg, 259 S. • SCHMID, J. M. (1969): *Laphira gilva* (Diptera: Asilidae), a Predator of *Dendroctonus ponderosae* in the Black Hills of South Dakota. *Annals of the Entomological Society of America* 62 (6): 1237–1241. • SCHMITT, G. (2004): Die Parasitoidengemeinschaft (Hymenoptera) in einer Agrarlandschaft. Effekte von Nutzungstypen und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf strukturelle Parameter. Dissertation, Technische Universität Dresden, Tharandt (DE), 200 S. + Anhang. • SCHULZ, U.; DREGER, F.; MAJUNKE, C. (2004): Arthropoden in Kiefernforsten und jungen Umbauflächen. Bedeutung für Biodiversität, Naturschutz und Forstschutz, formuliert in acht Thesen. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 38 (2): 87–94. • SCHWENKE, W. (1964): Grundzüge der Populationsdynamik und Bekämpfung der gemeinen Kiefernbuschhorn-Blattwespe, *Diprion pini* L. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 54: 1–4. • SCHWENKE, W. (1982): Die Forstschädlinge Europas. 4. Band: Hautflügler und Zweiflügler. Paul Paray. Hamburg und Berlin. • SCHWENKE, W. (2011): Heimliche Helfer. Schlupfwespen und Schlupfliegen. Books on Demand. Nordstedt. 155 S. • SEIBOLD, S., GOSSNER, M.M., SIMONS, N.K., BLÜTHGEN, N., MÜLLER, J., AMBARLI, D., AMMER, C., BAUHUS, J., FISCHER, M., HABEL, J.C., LINSENMAIR, K.E., NAUSS, T., PENONE, C., PRATI, D., SCHALL, P., SCHULZE, E.-D., VOGT, J., WÖLLAUER, S. UND WEISSER, W.W. (2019): Arthropod decline in grasslands and forests is associated with drivers at landscape level. *Nature*, 30.10.2019 • SHINOZAKI 1963: Note on the species area curve. *Proc. of the 10th Ann. Meet. Ecol. Soc.* 5. • SHTAKEL'BERG, A. A. (1989): Key to Families. In: G. Ya. Bei Bienko (Hg.): *Diptera and Siphonaptera*. V.1. Leiden (NL): E.J. Brill (Keys to the Insects of the European Part of the USSR, 5): 40–67. • STARÝ, B. (1990): Atlas der nützlichen Forstinsekten. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart (DE). 119 S. • STEIN, F.; BRÄSICKE, N. (im Druck): Der Einfluss von Insektiziden und Fraßereignissen bedeutender Forstschadinsekten in Kiefernwäldern auf die Fliegengemeinschaft (Diptera; Brachycera). In: DGaaE (Hg.): *Vorträge der Entomologentagung*. DGaaE. Halle an der Saale (D), 11.3. - 14.3.2019 (Mitteilungen der DGaaE). • STUBBS, A. E.; DRAKE, M. (2001): British soldierflies and their allies. *British Entomological and Natural History Society*. Reading. 512S. • TERESHKIN, A. M. (2015 (1988)): Паразиты-энтомофаги шелкопряда-монашенки (*Lymantria monacha* L.) в Белоруссии (в период вспышки массового размножения 1976-1984 гг.). *Entomophagous parasites of nun moth (*Lymantria monacha* L.) in Byelo-russia (in the period of outbreak of mass reproduction in 1976-1984)*. Tereshkin, A. M. Minsk-Nowosibirsk (RUS). 177 S. • THIEDE, U. (1977): Untersuchungen über die Arthropodenfauna in Fichtenforsten (Populationsökologie, Energieumsatz). *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere* 104: 137–202. • TSCHORSNIG, H.-P.; HERTING, B. (1994): Die Raupenfliegen (Diptera; Tachinidae) Mitteleuropas. Bestimmungstabellen und Angaben zur Verbreitung und Ökologie der einzelnen Arten. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie A (Biologie)* 506: 1–170. • ULRICH, W. (2001): Hymenopteren in einem Kalkbuchenwald. Eine Modellgruppe zur Untersuchung von Tiergemeinschaften und ökologischen Raum-Zeit-Mustern. Nikolaus Kopernikus Universität, Torún (PL). • VAN ACHTERBERG, K. (2009): Can Townes type Malaise traps be improved? Some recent developments. *Entomologische Berichte* 69 (4): 129–135. • VEN, F.; DE BRUYN, L. (1991): Trapping Efficiency in Monitoring Lesser Dungflies (Diptera, Sphaeroceridae). In: L. Zombori und L. • WOLFF, D.; GEBEL, M.; GELLERGRIMM, F. (2018): Die Raubfliegen Deutschlands. Entdecken - Beobachten - Bestimmen. Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co. Wiebelsheim (DE). 339 S. • ZIESCHE, T. & M. ROTH (2004): Strukturparameter der epigäischen Laufkäfer- und Spinnenfauna in Wirtschaftswäldern: Einfluss der Baumarten und des Bestandesalters auf die Lebensraumfunktion. – *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Entomol.* 14: 319-322. • ZOOLOGISCHE STAATSSAMMLUNG MÜNCHEN (Juni 2020): <http://barcoding-zsm.de/malaisefallenaufbau>.

BEGLEITENDE UNTERSUCHUNGEN ZUR ÖKOTOXIKOLOGIE VON INSEKTIZIDEN

A. Bioverfügbarkeit von Rückständen angewandter Insektizide in Umweltkompartimenten durch Methoden der ökologischen Chemie

Begleitend zur luftgestützten Applikation (Hubschrauber) von Insektiziden in Kiefernwäldern wurden umweltchemische Untersuchungen durchgeführt (vgl. Abs. A. Untersuchungsgebiet Obf. Herzberg). Bestimmt wurden u. a. Wirkstoffkonzentrationen in Pflanzenteilen sowie in Ziel- und Nichtzielorganismen. Ausgewählt wurden ein im Forst zugelassenes Kontaktinsektizid (KARATE FORST *flüssig*) bzw. ein zu prüfendes Pflanzenschutzmittel (Häutungsbeschleuniger – MIMIC). Die Ergebnisse sollen einer verbesserten Bewertung des ökotoxikologischen Gefährdungspotenzials bei Insektizideinsätzen in Wäldern dienen.

Ziel der ökochemischen Arbeiten war die Erfassung des Verbleibs des PSM MIMIC (aktive Substanz Tebufenozid, Aufwandmenge: 750 ml/ha) im Vergleich zum zugelassenen PSM KARATE FORST fl. (Wirkstoff lambda-Cyhalothrin, Aufwandmenge: 75 ml/ha) am Boden über Passivsammler, Kiefernadeln sowie in Nichtziel- und Zielorganismen (Schadinsekt). Hierfür wurde ein amtlicher Prüfversuch zur Wirksamkeit des Präparates MIMIC in das Versuchsdesign implementiert, dass in Kooperation mit dem Landesforst Brandenburg (LFE) abgestimmt und durchgeführt wurde. Die Versuchsflächen im UG Herzberg wurden Anfang Juni

2016 beprobt. Eine weitere Gefährdungssituation durch Kieferngrößschädlinge ergab sich in 2018 in einem anderen Gradationsgebiet.

1. Versuchsmethodik

Freilandmethode: Im Jahr 2016 wurden acht Untersuchungsflächen (UF) ausgewählt, in denen je eine Beprobungsfläche von 60 m x 80 m zentral angelegt wurde. Auf insgesamt sechs Beprobungsflächen wurden jeweils 63 Passivsammler auf dem Waldboden im schachbrettartigen 10 m-Raster für das Präparat MIMIC und auf zwei Beprobungsflächen für das Präparat KARATE FORST *flüssig* eingerichtet. Die Passivsammler bestanden aus Filter/Aluminium-Disks mit einer Fläche von 0,01327 m², die sich in einer Petrischale als Aufstell- und Transportbehälter befanden.

Bei dem Versuch in 2016 kamen unterschiedliche Aufwandmengen (AWM) von Mimic mit der aktiven Substanz (a.S.) Tebufenozid (200 ml/ha, 400 ml/ha und 750 ml/ha) in 2-facher Replikation zur Anwendung. Zum Vergleich diente das PSM KARATE FORST *flüssig* mit der a.S. lambda Cyhalothrin (AWM von 75 ml/ha) in zweifacher Wiederholung. Die Probenahmen erfolgten a) zeitnah nach der Hubschrauberapplikation mittels Passivsammler, Kotfalltüchern und Baumfällungen, b) 13 Tage nach der Applikation [d n. A.] sowie c) 43 d n. A. nur durch Baumfällungen.

Im Jahr 2018 kam nur das Präparat KARATE FORST *flüssig* mit 75 ml/ha mit der maximalen und halben AWM zur Bekämpfung der Larven von *Lymantria monacha* (L.) und *Panolis flammea* (Denis & Schiffermüller) auf Kiefernflächen in der Obf. Dippmannsdorf (Landkreis Potsdam-Mittelmark) zur Anwendung. Die Probenahmen der Kiefernadeln erfolgten a) zeitnah nach der Hubschrauberapplikation und b) 16 d n. A. mittels Baumfällungen.

Halbfreilandmethode: In einem Halbfreilandversuch zur Abbaubarkeit von lambda Cyhalothrin auf Kiefernadeln (2018) wurden 36, 3-jährige Kiefern mit der zugelassenen AWM für KARATE FORST *flüssig* in einer Applikationsanlage (am JKI-Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz) behandelt. Ca. 1 h nach Applikation wurden die Kiefernpflanzen auf einer Freilandfläche einschließlich der 4 unbehandelten Bäume platziert. Jeweils an drei Kiefern wurden nach 0 h, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h bzw. im Anschluss nach 1 d, 2 d, 4 d bis 64 d in geometrischer Zeitfolge Nadelproben entnommen. Die Berechnung des Abbauprozesses erfolgte nach SANCO (2006) über die „Disappearance Time“ ausgedrückt als DT50-Wert. Sie ist ein quantitatives Maß für den Abbau einer biologisch aktiven Substanz in der Umwelt um 50 %. Ein DT90-Wert entspricht einer Abnahme um 90 %.

Analytische Bestimmung: Für die Bestimmung der jeweiligen aktiven Substanz wurden verschiedene analytische Methoden unter Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Eigenschaften für die Matrices: Passivsammler (PS), Kiefernadeln (KN) sowie Nichtzielorganismen (NZO)/Zielorganismen (ZO) erarbeitet. Grundsätzlich erfolgte die Bearbeitung der Proben nach dem dargestellten Analysenschema (Abb. Tv1-A 1). Mit der Probenahme und der Häufigkeit der Beprobung beginnend, wurde bereits das Untersuchungsziel für die jeweilige Matrix definiert. Die Lagerung der Freilandproben erfolgte bis zu ihrer Aufarbeitung bei ≤ 18 °C. Anschließend wurden homogene Analysenproben gewonnen, die nach dem Zusatz von Surrogaten extrahiert wurden, um eine Aufkonzentrierung des Analyten zu erreichen. In einigen Fällen wurde eine Extraktreinigung über ChemElut-Säule nachgeschaltet. Nach der Zugabe des internen Standards für die interne Kalibrierung erfolgten je nach Analyt die LC-MS/MS- oder GC-MS/MS-Messungen mit den anschließenden Auswertungen der erhobenen Daten. Die rückstandsanalytische Bestimmung von Tebufenozid des definiert zugegebenen Surrogats Methoxyfenozid zur Kontrolle der Extraktion und des internen Standards Isoproturon D6 wurde mittels der Kopplung der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit der Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS-System: Dionex: UltiMate 3000- AB SCIEX: QTRAP 5500) durchgeführt. Die Nachweise von lambda Cyhalothrin, mit Bifenthrin als Surrogat sowie Tefluthrin als interner Standard wurden mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC-MS/MS-System: Thermo Electron Corporation: Trace GC Ultra - TSQ Quantum GC XLS") durchgeführt. Die Berechnung der Analysewerte erfolgte grundsätzlich unter Berücksichtigung des internen Standards über Kalibrierkurven. Die Methoden wurden durch Zusatzversuche und die Berechnung von Wiederfindungsraten und relativen Standardabweichungen sowie Variationskoeffizienten für die entsprechenden Zusatzniveaus und aller untersuchter Kompartimente validiert. Aus den Ergebnissen der Wiederfindungsuntersuchungen wurden die Bestimmungsgrenzen (LOQ) je a.S. und Matrix abgeleitet bzw. experimentell festgelegt (Tab. Tv1-A 1-1).

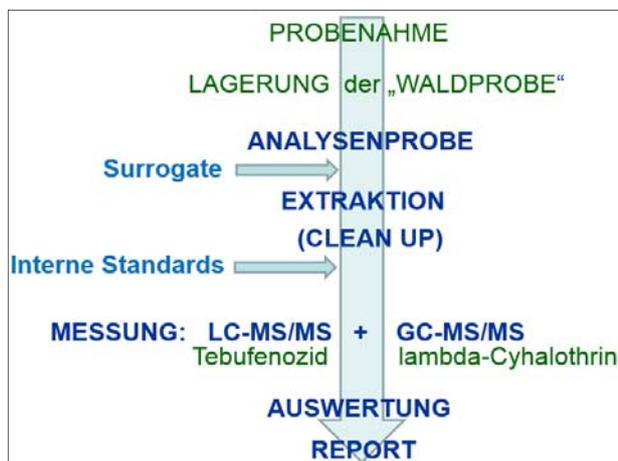


Abb. Tv1-A 1: Allgemeines Analyseschema zur Bestimmung der Wirkstoffkonzentration (lambda-Cyhalothrin, Tebufenozid) auf Passivsammler/Kiefernadeln bzw. in Nichtzielorganismen/Zielorganismen

Tab. Tv1-A 1-1: Ergebnisse der Wiederfindungsuntersuchungen mit der Anzahl (N), den Mittelwerten (Average) und ihrer Variation (VAR) sowie den daraus abgeleiteten LOQ Werten, unter Berücksichtigung der Aufwandmenge (AWM)

(PS-Passivsammler, KN-Kiefernadeln, NZO-Nichtzielorganismen, ZO-Zielorganismus/Schadinsekt)

			lambda-Cyhalothrin KARATE FORST flüssig, AWM=7,5 g/ha			Tebufenozid MIMIC, AWM=180 g/ha		
Matrix	Zusatz	N	Average [%]	VAR [%]	LOQ	Average [%]	VAR [%]	LOQ
PS	0,0010 µg/PS	3	147	5,2	0,010 µg/PS (7,5 mg/ha)	64	N=1	0,10 µg/PS (75 mg/ha)
	0,0050 µg/PS	3	83	7,7				
	0,010 µg/PS	3	134	23				
	0,10 µg/PS	3	113	6,6				
KN	0,50 µg/kg	3	115	2,2	0,50 µg/kg	111	12	100 µg/kg
	5,0 µg/kg	3	110	8,5				
	50 µg/kg	3	103	4,2				
	100 µg/kg	3						
	1000 µg/kg	3			108	3,7		
NZO/ZO	2,0 µg/kg	3	143	22	2,0 µg/kg	94	30	10 µg/kg
	10 µg/kg	6						
	20 µg/kg	3	73	2,7				
	100 µg/kg	5						
	200 µg/kg	3	76	9,0				

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE ERGEBNISSE

1. Wirkstoffgehalte der Passivsammler (PS) zur Abschätzung der Interzeption und der a.S.-Gehalte im Waldboden

Insgesamt wurden 504 Proben analytisch bearbeitet. Die Interzeptionswerte wurden flächenbezogen berechnet. Hinsichtlich der Applikationstechnik (Luftfahrzeug) konnte eine strenge Korrelation (Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,97$) zwischen dem Wirkstoffgehalt auf Passivsammlern und den unterschiedlichen Aufwandmengen für das Präparat MIMIC abgeleitet werden. Diese Ergebnisse befürworten eine Applikation mit Luftfahrzeugen im Kronenraum der Wälder, weil eine exakte Ausbringung von Insektiziden bestätigt werden konnte.

Über die PEC-Formel zur Kalkulation der anfänglichen max. „Predicted Environmental Concentration“ ($PEC_{initial\ soil, max.}$) war es möglich, die Wirkstoffgehalte in den Kompartimenten Streuschicht und Waldboden aus den gemessenen Analysenwerten unter Vernachlässigung der Interzeption und ohne Zeitgewichtung zu berechnen, mit folgenden Resultaten:

a) Tebufenozid, Präparat MIMIC:

- für den Boden (bei Verteilungstiefe: 10 cm, Dichte: 1,4 g/cm³) konnte ein Wirkstoffgehalt von 0,041 mg/kg bzw. von max. 0,14 mg/kg für die darüber liegende 5 cm mächtige Streuschicht (Dichte: 0,80 g/cm³) errechnet werden (die Werte werden als „Worst-Case“ mit der zugelassenen Anwendungsmenge angenommen),

- die Wirkstoffgehalte von Tebufenozid zeigen in der Streuschicht und im Waldboden keine Regenwurmtoxizität für MIMIC (>1000 mg/kg).
- b) lambda-Cyhalothrin, Präparat KARATE FORST flüssig:
 - für den Boden wurde ein Wirkstoffgehalt von 0,0022 mg/kg und für die Streuschicht von 0,0078 mg/kg unter den o.g. Bedingungen berechnet,
 - die Wirkstoffgehalte von lambda-Cyhalothrin zeigen in der Streuschicht und im Waldboden keine Regenwurmtoxizität für KARATE FORST flüssig (> 500 mg/kg).

2. Wirkstoffgehalte auf den Kiefernadeln (KN)

Die Oberflächengehalte lassen Aussagen zur Wirkdauer (Persistenz) und zum Abbauverhalten der Wirkstoffe zu. Mit dem Datenpool des Wirkstoffes Tebufenozid (MIMIC) war ein persistentes Verhalten ablesbar, wurde aber aufgrund der geringen Wirksamkeit nicht weiterverfolgt. Die Wirkdauer oder Beständigkeit (Persistenz) von lambda-Cyhalothrin wurde im Teilvorhaben als weiterer Forschungsbedarf definiert. Hintergrund war, dass Insektizide (je nach chemischer Zusammensetzung) eine große Stabilität aufweisen und unverändert durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse über lange Zeiträume in der Umwelt erhalten bleiben können. Einerseits ist die Beständigkeit für die Wirksamkeit erwünscht, andererseits jedoch ökologisch unerwünscht, weil u. a. eine Aufnahme durch Organismen zu erheblichen Schädigungen führen kann. Eine hohe Persistenz bzw. ein hohes Schadpotenzial sind zum Beispiel für viele organische Chlorverbindungen bekannt, etwa DDT.

Die ermittelten Oberflächengehalte von lambda-Cyhalothrin und Tebufenozid auf Kiefernadeln lassen Aussagen zur Wirkdauer (Persistenz) nach der PSM-Anwendung und zum Abbauverhalten der a.S zu (Tab. Tv1-A 1- 2). Auf den in 2016 behandelten Waldflächen mit dem Präparat MIMIC (höchste AWM) wurden 13 d n. A. und 43 d n. A. Probenahmen mittels Baumfällungen durchgeführt. Mit 0,85 mg/kg bis 1,2 mg/kg 43 d n.A. ist zu erkennen, dass die a.S. auf den Kiefernadeln persistent ist. Die Freilanduntersuchung zur Erfassung der Oberflächengehalte der a.S. lambda Cyhalothrin auf Kiefernadeln, unter Anwendung der halben bzw. max. Aufwandmenge (AWM), sowie zur Abbaukinetik des Wirkstoffs auf Nadeln dreijähriger Kiefern im Halbfreiland dienten als Datengrundlage. Die Berechnung des Abbauprozesses erfolgte nach SANCO/10058/2005, version 2.0, June 2006 (The Final Report of the Work Group on Degradation Kinetics of FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their USE, 2005), (STÄHLER et al. 2018, SANCO 2006).

Tab. Tv1-A 1-2: Oberflächengehalte auf KN von lambda Cyhalothrin und Tebufenozid unter Anwendung unterschiedlicher AWM im Vergleich zum Halbfreilandversuch mit lambda Cyhalothrin

(die Probenahmen fanden zu unterschiedlichen Tagen nach der Applikation [d n.A.] der PSM statt)

Jahr	AWM [g/ha]	Probenahme [d n.A.]	lambda-Cyhalothrin-Gehalte [mg/kg] (Freiland)	Tebufenozid-Gehalte [mg/kg] (Freiland)	lambda-Cyhalothrin-Gehalte [mg/kg] (Halbfreiland)
2016	7,5	1	0,015 bis 0,017		
	48,0	1		1,0 bis 1,1	
	180,0	13		1,0 bis 1,2	
	180,0	43		0,85 bis 1,2	
2018	3,7	0,2	0,16 bis 0,36		
	3,7	2	0,12 bis 0,14		
	3,7	16	0,048 bis 0,070		
2018	7,5	0,2	0,14 bis 0,17		1,5
	7,5	2	0,36 bis 0,46		0,32
	7,5	16	0,058 bis 0,075		0,039

Die Ergebnisse (Tab. Tv1-A 1-2) lassen auf einen schnellen Abbau des Insektizids schließen. Im Vergleich zum Freilandversuch (drei Probenahmezeitpunkte) wurde der Abbau der a.S. im Halbfreilandversuch über eine vollständige Abbaureihe von 0 d bis 64 d n.A. verfolgt. Die berechneten DT50-Werte bestätigten mit 0,5 d ($R^2=0,75$, Modell: First-Order Multi-Compartment (FOMC)) nach dem First-Order Multi-Compartment-Modell (FOMC) und 1,0 d ($R^2=0,71$, Modell: Simple First-Order (SFO) - SANCO 2006, HEINZ 2019) eine sehr leichte Abbaubarkeit des Wirkstoffs lambda-Cyhalothrin auf Kiefernadeln (Abb. Tv1-A 2).

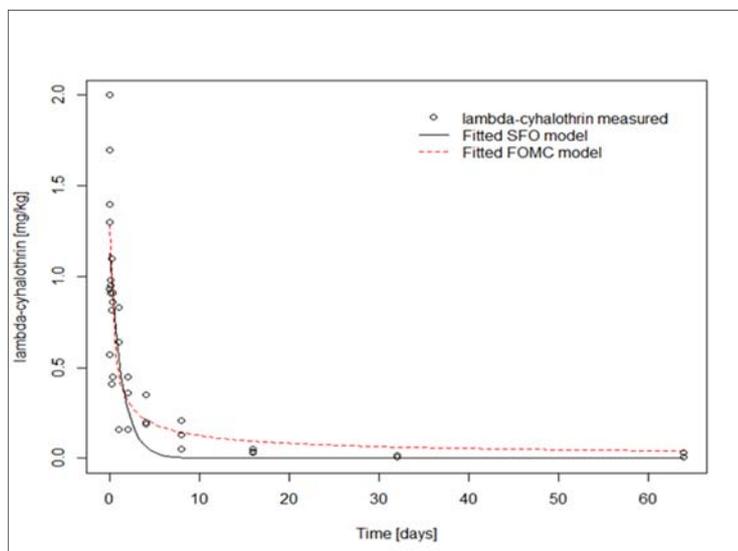


Abb. Tv1-A 2: Darstellung der Kurvenverläufe für die Degradationsmodelle SFO und FOMC des Pyrethroids auf Kiefernadeln

Nadelproben, die unmittelbar nach der PSM-Anwendung gezogen wurden, spiegeln nicht immer einen einheitlichen Initialbelag wieder. Diese Unterschiede könnten auf die Probenahme zurückzuführen sein. Im weiteren zeitlichen Verlauf der Beprobung (2 d n.A. oder 16 d n.A.) sind keine Unterschiede erkennbar. Die Oberflächengehalte auf den Kiefernadeln [mg/kg] verringerten sich in den behandelten Kiefernbeständen bereits nach wenigen Tagen. Im Halfreilandversuch war ein schneller Abbau des Wirkstoffes nachzuweisen. Ein Zusammenhang zwischen halber und max. AWM konnte aus den Initialgehalten nicht abgelesen werden. Im weiteren zeitlichen Verlauf der Beprobung (2 d n.A. oder 16 d n.A.) sind Differenzen in den geringen Gehalten der a.S. auf den Kiefernadeln nicht mehr erkennbar. Die Ergebnisse zeigen, dass lambda-Cyhalothrin in der Umwelt nicht persistent ist, d.h. nur über einen sehr kurzen Zeitraum in Waldbeständen verbleibt. In der Konsequenz ist eine differenzierte Abwägung des Umweltrisikos auf Grundlage von Wirkungsweise und Wirkdauer sinnvoll (MÖLLER 2015).

3. Wirkstoffgehalte in Nichtzielorganismen (NZO) und Zielorganismen/Schadinsekt (ZO)

Auf den behandelten Untersuchungsflächen mit MIMIC, wurden nach Baumfällung (13 Tage nach Anwendung (n. A.) und 43 Tage n. A.) noch vorrangig mobile Larven im L1 bis L3 Stadium sowie erste adulte Blattwespen in den Kiefernkronen beobachtet und beprobt. Die Wirkstoffgehalte in den Nichtzielorganismen und Afterraupen des Schädling sind mit den IUPAC-Daten (International Union of Pure and Applied Chemistry) und den BVL-Auflagen vergleichend aufgeführt (Tab. Tv1-A 1-3). Auf Grund der geringen Einwaagen der gesammelten Proben bei den Nichtzielorganismen, wurde eine repräsentative Mischprobe aus u. a. Käfern und Webspinnen bevorzugt, um die Nachweisempfindlichkeit für die Analytik zu erhöhen. Eine Umrechnung auf die Organismenzahl [$\mu\text{g}/\text{Organismus}$] wurde wegen der Gewichtsunterschiede z. B. zwischen Webspinnen und Käfern nicht vorgenommen. Die Wirkstoffgehalte nehmen zwischen dem 13 d n.A. und dem 43 d n.A. in den NZO und ZO tendenziell ab. Ob sich die Tebufenozid-Gehalte in den Larven des Schädling auf deren weitere Entwicklung auswirkten, kann aus diesen Analysenergebnissen nicht abgeleitet werden.

Tab. Tv1-A 1-3: Vergleich der in 2016 erhobenen Tebufenozid-Gehalte (PSM MIMIC) in NZO (u. a. Käfer, Webspinnen) und in ZO (Afterraupen, Imagines von *Diprion pini* L.) aus Probenahmen mit der höchsten AWM im Vergleich mit den Ökotoxizitätsdaten aus Pestizide Properties Database (IUPAC, 2018) und BVL-Auflagen (2018) für den Obstbau (MW-Mittelwert)

Untersuchte Kompartimente, AWM, Tage n.A., Probenahme	Gehalt
Nichtzielorganismus, 180 g/ha, 13 d n.A., n. Baumfällung, [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	560
Nichtzielorganismus, 180 g/ha, 43 d n.A., n. Baumfällung, MW, [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	16 bis 400
Kieferschädling, L1-L3, 180 g/ha, 13 d n.A., n. Baumfällung, MW, [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	470 bis 500
Kieferschädling, L1-L3, 180 g/ha, 43 d n.A., n. Baumfällung, MW, [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	410 bis 480
Vogel, akut, LD_{50} [mg/kg] (IUPAC)	> 2150
Regenwurm akut, 14 d, LC_{50} [mg/kg] (IUPAC)	> 1000
Collembola, NOEC [mg/kg] (IUPAC)	9 (<i>Folsomiac candida</i>)
Biene, Kontakt, akut, 48 d, LD_{50} [$\mu\text{g}/\text{bee}$] (IUPAC, BVL)	> 234, nicht bienengefährlich (B4)
Florfliege, Laufkäfer, Siebenpunkt-Marienkäfer, Brackwespe, Raubmilbe (BVL)	nichtschädigend für die genannten Populationen

Mit dem Kontaktinsektizid KARATE FORST *flüssig* wurden weitere Kiefernflächen behandelt, um vergleichbare Daten zu erheben. Diese Ergebnisse sind im Vergleich mit den BVL- und IUPAC Daten zusammengefasst dargestellt (Tab. Tv1-A 1-4). Es ist davon auszugehen, dass die in den Larven des ZO ermittelten Wirkstoffgehalte den letalen Konzentrationen an lambda-Cyhalothrin entsprechen, die durch Fraß oder Kontakt höchstens aufgenommen werden konnten. Aus den Untersuchungsergebnissen wird sichtbar, dass die Variabilität in den Daten sehr hoch ist, weil die Anzahl der Organismen innerhalb einer Wiederholung und die Gesamtzahl an Wiederholungen gering war. Bei den NZO ist zu beachten, dass die Zusammensetzung bezüglich der Insektengewichte in den einzelnen Analysenproben variieren.

Tab. Tv1-A 1-4: Vergleich der in 2016 erhobenen lambda-Cyhalothrin-Gehalte (PSM: Karate Forst *flüssig*) in NZO (u. a. Käfer, Webspinnen) und ZO (Afterraupen, Imagines *Diprion pini* L.) aus Probenahmen des Totenfalls mit der zugelassenen AWM) im Vergleich mit den Ökotoxizitätsdaten aus IUPAC (2018) und BVL-Auflagen (2018)

Untersuchte Kompartimente, AWM, Tage n.A., Probenahme	Gehalt
Nichtzielorganismus, 7.5 g/ha, 0.13 d n.A., Bodentuch, [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	0 bis 8,4
Nichtzielorganismus, 7.5 g/ha, 1 d n.A., Bodentuch, [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	0 bis 28
Zielorganismus L1-L3, 7.5 g/ha, 0.13 d n.A., Bodentuch, [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	0 bis 5,5
Zielorganismus L1-L3, 7.5 g/ha, 1 d n.A., Bodentuch, [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	0 bis 7,1
Vogel, akut, LD_{50} [mg/kg] (IUPAC)	> 3950
Regenwurm akut, 14 d, LC_{50} [mg/kg] (IUPAC)	> 500
Biene, Kontakt, akut, 48 d, LD_{50} [$\mu\text{g}/\text{bee}$] (IUPAC, BVL)	0,038, nicht bienengefährlich (B4)
Florfliege, Wolfspinnen, Siebenpunkt-Marienkäfer, Brackwespe, Schwebfliege (BVL)	schwachschädigend bis schädigend für die aufgeführten Populationen
Laufkäfer (Art <i>Poecilus cupreus</i>), (BVL)	nicht schädigend

Durch die Begleitung von Waldschutzmaßnahmen in 2018 gegen die Larven von *Lymantria monacha* und *Panolis flammea* konnten weitere „kleine Zeitreihen“ nach Baumfällungen durchgeführt werden. Hierbei kam KARATE FORST *flüssig* in existenziell gefährdeten Kiefernwäldern zum Einsatz. Bei der Anwendung der halben AWM von KARATE FORST *flüssig* zeigte sich, dass die Larven der Nonne empfindlicher reagierten und nach der Aufnahme von weniger als 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ abgestorben waren. Damit liegen die aufgenommenen Gehalte nach Fraß und Kontakt um den Faktor 5 bis 10 höher, als im Vergleich zu den in 2016 ermittelten a.S.-Gehalten bei *Diprion pini*. Unempfindlicher in der Toxizität waren die Larven der Forleule. Die Ergebnisse bestätigen, dass akute und langfristige Auswirkungen von lambda-Cyhalothrin auf NZO in Kiefernwäldern begrenzt sind und unterstützen damit vielfältige Untersuchungsergebnisse zur Wirkung auf NZO (REIKE & MÖLLER 2018, SEDLACZEK & MENGE 2019). Bereits LAENSCH et al. (2006) konnte zeigen, dass die Empfindlichkeit in der Toxizität für lambda-Cyhalothrin von Oligochaeten (Wenigborster) in Richtung Arthropoden um den Faktor 100-1000 zunimmt (Abb. Tv1-A 3). D. h. Arthropoden reagieren bereits bei 0,1 mg a.S./kg und sind damit empfindlicher, Regenwürmer reagieren bei 100 mg a.S./kg.

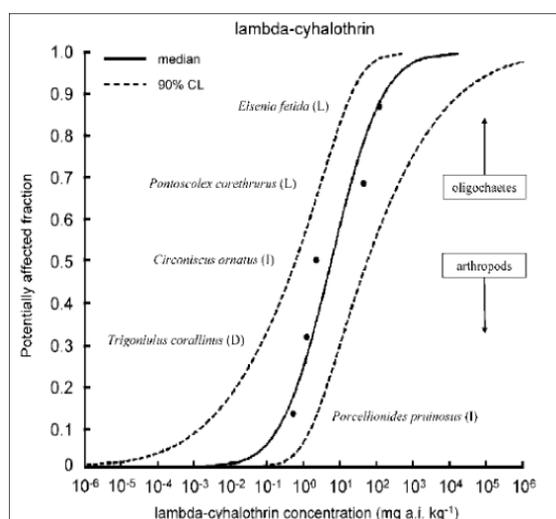


Abb. Tv1-A 3: Speziessensitivitätsverteilung (SSD) mit 90%igen Vertrauensgrenzen (CL) für lambda-Cyhalothrin nach LAENSCH et al. (2006)

Die Toxizitätsdaten für relevante Nicht-Zielorganismen in Wäldern (ermittelt aus Toxizitätstests im Labor oder Halbfreiland) fehlen, die für die Berechnung des PNEC (Predicted No Effect Concentration, bezeichnet die vorausgesagte Konzentration bis zu der sich keine Auswirkungen auf die Umwelt zeigen) erforderlich sind -

eine entsprechende Recherche wird weiterhin verstärkt durchgeführt, um die Wirkung der Pflanzenschutzmittel bereits im Labor abschätzen zu können. Eine ausführliche Darstellung der wissenschaftlichen Ergebnisse erfolgt in nationalen/internationalen Zeitschriften, die aktuell vorbereitet werden.

Literatur: BRÄSICKE, N.; MÖLLER, K.; STÄHLER, M. (2020): Die Einschätzung von Auswirkung von Pflanzenschutzmitteln in Kiefernwäldern durch ein ökochemisches Monitoring (Assessing the impact of pesticides in pine forests through ecochemical monitoring). In Vorbereitung.
 • BVL (2018): <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/DatenBlatt.jsp?kennr=005618-00>, Stand: 10.01.2018 • HEINZ, M. (2019): persönliche Mitteilungen. • IUPAC, PESTICIDE PROPERTIES DATABASE (2018): <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/415.htm>, Stand 10.01.2018.
 • LAENSCH et al. (2006): Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 25, No. 9, pp. 2480–2489, 2006. • MÖLLER, K. (2015): Nur ein toter Baum ist ein guter Baum – Das Ende der Multifunktionalität des Waldes? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 59: S. 70-78. • REIKE, H.-P.; MÖLLER, K. (2018): Neufunde und Seltenheiten in Brandenburgischen Kiefernforsten. Entomologische Nachrichten und Berichte 62, 2: 121-126. • SANCO/10058/2005, 2006: Guidance Document on Estimating Persistence and Degradation Kinetics from Environmental Fate Studies on Pesticides in EU Registration. The Final Report of the Work Group on Degradation Kinetics of FOCUS. • SANCO/825/00, 2010: GUIDANCE DOCUMENT ON RESIDUE ANALYTICAL METHODS. • SEDLACZEK, M.; MENGE, A. (2019): Sind Höhlenbrüter in Brandenburger Kiefernwäldern gefährdet? Naturmagazin, Ausgabe 3, Natur & Text, Rangsdorf. • STÄHLER, M, BRÄSICKE, N., MÖLLER, K. (2018): Zur Umweltwirkung von Pflanzenschutzmitteln in Wäldern. Julius-Kühn-Archiv, 461, 460-461.

B. Messung der direkten Abdrift und der Exposition am Waldboden bei der Ausbringung von Insektiziden mit Luftfahrzeugen

Bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen können durch Windbewegungen auch angrenzende Nicht-Zielflächen durch die Abdrift belastet werden. Diverse technische Ansätze wie eine spezielle Düsenteknik, können diesen unerwünschten Nebeneffekt reduzieren und helfen die Belastung von Umwelt und Naturhaushalt zu verringern. Über die Deposition können des Weiteren auf Zielflächen erhebliche Mengen an Pflanzenschutzmitteln auf und in den Boden eingetragen werden. Die Messung, Kenntnis und Minderung der Depositionsraten ist daher ein ebenfalls wichtiger Bestandteil des Umweltschutzes. Infolgedessen war die Messung der direkten Abdrift und der Deposition am Waldboden von Kiefernbeständen Ziel der Untersuchung.

Versuchsdurchführung:

Die Versuchsfläche bestand aus zwei Behandlungs- und einer Messfläche (Abb. Tv1-B 2-1). Die Messfläche befand sich in Windrichtung neben der Behandlungsfläche. Die Abdrift ist die ausgebrachte Wirkstoffmenge, die während des Applikationsvorganges über die zu behandelnde Fläche infolge von Luftbewegungen hinausgetragen wird. Um die Erfassung der Abdrift in ihrer Gänze zu gewährleisten, dürfen die Windrichtungsschwankungen während der Abdriftversuche nicht mehr als 30° von der Hauptwindrichtung abweichen. Die Windgeschwindigkeit muss sich zwischen 2 und 5 m/sec. bewegen. Die Fläche in der die Messträger (Petrischalen) ausgelegt werden, beträgt insgesamt 150 m in der Länge, diese setzen sich wie folgt zusammen: 100 m Länge für die Freifläche, wo die Abdrift ermittelt wird und 50 m im Bestand, die dem Nachweis des Bodensediments dienen, welches durch das Kronendach auf den Boden sedimentiert.

Für den Forst ergab sich eine Behandlungsfläche von 100 m Tiefe und 250 m Breite (2,5 ha). Die gesamte Behandlungsfläche wird mit einer Versuchsflüssigkeit behandelt. Diese Flüssigkeit besteht aus Wasser, dem ein Nachweisstoff (Brillant- Sulfoflavin/BSF oder Pyranin) zugegeben wird. Vor jeder Applikation wird eine Tankprobe genommen.

Es wurden 2 Versuchsvarianten geflogen, mit jeweils 10 Wiederholungen. Geflogen wird in Zeitintervallen, in denen die Wetterbedingungen (Windrichtung, Windgeschwindigkeit) der Richtlinie für Prüfung von Pflanzenschutzgeräten (7-1.5 Messung der direkten Abdrift beim Ausbringen von flüssigen Pflanzenschutzmitteln im Freiland) entsprechen. Die erste Variante entsprach „Randfern“ (RF), der mit einem unbehandelten Randstreifen (aerodynamische Arbeitsbreite ca. 25m) geflogen wird. Die zweite Variante „Randscharf“ (RS) wird direkt an der Waldgrenze geflogen.

Die Außenaufnahmen fanden im August/September der Jahre 2016, 2017 und 2019 im Revier Lindhorst, der Obf. Belzig statt. Auftragnehmer für die Applikation des fluoreszierenden Farbstoffes mit dem Hubschrauber (u. a. Model: Hughes 500) übernahm die Firma „DHD Heli-Service“. Die Umsetzung dieser aufwendigen Versuche erforderten neben dem technischen Equipment (mobile Wetterstation zur Aufzeichnung von Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Lufttemperatur) sowie Eklektoren/Passivsammler auch eine personelle Ausstattung (12 bis 14 Personen vom JKI) und eine enge Kooperation mit dem Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB). Die Obf. Belzig stellte zu den Applikationsversuchen die notwendige Infrastruktur bereit, die LFB-eigenen und zuvor mit dem JKI ausgewählten Kiefernbeständen mit angrenzender Freifläche und sorgte vor Versuchsbeginn in jedem Jahr für optimale Versuchsbedingungen auf den Versuchsflächen. Hierzu zählten umfangreiche Abstimmungen mit der, die landeseigenen landwirtschaftlichen Flächen bewirtschaftenden Agrargenossenschaft, weil der Erntezeitpunkt im Vorfeld der Versuche abgestimmt und ein geeigneter Bodenzustand nach der Ernte hergestellt werden musste. Des Weiteren wurde jeweils der nahegelegene

Feldflugplatz eingerichtet und mit Wasserwagen nebst Traktor bestückt. Als örtlicher Wirtschaftler und Ansprechpartner war der Revierleiter des Revieres Lindhorst bzw. der zuständige FWM vor Ort bzw. telefonisch erreichbar.



Abb. Tv1-B 2-1: Überblick des Versuchsareals bestehend aus Behandlungs- und Messfläche sowie Darstellung der Bestandesdaten der Behandlungs-/Versuchsflächen

Ergebnisauswertung:

Insgesamt wurden im September 2016 und im August 2017 - 39 Versuche zur Messung der Abdrift und des Bodensedimentes im Wald durchgeführt. Die Mehrzahl an Versuchen (n=37) bestätigte sich als valide. Nach Auswertung der Abdriftmessungen zeigte sich, dass die Größenordnung der ermittelten Werte mit den Ergebnissen eines anderen Versuchsanstellers (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt Göttingen, Abt. Waldschutz) unter Berücksichtigung der Unterschiede des Kronenschlussgrades vergleichbar ist. Diese Versuche erfolgten 2011 in Eichenbeständen mit ca. 40 validen Versuchen, unter Mitarbeit des Instituts für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz des Julius Kühn-Instituts. Auf Basis dieser Daten resultieren die bisherigen Abdriftewerte für den Anwendungsbereich Forst.

Die Bodensedimentmessungen in 2016 und 2017 zeigten eine größere Streuung der Daten, die wegen der Baumart Kiefer und des unterschiedlichen Kronenschlussgrades zu erwarten waren. Hier sind weitere Auswertungen notwendig, wie die Analyse der hemisphärischen Fotografie (Messung diffuser Bestandesstrahlung), unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Kronenschlussgrades.

Applikation mit unbehandeltem Randstreifen (Randfern): Bei der Versuchsvariante mit einem 25 m breiten, unbehandelten Pufferstreifen wurden nach der ersten Auswertung Abdriftwerte ermittelt, die bei allen Messentfernungen im Median 1% der ausgebrachten Aufwandmenge nicht überschreiten. Ab einer Entfernung von 20 m sinken die Abdriftwerte stetig ab. Bei 100 m beträgt der Medianwert nur noch ca. 0,05% der Aufwandmenge. Dabei ergaben sich weder Unterschiede in den Untersuchungsjahren 2016 und 2017, noch bei den eingesetzten Helikoptern, unterschiedlichen Typs (2016: Hughes 500, 2017: Eurocopter AS 350).

Das 90. Perzentil der Abdriftwerte, das für die Festlegung von Abdriftewerten für die Risikobewertung im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel herangezogen wird, liegt im Entfernungsbereich bis 20 m bei ca. 5 % der Aufwandmenge und sinkt dann stetig bis auf 0,2 % in einer Entfernung von 100 m.

Applikation bis Waldrand (Randscharf): In den Wiederholungen mit randscharfer Behandlung ergeben sich erwartungsgemäß wesentlich höhere Abdriftwerte. Hier erreichen die Medianwerte bis zu 28 % im Jahr 2016 und bis zu 13 % im Jahr 2017. Auch hinsichtlich der 90. Perzentile zeigten sich deutlich Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren (2016: 59%, 2017: 29%). Auf welche Ursachen diese Unterschiede zurückzuführen sind, bedarf noch weiterer Analysen. Die Versuchsergebnisse werden jedoch nicht für die Festlegung von Abdriftewerten verwendet. Vielmehr dienen sie zur Bestätigung der guten fachlichen Praxis und der Anwendungsbestimmungen der Pflanzenschutzmittel, die eine randferne Behandlung vorsehen.

Fazit: Die neu erhobenen Abdriftewerte werden im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel zukünftig herangezogen, um u. a. die Auswirkungen auf den Naturhaushalt bewerten zu können. In 2019 erfolgte die Kommunikation bzw. Diskussion mit den beteiligten Bewertungsbehörden im Zulassungsverfahren nach Pflanzenschutzgesetz. Eine entsprechende Vereinbarung konnte Anfang des Jahres 2020 finalisiert und die Abdriftewerte für den Anwendungsbereich Forst festgelegt werden. Eine Veröffentlichung im Bundesanzeiger wird aktuell von der Managementbehörde (BVL) vorbereitet. Des Weiteren ist die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse in nationalen/internationalen Zeitschriften in Bearbeitung.

Ausblick: Im Hinblick auf die Erarbeitung weiterer Risikominderungsmaßnahmen (für den Einsatz von Luftfahrzeugen in Wäldern) ist auch die Applikationstechnik unter Berücksichtigung technischer Neuerungen im Pflanzenschutz zu hinterfragen. Hier besteht die Möglichkeit neuartige abdriftmindernde Düsen zu testen, mit dem Ziel, eine 90 %-ige Abdriftminderung zu erreichen. Die aktuell eingesetzte Injektordüse AirMix 11005 erzielt bei einem Applikationsdruck von 2 bar nur eine 50 %-ige Abdriftminderung (bei Verwendung im Ackerbau) und stellt zurzeit den Standard bei der Hubschrauberanwendung dar. Mit einer entsprechenden Modifikation der Düsentechnik wurde mit weiteren Abdrift- und Expositionsstudien im September 2019 begonnen. Erste Ergebnisse zeigen, dass allein durch die Verwendung modernerer und gegenüber der AirMix Düse abdriftmindernder Düsen eine Abdriftminderung von ca. 75 % erreicht werden kann. Zum Teil wurden im Nahbereich (5 bis 20 m vom Waldrand) auch Abdriftminderungen über 90 % erreicht. Diese ersten Ergebnisse zeigen zunächst eine Tendenz auf und müssen durch weitere Versuche, u. a. auch im Laubwald abgesichert werden. In der Praxis muss für diese Düsen ebenfalls noch der Nachweis der biologischen Wirksamkeit erbracht werden, da die Düsen ein sehr grobes Tropfenspektrum erzeugen.

ERZIELTE ERGEBNISSE IM TEILVORHABEN 1:

a) generelle Feststellungen

- Die Beratung von Forstpraxis und Betriebsleitung bei Überwachung, Prognose und Bekämpfung von Schaderregern ist ein Arbeitsschwerpunkt für die Waldschutz-Dienststellen der Länder, die eine herausragende Arbeit leisten. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der sich ständig ändernden Waldschutzsituation, müssen sie zeitnah, kompetent und situationsgerecht Entscheidungen treffen – unter Beachtung zunehmender Restriktionen und erhöhtem Verwaltungsaufwand.
- Die Populationsdynamik der Kieferngrößschädlinge folgt eigenen Gesetzen. Sie können in unregelmäßigen und unvorhersehbaren Intervallen zu Massenvermehrungen verheerenden Ausmaßes führen. Eine sorgfältige Prognose auf Grundlage artspezifischer Monitoringverfahren sind unentbehrlich, um gezielte Waldschutzmaßnahmen erfolgreich durchzuführen.
- Waldökosysteme sind offene Systeme, die ständigen Veränderungen unterworfen sind. Viele Einflussfaktoren, wie Stoffeinträge, Klima und Witterung sowie verschiedene biotische Faktoren stehen in Wechselwirkung zueinander und erschweren die klare Zuordnung von Effekten direkter Waldschutzmaßnahmen.

b) Ergebnisse zur Ausgangssituation

- Die mikroklimatische Erhebung mit Datenloggern bestätigte erhebliche klimatische Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren. Das Jahr 2018 war deutlich trockener und wärmer als die Jahre 2016 und 2017. Im Jahr 2017 lag zudem der Jahresniederschlag über dem langjährigen Mittel.
- Mit der Methode der hemisphärischen Fotografie zur Messung der diffusen Bestandesstrahlung (Diffuse Light Index) erfolgte eine Quantifizierung der Fraßereignisse. So zeigten sich im UG Herzberg (aus Aufnahmen im März/April 2017), dass die zu Anfang Juni 2016 behandelten Flächen mit dem Präparat KARATE FORST *flüssig*, die niedrigsten DLI-Werte (von 29 % bis 38 %) aufwiesen. Dagegen auf den Flächen mit Larvenfraß und einem hohen Verlust an Nadelmasse höhere DLI-Werte (von 40 % bis 46 %) nachweisbar waren. Im UG Lieberose/Cottbus (Aufnahmen im September 2017) wiesen die Untersuchungsvarianten drei Jahre nach der Störung keine großen Unterschiede im DLI auf.
- Bezüglich der Forstgesellschaft wurden Übergangsformen zwischen dem Hagermoos-Kiefernforst und dem Drahtschmielen-Kiefernforst bestätigt. Auffällig war der zunehmende Deckungsgrad der Draht-Schmielen von 2016 bis 2018 auf einigen Flächen in beiden Untersuchungsgebieten. Dieser lässt auf eine beginnende Vegetationsänderung schließen, in Richtung eines Drahtschmielen-Kiefernforstes.
- Im Vordergrund der Bearbeitung standen die Nichtzielorganismen, insbesondere die Gruppe der Antagonisten, wie die Vertreter der räuberischen Familien der Coleoptera (Carabidae, Staphylinidae, Coccinellidae), der Diptera (Asilidae) und die Ordnung Araneae sowie die der parasitoiden Hymenoptera (Apocrita): Chalcidoidea, Ichneumonoidea und Diptera (Brachycera): Tachinidae, Muscidae und Sarcophagidae. Zusätzlich wurden die Curculionidae (Coleoptera) als Phytophage bearbeitet.
- Es wurden alle Fangproben aus beiden Untersuchungsgebieten komplett vorsortiert. Bezogen auf die Arthropodengruppen: Arachnida - Araneae, Insecta - Coleoptera, Hymenoptera (Apocrita), Diptera

(Brachycera) wurden insgesamt 462.187 Individuen (UG Lieberose/Cottbus: 148.649 Ind., UG Herzberg: 313.538 Ind.) erfasst.

- Die morphologische Determination erfolgte bis auf Familien- bzw. Artniveau, unter Einbindung von Experten. Gegenwärtig findet die Auswertung der Datengrundlage für die Coleoptera: Coccinellidae, Staphylinidae, Curculionidae bzw. für die Hymenoptera: Ichneumonidae, Braconidae, Chalcidoidea statt. Die Arthropodengruppen Coleoptera: Carabidae, Diptera: Brachycera und Arachnida: Araneae befinden sich weiterhin in der Determination.

c) Direkte Effekte von Störungen (UG Herzberg)

- Parasitoide sind als Gegenspieler der Blattwespen verzögert dichteabhängig. Sie erreichen das Maximum ihrer Wirksamkeit gegen Ende einer Massenvermehrung und beschleunigen bei *Diprion pini* das Wiederauflaufen der Gradation, die häufig ein bis zwei Jahre nach der Kulmination durch Überlieger droht.
- Ein wichtiger Kokonparasitoid (Ichneumonidae: Cryptinae) war *Pleolophus basizonus* (Gravenhorst, 1829). Diese Art war mit über 80 % am Gesamtfang (Bodenphotoelektoren) in den Untersuchungsjahren präsent.
- Aussagen über die funktionale Rolle der parasitoiden Apocrita als Schädlingsantagonisten lassen sich anhand der Fangzahlen auf Grundlage der weiblichen Tiere tätigen, weil diese die entscheidende Bedeutung als Antagonisten besitzen. Die Fangzahlen bestätigten deutliche Unterschiede in den relativen Häufigkeiten, die eine Verschiebung zugunsten der Weibchen dokumentierten. Die weitere Auswertung fokussierte sich daher auf die Schlupfaktivitäten der Weibchen.
- Der Parasitoid *P. basizonus* hat mehrere partielle Generationen im Jahr 2016 erzeugen können. Im Laufe der Gradation stieg die Individuendichte des Antagonisten zeitnah schnell an. Es bestätigte sich, dass im UG Herzberg die Wirtsart *Diprion pini* bivoltin ist, in Folge werden die Parasitoidenarten mit hohen Abundanzwerten und mit mehreren ausgeprägten Schlupfwellen dominieren, was am Beispiel von *P. basizonus* nachgewiesen werden konnte.
- Das Präparat MIMIC hatte keine direkten Auswirkungen auf die Schlupfrate von *P. basizonus*. Auch ein direkter Zusammenhang zu den bedingten Veränderungen infolge des Nadelfraßes ist aus den aktuellen Ergebnissen nicht offensichtlich.
- Ein direkter, negativer Effekt infolge der Applikation von KARATE FORST *flüssig* (Ende August) war in 2016 nicht erkennbar. Die geringen Abundanzen in der 5. Fangperiode sind indirekt auf die Insektizidanwendung zurückzuführen und über den Wirt erklärbar. Der Wirt *Diprion pini* wurde Anfang Juni mit einer aviochemischen Waldschutzmaßnahme an der Weiterentwicklung der 1. Generation und Ausbildung einer 2. Generation nachhaltig gehindert. Daher war eine Parasitierung sich frisch verpuppende Wirtslarven in 2016 durch die ausschlüpfenden Individuen des Parasitoiden im Frühsommer nicht möglich.
- Neben *Pleolophus basizonus* als Hauptparasitoid konnten weitere Vertreter der Ichneumonidae nachgewiesen werden. Mit einer deutlich geringeren Individuenzahl waren es hauptsächlich Einzelindividuen von Larven- und Kokonparasitoiden der Buschhornblattwespen. Die vorkommenden Arten der Gattung *Gelis* sind u. a. im Parasitoidenkomplex der Diprionidae als Hyperparasitoide beschrieben.
- Auffällig war, dass die Anzahl an vorkommenden Gattungen der Ichneumonidae auf der Untersuchungsvariante (UV) „Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{06'16}“ am niedrigsten war. Ein direkter Effekt - in Folge der im Frühjahr 2016 durchgeführten Waldschutzmaßnahme - wird als Ursache nicht in Erwägung gezogen, weil die Ergebnisse auf der UV „Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{08'16}“ diesen Effekt nicht bestätigten.
- Die Berechnung der Diversität α (log serie) zeigte grundsätzlich (2016, 2017) niedrige Werte auf allen Untersuchungsvarianten. Die maximalen Werte wurden in 2016 auf der Untersuchungsvariante (UV) „Fraß_{ab04'16}“ und in 2017 auf der UV „Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{08'16}“ berechnet. Die niedrigste Diversität zeigte sich auf der UV „Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{06'16}“ in 2016 sowie auf der UV „Einsatz MIMIC_{06'16} + Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{08'16}“ in 2017.
- Die höchste Faunenähnlichkeit (SÖRENSEN-Index, quantitativ) wies die UV „Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{06'16}“ zur UV „Fraß_{ab04'16}“ auf (2016, 2017), die geringste Faunenähnlichkeit bestand

dagegen im Vergleich zur UV „Einsatz MIMIC_{06'16} + Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{08'16}“ in 2016. Die außerhalb des Applikationsgebietes ausgewählten Kontrollflächen zeigten in 2017 grundsätzlich eine gute Faunenähnlichkeit zu den Flächen im Schadgebiet.

- Für die weitere Auswertung sind u.a. die Platygastridae und Ceraphronidae ebenfalls zu betrachten, weil eine direkte Wirkung des Pyrethroideinsatzes nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann bzw. vor allem die larvalparasitischen Vertreter der Platygastridae, Ceraphronidae auf die Applikation von Diflubenzuron Effekte in der Literatur dokumentiert sind.
- Die Ergebnisse der Coccinellidae basieren auf der Auswertung von insgesamt 2.083 Individuen aus Fängen mit Luftklebnetzen von 2016 bis 2018. Die Luftklebnetze wurden ca. 1,5 m über dem Boden auf Orkanstützen installiert.
- Das Artenspektrum umfasste in 2016: 13 Arten, in 2017 und in 2018 jeweils 18 Arten aus vier Unterfamilien. Darunter befanden sich zwei Arten der bundesdeutschen Roten Liste. Neben wenigen stenotopen Arten, wurden hauptsächlich eurytopen Arten, die in vielen verschiedenen Biotopen vorkommen, ermittelt. Das Artenspektrum war durch eine spezifische Waldfauna geprägt. Teilweise waren Arten, die an die Baumart Kiefer gebunden sind, verbreitet.
- Grundsätzlich ist eine teils deutlich geringere Aktivitätsdichte (Median) auf den mit Insektiziden behandelten Flächen erkennbar, dass betrifft insbesondere die mit KARATE FORST *fl.* behandelten Flächen. Die UV „Einsatz MIMIC_{06'16} + Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{08'16}“ wiesen vergleichsweise höhere Aktivitätsdichten auf, obwohl auf diesen Flächen zwei Applikationen im Jahr 2016 erfolgten.
- Im Folgejahr der Waldschutzmaßnahmen setzte sich dieser Trend fort, auf den mit Insektiziden behandelten Untersuchungsvarianten wurden die niedrigsten Aktivitätsdichten (Median) der Coccinellidae festgestellt.
- Der Vergleich der Faunengemeinschaft (SÖRENSEN-Index, quantitativ) bestätigte Unterschiede zwischen den Untersuchungsvarianten, die sich besonders in den Folgejahren 2017 und 2018 manifestierten. In 2016 wiesen die Flächen der UV Fraß die größten Unterschiede im Vergleich zu den UV mit Insektizidapplikation auf, die größte Unähnlichkeit bestand zu den Flächen der UV „Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{06'16}“.
- Während die Flächen der UV Fraß hohe Ähnlichkeiten zu den Flächen der UV Kontrolle aufwiesen, waren sich die UV mit der Insektizidanwendung untereinander sehr ähnlich, aber im Vergleich zur UV Fraß und UV Kontrolle am unähnlichsten. Dieser Trend lässt sich für 2018 bestätigen, mit der Ausnahme, dass sich die Habitatqualität auf der UV Fraß deutlich verändert haben muss: Im Vergleich mit den Kontrollflächen wurden dort nur geringe Ähnlichkeiten errechnet. Dagegen im Vergleich mit den Flächen der Insektizidanwendung eine höhere Faunenähnlichkeit bestand.
- Die Ergebnisse bezüglich Simpson's index of diversity und Simpson's reciprocal index zeigten, dass der Diversitätsindex mit der zunehmenden Gleichverteilung der Individuen pro Art anstieg. Eine maximale Diversität ergab sich, wenn alle Arten in einer Gemeinschaft im gleichen quantitativen Verhältnis vorhanden waren. So wurden hauptsächlich auf den Flächen mit der Insektizidanwendung hohe Diversitätswerte in 2016 und in 2017 errechnet, im Vergleich zur UV Fraß. Die geringen Evenness-Werte, bestätigten die extreme Ungleichverteilung zwischen Arten- und Individuenzahlen, vor allem in 2017 auf der UV Kontrolle und der UV Fraß.
- Die Habitatqualität beeinflusst die Verweildauer und das Vorkommen der Marienkäfer in einem Lebensraum. Als entscheidendes Kriterium wird in der Literatur die Blattlausdichte genannt. In der vorliegenden Studie wurde am Beispiel für das UG Lieberose eine bedingt positive Beziehung (in 2016) bzw. eine positive Beziehung (in 2017) zwischen der Aktivitätsdichte von Blattläusen und Marienkäfern festgestellt. Demnach wäre die Abnahme der Individuenzahlen der Marienkäfer auf die Abnahme der Blattlausdichte - als indirekter Effekt der Insektizidanwendung - zurückzuführen.
- Die geringen Ausgangswerte der Marienkäfer in 2016 auf den Flächen der UV „Einsatz KARATE FORST *flüssig*_{06'16}“ könnten mit der Frühjahrsapplikation von KARATE FORST *fl.* im Zusammenhang stehen, weil Ende Mai die Reproduktionsphase der Coccinellidae erfolgt. Eine spätere Behandlung im Jahr (Ende August) zeigte keine Auswirkungen auf die Individuenzahlen, da sich die Aktivitätsdichte auf allen Untersuchungsvarianten verringerte. Auch die Behandlung mit MIMIC im Frühjahr zeigte keinen direkten Effekt auf die Aktivitätsdichte der Coccinellidae.

- Die Habitatqualität scheint auf allen Störungsflächen zwei Jahre nach den Waldschutzmaßnahmen für die Coccinellidae eingeschränkt zu sein. Denkbar sind z. B. der Einfluss mikroklimatischer Faktoren sowie der Grad der artspezifischen Habitatbindung (Marienkäfer können verschiedene Habitate im Zuge der Entwicklung aufsuchen).
- Die Möglichkeit Marienkäferarten als Bioindikatoren einzusetzen, um über ihr Vorhandensein oder Fehlen nach Insektizidmaßnahmen in Wäldern Rückschlüsse auf die Umwelt tätigen zu können, ist grundsätzlich nicht abwegig. In Bezug auf die Ergebnisse werden jedoch die Voraussetzungen für eine Zeigerfunktion auf Artbasis nicht vollständig erfüllt. Gleichwohl es Auffälligkeiten in der Habitatqualität der Störungsflächen gibt, die künftig noch auszuwerten sind.
- Im UG Herzberg wurden 44 Familien nachgewiesen, die Familienstruktur der Brachycera war durch eine ähnliche Zusammensetzung charakterisiert. Es dominierten nach Fängen mit Bodenphotoektoren die Familien Phoridae, Empididae, Hybotidae und Chloropidae. Eine geringere Präsenz besaßen die Familien: Asilidae, Tachinidae und Sarcophagidae, die in der Studie im Fokus stehen sollen.
- Am Beispiel der Phoridae lassen sich für 2016 tendenziell verringerte Individuendichten nach der Anwendung von Insektiziden feststellen. Als direkter Effekt in Folge der Waldschutzmaßnahme lässt sich die Reduktion jedoch nicht eindeutig erklären, weil auf den Flächen mit Fraß ebenfalls die Abundanz abnahm.
- Aufgrund der Gradation von *Diprion pini* (in 2016) war ein Vorkommen der Tachinidenarten *Drino inconspicua* und *Drino gilva* zu erwarten gewesen. Insgesamt wurden dort in 2016 nur 59 Tachinidae erfasst. *Drino gilva* wurde nicht nachgewiesen - die Ursache ist bisher ungeklärt, weil der Art eine entscheidende Rolle als Parasitoid in der Latenzphase zukommt.
- Eine Ursache für den sporadischen Nachweis der Tachinidae könnte die interspezifische Konkurrenz u. a. zwischen den vorkommenden Larval- und Kokonparasitoiden sein. Als sekundär fakultativer Hyperparasitoid von Larvenparasitoiden wird u. a. der Kokonparasitoid *Pleolophus basizonus* genannt.

d) Langfristige Effekte von Störungen (UG Lieberose/Cottbus)

- In 2016 konnten insgesamt 398 Individuen der Coccinellidae mit Luftektoren in der Kronenregion der Kiefer (ca. 15 m über dem Boden) gefangen werden. Das Artenspektrum umfasste 13 Arten aus 4 Unterfamilien. Darunter befanden sich zwei Arten der bundesdeutschen Roten Liste. Das Artenspektrum war durch eine spezifische Waldfauna geprägt.
- Eindeutige Unterschiede in den Arten- und Individuenzahlen lassen sich zwischen den Untersuchungsvarianten nicht erkennen. Auf den Kontrollflächen wurden tendenziell höhere Individuenzahlen ermittelt.
- Der Vergleich der Faunengemeinschaft (SÖRENSEN-Index, quantitativ) ergab Unterschiede in den Ähnlichkeitsbeziehungen. Demnach waren sich die Störungsflächen (betrifft Flächen mit Kahlfraß und Einsatz Karate Forst fl.) untereinander am ähnlichsten.
- Insgesamt 36 Familien der Brachycera wurden in 2016 nachgewiesen, die Familienstruktur war durch eine ähnliche Zusammensetzung auf den UV charakterisiert. Es dominierten nach Fängen mit Bodenphotoektoren die Familien Phoridae, Empididae, Hybotidae und Chloropidae. Eine geringere Präsenz besaßen die Familien: Asilidae, Tachinidae und Sarcophagidae.
- Nach vorliegenden Ergebnissen können keine langfristigen Auswirkungen von Karate Forst *flüssig* nachgewiesen werden. Die Individuendichte der Phoridae zeigte in 2016 zwischen den Flächen der Versuchsvarianten Fraß, Einsatz KARATE FORST *fl.* und Kontrolle keine Auffälligkeiten.

e) Ökotoxikologie von Insektiziden

- Die Erarbeitung einer Freilandmethodik für ein applikationsbegleitendes ökologisch-chemisches Monitoring für direkte Waldschutzmaßnahmen wurde umgesetzt.
- Die Wirkstoffgehalte in Nichtziel- und Zielorganismen lassen Aussagen für Toxizitätsabschätzungen zu. Die aktive Substanz Tebufenozid (MIMIC) ist als persistent auf Kiefernadeln (Trend) einzuschätzen, lambda-Cyhalothrin (KARATE FORST *flüssig*) bestätigte sich als nicht persistent auf Kiefernadeln.

Teilvorhaben 2

Waldökologische Forschung zu den Effekten von Insektizidmaßnahmen und natürlichen Störungen auf die Antagonistenfauna in Kiefernwäldern - Schwerpunkt Avifauna

AUSGANGSSITUATION, ZIELSTELLUNG UND METHODEN

Die Wälder im Land Brandenburg sind zu einem hohen Anteil von Kiefern-Reinbeständen auf armen, sandigen Standorten mit geringen Jahresniederschlägen geprägt. Insbesondere im Süden Brandenburgs neigen Kieferngrößschädlinge zu ausgeprägten Massenvermehrungen. Bei drohenden flächigen Bestandesverlusten als Folge massiver Nadelverluste durch Fraß ist eine Insektizidapplikation - heute in der Regel immer ultima ratio - die einzig mögliche effektive Waldschutzmaßnahme. Diese führt zum Zeitpunkt der Anwendung wirkungsvoll zum Absterben der nadelfressenden Raupen bzw. Larven von Kieferschädlingen. Es ist davon auszugehen, dass je nach Selektivität und Dosis der eingesetzten insektiziden Wirkstoffe auch Nichtzielorganismen der Arthropoden, insbesondere Arten die sich im Kronenraum aufhalten, betroffen sind. Arthropoden stellen die Hauptnahrungsquelle für Singvögel (Oscines, syn. Passeres) zur Brutzeit dar. Eine veränderte Nahrungsverfügbarkeit dürfte sich trotz geeigneter Habitatausstattung demzufolge potenziell negativ auf deren Bruterfolg auswirken. Gleichzeitig führen Licht- bzw. Kahlfraßereignisse in Folge des Nadelverlustes in den Baumkronen zu Bestandesverlichtungen. Diese natürlichen Störungen verursachen Vitalitätseinbußen bei den Bäumen bis hin zu deren Absterben. Derart veränderte Habitatstrukturen bedingen eine sich ändernde Arthropodengemeinschaft (MÖLLER 2002, REIKE & MÖLLER 2018), welche einen populationsrelevanten Einfluss auf die Waldvogelfauna und deren Strukturmerkmale (Abundanz, Dominanz) erwarten lässt.

Insektizideinsätze im Wald sind in der Regel erst bei Prognose eines drohenden Bestandesverlustes das Mittel der Wahl. Insbesondere flächige Applikationen vom Hubschrauber aus werden intensiv nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten abgewogen. Ein Grund ist der Rahmen der Zulassung von Insektiziden für die Applikation per Hubschrauber (vgl. Abs. 2: Stand der Wissenschaft und Technik). Die besondere Bewertung des Risikos für den Naturhaushalt hat die Hürden für Neuzulassungen von Insektiziden für den Hubschraubereinsatz im Wald oder auch Genehmigungen sehr hoch gelegt, aber auch bestehende Forschungsdefizite offenbart.

Um die ökologische Abwägung im Hinblick auf den Erhalt des Waldes und damit auch seiner Lebensraumfunktionen zu qualifizieren, muss auch der Kenntnisstand zu direkten und langfristigen Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln (PSM) bzw. von Kahlfraßereignissen forstschädlicher Insekten auf Nichtzielorganismen verbessert werden. Im besonderen Fokus stehen hier die natürlichen Gegenspieler der Schädlinge wie Vögel, Spinnen, räuberische und parasitoide Insekten.

Für die Untersuchung der Brutvogelfauna wurden gezielt Kiefernwälder im Land Brandenburg ausgewählt, die aktuell und in Zukunft intensiv durch Massenvermehrungen forstschädlicher Schmetterlinge bzw. Blattwespen gefährdet sind. Bewertet werden sollten sowohl die Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmaßnahmen mit Insektiziden als auch die Folgen von Kahlfraß durch nadelfressende Raupen bzw. Larven auf die Avifauna. Entsprechend der aktuellen Waldschutzsituation während der Projektlaufzeit erfolgten die Untersuchungen in Kiefernbeständen, die von Fraßschäden durch Raupen von Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*) und Nonne (*Lymantria monacha*) bzw. Larven der Gemeinen Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini*) betroffen waren.

Im Fokus der aufwändigen Freilanduntersuchungen stand der Bruterfolg insektenfressender Vögel und damit die Diskussion indirekter Effekte durch ein in Folge der Störungen (Insektizide bzw. Fraßschäden) verändertes Nahrungsangebot. Konkret sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Bedingt der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Kiefernforsten eine veränderte Nahrungsverfügbarkeit in der Fortpflanzungsphase mit potenziell negativen Effekten auf die Fortpflanzungsrate der Brutvögel?
- Führen Lichtfraß bzw. Kahlfraß im Wald zu veränderten Habitatstrukturen mit potenziell negativen Effekten auf die Avizönose?
- Verringern diese Störungen die potenzielle Habitateignung der Kiefernforsten?

Eine Literaturstudie des Umweltbundesamtes hat auch 2017 noch darauf verwiesen, dass neuere brutbiologische Untersuchungen an Vögeln in Kiefernwäldern mit Bezug zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln fehlen (UBA 2017) – (vgl. Abs. 3: Erkenntnisse von Dritten).

A. Untersuchungsgebiete und Untersuchungsflächen

Die Befallsituation während der Projektlaufzeit ermöglichte bei der Auswahl der Untersuchungsgebiete (UG) potenzielle Effekte als langfristig bzw. kurzfristig zu differenzieren:

- Langfristige Effekte = Auswirkungen ab 2 Jahre nach Fraßereignis bzw. Insektizidapplikation,
- Kurzfristige Effekte = Auswirkungen ab dem unmittelbar auf das Fraßereignis bzw. auf die Insektizidapplikation im folgenden Jahr.

Als Untersuchungsgebiet für die Bewertung der langfristigen Effekte wurden im Jahr 2014 von Kahlfraß durch die Raupen des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini*) betroffene Kiefernwälder der Lieberoser Heide im Südosten des Landes Brandenburg ausgewählt. Dort hatten bereits 2013 Nonnenraupen (*Lymantria monacha*) zu merklichen bis starken Nadelverlusten geführt. Im ersten Untersuchungsjahr wurden im UG Lieberose geeignete Kiefernbestände als Untersuchungsflächen (UF) ausgewählt, die im Mai 2014 während einer Massenvermehrung des Kiefernspinners mit dem Pflanzenschutzmittel KARATE FORST flüssig per Hubschrauber behandelt bzw. ab Juni von Kahlfraß der Raupen betroffen waren. Alle Flächen liegen im Bereich der Oberförsterei Lieberose (UG Lieberose).

Im Herbst 2016 führte eine Massenvermehrung der Gemeinen Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini*) mit Ausbildung einer 2. Larvengeneration im Bereich der Oberförstereien Herzberg und Hohenleipisch (Süden des Landes Brandenburg) zu flächigen Fraßschäden bzw. wurden Insektizidapplikationen mit dem Ziel des Walderhalts notwendig. Der PSM-Einsatz (KARATE FORST flüssig) erfolgte Ende August/Anfang September 2016 als Hubschrauberapplikation. Somit ergab sich die Möglichkeit, in der unmittelbar anschließenden Brut-saison kurzfristige Effekte durch Kahlfraß bzw. Insektizidapplikation im Vergleich zu ungestörten Flächen („Kontrolle“) zu untersuchen. Ein Teil der Flächen liegt im Europäischen Vogelschutzgebiet „Niederlausitzer Heide“.

Die UF in den Kiefernbeständen beider UG wurden nach drei Zustandsvarianten ausgewählt:

- „Fraß“: unbehandelt, Kahlfraß,
- „PSM“: Insektizid-Anwendung, geringer bzw. kein Fraß,
- „Kontrolle“: keine Insektizid-Anwendung, kein Fraß.

Vögel sind stark strukturgebunden (LAUTERBACH 2007, TREICHEL 2005). Wichtige Strukturparameter in Wäldern die das Arteninventar der Waldvogelgemeinschaft beeinflussen, sind beispielsweise die Wuchsklasse (BHD), der Bestockungsgrad, die Baumartenmischung und die Bestandesschichtung. Unter Verwendung des Datenspeichers Wald (DSW 2) und den dokumentierten Fraßschäden aus 2014 und 2016 (aus Satellitenaufnahmen abgeleitete GIS-Rasterdaten, MARX et al. 2014) wurden je Zustandsvariante mehrere UF vergleichbarer Standorts- und Bestandeseigenschaften ausgewählt. Der Fokus lag dabei auf Kiefernreinbeständen nährstoffarmer, sandiger Böden der Altersklassen III bis IV (40-80 Jahre).

Die Versuche im UG Lieberose, auf Grund der bereits 2014 erfolgten Störungen (PSM bzw. Fraß) für die Beurteilung langfristiger Effekte auf die Brutvogelfauna geplant, begannen 2016. Das Nistkastenbasierte Brutvogelmonitoring im UG Herzberg wurde entsprechend der aktuellen Waldschutzsituation im Herbst 2016 im März 2017 begonnen.

B. Nistkästen

Nistkastenbasierte Untersuchungen bieten vergleichbare Nisthöhlenbedingungen und liefern mit vertretbarem Erhebungsaufwand und geringer Störungsintensität qualitativ hochwertige Daten zum Brutgeschehen. Zudem lassen sich Höhlenbrüter in Gebieten mit fehlender Nisthöhlenausstattung relativ problemlos ansiedeln. Es ist davon auszugehen, dass in der Reproduktionsphase qualitativ hochwertige Daten gewonnen werden.

Homogene Kiefernwälder mittleren Alters, die Untersuchungskulisse in diesem Teilvorhaben, sind gekennzeichnet durch eine vergleichsweise arten- und individuenarme Avizönose (FLADE 1994). Dementsprechend wurden zu Beginn der Untersuchungen auf vielen Flächen Nistkästen für das zu erwartende Artenspektrum in geringen Stückzahlen angebracht. Im 1. Untersuchungsjahr im UG Lieberose kamen insgesamt 144 Holzbeton-Nisthöhlenkästen der Firma Schwegler, insbesondere Meisenkästen mit Lochdurchmessern von 26 mm und 32 mm verteilt auf 18 Flächen in den drei Zustandsvarianten zum Einsatz. In geringen Stückzahlen (< 10) wurden auch Halbhöhlen-, Kleiber-, Star- sowie Kauzkästen verwendet, die sich durch ein unterschiedliches Brutinnenraum-Volumen und in der Größe des Lochdurchmessers unterscheiden. 10 Holzbeton-Nistkästen, die im UG Lieberose bereits vorgefunden wurden, sind 2017 in das Nistkastenmonitoring integriert worden.

Entsprechend der Erfahrungen des 1. Versuchsjahres im UG Lieberose wurde im Jahr 2017 die Flächenzahl reduziert und die Nistkastenauswahl auf 2 Holzbeton-Nistkastentypen beschränkt. Die beiden Nistkastentypen wurden abwechselnd mit einem Mindestabstand von 50 m zueinander, rasterförmig im Bestand verteilt angebracht. Zum Flächenrand betrug der Abstand ebenfalls mindestens 50 m. Zu benachbarten Waldflächen eines anderen Zustands (z. B. Wechsel von „Fraß“ zu „PSM“) oder sonstigen Randlinien, wie beispielsweise zu Baumbeständen höherer Altersklassen bzw. anderer Baumartenzusammensetzung, wurden Mindestabstände von über 100 m eingehalten.

Die ausgebrachte Anzahl an Nistkästen je Untersuchungsvariante „Fraß“, „PSM“, „Kontrolle“ betrug in beiden UG 60 Stück = 180 Stück je UG. Insgesamt wurden jährlich somit 360 Nistkästen kontrolliert. Alle Kästen wurden zu gleichen Stückzahlen auf die Zustandsvarianten verteilt. In Ermangelung großflächiger Untersuchungsbestände vergleichbarer Bestands- und Standorteigenschaften entsprechend der Auswahlkriterien variiert die Anzahl der UF um ein bis zwei Flächen zwischen den Untersuchungsvarianten. Jede UF bzw. Teilfläche wurde mit einem Hellmann-Niederschlagsmesser und einem Tinytag-Temperatur-Datenlogger bestückt. Wenn es die Örtlichkeit zuließ, wurde als Referenz ein zweiter Niederschlagsmesser auf einer Freifläche postiert. Im Nahbereich der Nistkästen kamen Wildkameras der Marken „Dörr Snap Shot“ und „Seca Cam“ zum Einsatz.

C. Nistkastenmonitoring

Ziel des Nistkastenmonitorings war die Ermittlung des Fortpflanzungserfolgs (Σ flügger Vögel/Brutzeit). Der Fortpflanzungserfolg ist ein sensibler Parameter, der indirekt die Nahrungssituation widerspiegelt, den Zeitraum von Lege-, Brut- und Aufzuchtphase abbildet, für die Bewertung der Lebensraumqualität/Populationsentwicklung geeignet ist und Aussagen zum Erhaltungszustand der Vogelarten zulässt.

Die Nistkastenkontrollen wurden in einem Abstand von 5 - 10 Tagen durchgeführt. Somit ergibt sich je Kalenderwoche mindestens eine Kontrolle der Nistkästen. Ab dem Zeitpunkt einer nachgewiesenen Nestbauaktivität wurde der betreffende Kasten wöchentlich inspiziert. Für die Kontrolle bewährte sich ein beleuchteter Teleskopspiegel. Bei Anwesenheit eines brütenden oder hudernden Altvogels wurde der Kasten umgehend wieder verschlossen und ggf. nachkontrolliert. Die Dokumentation der brutbiologischen Parameter erfolgte für den einzelnen Kasten auf einer Nestkarte. Dort wurden auch Fledermausvorkommen und weitere Nistkastenbewohner registriert. Folgende Parameter wurden erfasst:

- Eizahl,
- Schlupferfolg (Ei-Mortalität),
- Nestlingszahl,
- Alter der Nestlinge (nach Henryi Bouwmeester, NIVON Goor 2008),
- Ausfliegeerfolg (Nestlingssterblichkeit).

Im Vorfeld definiert wurde die Standardisierung der Monitoringdaten. So gelten als Brut bzw. Brutversuch immer Nester mit mindestens einem Ei. Als Vollgelege zählen Gelege bei nachgewiesener Bebrütung. Der Schlupftag wurde dem 0. Lebenstag gleichgesetzt.

Das Nestschicksal wurde wie folgt eingeschätzt:

- erfolgreich: mindestens 1 flügger Jungvogel,
- Brut gestorben: sämtliche Nestlinge gestorben,
- Gelege verlassen: bebrütetes Gelege (Vollgelege) verlassen,
- Geräubert: nachweisliche Prädationsspuren,
- nie aktiv: nicht bebrütetes, unvollständiges Gelege.

Gleichzeitig mit den Nistkastenkontrollen wurden die SD-Karten bzw. Batterien der Kameras gewechselt, die Niederschlagsmesser abgelesen und entleert sowie die Funktionstüchtigkeit der Temperaturdatenlogger überprüft.

In beiden UG konnte das Nistkastenmonitoring für jeweils den gesamten Brutzeitraum über 3 Jahre realisiert werden: 2016-2018 im UG Lieberose, 2017-2019 nach Projektverlängerung im UG Herzberg. Auf allen UF wurden in einem Abstand von 5 bis 10 Tagen jeweils insgesamt 16 Nistkastenkontrollen durchgeführt. Das entspricht einer kompletten Sichtung aller Kästen, besetzt wie unbesetzt.

deren stetige Dominanz im Brutvogelspektrum Ausdruck ihrer konkurrenzstarken und ubiquitären Lebensweise ist. Als zweithäufigste Meisenart war die Tannenmeise (*Parus ater*) vertreten. Der Trauerfliegenschnäpper (*Ficedula hypoleuca*), ein Langstreckenzieher mit später Ankunft im Brutgebiet und auf Fluginsekten spezialisiert, war ebenfalls mit ca. 20 % Brutvorkommen steter Nistkastenbezieher. Die Brutzahlen der Kleinmeisen sind mit insgesamt ca. 10 % Brutaufkommen verhältnismäßig gering.

Dokumentierte Arten mit wenigen Brutpaaren waren Haubenmeise (*Parus cristatus*), Blaumeise (*Parus caeruleus*), Gartenrotschwanz (*Phoenicurus phoenicurus*) und Kleiber (*Sitta europaea*). Im Gegensatz zu Hauben- oder Tannenmeise ist die Blaumeise allgemein in reinen Kiefernforsten selten. Der Gartenrotschwanz brütete in insgesamt 12 Kästen und nutzte dafür 2016 im UG Lieberose die Halbhöhlen- und die Kauzkästen überwiegend auf den UF „Fraß“. Wegen der Gefahr des Ausräuberns erwiesen sich Halbhöhlenkästen jedoch einmal mehr als ungeeignete Brutkästen im Wald. Sie wurden ab 2017 nicht mehr eingesetzt. Somit gab es im UG Herzberg kaum Bruten dieser Arten.

Bei Vergleich der erfassten brutbiologischen Parameter der Brutvögel zeigten sich keine gleichgerichteten Unterschiede zwischen den Kiefernwaldflächen. Die Brutaktivität lag im UG Herzberg über der im UG Lieberose, zeigte aber in beiden UG bei Vergleich aller Jahre jeweils Werte auf ähnlichem Niveau. Betrachtet werden hier alle Brutversuche mit mindestens einem Ei im Nest. Zu beachten ist, dass Meisenarten oft zwei Jahresbruten durchführen und dafür einen Nistkasten mitunter mehrfach beziehen. Zudem kann bei den erfassten Höhlenbrüterarten ein Gelegeverlust in der frühen Brutphase zu einem Nachgelege im selben Kasten führen. Insofern ist die Anzahl der registrierten brutaktiven Nester nicht mit der Zahl der besetzten Kästen gleichzusetzen.

Die erfassten brutbiologischen Parameter der Kohlmeise in den Zustandsvarianten konnten detailliert bewertet werden. Es wurden alle Nester mit Gelegen, aus denen Jungvögel schlüpften, einbezogen. Für die anderen Vogelarten waren die Datensätze begrenzt.

Im UG Lieberose wurden in den drei Versuchsjahren insgesamt 820 Kohlmeisen flügge: 350 in den UF „Kontrolle“, 242 in den UF „PSM“ und 228 in den UF „Fraß“.

Die Anzahl der Nester lag im UG Lieberose für die UF „Fraß“ bei 43 mit insgesamt 389 Eiern, für die UF „PSM“ bei 41 mit 391 Eiern und für die UF „Kontrolle“ bei 49 mit 480 Eiern. Die Gelegegröße für die Kohlmeise differiert im UG Lieberose am stärksten zwischen den Jahren, steigt für die 1. Brutperiode von 2016 bis 2018. Bei Vergleich der Flächenzustände lassen sich keine Unterschiede statistisch belegen. Die geringsten Gelegegrößen wurden 2016 für die 2. Brutphase auf den UF „Fraß“ ermittelt.

Im UG Lieberose war der durchschnittliche Bruterfolg der Kohlmeise (Juvenile/Brutpaar, ohne Prädationseinfluss) auf den „Fraß“-Flächen mit 5,3 flüggen Jungvögeln je Brut am geringsten. Der mittlere Bruterfolg bezieht sich jeweils auf die gesamte Brutsaison, gemittelt über den Untersuchungszeitraum. Die Kohlmeisen in den UF „PSM“ liegen mit 5,9 Juv./Brut über dem Wert der UF „Fraß“, aber unterhalb des höchsten mittleren Fortpflanzungswertes von 7,1 Juv./Brut auf den UF „Kontrolle“. Der Unterschied im mittleren Bruterfolg zwischen den UF „Fraß“ und „Kontrolle“ ist signifikant.

Im UG Lieberose wurden bei den Kohlmeisen in allen Untersuchungsjahren - bezogen auf die Gesamtzahl der erbrüteten Eier – sowohl in den UF „Fraß“ als auch den UF „PSM“ mit 58,6 % bzw. 61,9 % Ausfliegerate weniger Jungvögel flügge als auf den UF „Kontrolle“ mit 72,9 % Ausfliegerate. Eine hohe Schlupfrate (88,1 %) und eine geringe Nestlingssterblichkeit (15,2 %) sind Ursache der höchsten Erfolgsrate in Bezug auf die ausgeflogenen Kohlmeisen auf den UF „Kontrolle“. Der geringere Ausfliegerfolg der Kohlmeise für die UF „Fraß“ und „PSM“ wird insbesondere durch eine höhere Nestlingssterblichkeit von 24,4 bzw. 24,3 % erklärt. Bei alleiniger Betrachtung der jeweils ersten Brutphase ergeben sich mit Ausfliegeraten von 64,1 % für die UF „Fraß“, 57,8 % für die UF „PSM“ und 72,5 % für die UF „Kontrolle“ ähnliche Relationen wie bei Betrachtung aller Gelege. Für die zweite Brutphase der Kohlmeise wird dagegen eine bedeutend geringere Ausfliegerate der Kohlmeise von 46,3 % in den UF „Fraß“ im Vergleich zu 67,7 % in den UF „PSM“ bzw. 77,3 % in den UF „Kontrolle“ festgestellt. Bemerkenswert ist dabei, dass sich die Ausfliegerate in der zweiten Brutphase auf den UF „Kontrolle“ und UF „PSM“ steigert, während sie auf den UF „Fraß“ sinkt. Die Anzahl der betrachteten Nester für diese Brutphase ist mit 19 Nestern (UF „Fraß“ und UF „PSM“) bzw. 18 Nestern („UF Kontrolle“) nahezu gleich.

Auch bei Einzelbetrachtung der im UG Lieberose zuletzt untersuchten Brutsaison (2018) waren die Reproduktionswerte der Kohlmeise mit 5,5 Jungen je Brutpaar in den UF „Fraß“ und „PSM“ gleich hoch. Die Kontrollflächen zeigten für beide Brutphasen der Kohlmeise die höchsten Bruterfolge. 2018 wurden dort durchschnittlich 7,7 Jungvögel je Brutpaar flügge. Aufgrund des heißen und trockenen Witterungsverlaufs wurden

in der Zweitbrutphase im Juni/Juli 2018 vermehrt Kohlmeisen-Brutnester verlassen.

Im UG Herzberg wurden die im von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) bewirtschafteten Revier Forsthaus Weißhaus in den UF „Fraß“ bereits vorhandenen Schwegler Typ 1B Kästen in das Monitoring integriert. Somit ist dort die Gesamtzahl der Kästen um zwei Stück erhöht. Die Kohlmeise war auch hier mit mindestens 50 % Anteil schon im ersten Untersuchungsjahr die dominante Brutvogelart, gefolgt von Tannenmeise mit 23 % und Trauerfliegenschnäpper mit 22 % Anteil am Brutvogelspektrum.

Im UG Herzberg (kurzfristige Effekte) wurde die Zahl der für die Bewertung verfügbaren Nester mit vollständigem Gelege (Vollgelege) durch die hohe Nesträuberaktivität reduziert.

Auch für das UG Herzberg konnte der Bruterfolg der Kohlmeise detaillierter bewertet werden. Dort wurden in den 3 Versuchsjahren insgesamt 928 Kohlmeisen flügge: 334 in den UF „PSM“, 326 in den UF „Fraß“ und 268 in den UF „Kontrolle“.

Die Anzahl der Nester betrug im UG Herzberg für die UF „Fraß“ 66 mit insgesamt 600 Eiern, für die UF „PSM“ 58 mit insgesamt 540 Eiern und für die UF „Kontrolle“ 49 mit insgesamt 439 Eiern. In Bezug auf die Gelegegröße gab es bei Vergleich der UF keine Auffälligkeiten.

Im UG Herzberg sind es mit 61,9 % die UF „PSM“ und mit 61,0 % die UF „Kontrolle“ mit den höheren Ausfliegeraten der Kohlmeise gegenüber 54,3 % auf den UF „Fraß“. Auf den UF „PSM“ war zwar die höchste Sterberate der Nestlinge (30,0 %) festzustellen, der aber eine hohe Schlupfrate von 91,9 % entgegensteht. Auf den UF „Fraß“ und „Kontrolle“ zeigte sich mit 23,0 % bzw. 21,2 % eine höhere Ei-Mortalität im Vergleich zu 8,1 % auf den UF „PSM“.

Im UG Herzberg ist der durchschnittliche Bruterfolg der Kohlmeise (Juvenile/Brutpaar, ohne Prädationseinfluss) auf den UF „Fraß“ mit 4,9 flüggen Jungvögeln je Brut am geringsten. Der Bruterfolg der Kohlmeisen liegt in den UF „PSM“ mit 5,8 flüggen Jungvögeln je Brut etwas höher als mit 5,5 flüggen Jungvögeln je Brut auf den UF „Kontrolle“. Den niedrigsten Wert weisen die UF „Fraß“ auf, wobei über alle UF hinweg ein deutlicher Rückgang der Reproduktionsraten von der ersten zur zweiten Brutphase feststellbar ist. Vor allem während der Bebrütungs- und Aufzuchtphase erhöhte sich in der zweiten Brutperiode in allen Flächenzuständen der Anteil verlassener Nester deutlich. Der Witterungseinfluss des heißen, trockenen Sommers muss als entscheidender Einflussfaktor diskutiert werden.

Für den Zeitraum 2016 bis 2017 war im UG Herzberg ein signifikanter Unterschied im mittleren Bruterfolg (ausgeflogene Jungvögel/Nest) bei der Kohlmeise zwischen den Flächenzuständen „Fraß“ und „Kontrolle“ festzustellen. Der mittlere Bruterfolg bezieht sich dabei auf die gesamte Brutsaison. Der geringe Bruterfolg der Kohlmeise in den Kieferforsten „Fraß“ ist auf eine erhöhte Nestlingssterblichkeit zurückzuführen. Mit zunehmendem Körpergewicht der Küken sinkt in der Regel die Mortalität, die Überlebenswahrscheinlichkeit steigt. Bei einem Nestlingsalter von ≥ 10 Tagen ist bei Meisenarten die kritischste Phase der Jungenaufzucht überwunden. Im Jahr 2016 war der Anteil der gestorbenen Küken ab einem Alter von 10 Tagen am höchsten. Als Todesursache wird u. a. Überhitzung angenommen. Im Jahr 2017 war das Verhältnis umgekehrt und bedeutend mehr Küken sind im Alter unter 10 Tagen gestorben. In beiden Untersuchungsjahren trat jeweils die höchste Nestlingssterblichkeit insgesamt in den UF „Fraß“ im Vergleich zu den UF „PSM“ bzw. „Kontrolle“ auf. Ein vorläufiges Fazit war, dass die Auswirkungen der fraßbedingten Störung auf die Habitatqualität im Vergleich zu denen einer PSM-bedingten Störung als Haupteinflussfaktor auf den Bruterfolg insektivorer Höhlenbrüter anzusehen sind.

Für die Höhlenbrüter Tannenmeise und Trauerfliegenschnäpper waren im UG Lieberose geringe Unterschiede im Ausfliegeerfolg feststellbar, allerdings auf Grundlage einer geringen und sehr heterogenen Zahl an auswertbaren Brutnestern für alle UF. Für den Trauerfliegenschnäpper konnten im UG „Lieberose“ während der Untersuchungszeit 30 Nester beobachtet werden; 7 auf den UF „Fraß“, 11 auf den UF „PSM“ und 12 auf den UF „Kontrolle“. Die Eizahl war für die UF „PSM“ mit 70 bzw. für die UF „Kontrolle“ mit 73 ähnlich hoch. Für den Trauerfliegenschnäpper ist der mittlere Fortpflanzungserfolg auf den UF „Kontrolle“ bzw. „PSM“ mit 5,3 bzw. 5,2 flüggen Jungvögeln am höchsten, auf den UF „Fraß“ mit 3,1 flüggen Jungvögeln am niedrigsten. Auf den UF „Fraß“ waren sowohl Eimortalität (13,5 %) als auch Nestlingssterblichkeit (27,0 %) vergleichsweise hoch.

Auffällig war im UG Herzberg die hohe Brutaktivität der Tannenmeise, während der Trauerfliegenschnäpper als Brutvogel insbesondere in den UF „PSM“ vertreten war. In den UF „Kontrolle“ fand ein vergleichsweise sehr geringes Brutaufkommen statt. Verluste durch Prädation traten vermehrt im UG Herzberg auf. Auffällig war dabei, dass auch Gelege in den Bayerischen Giebelkästen Nesträubern zum Opfer fielen. Dieser Umstand konnte nachweislich mittels Wildkamera auf die Aktivität von Waschbären zurückgeführt werden.

Im UG Herzberg übersteigt der Bruterfolg für die Tannenmeise auf den UF „Fraß“ mit 7,0 flüggen Jungen je Brut leicht den auf den UF „PSM“ mit 6,6 flüggen Jungen je Brut. Für die Tannenmeise konnte im UG Herzberg für 16 Nester mit insgesamt 144 Eiern auf den UF „Fraß“ bzw. 10 Nestern mit 89 Eiern auf den UF „PSM“ Ausfliegeerfolge von 77,8 % („Fraß“) bzw. 74,2% („PSM“) ermittelt werden. Jeweils hohe Schlupfraten (85,4 % und 74,2 %) sowie eine geringe Nestlingssterblichkeit (7,6 % bzw. 0 %) sind Grundlage für 112 („Fraß“) bzw. 66 („PSM“) flügge Jungvögel.

Der Bruterfolg des Trauerfliegenschnäppers war für das UG Lieberose für die UF „PSM“ und UF „Kontrolle“ mit Ausfliegeerfolgen von 81,4 bzw. 86,3 % vergleichbar hoch. Für die UF „Fraß“ war die Nestlingssterblichkeit mit 27,0 % am höchsten, der Ausfliegeerfolg mit 59,5 % entsprechend vergleichsweise niedrig. Die Reproduktionsraten (juvenile/erfolgreichem Brutpaar mit mindestens einem flüggen Jungvogel) lagen zwischen 3,1 Juv./Brut auf den UF „Fraß“ im UG Lieberose und 5,8 Juv./Brut auf den UF „Fraß“ im UG Herzberg. Die Werte für die UF „PSM“ nehmen mit 5,2 (Lieberose) und 5,1 (Herzberg) jeweils die Mittelposition ein.

Schon im ersten Untersuchungsjahr waren im gesamten UG Herzberg die vergleichsweise vielen Nistkastenbruten des Trauerfliegenschnäppers auffällig. Der Trauerfliegenschnäpper war im UG Herzberg als Brutvogel in den Nistkästen häufiger vertreten als im UG Lieberose. Für den Trauerfliegenschnäpper konnten im UG Herzberg während der Untersuchungszeit 61 Nester beobachtet werden; 21 auf den UF „Fraß“, 26 auf den UF „PSM“ und 14 auf den UF „Kontrolle“. Die Eizahl lag auf den UF „Fraß“ bei 133, den UF „PSM“ bei 151 bzw. den UF „Kontrolle“ bei 82. Die Art erreichte auf den „Fraß“-Flächen mit durchschnittlich 5,8 flüggen Jungvögeln den höchsten Bruterfolg. Im UG Herzberg erreichte der Trauerfliegenschnäpper auf den UF „Fraß“ und „PSM“ Ausfliegeerfolge von 91,7 % („Fraß“) bzw. 87,4 % („PSM“), auf den UF „Kontrolle“ geringere 62,2 %.

Für den Trauerfliegenschnäpper ist der mittlere Fortpflanzungserfolg auf den UF „Fraß“ bzw. „PSM“ mit 5,8 bzw. 5,1 flüggen Jungvögeln je Brut am höchsten, auf den UF „Kontrolle“ mit 3,6 flüggen Jungvögeln je Brut am niedrigsten. Auf den UF „Kontrolle“ waren sowohl Eimortalität (19,5 %) als auch Nestlingssterblichkeit (18,3 %) vergleichsweise hoch. Auf den UF „PSM“ und „Fraß“ flogen aus jedem Brutnest Jungvögel aus. Auf den UF „Kontrolle“ wurden zwei Vollgelege verlassen und eine Brut wurde während der Jungenaufzucht aufgegeben. Dadurch ergibt sich der niedrige Reproduktionswert von 3,6 flüggen Jungvögeln.

Nach BEZZEL et al. (2015) liegen die Jahresbrutwerte für die Kohlmeise in Brandenburg zwischen 5,2 und 6,8 (durchschnittliche Jungenzahl). In ABBO (2001) werden Werte für die Erstbrut in Kieferforsten von 6,8 und für die Zweitbrut von 5,2 genannt. Die Ausfliegerate (\sum flügge Juv./ \sum Eizahl) wird für Kiefernwälder in Mitteleuropa in GLUTZ VON BLOTZHEIM (1993) mit 63 bis 68 % angegeben. Der Fortpflanzungserfolg der Kohlmeise in den untersuchten Kiefernwaldbeständen lässt sich somit insgesamt als durchschnittlich bezeichnen. Die UF „Kontrolle“ im UG Lieberose weisen überdurchschnittliche Brutergebnisse auf. Die Werte der Erst- bzw. Zweitbrutphase sind vergleichbar. Für die UF „Fraß“ im UG Herzberg ergibt sich ein leicht unterdurchschnittlicher Bruterfolg. Die Ausfliegerate bewegt sich bis auf die UF „Kontrolle“ im UG Lieberose leicht unterhalb der angegebenen Wertespanne.

Für Nistkastenbruten der Tannenmeise in Norddeutschland liegt die durchschnittliche Fortpflanzungsziffer bei 7,1 (BEZZEL et al. 2015). GLUTZ VON BLOTZHEIM (1993) gibt für das Erzgebirge einen mittleren Bruterfolg von $7,05 \pm 1,8$ an. Somit liegen die ermittelten Fortpflanzungserfolge im normalen Bereich bzw. leicht darunter. Für Brandenburger Kieferforste werden Erfolgsraten für Nistkastenbruten, bei denen mindestens 1 Junges ausgeflogen ist, zwischen 80 % bei Erstbruten und 94 % bei Zweitbruten angegeben (ABBO 2001). Im gesamten Untersuchungszeitraum war im UG Herzberg auf den UF „Fraß“ und „PSM“ jeweils nur ein Nest mit Vollgelege verwaist. Alle anderen Nester waren erfolgreich (Angaben ohne Prädationseinfluss).

Aus dem Schmöckwitzer Forst in Brandenburg werden Angaben zum mittleren Bruterfolg des Trauerfliegenschnäppers mit 3,9 – 6,5 beziffert (ABBO 2001). BEZZEL et al. (2015) geben für Niedersachsen eine mittlere Fortpflanzungsziffer von 4,7 an. Aus einem Braunschweiger Kieferforst sind durchschnittlich 3,2 Juvenile je Brutpaar bekannt (GLUTZ VON BLOTZHEIM 1993). Für Berlin wird eine Erfolgsrate für Nester mit flüggen Jungvögeln von 78,2 % angegeben. Bei Vergleich mit den Literaturangaben sind die Brutergebnisse des Trauerfliegenschnäppers in dieser Untersuchung als durchschnittlich bis gut zu bezeichnen. Für Brandenburger Verhältnisse sind nur die Ergebnisse der UF „Fraß“ im UG Lieberose und der UF „Kontrolle“ im UG Herzberg als unterdurchschnittlich anzusehen, bedingt durch die vergleichsweise geringe Zahl an Brutversuchen auf diesen UF.

Die Prädationsrate ist im UG Herzberg im Vergleich zum UG Lieberose höher. UF, in deren Umgebung bereits vor den Untersuchungen Nistkästen gehangen haben, sind stärker betroffen.

Aufgrund der zunehmenden Nistkasten-Prädation durch Baumarder und Waschbär musste der Schweglerkasten Typ 1B ohne Marderschutz noch während des Brutgeschehens 2018 mit der Käfigfrontklappe der Fa. Schwegler umgerüstet werden. Der zweite Holzbeton-Nistkastentyp, Bayerischer Giebelkasten mit vorgezogenem Flugloch als Marderschutz, wurde im UG Herzberg mehrmals vom Waschbär ausgeräubert. Deshalb wurde ein weiterer potenziell waschbärensicherer Holzkasten vom Typ „Neschwitz“ in geringer Stückzahl in die Untersuchung aufgenommen. Das weitere Flächendesign wurde beibehalten.

Nach Abschluss des Nistkasten-Monitorings zeigte sich in beiden UG kein im Vergleich der Flächenzustände geringerer Bruterfolg der Höhlenbrüter auf den mit Insektiziden behandelten UF „PSM“. Bei Vergleich der erfassten brutbiologischen Parameter der Brutvögel zeigten sich keine statistisch belegbaren gleichgerichteten Unterschiede zwischen den Kiefernbeständen nach Insektizidapplikation („PSM“), intensiven Nadelverlusten durch Insektenfraß („Fraß“) bzw. der unbeeinflussten „Kontrolle“. Vielmehr werden wichtige, das Brutgeschehen beeinflussende populationsbedingte Wirkmechanismen wie dichteabhängige Nahrungs- und Nistplatzkonkurrenz sowie der Witterungsverlauf im Zusammenhang mit dem Waldinnenklima deutlich.

Im Hitzejahr 2018 sind nachweislich viele Nester in der Zweitbrutphase der Meisen aufgegeben worden. In den in den Vorjahren stark befressenen Beständen im UG Herzberg kam es am häufigsten zur Brutaufgabe. Auch in den UF „Fraß“ im UG Lieberose wurde im Juni/ Juli ein deutlich geringerer Bruterfolg in Folge einer erhöhten Nestlingssterblichkeit festgestellt. Die Ursache dafür liegt möglicherweise in der starken Hitzeeinwirkung im Kasteninnenraum infolge der spärlichen Kronen-Benadlung und der damit verringerten Beschattung. Temperaturmessungen zeigen für lückige Bestände extremere Temperaturverhältnisse an als im geschlossenen Kiefernwald.

Mit der maximal verwertbaren Datenbasis wurde für beide UG differenziert nach den UF ein zusammenfassender Mittelwert- bzw. Mediantest mit Hilfe des Dimensionsreduktionsverfahrens TSNE ("t-distributed stochastic neighborhood embedding") durchgeführt (Abb. Tv2-A 1). Einbezogen wurden für die Arten Kohlmeise, Tannenmeise und Trauerfliegenschnäpper folgende Parameter:

a) mittlerer Legebeginn, b) mittlere Gelegegröße, c) Anteil der verlassenen Nester ohne Prädationseinfluss während der Brutphase, d) mittlerer Schlupfbeginn, e) Schlupferfolg/ Schlupfrate, f) Nestlings-Sterblichkeitsrate, g) Ausfliegerate, h) mittlerer Bruterfolg, i) Nesterfolg.

Das Verfahren wird in dieser Studie benutzt, um eine mögliche Unterscheidbarkeit der beprobten Brutkästen in den UF „Kontrolle“, „Fraß“ und „PSM“ zu visualisieren. Der TSNE-Plot zeigt jedoch in beiden Fällen, dass die UF „Kontrolle“, „Fraß“ und „PSM“ anhand der aufgenommenen Parameter nicht unterscheidbar sind.

Hervorzuheben ist vor allem die Rolle der Nesträuber als ein gravierender Mortalitätsfaktor im Untersuchungsverlauf. Für die Anbringung von Nistkästen im Wald wird großer Handlungsbedarf hinsichtlich der Verwendung eines nesträubersicheren Kastens offenbar.

Im Hinblick auf eine zusätzliche Risikominimierung durch die Wahl eines an das Brutverhalten angepassten Applikationszeitpunktes von Insektiziden im Wald kann keine Empfehlung abgeleitet werden. Um massive Fraßschäden durch die häufigsten kiefernadelfressenden Insekten zu verhindern, werden entsprechende Waldschutzmaßnahmen im Frühjahr in der Regel ab Mitte April bis spätestens Ende Mai realisiert. Die Jungenaufzuchtphasen für die am häufigsten registrierten Brutvogelarten Kohlmeise und Trauerfliegenschnäpper überlagern sich aber genau in diesem Zeitraum, zwischen Ende April bis Anfang Juli. Der Zeitraum zwischen 1. und 2. Brutphase der Kohlmeisen um den Monatswechsel zwischen Mai und Juni wurde als Jungenaufzuchtphase des Trauerfliegenschnäppers dokumentiert.

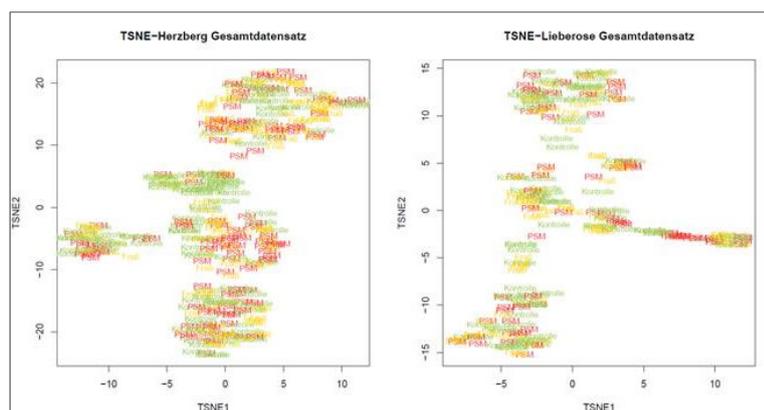
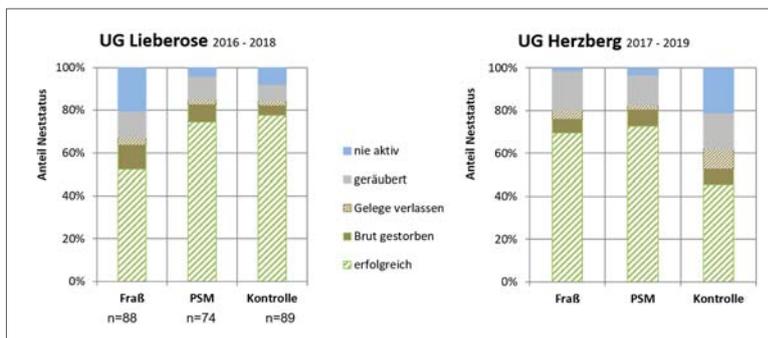


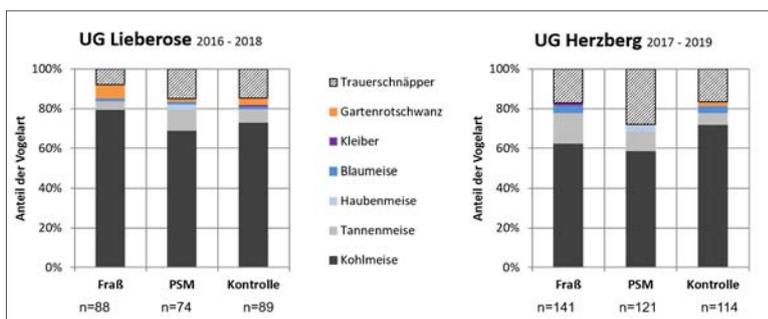
Abb. Tv2-A 1: TSNE-Plots für die UF „Kontrolle“, „Fraß“ und „PSM“ der UG Herzberg und Lieberose

(Im Koordinatensystem der Plots sind alle Nistkästen in direkter Nachbarschaft zu Nistkästen der zwei anderen Flächenzustände abgebildet. Der Vergleich führt nicht zu isolierten, unterscheidbaren Clustern (THIEME 2019))

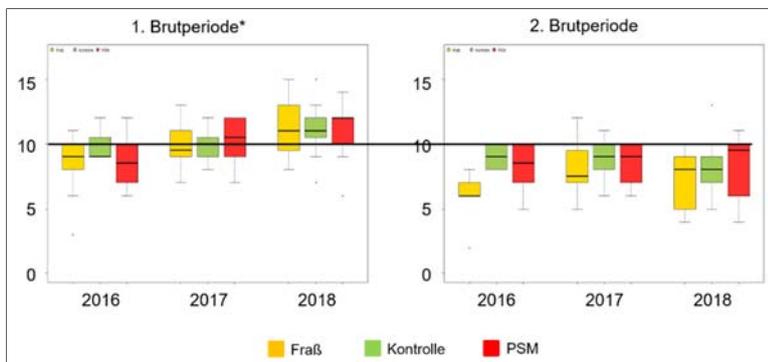
weitere Diagramme zur Thematik:



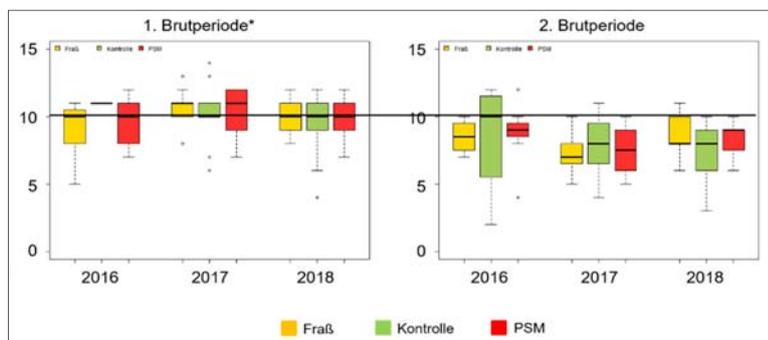
Brutergebnisse im UG Lieberose im Vergleich, prozentualer Anteil der Nestschicksale für alle Nistkastenbruten (mind. 1 Ei)



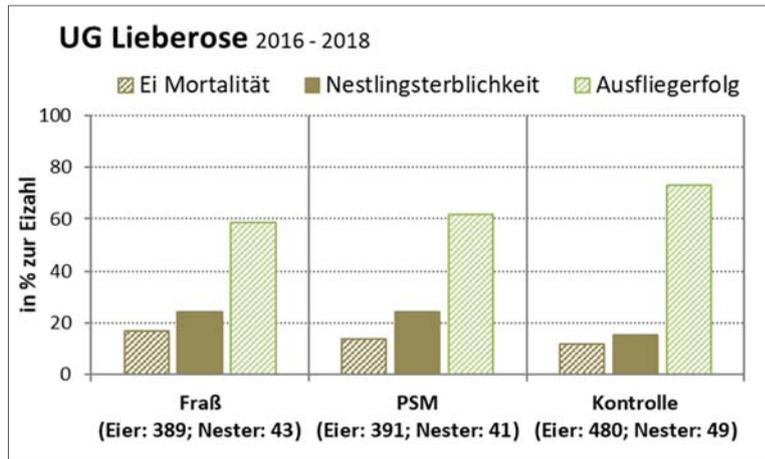
Nistkastenmonitoring: Brutvogelspektrum und Dominanzverhältnisse im Untersuchungszeitraum



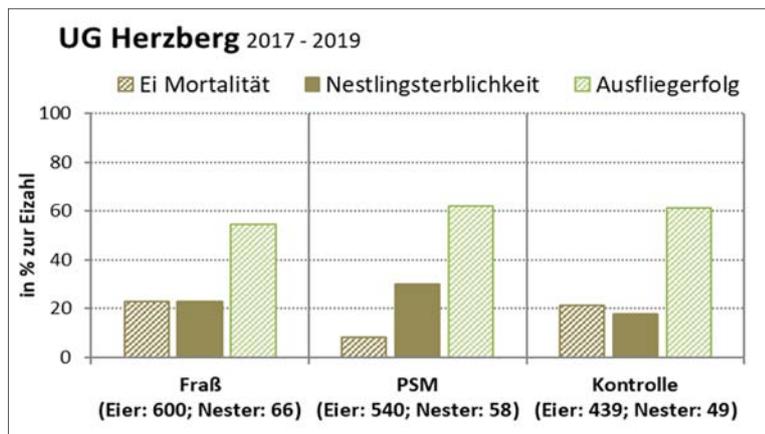
Gelegegröße der Kohlmeise (*Parus major*) im UG Lieberose, 2016-2018 (Die 1. Brutperiode berücksichtigt alle aktiven Gelege der Hauptlegephase April bis 1. Dekade Mai)



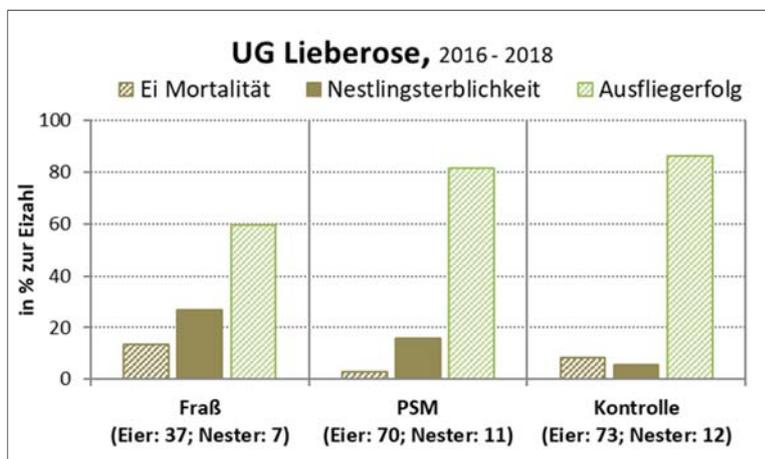
Gelegegröße der Kohlmeise (*Parus major*) im UG Herzberg, 2017-2019 (Die 1. Brutperiode berücksichtigt alle aktiven Gelege der Hauptlegephase April bis 1. Dekade Mai)



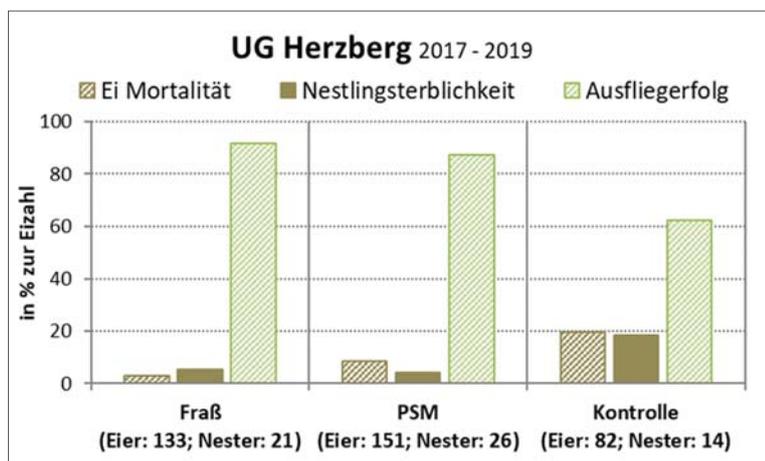
Bruterfolg der Kohlmeise (*Parus major*) im UG Lieberose, 2016-2018



Bruterfolg der Kohlmeise (*Parus major*) im UG Herzberg, 2017-2019



Bruterfolg des Trauerfliegenschnäppers (*Ficedula hypoleuca*) im UG Lieberose, 2016-2018



Bruterfolg des Trauerfliegenschnäppers (*Ficedula hypoleuca*) im UG Herzberg, 2017-2019

B. Nahrungsspektrum

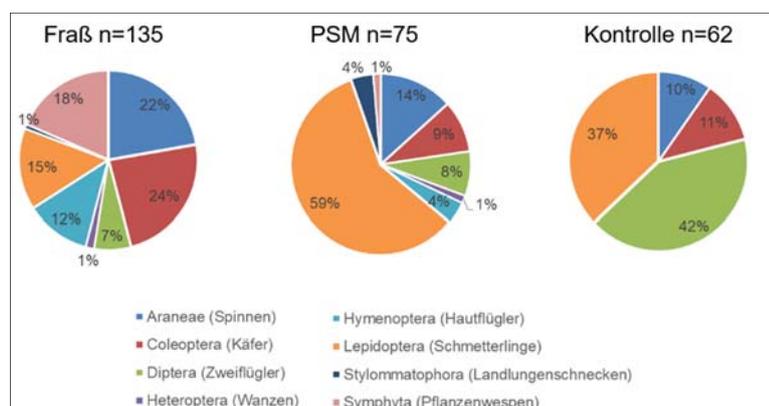
Der eigentliche Ansatz, die Bilder der Wildkameras zur Auswertung des Nahrungsspektrums zu nutzen, musste trotz der guten Qualität der Bildaufnahmen als nicht geeignet aufgegeben werden. Nur in den wenigsten Fällen war im Schnabel der einfliegenden Eltern die Arthropodengruppe identifizierbar. Das verfütterte Nahrungsspektrum konnte bisher nur unzureichend dokumentiert werden. Hierzu waren 2018 Wildkameras in der Nähe des Einfluglochs angebracht worden. Die Observation erbrachte in der Bildqualität nicht die gewünschten Ergebnisse, gleichwohl der Brutverlauf (Fütterungsaktivität) und einzelne Prädatoren erfolgreich dokumentiert wurden.

Mit Hilfe des Einsatzes eines Video-Solarnistkastens sollte die Dokumentation der verfütterten Nahrungstiere qualitativ und quantitativ verbessert werden. Der Einsatz musste jedoch wegen technischer Einschränkungen vor Ort im Wald abgebrochen werden. Um dennoch Aussagen zum verfütterten Nahrungsspektrum zu ermöglichen, wurden für 2019 als eine praktikable und nicht invasive Methode Kotanalysen aus Kotblasen der Jungvögel geplant (FLINKS 2013, MICHALSKI et al. 2011).

2019 wurde für das UG Herzberg eine Kotprobenanalyse in Auftrag gegeben (FLINKS). Im Freiland konnten insgesamt 35 Kotproben von Nestlingen der Kohlmeise (11 x „Kontrolle“, 10 x „PSM“, 14 x „Fraß“) und 30 Proben vom Trauerfliegenschnäpper (8 x „Kontrolle“, 11 x „PSM“, 11 x „Fraß“) gewonnen werden.

Die Ergebnisse der Kotproben ergaben deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Nahrung für alle drei Zustandsvarianten. Nachweise der Nahrungsbestandteile erfolgten in wie folgt zugeordneten Kategorien: Lepidoptera (Schmetterlinge), Diptera (Zweiflügler), Coleoptera (Käfer), Araneae (Spinnen), Symphyta (Pflanzenwespen), Hymenoptera (Hautflügler), Heteroptera (Wanzen) und Stylommatophora (Landlungenschnecken).

Auf den Flächen „Fraß“ und „PSM“ wurden aus jeweils allen Gruppen Material bestimmt. Für die „Kontrolle“ erfolgte der Nachweis nur für die vier erstgenannten Gruppen (Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Araneae). Die mit Abstand höchste Dominanz einer Gruppe, den Lepidoptera, wurde mit 59 % der Gesamtnachweise auf den UF „PSM“ registriert. Markant waren auch die Funde von 42 % Diptera bzw. 37 % Lepidoptera auf den „Kontroll“-Flächen. Für die „Fraß“-Flächen wurde die größte Diversität der Nahrung ermittelt, mit Anteilen der Gruppen zwischen 24 % (Coleoptera) bzw. 22 % (Arachneae) und jeweils 1 % (Heteroptera und Stylommatophora). Diese Daten müssen zukünftig im Zusammenhang mit den Ergebnissen des Teilvorhaben 1 betrachtet werden.



Kotprobenanalyse für Jungvögel der Kohlmeise

ERREICHTE NEBENERGEBNISSE

A. Maßnahmen zum Schutz und zur Förderung der Vogelfauna

Eine für das Projektziel eher nebensächliche, aber für weitere Untersuchungen und vor allem die Forstpraxis sehr wesentliche Erkenntnis war die mit den Wildkameras dokumentierte lokal hohe Räuberaktivität von Baumarder und Waschbär. Prädation war Ursache erheblicher Verluste bei den Bruten.

Die Rolle der Marderartigen und Katzen als typische Nistkastenräuber ist hinlänglich bekannt. Entsprechende „mardersichere“ Nistkastentypen wurden vielfältig entwickelt, die alle durch einen vergrößerten Abstand zwischen Flugloch und Brutraum als Eingreifschutz gekennzeichnet sind. Der flächendeckend verbreitete Waschbär ist allerdings als kletterfähiger Allesfresser mit langen Vorderläufen und ausgeprägtem Tastsinn nachweislich fähig, auch diese Marderschutzvorrichtungen zu überwinden.

Mit dem Einsatz von Wildkameras im Nahbereich der Nistkästen wurden aufschlussreiche Verhaltensmuster

der Nesträuber offenbar. Das machte eine kritische Beurteilung der verwendeten Nistkastentypen notwendig und unterstreicht die Dringlichkeit des Einsatzes räubersicherer Nistkästen im Wald. Im Verlauf der Untersuchungen wurden deshalb die Brutmöglichkeiten angepasst und Erfahrungen publiziert, unter anderem im Naturmagazin Brandenburg. So sollte eine möglichst breite Zielgruppe erreicht werden (SEDLACZEK & MENGE 2019 b, 2019 c). Beim Eberswalder Winterkolloquium des LFE (2019) wurden die Forstpraktiker mit einem Poster zum Thema informiert.

Nistkästen stellen nach wie vor eine sinnvolle Ergänzung bzw. einen Ersatz für Vogel-Brutstätten (Naturhöhlen) in höhlenarmen Waldbeständen dar. Lokal wird mitunter die Ansiedlung höhlen- und nischenbrütender Vögel gesteigert. Sie eignen sich zudem bestens, den Lebenszyklus eines Vogels vom Nestbau bis zur Fütterung der Jungen zu beobachten. Problematisch ist jedoch, Vögeln mit Nistkästen zusätzlichen Brutraum anzubieten, diese damit aber unter Umständen gleichzeitig einer erheblich höheren, künstlich erzeugten Sterbefahr - der Prädation - ausgesetzt ist.

Ein bedeutender Faktor für den Prädationserfolg ist die Höhe des eingetragenen Nistmaterials. Je höher das gebaute Nest, umso leichter werden Eier oder Jungvögel greifbar. Wenn nicht durch den direkten Zugriff in die Nistmulde, werden beim Herausziehen des Nistmaterials die sich daran festkrallenden Jungvögel zur leichten Beute. Neben Gelege oder Nestlingen wird auch allzu oft ein im Nest anwesender Elternvogel erbeutet. Dieser missliche Umstand liegt in der zumeist nächtlichen Räuberaktivität begründet. Den Räubern fallen so auch Vögel zum Opfer, die die angebotenen Nistkästen im Jahresverlauf als Schlafhöhle nutzen. Die prädati- onsbedingte Erhöhung der Sterberate wiegt insofern schwer, weil so standorttreue Brutvögel der lokalen Population stetig entzogen werden. Diese ist dann auf Zuzug aus dem Umfeld angewiesen. Damit können Nisthöhlenkästen, statt Vogelschutzmaßnahme zu sein, zur ökologischen Falle werden.

Grundsätzlich werden entsprechend der Beobachtungen und der Ergebnisse zum Bruterfolg in Waldhabitaten ausschließlich Nistkästen mit vorgezogenem Flugloch als Eingriffsschutz vor Mardern empfohlen. Bei großem Kastenangebot ist eine unregelmäßige, nicht lineare und nicht rasterförmige Anordnung im Waldbestand angebracht, um die Wahrscheinlichkeit des Entdeckens zu verringern. Giebelförmige Dächer oder anderweitige Dachstrukturen mit wenig Halt für Pfotenräuber mindern das Prädationsrisiko. Siedlungen mit Gärten bieten die Möglichkeit, Nistkästen an Hauswänden oder mit Hilfe von Gestängen zu installieren. So lässt sich gegebenenfalls das Nesträuberproblem entschärfen.

Diesbezüglich birgt die viel gepriesene Langlebigkeit eines Holzbeton-Kastens Licht und Schatten. Denn ohne jegliche Marderschutzvorrichtung oder mangelnde Säuberung wird seine „Fallenfunktion“ viele Jahre aufrecht erhalten und kann mit der Zeit noch verstärkt werden. Das gilt auch für ungeschützte Halbhöhlenkästen, die deshalb in Parks oder Wäldern nicht angeboten werden sollten. Denn außer dem sogenannten Pfotenwild sind auch Eichelhäher und Buntspecht schnell dabei, die Kästen zu räubern – spätestens, sobald die ersten Bettelrufe der Jungvögel zu hören sind.

Eine jährliche Säuberung ist wegen des sich aufstauenden Nistmaterials wichtig. In Naturhöhlen wird Nistmaterial durch ein spezielles Mikroklima viel schneller zersetzt als in Nistkästen. In Gebieten mit hoher Waschbärendichte besteht deshalb trotz Marderschutzvorrichtung und weiterer Vorkehrungen die Gefahr des Ausräuberns.

Ein möglicher Lösungsansatz wäre, das Flugloch vor dem direkten Eingriff zu schützen. Dazu gibt es mehrere Ideen, beispielsweise den Nistkastentyp „Neschwitz“. Er wurde in den frühen 1960er Jahren an der sächsischen Vogelschutzwarte in Neschwitz entwickelt und besitzt statt eines frontalen Flugloches einen verdeckten Einflugschlitz. Dadurch ist der Zugriff durch Nesträuber in das Kasteninnere kaum möglich. Nach eigener Erfahrung wird er von mehreren Waldvogelarten angenommen. Durch die stammgebundene Anbringung des Kastens bleibt dieser für Räuber zwar leicht erreichbar, da der direkte Zugriff aber erschwert ist, erhöht sich die Überlebenschance für die Nistkastenbewohner.

Literatur: ABBO (2001): Die Vogelwelt von Brandenburg und Berlin. Rangsdorf. • BAUER, H.-G.; BEZZEL, E.; FIEDLER, W. (2005): Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Wiebelsheim. • FLADE, M. (1994): Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in der Landschaftsplanung. - IHW Verlag, Eching, 879 S. • FLINKS, H. (2013): Tatort Weideter: Warum Kotanalysen für die Ökologie der Vögel wichtig sind. Der Falke 60: 280-284. • GLUTZ v. BLOTZHEIM, Urs N. (Hg.); GLUTZ V. BLOTZHEIM, URS N.; BAUER, K. M. u.a (1993): Handbuch der Vögel Mitteleuropas. Band 13.1: Passeriformes (4. Teil: Muscicapidae-Paridae), Aula-Verlag, Wiesbaden. • LAUTERBACH, M.: (2007): Kiefernwälder – Lebensraum für Vögel? in LWF Wissen 57: Beiträge zur Waldkiefer, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. • MÖLLER, K. (2002): Der Einfluss von Störungen auf die Arthropodenfauna in Kiefernforsten Brandenburgs. Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 36, 2, 77-80. • REIKE, H.-P.; MÖLLER, K. (2018): Neufunde und Seltenheiten in Brandenburgischen Kiefernforsten. Entomologische Nachrichten und Berichte, im Druck. • TREICHEL, D. (2005): Avizönosen in Kiefernwäldern des Nationalparks Unteres Odertal – Untersuchungen zur Strukturabhängigkeit. OTIS 13, Sonderheft: 19-28 S. • UMWELTBUNDESAMT (2017): Schutz des Naturhaushaltes vor den Auswirkungen der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln aus der Luft in Wäldern und im Weinbau. Texte 21/2017, 245 S.

ERZIELTE ERGEBNISSE IM TEILVORHABEN 2:

- Die Ergebnisse qualifizieren die ökologische Bewertung von Insektizidmaßnahmen in Wäldern per Hubschrauber im Hinblick auf die möglichen Auswirkungen auf den Naturhaushalt. Es wurden umfangreiche und detaillierte Informationen zu direkten und langfristigen Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln (UF „PSM“) bzw. von Kahlfraßereignissen forstschädlicher Insekten (UF „Fraß“) auf die Brutvogelfauna in Kiefernforsten gewonnen.
- Die Projektverlängerung ermöglichte eine Dauer des Nistkastenbasierten Brutvogelmonitorings für jeweils 3 Jahre. Somit wurde die statistische Robustheit der Datenlage wesentlich verbessert.
- Das mehrjährige standardisierte und somit vergleichbare Nistkastenmonitoring war Voraussetzung dafür, eine große Zahl Brutnester der charakteristischen Kiefernwald-Höhlenbrüterarten in die Auswertung einzubeziehen. So können die jährlichen Besiedlungsschwankungen lokaler Populationen abgepuffert und die Repräsentativität erhöht werden.
- Die Ergebnisse der einzelnen Jahre zeigten gut übereinstimmende Tendenzen für die jeweiligen Flächenzustände („Kontrolle“, „Fraß“, „PSM“) auf. Diese konzentrierten sich aufgrund der sehr heterogenen Anzahl an auswertbaren Brutnestern vornehmlich auf die Vogelarten Kohlmeise, Tannenmeise und Trauerfliegenschnäpper. Diese Ergebnisse zeigen, dass:
 - die Reproduktionswerte bei Höhlenbrütern (Insektenfresser) in den Folgejahren nach einer Insektizidapplikation in Kiefernforsten im Vergleich zu unbeeinflusst gebliebenen Kontrollflächen stabil sind (Trend),
 - das Nahrungsangebot nach einmaliger Insektizidapplikation des untersuchten Kontaktinsektizids KARATE FORST *flüssig* ab der auf den Einsatz folgenden Brutsaison kein limitierender Faktor ist und eventuelle Effekte in den Folgejahren z. B. durch negative Witterungseinflüsse überlagert werden.
- Es wird resümiert, dass der Waldcharakter (Habitatqualität) langfristig einen höheren Stellenwert in Bezug auf den Bruterfolg der untersuchten Waldvogelarten hat als der hier untersuchte einmalige Insektizideinsatz im Sinne einer ultima ratio mit dem Ziel des Erhalts des Baumbestandes.
- Das Projekt hat nebenbei einen wichtigen Waldschutzbeitrag hinsichtlich der Förderung der natürlichen Gegenspieler in zwei Hauptschadgebieten von Kiefernbestandsschädlingen geleistet. 2.615 Jungvögel wurden in den zusätzlich bereit gestellten Nistkästen flügge: 1.761 Kohlmeisen, 450 Trauerfliegenschnäpper, 283 Tannenmeisen, 46 Blaumeisen, 34 Gartenrotschwänze, 26 Haubenmeisen und 15 Kleiber. Die Nistkästen werden zukünftig von Förstern des Landesbetriebes Forst Brandenburg weiter betreut.

Teilvorhaben 3

Waldökologische Forschung zu den Auswirkungen von Insektizidmaßnahmen auf die Arthropodendiversität und trophische Interaktionen in Eichenwäldern

AUSGANGSSITUATION UND BISHERIGE ZWISCHENBERICHTE

Der Zwischenbericht 2016 umfasste - als Grundlage des Teilvorhabens - die Literaturstudien zum Einfluss von Waldstrukturen auf Massenvermehrungen von Schadinsekten und zu den Nebenwirkungen der Insektizide DIMILIN 80 WG und MIMIC auf Nichtzielorganismen in Labor und Feld. Die Konzepte der ökologischen und physiologischen Sensitivität sowie „outbreak effects“ wurden als weitere Kriterien zur Abschätzung und zum Management der Nebenwirkungen auf Nichtzielorganismen sowie der Beurteilung ökologischer Schäden (SCRIBER 2004 b) präsentiert (vgl. Abs. 2. Stand der Wissenschaft und Technik: Konzeptionelles Vorgehen zur Abschätzung von Risiken).

Der Zwischenbericht 2017 präsentierte die Auswahl einer weiteren Versuchsfläche („Bauernschlag“), und den Inhalt der Feldstudien von 2017 auf den beiden Versuchsflächen Greutholz und Bauernschlag. Zusätzlich wurden die vorläufigen Ergebnisse der gesamten Feldstudien des Teilvorhabens dargestellt. 2017 wurden Zweigprobenahmen als neue Methodik in den Drohnenexperimenten (Greutholz; DIMILIN, MIMIC) etabliert und erwiesen sich sogleich als besonders effektiv für die Erfassung der Lepidoptera-Larven. Im Helikopterexperiment 2017 (Bauernschlag; DIMILIN, DIPEL ES, MIMIC) wurde eine signifikante Reduktion der Schwammspinnerzahlen bei allen eingesetzten Insektiziden nachgewiesen. DIMILIN war hierbei das effektivste Mittel gegen den Zielorganismus Schwammspinner. Bei ersten Metabarcoding-Analysen fanden sich nur Hinweise auf eine signifikante Insektizidwirkung zwischen DIMILIN und Orthoptera bezüglich der Nichtzielorganismen. Zusätzlich wurden in einem Experiment im Jahr 2017 die Unterschiede der Minierer-Abundanzen der Blattober- und Blattunterseite zwischen den verschiedenen Pflanzenschutzmitteln verglichen. Dabei wurden keinerlei Unterschiede zwischen den Blattseiten oder den Pflanzenschutzmitteln aufgefunden.

Der Zwischenbericht 2018 ging auf weitere Analysen der Daten von 2017 ein. Bei Betrachtung der Mortalität der Lepidoptera-Larven stellte sich Mimic durch seine schnelle und nicht selektive Wirkung zwar als zuverlässigere Substanz zur Bekämpfung von schädlichen Lepidoptera heraus, zeigte jedoch größere Auswirkungen auf Nichtzielorganismen unter den Schmetterlingen. In Bezug auf die Morphospecies-Diversität zeigten sich höhere Morphospecies-Anzahlen und stärkere Dominanzmuster (d.h. geringere Evenness) bei behandelten Bäumen. Der Grund liegt wahrscheinlich in den selteneren Arten, die nicht bei unbehandelten Bäumen gefunden wurden. Mit DIMILIN behandelte Bäume und mit MIMIC behandelte Bäume unterschieden sich zudem jeweils in ihrer Beta-Diversität (Unterschiedlichkeit zwischen den Bäumen desselben Behandlungstyps). Die vertiefenden Analysen zu den Blattminierern zeigten für 2016 und 2017 konsistente Effekte von DIMILIN bei Minierern der Blattoberseite, während MIMIC wirkungslos blieb. Sie förderten zudem die Annahme, dass vor allem die Eier der Microlepidopteren durch ihre Exposition auf der Blattoberfläche sensitiv gegenüber Insektiziden sind. Die 2018 durchgeführten Bodenprobenahmen auf beiden Versuchsflächen wurden im Zwischenbericht vorgestellt und die Ergebnisse aus Bauernschlag präsentiert. Dort ließen sich ein Jahr nach der Behandlung keine signifikanten Effekte der Insektizide auf die Abundanzen von Collembola und Acari sowie auf die Diversität der Bakterienflora finden.

Im Abschlussbericht 2019 werden die abschließenden Analysen der Blattminierer und der Bodenproben aus den Drohnen- und Helikopterexperimenten 2016 bis 2018 präsentiert. Außerdem werden die Experimente der Schwammspinner-Feldkampagne in 2019 inklusive ihrer ersten Datenanalysen vorgestellt.

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE ERGEBNISSE

A. Drohnenexperiment Greutholz

1. Zusammenfassung Drohnenexperiment 2016

In einem groß angelegten Freilandexperiment (Zeitplan vgl. Abb. Tv3-A 1) in einem Eichen-Mittelwald in Willanzheim (bei Kitzingen, Bayern, Deutschland) wurden einzelne Bäume mit einem Kleinhubschrauber behandelt. Die Fläche in Willanzheim wurde mithilfe einer Dichteabschätzung, die von der LWF im Winter 2015/2016 durchgeführt wurde, ausgewählt. Aufgrund der Daten lag die Vermutung eines Ausbruchs des

Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) im Sommer 2016 nahe. Neben den Dichteabschätzungen wurden alte Raupennestern in den Bäumen gezählt. Diese Zählungen erwiesen sich jedoch als unzuverlässig.

Bei den drei Behandlungen - MIMIC, DIMILIN und Kontrolle (keine Behandlung) - wurden Einzelbäume in 10 Blöcken in das Experiment miteinbezogen (Abb. Tv3-A 2). In jedem der Blöcke wurde jeweils ein stark und ein schwach befallender Baum (mit Hilfe von Kotsammlern festgestellt) ausgewählt. Vor der Behandlung wurden die Bäume beprobt (Astschütteln an je zwei Ästen in der Krone; nach der Behandlung in regelmäßigen Abständen durchgeführt). Mithilfe ausgelegter Tücher (Totfall-Planen), auf denen die herunterfallenden toten Larven gesammelt wurden und mithilfe von Kotfalltafeln wurde die Effizienz der Mittel geprüft.



Abb. Tv3-A 2: LINKS - Versuchsansatz, MITTE: Besammlung der Krone, RECHTS: Sammlung von toten Raupen

Die Ergebnisse der Totfall-Planen (Abb. Tv3-A 3) zeigen, dass beide Insektizide auf Zielorganismen wirkten - MIMIC wirkte jedoch schneller als DIMILIN. Es wirkte sich zudem negativ auf Nichtzielorganismen aus, während DIMILIN nur gegenüber der Familie Notodontidae (Zielorganismus) effektiv war. Die Kotmuster (Abb. Tv3-A 3) bestätigen die Effektivität der eingesetzten Mittel.

Die Astschüttelungen zur Gewinnung lebendiger Lepidoptera-Larven für die Zucht (zur Identifikation von Arten und Parasitierungsgraden) kristallisierten sich als ungeeignete Methode heraus. Die Zucht wurde mit geringem Erfolg abgeschlossen. Die daraus gewonnenen Erfahrungen wurden für die erfolgreiche Folgekampagne 2017 herangezogen. Aus den Astschüttelungen wurden weitere Arthropodenproben gewonnen, die auf Ordnungsniveau sortiert und anschließend für statistische Analysen der Insektizid-Wirkung auf die Nichtzielorganismen herangezogen wurden. Weder bei Mimic noch bei Dimilin konnte sich ein signifikanter Effekt auf Ordnungsniveau finden lassen.

Zuzüglich wurden Blattproben genommen und auf die Abundanz, das Vorkommen (Präsenz/Absenz), sowie das Artenreichtum von Gallbildnern und Eichenblattminierern hin untersucht. Sie zeigten, dass Minierer der Blattoberseite ökologisch sensitiv gegenüber DIMILIN sind. Bei Gallenbildnern wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen beobachtet und insgesamt nur geringe Anzahlen davon gefunden. Weitere Ergebnisse werden im Abs. 3. Drohnenexperiment 2018 gegeben.



Abb. Tv3-A 1: Zeitplan des Drohnenexperiments in 2016

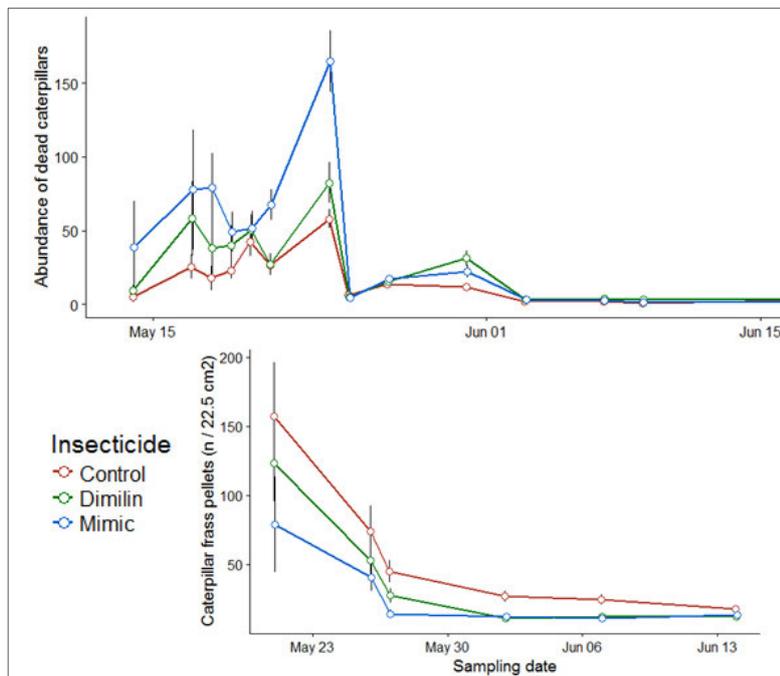


Abb. Tv3-A-3: OBEN - Abundanz toter Raupen auf den Sammlungstüchern und UNTEN - Anzahl der Koteinheiten (frass pellets) pro 22.5 cm² (Probe von Klebetafeln) Die Grafiken zeigen Mittelwerte und Standardfehler.

2. Zusammenfassung Drohnenexperiment 2017

Das Freilandexperiment im Greutholzer Eichen-Mittelwald in Willanzheim (bei Kitzingen) wurde im Jahre 2017 wiederholt und angepasst. Damit sollte zum einen die Beständigkeit der in 2016 gefundenen Effekte überprüft werden, zum anderen sollten längerfristige Effekte auf die Artengemeinschaft überwacht werden (ein Jahr nach der Besprühung und infolge zweier konsekutiver Insektizidapplikationen), außerdem die Standardisierung und Vergleichbarkeit der Daten im Jahre 2017 betrachtet werden. Aus diesem Grund wurden dem Versuchsdesign 20 weitere, unbehandelte Bäume hinzugefügt. Sie dienten als Kontrolle oder wurden mit DIMILIN behandelt (Abb. Tv3-A-4). Im Jahr 2017 beinhaltete das Drohnenexperiment dadurch insgesamt 80 Bäume, darunter zehn Replikate.

In 2017 wurden die Astschüttelungen durch standardisierte Zweigprobenahmen mittels Seilklettertechniken (SKT-A) ersetzt. Hierfür wurden Zweige nach standardisierten Kriterien ausgewählt und nach Umschließung mit einem Beutel, abgeschnitten (Persönliche Kommunikation mit Professor Timothy Schowalter; Ozanne, 2005). Die Probenahmen erfolgten einmal vor der Behandlung und dreimal danach (Abb. Tv3-A-5). Zur Prüfung der Insektizid-Effizienz wurden wiederum Totfall-Planen herabfallender Raupen herangezogen. Die neue Zweigprobenahme-Methodik erbrachte fast doppelt so hohe Lepidoptera-Anzahlen und wirkte sich daher positiv auf die Lepidopteren-Beprobung aus. Weitere Ergebnisse werden im Abs. 3. Drohnenexperiment 2018 gegeben.

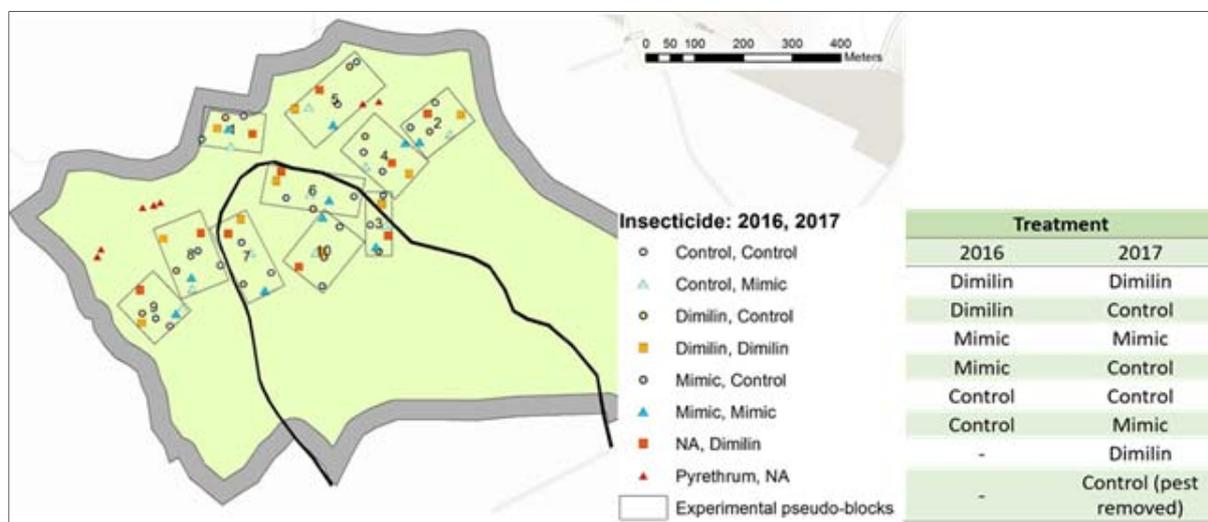


Abb. Tv3-A-4: Versuchsdesign Drohnenexperiment Greutholz (Willanzheim, Kitzingen) in 2017

Task	APRIL 2017																														
	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	
Climbing course																															
Field work preparation																															
Field work: rope set-up																															
Field work: sheets set up Greutholz																															
Field work: pre-spray sample Greutholz																															
Lab work: caterpillar rearing																															
Task	MAY 2017																														
	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed
Field work: spray Greutholz																															
Field work: pre-spray sample Greutholz																															
Field work: post-spray sample #1 Greutholz																															
Field work: sheets collection Greutholz																															
Lab work: caterpillar rearing																															
Task	JUNE 2017																														
	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	
Field work: post-spray sample #1 Greutholz																															
Field work: post-spray sample #2 Greutholz																															
Field work: post-spray sample #2 Greutholz																															
Field work: sheets collection Greutholz																															
Lab work: caterpillar rearing																															
Task	JULY 2017																														
	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon
Lab work: caterpillar rearing																															
Task	AUGUST 2017																														
	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu
Lab work: caterpillar rearing																															
Task	September 2017																														
	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
Field work: post-spray sample #3 Greutholz																															

Abb. Tv3-A-5: Zeitplan des Drohnenexperiments in 2017

3. Weitere Auswertungen aus den Jahren 2018 und 2019

3a. Mortalität der Schmetterlingsraupen während der Behandlungen (Totfall-Planen)

Bereits die vorläufige Auswertung verdeutlichte, dass sowohl MIMIC als auch DIMILIN die Abundanz und Fraßaktivität von Schmetterlingsraupen im Experiment 2016 reduzierten (Abb. Tv3-A-6). Die Einflüsse zwischen den unterschiedlichen Taxa unterschieden sich jedoch:

- MIMIC erhöhte die Mortalität aller dominanter Familien. Der Einfluss auf die exponiert auf dem Blatt fressenden Macrolepidoptera war hierbei größer, als jener auf die eher geschützt fressenden Wickler (Tortricidae).
- DIMILIN erhöhte tendenziell - wenn auch nicht in statistisch signifikantem Ausmaß - die Mortalität der Geometridae, Noctuidae und Tortricidae. Es wirkte sich lediglich signifikant auf die Familie der Prozessionsspinner (Thaumetopoeidae), zu denen der Eichenprozessionsspinner gehört, aus (Abb. Tv3-A-7).
- DIMILIN wirkt im Vergleich zu MIMIC relativ langsam. Deshalb sind die im Frühjahr vorkommenden und sich schnell entwickelnden Lepidoptera, die die Mehrheit der Arten an der Eiche ausmachen (SOUTHWOOD et al., 2004), nur für eine sehr kurze Zeit einer erhöhten Mortalität ausgesetzt. Die Eichenprozessionsspinnerlarven, die erst ab dem späten April bis Ende Juni fressen, sind der Substanz hingegen für eine lange Zeit ausgesetzt und erfahren deshalb eine deutlich höhere Mortalität durch DIMILIN als die anderen Schmetterlingsgruppen.
- MIMIC ist eine zuverlässigere Substanz, um Gradationen von Schmetterlingsarten zu bekämpfen, da es schneller und unselektiv wirkt. Dies bedeutet andererseits aber auch, dass die Auswirkungen auf Nichtzielorganismen unter den Schmetterlingen deutlich höher sind (Abb. Tv3-A-7).

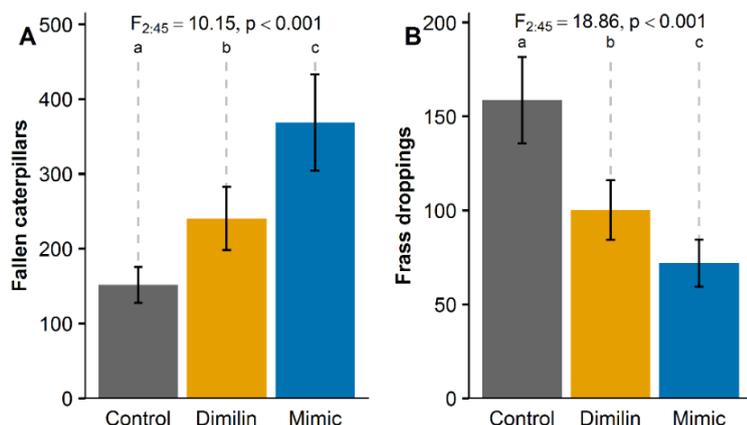


Abb. Tv3-A-6: Wirkung von DIMILIN und MIMIC auf Schmetterlingsraupen in der Krone: (A) Anzahl der Raupen auf den Totfall-Planen als Maß für die Larven-mortalität, (B) Anzahl der Kotschoten in den Kotsammlern unter der Krone als Maß für die Fraßaktivität der Raupen (Drohnenexperiment 2016)

(Mittelwerte pro Baum \pm Standardfehler, Test-statistik Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$))

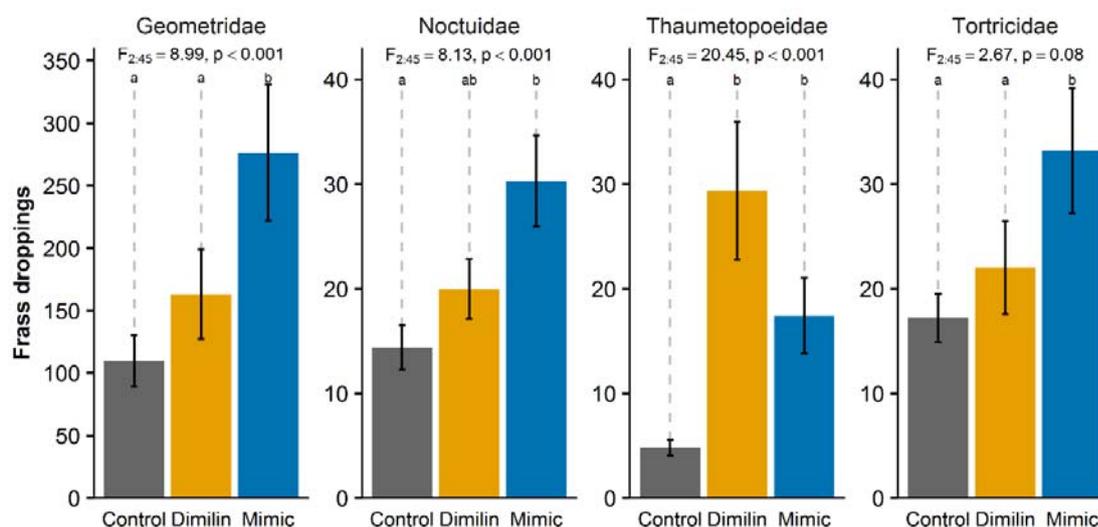


Abb. Tv3-A-7: Anzahl der Raupen unterschiedlicher Schmetterlingsfamilien (Geometridae, Noctuidae, Thaumetopoeidae and Tortricidae) auf den Totfall-Planen als Maß für die Larvenmortalität (Drohnenexperiment 2016)

(Mittelwerte pro Baum \pm Standardfehler, Test-statistik Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$))

3b. Effekte auf die Diversität (Morphospecies)

In 2018 wurden die von den Bäumen gefallenen Raupen auf Morphospecies-Ebene bestimmt. Interessanterweise war die Anzahl der Morphospecies auf den Totfallplanen unter behandelten Bäumen höher als unter nicht behandelten Bäumen, wobei die höchsten Morphospecies-Anzahlen bei MIMIC-Bäumen gefunden wurden (Abb. Tv3-A-8). Die behandelten Bäume zeigten auch eine geringere Gleichverteilung (Evenness) unter den Arten, was zugleich bedeutet, dass ein höherer Anteil der Arten zu den dominanten Arten Frostspanner und Eichenprozessionsspinner gehörte.

Auch die Beta-Diversität (Unterschiedlichkeit zwischen Bäumen des gleichen Behandlungstyps) unterschied sich zwischen mit DIMILIN oder MIMIC behandelten Bäumen (Sorensen-Index, Abb. Tv3-A-9A). Da die Unterschiede kleiner wurden, wenn die Morphospecies abundanzgewichtet (Jaccard-Index, Abb. Tv3-A-9B) oder entsprechende Diversitätsmaße verwendet wurden (Chao-Index, Abb. Tv3-A-9C), ist es wahrscheinlich, dass seltene Arten eher nicht auf den Totfall-Planen unter unbehandelten Bäumen gefunden wurden, sondern auf Totfall-Planen von mit MIMIC behandelten Bäumen. Die Raupengemeinschaften auf den Totfall-Planen von mit DIMILIN behandelten Bäumen hatten eine Zusammensetzung, die sich zwischen der Zusammensetzung der Kontrolle und jener der mit MIMIC-behandelten Bäumen positionieren lässt. Diese Begebenheit passt zu dem moderat schwächeren Effekt von DIMILIN auf die Gesamtheit der Lepidoptergemeinschaft.

Die Morphospecies-Bestimmung wurde Anfang 2019 fertiggestellt und die Extraktion der DNA im Sommer 2019 durchgeführt. 2019 wurden mehrere Individuen pro Art sequenziert und die Ergebnisse mit Referenzdatenbanken verglichen. Es wurde ein Bestimmungsschlüssel der Raupen erstellt, der zukünftig verwendet werden kann.

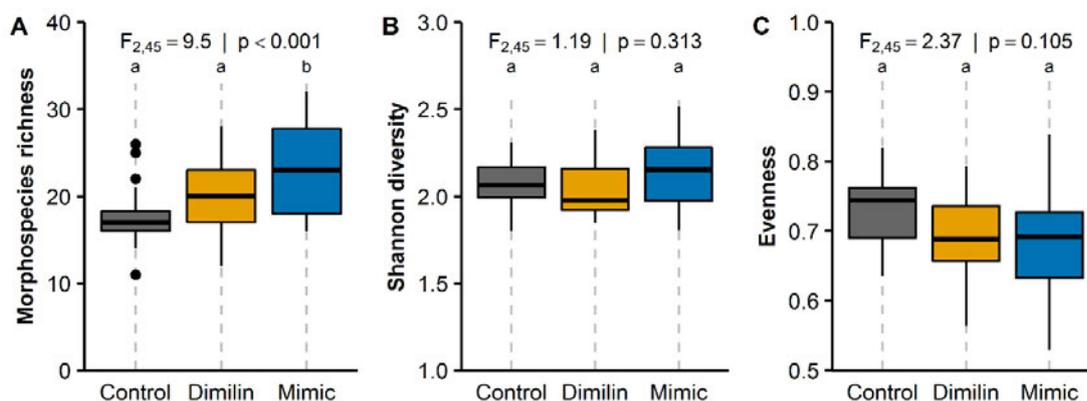


Abb. Tv3-A-8: Diversität der Raupengemeinschaft auf den Totfall-Planen basierend auf einer Determination der Raupen bis zur Ebene der Art (Morphospecies) (Drohnenexperiment 2016)

(Die schwarze Linie innerhalb der Box zeigt den Median an. Test-statistik Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$) – (Morphospecies richness ist die Anzahl der (nicht benannten) Arten, unabhängig von ihrer Häufigkeit; Shannon-diversity und Evenness (Gleichverteilung) basieren auf den relativen Häufigkeiten der verschiedenen Arten)

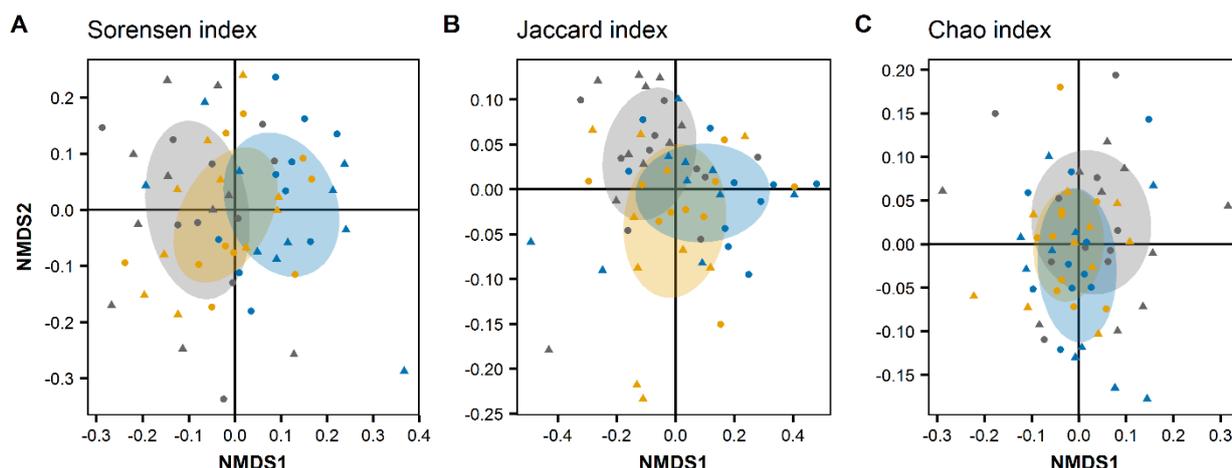


Abb. Tv3-A-9: NMDS-Ordination (Non-metric Multidimensional Scaling) der Lepidopterengemeinschaft auf den Totfall-Planen basierend auf einer Determination der Raupen bis zur Ebene der Art (Morphospecies) (Drohnenexperiment 2016)

(Die Kreise zeigen die Standardabweichung und die Skalierung basierte entweder auf dem Sorensen Index (d.h. Vorkommen der Arten 1/0), auf dem Jaccard index (abundanzgewichtet) oder dem Chao index (gewichtet mit den seltenen Arten))

3c. Blattminierer

Die ersten Analysen zu den Blattminierer-Daten von 2016 zeigten, dass DIMILIN die Anzahl der Blattminierer auf der Blattoberseite reduzierte, während MIMIC keine signifikanten Effekte aufwies (s.o.).

Weitergehende Analysen stellten heraus, dass DIMILIN keinen signifikanten Effekt auf die Anzahl der Blattminierer auf der Unterseite der Blätter hatte (typisch für die Gattungen *Phyllonorycter* und *Caloptilia*), aber auch die Anzahl der Gallen auf der Blattoberseite verminderte (meistens Arten der Gattungen *Stigmella* und *Bucculatrix*). MIMIC hatte hingegen keinen Effekt auf die Blattminierer (Abb. Tv3-A-10). Diese Muster waren sowohl im Frühsommer als auch im Spätsommer konsistent. Obwohl DIMILIN meist aufgrund seiner lipophilen Eigenschaften auf der Blattoberseite verbleibt, haben bereits andere Studien Effekte auf Blattminierer beziehungsweise ihre Eistadien gefunden, z.B. auf die Eier der Kastanienminierermotte *Cameraria ohridella* (NEJMANOVÁ et al., 2006). Die meisten Arten der Blattminierer legen ihre Eier im Frühsommer ab (SOUTHWOOD et al., 2004). Daher findet ihre Entwicklung in der Zeit statt, in der DIMILIN auf den Blättern verbleibt. Der Effekt auf die Blattminierer der Blattoberseite könnte eventuell dem Ausbringen des Insektizids

durch eine Drohne geschuldet sein. Im Gegensatz zum Hubschrauber, erzeugen Drohnen keine Verwirbelungen der Blätter, durch die das Pflanzenschutzmittel auch an die Unterseite der Blätter gelangen kann. Unsere Feldstudie ist eine der ersten zu den Effekten von MIMIC auf Blattminierer und zeigt, dass MIMIC sich unter Feldbedingungen weniger auf die Blattminierer auswirkt als DIMILIN.

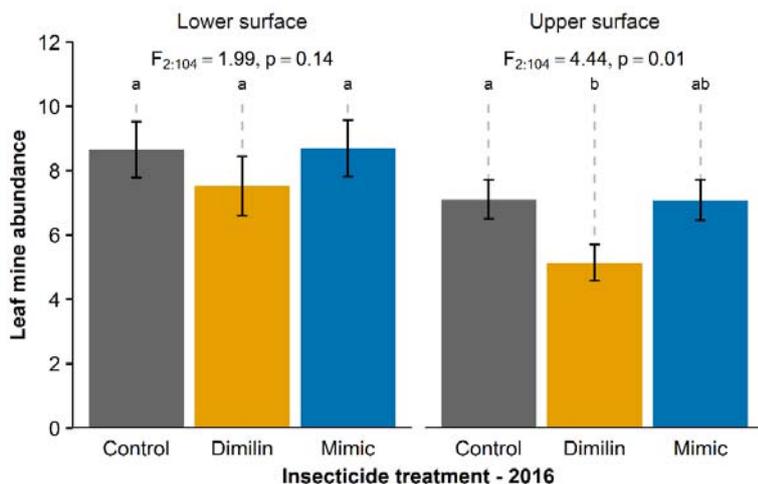


Abb. Tv3-A-10: Anzahl der Blattminen als Funktion der Behandlung (Drohnenexperiment 2016)

(Mittelwerte pro Baum (je 100 Blätter) ± Standardfehler. Die Werte wurden pro Baum über zwei Blattsammlungzeitpunkte (Früh- und Spätsommer) gemittelt. Mittelwerte pro Baum ± Standardfehler, Test-statistik Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$))

Zur Überprüfung der Konsistenz der Effekte wurde die Sammlung von Blattminen 2017 wiederholt. Die Ergebnisse bestätigten die Konsistenz (Tab. Tv3-A-1). Die Anzahl der Blattminen auf der Blattoberfläche wurden wieder durch DIMILIN reduziert, während MIMIC keinen Effekt hatte (Abb. Tv3-A-11). Die Beprobung aus 2019, zum Zeitpunkt der Massenvermehrung des Schwammspinners und dem Einsatz von MIMIC, bestätigte das Ergebnis.

Es gab keine Beeinflussung von Käfern (Coleoptera). Bei Herausnahme dieser (Curculionidae: *Orchestes* sp.) aus dem Datensatz, war der Effekt auf die anderen Lepidoptera-Arten noch deutlicher. Kumulative Effekte der Insektizid-Behandlung (Vergleich von Bäumen, die in beiden Jahren gespritzt wurden mit denen, die nur in einem Jahr behandelt wurden) waren nicht ersichtlich. Bei Bäumen, die 2016 (aber nicht 2017) behandelt wurden, ließ sich kein Effekt der Insektizid-Behandlung aus dem Vorjahr entdecken. Käfer sollten DIMILIN gegenüber ähnlich sensitiv wie Schmetterlinge sein. Da sie allerdings früher aktiv sind und ihre Eiablage zwischen Ende April und Anfang Mai stattfindet (SCHERF 1964), schlüpfen ihre Larven, bevor das Insektizid ausgebracht wird. Diese Begebenheiten unterstützen - zusammen mit unseren Ergebnissen - die Annahme, dass blattminierende Larven physisch vor Insektiziden geschützt sind und nur während der Eiphasse sensitiv sind, weil die Eier dem Insektizid gegenüber exponiert abgelegt werden.

Tab. Tv3-A-1: Ergebnisse der statistischen Analyse (p-Werte) der Blattminierer Daten (Lepidoptera) (Drohnenexperiment 2016)

(Test-statistik Kenward Roger's F tests. Zielvariablen waren entweder die Häufigkeit der Minen oder der Anteil der Blätter mit Minen. Die Analyse wurde entweder für alle Arten durchgeführt oder nur für Arten, die nur auf der Ober- oder der Unterseite von Blättern fressen)

Period	Data subset	Treatment 2016	Treatment 2017	Interaction
July	Abundance - All leaf miners	0.46	0.69	0.98
	Abundance - Upper surface miners (all species)	0.45	0.05	0.47
	Abundance - Upper surface miners (only Lepidoptera)	0.90	0.01	0.28
	Affected leaves - All leaf miners	0.60	0.22	0.92
	Affected leaves - Upper surface miners (all species)	0.15	0.06	0.27
	Affected leaves - Upper surface miners (only Lepidoptera)	0.18	0.07	0.58
August	Abundance - All leaf miners	0.65	0.59	0.52
	Abundance - Upper surface miners (all species)	0.77	0.07	0.80
	Abundance - Upper surface miners (only Lepidoptera)	0.85	0.05	0.91
	Affected leaves - All leaf miners	0.62	0.51	0.94
	Affected leaves - Upper surface miners (all species)	0.69	0.07	0.77
	Affected leaves - Upper surface miners (only Lepidoptera)	0.60	0.03	0.92

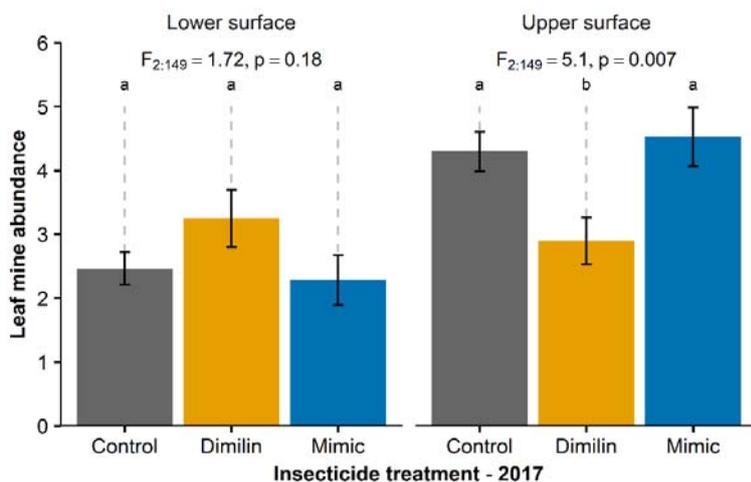


Abb. Tv3-A-11: Anzahl der Blattminen als Funktion der Behandlung 2017 (Drohnenexperiment 2017)

(Mittelwerte pro Baum (je 100 Blätter) \pm Standardfehler. Die Werte wurden pro Baum über zwei Blattsammlzeitpunkte (Früh- und Spätsommer) gemittelt. Mittelwerte pro Baum \pm Standardfehler, Test-statistik Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$))

Möglicherweise ist der Effekt von DIMILIN nicht allein der Sensitivität der Schmetterlingseier geschuldet, sondern auch dem Eiablageverhalten der weiblichen Lepidoptera. Um dies genauer zu betrachten, wurden 2017 zweijährige Eichensetzlinge für drei Monate im Eichenmittelwald exponiert. Die Setzlinge wurden zuvor mit Insektennetzen geschützt und erst kurz vor der Exposition mit DIMILIN, DIPEL (s.u.) oder MIMIC beziehungsweise unbehandelt belassen. Blattminen wurden gezählt und Arten bzw. Gattungen zugeordnet. Die Ergebnisse schienen die Hypothese des Vermeidungsverhaltens bei der Eiablage zu widerlegen. Sie sollten aber mit Vorsicht betrachtet werden, denn das Experiment wies über alle Behandlungstypen hinweg geringe Dichten an Blattminierern auf. Sie könnten allerdings dennoch darauf hinweisen, dass DIMILIN ovizide Effekte auf die Eier von Blattminierern hat und MIMIC nicht. Dieses Ergebnis allein ist jedoch unzureichend, um auszuschließen, dass MIMIC toxische Effekte auf Blattminierer hat. Sowohl DIMILIN als auch MIMIC sind erst toxisch, wenn eine letale Dosis eingenommen wurde. Dementsprechend sind larvizide Effekte abhängig von aktivem Fraßverhalten an behandelten Blättern. Für Blattminierer wäre dies gleichbedeutend mit dem Minierverhalten. Daher ist es unzureichend, Blattminierer nur durch Auszählen der Minen zu observieren, wenn die vollständigen Effekte der Insektizide auf diese Gruppe aufgedeckt werden sollen.

Da DIMILIN und MIMIC als lipophile Substanzen weitestgehend auf der Blattoberfläche verbleiben und Blattminierer daher dem Kontakt durch Fraß in nicht betroffenen Blattgewebsschichten entgehen könnten, müssen zusätzliche Daten zu den Blattminierern erhoben werden, um larvizide Effekte abzuschätzen. Beispiele dafür wären artspezifische Eigenschaften - wie den typischerweise minierten Blattteil, oder Annäherungswerte für die Fitness und Überlebensraten der Blattminierer. Letztere könnten über Anhaltspunkte für die erfolgreiche Entwicklung der Larven gewonnen werden (z.B. Minienlängen, Puppen innerhalb der Mine, charakteristische Larvenaustrittstellen). Obgleich die Probenahme selbst für einen Großteil der Mortalität der Sommerarten verantwortlich sein könnte, wird erwartet, dass larvizide Insektizid-Effekte dennoch im Vergleich zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen zu beobachten sind. Eine Masterarbeit, die Oktober 2019 begonnen wurde, fand jedoch keine Hinweise darauf, dass die Fitness der Larven beeinflusst wurde.

4. Bodenuntersuchungen in 2018

Die Insektizid-Wirkung auf die Bodenfauna wurde in Greutholz vom 18.06.2018 bis zum 26.06.2018 untersucht. Hierfür wurden, abhängig vom Zielorganismus, unterschiedliche Bodenkern-Typen entnommen.

Collembolen wurden untersucht, indem bei jedem Versuchsbaum drei Bodenkern (5 cm tief, 5 cm-Durchmesser) des L/F-Horizonts ohne aufliegende Streu im Abstand von 4 m um den Baumstamm herum genommen wurden. Die Springschwänze wurden anschließend durch Hitzeeinwirkung in einem modifizierten Kempson-Extraktor der Universität Darmstadt extrahiert, in 99% Ethanol gelagert und zunächst auf Ordnungsniveau sortiert, dann durch einen Taxonomen auf Artniveau identifiziert.

Bakterien wurden durch die Entnahme von zehn 10 cm-tiefer Bodenkern des A-Horizonts im Radius von 4

m um jeden Versuchsbaum beprobt. Die Bodenkerne wurden mit einem Pürckhauer-Bohrer entnommen, homogenisiert und 2-3 g hiervon im Anschluss in sterile Eppendorf-Gefäßen abgewogen und auf Trockeneis zwischengelagert. Die Proben wurden später am Institut von Prof. Dr. Schloter im Helmholtz-Zentrum München auf ihre 16S rRNA untersucht.

Nematodenproben wurden gesammelt, indem bei jedem Versuchsbaum drei Bodenkerne (10 cm tief, 5 cm Durchmesser) des A-Horizonts ohne aufliegende Streu im Abstand von 4 m um den Baumstamm herum genommen wurden. Alle drei Bodenkerne jedes Versuchsbaumes wurden jeweils homogenisiert und 10 g für die anschließende Extraktion der Nematoden mit einem modifizierten Trichter nach BAERMANN (1917) eingewogen. Bei der Extraktion aufgetretene Schwierigkeiten verursachten ein Bias in den Daten, weswegen die Nematoden nur probeweise identifiziert und bearbeitet wurden.

Die Bestimmung der Arten der Collembolen und Acari durch taxonomische Spezialisten wurde im Jahr 2019 abgeschlossen. Es zeigten sich hierbei keine nennenswerten Effekte. Aufgrund des Bias bei den Nematodenproben fiel die Entscheidung, die Nematodendaten nicht weiter zu analysieren. Die Bakterienproben wurden zwar bereits 2018 sequenziert, jedoch wurde entschieden, diese Proben nicht weiter zu analysieren, da sich anhand der Analysen der Bakterienproben des Helikopterexperiments 2018 abschätzen ließ, dass wahrscheinlich keine Effekte sichtbar sein würden.

B. Helikopterexperiment Bauernschlag 2017

Wie bereits in den letzten Zwischenberichten beschrieben, wurden in einem weiteren Freilandexperiment in einem Eichenwald im Kreis Schweinfurt (Bayern, Deutschland) Insektizide mit einem Hubschrauber (Meravo-Luftreederei GmbH) ausgebracht. Durch die Helikopterapplikation sollte verstanden werden, wie diese Art der Insektizid-Anwendung die Populationen von Ziel- und Nichtziel-Arthropoden und die Artengemeinschaft in den Eichenkronen beeinflusst. Es sollten dadurch auch die Reaktionen der Artengemeinschaft mit den Eigenschaften verschiedener Insektizide (DIPEL ES, DIMILIN, MIMIC) in Verbindung gebracht werden, ihre Vor- und Nachteile untersucht werden und anschließend die Ergebnisse mit jenen der Drohnenexperimente abgeglichen werden. Die hierfür ausgewählten Versuchsflächen befanden sich in den Waldbeständen Bauernschlag/Vorberg bei Sömmersdorf und Brunnholz bei Egenhausen. Als Zielorganismus wurde der Schwammspinner (gypsy moth bzw. *Lymantria dispar*) betrachtet. 2018 wurde eine Massenvermehrung erwartet.

Die Geoinformationssoftware (GIS) Arc Map 10.4. diente der Erstellung des Versuchsdesigns (Abb. Tv3-B-1). Pufferzonen (insektizidfrei) wurden gemäß den gesetzlichen Richtlinien für aviochemische Maßnahmen aus der Luft mit DIMILIN, MIMIC und DIPEL ES definiert. Entlang des Waldrandes und um temporäre und permanente Gewässer (z.B. Teiche, Bäche, Reservoirs, Entwässerungsgraben) wurden 40 m breite Pufferzonen etabliert. Behandlungsplots wurden generiert, indem ein einfaches Probenahmeraster (Dimensionen: 100 m x 30 m, Separierung durch 40 m breite Pufferzonen) über die verbleibenden „Behandlungsbereiche“ gelegt wurde.

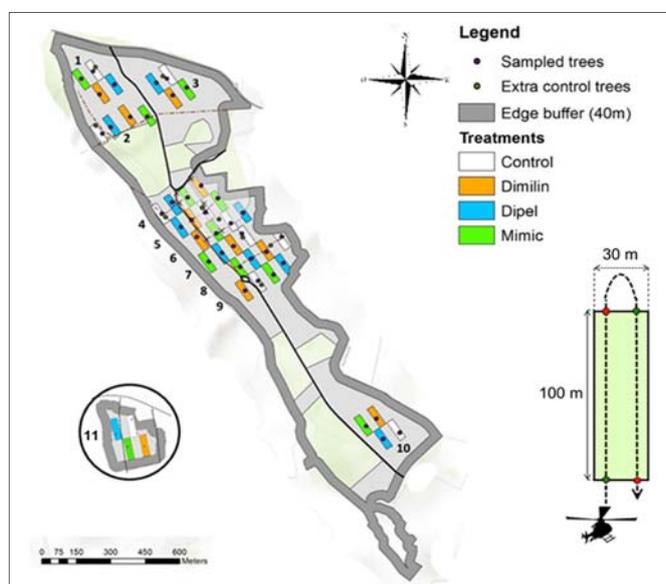


Abb. Tv3-B-1: Versuchsblöcke der Hubschrauberapplikation 2017

(Bauernschlag, Vorberg (bei Sömmersdorf) und Brunnholz (bei Egenhausen), nahe Schweinfurt)

Innerhalb von elf Versuchsblöcken wurden insgesamt 44 Versuchsbäume (dbh > 20 cm) um das Zentrum der Behandlungstreifen gewählt. Sie wurden sowohl vor als auch nach der Behandlung beprobt (Zweigabschneiden an je zwei Ästen im südlichen Mittelteil der Krone). Die Zweigprobenahme wurde nach dem gleichen Prinzip wie in den Drohnenexperimenten 2017 durchgeführt. Dementsprechend wurden gleiche Datentypen in den Bereichen Zucht, weitere Arthropodengruppen (Sortierung auf Ordnungsniveau), Blattproben und Standardisierungsvariablen generiert.

1. Behandlungserfolg

Der Erfolg der Behandlung wurde mit folgenden zwei Methoden gemessen:

- Feststellung der Häufigkeit von Schwammspinnerrauen unter am Stamm angebrachten Plastikbändern. Diese Methode ist sehr effektiv, weil ältere Schwammspinnerrauen bei Tageslicht den Stamm hinunterwandern, um sich tagsüber zu verstecken.
- Messung des prozentualen Blattverlustes an Zweigproben als Maß für die Aktivität der Schwammspinner.

Die Anzahl der in der Krone verbleibenden Schwammspinnerrauen wurde durch alle Insektizid-Behandlungen deutlich reduziert. DIPEL zeigte die geringste Effektivität, welche signifikant geringer war als DIMILIN. Die Effektivität von MIMIC lag zwischen der von DIMILIN und DIPEL (Abb. Tv3-B-2A). Der Blattflächenverlust der Bäume, die mit DIMILIN und MIMIC behandelt wurden, war mit einer Reduktion von etwa 40% signifikant geringer als in der Kontrolle. Bei DIPEL war zwar eine ähnliche Tendenz zu erkennen, die statistische Analyse stellte jedoch keinen signifikanten Trend heraus (Abb. Tv3-B-2B). Bei der Betrachtung dieser Ergebnisse ist jedoch zu bemerken, dass die vorausgesagte Schwammspinnermassenvermehrung nicht stattfand. In der unbehandelten Kontrolle betragen die Blattflächenverluste im Schnitt weniger als 10% (das Maximum lag bei 12%). Da diese Werte fern von jener Gradation liegen, wurde eine weitere Studie für 2019 geplant (s.u.).

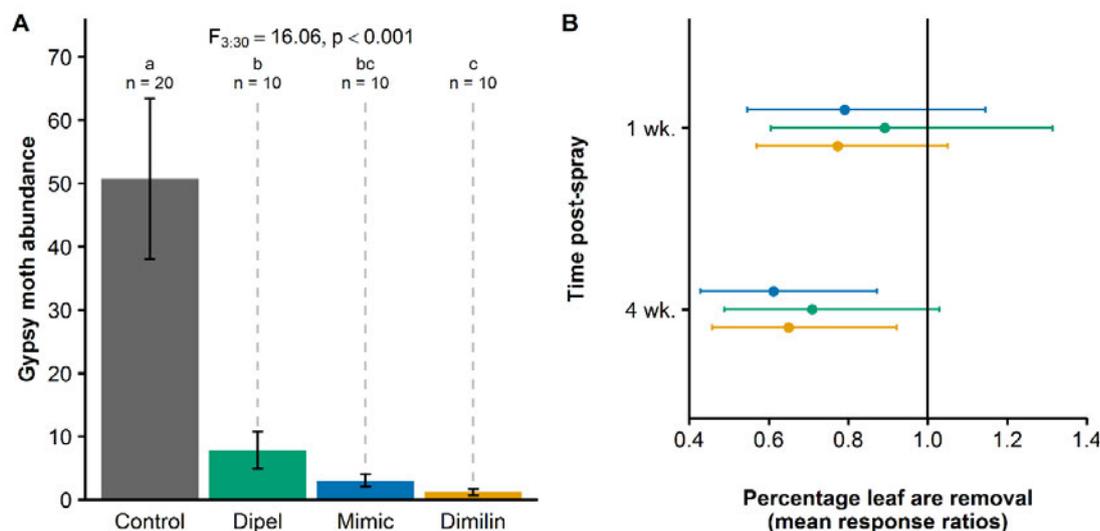


Abb. Tv3-B-2: Wirksamkeit der Insektizidbehandlung (Helikopterexperiment 2018) - (A) Häufigkeit von Schwammspinnerrauen unter Plastikbändern am Stamm, 4 Wochen nach der Behandlung, (B) Änderung im Blattflächenverlust durch Ausbringung des Insektizides 1 Woche und 4 Wochen nach der Behandlung (mean response ratio, $\log(\text{Blattflächenverlust Kontrolle}) - \log(\text{Blattflächenverlust Insektizid})$)

(Die schwarze Linie bedeutet keinen Unterschied. Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$))

2. Effekte auf Nichtzielorganismen 1: Astproben

Die Astproben (=Zweigproben) zur Untersuchung der Effekte auf Nichtzielorganismen wurden einmal vor und zweimal nach den Behandlungen genommen. Ihre Auswertung zeigte saisonale Schwankungen in den Herbivorenpopulationen. Allein der anscheinende Anstieg der Populationen von Blattläusen und Schildläusen (Sternorhyncha) in mit DIMILIN und DIPEL behandelten Bäumen (Abb. Tv3-B-3) war auffällig. Bei MIMIC hingegen blieben die Abundanzen von Sternorhyncha ähnlich zur Kontrolle. Daneben zeigte die Insektizid-Behandlung keine weiteren Effekte auf Ordnungsniveau. Durch die Analyse konnten Mängel an der Astprobenahme, insbesondere für Schmetterlingslarven, aufgedeckt werden. Da die Abundanzen von Lepidopterenlarven bereits früh im Jahr ihren Höhepunkt erreichten, konnten durch die nach der Behandlung

stattfindenden Astprobenahmen keine auswertbaren Mengen an Larven mehr gesammelt werden. Die Daten wurden daher nicht weiter analysiert.

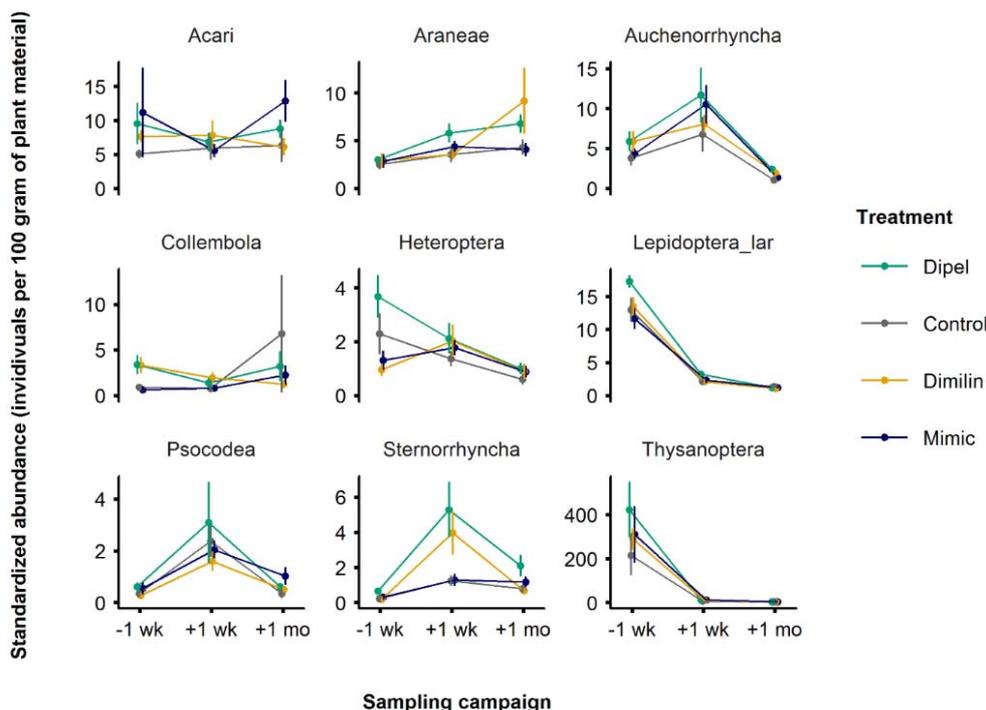


Abb. Tv3-B-3: Häufigkeit der dominanten Arthropodentaxa in den Astproben, eine Woche vor der Insektizidbehandlung, eine und vier Wochen danach (Helikopterexperiment 2017)

(Häufigkeit pro Baum \pm Standardfehler. Daten standardisiert auf Blatttrockengewicht)

3. Effekte auf Nichtzielorganismen 2: Benebelungsproben

Vom 20. bis zum 22. Juni 2017 wurde die sogenannte Methode des „Pyrethrum-knockdowns“ eingesetzt, um Proben aus dem gesamten Kronenbereich der Eichen zu bekommen. Dafür wurden 40 Bäume verschiedener Insektizid-Behandlungen (DIMILIN, DIPEL ES, Kontrolle) benebelt. Die Methode funktioniert folgendermaßen: Natürliches Pyrethrum wird mit Weißöl (Trägersubstanz) gemischt und mit einem „Fogger“ (Heißnebelgerät) in die Baumkrone gebracht. Durch Verbrennung des Pyrethrum-Weißöl-Gemisches steigt die aktive Substanz als Nebel in die Krone auf. Die Benebelung erfordert Windstille und findet daher in der Nacht und frühmorgens statt. Durch die Benebelung rieseln dann Arthropoden herab und werden auf vorab ausgelegten Planen gesammelt. Die 2017 so gesammelten Arthropoden wurden auf Ordnungsniveau sortiert und danach mittels Metabarcoding auf Artenniveau analysiert. Die komplizierte bioinformatische Aufarbeitung ist hier nicht dargestellt.

Vier Wochen nach der Behandlung zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Arthropodengemeinschaften in den Baumkronen der unterschiedlichen Behandlungen (Abb. Tv3-B-4). Dies galt, unabhängig von der Gewichtung der seltenen Arten, sowohl für die Alpha- als auch die Beta-Diversität (Abb. Tv3-B-4, Tv3-B-5).

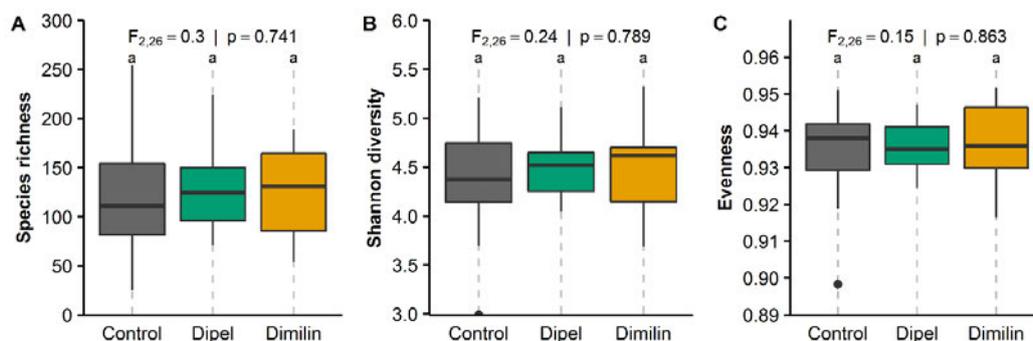


Abb. Tv3-B-4: Diversität der Arthropoden, die durch die Benebelung mit Pyrethroiden gesammelt wurden (Helikopterexperiment 2017)

(Bestimmung durch Barcoding. Die schwarze Linie zeigt den Median an. Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$). Species richness ist die Anzahl der Arten, unabhängig von ihrer Häufigkeit. Shannon-diversity und Evenness (Gleichverteilung) basieren auf den relativen Häufigkeiten der verschiedenen Arten)

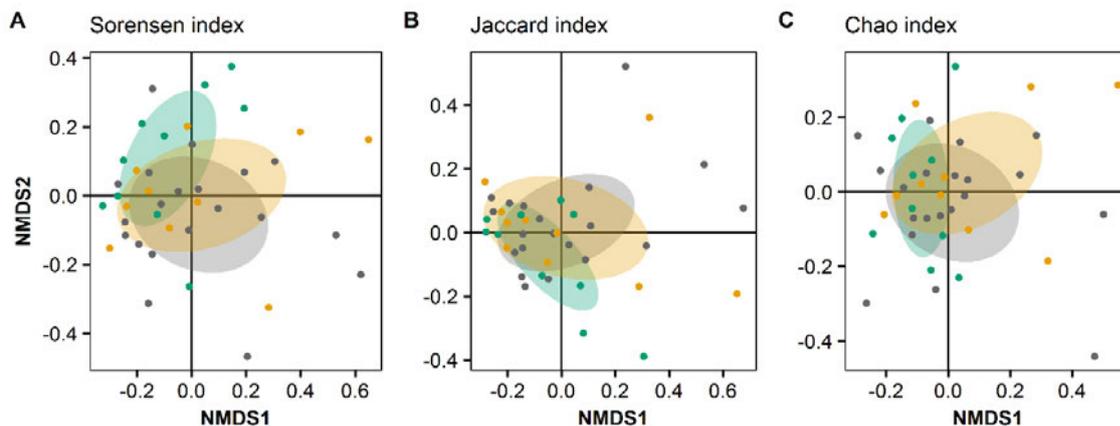


Abb. Tv3-B-5: NMDS-Ordination (Non-metric Multidimensional Scaling) der Arthropoden, die durch die Benebelung mit Pyrethroiden gesammelt wurden (Helikopterexperiment 2017)

(Bestimmung durch Barcoding. Die Kreise zeigen die Standardabweichung und die Skalierung basiert entweder auf dem Sorensen Index (d.h. Vorkommen der Arten $1/0$), auf dem Jaccard index (abundanzgewichtet) oder dem Chao index (gewichtet mit den seltenen Arten))

Die Analyse der Arthropodengemeinschaften auf der Ebene einzelner Taxa zeigte folgende Resultate: Die Ordnungen/Taxa Acari, Araneae, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Neuroptera, Psocodea und Thysanoptera (Daten hier nicht gezeigt) wurden nicht signifikant durch den Insektizideinsatz beeinflusst. Die Springschwänze (Collembola) der Baumkrone wurden interessanterweise durch DIMILIN beeinflusst und wiesen geringere Artenzahlen und Shannon-Diversitäten auf, als die Collembolengemeinschaften auf nicht-behandelten oder mit DIPEL behandelten Baumkronen. Insgesamt fanden sich außerhalb der Lepidoptera wenig Effekte (Tab. Tv3-B-1).

Tab. Tv3-B-1: Mittlere Häufigkeit und Standardfehler verschiedener Familien von Arthropoden, die durch die Benebelung mit Pyrethroiden gesammelt wurden (Helikopterexperiment 2017)

Order	Family	F	p-value	Abundance (mean \pm standard error)			
				Control	Dipel	Dimilin	
Diptera	Dolichopodidae	0.63	0.538	ns	11.6 \pm 1.9	12.2 \pm 1.5	14.4 \pm 3.7
	Sciaridae	0.07	0.935	ns	10.0 \pm 1.9	14.0 \pm 2.9	10.1 \pm 2.8
	Lauxaniidae	4.96	0.015	**	7.2 \pm 1.6	5.6 \pm 1.7	11.2 \pm 4.9
Hemiptera	Aphididae	0.76	0.479	ns	5.8 \pm 1.1	6.2 \pm 1.7	6.6 \pm 2.7
	Cicadellidae	0.83	0.446	ns	28.5 \pm 5.0	25.1 \pm 4.5	37.6 \pm 8.6
Hymenoptera	Braconidae	0.73	0.491	ns	17.5 \pm 3.1	23.9 \pm 5.6	23.7 \pm 6.0
	Cynipidae	0.43	0.652	ns	10.8 \pm 2.1	13.1 \pm 3.9	13.4 \pm 4.1
	Ichneumonidae	0.88	0.426	ns	13.5 \pm 3.0	11.2 \pm 3.0	7.9 \pm 1.6
	Formicidae	2.68	0.262	ns	8.8 \pm 1.5	9.4 \pm 2.9	11.2 \pm 4.0
	Encyrtidae	0.17	0.917	ns	9.6 \pm 1.2	9.1 \pm 2.0	11.0 \pm 1.8
Lepidoptera	Geometridae	0.16	0.851	ns	8.6 \pm 1.3	9.0 \pm 2.1	7.9 \pm 1.6
	Noctuidae	0.97	0.394	ns	7.4 \pm 3.2	10.8 \pm 6.1	3.6 \pm 2.6
	Nolidae	6.01	0.050	*	3.1 \pm 0.5	4.1 \pm 1.0	4.6 \pm 1.2
Neuroptera	Coniopterygidae	1.19	0.833	ns	12.5 \pm 2.0	16.0 \pm 3.5	19.2 \pm 3.1
Psocodea	Caeciliusidae	2.64	0.090	•	6.1 \pm 0.8	7.1 \pm 1.4	4.3 \pm 1.0
Entobryomorpha	Entomobryidae	0.03	0.968	ns	13.3 \pm 1.6	14.5 \pm 2.8	13.7 \pm 1.9
Symphyleona	Bourletiellidae	9.34	0.009	**	2.4 \pm 0.3	3.7 \pm 0.8	2.0 \pm 0.4

*includes the 10 most abundant families, and other arthropods families of particular interest (e.g. physiologically sensitive to the treatments). Treatment effects were tested with Kenward Roger's F tests ($\alpha = 0.1$)

In einer weiteren sogenannten Indikatoranalyse wurden die Arten der Lepidoptera untersucht. Dies sollte zeigen, ob bestimmte Arten mit bestimmten Behandlungen assoziiert sind. Nebeneffekte wurden am ehesten bei der Gruppe der Lepidoptera erwartet. Die Analyse zeigte unter anderem, dass *Eilema sororcula* (Lepidoptera: Erebidae; Tab. Tv3-B-2) - eng verwandt mit dem Schwammspinner - signifikant mit Kontrollen (nicht behandelte Bäume) assoziiert war, nicht jedoch auf behandelten Bäumen gefunden wurde. Da Metabarcoding eine

destruktive Probenverarbeitung erfordert, ist retrospektiv nicht ganz klar, ob diese Art als Larve oder Imagines gesammelt wurde. Sie beginnt im späten Juni (Zeitpunkt der Benebelung) eigentlich mit der Eiablage, die Larven schlüpfen um diesen Zeitpunkt herum. Insektizidreste könnten möglicherweise Eier oder kleine Larven beeinträchtigt haben.

Noctuidae waren häufiger im DIPEL- und Kontrollansatz als im DIMILIN-Ansatz. Die Unterschiede waren jedoch aufgrund einer großen Variabilität zwischen den Bäumen eines Ansatzes nicht signifikant.

Interessanterweise fanden sich Nolidae signifikant häufiger auf behandelten als auf nicht behandelten Bäumen (Tab. Tv3-B-1). Viele Sequenzen dieser Familie konnten jedoch nicht eindeutig einer bestimmten Art zugeordnet werden. In Mitteleuropa häufig vorkommende Noliden-Arten zeigen eine hohe Merkmalsvielfalt und waren als Larve (e.g. *Bena bicolorana*) oder Adulte (e.g. *Pseudoips prasinana*) möglicherweise nicht sensitiv, als mit Insektizid behandelt wurde. Sie profitierten möglicherweise von der geringeren Konkurrenz durch andere Arten.

Die häufigste Macrolepidopteren-Familie, Geometridae, zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ansätzen (Tab. Tv3-B-1). Es fanden sich wenig Effekte auf die unterschiedlichen Schmetterlingsfamilien. Möglicherweise wurde die Probenahme zu spät durchgeführt, um Effekte auf die Lepidopterenlarven messen zu können. Die meisten Arten an der Eiche haben eine frühe Phänologie. Sie fressen zum Zeitpunkt der Bekämpfung zwar noch als Raupe am Baum, wechseln aber kurz danach - etwa Anfang Juni - auf den Boden (SOUTHWOOD et al., 2004). Dementsprechend hatten viele der Lepidoptera zum Zeitpunkt der Benebelung wahrscheinlich bereits die Krone verlassen.

In Gegensatz dazu wurde die Microlepidopterenfamilie der Tortricidae (Wickler, z.B. die Indikatorarten *Zeiraphera isertana* und *Tortrix viridana*; Tab. Tv3-B-2) deutlich häufiger in behandelten Bäumen gefunden. Die beiden obengenannten Indikatorarten fressen im Mai (Zeitpunkt der Behandlung) und fliegen im Juni (Zeitpunkt der Benebelung). Die Larven fressen in zusammengewickelten Blättern (Ursprung der Nomenklatur). Dank dieser räumlichen Strukturen könnten sie vor dem Einfluss des Insektizids bewahrt geblieben sein. Vielleicht hatten die Adulten nach der Behandlung aber auch mehr Eiablagegelegenheiten, da andere Schmetterlingsarten, insbesondere der Schwammspinner, dezimiert wurden.

Für die baumlebende Heuschrecke *Meconema thalassinum* (Orthoptera: Tettigoniidae) fand sich ein sehr starker Effekt von DIMILIN. Diese Art kam scheinbar nicht auf mit DIMILIN behandelten Bäumen vor, war allerdings sehr häufig auf DIPEL- und Kontrollbäumen aufzufinden (Tab. Tv3-B-2). Da sie räuberisch lebt, kam dieser Effekt möglicherweise durch den Fraß von vergifteten jungen Raupen zustande. Für *Meconema thalassinum* ist bekannt, dass sie junge Raupen frisst. Die Phänologie der Schmetterlinge unterstützt diese Hypothese. Die Art frisst allerdings auch an Eichenblättern (SMITH 1979) und käme somit auch direkt in Kontakt mit DIMILIN. Das Fehlen eines Effektes von DIPEL auf *Meconema thalassinum* kann damit erklärt werden, dass *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* nur auf Lepidopteren wirkt.

Eine nicht zu identifizierende Collembolenart der Ordnung Entomobryomorpha war im Vergleich zu Kontroll- und DIPEL-behandelten Bäumen selten in mit DIMILIN behandelten Bäumen aufzufinden. Sie spiegelt somit den negativen Effekt von DIMILIN auf die Gruppe der Springschwänze wider (Tab. Tv3-B-1). Ebenso kam die Familie der Bourletiellidae (Collembola), seltener auf DIMILIN-behandelten Bäumen vor. Collembolen in der Baumkrone fressen hauptsächlich mikroskopisch kleines organisches Material auf der Blattoberfläche (z.B. Pilze, Algen) und sind somit direkt DIMILIN ausgesetzt. Gleiches gilt für die Staubläuse (Psocoptera) der Familie Caeciliusidae. Diese haben eine ähnliche Ernährungsweise und kam auch seltener in DIMILIN-behandelten Bäumen vor (Tab. Tv3-B-1).

Einige Gruppen erfuhren auch positive Effekte durch die Behandlung. Lauxaniidae (Faulfliegen, Diptera) waren so zum Beispiel häufiger auf DIMILIN-behandelten Bäumen vertreten. Dieser Effekt ist der häufigen Art *Calliopum simillimum* zu verdanken. Sie kam sehr häufig auf DIMILIN-Bäumen vor und nur selten in den Kronen von Kontrollbäumen oder DIPEL-behandelten Bäumen (Tab. Tv3-B-2). Einige andere Familien, wie die Herbivoren Cicadellidae (Zwergzikaden) und Aphididae (Blattläuse), fanden sich häufiger in Insektizid-behandelten Bäumen. Allerdings waren diese Effekte aufgrund der großen Variation zwischen Bäumen nicht signifikant. Gleiches gilt für die Braconidae (Parasitoide, Hautflügler) und die räuberischen Coniopterygidae (Neuroptera) (Tab. Tv3-B-2).

Letztendlich gibt es vier Wochen nach der Behandlung kaum mehr messbare Effekte des Einsatzes von DIMILIN oder DIPEL. Wie bereits weiter oben erwähnt, liegt dies zum Teil an dem starken Wechsel der Schmetterlingsgemeinschaft im Frühsommer. Exponiert fressende Arten sind daher bereits Mitte Juni nicht mehr in der Krone. Die Arthropodengemeinschaft, die 4 Wochen nach der Behandlung durch die Benebelung

untersucht wurde, unterschied sich aufgrund dessen deutlich von jener Arthropodengemeinschaft, die zum Zeitpunkt der Behandlung in der Krone war. Deswegen zeigten sich nur bei Arten, die bereits zum Zeitpunkt der Behandlung in der Krone waren (e.g. *Lymantria dispar*, *Meconema thalassinum*) oder die keine Metamorphose oder Habitat-Änderungen während ihrer Entwicklung vornahmen (e.g. kronenlebende Collembola, Psocoptera), Populationsänderungen durch den Insektizideinsatz. Das Ergebnis zeigt somit, dass der Insektizideinsatz kaum größere Effekte auf spätere Insektengemeinschaften hat. Bei den Experimenten im Jahr 2019 sollten die Benebelungen daher früher stattfinden, um die Untersuchung des Effekts auf die frühen Schmetterlingsgemeinschaften zu ermöglichen.

Tab. Tv3-B-2: Ergebnisse der Indikatorartenanalyse für die Arten, die durch die Benebelung mit Pyrethroiden gesammelt wurden (Helikopterexperiment 2017)

(Die Häufigkeit bzw. das Vorkommen (siehe Variable „response“) jeder der aufgeführten Indikatorarten ist signifikant assoziiert mit einer bestimmten Behandlung ($\alpha = 0.05$). Die Tabelle zeigt auch die Häufigkeit und Abundanz der Arten in den verschiedenen Behandlungen an.)

Order	Family	Species	response	p-value	Treatment	Abundance (Mean \pm SE)	Frequency	
Araneae	Clubionidae	<i>Clubiona comta</i>	Frequency	0.035 *	Control	0.2 \pm 0.1	0.10	
					Dimilin	0.0 \pm 0.0	0.00	
					Dipel	0.4 \pm 0.2	0.40	
Coleoptera	Curculionidae	<i>Magdalis fuscicornis</i>	Abundance	0.019 *	Control	0.2 \pm 0.1	0.15	
					Dimilin	0.8 \pm 0.3	0.60	
					Dipel	0.7 \pm 0.3	0.40	
Diptera*	Lauaxiidae	<i>Calliopus simillimum</i>	Abundance	0.050 *	Control	0.1 \pm 0.1	0.10	
					Dimilin	1.6 \pm 1.0	0.40	
					Dipel	0.3 \pm 0.2	0.30	
	Sciaridae	<i>Bradysia brevispina</i>	Abundance	0.039 *	Control	0.1 \pm 0.1	0.05	
					Dimilin	0.0 \pm 0.0	0.00	
	Sciaridae	<i>Ctenosciara hyalipennis</i>	Abundance	0.004 **	Control	0.1 \pm 0.1	0.10	
		Frequency	0.008 **	Dimilin	0.6 \pm 0.2	0.50		
				Dipel	0.0 \pm 0.0	0.00		
Entomobryomorpha*	NA	<i>Entomobryomorpha</i> sp. BOLD:ACJ6452	Frequency	0.033 *	Control	0.8 \pm 0.2	0.55	
				Dimilin	0.4 \pm 0.3	0.20		
				Dipel	1.1 \pm 0.3	0.70		
Hemiptera*	Cicadellidae	<i>Typhlocyba frustrator</i>	Frequency	0.038 *	Control	0.2 \pm 0.1	0.10	
					Dimilin	0.0 \pm 0.0	0.00	
					Dipel	0.4 \pm 0.2	0.40	
	Pentatomidae	<i>Pentatoma rufipes</i>	Frequency	0.049 *	Control	3.9 \pm 0.9	0.65	
Dimilin					3.9 \pm 1.5	0.60		
Dipel					4.6 \pm 1.1	1.00		
Hymenoptera*	Braconidae	<i>Braconidae</i> sp. BOLD:AAG1239	Abundance	0.027 *	Control	0.0 \pm 0.0	0.00	
					Dimilin	0.1 \pm 0.1	0.10	
					Dipel	0.4 \pm 0.2	0.40	
		<i>Braconidae</i> sp. BOLD:AAH1352	Frequency	0.043 *	Control	0.4 \pm 0.2	0.25	
	Dimilin				0.0 \pm 0.0	0.00		
	Dipel				0.0 \pm 0.0	0.00		
		Ceraphronidae	<i>Aphanogmus</i> sp. BOLD:ACG4508	Frequency	0.043 *	Control	0.3 \pm 0.1	0.25
	Dimilin					0.0 \pm 0.0	0.00	
Dipel	0.0 \pm 0.0					0.00		
	Dryinidae	<i>Aphelopus melaleucus</i>	Abundance	0.012 *	Control	0.9 \pm 0.3	0.55	
Frequency			0.003 **	Dimilin	0.8 \pm 0.1	0.80		
				Dipel	0.1 \pm 0.1	0.10		
Lepidoptera*	Erebidae	<i>Eilema sororcula</i>	Frequency	0.023 *	Control	1.9 \pm 0.4	0.75	
					Dimilin	0.4 \pm 0.2	0.30	
					Dipel	0.4 \pm 0.2	0.30	
	Tortricidae	<i>Tortrix viridana</i>	Abundance	0.039 *	Control	0.1 \pm 0.1	0.05	
					Dimilin	0.4 \pm 0.2	0.30	
					Dipel	0.4 \pm 0.2	0.40	
	<i>Zeiraphera isertana</i>	Frequency	0.044 *	Control	0.6 \pm 0.3	0.30		
Dimilin				1.0 \pm 0.4	0.60			
Dipel				0.6 \pm 0.6	0.10			
Mesostigmata*	Phytoseiidae	<i>Phytoseiidae</i> sp. BOLD:ACD3918	Abundance	0.016 *	Control	0.1 \pm 0.1	0.10	
				Dimilin	0.4 \pm 0.2	0.40		
				Dipel	0.5 \pm 0.2	0.50		
Neuroptera*	Chrysopidae	<i>Nineta flava</i>	Abundance	0.035 *	Control	0.0 \pm 0.0	0.00	
				Dimilin	0.3 \pm 0.2	0.30		
				Dipel	0.2 \pm 0.1	0.20		
Orthoptera	Tettigoniidae	<i>Meconema thalassinum</i>	Abundance	< 0.001 ***	Control	7.9 \pm 3.5	0.60	
			Frequency	< 0.001 ***	Dimilin	0.2 \pm 0.2	0.10	
					Dipel	7.0 \pm 3.2	0.55	

Anmerkung: Ordnungen, die durch ** markiert sind, wurden durch das Metabarcoding identifiziert. Die Abundanz wurde aus dem Vorkommen von Unterproben (12) pro Baum ermittelt, die Abundanz reicht also von 0 bis 12.

4. Bodenuntersuchungen

Für die Bodenfauna (Collembola, Bacteria) des Helikopterexperiments wurde die gleiche Methodik wie bereits beim Drohnenexperiment verwendet, um die Wirkung der Pflanzenschutzmittel Dimilin, Dipel und Mimic zu analysieren. Die Probenahme fand zwischen dem 23.04.2018 und dem 26.04.2018 statt.

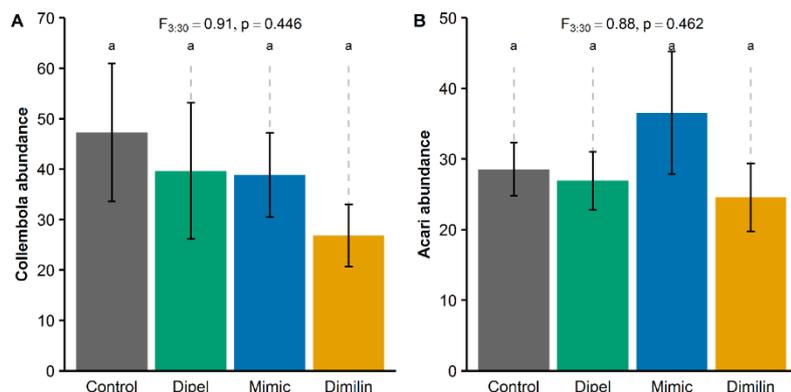


Abb. Tv3-B-6: Abundanz von (A) Springschwänzen (Collembola) und (B) Milben (Acari) unter Eichenkronen, die mit DIPEL, MIMIC, DIMILIN behandelt wurden oder unbehandelt blieben (Helikopterexperiment 2017, Probenahme 2018)

(Mittelwerte pro Baum \pm Standardfehler. Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$))

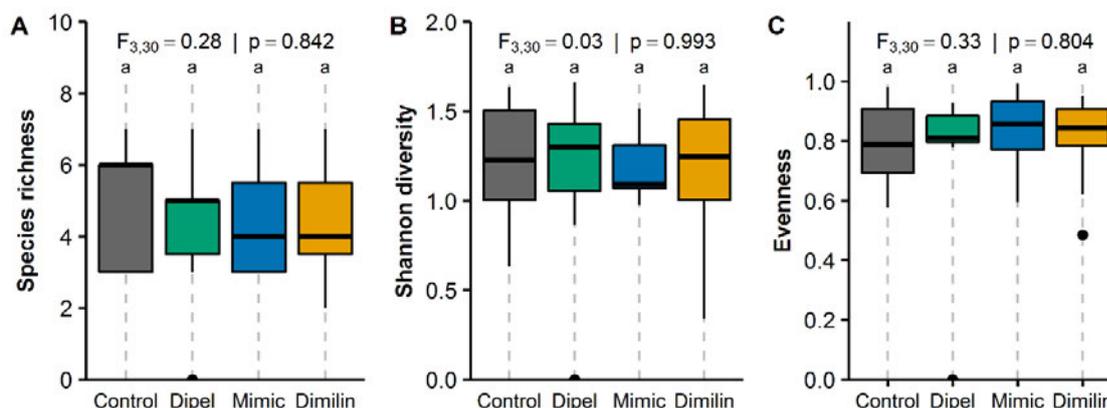


Abb. Tv3-B-7: Diversität von Collembolen unter Eichenkronen, die mit Dipel, Mimic, Dimilin behandelt wurden oder unbehandelt blieben (Helikopterexperiment 2017, Probenahme 2018)

(Die schwarze Linie zeigt den Median an. Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$). Species richness ist die Anzahl der Arten, unabhängig von ihrer Häufigkeit. Shannon-diversity und Evenness (Gleichverteilung) basieren auf den relativen Häufigkeiten der verschiedenen Arten.)

Ein Jahr nach der Behandlung ließen sich keine messbaren Effekte der Insektizide auf die Abundanz von Springschwänzen oder Milben vernehmen (Abb. Tv3-B-6). Collembolen zeigen zwar einen Trend zu geringeren Abundanzen unter behandelten Bäumen, dieser ist jedoch aufgrund der starken Schwankung zwischen Proben nicht signifikant. Auch die Zusammensetzung der Boden-Springschwänze war ein Jahr nach der Insektizid-Behandlung nicht von der der Kontrolle zu unterscheiden (alpha und beta-Diversität, Abb. Tv3-B-7). Selbst wenn DIMILIN einen Effekt auf die Springschwänze gehabt hätte, wäre dieser durch die schnelle Erholung der Gemeinschaft nicht mehr festzustellen gewesen.

Ähnlich wie bei den Collembola und Acari gab es ein Jahr nach der Behandlung auch bei den Bakterien keinen signifikanten Effekt der Insektizidbehandlung (Abb. Tv3-B-8, Tv3-B-9).

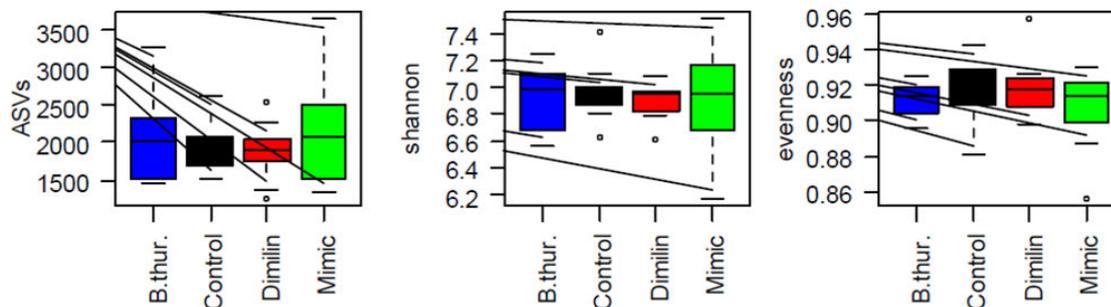


Abb. Tv3-B-8: Diversität von Bodenbakterien unter Eichenkronen, die mit Dipel, Mimic, Dimilin behandelt wurden oder unbehandelt blieben (Helikopterexperiment 2017, Probenahme 2018)

(Die schwarze Linie zeigt den Median an. Kenward Roger's F tests. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means, $\alpha = 0.1$). Species richness ist die Anzahl der Arten, unabhängig von ihrer Häufigkeit. Für die Bakterien wurde Artzahl als ASV (amplicon sequence variants) angenähert. Shannon-diversity und Evenness (Gleichverteilung) basieren auf den relativen Häufigkeiten der verschiedenen Arten.)

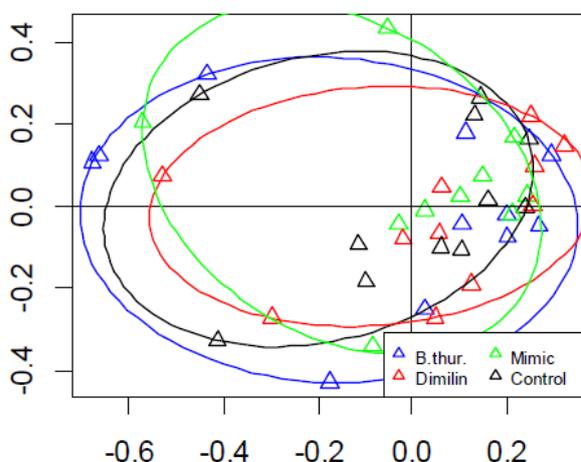


Abb. Tv3-B-9: PCA Ordination der Bodenbakterien unter Eichenkronen, die mit Dipel, Mimic, Dimilin behandelt wurden oder unbehandelt blieben (Helikopterexperiment 2017, Probenahme 2018)

(Die Ellipsen zeigen den 95% Vertrauensbereich an. Skalierung basierend auf der Heilinger-Transformation der Daten.)

C. Schwammspinnerexperiment 2019

Für 2019 wurde ein Massenausbruch des Schwammspinners in Franken (Bayern, Deutschland) vorhergesagt. Das Schwammspinnerexperiment 2019 sollte dazu dienen, noch einmal Untersuchungen während eines tatsächlichen Massenausbruchs auf Bestandesebene durchzuführen, denn in den Jahren 2016-2018 waren die Dichten der Schädlinge (insbesondere Schwammspinner, Frostspanner und Eichenprozessionsspinner) eher niedrig. Als Grundlage für das Experiment wurden im Herbst 2018 mehrere Treffen mit der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) durchgeführt. Gleichzeitig wurde mit dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) und den Bayerischen Staatsforsten (BaySF) Kontakt aufgenommen, um beide Institutionen für ein Experiment 2019 zu sensibilisieren. Da ein Experiment auf Bestandesebene für die Arbeitsgruppe der TU-München aufgrund der Ansprache vieler Waldbesitzer, die ihre Flächen entweder behandeln lassen oder nicht behandeln lassen würden, zu aufwändig gewesen wäre, wurde Kontakt zu verschiedenen Abteilungen der LWF, zur Universität Würzburg (Prof. Müller) und zum Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München aufgenommen. Es wurde vereinbart, dass die verschiedenen Institutionen die LWF bei der Auswahl von Probeflächen und der allgemeinen Logistik unterstützen sollten. Dazu wurde ein Antrag beim Kuratorium Forst des StMELF gestellt. Die experimentellen Behandlungen auf Bestandesebene sollten dann von den RiMa-Mitarbeitern für ihre Probenahmen genutzt werden und sind im Folgenden Thema dieses Abschnittes.

Im Frühjahr 2019 lagen genauere Dichteprognosen für die Gelegezahlen des Schwammspinners vor. Sie basierten auf Eigelege-Zahlen am Stamm, Eigelege-Zahlen an unteren Kronenästen, dem Bestandesalter, der Baumvitalität und der Präsenz weiterer Schädlingsarten und dienten - zusammen mit definierten Waldstrukturdaten (Baumartenzusammensetzung von mindestens 70 % Eiche, Waldbewirtschaftung: Hoch- oder Mittelwald, Bestandesstruktur konsistent in einem Versuchsblock und Versuchsplotgröße mindestens 10 ha) - als Grundlage für die Flächenauswahl. Nebst diesen Kriterien waren die Erlaubnis der Waldbesitzer und die

	April			Mai			Juni			Juli			August			September			Oktober									
Woche	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Beprobung			Fogging 1			Fogging 2						Fogging 3																
			Mimic-Besprühungen																									Blattprobenahmen

Abb. Tv3-C-1: Chronologische Übersicht der Probenahmen im Schwammspinnerexperiment 2019

(Benebelungen („Fogging“) wurden einmal vor und zweimal nach den Behandlungen mit Mimic durchgeführt. Die Blattprobenahmen erfolgten im Herbst.)

1. Baumkronenbenebelungen 2019

Im Rahmen des Schwammspinnerexperiments 2019 wurden zwischen dem 25.04. und dem 04.07.2019 auf sämtlichen Versuchsflächen mehrere Baumkronenbenebelungen mit natürlichem Pyrethrum (Methodik: siehe oben, Helikopterexperiment 2017 - Benebelungsproben) durchgeführt. Eine Abweichung zur Methodik von 2017 gab es jedoch: diesmal wurden überlappende Kronenbereiche (ein Bereich pro Versuchsplot) anstatt von Einzelbäumen benebelt und für jede Runde neue Kronenbereiche fernab der Vorrunde(n) ausgewählt.

Die so generierten Proben werden aktuell in drei Fraktionen - Schwammspinner, andere Schmetterlingsraupen und Rest - sortiert. Vorläufige Ergebnisse auf Basis der schon durchsortierten zweiten Foggingrunde liegen bereits vor. Diese Proben wurden kurz nach den Behandlungen gesammelt und evaluieren das Versuchsdesign bezüglich der getroffenen Auswahl an Flächen hoher und niedriger Dichten. Auf unbehandelten hohe-Dichte-Flächen dominierten Schwammspinner die Raupenzusammensetzung stark (Abb. Tv3-C-2). Auf niedrige-Dichte-Flächen waren sie erstaunlicherweise auch dominant, da durchschnittliche Abundanz und Biomasse beide äquivalent zu jenen Werten anderer Schmetterlingsarten waren (Abb. Tv3-C-2). Nichtsdestotrotz war diese Dominanz, verglichen mit den hohe-Dichte-Flächen, wesentlich geringer ausgeprägt (Abb. Tv3-C-2).

Da die Benebelung eine wetter- und windsensitive Probenahme-Methode ist und schon geringe Schwankungen der Windgeschwindigkeiten, des Atmosphärendrucks und der Witterung die Benebelungsleistung beeinflussen können, wurde während der Beprobungen zusätzlich die „Benebelungsleistung“ (Fogging performance) jeder Flächenbenebelung evaluiert (poor - gering, medium - mittelmäßig, good - gut). Entscheidungskriterien waren die anteilige Bedeckung des Kronenbereichs und die Stabilität, mit der sich der Nebel in der Krone hielt. Daneben wurden auch die empfundene Windstärke (schwach, moderat, stark) und die Benebelungszeit (Start, Ende, Wirkdauer) aufgezeichnet. Die „Fogging performance“ wirkte sich zwar mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Probesammlungen der einzelnen Versuchsplots aus (Abb. Tv3-C-3), schien sich allerdings insgesamt nicht auf die Datenmuster auszuwirken. Die Benebelungsdaten zeigen sich sogar, trotz der variierenden „Fogging performance“, sehr konsistent mit den Schwammspinnerdichten der Flächenprognosen und letztendlichen Flächenauswahlen. Die Benebelungsleistung wurde als Kovariate in jedem Modell integriert, hatte jedoch weder einen signifikanten Einfluss auf die Abundanz noch auf die Biomasse.

Eine genauere Analyse der Schmetterlingsdaten und Fogging-Proben konnte im Rahmen des Projekts nicht mehr durchgeführt werden. Dies soll in Folgejahren passieren, falls anderweitig Mittel eingeworben werden können.

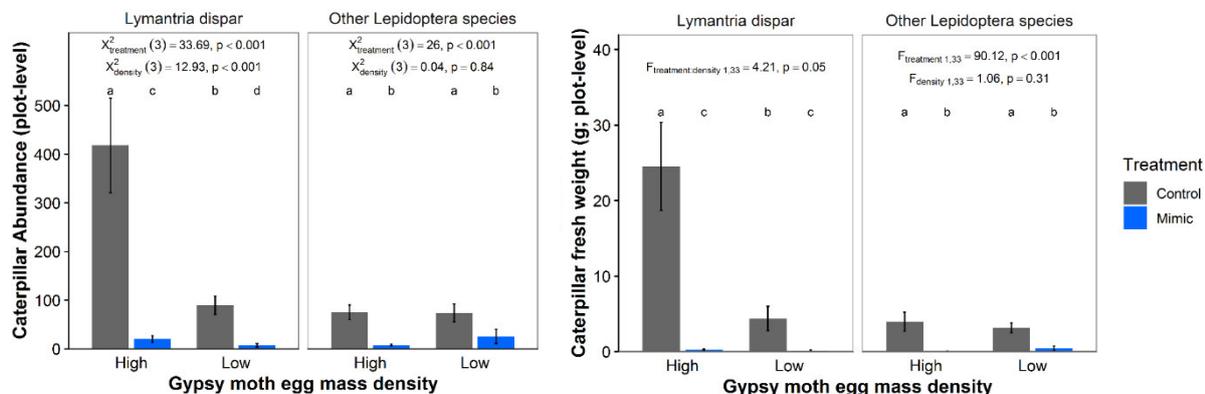


Abb. Tv3-C-2: Abundanz und Biomasse (fresh weight) der Schmetterlingsraupen aus Benebelungsproben, Schwamm-spinnerexperiment 2019

(Dargestellt sind jeweils die Abundanzen bzw. die Biomasse der Raupen von Schwammspinnern (*Lymantria dispar*) und anderen Schmetterlingsarten („other Lepidoptera species“) für die Behandlungen („Treatment“) „Control“ (Kontrolle, unbehandelt) und „Mimic“ (behandelt) bei hohe-Dichte-Flächen („High“) und niedrige-Dichte-Flächen („Low“). Bei dem für die Abundanz verwendeten Modell handelt es sich um ein generalisiertes lineares gemischtes Modell (GLMM) mit Poisson-Verteilung. Für die Biomasse wurde ein lineares gemischtes Modell mit Normalverteilung angewandt. Behandlung, Dichte („density“) und ihre Interaktion wurden als feste Faktoren für beide Modelle

angewandt. Benebelungsleistung, Windstärke und Expositionszeit wurden als Kovariaten hinzugefügt (in keinem der Modelle signifikant). Zusätzlich wurden zufällige Schnittpunkte für die in Blöcken enthaltenen Versuchsplot in das Abundanzmodell gefügt, um Überdispersionen zu korrigieren. Bei dem Biomasse-Modell gab es keine Überdispersionen, weshalb das Einfügen zufälliger Schnittpunkte bloß über die unterschiedlichen Block-Level erlaubt war. Zum Testen der Biomasse-Hypothesen wurden Kenward-Roger -ests angewandt, bei den Abundanzen erfolgte dies durch Likelihood-Ratio-Tests (Chi-Quadrat-Tests). Als post-hoc-Tests dienten sogenannte „Tukey-adjusted comparisons of estimated marginal means“.

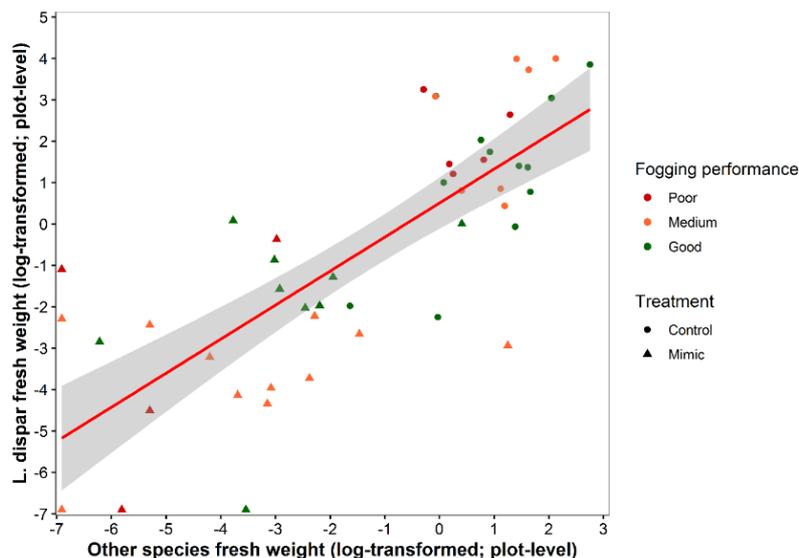


Abb. Tv3-C-3: Vergleich der Biomasse (fresh weight) zwischen Schwammspinner (*L. dispar*) und anderen Schmetterlingsarten („other species“) (Benebelungsproben, Schwammspinnereperiment 2019)

(Zu sehen ist der Vergleich der log-transformierten Biomasses der Raupen für die Behandlungen („Treatment“) „Control“ (Kontrolle, unbehandelt) und „Mimic“ (behandelt) unter Berücksichtigung der Benebelungsleistung („Fogging performance“): gering („poor“), mittelmäßig („medium“) und gut („good“))

Literatur: BAERMANN, G., 1917. Eine einfache Methode zur Auffindung von Ankylostomum (Nematoden) Larven in Erdproben. *Geneeskd Tijdschr Ned Indie* 57, 131–137. • NEJMANOVÁ, J., CVAČKA, J., HRDÝ, I., KULDOVÁ, J., MERTELÍK, J., MUCK, A., NEŠNĚROVÁ, P., SVATOŠ, A., 2006. Residues of diflubenzuron on horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*) leaves and their efficacy against the horse chestnut leafminer, *Cameraria ohridella*. *Pest Manag. Sci.* 62, 274–278. <https://doi.org/10.1002/ps.1165>. • OZANNE, C.M.P., 2005. Techniques and Methods for Sampling Canopy Insects, in: Leather, S.R. (Ed.), *Insect Sampling in Forest Ecosystems*. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, pp. 146–167. <https://doi.org/10.1002/9780470750513.ch7>. • SCHERF, H., 1964. Die Entwicklungsstadien der mitteleuropäischen Curculioniden (Morphologie, Bionomie, Ökologie). *Abh. Senckenberg. Naturforschenden Ges.* 506, 1–335. • SCRIBER, J.M., 2004. Non-target impacts of forest defoliator management options: Decision for no spraying may have worse impacts on non-target Lepidoptera than *Bacillus thuringiensis* insecticides. *J. Insect Conserv.* 8, 243–263. <https://doi.org/10.1007/s10841-004-1357-9>. • SMITH, B., 1979. European katydid *Meconema thalassinum* (de Geer) recorded from new location on Long Island, New York (Orthoptera: Tettigonidae). *J. N. Y. Entomol. Soc.* 87, 38–41. • SOUTHWOOD, T.R.E., WINT, G.R.E., KENNEDY, C.E.J., GREENWOOD, S.R., 2004. Seasonality, abundance, species richness and specificity of the phytophagous guild of insects on oak (*Quercus*) canopies. *Eur. J. Entomol.* 101, 43–50. <https://doi.org/10.14411/eje.2004.011>.

ERZIELTE ERGEBNISSE IM TEILVORHABEN 3

2016:

- Erfolgreiche Literaturstudie zum Einfluss von Waldstrukturen auf den Ausbruch von Insekten und zu den Nebenwirkungen der Insektizide DIMILIN und MIMIC auf Nichtzielorganismen in Labor und Feld.
- Entwicklung der Konzepte der ökologischen und physiologischen Sensitivität sowie „outbreak effects“ als weitere Kriterien zur Abschätzung und zum Management der Nebenwirkungen auf Nicht-Zielorganismen sowie der Beurteilung ökologischer Schäden.
- Feldkampagne mit Datenerhebung zu Totfallplanen, Kotfall-Tafeln, Astschüttelungenproben und Blattproben.

2017:

- Etablierung einer weiteren Versuchsfläche („Bauernschlag“) für das Helikopterexperiment 2017.
- Wiederholung der Experimente von 2016 auf den beiden Versuchsflächen Greutholz und Bauernschlag und Einführung von Zweigprobenahmen als neue und äußerst erfolgreiche Methode auf beiden Versuchsflächen (anstatt der Astschüttelungen).
- Durchführung eines zusätzlichen Miniererexperimentes mit Eichensetzlingen und vier Behandlungen (DIMILIN, DIPEL, MIMIC, Kontrolle).

- Präsentation vorläufiger Ergebnisse zu den Feldstudien 2016:
 - MIMIC und DIMILIN waren beide effektiv gegenüber dem Zielorganismus, jedoch wirkte MIMIC schneller als DIMILIN und wirkte sich zudem negativ auf Nichtzielorganismen aus. DIMILIN war nur gegenüber dem Zielorganismus effektiv.
 - Die Kotmuster bestätigen die Effektivität der Mittel.
 - Die Astschüttelungen erwiesen sich als ungeeignete Methode.
- Ergebnisse zu den Feldkampagnen von 2017:
 - Auffinden einer signifikanten Reduktion der Schwammspinnerzahlen bei den Insektiziden DIMILIN, DIPEL und MIMIC im Helikopterexperiment 2017 mit DIMILIN als effektivstes Mittel gegen den Zielorganismus Schwammspinner.
 - Erste Metabarcoding-Analysen fanden lediglich Hinweise auf eine signifikante Insektizidwirkung zwischen DIMILIN und Orthoptera bei den Nichtzielorganismen.
 - Minierer-Abundanzen der Blattober- und Blattunterseite zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Blattseiten oder den unterschiedlichen Behandlungen (Insektizide: DIMILIN, DIPEL, MIMIC, Kontrolle).

2018:

- Bezüglich der Mortalität der Lepidoptera-Larven stellte sich MIMIC durch seine schnelle und unselektive Wirkung als zuverlässigere Substanz zur Bekämpfung von schädlichen Lepidoptera heraus, zeigte jedoch auch größere Auswirkungen auf Nichtzielorganismen unter den Schmetterlingen.
- Behandelte Bäume zeigten höhere Morphospecies-Anzahlen und stärkere Dominanzmuster (geringere evenness). Das (Nicht-)Vorkommen von selteneren Arten spielt möglicherweise eine Rolle dabei. DIMILIN-Bäume und MIMIC-Bäume unterschieden sich zudem jeweils in ihrer Beta-Diversität.
- Vertiefende Analysen zu den Blattminierern zeigten für 2016 und 2017 konsistente Effekte von DIMILIN bei Minierern der Blattoberseite, während MIMIC ineffektiv blieb. Möglicherweise wirkt die Substanz ovizid auf die Eier der Microlepidopteren oder führt zu Ausweichverhalten von eiablegenden Weibchen.
- Durchführung von Bodenprobenahmen auf beiden Versuchsflächen. Im Helikopterexperiment ließen sich ein Jahr nach der Behandlung keine signifikanten Effekte der Insektizide auf die Collembola- und Acari-Abundanzen sowie die Bakterien-Diversität finden.

2019:

- Erweiterte Datenerhebungen zu den Blattminierern, die die Ergebnisse der Vorjahre bestätigen.
- Fertigstellung der Morphospecies-Sortierung und Extraktion von genetischem Material.
- Etablierung und Feldkampagne des Schwammspinnerexperiments 2019 Benebelungsproben.

Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutz

Teilvorhaben 4

Erstellung bundeseinheitlicher Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz und Demonstration der Verfahren in Beispielbetrieben

Die Reduzierung von Anwendungsrisiken beim Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel sollte im Teilvorhaben durch die Erstellung einer sektorspezifischen Leitlinie für den integrierten Pflanzenschutz unterstützt werden. Der NAP sieht vor, dass dazu Leitlinien als detaillierte Umsetzungen für wichtige Kulturpflanzen oder einzelne Sektoren der Landnutzung erstellt werden (NAP 2013, Abs. 6.1.6). Für den forstlichen Sektor sollte die Leitlinie im Rahmen des Teilvorhabens an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt erarbeitet und mit wichtigen Akteuren des forstlichen Pflanzenschutzes bundesweit abgestimmt werden.

Anforderungen an die Leitlinien sind gemäß NAP die Beschreibung verfügbarer Pflanzenschutzverfahren in Anlehnung an die acht Grundsätze und nach dem Stand von Wissenschaft und Technik. Außerdem sollen bestehende Verfahrensdefizite aufgezeigt und Weiterentwicklungen unterstützt werden. Im Kriterienkatalog zur Bewertung von Leitlinien des Wissenschaftlichen Beirats beim NAP (Juli 2016) finden sich weitere Erwartungen. Demnach sollen Leitlinien die Anwender zur Umsetzung der besten verfügbaren Praxis motivieren, Vorbeugungs- und Bekämpfungsstrategien vollständig beschreiben und Kriterien transparent vermitteln sowie die Inhalte verständlich und handlungsorientiert sein.

Für die forstliche Leitlinie war wichtig, dass der Waldschutz gegenüber dem Pflanzenschutz anderer Einsatzgebiete durch verschiedene Besonderheiten der Forstwirtschaft geprägt wird. Dazu gehören:

- die Multifunktionalität des Waldes,
- die vergleichsweise langen Produktionszeiträume, die einerseits kulturtechnische Möglichkeiten sehr begrenzen und andererseits zu nachhaltigen Lösungen motivieren,
- sowie regional unterschiedliche ökologische Bedingungen und verschiedene betriebliche Strukturen, weshalb es bundesweit sehr viele Waldschutzverfahren gibt, die untereinander standörtlich oder historisch bedingt abweichen.

Eine Leitlinie, die vorrangig die verfügbaren Pflanzenschutzverfahren beschreibt, erschien angesichts komplexer Zusammenhänge nicht ausreichend. Vielmehr soll die sektorspezifische Leitlinie mehrere Ziele verfolgen, in dem sie explizit über die Vermeidung der Anwendungsrisiken informiert, die bei Pflanzenschutzmaßnahmen entstehen können. Darüber hinaus soll sie zur Reduzierung von Produktionsrisiken beitragen, so dass Anwendungen von vornherein eine geringere Rolle spielen. Die Leitlinie soll die beruflichen Anwender darin unterstützen, Risikobeurteilungen bei allen wichtigen Managemententscheidungen einzubeziehen und stets ein möglichst risikominderndes Vorgehen umzusetzen.

Insbesondere zu Maßnahmen des Waldbaus, der Holzvermarktung und zur Bereitstellung besonderer Ökosystemleistungen weist der Waldschutz inhaltlich enge Beziehungen auf. Die Ziele der verschiedenen forstlichen Fachgebiete unterstützen oder ergänzen dabei zum Teil die Risikovermeidung, teilweise erfordern Zielkonflikte aber auch einen Ausgleich der verschiedenen Interessen. Zur Erstellung umsetzbarer Lösungen bestand die Notwendigkeit zu fachlicher Abstimmung der Leitlinie unter verschiedenen forstlichen Akteuren. Um eventuell abweichende Interessen ausgewogen und waldschutzfachlich angemessen zu berücksichtigen, musste eine abgestufte, aufeinander aufbauende Beteiligung der wichtigen Akteure erfolgen. Die fachlich ausschlaggebende Grundlage sollten zunächst Waldschutzexperten aufgrund ihrer einschlägigen Kompetenz schaffen. Anschließend konnten Anforderungen der anderen Fachdisziplinen und von forstlichen Interessengruppen eingebunden werden. Darüber hinaus sollte eine Methode entwickelt werden, um die Umsetzung dieser Leitlinie in den im Vorhaben enthaltenen Beispielbetrieben bewerten zu können.

Parallel sollten anhand von auftretenden Waldschutzrisiken Anwendungsbeispiele integrierten Vorgehens gemeinsam mit Beispielbetrieben umgesetzt, geprüft und gegenüber interessierten Fachkreisen oder der Öffentlichkeit präsentiert werden. Ein angemessenes Netz aus Beispielbetrieben war dazu als Kooperationspartner in das Teilvorhaben einzubeziehen und während der Projektlaufzeit in Waldschutzfragen fachlich zu begleiten. Für Präsentationen integrierter Maßnahmen waren so genannte „Hof- oder Waldschutztage“ als Informationsveranstaltungen in den Forstbetrieben vorgesehen. Des Weiteren waren exemplarische Begleithebungen zu ökologischen Auswirkungen dieser Verfahren geplant.

Die Beispielbetriebe engagierten sich seit dem ersten Leitlinienentwurf sowohl bei der Prüfung sowie in der Umsetzung von Inhalten. Dabei wurden auch ihre Aufmerksamkeit für Waldschutzfragen und die Vermeidung von Risiken noch einmal geschärft. Die Auseinandersetzung mit der Leitlinie erreichte unter den Betrieben teilweise eine Intensivierung der Vorsorge und Überwachung sowie der Optimierung des betrieblichen Waldschutzmanagements.

Auf der Forstwissenschaftlichen Tagung (2018 in Göttingen) wurde die forstliche Praxis über die Erarbeitung der sektorspezifischen Leitlinie für den integrierten Pflanzenschutz im Forst und den Abstimmungsprozess informiert. Zwischenergebnisse konnten bei diversen Fachgesprächen zum Waldschutz, wie beim Fachgespräch NAP des BMEL, beim Fachgespräch Pflanzenschutz im Wald oder beim Forum Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln sowie bei diversen Workshops (z. B. Leitlinien des Integrierten Pflanzenschutz am JKI in Berlin-Dahlem, Kommunikation im Pflanzenschutz in Hannover) vorgestellt werden.

B. Umsetzung der sektorspezifischen Leitlinie in den Beispielbetrieben

Vergleichbar zum Demonstrationsbetriebsnetz DIPS in anderen Produktionsbereichen sollten Beispielbetriebe der Forstwirtschaft die Erarbeitung der Leitlinie unterstützen und dabei die Beachtung praktischer Aspekte gewährleisten. Ausgewählte Waldschutzmaßnahmen in den Beispielbetrieben sollten weitere Forstbetriebe von der Eignung des integrierten Waldschutzes überzeugen, um bei den Entscheidungsträgern und den Anwendern Anreize für ein entsprechendes Vorgehen zu schaffen. Ferner sollte eine Methode entwickelt werden, um die Umsetzung der Leitlinie in der Praxis (Beispielbetriebe) bewerten zu können. Da die Leitlinie selbst im Projekt zu entwickeln war, fand die Konzeption des Bewertungsverfahrens anhand eines Leitlinienentwurfes von 2018 statt.

Die Auswahl und Einbindung von sechs kleinen Betrieben berücksichtigte die begrenzte Betreuungskapazität des Teilvorhabens und die Fördermöglichkeit vorrangig kleiner und mittlerer Unternehmen. Ziel war die Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebsschwerpunkte hinsichtlich der Hauptbaumartenverteilung (Tab. Tv4-2-1). Die regionale Verteilung der Beispielbetriebe (Abb. Tv4-2-1) umfasste bei einer angemessenen Erreichbarkeit der Betriebe durch die Bearbeiter des Teilvorhabens aus NW-FVA und JKI-SF sowohl Flachlandreviere wie auch Berglandbereiche in verschiedenen Bundesländern, mit unterschiedlichen Officialberatungsstellen. Ausgewählt wurden Betriebe ohne Zertifizierung nach FSC, da auch chemische Pflanzenschutzmaßnahmen Teil des integrierten Pflanzenschutzes sind. Insgesamt konnten so verschiedene typische Waldschutzrisiken repräsentiert werden, obwohl das recht kleine Betriebsnetz die Häufigkeit aktueller Schadereignisse im Projektzeitraum gering war.

Einführungsveranstaltungen in den Forstbetrieben unter Beteiligung der Betriebsleitungen fanden im IV. Quartal 2015 und I. Quartal 2016 statt. Den Waldbesitzern und Revierförstern wurden Informationen über Projektziele und -aufgaben vorgestellt sowie die Anforderungen des Teilvorhabens vermittelt. Da eine geringe pauschale Vergütung ihres Mehraufwands zur Verfügung stand, lag eine wesentliche Motivation zur Teilnahme in der Zusage einer besonders intensiven fachlichen Betreuung.



Abb. Tv4-2-1: Geografische Lage der Beispielbetriebe

Tab. Tv4-2-1: Prozentuale Baumartenanteile der Beispielbetriebe

Baumarten	Fichte, Tanne, Douglasie	Kiefer, Lärche	Buche, Laubholz	Eiche
Forstbetriebe				
Arenberg-Schleiden	67 %	4 %	25 %	5 %
Elbingerode	80 %	11 %	9 %	0 %
Stadforst Iphofen	4 %	4 %	30 %	62 %
Friedrichshausen (v. Garmissen)	80 %	10 %	5 %	5 %
Kenzendorf	5 %	89 %	3 %	3 %
Gräflich Bernstorff'sche Betriebe	9 %	81 %	3 %	7 %

Vor-Ort-Bereisungen der Waldflächen dienten dazu, die Bestandesverhältnisse und das betriebliche Management relevanter Waldschutzrisiken kennenzulernen. Naturgemäß lagen unterschiedliche, aber sehr typische

Gefährdungen vor. Die in den ersten beiden Jahren vorwiegend ruhige Waldschutzsituation und die in der frühen Projektphase noch nicht vollständig entwickelten Inhalte der Leitlinie beschränkten projektbezogene Umsetzungsmöglichkeiten des integrierten Waldschutzmanagements. Erst im Projektverlauf entstand zunehmend Bedarf an fachlicher Begleitung und zu aktiven Schutzmaßnahmen. Durch telefonische oder schriftliche Beratungen der Projektbearbeiter oder Waldschutzexperten der NW-FVA sowie in besonderen Fällen bei Vor-ort-Terminen wurden insbesondere ein integriertes Borkenkäfer-Management mit Früherkennung und rechtzeitigem Massenfang von Käfern, die Überwachung des Großen Braunen Rüsselkäfers in gefährdeten Kulturen sowie der Umgang mit wiederkehrenden Gradationen verschiedener Lepidopteren in Kiefern- oder Eichenbeständen (Kiefern großschädlinge, Eichenprozessionsspinner, Schwammspinner u.a.) begleitet. Bewährte Verfahren des integrierten Pflanzenschutzes wurden so eingeleitet und von den Betrieben beispielhaft realisiert. Wichtige Leitlinieninhalte konnten auf ihre Praxistauglichkeit geprüft werden.

Außerdem wurden in begrenztem Umfang Innovationen eingeführt. Dazu zählte die betriebliche Implementierung des Online-Waldschutzmeldeportals der NW-FVA in allen Beispielbetrieben. Die georeferenzierte Buchung von Waldschäden, die digitale Dokumentation von Überwachungsergebnissen und von Pflanzenschutzmittel-Anwendungen sowie die sich daraus ergebenden Auswertemöglichkeiten eröffneten den Betrieben die rationelle Bewertung ihrer eigenen Waldschutz-Situation in Zahlen und als Kartenansicht. Die NW-FVA erhielt durch die Weitergabe der Informationen ebenfalls einen zeitnahen Überblick. Einzelne Beispielbetriebe nutzten das System nur zögerlich und meldeten eher unregelmäßig.

Eine andere Innovation war die Implementierung des erst seit wenigen Jahren zugelassenen attract-and-kill-Systems TriNet® P zur Bekämpfung des Buchdruckers (*Ips typographus*) im Beispielbetrieb Kenzendorf. In einem Fichtenbestand mit Vorbefall konnte der Befallsfortschritt zunächst eingedämmt werden, nachdem vor dem Bestand eine Fangsystemreihe rechtzeitig aufgestellt und regelmäßig kontrolliert wurde. Das Institut JKISF untersuchte hierbei mögliche Nebenwirkungen auf Nichtzielorganismen. Die Durchführung der Waldschutzmaßnahme und die Ergebnisse der Begleituntersuchung wurden auf einer Waldschutzinformationsveranstaltung sowie auf zwei wissenschaftlichen Tagungen mit einem Poster präsentiert.

Im Forstbetrieb Kenzendorf und in umliegenden Kiefernbeständen überschritt die Population der Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini*) in den Jahren 2016/17 bei Kontrollen den Schwellenwert deutlich. Verschiedene Maßnahmen wie die Prognose des Fraßumfangs, die Kartierung der vom Kahlfraß bedrohten Bestände sowie die teilflächige Bekämpfung mittels Luftfahrzeug, an die sich regelmäßige Erfolgskontrollen des Forstbetriebs und weitere Überwachungsmaßnahmen anschlossen, wurden durch das Teilvorhaben und die NW-FVA begleitet. Dadurch bot sich die Möglichkeit zur Präsentation von Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes im Rahmen eines Waldschutztages. Im Dezember 2017 erfolgte der Waldschutztage am Forsthof Kenzendorf. 40 Teilnehmer aus Forstbetrieben, von forstlichen Stabsstellen und von Ministerien sowie Medienvertreter folgten der Einladung. Neben dem Vorgehen selbst, wurden Auswirkungen der Schadorganismen auf die Waldstruktur und der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf Nichtzielorganismen intensiv diskutiert. Bei den Vorträgen und einer Exkursion wurden die Projektbearbeiter durch mehrere Waldschutzberater unterstützt. Die Veranstaltung war nur durch erhebliches zusätzliches Engagement aus der NW-FVA umzusetzen. Weitere Waldschutztage waren für das Jahr 2018 in den Beispielbetrieben Iphofen und Arenberg-Schleiden geplant, doch ließ die dann bereits angespannte Waldschutzsituation die Ausrichtung nicht mehr zu. Die Beispielbetriebe wirkten aber weiterhin als Multiplikatoren. Im Rahmen von Treffen der Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft, des Forstvereins oder der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzer informierten sie über den integrierten Pflanzenschutz (IPS), die Leitlinie für die Forstwirtschaft und konkret über die betriebsspezifischen Waldschutzprobleme und deren Lösung.

In den Folgejahren kam es durch Sturmereignissen und der Sommertrockenheit zur Verschärfung der Waldschutzsituation. Es wurden die Monitoringmaßnahmen in der Fichte (z. B. Buchdrucker (*Ips typographus*), in der Kiefer (z. B. Forleule - *Panolis flammea*) und in der Eiche (z. B. Schwammspinner (*Lymantria dispar*)) verstärkt, die einen Anstieg der Schadinsekten bestätigten. In dieser Situation bestand zur Vorbereitung und Durchführung von Informationsveranstaltungen wenig Bereitschaft, denn es fehlten bei den personalschwachen Betrieben die dafür erforderlichen Kapazitäten.

Auf der Pflanzenschutztagung 2018 in Hohenheim sowie auf der Forstwissenschaftlichen Tagung in Göttingen präsentierten die Kooperationspartner ein gemeinsames Poster bzw. einen Vortrag zum Einsatz des Borkenkäfer-Fangsystems Trinet® P und zu den Ergebnissen der ökologischen Begleituntersuchung im Forstbetrieb Kenzendorf. In Diskussionen zu den Risiken beim Pflanzenschutz wurde auf die Besonderheiten des Waldschutzes hingewiesen und die im Wald kleinflächige Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel betont.

C. Erstellung, Anwendung und Auswertung einer Checkliste

Zur Entwicklung einer Methode für die Bewertung der Umsetzung der sektorspezifischen Leitlinie in den Beispielbetrieben wurde eine Onlinebefragung (Multiple Choice Fragen) erarbeitet, von der eine höhere Akzeptanz bei den Anwendern zu erwarten war. Die Fragen und der Aufbau der Befragung folgen den Inhalten und der Struktur der Leitlinie. Um eine hohe Nutzerfreundlichkeit der Befragung zu erreichen, musste ein effektives Fragenkonzept entwickelt werden. Unter anderem sollten – wo es möglich war - mit einer Frage verschiedene Themenbereiche adressiert werden. Dennoch sollte die höchstmögliche Detailschärfe bei der Auswertung ermöglicht werden. Nach diesen Vorgaben wurde vom JKI-SF ein Befragungsentwurf erstellt, der mit den Partnern der NW-FVA und der Projektleitung (JKI-GF) intensiv inhaltlich abgestimmt und anschließend als Online-Variante umgesetzt wurde.

Für die Entwicklung des Online-Fragebogens wurde das System von der Firma SoSci Survey GmbH genutzt. Dieser Anbieter stellt Lösungen für professionelle Onlinebefragung in Form von vorprogrammierten Strukturen, frei programmierbare Filterführung, vollständig anpassbare Layouts, kontrollierte Randomisierung für wissenschaftliche Experimente, u.v.m. bereit. Die Grundstruktur des Online-Fragebogen orientierte sich am Aufbau der Leitlinie (Stand 07/2018) und umfasste acht übergeordnete Themenbereiche, u. a. die Baumartenwahl und Mischung, die Überwachung von Schadorganismen, die Anwendung nichtchemischer oder chemischer Waldschutzmaßnahmen sowie die Erfolgskontrolle und Dokumentation bei der Anwendung von PSM, mit einer unterschiedlichen Anzahl von Fragen. Als Antwortoptionen waren u. a. die Mehrfachauswahl, Gewichtungen und die Erstellung von Rangfolgen möglich.

Alle Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten und die Umfrage anonymisiert durchgeführt und keine erhaltenen Daten wie z. B. E-Mail-Adressen an Dritte weitergegeben. Zum Abschluss der Umfrage hatte jeder Teilnehmer die Möglichkeit in ein Freitext-Feld z. B. Hinweise oder Ideen zu nennen. Mit dieser Option konnten Fehlerbehebungen oder die Verbesserung von Antwortoptionen in den Fragebogen einfließen.

Durch die Kombination unterschiedlicher Themenbereiche konnte der Detailgrad der Antworten angehoben werden, war aber mit 39 Fragen in acht Themenbereichen sehr komplex. Um die Komplexität des Fragebogens zu reduzieren aber nicht den Inhalt zu schmälern wurden Filterfragen implementiert. Dies ermöglichte eine individuelle Befragung und eine Erhöhung der Antwortdetails. Die Fragenbögen (Abb. Tv4-3-1) wurden per personalisiertem Zugangslink im August 2019 an die 13 Waldschutzbeauftragten der sechs Beispielbetriebe gesendet und konnten bis zu einer Deadline beantwortet und im Anschluss anonymisiert zurückgesandt werden. Von den sechs Beispielbetrieben beteiligten sich fünf an der Befragung mit insgesamt 7 Teilnehmern. Da die Beispielbetriebe zum Teil in mehrere Reviere mit ggf. verschiedenen Entscheidungsträgern im Pflanzenschutz unterteilt sind, sollte eine revierweise Befragung erfolgen.

JKI
Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

4% ausgefüllt

Baumartenwahl und Mischung

Der horizontale und vertikale Bestandesaufbau (u. a. Baumartenmischung, Alterszusammensetzung, Schichtung) bestimmt ganz wesentlich die Disposition von Waldbeständen gegenüber Schadfaktoren.

1. Wie gestaltet sich derzeit in etwa die Verteilung der Baumartengruppe(n) innerhalb Ihres Reviers?
Mehrfachauswahl möglich. Eine Eingabe pro Baumart. Die Erreichung der 100 % sind nicht erforderlich

Kiefer (alle Kiefernarten)

<20 %

21 – 40 %

41 – 60 %

61 – 80 %

81 % >

Fichte (alle Fichtenarten)

Buche

Eiche (alle Eichenarten einschl. Rot-Eiche)

Lärche (alle Lärchenarten)

Tanne (Weißtanne, Küstentanne u. sonst. Tannen)

Douglasie

Andere Laubbäume mit hoher Lebensdauer

Andere Laubbäume mit niedriger Lebensdauer

Zurück Weiter

Befragung unterbrechen

Martin Karabensch, Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81 14532 Kleinmachnow Tel: 033203 48-309, Fax: 48-425

Abb. Tv4-3-1: Exemplarische Darstellung einer Frage des Online-Fragebogens

D. Ökologische Begleituntersuchung zum Einsatz des Borkenkäfer-Fangsystems Trinet® P

Im Beispielbetrieb Kenzendorf wurde unter der Beteiligung und Anleitung der NW-FVA im Frühjahr 2017 in einem Fichtenbestand mit vorjährigem, nicht saniertem Befall eine reguläre Bekämpfung des Buchdruckers durch Massenfang mit attract-and-kill-Systemen durchgeführt. Hersteller des Fangsystems Trinet® P ist die Firma BASF. Durch den Einsatz von spezifischen Pheromonen, wie „Pheroprax“ lockt das System hauptsächlich den Buchdrucker an. Der Pheromonbehälter ist durch ein mit alpha-Cypermethrin freisetzendes Netz umgeben.

Die Projektbearbeiter von NW-FVA und JKI-SF begleiteten sowohl das Monitoring des Käferflugs wie auch die Überwachung des Befallsbereiches und den Einsatz der Fangsysteme bis zum Bekämpfungserfolg. Durch das konsequente und zielorientierte Management blieb der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß beschränkt.

Das Institut JKI-SF führte ökologische Begleituntersuchungen zum Einsatz des Borkenkäfer-Fangsystems Trinet® P und zu möglichen Folgen auf Nichtzielorganismen zur Folgenabschätzung dieser Bekämpfung durch. Auf Grund der beschriebenen Befallsituation konnte die Untersuchung erst mit dem Borkenkäferflug im Frühjahr 2017 gestartet werden. Im April 2017 fand eine Begehung der Versuchsfläche in Kenzendorf durch Mitarbeiter des JKI-SF, der NW-FVA und den Betriebseigentümern statt. Dabei wurden der Versuchsablauf abgestimmt, die optimalen Standorte der Fangsysteme TriNet® P festgelegt und der Aufbau durchgeführt. Es wurden insgesamt 11 Fangsysteme entlang der Bestandeskante installiert, von denen 6 für die ökologische Begleiterhebung genutzt wurden (Abb. Tv4-4-1). Die Einrichtung unbehandelter Kontrollen bzw. Referenzflächen war durch die Projektstruktur (Beispielbetrieb) nicht möglich. Die fehlende Kontrollfläche erschwert eine sichere Bewertung zur Wirkung des genutzten Trinet®-P-Systems auf Nichtzielorganismen.

Im Zeitraum Mai bis Juni wurden an vier Schwärmtagen des Zielorganismus (ZO) die von den Fangsystemen erfassten ZO- und NZO mit Hilfe von Fangwannen (Abb. Tv4-4-1) in jeweils drei Tageszeitintervallen (I: 08:00 – 11:00, II: 11:00 – 15:00, III: 15:00 – 19:00) erfasst und von dort abgesammelt. Ihre Lagerung erfolgte in 70%igem Alkohol bei einer konstanten Lagertemperatur von ~ 6°C. Während des Versuches wurden am Untersuchungsstandort Wetterdaten erhoben, mit denen die Qualität der Auswertungen erhöht wurde.

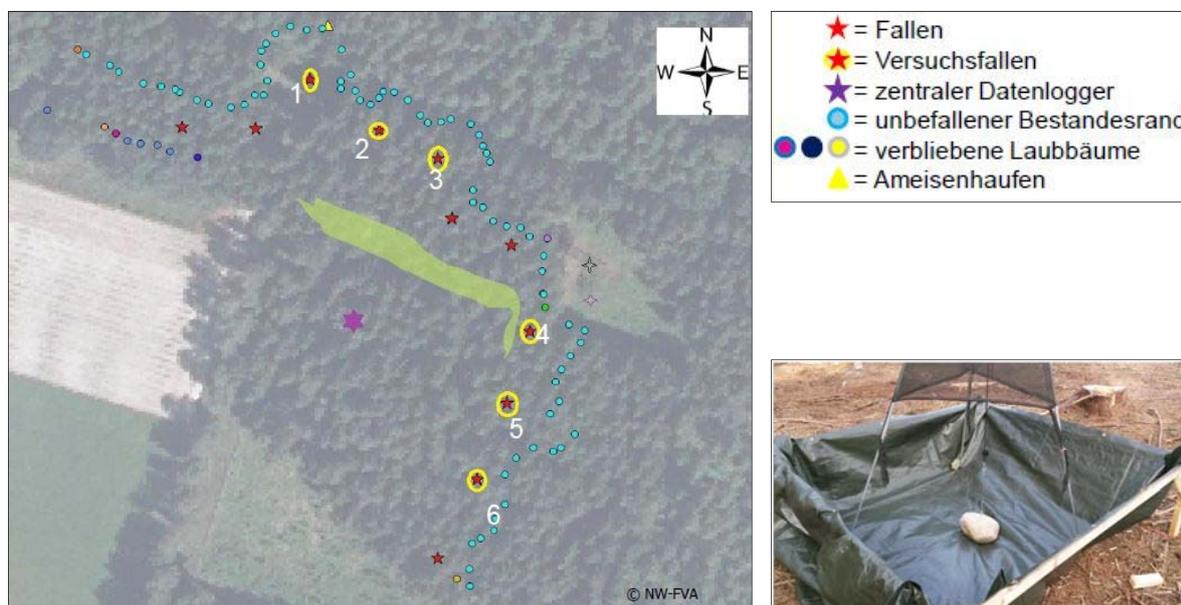


Abb. Tv4-4-1: Versuchsaufbau und Positionierung der Fallen: Trinet® P mit Fangwanne

Die Bestimmung und Auswertung der Proben erfolgte im JKI-Institut SF in Kleinmachnow. Zu Beginn wurden die Insekten nach ZO- und NZO getrennt. Im weiteren Verlauf erfolgte die Determination der NZO meist bis auf Ordnungsebene. Der Ameisenbuntkäfer (*Thanasimus spec.*) stand im Fokus der Begleituntersuchungen und wurde bis zur Artebene bestimmt. Die Entscheidung allgemein nur bis zur Familie zu bestimmen, war insbesondere begründet durch die große Anzahl der zu bestimmenden Individuen und den begrenzten Zeithorizont des Projektes. An den vier Fangtagen wurden an den sechs beprobten Trinet® P-Systemen insgesamt 20.415 Insekten erfasst. Neben dem ZO *Ips typographus* fingen die Systeme eine deutliche Masse an Kupferstechern (*Pityogenes chalcographus*). Mit 70% (14.285 Individuen) stellte der Buchdrucker die größte Gruppe bei den Gesamtfängen dar, gefolgt vom Kupferstecher mit 19% (14.285 Individuen). Der Anteil

Die Leerungen der Schlitzfallen fanden wöchentlich, beginnend am 17.04.2019 und endend am 19.06.2019 (Pheromon aufgebraucht) statt. Die insgesamt zehn Fallenleerungen wurden separat für jedes Schlitzfallensystem einzeln, in Gefäße mit 70 %igen Alkohol überführt und bei JKI-SF bei ~ 6°C gelagert. Die Determination der gefangenen Insekten und die Auswertung der Ergebnisse lagen bei JKI-SF. Die Auslesung der Datenlogger erfolgte mit der Software EasyLog - USB.

Auf Grund der hohen Fangzahlen und des knappen Zeitfensters sowie personeller Verfügbarkeit wurde die Determination der Käfer (Coleoptera) in den Fokus gerückt und der Schwerpunkt der Bestimmungsarbeit auf die Bestimmung der Ameisenbuntkäfer (*Thanasimus spec.*) bis auf Artebene gelegt.

Die Gesamtmenge von Fängen auf der Kontrollfläche (Nationalpark) lag bei ca. 52.000 Insekten und damit deutlich höher im direkten Vergleich zur Versuchsfläche Bad Lauterberg mit etwa 25.000 Insekten. Die Fänge der ZO (Borkenkäfer) wurden geschätzt und die NZO wurden genau gezählt, daher wurden Gesamtfänge und ZO als circa Werte angegeben (Tab. Tv4-4-1).

Tab. Tv4-4-1: Anzahl der Ziel- und Nichtzielorganismen der Standorte „Nationalpark“ und „Bad Lauterberg“

	Gesamtfang Insekten	Zielorganismen-ZO (Borkenkäfer)	Nichtzielorganismen-NZO
Bad Lauterberg	ca. 25.000	ca. 24.000	750
St. Andreasberg (Nationalpark Harz)	ca. 52.000	ca. 51.000	849

Die Fangzahlen beider Standorte wiesen mehr Fänge an Zielorganismen auf, im Vergleich zu den deutlich geringeren Fängen an Nichtzielorganismen. Dies gibt Hinweise auf eine effektive Lockwirkung des verwendeten Pheromons. Die hohen Fangzahlen bestätigten darüber hinaus den hohen Schädlingsdruck. In der Gruppe der Nichtzielorganismen wurden 35 Käferfamilien erfasst, wobei Rindenglanzkäfer (Monotomidae), Werftkäfer (Lymexylidae) und Schnellkäfer (Elateridae) besonders hohe Fangzahlen aufwiesen. Es wurden im gesamten Versuchszeitraum an beiden Standorten zusammen 30 Ameisenbuntkäfer gefangen. Zwei Ameisenbuntkäfer-Arten konnten determiniert werden, zum einen *Thanasimus formicarius* und zum anderen *Thanasimus rufipes*. Auf Grund der sehr geringen Fangzahlen lassen sich keine validen Aussagen über mögliche Einflüsse des verwendeten Trinet P-Systems auf NZO, im speziellen auf die lokale *Thanasimus*-Population treffen. Es können bei derart wenigen Individuen gezielte und zufällige Anflüge des Fallensystems nicht differenziert werden.

Mit Hilfe der erhobenen Wetterdaten konnte festgestellt werden, dass die ZO eine deutlich frühere Flugaktivität aufwiesen als die NZO. So fingen die Fallensysteme im Nationalpark (Kontrollfläche) etwa 16.000 Individuen in der Woche vom 17.04 - 23.04.2019, wobei davon nur 0,3 % (43 Individuen) der Gruppe der NZO zuzuordnen waren. In der darauffolgenden Woche stiegen die Fangzahlen der NZO im Nationalpark bei wärmerer Witterung auf 3,7 % (221 Individuen) an, von etwa 6.000 Individuen. Die Fangzahlen der Versuchsfläche Bad Lauterberg mit etwa 3.700 Individuen (ZO) lag deutlich hinter den etwa 16.000 ZO auf der Kontrollfläche. Hier kann möglicherweise die aktive Bekämpfungsstrategie der Forstverwaltung einen Einfluss auf die ZO haben. Dieser Trend zeigte sich im gesamten Versuchszeitraum. Ebenfalls lagen die erhaltenen Fangmengen der NZO beider Standorte tendenziell nahe beieinander.

Am 19.06.2019 wurde der Versuch abgebaut, da die Lockwirkung des Pheromons durch die Versuchszeit aufgebraucht war. An diesem Tag des Versuchsabbaus, konnte im Nationalpark ein massiver Borkenkäferanflug der Fichtenbestände beobachtet werden. Da das Material aufgebraucht und die noch verbleibende Projektlaufzeit sehr knapp waren, konnte keine weitere Verlängerung des Versuches realisiert werden. Im Zuge der veränderten Situation lässt es die Frage zu, ob der Ameisenbuntkäfer ebenfalls mit einem verstärkten Zuflug reagieren würde?

Das hohe Buchdruckeraufkommen und deren Pheromone können Einfluss auf die Pheromon-Lockwirkung der verwendeten Fallensysteme gehabt haben. Es ist daher möglich, dass die natürlichen Pheromone den verwendeten künstlichen überlegen waren und somit weniger attraktiv auf *Thanasimus spec.* wirkten.

Die ausgesuchten Versuchsstandorte waren klassische Buchdrucker-Befallsgebiete. Es wurde gezeigt, dass die größte Gruppe der NZO durch die Ordnung der Coleoptera vertreten ist. Des Weiteren zeigte sich ein unterschiedlicher Beginn der Aktivitäten zwischen ZO sowie NZO an den Fallensystemen. Mithilfe der Messungen konnte ein Temperatureinfluss auf die Aktivität/Fangzahlen/Abundanzen der ZO und NZO nachgewiesen werden. Die ZO reagierten zeitiger auf Warmphasen der Witterung und begannen somit früher mit der Flugaktivität, während die NZO längere Zeit mit wärmerer Witterung für den Beginn ihrer Flugaktivität benötigten.

Um verlässliche Aussagen gewinnen zu können, sind weitere Untersuchungen mit diesem Versuchsaufbau notwendig. Durch den weiteren Versuch konnten erste Anhaltspunkte und Daten zur Wirkung des Trinet P-Systems auf Nichtzielorganismen (NZO) gewonnen sowie die methodische Weiterentwicklung fokussiert werden.

E. Mehrwert

Die acht allgemeinen Grundsätze für den integrierten Pflanzenschutz wurden durch die Erarbeitung einer Leitlinie für die Forstwirtschaft konkret umgesetzt. Integriertes Vorgehen kann anhand einer forstfachlich breit abgestimmten Position zuverlässig in der Praxis und bei der Beratung weiter implementiert werden. Für einen wichtigen Sektor ist eine Maßnahme des NAP zur Verringerung der Auswirkungen notwendiger Pflanzenschutzmaßnahmen auf die menschliche Gesundheit und den Naturhaushalt vorbereitet. Die angestrebte Anerkennung der Leitlinie für die Forstwirtschaft wird zur Erfüllung deutscher Pflichten gegenüber der Europäischen Union beitragen.

ERZIELTE ERGEBNISSE IM TEILVORHABEN 4

Die nachhaltige Waldwirtschaft benötigt wirksame Pflanzenschutzverfahren, um die vielfältigen Funktionen der Waldbestände zu sichern. Der Reduzierung von Nebenwirkungen, die mit der Umsetzung entsprechender Schutzmaßnahmen verbunden sein können, kommt eine wichtige Bedeutung zu. Zur Unterstützung dieser Aufgabe sind im NAP kulturpflanzen- oder sektorspezifische Leitlinien vorgesehen, welche die acht allgemeinen Grundsätze für IPS konkretisieren sollen.

- Für die Forstwirtschaft wurde im Rahmen des Teilvorhabens 4 durch die Abteilung Waldschutz (Sachgebiet Käfer und Mittelprüfung) der NW-FVA eine **sektorspezifische Leitlinie** für integrierten Pflanzenschutz erarbeitet und bundesweit mit maßgeblichen Akteuren der Forstwirtschaft abgestimmt.

Diese gemeinsame Position stellt vor dem Hintergrund, dass an den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Waldschutz zunehmend strengere Auflagen geknüpft werden und sich die Zahl der im Forst zugelassenen Pflanzenschutzmittel stetig verringert, für die forstlichen Anwender und die Waldschutzberater den Stand der Wissenschaft und Technik im Waldschutzmanagement zusammen. Dabei wird die Relevanz, die typische betriebliche Maßnahmen für die Vermeidung von Produktions- und Anwendungsrisiken haben, aufgezeigt. Die Anwender werden aufgefordert und motiviert unter vorrangiger Berücksichtigung nichtchemischer Pflanzenschutzverfahren und Beschränkung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf das notwendige Maß abzuwägen, welche Nutz-, Pflege- und Schutzmaßnahmen in ihrem Betrieb zielführend umsetzbar sind.

- Die sektorspezifische Leitlinie verweist für Verfahrensfragen im Wesentlichen auf die zuständigen Einrichtungen der Betriebsbetreuung und Beratung, aber sie gibt für die regelmäßigen Entscheidungen im Forstbetrieb an, welche Bedeutung sie für die Vermeidung von Risiken haben.
- Die sektorspezifische Leitlinie wurde dem Wissenschaftlichen Beirat des NAP beim BMEL zur Anerkennung vorgelegt und es wird ihre Aufnahme in den Anhang des NAP angestrebt.

Um den IPS in der Forstwirtschaft auch unmittelbar zu demonstrieren, gehörten sechs Beispielbetriebe zum Teilvorhaben. Eine intensive fachliche Betreuung in Waldschutzfragen war die wesentliche Motivation der Betriebe zu dieser Kooperation, und tatsächlich führte die Zusammenarbeit auch zu einer besonderen Aufmerksamkeit gegenüber Risiken der eigenen Waldbestände, wie auch für das nötige Maß bei Bekämpfungen. Die Beratung der Betriebe aus dem Teilvorhaben bot allerdings teilweise Konfliktpotential zur Officialberatung, weshalb schwierige Anfragen immer wieder an Fachberater weitergegeben wurden.

- Durch die **Beteiligung der Beispielbetriebe** wurde sichergestellt, dass die Leitlinieninhalte auch die betriebspraktischen Gesichtspunkte angemessen und umfassend berücksichtigen. Die Beispielbetriebe prüften die Relevanz und Umsetzbarkeit der Leitlinieninformationen aus der unterschiedlichen Sicht von Betrieben, deren betriebliches Management durch verschiedene Baumartenschwerpunkte geprägt ist.

Einzelne aktive Waldschutzmaßnahmen konnten im Teilvorhaben unmittelbar begleitet und einem vorwiegend forstfachlichen Publikum präsentiert werden. Neben einem Waldschutztag, der mit konkreten Vorort-Präsentationen in einem Forstbetrieb eine besonders intensive Kommunikationsform darstellte, konnten grundsätzliche Informationen zum integrierten Waldschutz und zur Leitlinie auch bei Fachgesprächen sowie auf wissenschaftlichen Tagungen vermittelt werden. Der Waldschutztag fand Interesse nicht nur im Forstkreis,

sondern wurde regional auch von einer breiten Öffentlichkeit positiv wahrgenommen und war damit in der Lage das Verständnis für Pflanzenschutz im Wald zu wecken und die Akzeptanz von Bekämpfungsmaßnahmen zu verbessern. Für weitere Möglichkeiten zur Demonstration von Maßnahmen des IPS sollten Beispielbetriebe mit einer höheren Flächen- und Personalausstattung ausgewählt werden.

- Der **Online-Fragebogen** wurde für eine sektorspezifische Leitlinie entwickelt, bietet aber die Möglichkeit, auf eine kulturartenspezifische Leitlinie zu erweitern. Dies ermöglicht eine deutliche Steigerung der zu gewinnenden Detailschärfe der entwickelten Methode.

Durch die erhobenen Daten des Fragebogens zur Umsetzung des IPS Forst ergibt sich die Möglichkeit einen Trend in verschiedenen Bereichen, wie z. B. die Baumartenverteilung, Schädlingsprobleme, Pflanzenschutzmitteleinsatz (PSM) im Forst darzustellen und entstehende Probleme sowie positive Effekte frühzeitig zu erkennen. Die in den Beispielbetrieben durchgeführte Befragung zeigt, dass der entwickelte Fragebogen für die Bewertung des IPS im Forst geeignet ist und durch den Verzicht auf ein Punktesystem eine vergleichsweise hohe Akzeptanz bei den Befragten findet. Die entwickelte Methode des Onlinefragebogens bietet eine gute Grundlage für eine spätere, umfangreichere z. B. eine deutschlandweite Befragung. Anhand einer solchen Befragung ließen sich repräsentative Ergebnisse zur Umsetzung des IPS sowie eines im Projekt entwickelten Entwurfs einer Leitlinie zum IPS im Forst gewinnen und unter anderem regionale und baumartenspezifische Auswertungen durchführen.

Die **ökologischen Begleituntersuchungen** konnten zum einen Anhaltspunkte und Daten zur Wirkung des Trinet P-Systems auf Nichtzielorganismen (NZO) gewonnen sowie die methodische Weiterentwicklung fokussiert werden.

- Die größte Gruppe der erfassten Individuen des Trinet P-Systems waren die Zielorganismen. Zudem konnten mögliche standörtliche Einflüsse auf einzelnen Fallensysteme beobachtet werden. Des Weiteren haben die zwei ökologischen Begleituntersuchungen gezeigt, dass zur Gewinnung von verlässlichen Aussagen, weitere Untersuchungen mit diesem Versuchsaufbau unabdingbar sind.

Teilvorhaben 5

Verbesserung der Pflanzenschutzmittelverfügbarkeit im Forst

Der Pflanzenschutz im Wald wird in Deutschland gemäß § 3 Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) entsprechend der guten fachlichen Praxis unter Einhaltung der in Anhang III der Richtlinie 2009/128/EG Art. 14 (4) definierten Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS) durchgeführt. Daraus ergibt sich, dass die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) ausschließlich als letztmögliche Handlungsoption genutzt wird und die Anwendung auf das notwendige Maß zu beschränken ist, wobei biologischen, physikalischen und anderen nichtchemischen Methoden der Vorzug zu geben ist.

Betrachtet man die Entwicklung des Waldschutzrisikos in Deutschland, so wird deutlich, dass das biotische und abiotische Schadholzaufkommen in den letzten Jahren teils stark gestiegen ist. Diese Entwicklung wird u. a. durch den Klimawandel zunehmen, in dessen Folge Waldbestände Vitalitätseinbußen erleiden, was zu einer verminderten Widerstandskraft gegenüber Schadorganismen führt. Einige der Forstschadorganismen werden durch den Klimawandel zunehmend begünstigt. Daraus resultierte in den vergangenen Jahren ein starker Anstieg von Waldschutzmaßnahmen, inklusive des chemischen Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln. Aufgrund der gegenwärtigen Gefährdungssituation erhöht sich der Bedarf an integrierten Pflanzenschutzverfahren, verbunden mit der Notwendigkeit auch chemische PSM als Ultima Ratio verfügbar zu machen. Die aktuelle Zulassungssituation im Forst ist daher weiter sehr angespannt. Die Implementierung einer Servicestelle zur Verbesserung der Pflanzenschutzmittelverfügbarkeit im Forst sollte helfen dieses Problem zu lösen.

Hierbei standen folgende Ziele im Fokus:

- Identifikation kurz- und langfristiger Veränderungen im Waldschutzgeschehen,
- Erarbeitung von Lösungsansätzen bzw. Alternativen für den integrierten Pflanzenschutz im Forst,
- Bewahrung der Handlungsfähigkeit des Waldschutzes, inklusive chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen als Handlungsoption, in Ausnahmesituationen.

Verschiedene Recherchen bilden die Grundlage, um Lösungsansätze für die Verbesserung der PSM-Verfügbarkeit im Forst zu erreichen. Das Problem, wie eine Indikationslücke muss identifiziert werden, um Lösungsoptionen zu erarbeiten bzw. gezielt nach einem Pflanzenschutzmittel oder Pflanzenschutzverfahren sowie bestehenden Zulassungsmöglichkeiten zu suchen. Die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln im Forst kann durch verschiedene Antragsarten erfolgen. Ausschlaggebend für die Antragsart sind unterschiedliche Ausgangssituationen, die die VO (EG) 1107/2009 und das PflSchG berücksichtigen. Demnach ist die Antragsart davon abhängig, ob a) der im PSM enthaltene Wirkstoff bereits in der EU genehmigt ist und b) ob oder wo (i.e. Deutschland, EU oder Drittland) das PSM zugelassen ist. Eine Übersicht der infrage kommenden Zulassungsmöglichkeiten gibt Abb. Tv5-1.

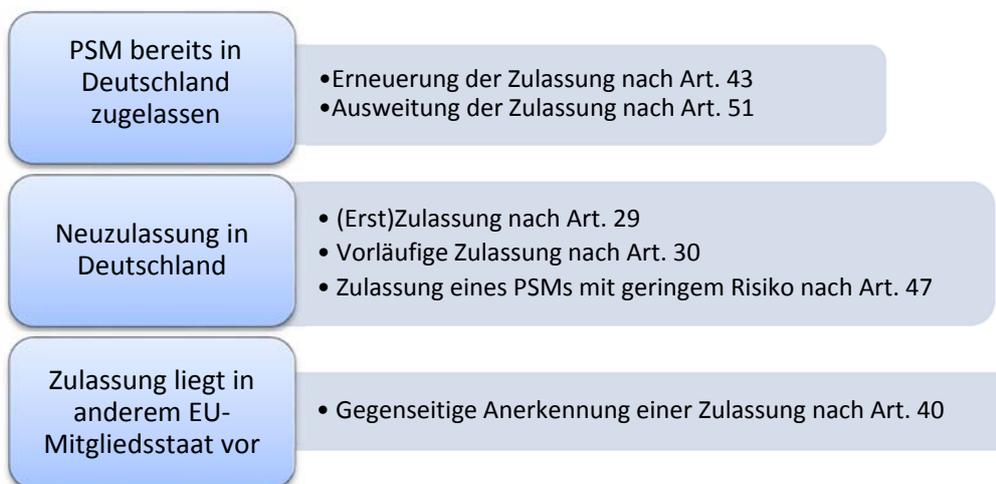


Abb. Tv5-1: Möglichkeiten der Zulassung für Pflanzenschutzmittel zur Verbesserung der Zulassungssituation im Forst

Für Situationen, in denen kein zugelassenes PSM zur Verfügung steht, wurden Ausnahmeregelungen geschaffen. So ist es möglich, in Notfallsituationen im Pflanzenschutz nach Art. 53 der VO (EG) 1107/2009

sogenannte Notfallzulassungen national zu beantragen. Außerdem können einzelbetriebliche Ausnahme genehmigungen beim jeweils zuständigen Pflanzenschutzdienst der Bundesländer beantragt werden (§ 22 PflSchG).

Um mögliche Antragsteller umfassend fachkundig zu beraten und um eine Strategie zu entwickeln, mit der Zulassungsanträge effektiv gestellt werden können, hat sich die Servicestelle mit allen Antragsarten, insbesondere mit der Lückenindikation, vertraut gemacht. Folgende Möglichkeiten der Antragstellung sind aussichtsreich: a) die „reguläre“ Zulassung nach Art. 29 VO(EG) 1107/2009, b) die gegenseitige Anerkennung von Zulassungen nach Art. 40 und c) die Ausweitung des Geltungsbereichs von Zulassungen auf geringfügige Verwendung nach Art. 51 (Lückenindikation). Um in Ausnahmesituationen handlungsfähig zu bleiben sind zudem Notfallzulassungen nach Art. 53 VO(EG) 1107/2009 und Weiterführende Länderbefugnisse nach § 22 PflSchG effektive Instrumente. Zudem erfolgten Versuchs anträge nach § 20 PflSchG und Anträge nach § 18 PflSchG für die Genehmigung oder Zulassung von Luftfahrzeugen.

A. Entwicklung der Zulassungssituation im Forst von 2016 bis 2020

Um sich einen umfassenden Überblick über die Zulassungssituation machen zu können, muss auch die Entwicklung der Wirkstoffverfügbarkeit miteinbezogen werden. Anhand der jeweiligen Genehmigungsdauer können Rückschlüsse über einen drohenden Verlust von PSM gezogen werden. Zwischen April 2016 und April 2020 ereigneten sich im Bereich der Fungizide die größten Änderungen innerhalb der Wirkungsbereiche, was eine Verschmälerung der PSM-Palette dieses Bereichs zur Folge hatte (Tab. Tv5-1). Bei den Rodentiziden konnte der Verlust bestimmter Behandlungsmöglichkeiten durch den verbleibenden Wirkstoff Zinkphosphid kompensiert werden. Die weitere Entwicklung dürfte bei den Insektiziden zu einer drastischen Verringerung der Wirkstoffpalette, mit der Konsequenz auftretender Indikationslücken führen.

Tab. Tv5-1: Entwicklung der Wirkstoffverfügbarkeit von im Forst zugelassenen Pflanzenschutzmitteln im Zeitraum von April 2016 bis April 2020

(**Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai* Stamm ABTS-1857; ***Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* Stamm ABTS-351 (Stamm HD-1))

Wirkungsbereich	Wirkstoff	2016			2017				2018				2019				2020	
		Apr	Jul	Okt	Jan	Apr	Jul	Okt	Jan	Apr	Jul	Okt	Jan	Apr	Jul	Okt	Jan	Apr
Fungizid	Boscalid	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
	Kresoxim-methyl	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
	Quinoxifen		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Schwefel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Herbizid	Clethodim	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Flazasulfuron	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Fluazifop-P		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Glyphosat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Isoxaben		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Propyzamid		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Tepraloxydim	x																
Insektizid	alpha-Cypermethrin	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	B.t.a.*	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	B.t.k.**	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
	Cypermethrin	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	lambda-Cyhalothrin	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Pirimicarb	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Tebufenozid	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Repellent / Wildschadenverhütungsmittel	Blutmehl	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Denathoniumbenzoat	x														x	x	x
	Fischöl	x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Quarzsand	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rodentizid	Schaffett		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Aluminiumphosphid		x	x	x	x	x	x										
	Zinkphosphid	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Die Entwicklung der Zulassungssituation im Forst der vergangenen vier Jahre wird anhand von fünf „Momentaufnahmen“ von September 2016, August 2017, August 2018, Mai 2019 und Mai 2020 exemplarisch dargestellt.

Im Einsatzgebiet Forst waren bis Juni 2020 Zulassungen in den Wirkungsbereichen Fungizide, Herbizide,

Insektizide, Repellentien und Rodentizide verfügbar. Dies war ein Wirkungsbereich weniger als zu Projektbeginn, mit der Zulassung im Bereich Wundbehandlungsmittel. Die Gesamtanzahl der für die im Forst zugelassenen PSM schwankte im Zeitraum von April 2016 bis April 2020 leicht. Sie lag zwischen 124 und 138 Zulassungen. Bei rund zwei Dritteln handelte es sich um sogenannte Vertriebsweiterungen. Dies sind PSM, die entsprechend § 30 PflSchG unter abweichender Bezeichnung in Verkehr gebracht wurden. Solche Vertriebsweiterungen dominieren teilweise einzelne Wirkungsbereiche und blähen die Zulassungszahlen auf. Ist man sich dieses Umstandes nicht bewusst, kann der falsche Eindruck entstehen, dass für bestimmte Anwendungen ausreichend Pflanzenschutzmittel zugelassen sind. Tatsächlich sind aber viele Zulassungen an eine einzelne geknüpft. Erlischt nun die „Basiszulassung“, erlöschen zeitgleich alle damit assoziierten Vertriebsweiterungen. Davon waren in den vergangenen vier Jahren insbesondere die Rodentizide und Insektizide betroffen. Bei den Herbiziden steht möglicherweise ebenfalls ein größerer Verlust von Zulassungen bevor, da dort eine größere Anzahl von Vertriebsweiterungen vorliegen. In Tab. Tv5-2 und Tv5-3 werden die Entwicklung in den letzten vier Jahren bezüglich der Gesamtanzahl zugelassener PSM sowie der Anteil von Vertriebsweiterungen in den Wirkungsbereichen des Forstes dargestellt.

Tab. Tv5-2: Prozentualer Anteil (%) der Vertriebsweiterungen an der Gesamtzulassungszahl in den einzelnen Wirkungsbereichen im Forst

Wirkungsbereich	September 2016	August 2017	August 2018	Mai 2019	Mai 2020
Akarizid, Fungizid	0	0	0	0	0
Fungizid	42,9	37,5	50,0	66,7	66,7
Herbizid	73,8	73,8	74,4	74,1	76,8
Insektizid	36,4	36,4	66,7	50,0	50,0
Repellent, Wildschadenverhütungsmittel	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Rodentizid	78,3	78,3	65,0	40,0	45,5
Wundbehandlungsmittel	0	-	-	-	-

Tab. Tv5-3: Entwicklung der Zulassungen und der Anzahl von Vertriebsweiterungen in den einzelnen Wirkungsbereichen im Forst (Zeitraum September 2016 bis Mai 2020)

Wirkungsbereich	September 2016		August 2017		August 2018		Mai 2019		Mai 2020	
	Anzahl Zul.	davon VE	Anzahl Zul.	davon VE	Anzahl Zul.	davon VE	Anzahl Zul.	davon VE	Anzahl Zul.	davon VE
Akarizid, Fungizid	1	0	= 1	= 0	= 1	= 0	= 1	= 0	= 1	= 0
Fungizid	7	3	↑ 8	= 3	= 8	↑ 4	↓ 6	= 4	= 6	= 4
Herbizid	80	59	= 80	= 59	↓ 78	↓ 58	↑ 81	↑ 60	↑ 82	↑ 63
Insektizid	11	4	= 11	= 4	↑ 21	↑ 14	↓ 16	↓ 8	= 16	= 8
Repellent, Wildschadenverhütungsmittel	10	3	= 10	= 3	= 10	= 3	= 10	= 3	= 10	= 3
Rodentizid	23	18	= 23	= 18	↓ 20	↓ 13	↓ 10	↓ 4	↑ 11	↑ 5
Wundbehandlungsmittel	1	0	↓ 0	= 0	= 0	= 0	= 0	= 0	= 0	= 0

Seit 2017 findet eine Abfrage über die Bereitschaft zur Beantragung einer Zulassungsverlängerung oder Wirkstoffverteidigung bei den Zulassungsinhabern der im Forst zugelassenen PSM durch die Servicestelle statt. Dadurch ist ein besserer kurz- bis mittelfristiger Überblick über die bevorstehende Entwicklung des Zulassungsgeschehens möglich.

B. Drohende und bestehende Indikationslücken in den Wirkungsbereichen

Die größten Probleme lagen und liegen in den Wirkungsbereichen der Insektizide und der Rodentizide. Bei den Herbiziden zeichnet sich mittelfristig eine gravierende Verschärfung der Zulassungssituation ab. Das Auftreten pilzlicher Pathogene könnte es erforderlich machen die Fungizide stärker in den Fokus zu nehmen.

Bei der PSM-Verfügbarkeit von **Insektiziden** gibt es großen Handlungsbedarf. Indikationslücken bestehen bei Afterraupen (Blattwespen) und Maikäfern. Durch auslaufende Zulassungen sind Indikationen zur Bekämpfung

von rinden- und holzbrütenden Borkenkäfern, Bock- und Prachtkäfern, Rüssel- und Blatthornkäfern, Blattläusen und bei freifressenden Schmetterlingsraupen gefährdet. Daneben ist der Wirkungsbereich davon geprägt, dass für eine Vielzahl von Schadorganismen oder -gruppen nur wenige Wirkstoffe verfügbar sind und die Bekämpfungsmöglichkeiten vieler Schadorganismen an die Zulassungen weniger PSM geknüpft sind. Dies trifft besonders auf KARATE FORST flüssig zu (Tab. Tv5-4). Gegenwärtig besteht das Problem, dass bei einem möglichen Verlust pyrethroidhaltiger Insektizide nur noch Wirkstoffe zur Bekämpfung von Schmetterlingsraupen verfügbar wären.

Tab. Tv5-4: Übersicht der gegenwärtig zugelassenen Insektizide nach Schadinsekten (Vertriebserweiterungen sind nicht aufgeführt, Stand 25.06.2020)

Präparat	Zulassungsende	Schadorganismen						
		freifressende Schmetterlingsraupen	rinden-/holzbrütende Borkenkäfer	Rüsselkäfer	Pracht-/Bockkäfer	Blattläuse	Blatt-/Nadel-fressende Käfer	Sägehörniger Werftkäfer
Fastac Forst	31.07.2020		ja	ja	ja			
FORESTER	31.10.2020		ja	ja				
KARATE FORST flüssig*	31.12.2020	ja	ja	ja		ja	ja	ja
Mimic*	31.05.2022	ja						
Pirimor Granulat	31.10.2020					ja		
Storanet	31.07.2020		ja		ja			
TRINET P	31.07.2020		ja					
XenTari*	30.04.2022	ja						

Die Zulassungssituation im Bereich der **Rodentizide** ist seit 2016 durch die Gefahr von Wirkstoffverlusten geprägt. Seit dem Zulassungsende aluminiumphosphidhaltiger Präparate ist in diesem Segment nur noch ein Wirkstoff, i.e. Zinkphosphid, verfügbar. Trotz der Reduzierung trat Mitte November 2019 eine leichte Entspannung bei der Zulassungssituation zur Bekämpfung von Feld-, Erd-, Rötel- und Schermaus hinsichtlich längerer Zulassungsfristen und praxistauglicher Anwendungsbestimmungen ein. Davor wurden Zulassungszeiträume sämtlicher PSM zur oberirdischen Bekämpfung von Feld-, Erd- und Rötelmaus wegen Verzögerungen in den Verfahren zur Erneuerung der Zulassungen jährlich verlängert. Dies änderte sich ab Ende Juni 2018, als Zulassungen erteilt wurden, die bis April 2022 Gültigkeit besitzen. Allerdings wurden diese Zulassungen mit Anwendungsbestimmungen belegt, welche die Anwendung der Mittel derart einschränkte, dass die Verwendung praktisch nicht möglich war. Durch die Konkretisierung der betreffenden Anwendungsbestimmungen am 06.11.2019 durch das BVL wurde diesbezüglich eine Verbesserung erzielt.

Im Wirkungsbereich der **Herbizide** sind die Probleme gegenwärtig nicht akut. Es wäre allerdings notwendig, Bekämpfungsoptionen gegen zweikeimblättrige Unkräuter, wie dem Japanischen Staudenknöterich, zu finden. Mittelfristig besteht eine Problemantik darin, dass trotz der in diesem Bereich vergleichbar großen Wirkstoffanzahl rd. 4/5 aller Zulassungen von einem Wirkstoff abgedeckt werden. Bei Verlust dieses Wirkstoffes drohen Lücken bei der Bekämpfung von Holzgewächsen, wie der Spätblühenden Traubenkirsche (*Prunus serotina*) oder der Echten Brombeere (*Rubus fruticosus*) sowie dem Riesen-Bärenklau (*Heracleum mantegazzianum*).

Aufgrund der geringen Anwendungshäufigkeit von **Fungiziden**, spielt dieser Wirkungsbereich bisher eine untergeordnete Rolle. Das Waldschutzrisiko wird jedoch durch das Auftreten neuer oder bisher wenig problematischer pilzlicher Schaderreger, wie der Ahorn-Rußrindenkrankheit (*Cryptomstroma corticale*) oder den Ahorn-Stammkrebs (*Eutypella parasitica*), vergrößert. Der Wirkungsbereich ist durch einen starken Wirkstoffrückgang seit Anfang 2019 geprägt. Dies wirkte sich gleichfalls auf die Indikationen aus. Momentan ist ausschließlich die Bekämpfung von Eichenmehltau (*Microsphaera alphitoides*) an Sämlingen und Jungpflanzen zugelassen.

C. Recherche nach Lösungsansätzen

Die Recherche nach Lösungsansätzen für Pflanzenschutzverfahren, verfügbaren Pflanzenschutzmitteln und -wirkstoffen erfolgte national und international. Primäre Quellen für die Suche waren die nationalen Pflanzenschutzmittelverzeichnisse und Zulassungsdatenbanken der EU-Mitgliedsstaaten und ausgewählter Drittstaaten, wo ein ähnliches Schadgeschehen wie hierzulande bekannt oder annehmbar war. Weitere Recherchequellen waren Tagungen, Symposien, die Teilnahme an Arbeitstreffen anderer mit der Lückenindikation befasster Stellen, Messen und der Austausch mit Vertretern der Industrie.

Während des Projektes wurden die PSM-Verzeichnisse von den Ländern der Zulassungszone B (Belgien, Deutschland, Irland, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Polen, Slowakei, Slowenien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich) ausgewertet. Weiterhin wurden die PSM-Verzeichnisse von Dänemark, der Schweiz, Kanada und den Vereinigten Staaten gesichtet. Bei der Auswertung der EU-Verzeichnisse zeigte sich, dass sich die bei ähnlichen Waldschutzhematiken verwendeten Pflanzenschutzmittel ähneln (selbe Formulierung abweichender Mittelname oder anderer Wirkstoffgehalt). Deshalb wurde der Fokus auf den Ländern der zentralen Zone belassen. Andere Lösungsansätze (im Sinne von Pflanzenschutzmitteln) konnten in Drittländern gefunden werden. Grund hierfür ist die Möglichkeit auf Wirkstoffe zurückgreifen zu können, die nicht in der EU genehmigt sind.

Durch Auszüge aus der Datenbank „Homologa“ (<https://v5.homologa.com/en/>), einer kostenpflichtigen globalen Pflanzenschutzmitteldatenbank, konnten darüber hinaus Hinweise zur gezielten Suche nach weiteren, weltweit bestehenden Lückenindikationen für den Forst gewonnen werden. Es zeigte sich, dass die Abfragen der „Homologa“ für den Forst lediglich Indizien für weitere Indikationen ergaben, da durch die unterschiedliche Systematik der landwirtschaftlichen Kulturen und Schaderreger der einzelnen Datenbanken nur bedingte Aussagen für den Forst gewonnen werden konnten. Indikationen konnten zwar Gehölze betreffen, dienen dann aber unter Umständen der Anwendung im Forst, in Christbaumkulturen, in Baumschule oder an Zierpflanzen. Diese sprachbedingte Problematik war generell ein Problem der Recherche, da die Hinterlegung von Pflanzen und Schadorganismen mit deren wissenschaftlichen Namen sehr selten vorgenommen wurde. Aus diesem Grund wurden bei der Recherche der Verzeichnisse sämtliche Kulturen übersetzt und geprüft, ob sie forstlicher Natur sind. Darauf aufbauend konnte so anhand der Einzelindikationen die Übersetzung der Schadorganismen vorgenommen bzw. versucht werden.

Da für die Pflege der Datenbank die kontinuierliche Recherche notwendig ist, wurde für jedes ausgewertete Verzeichnis eine entsprechende Übersetzung angelegt. Gleiches gilt für die Bedienung der jeweiligen PSM-Verzeichnisse, bezüglich der Schaltflächen und des Workarounds. Denn die Recherchen der unterschiedlichen PSM-Verzeichnisse benötigten gleichfalls unterschiedliche Herangehensweisen, da die Güte und Detailtiefe und die Datenbankformate stark variierten.

Um Informationen zu den Wirkstoffen zu erhalten, wurde die „EU-Pesticides Database“ (<https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database>) genutzt. In dieser Datenbank sind sämtliche Wirkstoffe, die in der EU ein Wirkstoffgenehmigungsverfahren durchlaufen haben, mit Informationen und Unterlagen des Genehmigungsverfahrens hinterlegt.

Nicht zu unterschätzende Informationsquellen zu Neuerungen im Pflanzenschutz sind Vertreter der herstellenden Industrie. Durch diese erhält man einen Einblick auf das Zulassungsgeschehen von Antragstellerseite. Dadurch kann im Idealfall auf Probleme der Antragsteller eingegangen werden und nach Lösungen zur Überwindung selbiger gesucht werden.

Durch Industrievertreter ist es möglich, frühzeitig – im Bestfall vor Markteinführung – von neuen Produkten Kenntnis zu erhalten und deren Verwendungsfähigkeit im Forst zu eruieren. Möglichkeiten zum Austausch dieser Art bieten die Arbeitstreffen der CEGs der MUCF, Messen, Tagungen und der persönliche Kontakt zu den Registrierungsmanagern der Pflanzenschutzmittel für Forst und Sonderkulturen.

D. Aufbau einer Datenbank

Die Datenbank (DB) gibt einen Überblick über national und international zugelassene PSM, die zum Lückenschluss im Forst geeignet sind. Inhalte sind das gesamte deutsche Pflanzenschutzmittelverzeichnis, sowie Pflanzenschutzmittel – und soweit es möglich war auch deren Indikationen – aus den ausgewerteten PSM-Verzeichnisse aus EU- und Drittländern, die für Anwendungen im Forst zugelassen sind. Aufgrund der Dynamik im Zulassungsgeschehen, z. B. durch Neuzulassungen, Befristung von Zulassungen oder Anwendungsverbot von Wirkstoffen muss die Datenbank kontinuierlich gepflegt werden.

Die Datenbank ermöglicht es, im Ausland für den Forst zugelassene PSM, teilweise bis auf Indikationsebene, mit möglichen, in Deutschland in anderen Einsatzgebieten zugelassenen PSM auf ihre Passfähigkeit hin zu überprüfen und ggf. Zulassungsinhaber oder Vertriebsunternehmen auf die weitere Verwendungsmöglichkeit eines PSM hinzuweisen. Zudem verfügt man durch die Datenbank über einen schnell abrufbaren Überblick von im Ausland verfügbaren PSM inklusive Kontaktdaten der jeweiligen Zulassungsinhaber, wodurch in Notfallsituationen im Pflanzenschutz Recherchearbeit entfällt und schneller reagiert werden kann.

Die Datenbank wird aus mehreren Datensätzen gespeist, die durch die Recherche der nationalen und internationalen Pflanzenschutzmittelverzeichnisse generiert wurden. Der Großteil der hinterlegten Daten besteht

aus Informationen der ausgewerteten PSM-Verzeichnisse der „Zone B – Mitte“ der EU. Dadurch sind verschiedene Abfragen möglich. So kann entsprechend der Schadorganismen a) nach in Deutschland zugelassenen PSM gesucht werden, die aufgrund ihrer Wirkung im Forst ebenfalls verwendungsfähig wären oder b) nach PSM gesucht werden, die im Ausland für forstliche Anwendungen gegen Schadorganismen zugelassen sind.

Weiterhin können die Abfragen dazu genutzt werden, um von einem im Ausland zugelassen PSM ein in Deutschland zugelassenen, formulierungsgleiches Pendant zu ermitteln. Zusätzlich findet eine Berücksichtigung des Wirkstoffs statt, da PSM mit nicht genehmigten Wirkstoffen im Regelfall nicht zulassungsfähig sind. Dafür ist die DB in drei Rubriken, i.e. „Status Ausland“, „Status Deutschland“ und „Status Wirkstoff“, unterteilt.

Der Status Ausland ermöglicht je nach Datengrundlage des PSM einen zusammenfassenden Überblick über Herkunftsland, die zu behandelnde Kultur, den Mittelnamen, die Zulassungsnummer, das Anwendungsverfahren, Zulassungsbeginn und -ende, den enthaltenen Wirkstoff sowie dessen Konzentration, den Zulassungsinhaber und ob es sich dabei um eine Lückenindikation handelt. Im „Status Deutschland“ werden die Daten korrespondierender PSM gegenübergestellt. Dies sind der Mittelname, der Zulassungsinhaber und dessen Einsatzgebiet. In der Rubrik „Status Wirkstoff“ werden der Wirkstoffname, dessen Genehmigungs-ende, der Wirkmechanismus (Mode of Action (MoA)), die Wirkstoffklasse und die aktuelle Verwendung in Deutschland angezeigt (Abb. Tv5-2).

Schadorganismengruppe		Blattwespen	Schadorganismus							
			Kiefernkultur-Gespinstblattwespe (<i>Acantholyda hieroglyphica</i>), Gemeine Kiefernbuschhornblattwespe (<i>Diprion pini</i>)							
Status Ausland										
Land	Kultur	Mittel	Zul.-nummer	Verfahren	Zul.-beginn	Zul.-ende	Wirkstoff / Konzentration	VE in MS	Zul. Inhaber	Minor Use
Polen	Wald	Acetamip 20 SP	R-49/2015 h.r.	Sprühen LFZ; <i>D. pini</i> nur Bodenanwendung		20.04.18	Acetamiprid / 20%		Agri-Grow Sp. z.o.o. Wąska	nein
Status Deutschland										
Analoges Mittel in DE (gleiche Formulierung)				Zul. Inhaber			Einsatzgebiet			
Mospilan SG				Nisso Chemical Europe GmbH			Obst-, Gemüse-, Acker-, Zierpfl. bau			
Status Wirkstoff										
Wirkstoff				Genehmigungs-ende	MoA		WS-Klasse		WS in E	
Acetamiprid				31.4.18	4A		Neonikotinoide		ja	

Abb. Tv5-2: Muster eines Access-Datenbankauszuges

Der Ursprüngliche Ansatz bestand darin eine Access-Datenbank aufzubauen. Dementsprechend wurde die Datengrundlage aufbereitet. Da die Überlegung aufkam, die Datenbank weiteren Akteuren im Forst zugänglich zu machen und Access nicht überall verfügbar ist, wurde das Datenbankformat noch einmal überdacht. Momentan liegt die DB als Excel-Tabelle vor, die sich durch das Setzen von Filtern bei entsprechenden Kategorien einfach durchsuchen lässt. Weitere Vorteile sind im Vergleich mit Access geringere Pflegeaufwand und die Möglichkeit die DB auch mit Open Source-Anwendungen zu nutzen.

E. Verbesserung der Pflanzenschutzmittelverfügbarkeit

Während des Projektes unterstützte die Servicestelle mehrere Zulassungsverfahren, die mittlerweile abgeschlossen sind oder sich in der Anbahnung befinden. Der Anstieg der durchgeführten PSM-Anwendung infolge der Kalamitäten der Borkenkäfer und des Schwammspinners zeigte, dass die Mittelverfügbarkeit ebenfalls beachtet werden musste. Dieses Problem wurde aufgegriffen und ebenfalls durch die Servicestelle bearbeitet.

Die Unterstützung der Servicestelle bei der Antragstellung oder in Zulassungsverfahren umfasste:

- Anfragen und Vorschläge bei Herstellern für Indikationen,
- Recherche von Versuchsmöglichkeiten und Unterstützung von Versuchen für Zulassungen,
- Prüfung von Anträgen vor der Antragstellung und vorläufiger Bescheide,
- Einholen von Bearbeitungsständen,
- Unterstützung von Notfallzulassungen durch Erstellung von mit den Ländern abgestimmten Unterstützungsschreiben, Recherche des potentiellen Behandlungsumfangs sowie die Vorbereitung eines

Antrags.

Darüber hinaus befasste sich die Servicestelle mit Anwendungsbestimmungen zugelassener PSM.

Die Arbeit an Anwendungsbestimmungen zugelassener PSM im Rahmen der UAG 2 „Forschung und Weiterentwicklung von Pflanzenschutzverfahren“ der AG Wald des NAP war notwendig, da deren Ausgestaltung für die Durchführung von Waldschutzmaßnahmen ungeeignet waren. Dies betraf die Anwendungsbestimmungen bei Rodentizidanwendungen zum Schutz von Kleinsäugern und die Abstandsauflagen für Luftfahrzeuganwendung zu Waldrändern bei der EPS-Bekämpfung. Wegen der Überschneidung von Pflanzenschutz und Biozid bei der Bekämpfung des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea*) wurde sich zudem mit der Biozid-Thematik befasst. Es wurde versucht für die jeweiligen Anwendungsbestimmungen Kompromisse zu entwickeln.

Bei den Rodentiziden bestand die Problematik darin, dass im Zuge des Neu- bzw. Wiederezulassungsverfahrens ab Juni 2018 bei allen PSM dieses Wirkungsbereiches Auflagen erteilt wurden, welche die oberirdische Anwendung gegen Feld-, Erd- und Rötelmaus in weiten Teilen Deutschlands untersagten. Dies betraf bis auf den Vorratsschutz alle Anwendungsgebiete. Die Servicestelle wurde beauftragt die Betroffenheit durch die Bestimmungen in den Ländern zu recherchieren, die bekannten Informationen der AG Mäuse im Forst zu übermitteln und gemeinsam mit einem Vertreter der AG einen Empfehlungsvorschlag zu erarbeiten. Die Erarbeitung der Empfehlung erübrigte sich durch die Konkretisierung der strittigen Anwendungsbestimmungen durch das BVL im November 2019.

Bei den Abstandsauflagen zu Waldrändern bei der EPS-Bekämpfung mit Luftfahrzeugen liegt die Problematik darin, dass sich in den nichtbehandelten Waldrändern ausreichend große Populationen des Prozessionspinners halten können, was wiederholte Waldschutzmaßnahmen erfordern kann. Darüber hinaus stellen die Brennhaare der Raupen eine Gesundheitsgefahr dar, weshalb in stark EPS-belasteten Beständen phytosanitäre Maßnahmen nur unter erschwerten Bedingungen oder gar nicht durchgeführt werden können. Da beim EPS die Handlungsnotwendigkeit aus Gesundheitsgründen früher eintritt als aus Waldschutzgründen, wurde in der UAG 2 beschlossen, nach Lösungsoptionen für dieses Problem entsprechend des Biozidrechts zu suchen. Die Aufgabe der Servicestelle hierbei war Antragsmodalitäten bei der BAuA zu recherchieren und die Bereitschaft zur Mitwirkung des Zulassungsinhabers (SUMITOMO CHEMICAL AGRO EUROPE SAS) in Erfahrung zu bringen. Unter Mitwirkung der Servicestelle wurde Ende Januar 2020 ein Arbeitstreffen mit einem Vertreter des Zulassungsinhabers organisiert. Da die Firma sowohl im Biozid- als auch im Pflanzenschutzbereich der Zulassungsinhaber für alle Präparate mit dem Wirkstoff B.t.k. ist, konnte bei dieser Gelegenheit auch über die 2020 beantragte Notfallzulassung für „Foray 76 B“ gesprochen werden.

Die Aktivitäten der Servicestelle erstreckten sich im Zusammenhang mit Zulassungsverfahren nach Art. 29 VO (EG) 1107/2009 auf die Unterstützung des Zulassungsverfahrens des Wildschadenverhütungsmittels „Epsom“. Hier wurde wiederholt auf die Notwendigkeit zur Schadenabwehr im Schutzwald und der Vorteile des Mittels hingewiesen.

Seit 2018 wurde die Firma Syngenta über Zulassungsmöglichkeiten für Indikationen bei der geplanten Neuzulassung eines Produktes beraten. Darüber hinaus wurden wegen Unklarheiten bei der Versuchsbeantragung die Modalitäten dazu geklärt und die Forstlichen Versuchsanstalten über das geplante Vorgehen informiert.

Im Bereich der Lückenindikationen wurde die BLAG Lück UAG Forst bei der Revision der Zwischenbescheide der beantragten Zulassungserweiterungen von „Mimic“ – Zulassungsnummer 024270-00 – und „XenTari“ – Zulassungsnummer 024426-00 – zur Bekämpfung freifressender Schmetterlingsraupen in Laub- und Nadelholz durchgeführt.

Für eine weitere Indikation des Herbizids „TOUCHDOWN QUATTRO“ wurde Zulassungswürdigkeit nach Art. 51 geklärt. Der Antrag wurde gestellt, ruht aber momentan.

Für die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt wurde im Fall von beantragten Rodentizidanwendungen die Kommunikation mit BVL und JKI übernommen und der Informationsfluss unterstützt.

Die Servicestelle unterstützte zudem bisher vier Art. 53 Anträge, die für Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung freifressender Schmetterlingsraupen gestellt wurden. Dies waren Anträge für „Foray 76 B“ (Wirkstoff: *Bacillus thuringiensis* ssp. *Kurstaki* (B.t.k.)), in den Jahren 2018, 2019, 2020 und „Dimilin 480 SC“ (Wirkstoff: Diflubenzuron) im Jahr 2018.

Die Anträge für „Foray 76 B“ waren notwendig, weil seit 2018 das seinerzeit zugelassene B.t.k-Präparat „Dipel ES“ aufgrund einer notwendigen Umstellung der Produktchemie nicht mehr erhältlich war und sich die durch den Zulassungsinhaber beantragte Zulassung nach Art. 40 VO(EG)1107/2009 seit 2018 in Bearbeitung war.

Dadurch fehlte ab 2018 ein B.t.k.-Präparat für Waldschutzmaßnahmen vor allem gegen den Eichenprozessionsspinner. Die Anträge nach Art. 53 wurden immer durch die Firma Cheminova gestellt. Dabei erhielt sie jeweils die Unterstützung der Servicestelle durch Bündelung der Kommunikation zwischen der antragstellenden Firma, den Waldschutzdienststellen der Länder sowie den Zulassungs- und Bewertungsbehörden. Die Servicestelle ermittelte in den verschiedenen Jahren die potentiellen Behandlungsumfänge, damit der Antragsteller darauf aufbauend die Zulassung der benötigten PSM-Mengen beantragen konnte. Weiterhin verfasste die Servicestelle begleitende, mit den FVAs abgestimmte, Unterstützungsschreiben für die Anträge der Firma. In diesen wurden die Notwendigkeit und die Vorteile des Präparates bei den potentiellen Behandlungen aus Waldschuttsicht dargelegt.

Im Jahr 2018 erhielt die Servicestelle durch die LWF die Bitte, einen Antrag für das in Polen zugelassene Präparat „Dimilin 480 SC“ gem. Art.53 VO (EG) 1107/2009 auszuarbeiten, der abschließend durch das Referat für Waldbau, Waldschutz, Bergwald (F3) des Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) gestellt wurde. Die Notwendigkeit eines solchen Antrages bestand aufgrund von Unwägbarkeiten hinsichtlich Wirksamkeit und Verfügbarkeit, bzw. in nachteiligen ökologischen Auswirkungen bei den für die beabsichtigte Anwendung gegen freifressende Schmetterlingsraupen zugelassenen PSM. Dies waren die unvorhergesehene Herausnahme von „Dipel ES“ aus dem Handel, der unbekannte Wirkungsgrad bei den durch die Lückenindikation zugelassenen Präparaten „XenTari“ und „Mimic“ (aufgrund des nicht benötigten Wirksamkeitsnachweises bei dieser Zulassungsart) und die aus LWF-Sicht befürchteten Auswirkungen des Breitbandinsektizids KARATE FORST *flüssig*. In Abwägung der Ausgangslage wurde ein wirksames, selektiveres PSM gesucht. Die Entscheidung fiel zugunsten eines PSM mit dem Wirkstoff Diflubenzuron, für das die Notfallzulassung beantragt werden sollte. Mit Präparaten dieses Wirkstoffes wurden in Bayern bis zum Erlöschen der entsprechenden Zulassung am 31.12.2014 erfolgreich Behandlungen gegen freifressende Schmetterlingsraupen, insbesondere gegen den Schwammspinner, durchgeführt. Ausgehend von den gemachten Erfahrungen war bekannt, dass diflubenzuronhaltige PSM hinsichtlich der Kombination aus Wirkungsgrad und Selektivität Vorteile gegenüber den zugelassenen PSM hatten. Bei der Erstellung des Antrages konnte die Servicestelle alle Schritte dieses Verfahrens erproben:

- Recherche der Verfügbarkeit im Ausland mit anschließende Mittelwahl in Absprache mit den zuständigen Kollegen der Abteilung Waldschutz der LWF
- Händlersuche im Ausland sowie Kommunikationsführung und Anbahnung des Handels
- Zusammenstellung der benötigten Unterlagen für die Antragstellung beim BVL
- Anfertigen eines Antragsentwurfs
- Vorbereitung der Antragstellung im Plant Protection Products Application Management System (PPPAMS) und beim BVL
- Übergabe des Datensatzes zur Antragstellung an das Fachreferat des Bay. StMELF
- Unterstützung des entsprechenden Fachreferats bei der Antragstellung
- Anfertigung und Abstimmung eines Unterstützungsschreibens mit den Kollegialbehörden der LWF
- Kommunikationsführung zwischen BVL, LWF und Bay. StMELF

Der Antrag wurde letztlich negativ beschieden und für die Waldschutzmaßnahme wurde – trotz damals unbekanntem Wirkungsgrades – das PSM „Mimic“ verwendet.

Die gemachten Erfahrungen mit der Bearbeitungsdauer bei Art. 53 Anträge zeigten, dass die Vorarbeiten, wie z.B. die vorbereitenden Gespräche mit den entsprechenden Firmen/ Beteiligten, bereits im Dezember geführt werden sollten, wenn eine Behandlung in April/ Mai des Folgejahres durchgeführt werden muss. Es zeigte sich insbesondere bei den Anträgen für „Foray 76 B“ in den Jahren 2019 und 2020, dass bei der Bewertung der beantragten Indikation unerwartete und im Prozedere nicht vorgesehene Fragestellungen hinsichtlich etwaiger Gefahren für den Naturhaushalt gestellt werden können. Dadurch verzögerte sich die Antragsbearbeitung und die Zulassung wurde erst am 30.04.2019 unmittelbar vor Start der beginnenden Waldschutzmaßnahmen erteilt.

Wirksamkeitsnachweise durch PSM-Versuche sind sowohl für die Zulassung von PSM, als auch für die erfolgreiche Behandlung unablässig. Die Ausnahme bildet hierbei die Lückenindikation. Im Einsatzgebiet Forst besteht zudem die Problematik, dass Schadorganismen in Gruppen, wie den freifressenden Schmetterlingsraupen, zusammengefasst werden, die jedoch unterschiedlich sensitiv gegenüber einem PSM reagieren können. Aufgrund dieser Unwägbarkeiten, die umso mehr bei der Lückenindikation bestehen, sind Wirksamkeitsuntersuchungen unabdingbar. Deshalb unterstützt die Servicestelle die Durchführung von PSM-

Wirksamkeitsversuchen durch die Forstlichen Versuchsanstalten oder Antragsteller durch Beratung, die Akquise von Versuchsmustern oder nach Möglichkeit durch die Durchführung von Kurzversuchen.

Um den in der BLAG-LÜCK UAG Forst angestrebten Wirksamkeitsvergleich zwischen den verschiedenen in Deutschland zugelassenen B.t.k.-Präparaten zu unterstützen, wurden von den Herstellern Versuchsmuster von „Turex“, und „Foray 76 B“ eingeworben, deren Wirksamkeit von LFE, der LWF und Servicestelle in Tastversuchen untersucht wurde. Bei diesem Kurzversuch der Servicestelle wurde das B.t.-Mittel „Turex“, mit dem durch Art. 51 zugelassenen PSM „Mimic“ und einem möglichen Kandidaten für die Lückenindikation, dem PSM „Coragen“ auf ihre Wirksamkeit gegen den Schwammspinner untersucht und verglichen.

Die Erfahrungen im Zusammenhang mit PSM-Versuchen zeigte, dass bei einer notwendigen Genehmigung durch das BVL, die Versuchsbeantragung möglichst frühzeitig erfolgen sollte. Vorteilhaft ist insbesondere die Anmeldung mehrjähriger Versuchsprogramme. Dadurch kann das nicht planbare Auftreten der notwendigen Versuchs-/ Schadorganismen besser in der Versuchsplanung berücksichtigt werden. Dies gilt besonders für nicht zugelassene PSM oder für PSM mit nicht zugelassenen Wirkstoffen. In jedem Fall wird die frühzeitige Beantragung für Luftfahrzeugversuche empfohlen. Zur Beschleunigung des Verfahrens sind Unterstützungsschreiben der FVAs hilfreich.

Die für PSM-Anwendungen im Handel verfügbare Mittelmenge ist durch die gemachten Absatzerfahrungen der Hersteller und Händler bedingt. Im Normalfall stimmen Angebot und Nachfrage gut überein. Es zeigte sich aber, dass bei plötzlich gestiegenem, wie in den aktuellen Borkenkäfer- und Schwammspinnerkalamitäten, die Nachfrage das Angebot übersteigen kann. Um in solchen Fällen die Handlungsfähigkeit des Waldschutzes sicherzustellen, hat die Servicestelle frühzeitig Informationen über den potentiellen PSM-Bedarf gesammelt und an die Hersteller zur bedarfsgerechteren Bestückung des Marktes weitergeleitet. Dies ist notwendig, da die Produktion und die Vorlaufzeit, die sogenannte „lead time“, der verschiedenen PSM zwischen 6 Wochen und einem Jahr betragen kann. Dadurch ist eine flexible Reaktion auf einen steigenden Bedarf schwierig bis unmöglich. Die Servicestelle unterstützte die ausreichende Verfügbarkeit bei den Mitteln „Mimic“ (2019 und 2020) und „Foray 76 B“ (2018 bis 2020) für Anwendungen gegen freifressende Schmetterlingsraupen.

Bei den PSM zur Bekämpfung rinden- und holzbrütender Borkenkäfer findet die Unterstützung seit Ende 2018 statt. Aufgrund des voraussichtlichen sukzessiven Erlöschens sämtlicher Zulassungen in diesem Segment bis zum 31.12.2020 ist eine ausreichende Mittelverfügbarkeit für das Jahr 2021 besonders schwierig. Hierfür wurde intensiv mit den Herstellern zusammengearbeitet, um die ausreichende Verfügbarkeit während der jeweiligen Abverkaufsfristen zu gewährleisten. Wegen des Zulassungsendes der BASF-Produkte am 31.07.2020 standen diese – insbesondere die Netzsysteme „Storanet“ und „Trinet P“ aufgrund sehr langer lead times – bis Projektende besonders im Fokus.

Aufgrund der Verlängerung des Projektes können noch nicht abgeschlossene Vorgänge bzgl. Anfragen bei Herstellern über deren Bereitschaft zur Beantragung von Indikationen zur Verbesserung der Zulassungssituation weiterbearbeitet werden (Abb. Tv5-3).

Wirkungsbereich	Schadorganismus	Mittelname	Wirkstoff	Ansprechpartner
Insektizid	beißenden und saugenden Insekten	Mospilan SG	Acetamiprid	Nisso Chemical Europe
Insektizid	Blattläuse	Tepekki	Flonicamid	Belchim
Insektizid	Borkenkäfer/ Rüsselkäfer	Sumicidin Alpha EC	Esfenvalerate	Belchim
Insektizid	freifressende Schmetterlingsraupen	Dipel DF	B.t.k.	Belchim
Insektizid	freifressende Schmetterlingsraupen	Spintor	Spinosad	Corteva
Insektizide (Biozid)	freifressende Schmetterlingsraupen	Dipel ES	B.t.k.	Sumitomo
Insektizid	Rüsselkäfer	Spintor	Spinosad	Corteva
Insektizid	Schmetterlingsraupen		Chlorantraniliprol	Syngenta
Herbizid	Brombeere	Beloukha + Katana	Pelargonsäure, Flazasulfuron	Belchim
Herbizid	Einjährige ein- und zweikeimblättrige Unkräuter	KerbFlo	Propyzamid	Corteva
Herbizid	Einjährige einkeimblättrige Unkräuter	Gallant Super	Haloxypop-P (Haloxypop-R)	Corteva
Herbizid	mehnjährige Unkräuter	Lontrel 600	Clopyralid	Corteva
Herbizid	mehnjährige Unkräuter	Lontrel 700	Clopyralid	Corteva
Herbizid	Stockaustriebe	Quickdown	Pyraflufen	Belchim

Abb. Tv5-3: Offene Vorgänge zur Verbesserung der Zulassungssituation

2. Verwertung

⇒ Die in den waldökologischen Freilandstudien angewandten Methoden, um die Effekte von anthropogenen und natürlichen Störungen auf die Zönose zu analysieren, waren vielseitig. Resultierend auf den vorliegenden Ergebnissen können neben Vor- und Nachteilen bei der Datenerhebung, auch die Verwertbarkeit der Daten, deren Aussagekraft sowie die Eignung als Standardverfahren beurteilt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl klassische als auch spezielle Methoden geeignet sind, diese aber verschiedene Vorteile und Nachteile in der praktischen Umsetzung bis zur Ergebnisverwertung besitzen. **Freilandökologische Untersuchungen** sollten daher bevorzugt auf Grundlage des zu betrachtenden Waldökosystems und seiner Lebensgemeinschaften erfolgen. Hierbei sind vor allem die lokalen Standortseigenschaften, die durch verschiedene abiotische und biotische Faktoren bestimmt werden, zu berücksichtigen. Des Weiteren sind Erhebungen u. a. zum Artenpool, zu biotischen Interaktionen und das Verständnis trophischer Netzwerke unerlässlich, um Effekte von Störungen quantifizieren zu können. Förderlich sind in diesem Zusammenhang die Etablierung von Dauerversuchsflächen in Gradationsgebieten verschiedenener Forstschadinsekten, die eine Beobachtung des Störungsregimes über Jahrzehnte ermöglichen würde.

⇒ Vor dem Hintergrund des Klimawandels gewinnt der **Erhalt der Waldlebensräume** - in Verbindung mit der Stratifikation und des typischen Waldklimas - zunehmende Bedeutung. Die vorliegenden Beobachtungen zu den Brutverlusten in Nistkästen, als Folge der trocken-heißen Witterung insbesondere im Sommer 2018, unterstreicht die Notwendigkeit einer objektiven Betrachtung der Folgen, sowohl des Insektizideinsatzes, als auch eines Verzichts auf Pflanzenschutzmaßnahmen bei Prognose massiver Fraßschäden bis hin zum Kahlfraß. Grundlage einer solchen Betrachtung ist immer die Bewertung von Pflanzenschutzmaßnahmen im Wald als Ultima Ratio und als einmalig-kurzfristige Maßnahme, um betroffene Waldbestände zu erhalten. Über den Erhalt der Blattmasse ist die Vitalität der Bäume und damit deren Abwehrvermögen bzw. Regenerationsfähigkeit nach Fraßschäden direkt beeinflussbar. Langfristig gilt es weiterhin den Waldumbau zu forcieren und standortsangepasste Maßnahmen umzusetzen.

⇒ Die **Lebensraumfunktion des Waldes**, zum Schutz vieler Tier- und Pflanzenarten sowie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt, steht heute mit an oberster Stelle der Werteskala bei der Beurteilung eines nachhaltigen Waldmanagements. Auf Grundlage der freilandökologischen Daten auf Artbasis, die in den Teilvorhaben in den Waldlebensräumen erhoben wurden, werden abschließend Artenlisten für die Arthropoden- und Avifauna aktualisiert und mit den zuständigen Naturschutzbehörden kommuniziert. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Erfassung der Biodiversität in den untersuchten Waldlebensräumen geleistet.

⇒ Weltweit erfährt die **Erfassung der Biodiversität** höchste Priorität: So werden z. B. die Artenausstattung von Lebensräumen erfasst, die Arten mittels **DNA-Barcoding oder Metabarcoding** analysiert und unzählige Datenbanken gespeist. Getrieben von der Zeit ist ein Wettlauf der Forscher entstanden, den Verlust an Biodiversität zu quantifizieren und bestenfalls die Ursachen (u. a. Klimawandel) zu benennen und einzudämmen. In diesem unübersichtlichen System unterstützt z. B. das DNA-Barcoding die klassische Methode der Identifizierung von Arten. Parallel zur morphologischen Bestimmung der Familien und Arten werden aufgrund der z. T. sehr hohen Individuenzahlen, des begrenzten Zeitrahmens für die Bearbeitung der Insektenproben und der eingeschränkten Verfügbarkeit an Experten, die Individuen mit dem DNA-Barcoding molekulargenetisch determiniert. Hierfür wurden z. B. im Teilvorhaben 1 die Brachycera (Fliegen) stellvertretend für die Bearbeitung ausgewählt, weil u. a. die benötigten Sequenzen größtenteils in der molekularbiologischen Datenbank „The Barcode of Life Data System“ (BOLD) hinterlegt sind. Als Gewinn können bestehende Datenlücken über die sequenzierten und morphologisch nachbestimmten Arten der Brachycera geschlossen werden. Mit der zusätzlichen, molekularbiologischen Aufarbeitung der Freilandproben wird eine Optimierung der DNA-Extraktion angestrebt, wobei diese nach Möglichkeit non-destruktiv erfolgen soll, um die morphologischen Merkmale der Individuen zu erhalten und eine spätere morphologische Bestimmung der Arten zu ermöglichen. Des Weiteren beeinflussen die bei freilandökologischen Studien eingesetzten Fangflüssigkeiten die Ergebnisse der DNA-Extraktion. So bestätigte sich, dass z. B. gesättigte Benzoesäurelösung zunehmend als PCR-Inhibitor wirkt und die Konservierung der DNA nicht optimal ist. Weitere Studien zu alternativen Fangflüssigkeiten werden die bisherigen Ergebnisse aus in gesättigter Benzoesäurelösung gefangenen Insekten überprüfen. Damit können Hinweise für zukünftige Biodiversitätsuntersuchungen bereitgestellt werden.

Im Teilvorhaben 3 wurde das Metabarcoding - zur Untersuchung von Artenzusammensetzungen anhand von Mischproben - als bevorzugte Methode angewandt, die vollständig destruktiv erfolgt. Somit konnten Hunderte Proben kurzfristig analysiert werden. Als zusätzlicher Gewinn können Vor- und Nachteile dieser Methode aufgezeigt werden.

In diesem Zusammenhang ist ebenfalls zu erwähnen, dass die „Fließbandidentifizierung“ auf Dauer nicht separat existieren kann. Daher ist es zwingend erforderlich zukünftige Nachwuchskräfte in den Bereichen Taxonomie/morphologische Artbestimmung sowie in der Biologie/Ökologie der Arten (Forstschädling/Antagonist) terrestrischer Ökosysteme u. a. über die universitäre Ausbildung zu fördern. Das DNA-Barcoding und Metabarcoding ist nur so gut, wie die durch Experten als korrekt erachteten Artsequenzen in den Datenbanken. Gleichzeitig ist es notwendig zeitlich und finanziell angemessene Ressourcen für ökologische Freilandstudien zu gewährleisten.

⇒ Die Ergebnisse der avifaunistischen Studie zeigen, dass einige der auf dem Markt verfügbaren **Nistkastensysteme** häufig durch Marder, Waschbär & Co. geräubert wurden. Daher ist es sinnvoll die Entwicklung von geeigneten Nistkastentypen insbesondere für die Forstpraxis zu fördern, um u. a. die Singvogelfauna aktiv gegen Räuber in Wäldern zu schützen.

⇒ Umfangreiche neue Erkenntnisse zu den Auswirkungen von Insektizidapplikationen im Wald auf den Naturhaushalt lassen nachträgliche komplexe Datenanalysen, sowohl der Untersuchungen zu den Brutvögeln als auch zu den Arthropoden sowie der Ergebnisse der ökologischen Chemie von KARATE FORST *flüssig* erwarten. Nur so ist eine umfassende ökologische Bewertung im Hinblick auf alle Waldfunktionen, insbesondere den Klimaschutz möglich. **Folgeprojekte**, wie ARTEMIS und AWANTI bieten gute Aussichten auf eine unmittelbare Nutzung der Projektergebnisse und die weitere Bearbeitung der umfangreichen Daten.

⇒ Weiterhin wurde die Formulierung von Maßnahmen beabsichtigt, die die Risiken der Anwendung von Insektiziden für den Naturhaushalt im Anwendungsbereich Forst minimieren sollen. Damit besteht die Chance, neben **Nutzen und Risiken** auch die Möglichkeiten und Grenzen von chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen in Wäldern aufzuzeigen. In dem JKI-Folgeprojekt AWANTI: „Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Forst – Situationsanalyse und Erweiterung wissenschaftlicher Grundlagen für die Bewertung der Risiken und des Nutzens“ (gefördert durch BMEL/FNR; Kooperation zwischen den Instituten JKI-SF, JKI-GF und dem Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, LFE) werden die wissenschaftlichen Grundlagen zur Bewertung der Risiken und des Nutzens der Anwendung und Nichtanwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Forst, unter Berücksichtigung der aktuellen Auflagen und Anwendungsbestimmungen zusammengetragen bzw. ein Beitrag zur transparenten, wissenschaftsbasierten Risiko- und Nutzenbewertung geleistet. Dabei wird ein besonderer Schwerpunkt auf die Ausbringung von Insektiziden per Luftfahrzeug gelegt. Die in RiMa-Wald gewonnenen Ergebnisse stellen hierfür eine wertvolle Datengrundlage, auf der weitere Entwicklungspotenziale für ein nachhaltiges Schädlingsmanagement in Wäldern identifiziert, genutzt und implementiert wird.

⇒ Auf Grundlage der freilandökologischen Forschungsergebnisse werden zukünftig Ansätze für **Risikominierungsmaßnahmen** erarbeitet und formuliert, sowie bestehende Auflagen und Anwendungsbestimmungen überprüft. Hierbei ist die Diskussion der Erkenntnisse aus dem F+E Vorhaben des UBA (21/2017) zum Thema: „Schutz des Naturhaushaltes vor den Auswirkungen der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln aus der Luft in Wäldern und im Weinbau“ mit den vorliegenden Forschungsergebnissen aufzunehmen sowie letztendlich mit den Behörden im Zulassungsverfahren nach Pflanzenschutzgesetz (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Bundesinstitut für Risikobewertung und Umweltbundesamt) zu kommunizieren. Mit Hilfe der Ergebnisse ist in Zukunft eine fachlich objektive Bewertung der Auswirkungen auf den Naturhaushalt beim Einsatz von Insektiziden gegen nadelfressende Insekten in Kiefern- und Eichenwäldern möglich. Es wurden umfangreiche Grundlagen erarbeitet, um die Abwägung aller unter Umständen betroffenen Waldfunktionen realistisch umsetzen zu können.

⇒ Mit der Erarbeitung einer bundeseinheitlichen **sektorspezifischen Leitlinie** für den integrierten Pflanzenschutz in der Forstwirtschaft, konnte ein Beitrag zur bundesweiten Umsetzung der EU-Richtlinie 2009/128/EG geleistet werden. Es besteht die Zuversicht, dass die Leitlinie die allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes bei anstehenden Entscheidungen im Waldschutz so konkretisiert hat, dass chemischer Pflanzenschutz im Wald auf das notwendige Maß beschränkt bleibt und die mit der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln verbundenen Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt verringert werden. Der große Nutzen der Leitlinie wird darin gesehen, dass sie Forstbetriebe motiviert und unterstützt im Rahmen ihrer Bewirtschaftung einen integrierten Waldschutz umzusetzen. Die Verwertbarkeit von Handlungshinweisen wurde durch Abstimmung mit verschiedenen forstlichen Akteuren und von Beispielbetrieben geprüft und ist vollumfänglich gegeben. Gerade über die Beteiligung der Beratungsstellen für Waldschutz besteht die Erfolgsaussicht, dass die Leitlinie bundesweit über Beratungen Eingang in die forstliche Praxis findet und der Anteil der Forstbetriebe, der nach der forstlichen Leitlinie des integrierten Pflanzenschutzes arbeitet, rasch zunehmen wird. Die noch ausstehende Anerkennung wird den Stellenwert der Leitlinie erhöhen und den Zuspruch

steigern. Verschiedene Defizite, die die Leitlinie aufzeigt, belegen den umfangreichen Bedarf zu weiterführender Forschung. Die Entwicklung von nicht chemischen Verfahren sollte fokussiert und das Spektrum der verfügbaren Wirkstoffgruppen gemäß dem NAP erweitert werden.

⇒ Der entwickelte Fragebogen für die **Bewertung des IPS im Forst** hat eine vergleichsweise hohe Akzeptanz bei den befragten Privatwaldbetrieben gefunden. Dieser Onlinefragebogen bietet daher eine gute Grundlage für eine umfangreiche, deutschlandweite Umfrage, mit dem repräsentative Ergebnisse zur Umsetzung integrierter Pflanzenschutzmaßnahmen in Wäldern erzielt werden können, u. a. auf Basis regionaler und baumartenspezifischer Auswertungen. Die entwickelte Online-Befragung dient als Hilfsmittel für die Quantifizierung und Qualifizierung der Umsetzung der Leitlinie. Sie ermöglicht darüber hinaus die Identifikation von Optimierungsbedarf auf betrieblicher und überbetrieblicher Ebene bzw. systembedingter Defizite, die die Umsetzbarkeit des IPS in der forstlichen Praxis erschweren. Dieses Instrument kann eine Schnittstelle zwischen Leitlinie, Beratung und Praxis darstellen.

⇒ Die Einrichtung einer **Servicestelle** für den Pflanzenschutz im Wald hat es ermöglicht für akute Situationen im Waldschutz Lösungsansätze aus den EU-Mitgliedstaaten oder anderen Ländern der Welt zu erstellen und zu prüfen sowie die Grundlagen für Zulassungen und Genehmigungen nach PflSchG auf nationaler Ebene zu erarbeiten. Kurzfristig konnte der Waldschutz handlungsfähig erhalten werden. Neue Herausforderungen gilt es zukünftig zu regeln, um die Ziele des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz umzusetzen. Neben der Verfügbarkeit von PSM ist auch die Erarbeitung von weiteren Pflanzenschutzmaßnahmen für einen integrierten Ansatz notwendig, die bei der Erstellung einer Pflanzenschutzstrategie für den Wald zu berücksichtigen sind. Ebenfalls konnten das Vertrauen und das Interesse der Pflanzenschutzmittel herstellenden Industrie gewonnen werden, so dass wieder Interesse an Indikationen für den Pflanzenschutz in Wäldern besteht. Für die Zukunft ist die Verstärkung der Servicestelle geplant. Entsprechend des Beschlusses der Forstchefkonferenz erfolgen derzeit Kooperationsverhandlungen. Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft wurde von der Forstchefkonferenz beauftragt, diese Kooperationsvereinbarung mit den möglichen Partnern auszuhandeln und vorzubereiten.

⇒ Verschiedene Informationsformate erreichten sowohl einen fachbezogenen Personenkreis als auch interessierte Teile der Öffentlichkeit. Die Vermittlung konkreter Schadereignisse und die Darstellung möglicher Maßnahmen verbesserten in vielen Fällen das Verständnis und die Haltung der Bevölkerung gegenüber dem Waldschutz. Die **Kommunikation** sollte durch geeignete Einrichtungen mit ausreichenden und ggf. zusätzlichen personellen und finanziellen Mitteln weiter forciert werden.

3. Erkenntnisse von Dritten

Das Umweltbundesamt hat in der Laufzeit des Verbundvorhabens verschiedene Publikationen zum Thema veröffentlicht:

a) F+E Vorhaben (2017): „Entwicklung geeigneter Risikominderungsmaßnahmen zum Schutz gefährdeter Arten und ihrer Lebensräume bei der Luftausbringung von Pflanzenschutzmitteln in Wäldern und im Weinbau“ - BRUNK, I., SOBCZYK, T. & LORENZ, J. (2017): Schutz des Naturhaushaltes vor den Auswirkungen der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln aus der Luft in Wäldern und im Weinbau. Abschlussbericht zum Vorhaben „Entwicklung geeigneter Risikominimierungsansätze zum Schutz gefährdeter Arten und ihrer Lebensräume bei der Luftausbringung von Pflanzenschutzmitteln in Wäldern und im Weinbau“, F+E-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Umweltbundesamtes. Technische Universität Dresden. 254 S.

b) Gemeinsames Informationspapier von BfN und UBA (2018): „Pflanzenschutz mit Luftfahrzeugen – Naturschutzfachliche Hinweise für die Genehmigungsprüfung.“ Texte 70/2018: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>, ISSN 1862-4804

Die im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführte Literaturstudie (BRUNK et al. 2017) hatte das Ziel bestehende Anwendungsbestimmungen bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) mit Luftfahrzeugen in Wäldern und im Weinbau zu überprüfen und Alternativoptionen zu erarbeiten und zu bewerten. Das Ergebnis dieser Studie lautete: „...Die derzeit für die zugelassenen Mittel geltenden Anwendungsbestimmungen und Auflagen sind in ihrer Gesamtheit nachvollziehbar und gut begründet. Durch die seit 2015 bestehenden Öffnungsklauseln des BVL für die 50 % Regelung und dem Verbot des Einsatzes in Naturschutzgebieten, wurden zwei der am stärksten kritisierten Auflagen flexibilisiert.“ Des Weiteren werden zusätzliche Managementoptionen formuliert, um die negativen Auswirkungen bei der Anwendung von PSM auf die Biodiversität zu reduzieren. Hierbei handelt es sich um „...theoretisch hergeleitete Maßnahmen“, wie das Verbot der Anwendung von PSM in SPA-Gebieten (Special protection area, speziell nach Vogelschutzrichtlinie), das

Verbot der Anwendung von PSM in FFH-Gebieten (europäische Schutzgebiete in Natur- und Landschaftsschutz, nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie), das Verbot der Anwendung von PSM in Mischbeständen mit einem Mischungsanteil > 30% sowie Vorschriften bei der Flugrichtung, bei der Applikationstechnik und die Einschränkung des Zeitraumes für die Luftfahrzeugapplikation.

Neben diesen und weiteren Verboten sowie Forderungen werden Aussagen getroffen, die nicht durch wissenschaftlich erhobene Daten gestützt werden. Beispielfhaft werden im Folgenden einige Aussagen angeführt, die mit aktuellen Ergebnissen der waldökologischen Freilandstudien in RiMa-Wald kommentiert werden können:

Seite 11: *„An Eichen leben über 350 Schmetterlingsarten, von denen drei Viertel gegenüber den genannten Insektiziden empfindlich sind und im Zeitraum von Insektizidanwendungen im Wald (i. d. R. April bis Juni) auftreten und somit direkt betroffen sein können (Sobczyk 2014, Brunk et al. 2017).“*

Ergebnisse RiMa-Wald: Grundsätzlich - wie im Projektbericht ausgeführt - muss zwischen der physiologischen und der ökologischen Sensitivität unterschieden werden. **Nicht jede Art, die eine physiologische Reaktion zeigt, ist unter Freilandbedingungen tatsächlich betroffen, da sie möglicherweise zu einem Zeitpunkt in einem empfindlichen Stadium ist, in der das Insektizid nicht ausgebracht wird, oder durch ihre Lebensweise z.B. innerhalb der Pflanze geschützt ist.** Die Ergebnisse der Benebelung (siehe Abb. Tv3-A-7) zeigten, dass es deutliche Unterschiede in der Sensitivität der freifressenden Raupen verschiedener Lepidopterenfamilien gibt. Die Untersuchungen der Minierer zeigten ebenfalls Unterschiede in der Sensitivität: die Arten, die auf der Unterseite der Blätter vorkamen, waren nicht sensitiv, auch wenn das Mittel mit dem Hub-schrauber ausgebracht wurde.

Die Ergebnisse der Baumkronenbenebelung (2019) zeigten zudem, dass auf den unbehandelten „hohe/niedrige-Dichte-Flächen“ der Forstschädling (Schwammspinner) die Artenzusammensetzung der Lepidoptera stark dominierte (siehe Abb. Tv3-C-2). Damit lässt sich eine ausgesprochene Artenvielfalt an Lepidopterenlarven in der Eichenkrone - wie sie von Umweltseite angenommen wird - nur bei Ausbleiben einer Massenvermehrung schlussfolgern (TOPP et al. 1998). **In der Konsequenz sind inter- und intraspezifische Konkurrenzbeziehungen bei Massenvermehrungen der Schadlepidopteren näher zu betrachten, um zu prüfen, in welchem Maße solche Interaktionen u. a. für die Artenzusammensetzung und für die Entwicklung von Populationen der Lepidoptera Bedeutung haben.**

Seite 12: *„Nach der Anwendung von „Karate“ und „Mimic“ können noch Wochen und Monate nach der Anwendung toxische Konzentrationen auf den behandelten Flächen verbleiben“*

Ergebnisse RiMa-Wald: Die im Teilvorhaben 1 ermittelten Oberflächengehalte von lambda-Cyhalothrin (KARATE FORST fl.) und Tebufenozid (MIMIC) auf Kiefernadeln lassen Aussagen zur Wirkdauer (Persistenz) nach der PSM-Anwendung und zum Abbauverhalten der jeweilig aktiven Substanz zu. Die Ergebnisse zeigten das MIMIC mit der max. zugelassenen Aufwandmenge noch 43 Tage nach Anwendung (Freiland 2016: 0,85 mg/kg bis 1,2 mg/kg) auf Kiefernadeln nachweisbar ist, d. h. Tebufenozid ist persistent.

Der Abbau der aktiven Substanz lambda-Cyhalothrin (mit max. zugelassener Aufwandmenge) vollzog sich dagegen sehr schnell. So zeigten die Ergebnisse aus Freiland- und Halbfreilandversuchen eine sehr leichte Abbaubarkeit des Wirkstoffs auf Kiefernadeln, bereits nach dem ersten Tag der Behandlung (Freiland 2016: 0,015 bis 0,017 mg/kg). Die aktive Substanz lambda-Cyhalothrin ist in der Umwelt nicht persistent, d.h. verbleibt nur über einen sehr kurzen Zeitraum in Waldbeständen.

⇒ **In der Konsequenz ist eine differenzierte Abwägung des Umweltrisikos auf Grundlage der Wirkungsweise und der Wirkdauer des eingesetzten Präparates sinnvoll. Das Präparat KARATE FORST flüssig wird zu Unrecht abgewertet.**

Seite 12: *„Außer den direkten Auswirkungen auf Populationen von Insekten [...] eine Verschlechterung des Nahrungsangebotes durch das Abtöten der Insekten, von denen die Vögel und Fledermäuse leben.“*

Ergebnisse RiMa-Wald: Diese Aussage lässt sich mit den vorliegenden Ergebnissen des Teilvorhaben 2 relativieren bzw. widerlegen: Im UG Herzberg wurden die höchsten Ausfliegeraten der Kohlmeise auf den Insektizidflächen (mit 61,9 % UF „PSM“) und Kontrollflächen (mit 61,0 % UF „Kontrolle“) ermittelt, geringere Ausfliegeraten der Kohlmeise zeigten sich auf den Fraßflächen (54,3 % UF „Fraß“). Ebenso war der durchschnittliche Bruterfolg der Kohlmeise (juvenile/erfolgreichem Brutpaar mit mindestens einem flüggen Jungvogel) auf den Fraßflächen mit 4,9 flüggen Jungvögeln je Brut am geringsten (auf UF „PSM“: 5,8 flügge Jungvögel/Brut bzw. auf UF „Kontrolle“: 5,5 flügge Jungvögel/Brut). Für den Zeitraum 2016 bis 2017 war im UG Herzberg ein signifikanter Unterschied im mittleren Bruterfolg (ausgeflogene Jungvögel/Nest in der gesamten Brutseason) bei der Kohlmeise zwischen den Versuchsvarianten „Fraß“ und „Kontrolle“ festzustellen.

Der geringe Bruterfolg der Kohlmeise in den Kieferforsten mit starkem Fraß bis Kahlfraß ist auf eine erhöhte Nestlingssterblichkeit zurückzuführen.

Ähnliche Tendenzen zeigten sich im UG Herzberg im Bruterfolg der Tannenmeise auf den UF „Fraß“ (mit 7,0 flügge Jungen/Brut; 16 Nester mit insgesamt 144 Eiern) und den UF „PSM“ (mit 6,6 flügge Jungen/Brut; 10 Nestern mit 89 Eiern). Der Ausfliegeerfolg von 77,8 % (UF „Fraß“) war unwesentlich höher als auf den UF „PSM“ mit 74,2 % bei jeweils hohen Schlupfraten von 85,4 % („Fraß“) und 74,2 % („PSM“) sowie einer geringen Nestlingssterblichkeit, die jedoch auf den Flächen mit Insektizideinsatz 0 % und auf den Fraßflächen 7,6 % betrug.

⇒ In der Konsequenz ist nicht der Insektizideinsatz in Kiefernwäldern für den geringen Bruterfolg bzw. die höhere Nestlingssterblichkeit insektivorer Höhlenbrüter verantwortlich. Vielmehr zeigte sich, dass die Auswirkungen der fraßbedingten Störung auf die Habitatqualität als Haupteinflussfaktor auf den Bruterfolg anzusehen ist. Die starke Temperaturentwicklung im Innenraum des Vogelkastens infolge des Nadelverlustes und fehlender Beschattung sind als Ursache zu benennen. Messungen der Lufttemperatur und der diffusen Bestandesstrahlung bestätigten mikroklimatische Unterschiede zwischen Kiefernbeständen mit Fraßereignis und denen mit Insektizidmaßnahme.

Seite 13: *„Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Wald mit Luftfahrzeugen ist grundsätzlich mit hohen Risiken für die Umwelt verbunden, d. h. mit dem Risiko ökologischer Schäden auf den Anwendungsflächen, [...]“.*

Ergebnisse RiMa-Wald: Die Ergebnisse im Teilvorhaben 1 zur Ökotoxikologie von Insektiziden verdeutlichten eine strenge Korrelation zwischen dem Wirkstoffgehalt auf Passivsammlern und den unterschiedlichen Aufwandmengen am Beispiel des Präparates MIMIC bei der Ausbringung mit Luftfahrzeugen. Diese Resultate sprechen deutlich für die favorisierte Applikationstechnik im Kronenraum von Wäldern, weil eine exakte Ausbringung von Insektiziden bestätigt werden konnte. Die Durchführung von Abdriftversuchen helfen darüberhinaus unerwünschte Nebeneffekte zu reduzieren und die Belastung von Umwelt und Naturhaushalt zu verringern. Die vorliegenden Versuchsergebnisse bestätigten die Einhaltung der guten fachlichen Praxis und der Anwendungsbestimmungen bei der Ausbringung von Insektiziden, die eine randferne Behandlung vorsehen. Mit einer weiteren Modifikation der Düsenteknik in der Zukunft, könnte eine zusätzliche Abdriftminderung erzielt werden.

Des Weiteren ließen sich temporäre Beeinträchtigungen der Arthropodenzönose infolge einer Ausbringung von MIMIC und KARATE FORST *flüssig* mit Luftfahrzeugen nur bedingt bestätigen, unter Berücksichtigung der betroffenen Vegetationsschicht. Während aktuelle Ergebnisse in der Kiefernkrone indirekte Effekte auf die Marienkäfer – infolge der Verringerung des Nahrungsangebotes (Blattläuse) – zeigten, waren für den Antagonisten von *Diprion pini* (Kokonparasitoid *Pleolophus basizonus*) keine direkten Effekte am Boden durch die Insektizidbehandlung erkennbar. Welche Zusammenhänge im Detail noch bestehen, gilt es im Weiteren anhand der erhobenen Datengrundlage verschiedener Arthropodengruppen zu prüfen und auszuwerten.

Das Ziel einer Risikoabwägung sollte sein, die einzelnen Risiken genau zu quantifizieren. Dabei ist zwischen kurz- und langfristigen Effekten zu unterscheiden. Die Dauer des Verbundprojektes war zu kurz, um belastbare Aussagen zu langfristigen Effekten tätigen zu können, insbesondere, weil eine Gradation des Schwammspinners erst im letzten Projektjahr stattfand. Hier wäre es wünschenswert, über einen längeren Zeitraum Beobachtungen durchführen zu können. Im Teilvorhaben 3 konnten ein Jahr nach Applikation keine Auswirkungen auf Springschwänze und Milben im Boden gefunden werden. Für die Herbivorenfauna der saugenden und fressenden Insekten, die im Saisonverlauf erst ca. einen Monat oder mehr nach der Applikation auftreten, konnten keine Auswirkungen nachgewiesen werden (mit wenigen Ausnahmen: Heuschrecken). Kurzfristige Effekte zeigten sich kurz nach der Applikation und auch nur in Bezug auf wenige Taxa. Hier gilt es zu prüfen, wie schnell eine Erholung dieser Taxa erfolgt, und ob die negative Auswirkung des Insektizids größer oder kleiner ist, als die Auswirkung durch Konkurrenz z.B. des Schwammspinners. Solche Aussagen lassen sich nur über längere Freilandstudien erarbeiten, die parallel zu einer Gradation durchgeführt werden.

Seite 16: *„Schutzzweck eines Gebietes ist nicht immer die Erhaltung des aktuellen (Wald-)Biototyps. In vielen Fällen wird eine Entwicklung von einem naturfernen Reinbestand (häufig Kiefer) hin zu einem naturnahen Zustand angestrebt.“*

Seite 16: *„In solchen Fällen kann eine befallsbedingte Bestandesauflockerung durchaus den Entwicklungszielen des Gebietes dienen und sollte dann toleriert werden.“*

Ergebnisse RiMa-Wald: Am Fallbeispiel der Obf. Lieberose/Cottbus und der Massenvermehrung des Kiefernspinners in 2014 zeigen, dass Kahlfraßereignisse unter Einfluss des Klimawandels keine „befallsbedingten Bestandesauflockerungen“ bewirken, sondern zum Verlust großer Waldbestände führen, die den Verlust des

Waldlebensraumes zur Folge haben (Abb. 3-1). Die dort etablierten Forstgesellschaften Hagermoos-Kiefernforst und Drahtschmielen-Kiefernforst sowie deren Übergangsformen sind in Anlehnung an HOFFMANN (2001) charakteristisch für den Kiefernanaufbau auf devastierten, nährstoffarmen-trockenen Böden. Es gibt dort kaum Alternativen als die Baumart Kiefer, die ebenfalls auf diesen Standorten nur Mindererträge erzielt. Ein Unterbau mit anderen Baumarten ist eingeschränkt und ein Waldumbau mit Traubeneiche nur in einem bestimmten Bestandesalter sinnvoll.

⇒ In der Konsequenz ist die von Umweltseite viel propagierte „*Entwicklung von einem naturfernen Reinbestand (häufig Kiefer) hin zu einem naturnahen Zustand*“ illusorisch und unter den dort gegebenen Standortseigenschaften bei Verlust der Kiefernwälder nicht umsetzbar. Aus diesem Grund ist der Erhalt dieser armen, einschichtigen Kiefernforsten oberstes Gebot, um in Zukunft einen Vegetationswandel verbunden mit naturnahen Waldzuständen zu erreichen. Wichtige Voraussetzungen hierfür sind anerkannte Monitoringverfahren zur Erkennung und Bewertung der jeweiligen Waldschutzsituation sowie praktikable Managementmaßnahmen im Bereich des Pflanzenschutzes - die von den Waldschutz-Dienststellen der Länder beispiellos umgesetzt werden.



Abb. 3-1: Risikomanagement im Kontext von Störungen – Fallbeispiel Obf. Lieberose/Cottbus (Brandenburg): Massenvermehrung des Kiefernspinners in 2014

LINKS: Erhalt des Waldbestandes infolge eines Insektizideinsatzes, RECHTS: Auflösung des Waldbestandes infolge Kahlfraß und Bestandsverlust (Foto aus 2018)

⇒ Fazit: Diese Literaturstudie verfehlte leider die Darstellung der Problematik und die korrekte Analyse der Zusammenhänge eines integrierten Pflanzenschutzes im Wald. Die bereits vorbildliche Umsetzung der Ziele des Nationalen Aktionsplans Pflanzenschutz im Forst, wie die Teilflächenapplikation oder Officialberatung bleiben gänzlich unerwähnt. Stattdessen folgen weitere Vorschläge für Vorschriften, Auflagen und Verbote, die weder nachvollziehbar fachlich begründet, noch praktikabel umsetzbar sind. Die Notwendigkeit einer Quantifizierung von ökosystemaren Belastungen, die bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Wäldern auf Nichtzielorganismen entstehen können, blieb trotz dieser Veröffentlichung bestehen.

In der Veröffentlichung von BfN/UBA (2018) wird als Ziel angeführt: „*Nach neuen Forschungsergebnissen (Brunk et al. 2017) ist es erforderlich, die Anwendung von Insektiziden, die mit Hubschraubern in Wäldern ausgebracht werden, nicht nur wie bereits empfohlen in NSG, sondern auch in Fauna-Flora-Habitat-(FFH-) Gebieten im Sinne der Richtlinie 92/43/ EWG (FFH-RL) sowie in EU-Vogelschutzgebieten im Sinne der Richtlinie 2009/147/EG (Vogelschutzrichtlinie, VSch-RL) einzuschränken.*“ Neben aufgelisteten Vorschriften gemäß des BNatSchG werden Abläufe für FFH-Vorprüfungen und FFH-Verträglichkeitsprüfungen dargelegt.

Generell werden von BfN und UBA Zweifel an der Bekämpfungsnotwendigkeit geäußert (vgl. OVG-Urteil 2019), obgleich Behandlungen stets im Rahmen mehrstufiger Monitoringverfahren durch den amtlichen Dienst erfolgen. Dabei werden bereits Flächen mit bekannten Vorkommen besonders geschützter Arten aus den Behandlungsflächen auskartiert. Erkenntnisse aus Waldbiotopkartierungen sowie das Wissen der Vorort tätigen Revierförster werden berücksichtigt. Insgesamt blieb auch diese UBA-Studie aus forstfachlicher Sicht auf „halbem Wege“ stehen, da die Auswirkungen einer nicht behandelten Insektenmassenvermehrung auf die gesamte Waldbiozönose nicht diskutiert wurde. Dies wäre aber für einen ganzheitlichen Ansatz und für das Verständnis des forstlichen Handelns entscheidend. Es besteht hier dringender Forschungsbedarf zur Frage: Ob die Auswirkungen einer zeitlich sehr begrenzten Pflanzenschutzbehandlung zur Erhaltung des Waldbestandes und zur Stabilisierung seiner Funktionen oder die Folgen einer langfristigen Zerstörung des den Lebensraumtyp prägenden Waldbestandes überwiegen?

Anfang 2019 ist das Lehrbuch „Störungsökologie“ (WOHLGEMUTH et al. 2019) erschienen, das im engen Zusammenhang mit dem Klimawandel einhergehenden Auswirkungen auf Wälder behandelt. Folgen abiotischer (Feuer, Stürme, Trockenheit, Lawinen, Wind) und biotischer (Insekten und pilzliche Erkrankungen) Störungen für Wälder werden dokumentiert, Konsequenzen für Ökosysteme und Gesellschaft diskutiert. Im Kapitel „Blatt- und nadelfressende Insekten“ (SCHAFELLNER & MÖLLER 2019) erfolgt eine umfangreiche Darstellung der Waldschutzsituation für ausgewählte Bestandesschädlinge, einschließlich Handlungsoptionen und Konsequenzen. Die Inhalte korrespondieren mit Inhalt und Ergebnissen des vorliegenden Projektes.

Literatur: SCHAFELLNER, CH.; MÖLLER, K. (2019): Blatt- und nadelfressende Insekten. In: WOHLGEMUTH T., JENTSCH A., SEIDL R. (eds.) Störungsökologie, UTB-Reihe, Haupt Verlag, Bern. S. 212-235. • TOPP, W., J. KULFAN, S. MERGEL & P. ZACH (1998): Massenvermehrung von phyllophagen Schmetterlingen in Laubwäldern des Rheinlands. Anz. Schädlingsskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 71: 88-93. • WOHLGEMUTH, T.; JENTSCH, A.; SEIDL, R. (Hrsg.) (2019): „Störungsökologie“, UTB-Lehrbuch, Hauptverlag.

4. Veröffentlichungen

Teilvorhaben 1

FÖRSTER, A.; BRÄSICKE, N. (2018): Auswirkungen von Insektiziden und Fraßereignissen auf die Käferzönose in Kiefernwäldern. - 61. Deutsche Pflanzenschutztagung, 11. - 14. September 2018, Universität Hohenheim, Vortrag + Abstract, Julius-Kühn-Archiv: 461, S. 119-120.

FÖRSTER, A.; BRÄSICKE, N. (2018): Auswirkungen von Insektiziden und Nadelfraß durch KiefernSchädlinge auf die Zönose der Käfer als potenzielle Räuber – Forstwissenschaftliche Tagung; 24. – 27. September 2018 Universität Göttingen, Poster + Abstract, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen, Session 10-P10, S. 350.

KÜHNE, B.; BRÄSICKE, N. (2018): Auswirkungen von Insektiziden und Fraßereignissen in Kiefernwäldern auf die Parasitoidenzönose. - 61. Deutsche Pflanzenschutztagung; 11. - 14. September 2018, Universität Hohenheim, Posterpräsentation + Abstract, Julius-Kühn-Archiv: 461, S. 462-463.

KÜHNE, B.; BRÄSICKE, N. (2018): Effects of insecticides and feeding damage on parasitoids in pine forests. - 11th Young Scientists Meeting 2018: 14th – 16th November in Braunschweig, Poster + Abstract, Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut 200, S. 58.

KÜHNE, B.; FÖRSTER, A.; STEIN, F.; BRÄSICKE, N. (2019): Waldökologische Forschung zu den Effekten von Insektizidmaßnahmen und natürlichen Störungen auf die Arthropodenzönose in Kiefernwäldern. – Entomologentagung, DGaE; 12. – 14. März 2019, Universität Halle, Poster + Publikation, Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent. 22: im Druck.

STÄHLER, M.; BRÄSICKE, N.; MÖLLER, K. (2018): Zur Umweltwirkung von Pflanzenschutzmitteln in Wäldern. 61. Deutsche Pflanzenschutztagung, 11. - 14. September 2018, Universität Hohenheim, Poster + Abstract; Julius-Kühn-Archiv: 461, S. 460-461.

STEIN, F.; BRÄSICKE, N. (2019): Der Einfluss von Insektiziden und Fraßereignissen bedeutender Forstschaadinsekten in Kiefernwäldern auf die Fliegengemeinschaft (Diptera: Brachycera). – Entomologentagung der DGaE; 12. – 14. März 2019, Universität Halle, Poster + Publikation, Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent. 22: im Druck.

Teilvorhaben 2

SEDLACZEK, M. (2017): Auswirkungen von Kahlfraß und Insektizidanwendungen auf Brutvögel in Kiefernwäldern - Eine Feldstudie im Verbundprojekt RiMa-Wald. Landesbetrieb Forst Brandenburg, Geschäftsbericht 2016: 34-39.

SEDLACZEK, M. (2018): Nistkastenbasierte Untersuchungen zum Einfluss von Insektizidanwendungen und Kahlfraßereignissen auf Brutvögel in Kiefernforsten. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 65: 57-64.

SEDLACZEK, M.; MENGE, A. (2019): Nistkästen im Kiefernforst – ein gedeckter Tisch für Nesträuber? Poster, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 67.
<https://forst.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/efs67.pdf>.

SEDLACZEK, M.; MENGE, A. (2019): Sind Höhlenbrüter in Brandenburger Kiefernwäldern gefährdet? Naturmagazin, Ausgabe 3/2019, Natur & Text, Rangsdorf
<http://www.naturmagazin.info/ausgaben/gcQAHPQPX/rubriken/xVbCXqYgWQ/>.

SEDLACZEK, M.; MENGE, A. (2019): Nisthöhlenkästen im Wald, Nisthilfe oder Brutfalle? Naturmagazin, Ausgabe 4/2019, Natur & Text, Rangsdorf
<http://www.naturmagazin.info/ausgaben/ugiQcxzHyR/rubriken/5VaEqdGqVx/>

SEDLACZEK, M. (2020): Förderung insektenfressender Vögel mit Nisthöhlenkästen. Ergänzungsblatt für den „Waldschutzordner - Anleitung für die Forstpraxis in Brandenburg“. Sonderdruck LFE.

SEDLACZEK, M. (in Vorbereitung): Auswirkungen von Kahlfraß und Insektizidanwendungen auf Brutvögel in Kiefernwäldern. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Berliner und Brandenburger Ornithologen (ABBO), 16.11.2019.

Teilvorhaben 3

LEROY, B.M.L., GOSSNER, M.M., LAUER, F.P.M., PETERCORD, R., SEIBOLD, S., JAWOREK, J., WEISER, W.W. (2019): Assessing Insecticide Effects in Forests: A Tree-Level Approach Using Unmanned Aerial Vehicles. J. Econ. Entomol. <https://doi.org/10.1093/jee/toz235>.

Teilvorhaben 4

KARABENSCH, M. (2017): Verbundprojekt RiMa-Wald - Ökologische Bewertung von integriertem Pflanzenschutz im Wald. Waldschutztage in Kenzendorf, Vortrag.

KARABENSCH, M. & SCHÖNFELD-SIMON, M. (2018): Ökologische Begleituntersuchung zum Einsatz des Borkenkäfer-Fangsystems Trinet® P/Ecological investigation on effects of the attract and kill system Trinet® P. 61. Deutsche Pflanzenschutztagung 11. bis 14. 09.20, Universität Hohenheim, Stuttgart, Poster+Abstract; Julius-Kühn-Archiv: 461, S. 461-462.

KARABENSCH, M. & SCHÖNFELD-SIMON, M. (2018): Ökologische Begleituntersuchung zum Einsatz des Borkenkäfer-Fangsystems Trinet® P/Ecological investigation on effects of the attract and kill system Trinet® P. Forstwissenschaftliche Tagung, Georg-August-Universität, Göttingen, Vortrag+Abstract; Tagungsband S. 134.

Teilvorhaben 5

EICHEL, P., PETERCORD, R. (2016): Medikamenten Notstand im Wald. 60. Deutsche Pflanzenschutztagung, 20. - 23. September 2016; Universität Halle-Wittenberg, Vortrag + Abstract, Julius-Kühn-Archiv: 454, S. 303.

EICHEL, P., PETERCORD, R. (2016): Medikamentennotstand im Wald! – eine Herausforderung für den Waldschutz, Forstwissenschaftliche Tagung, 26. bis 29. September 2016, Freiburg, Poster (Session5) + Abstract, Tagungsband S. 216.

EICHEL, P., PETERCORD, R. (2017): Medikamentennotstand im Wald, In: LWF aktuell Nr. 112, S. 18.

EICHEL, P. (2017): Storanet – Anwendung jetzt "Einfache Hilfstätigkeit" - Blickpunkt Waldschutz 4/2017, Newsletter: <https://www.lwf.bayern.de/newsletter/waldschutz/162487/index.php>.

EICHEL, P. (2018): Pflanzenschutzmitteleinsatz im Forst bei eingeschränkter Verfügbarkeit, 61. Deutsche Pflanzenschutztagung, 11. - 14. September 2018, Universität Hohenheim, Vortrag + Abstract, Julius-Kühn-Archiv: 461, S. 120.

EICHEL, P. (2018): Pflanzenschutzmitteleinsatz im Forst bei eingeschränkter Verfügbarkeit, Forstwissenschaftliche Tagung, 24. bis 26. September 2018, Göttingen, Poster (Session10-P-16) + Abstract, Tagungsband S. 356.

EICHEL, P., PETERCORD, R. (2018): Wesentliche Änderungen bei Rodentizid-Anwendungen – Blickpunkt Waldschutz 14/2018, Newsletter:

<https://www.lwf.bayern.de/waldschutz/pflanzenschutz/205472/index.php>.

HUBER, S., EICHEL, P. (2020): Überblick zur Zulassungssituation der Pflanzenschutzmittel im Forst für 2020 - Blickpunkt Waldschutz 1/2020, Newsletter: <https://www.lwf.bayern.de/waldschutz/pflanzenschutz/239449/index.php>.

HUBER, S., EICHEL, P. (2020): Zulassungssituation bei Pflanzenschutzmitteln, In: Holz-Zentralblatt Nr. 9: 183.

TRIEBENBACHER, C., STRAßER, L. & EICHEL, P. (2019): Erhöhte Gefährdungslage von Forstkulturen durch Wühlmäuse- Blickpunkt Waldschutz 16/2019, Newsletter: <https://www.lwf.bayern.de/waldschutz/kleinsaeuger/233490/index.php>.

Weitere Publikationen sind in den jeweiligen Teilvorhaben geplant und werden dem Projektträger nach Veröffentlichung zugesandt.

ANHANG

Teilvorhaben 1

Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Im Teilvorhaben 1 wurden die direkten und langfristigen Auswirkungen von natürlichen (Insektenfraß) und anthropogenen (Anwendung von Pflanzenschutzmitteln) Störungen auf Nichtzielorganismen in Kiefernwäldern untersucht. Im Fokus stand hierbei die Zönose trocken-armer Kiefernwälder, unter Beachtung der Antagonistenfauna der Kieferngrößschädlinge, die bei der natürlichen Selbstregulierung von Waldökosystemen eine wichtige Rolle spielen. Für die Aufklärung von Kausalitäten sowie zur Überprüfung bestehender Anwendungsbestimmungen bei der Ausbringung von Insektiziden mit Luftfahrzeugen, sind begleitende Analysen zur ökologischen Chemie sowie zur Abdrift und Exposition durchgeführt worden.

Projektleitung: Dr. N. Bräsicke

Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Waldökologische Forschung

Federführung: Dr. N. Bräsicke

Projektmitarbeiter/-innen: A. Förster, B. Kühne (Wiss. ü. Drittmittel), F. Stein (Wiss. ü. JKI);
M. Erhard, A.-K. Grashoff (TA ü. Drittmittel)

In Kooperation mit dem Teilvorhaben 2 (LFE) wurden gezielt Kiefernforsten auf trocken-armen Standorten des Nordostdeutschen Tieflandes (Bundesland Brandenburg), die aktuell häufig durch Massenvermehrungen forstschädlicher Insekten (u. a. Lepidoptera: *Dendrolimus pini* (L.) und Hymenoptera: *Diprion pini* (L.)) gefährdet sind, untersucht. Hierbei stehen die direkten und langfristigen Auswirkungen von natürlichen (Licht- und Kahlfraß) und anthropogenen (Anwendung von Pflanzenschutzmitteln) Störungen auf die Nichtzielorganismen im Fokus.

Arbeitspaket 2: Ökologische Chemie

Federführung: Dr. M. Stähler, Dr. N. Bräsicke

Projektmitarbeiter/-innen: R. Koc, G. Smykalla (TA ü. Drittmittel)

Während der luftgestützten Applikation (Hubschrauber) von Insektiziden in Kiefernwäldern wurden umweltchemische Untersuchungen durchgeführt. Bestimmt wurden u. a. die Wirkstoffkonzentrationen in Pflanzenteilen sowie die in Ziel- und Nichtzielorganismen. Ausgewählt wurden zwei verschiedene Pflanzenschutzmittel (PSM), ein im Forst zugelassenes Kontaktinsektizid (KARATE FORST *flüssig*) bzw. ein zu prüfendes Fraßinsektizid (Häutungsbeschleuniger: MIMIC). Die Ergebnisse dienen einer verbesserten Bewertung des ökotoxikologischen Gefährdungspotenzials bei direkten Waldschutzmaßnahmen mit Insektiziden in Wäldern.

Arbeitspaket 3: Abdrift und Exposition

Federführung: Dipl.-Ing. D. Rautmann, Dr. N. Bräsicke

Projektmitarbeiter/-innen: J. Libowski (TA ü. Drittmittel)

Bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen können durch Windbewegungen auch angrenzende Nichtzielflächen durch die Abdrift belastet werden. Diverse technische Ansätze wie eine spezielle Düsenteknik, können diesen unerwünschten Nebeneffekt reduzieren und helfen die Belastung von Umwelt und Naturhaushalt zu verringern. Über die Exposition können des Weiteren auf Zielflächen erhebliche Mengen an Pflanzenschutzmitteln auf und in den Boden eingetragen werden. Infolgedessen war die Messung der direkten Abdrift und der Exposition am Waldboden von Kiefernbeständen Ziel der Untersuchung. Hierbei wurde ein fluoreszierender Farbstoff (Pyranin) praxisnah mit Luftfahrzeugen ausgebracht.

Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Vgl. Abschnitt II. Ergebnisse: S.21 bis 66

Teilvorhaben 2

Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Ein Einsatz von Insektiziden in Wäldern wird nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten abgewogen. Um diese Abwägung im Hinblick auf den Erhalt des Waldes und damit auch seine Lebensraumfunktion zu qualifizieren, sind nähere Informationen zu direkten und langfristigen Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln (PSM) bzw. von Kahlfraßereignissen forstschädlicher Insekten auf Nicht-Zielorganismen notwendig, zu denen insbesondere die natürlichen Gegenspieler (u.a. Vögel) zählen.

Für die Untersuchung der Brutvogelfauna werden gezielt Kiefernwälder im Land Brandenburg ausgewählt, die aktuell häufig durch Massenvermehrungen forstschädlicher Schmetterlinge bzw. Blattwespen gefährdet sind. Hierbei sollen sowohl die Nebenwirkungen von Bekämpfungsmaßnahmen mit verschiedenen Insektiziden, als auch die Folgen von Kahlfraß durch nadelfressende Raupen von Kiefernspinner und Nonne bzw. Larven der Kiefernbuschhornblattwespen auf die Avifauna bewertet werden. Im Mittelpunkt stehen der Bruterfolg insektenfressender Vögel und damit auch die Frage nach indirekten Effekten durch ein verändertes Nahrungsangebot.

Projektleitung: Dr. K. Möller

Projektmitarbeiter: M. Sedlaczek (Wiss. ü. Drittmittel)

Bearbeitete Arbeitspakete

Im Wesentlichen wurde das Teilvorhaben über die umfangreiche Brutvogelkartierung und das aufwendige Nistkastenmonitoring, inkl. Nahrungsanalysen über Vogelkotproben realisiert. Methodisch bedingt lag der Fokus auf insektivoren Brutvögeln, die als Höhlen- bzw. Nischenbrüter einer im Lebensraum Wald typischen und dominant vertretenden Nestgilde angehören. Die Einbeziehung der Arthropodendaten aus dem Teilvorhaben 1 war ebenfalls vorgesehen.

Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Vgl. Abschnitt II. Ergebnisse: S.67 bis 79

Teilvorhaben 3

Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Das Teilvorhaben 3 hatte das Ziel, mittels freilandbasierter waldökologischer Forschung die Auswirkungen von Insektizidmaßnahmen auf die Arthropodendiversität und trophische Interaktionen in Eichenwäldern zu untersuchen.

Projektleitung: Prof. Dr. W. W. Weisser

Projektmitarbeiter/-innen: B. Leroy, J. Jaworek (Wiss. ü. Drittmittel)

Bearbeitete Arbeitspakete

Der Hauptfokus des Teilprojektes waren Aufnahmen im Freiland, diese wurden 2016, 2017 und 2019 durchgeführt. Die Arbeiten untergliederten sich in A) Theorie und bisherige Berichte, B) Drohnenexperiment Greutholz 2016/2017, C) Helikopterexperiment 2017 und D) Schwammspinnerexperiment 2019.

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungsstand
AP 1 (das Teilprojekt ist nicht in weitere Arbeitspakete untergliedert)	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="655 658 1455 813">– Im Jahr 2019 wurden die Proben aus den Feldkampagnen 2016 und 2017 (Totfallplanen, Kotfall-Tafeln, Astschüttelungsproben, Benebelungsproben, Blattproben) weitestgehend analysiert. Allein die weitergehenden Untersuchungen der Blattminierer befinden derzeit noch in tiefergehender Bearbeitung. <li data-bbox="655 813 1455 936">– Im Jahr 2018 wurden zusätzlich Bodenproben zur Untersuchung der Langzeit-Effekte auf die Bodenfauna und Bodenbakterien genommen. Die Analysen hierzu wurden abgeschlossen. <li data-bbox="655 936 1455 1133">– Ausbruchsprognosen von Schwammspinnern (<i>Lymantria dispar</i>) und Frostspannern (<i>Erannis defoliaria</i>, <i>Operophtera brumata</i>) resultierten 2019 in einer Feldkampagne in Kooperation mit weiteren Instituten. Hierbei wurden Benebelungsproben und Blattproben generiert. Zu den Benebelungsproben gibt es Ergebnisse.

Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Vgl. Abschnitt II. Ergebnisse: S. 80 bis 99

Teilvorhaben 4

Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Ziel des Teilprojekts 4 war die Erstellung einer bundesweiten Leitlinie für integrierten Pflanzenschutz (IPS) in der Forstwirtschaft als eine Maßnahme zur Vermeidung oder Verminderung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmittelanwendungen auf die menschliche Gesundheit und den Naturhaushalt. Beispielbetriebe sollten geeignete Verfahren vor einem Fachpublikum und der interessierten Öffentlichkeit demonstrieren und es sollte eine Methode entwickelt werden, die Umsetzung dieser Leitlinie in den Beispielbetrieben bewerten zu können. Darüber hinaus sollten ökologische Begleituntersuchungen von Pflanzenschutzmaßnahmen im Forst durchgeführt und ausgewertet werden.

Projektleitung: Dr. M. Rohde (Dr. M. Habermann)

Federführung: A. Rommerskirchen (NW-FVA), Dr. S. Krenzel-Horney (JKI-SF)

Projektmitarbeiter/-innen: M. Schönfeld-Simon, M. Karabensch (Wiss. ü. Drittmittel),
F. Suhl, U. Müller (TA ü. Drittmittel)

Bearbeitete Arbeitspakete

Das koordinierte, mehrstufige Verfahren, das zur Erarbeitung der sektorspezifischen Leitlinie gewählt wurde, entspricht dem Bedarf, nach Abstimmung und Konformität der Ergebnisse. Durch die umfangreiche Beteiligung von forstlich wichtigen Akteuren, die mit besonderen fachlichen Ansprüchen den Waldschutz in unterschiedlichem Umfang beeinflussen, wurden deren Kompetenz und jeweilige Verantwortung berücksichtigt. Durch das Beteiligungsverfahren unterscheidet sich das Vorgehen bei der Erstellung dieser Leitlinie von dem Vorgehen in anderen Sektoren, bei denen einzelne Verbände oder Stellen ohne weitere Beteiligung Leitlinien erstellten. Die Beteiligung ermöglichte die fachlich solide und praxisorientierte Ausgestaltung der Leitlinie und sichert eine breite Akzeptanz in der durch unterschiedliche natürliche Ausstattungen und verschiedene betriebliche Bedingungen vielfältig geprägten Forstwirtschaft. Das aufwändige Verfahren erscheint somit gerechtfertigt und ist die Grundlage dafür, dass die Leitlinie die Bereitschaft zur Umsetzung des IPS unter den forstlichen Praktikern weiter erhöht.

Erst nach Abschluss des Projekts entscheidet die Bundesregierung mit den Bundesländern über die Anerkennung der sektorspezifischen Leitlinie als maßgeblich und geeignet. Vor einer Aufnahme in den Anhang I des Nationalen Aktionsplans kann der Wissenschaftliche Beirat im NAP es als erforderlich ansehen, dass einzelne oder verschiedene Kriterien stärker herausgestellt werden und die Nachbearbeitung der derzeitigen Leitlinienfassung erforderlich wird.

Für die Entwicklung geeigneter Methoden zur Bewertung der Umsetzung der vorliegenden Leitlinie zum IPS in Forstbetrieben wurden bisherig angewandte Verfahren (z.B. Checklisten) in anderen Projekten gesichtet und bewertet. Diese oft sehr umfangreichen Checklisten beruhen auf einem Punktesystem in Kombination mit einem Ampelverfahren. In Abstimmung mit allen Projektpartnern, wurde auf dieses System verzichtet, weil es für eine Bewertung möglichst konkrete Maßnahmenformulierungen bedarf. Die Projektpartner entschieden sich für die Nutzung eines Online-Systems, um ein benutzerfreundliches, kompaktes, gut auswertbares und innovatives Bewertungsverfahren zu entwickeln. Mit Hilfe verschiedener Systembausteine konnte bei der Online-Umfrage größtmögliche Detailschärfe erzielt werden. Die sektorspezifische Leitlinie bildete die Grundlage der Befragung, ihre Struktur wurde in der Befragung aufgegriffen.

Die Einbindung von Beispielbetrieben war aus Kapazitätsgründen und durch formale Anforderungen begrenzt. Die Auswahl der Betriebe und der Umfang des Netzwerks beschränkten sich auf ein eher kleines Betriebsnetz aus einem kommunalen und fünf privaten, sich freiwillig beteiligenden Forstbetrieben. Die Zusammenarbeit profitierte sehr stark von der engen Verbundenheit der Betriebsleiter zu ihrem Wald, den sehr kurzen, direkten Entscheidungsprozessen und einem hohen, auch persönlichen Interesse an der Vermeidung von Pflanzenschutzrisiken. Jedoch kamen die Kleinbetriebe in bestimmten Fällen rasch an ihre Kapazitätsgrenzen, die mit Schwächen in der betrieblichen Umsetzung und mit Einschränkungen der beabsichtigten Waldschutzinformativveranstaltungen verbunden waren.

Ein inhaltlicher Schwerpunkt in der Zusammenarbeit sollte die Umsetzung der Leitlinie und damit die Überprüfung ihrer Praxistauglichkeit sein. Hierbei ist gemäß dem übergeordneten Auftrag des NAP vorrangig die Vermeidung von Anwendungsrisiken vorgesehen und versteht dies als eine integrative, in viele betriebliche Maßnahmen einzubeziehende Aufgabe. Die Leitlinie zeigt den Betrieben dazu die grundsätzlichen Einflussfaktoren auf, mit denen Risiken gezielt verändert werden können. Die Beispielbetriebe standen bei den

betrieblichen Entscheidungen regelmäßig vor der Anforderung, unter den betrieblich geeigneten Handlungsoptionen abzuwägen, wie sie durch vorrangige Berücksichtigung der Vorsorge und Überwachung sowie mit biologischen Verfahren den chemischen Pflanzenschutz auf das notwendige Maß beschränken können. Das Projekt unterstützte die Beispielbetriebe beratend bei umfassenden Abwägungen.

Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens (Vgl. Abschnitt II. Ergebnisse: S. 100 bis 109)

i. Erarbeitung einer sektorspezifischen Leitlinie für den integrierten Waldschutz

Diese sektorspezifische Leitlinie ist ein bundesweiter, allgemein gefasster Leitfaden, der über aktive Waldschutzverfahren informiert. Es werden von der Vorsorge bis zur Behandlung die Einflussgrößen herausgestellt, mit denen die Produktionsrisiken und vor allem auch die Anwendungsrisiken für Mensch und Umwelt durch integrierten Pflanzenschutz in der Forstwirtschaft vermindert oder vermieden werden können. Die Gliederung und der Inhalt folgen unmittelbar den acht allgemeinen Grundsätzen für den integrierten Pflanzenschutz aus Anhang III der Richtlinie 2009/128/EG. Die aufgeführten Hinweise und Empfehlungen geben den aktuellen Stand wissenschaftlicher Erkenntnis und praktischer Erfahrung wieder. Adressaten dieser Leitlinie sollen in erster Linie die forstliche Praxis und die Berater für Waldschutz sein, um die Einführung des integrierten Pflanzenschutzes in den Forstbetrieben weiter zu unterstützen. Als umfassende Darstellung für den gesamten Anwendungssektor ist die Leitlinie weniger geeignet. Dafür sind kulturpflanzen-spezifische Leitlinien erforderlich, welche die zahlreichen Verfahren zur Überwachung, Prognose und Bekämpfung relevanter Schaderreger detailliert beschreiben. In der vorliegenden sektorspezifischen Leitlinie werden die nicht-chemischen, grundsätzlich risikoärmeren Bekämpfungsverfahren in einer Zusammenstellung hervorgehoben, um die Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz für den Risikofall konkret aufzuzeigen. Für alle Fragen zur praktischen Umsetzung werden den Praktikern in dieser Leitlinie einschlägige Informationsquellen und Beratungseinrichtungen genannt.

Die sektorspezifische Leitlinie weist darauf hin, wo Hinderungsgründe für ein integriertes Vorgehen bestehen, weil beispielsweise die geeigneten Methoden und Mittel im Bereich des biologischen Pflanzenschutzes fehlen oder keine Auswahl unter Pflanzenschutzmitteln mit verschiedenen Wirkmechanismen erfolgen kann.

Die Leitlinie stellt den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik dar. Bei wesentlichen Weiterentwicklungen von Verfahren oder Veränderungen des gesellschaftlichen und rechtlichen Rahmens bedarf sie der Aktualisierung.

ii. Erarbeitung einer Methode zur Bewertung der Umsetzung der sektorspezifischen Leitlinie

Die aus 39 Fragen bestehende Online-Umfrage wurde im August 2019 per personalisiertem Zugangslink an die im Verbundvorhaben beteiligten sechs Beispielbetriebe gesendet. Jeder Teilnehmer konnte die Fragen anonymisiert beantworten. Es beteiligten sich fünf der sechs Beispielbetriebe mit insgesamt sieben Teilnehmern. Die Teilnehmerzahl orientierte sich an der Anzahl der im Betrieb für den Pflanzenschutz zuständigen Personen. Damit konnten mehrere Personen, zum Beispiel durch Revierteilung, innerbetriebliche Hierarchiestrukturen, zuständig sein. Die Umfrageergebnisse zeigten die derzeit dominierenden Waldschutzrisiken auf. Diese waren in den befragten Forstbetrieben (welche sich vorwiegend durch Fichten-, Kiefern-, Buchen- oder Eichenbewirtschaftung auszeichnen) biotische Risiken (Borkenkäfer, Schalenwild, Rotfäule) und abiotische Risiken (Trockenheit sowie Stürme). Optimierungsmöglichkeiten in der Umsetzung des IPS zeigten sich u. a. im Bereich der Überwachung von Schadorganismen. Neben der Bewertung der Umsetzung des IPS, erfolgte an Hand der Umfragen ebenfalls eine Ursachenanalyse. So sehen die Befragten insbesondere wenig Personal, wirtschaftliche Aspekte sowie zusätzlicher Aufwand als aktuelle Hemmnisse für die Umsetzung des IPS im Forst.

Die in den Beispielbetrieben durchgeführte Befragung zeigte, dass der entwickelte Fragebogen für die Bewertung des IPS im Forst geeignet ist und durch den Verzicht auf ein Punktesystem eine vergleichsweise hohe Akzeptanz bei den Befragten findet. Die entwickelte Methode des Onlinefragebogens bietet eine gute Grundlage für eine umfangreiche, deutschlandweite Befragung. Damit ließen sich repräsentative Ergebnisse zur Umsetzung des IPS im Forst sowie der im Projekt erarbeiteten sektorspezifischen Leitlinie gewinnen, verbunden mit der Auswertung regionalspezifischer Auswertungen.

iii. Einrichtung eines Betriebsnetzes und Zusammenarbeit mit den Beispielbetrieben

Zur Demonstration der durch die Beispielbetriebe umgesetzten Waldschutzmaßnahmen wurden verschiedene Informationsformate genutzt. Der Waldschutztag als eine Veranstaltung vor Ort erwies sich als sehr gute Informationsmöglichkeit. Allerdings musste zur angemessenen Vermittlung der Themen und zur Bewältigung des Tagesprogramms unterschiedliche Unterstützung, unter anderem durch zusätzliche Fahrzeuge und die

Beteiligung mehrerer Waldschutzberater, erfolgen. Ein Waldschutztag konnte deshalb im Projektrahmen aus Kapazitätsgründen nur in einem Einzelfall realisiert werden. Die Veranstaltung weckte regional ein großes Interesse und erreichte die angestrebte Beteiligung eines praxisnahen Teilnehmerkreises.

Mehrfach beteiligte sich das Projekt an Fachgesprächen, die stets eine Möglichkeit boten auf den Fortschritt der Leitlinie einzugehen und Expertenrunden des Waldschutzes oder aus dem Forum des NAP einzubeziehen. Als Multiplikatoren machten die Gesprächsteilnehmer zudem die sektorspezifische Leitlinie auch bei Landesministerien, weiteren Forstbetrieben und forstlichen Forschungseinrichtungen bekannt. Von den Beispielbetrieben wurden Verbandstreffen der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände e.V., des Deutschen Forstvereins und der Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft genutzt, um ebenfalls auf das Teilvorhaben hinzuweisen.

Teilvorhaben 5

Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Im Teilvorhaben sollen die wissenschaftlichen Grundlagen für die Arbeiten der Servicestelle Pflanzenschutz im Forst, mit dem Ziel auf Veränderungen im Waldschutzgeschehen rechtzeitig reagieren zu können, erarbeitet werden. Dies soll durch die Recherche möglicher Lösungsansätze auf nationaler und internationaler Ebene, i.e. EU-Mitgliedsstaaten und Drittländer, geschehen. Soweit möglich sollen die Grundlagen für eine Zulassung im Einsatzgebiet Forst erarbeitet werden um aktuelle und zukünftige Indikationslücken zu schließen.

Projektleitung: Dr. A. Hahn (Dr. R. Petercord)

Projektmitarbeiter: P. Eichel (Wiss. ü. Drittmittel)

Bearbeitete Arbeitspakete

Die Arbeiten beinhalteten die Evaluierung verfügbarer Pflanzenschutzmittel im Forst, das Screening zu alternativer Pflanzenschutzmitteln und -wirkstoffen, Informationsrecherchen und Absprachen, die Unterstützung des Lückenindikationsmanagements und Mitarbeit in der BLAG Lück-Unterarbeitsgruppe Forst, Unterstützung bei der Antragserstellung nach Art. 51 VO(EG)1107/2009 „Ausweitung des Geltungsbereichs von Zulassungen auf geringfügige Verwendungen“, Abstimmung mit den Waldschutzdienststellen der Länder zur Situation und zum weiteren Vorgehen sowie die Aufbereitung und der Transfer in die Praxis.

Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Vgl. Abschnitt II. Ergebnisse: S. 110 bis 118

Die Servicestelle wurde bis 30. September 2020 verlängert. Eine abschließende Darstellung der Ergebnisse erfolgt in einem separaten Schlussbericht bis Ende Oktober 2020.