



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat



Schlussbericht zum Thema

Regulierung von Trauermücken im ökologischen Anbau von Topfpflanzen - Innovative Verfahren zur Einschätzung der Attraktivität von Kultursubstraten für Trauermücken und umfassende Strategien zur Bekämpfung mittels Nützlingen

FKZ: 2819OE110; 2819OE158; 2819OE159; 2819OE160

Projektnehmer/Projektnehmerin:

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Julius Kühn-Institut

Gefördert durch das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat auf Grund eines Beschlusses des deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische Landwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) finanziert und in der BÖL-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in die Praxis umgesetzt. Das Programm gliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder - das Forschungs- und das Informationsmanagement.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter:

www.bundesprogramm.de
www.oekolandbau.de/forschung

Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Bundesprogramm Ökologischer Landbau
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel.: 0228-6845-3280
E-Mail: boel-forschung@ble.de

Abschlussbericht

TrauTopf

Regulierung von Trauermücken im ökologischen Anbau von Topfpflanzen

**Innovative Verfahren zur Abschätzung der Attraktivität
von Kultursubstraten für Trauermücken und
umfassende Strategien zur Bekämpfung mittels Nützlingen**

Zuwendungsempfänger:

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Institut für Gartenbau (Förderkennzeichen: 2819OE110)

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Julius Kühn-Institut für Strategien und Folgenabschätzung (JKI-SF)

(Förderkennzeichen: 2819OE158)

Julius Kühn-Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz (JKI-ÖPV)

(Förderkennzeichen: 2819OE159)

Julius Kühn-Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst (JKI-GF)

(Förderkennzeichen: 2819OE160)

Laufzeit: 01.03.2022 - 31.07.2025

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kurzfassung

TrauTopf

Regulierung von Trauermücken im ökologischen Anbau von Topfpflanzen - Innovative Verfahren zur Abschätzung der Attraktivität von Kultursubstraten für Trauermücken und umfassende Strategien zur Bekämpfung mittels Nützlingen

Andrea Baron¹, Dr. Theresa Kabakeris², Dr. Torsten Meiners³, Dr. Quentin Schorpp⁴, Dr. Dieter Lohr¹, Prof. Dr. Stefan Kühne², Prof. Dr. Birgit Zange¹

¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Institut für Gartenbau (HSWT)
Am Staudengarten 12, 85354 Freising | birgit.zange@hswt.de

² Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung (JKI-SF)
Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow | Stefan.Kuehne@julius-kuehn.de

³ Julius Kühn-Institut, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz (JKI-ÖPV)
Königin-Luise-Str. 19, 14195 Berlin | Torsten.Meiners@julius-kuehn.de

⁴ Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün (JKI-G)
Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig | Quentin.Schorpp@julius-kuehn.de

Das Projekt TrauTopf verfolgte zwei Ziele. Zum einen die Frage: Welche Bestandteile von Kultursubstraten – insbesondere Torfersatzstoffe und organische Dünger – wirken attraktiv bzw. repellent auf Trauermücken? In diesem Zusammenhang sollte auch die Rolle volatiler Komponenten ermittelt werden. Zum zweiten ging es um die Optimierung der Bekämpfung durch den Einsatz etablierter sowie bisher noch nicht genutzter Nützlinge. Beide Ansätze lieferten für die Praxis direkt anwendbare Ergebnisse.

Bei organischen Düngern und Pflanzenstärkungsmitteln zeigt sich, dass flüssige Produkte keine attraktive Wirkung mitbringen, wohingegen feste Dünger meist auch per se unattraktives Substrat hoch attraktiv machen. Keine erhöhte Attraktivität zeigte sich bei Holzfaser- und Rindenprodukten. Anders bei Grüngutkomposten. Zwar waren die meisten unattraktiv, einzelne aber hoch attraktiv. Ein eindeutiger Zusammenhang zu chemischen und physikalischen Eigenschaften war nicht festzustellen. Es deutet sich aber an, dass eine unzureichende Reife einen Risikofaktor darstellt.

Über die Duftstoffanalyse konnten einige attraktive und repellente Komponenten identifiziert werden. Verschiedene Tests einzelner Volatile mit und ohne Substrat bestätigten vorwiegend die repellente Wirkung.

Hinsichtlich etablierter Nützlinge zeigte sich, dass die kombinierte Anwendung von *Steinernema feltiae* und *Hypoaspis miles* effektiver ist als deren alleinige Ausbringung. Mit speziell formulierten Nematoden sowie *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (BTI)-Präparaten konnte der Bekämpfungserfolg nicht verbessert werden. Der Kurzflügelkäfer *Atheta coriaria*, die Schlupfweste *Synacra paupera* sowie räuberische Fliegen der Gattung *Coenosia* können ebenso zur Regulierung beitragen wie grundsätzlich auch der Hundertfüßer *Lamyctes emarginatus*. Allerdings verhindern Schwierigkeiten bei der

Massenanzucht sowie seine Größe dessen großflächigen Einsatz. Sehr gute Erfolge zeigte auch eine neue, nützlingsschonende Falle.

Abstract

The research project TrauTopf had two objectives: Firstly, it was investigated which components of growing media, with a particular focus on peat substitutes and organic fertilizers, have an attractive or repellent effect on fungus gnats. In this context, the role of single volatile components was analysed. Second, the aim was the optimization of control measures by established and newly introduced beneficial organism. Both approaches yielded results, which can be directly used by growers.

The test of the attractiveness of organic fertilizers and plant strengtheners showed that liquid products do not have an attractive effect on fungus gnats, whereas solid organic fertilizers are highly attractive. Moreover, wood fiber and bark products did not show any increased attractiveness. However, the situation was different for green waste compost. Although the majority of composts were unattractive, some were highly attractive. No clear correlation with chemical and physical properties could be established. However, insufficient compost maturity was identified as risk factor.

The analysis of the scents of the attractive and repellente components identified several compounds that could potentially influence fungus gnats. Tests of individual volatiles with and without growing media mainly confirmed repellente effects.

With regard to established beneficial organisms, it was found that the combined use of *Steinernema feltiae* and *Hypoaspis miles* was more effective than their separate use. Specially formulated nematodes and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (BTI) preparations did not improve the control success. The short-winged beetle *Atheta coriaria*, the sloughing vest *Synacra paupera*, and predatory flies of the genus *Coenosia* also contribute to regulation, as can the centipede *Lamycetes emarginatus*. However, difficulties in mass breeding and its size prevent its large-scale use. Furthermore, a new trap, which is gentle on beneficial insects, has shown very good results.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
Abstract	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
1 Einführung	9
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	9
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖL oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen	9
1.3 Planung und Ablauf des Projektes.....	10
1.3.1 Attraktivität von Substratbestandteilen.....	10
1.3.2 Optimierung der Bekämpfung mit Nützlingen	11
2 Wissenschaftl. & techn. Stand, an den angeknüpft wurde	11
3 Material und Methoden	13
3.1 Attraktivität von Substratkomponenten und Zuschlagstoffen	13
3.1.1 Trauermücken	13
3.1.2 Attraktivitätsversuche	13
3.2 Sammlung, Analyse und Validierung volatiler Komponenten.....	15
3.2.1 Duftsammlung mit Twister-Stäbchen.....	15
3.2.2 Analyse der gesammelten Volatile mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) am JKI-ÖPV	15
3.2.3 Auswertung	16
3.2.4 Olfaktometerversuche.....	16
3.2.5 Arenaversuche.....	17
3.3 Wirksamkeit Nutzorganismen (Laborversuche).....	18
3.3.1 Verwendete Arten, Bezugsquellen und Insektenzuchten	18
3.3.2 Behandlungen und Versuchsaufbauten	18
3.4 Versuche im Praxisbetrieb.....	19
4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	19
4.1 Attraktivität von Torfersatz- und Zuschlagstoffen	19
4.2 Transfer der Attraktivität von Einzelkomponenten auf Substratmischungen	23
4.3 Analyse von volatilen Komponenten aus den Prüfmaterialien	25
4.4 Validierung der volatilen Komponenten	27

4.4.1	Olfaktometerversuche (JKI-ÖPV).....	27
4.4.2	Prüfung synthetischer Düfte in Arena-Versuche (HSWT).....	27
4.5	Kombination von Nematoden und Raubmilben verbessert die Regulierung der Trauermücken	28
4.6	Die alleinige Anwendung von <i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i> (BTI) zeigt nur unzureichende Wirkung	29
4.7	Atheta-Kurzflügelkäfer lassen sich langfristig durch „Offene Zuchtssysteme“ als Trauermückengegenspieler im Gewächshaus etablieren	29
4.8	Hundertfüßer sind aufgrund der Schwierigkeiten der Massenzucht und ihrer Größe und Erscheinung weniger als Nützlinge im Gewächshaus geeignet.....	31
4.9	Die Schlupfwespe <i>Synacra paupera</i> etabliert sich vereinzelt in Gewächshäusern und kann langfristig zur Regulierung der Trauermückenpopulation beitragen.....	31
4.10	Räuberische Fliegen der Gattung <i>Coenosia</i> können sich langfristig über viele Jahre in Gewächshäusern etablieren und zur Regulierung der Trauermückenpopulation bei-tragen	31
4.11	Entwicklung und Erprobung einer neuartigen, nützlingsschonenden Trauermückenfalle unter Praxisbedingungen	32
4.12	Produktion eines Dokumentarfilmes zu den Ergebnissen des Projektes und Erstellung eines Merkblattes zu Trauermücken für die Praxis	33
5	Diskussion der Ergebnisse	33
5.1	Attraktivität und Duftstoffe.....	33
5.2	Nützlinge.....	35
6	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	36
	Wurden im Projekt praxisrelevante Ergebnisse erzielt? Falls nein, bitte begründen, falls ja: erläutern, inwiefern diese Ergebnisse direkt praktisch anwendbar sind. Sofern praxisrelevante Erkenntnisse gewonnen wurden, Erstellung eines Merkblatts zwecks Transfer dieser Ergebnisse in die Praxis.	36
6.1	Substrate	36
6.2	Nützlinge.....	37
7	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen.....	38
7.1	Substrate und Duftprofile.....	38
7.2	Nützlinge.....	38
8	Zusammenfassung.....	38
9	Literaturverzeichnis.....	40
10	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	42

Abkürzungsverzeichnis

A	Fläche	m ²	Quadratmeter
Abb.	Abbildung	mg/l	Milligramm pro Liter
AMS	Ammoniumsulfat	min	Minute
BGK	Bundesgütegemeinschaft Kompost	ml	Milliliter
BTI	<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>Israelensis</i>	N	Stickstoff
cm	Zentimeter	n	Freiheitsgrade
CO ₂	Kohlendioxid	NH ₄	Ammonium
g/l	Gramm pro Liter	NO ₃	Nitrat
GC-MS	Gaschromatografie-Massenspektrometrie	PCA	Principal Component Analysis
GGK	Grüngutkompost	PDMS	Polydimethylsiloxan
h	Stunde	PStM	Pflanzenstärkungsmittel
HSWT	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf	SBSE	Stir Bar Sorptive Extraction
JKI-G	Julius Kühn-Institut	Tab.	Tabelle
JKI-ÖPV	Julius Kühn-Institut	TDU	Twister Desorption Unit
JKI-SF	Julius Kühn-Institut	Tmax	Maximaltemperatur
KCl	Kaliumchlorid	VOC	Volatile Organic Compound
l	Liter	z. B.	zum Beispiel
L1-4	Larvenstadium 1-4	°C	Grad Celsius
LED	light-emitting diode	µg	Mikrogramm
m/z	Masse-zu-Ladungsverhältnis		

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ablaufschema der Becherversuche zur Bestimmung der Attraktivität einzelner Substratkomponenten.	14
Abb. 2: An einem ans Ende einer Aluminiumstange montierten Magneten wurden die Twister-Stäbchen angehaftet und durch die im Eimerdeckel integrierte Kabeldurchführung unmittelbar über der Substratoberfläche positioniert. Nach 18 bis 24 Stunden wurde der Twister wieder entnommen und zur Analyse an das JKI-ÖPV gesendet.	15
Abb. 3: Aufbau der Bioassays mit dem modifizierten zwei-Röhren-Olfaktometer.	16
Abb. 4: Aufstellung der Dual-Choice-Arenen im Kulturraum bei 20 °C und einer Tageslänge von 14 h (LED-Belichtung)	17
Abb. 5: Prüfung der Attraktivität von Düngern und Pflanzenstärkungsmitteln für Trauermücken (Fehlerbalken = Standardfehler; Varianten mit dem Buchstaben a unterscheiden sich nicht signifikant von der 0-Kontrolle, mit dem Buchstaben b nicht signifikant von der 100-Kontrolle (t-Test), p < 0,05, n = 12)	20
Abb. 6: Prüfung der Attraktivität von Torfersatzstoffen für Trauermücken (Fehlerbalken = Standardfehler; Varianten mit dem Buchstaben a unterscheiden sich nicht signifikant von der 0-Kontrolle,	

Varianten mit dem Buchstaben b unterscheiden sich nicht signifikant von der 100-Kontrolle (t-Test), $p < 0,05$, $n = 12$).....	20
Abb. 7: pH-Werte, Salz- und lösliche Nährstoffgehalte zur grundlegenden chemischen Charakterisierung der 49 Grüngutkomposte sowie C/N-Verhältnis, T_{\max} im Selbsterhitzungstest, Ammoniumanteil, Sauerstoffzehrung und relative Frischmasse im Keimpflanzentest als Parameter für die Kompostreife aufgeteilt nach Komposten mit ($n = 8$) bzw. ohne ($n = 38$) Überdachung (Referenzlinien kennzeichnen entweder die Höhe der zulässigen Beimischung nach BGK (Typ 1 = 40 Vol.-%; Typ 1 = 20 Vol.-%), den Rottegrad (RG III-V), die für Grüngutkomposte üblichen Gehalte (10 bis 90 %-Bereich) oder Grenzen für die Reifebewertung ($< 25 \% \text{ C/N} = \text{reif}$; Ammoniumanteil) nach Brinton (2000).	21
Abb. 8: Prüfung der Attraktivität für Trauermücken bei substratfähigen Grüngutkomposten (Fehlerbalken = Standardfehler; Varianten mit dem Buchstaben a unterscheiden sich nicht signifikant von der 0-Kontrolle, Varianten mit dem Buchstaben b unterscheiden sich nicht signifikant von der 100-Kontrolle (t-Test), $p < 0,05$, $n = 12$).....	22
Abb. 9: Korrelationen (ρ_s = Spearmann's rho) zwischen der Attraktivität für Trauermücken (Daten log-transformiert) und verschiedenen Reifeparameter (T_{\max} im Selbsterhitzungstest, C/N-Verhältnis, Ammoniumanteil und relative Frischmasse) getrennt nach überdachter (dunkelgrün) und nicht überdachter (hellgrün) Kompostierung.....	23
Abb. 10: Prüfung der Attraktivität unterschiedlicher Substratmischungen mit mineralischer und organischer Düngung (Fehlerbalken = 95 % KI; Varianten bei denen der Fehlerbalken die 100-%-Referenzlinie überschneidet unterscheiden sich nicht signifikant von der 100-%-Kontrolle, $p < 0,05$, $n = 12$; Substratmischungen mit gemeinsamen Kleinbuchstaben innerhalb eines N-Düngers unterscheiden sich nicht signifikant; Substratmischungen mit gleichen Großbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant im Hinblick auf die Art des N-Düngers (Tukey), $p < 0,05$, $n = 12$).....	24
Abb. 11: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Prüfmischungen basierend auf ihrem Volatilom. a) Anordnung der Mischungen nach ihrer Duftstoffzusammensetzung, farbliche Kennzeichnung nach der Attraktivität für Trauermücken. b) Anordnung der verantwortlichen Features/Duftstoffe.....	25
Abb. 12: Verteilung ausgewählter volatiler Verbindungen aus den Prüfmischungen anhand der Attraktivität der Materialien für Trauermücken. a) Octanal b)Tetradecan c) Nonanal d) Eicosan.....	25
Abb. 13: Aufenthalt weiblicher Trauermücken (<i>Bradysia impatiens</i>) im Olfaktometer bei der Wahl zwischen dem Duft von <i>Mucor cillenoides</i> oder <i>Trichoderma viride</i> (rot) und einer Kontrolle (grün). * Signifikanter Unterschied ($p < 0,05$), Chi-Quadrat-Test auf gleiche Verteilung. N: Anzahl wählender Trauermücken, NC: ohne Wahl.	26
Abb. 14: Aufenthalt und Überleben weiblicher Trauermücken (<i>Bradysia impatiens</i>) im Olfaktometer bei der Wahl zwischen dem Duft von einzelnen Verbindungen oder Substraten. * Signifikanter Unterschied ($p < 0,05$, Chi-Quadrat-Test auf gleiche Verteilung) im Aufenthalt zwischen Röhrchen mit Testduft und Kontrolle (Hexan).	27
Abb. 15: Validierung der Wirkung der als repellent bzw. attraktiv eingestuften volatilen Bestandteile im Arena-Versuch mit synthetischen Verbindungen (mit * markierte Varianten unterscheiden sich signifikant von ihrer jeweiligen Kontrollvariante; mit (*) markierte Varianten unterscheiden sich signifikant von ihrer jeweiligen Kontrolle, weisen aber die gegenteilige Wirkung als erwartet auf; Chi-Quadrat-Test auf gleiche Verteilung, $p < 0,05$).....	28

Abb. 16: Anzahl geschlüpfter Trauermücken (<i>Bradysia impatiens</i>) aus Gefäßen mit je 20 eingesetzten Trauermückenlarven (n = 600). Behandlung mit 180 <i>Hypoaspis miles</i> und 410.000 <i>Steinernema feltiae</i> je Probe, einzeln sowie in Kombination.....	28
Abb. 17: Anzahl geschlüpfter Trauermücken (<i>Bradysia impatiens</i>) aus 21 Tage alten Eigelegen nach Behandlung mit dem BTI-Präparat „Neudomück® Stechmücken-Frei“ (Fa. Neudorff).....	29
Abb. 18: Anzahl geschlüpfter Trauermücken (<i>Bradysia impatiens</i>) nach 19 Tagen nach Einsatz von <i>Atheta coriaria</i> Kurzflügelkäfern in Laborversuchen mit 20 Trauermückenlarven je Probe im L2- (Kleinmachnow) und L1- (Braunschweig) Stadium.....	30
Abb. 19: Freilassungsversuche von <i>Atheta coriaria</i> in einem Praxisbetrieb in vier offenen Zuchten (Foto) und Beobachtung der Etablierung (beige) über die Anbausaison bei wöchentlicher Fütterung sowie Funde in Trauermückenfallen und Gelbschalen.....	30
Abb. 20: Anzahl wöchentlich erfasster Trauermücken-Individuen in vier aufgestellten Gelbschalen sowie Individuen der räuberischen Fliege <i>C. humilis</i> auf 50 m ² Gewächshausfläche (Darstellung mit Faktor 10) im Praxisbetrieb (Gärtnerei Hirschgarten, Berlin) in den Jahren 2022 bis 2024.	32

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 : Prüfung praxistauglicher Substratmischungen auf Trauermückenattraktivität	23
Tab. 2: In Substratmischungen und Bodenpilzen detektierte Verbindungen und die olfaktorische Wirkung ihrer Herkunftsmaterialien auf Trauermücken in Olfaktometer-Tests.	26

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Trauermücken (*Bradysia impatiens*, *Sciaridae*) stellen im ökologischen Anbau von Topfpflanzen – insbesondere von Topfkräutern – ein erhebliches Problem dar (Gerlach und Thesing-Herrler, 2010). Im Vergleich zu den stark torfbasierten, mineralisch gedüngten Kultursubstraten im konventionellen Gartenbau sind die torfreduzierten, organisch gedüngten Kultursubstrate im ökologischen Anbau auf Grund ihres höheren Anteils an leicht abbaubaren organischen Bestandteilen sowie der größeren mikrobiellen Aktivität – vor allem wegen der stärkeren Besiedlung mit Pilzen – deutlich attraktiver für Trauermücken und bieten ihnen wesentlich bessere Lebensbedingungen (Meers und Cloyd, 2005; Kühne und Heller, 2010). Daher kommt es im ökologischen Anbau sehr häufig zu einer massenhaften Vermehrung der Trauermücken und in der Folge vor allem bei Jungpflanzen durch die Fraßtätigkeit der Larven an Wurzeln und Stängeln zu erheblichen Ausfällen (Koller et al., 2004; Cloyd, 2008). Hinzu kommt die Gefahr der Verbreitung von phytopathogenen Pilzen sowohl durch die Larven als auch durch die adulten Tiere (Cloyd, 2015). Zur Bekämpfung stehen im ökologischen Anbau Nematoden (*Steinernema feltiae*), BTI-Präparate, Pflanzenschutzmittel mit dem Wirkstoff Azadirachtin (NeemAzal-TS) sowie räuberische Bodenmilben (*Hypoaspis miles* oder *Hypoaspis acaulifer*) zur Verfügung (Koller et al., 2004). Darüber hinaus treten räuberische Fliegen aus der Gattung *Coenosia* häufig in ökologisch bewirtschafteten Gewächshäusern auf und unterstützen den gezielten Nützlingseinsatz (Kühne, 2000). Allerdings ist bei hohem Befallsdruck mit den aufgeführten Präparaten und Nützlingen oft kein ausreichender Bekämpfungserfolg zu erzielen (Koller et al., 2004). Hierfür werden umfassendere Ansätze benötigt.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖL oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen

Das Projekt hatte zum Ziel, grundlegende Erkenntnisse zur Attraktivität von Substratbestandteilen für Trauermücken zu gewinnen und darauf basierend sowohl praxistaugliche Verfahren zur Bestimmung der Attraktivität von Kultursubstraten als auch Prognosemodelle zu erarbeiten. In Kombination mit der Erweiterung der biologischen Bekämpfungsmaßnahmen durch neue Nützlinge bzw. besserer Einsatzstrategien für bekannte Antagonisten sollte die Trauermückenproblematik, die im ökologischen Topfpflanzenanbau eine große Herausforderung darstellt, signifikant reduziert werden.

Hierdurch ergibt sich ein klarer Bezug zu den Themenfeldern des Förderprogramms von Innovationen nicht-chemischer Pflanzenschutzverfahren im Gartenbau, da sowohl (1) grundlegende Erkenntnisse zur Biologie der Trauermücken für den Pflanzenschutz genutzt als auch (2) praxistaugliche Monitoring- und Prognosesysteme entwickelt und (3) prophylaktische Pflanzenschutzmaßnahmen erarbeitet werden sollten. Darüber hinaus wurden durch die Projektziele neue Strategien für den Pflanzenschutz im ökologischen Landbau adressiert und die Rahmenbedingungen für deren Anwendung in der Praxis verbessert (Modul B der Ausschreibung).

Konkreten Bezug hat das Forschungsvorhaben zu folgenden Themenfeldern der Bekanntmachung „Förderung von Innovationen nicht-chemischer Pflanzenschutzverfahren im Gartenbau“:

- Erarbeitung grundlegender Erkenntnisse zur Attraktivität von Kultursubstraten für Trauermücken
- Entwicklung von praxistauglichen Verfahren zur Bestimmung der Attraktivität

- Entwicklung von Prognosemodellen und prophylaktischer Maßnahmen basierend auf den Erkenntnissen zur Attraktivität
- Optimierung von nützlingsbasierten Bekämpfungsstrategien und Erprobung neuer Nützlinge gegen Trauermücken
- Erarbeitung umfassender biologischer Bekämpfungsstrategien gegen Trauermücken

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Forschungsvorhaben wurde in drei aufeinander aufbauenden Phasen geplant. In der ersten Projektphase sollte geklärt werden, warum manche Substrate eine hohe Attraktivität für Trauermücken aufweisen und es in der Pflanzenkultur zu einem massenhaften Auftreten mit entsprechenden Schäden kommt, während sich in anderen Substraten so gut wie keine Trauermücken entwickeln. Zudem sollte untersucht werden, welchen Einfluss das jeweilige Substrat im Zusammenspiel mit der Kulturführung auf den Bekämpfungserfolg mit den derzeit in der Praxis üblicherweise eingesetzten Nematoden und Raubmilben hat. Darüber hinaus sollten auch neue Nützlinge erprobt werden, die momentan noch nicht in der Praxis eingesetzt werden. In der zweiten Projektphase war geplant, die Ergebnisse aus der ersten Projektphase zu validieren und Strategien für die Umsetzung in die Praxis zu erarbeiten. Im letzten Projektabschnitt sollten die gewonnenen Erkenntnisse in der gärtnerischen Praxis erprobt werden und ein Wissens- und Technologietransfer stattfinden.

1.3.1 Attraktivität von Substratbestandteilen

An der HSWT erfolgte in der ersten Projektphase schwerpunktmäßig die Prüfung von Kultursubstraten bzw. deren einzelner Ausgangsstoffe sowie von Zuschlagstoffen – wie Dünger und Pflanzenstärkungsmittel – auf ihre Attraktivität für Trauermücken. Da die hierfür etablierte Vorgehensweise nach Kühne et al. (2013) mit Blick auf die geplante Sammlung von Duftproben modifiziert werden musste, wurden zunächst Versuche zur Prüfung der Methodik durchgeführt (Details s. 2819OE110 Zwischenbericht 1, 15.10.21-31.12.22). Anschließend wurden die wichtigsten in der Praxis eingesetzten Torfersatzstoffe (Kompost, Rindenhumus, Holzfaser) sowie eine Reihe fester und flüssiger organischer Dünger dem Beflug durch Trauermücken ausgesetzt und anhand der Anzahl der nach etwa vier Wochen geschlüpften Mücken hinsichtlich ihrer Attraktivität eingeschätzt. Aufgrund der Heterogenität der Ergebnisse bei den Komposten sowie deren hoher Relevanz als Substratausgangsstoff speziell im Bioanbau wurden diese Attraktivitätsversuche durch ein Grüngutkompost-Screening mit 50 substratfähigen Komposten aus 29 über das Bundesgebiet verteilten Kompostierwerken erweitert. Diese Untersuchungen umfassten neben der Prüfung auf Attraktivität auch umfangreiche Laboranalysen (Makro-/Mikronährstoffe, Salzgehalt, pH-Wert, organischer und Gesamtkohlenstoff sowie Gesamt-N, Rottegrad im Selbsterhitzungstest). Hinzu kam die Messung der mikrobiellen Aktivität mittels Inkubationsversuchen nach Beuth et al. (2022). Während der Attraktivitätsversuche wurden in der Phase der Befliegung und Eiablage durch die Trauermücken Aromaproben der Prüfmaterialien entnommen. Dies erfolgte mittels der Stir Bar Sorptive Extraction (SBSE) aus dem Luftraum unmittelbar über dem Substrat. Die mit den volatilen Komponenten beladenen Sammelstäbchen („Twister“) wurden im Anschluss am JKI-ÖPV mittels GC-MS analysiert, die ermittelten Aromaprofile anschließend statistisch ausgewertet und mögliche attraktiv oder repellent wirkende Stoffe identifiziert.

In der zweiten Projektphase wurden die in Phase 1 ermittelten Duftstoffkandidaten mit potentiell anziehender oder vergrämender Wirkung auf Trauermücken sowohl am JKI-ÖPV (Olfaktometerversuche), als auch an der HSWT (Arena-Versuche) validiert.

Abschließend wurden auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse in der gartenbaulichen Praxis übliche Substratmischungen erstellt und deren Attraktivität sowie mikrobielle Aktivität untersucht.

1.3.2 Optimierung der Bekämpfung mit Nützlingen

Bezüglich der Optimierung des Nützlingseinsatzes wurden die Projektphasen wie folgt gestaltet: In der ersten Projektphase wurde der Einsatz von etablierten sowie neuen Nützlingen in umfangreichen Laborversuchen untersucht. Hierbei wurde die Kombination von räuberischen Nematoden *Steinernema feltiae* und Raubmilben *Hypoaspis miles* in unterschiedlichen Konzentrationen geprüft. Zudem wurde eine neue Formulierung von *S. feltiae* in Kapselform sowie als Paste der üblichen Anwendung auf Tonmineral gegenübergestellt. Weiterhin wurde auch der Wirkungsgrad der etablierten Anwendung von *Bacillus thuringiensis* in unterschiedlichen Konzentrationen sowie in Kombination mit dem im ökologischen Landbau zugelassenen Wirkstoff Azadirachtin untersucht. Bezüglich der Anwendung neuer Nützlinge wurden insgesamt drei bislang nicht in der gärtnerischen Praxis eingesetzte Antagonisten an zwei Fachinstituten des Julius Kühn-Instituts (JKI-SF und JKI-G) in Zuchten etabliert und in ihrer Wirkung untersucht. Es handelte sich um einen Larvalparasitoiden, die Zehrwespe *Synacra paupera*, einen räuberischen Kurzflügelkäfer (*Atheta coriaria*), sowie einen räuberischen Hundertfüßer (*Lamyctes emarginatus*). Die antagonistische Wirkung wurde zunächst mithilfe von Laborversuchen beurteilt. Die Versuche mit *L. emarginatus* wurden trotz einer guten Bekämpfungsleistung nicht ausgeweitet, da keine Massenzucht etabliert werden konnte und Akzeptanzprobleme durch Gärtner und Endkunden wahrscheinlich erschienen. Da zudem die bis zu diesem Zeitpunkt durchgeführten Untersuchungen zur Attraktivität von Substratausgangs- und Zuschlagstoffen ergeben hatten, dass im Wesentlichen die festen organischen Düngemittel entscheidend für die Attraktivität sind und eine signifikant repellente Wirkung einzelner Bestandteile nicht feststellbar waren, wurde in Absprache aller Projektbeteiligten auf die geplante zweite Stufe der Untersuchung – eine Wirksamkeitsprüfung der weiteren Nützlingen in Abhängigkeit von den Substrateigenschaften – verzichtet. Stattdessen fand begleitend zu den Laboruntersuchungen ein Monitoring der räuberischen Fliege *Coenosia humilis*, deren Hauptbeute adulte Trauermücken darstellen, in einem ökologisch wirtschaftenden Gartenbaubetrieb mit Topfkräuter- und Zierpflanzenproduktion (Gärtnerei Hirschgarten, Berlin) statt. In der dritten Phase wurde eine erste Praxisstrategie zum Einsatz von *A. coriaria* in Kombination mit einer neu entwickelten, olfaktorisch wirksamen Trauermückenfalle im Praxisbetrieb erprobt. Die gewonnenen Erkenntnisse sowie Grundlagen zur Biologie von Trauermücken wurden 2024 in einem Dokumentarfilm verarbeitet und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Eingebettet ist dieser Film auch in einem neu erarbeiteten Steckbrief (Merkblatt) für die Praxis.

2 Wissenschaftlich und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Bradysia impatiens (Johansen, 1912) (= *B. difformis* Frey, 1948, = *B. paupera* Tuomikoski, 1960) ist eine der häufigsten Trauermückenarten im Unterglasanbau und kann erhebliche Schäden an Zierpflanzen und Topfkräutern verursachen. Vor allem bei Aussaaten und Stecklingen kann es durch die Fraßtätigkeit der Larven an Wurzeln und Stängeln zu großen Ausfällen kommen, wobei der biologische Anbau wesentlich stärker betroffen ist als die konventionelle Produktion. Darüber hinaus können adulte Trauermücken als Vektoren für phytopathogene Pilze fungieren (Scarlett et al., 2014). Sie treten während der Vermarktung und vor allem später beim Verbraucher selbst als nicht tolerierte Lästlinge auf (Koller et al., 2004).

Kultursubstrate für den Bioanbau sind auch bei einer sorgfältigen Herstellung durch Trauermückenbefall gefährdet. Dabei unterliegen die einzelnen Lieferchargen eines Anbieters meist größeren Schwankungen als die der Anbieter untereinander (Koller, 2004). Dies deutet darauf hin, dass die Attraktivität für Trauermücken nicht monokausal ist, sondern einem Wechselspiel der verschiedenen Substratkomponenten mit den Umweltbedingungen unterliegt. Trotz der großen Heterogenität kristallisieren sich einige Risikofaktoren heraus. So scheinen nicht vollständig durchgerottete Grünschnittkomposte (Rottegrad III-IV) das Risiko eines massenhaften Auftretens von Trauermücken zu begünstigen (Koch und Degen, 2010). Wie Versuche an der HSWT in den letzten Jahren zeigten, beeinflusst neben den Substratausgangsstoffen auch die Wahl des Düngemittels das Auftreten von Trauermücken (Haas et al., 2018), wobei augenscheinlich komplexe Wechselwirkungen sowohl zwischen verschiedenen Substratbestandteilen als auch mit den Umweltbedingungen – z. B. der Substratfeuchte bestehen (Olson et al., 2002).

Die hohe Attraktivität von nicht durchgereiften Komposten auf Trauermücken führen Frouz et. al. (2002) auf eine erhöhte CO₂-Konzentration in Folge der hohen mikrobiellen Aktivität zurück. Auch Ammoniakdämpfe werden in diesem Zusammenhang diskutiert (BÖLN, 2005). Dies sollte im Topfpflanzenanbau auf Grund der pH-Werte von in der Regel unter 7,0 im Substrat allenfalls eine untergeordnete Rolle spielen. Vielmehr ist zu vermuten, dass Mischungen aus unterschiedlichen volatilen organischen Komponenten, die beim Abbau organischer Substanzen entstehen (Abis et al., 2018), über die Attraktivität bzw. Repellenz entscheiden (Cloyd et al., 2007 und 2011, Zhang et al., 2019). Eine wesentliche Rolle dürfte in diesem Zusammenhang auch von Pilzen gebildete Duftstoffe spielen, da sich Trauermückenlarven primär mykophag ernähren und erst nach dem Versiegen dieser Nahrungsquelle Wurzeln und Stängel attackieren (Kennedy, 1974; Springer, 1995). Die Eiablage erfolgt daher oft gezielt in Bereichen mit einem starken Myzelwachstum (Meers und Cloyd, 2005; Braun et al., 2012; Cloonan et al., 2016). Allerdings stellen nur bestimmte Pilzarten eine geeignete Nahrungsquelle für Trauermückenlarven dar (Anas und Reeleder, 1988; Cloonan et al., 2016). So bildet z. B. das Mycel von *Alternaria alternata* eine hervorragende Nahrungsquelle für *B. impatiens*-Larven, wie die Arbeiten von Kühne (2000 und 2013) zeigen, bei denen ein mit dem Pilz inokuliertes Gemisch aus Kokosmark und Haferflocken für die Massenzucht von Larven sowie auch als Referenzsubstrat in Attraktivitätsversuchen genutzt wird. Andere Pilze wie *Trichoderma viridae*, der zu den am häufigsten auftretenden saprophytischen Pilzen (Schlechte und Schmilewski, 2010) in Kultursubstraten gehört, werden dagegen von den Larven kaum konsumiert (Anas und Reeleder, 1988). Damit schließt sich auch der Kreis zu dem im Abschnitt zuvor beschriebenen Einfluss von Substratbestandteilen und Düngemitteln, da das Wachstum saprophytischer Substratpilze maßgeblich von der Zusammensetzung des organischen Kohlenstoffs der Substratbestandteile bestimmt wird (Meinken et al., 2017).

Die Regulierung von Trauermücken in der Praxis erfolgt häufig durch entomopathogene Nematoden (*Steinernema feltiae*), Raubmilben (*Hypoaspis miles* oder *H. acaulifer*) sowie durch Bakterien (*Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*) (Koller et al., 2004). Zugelassene neemhaltige Pflanzenschutzmittel (*Azadirachta indica*) zeigen kurzfristig gute Regulierungserfolge. Natürliche Gegenspieler, die Gewächshäuser oftmals besiedeln, wie z. B. Kurzflügelkäfer *Athetha coriaria* oder räuberische Fliegen aus der Gattung *Coenosia*, können zusätzlich zur Regulierung der Trauermücken beitragen (Kühne, 2000).

Entomopathogene Nematoden wirken bei günstigen Umweltbedingungen sehr effektiv gegen die bedeutendsten Arten der Trauermücken. Mit *Steinernema feltiae* kann ein vergleichbarer Bekämpfungserfolg erzielt werden wie mit chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln (Harris et al., 1995). Allerdings hängt die Effektivität dabei artspezifisch wesentlich von der Substrattemperatur und -

feuchte (Gouge und Hague, 1995) sowie weiteren Umweltfaktoren ab (Cloyd, 2008). Ein wesentlicher Vorteil von Nematoden liegt in ihrer Persistenz von bis zu sieben Wochen (Tomalak, 1994). Damit die Aktivität und die Virulenz der Nematoden aufrechterhalten wird, müssen die Substrate ein günstiges Mikroklima über längere Zeit stabil halten. Die Möglichkeit durch hygroskopische Zusätze, z. B. Pflanzkohlen (Sohi et al., 2013) oder pflanzliche Tenside (Cattivello, 2007), positiv auf die Aktivität der Nematoden einzuwirken, sollte in diesem Zusammenhang nicht außer Acht gelassen werden (Lacey et al., 2010). Zudem kann die Wirksamkeit wesentlich durch die belebte Umwelt beeinflusst werden. Pheromone (Oliveira-Hofman et al., 2019) und die Ko-Existenz von nützlichen Milben (Acharya et al., 2019) können das Ausbreitungsvermögen und den Behandlungserfolg verbessern. Kombinationen verschiedener Maßnahmen können in verschiedenen Substraten veränderte Wirksamkeiten zeigen. Die Entwicklung von abgestimmten, integrierten Bekämpfungsstrategien durch die intelligente Kombination verschiedener Maßnahmen ist daher unerlässlich für den Regulierungserfolg in der Praxis (Georgis et al., 2006).

Eine interessante Ergänzung der Bekämpfung von Trauermücken könnten Hundertfüßer aus den Ordnungen *Lithobiomorpha* und *Geophilomorpha* sowie Kurzflügelkäfer (*Staphylinidae*) der Gattung *Atheta* darstellen. Sie sind sehr effektive, weit verbreitete und generalistische Prädatoren der Streuschicht und des Oberbodens (Blackburn et al., 2002; Jandricic et al., 2006). Sollte sich eine stabile Population dieser Top-Prädatoren in Kultursubstraten etablieren lassen, könnte dies ein effektives Mittel sein den Trauermückenbefall auf einem niedrigen Niveau zu regulieren. Gleichzeitig ist aber auch der Einsatz als direkt wirksame Maßnahme zur Vermeidung einer massenhaften Vermehrung denkbar. Allerdings sind *Lithobiomorpha*- und *Geophilomorpha*-Arten wegen ihrer permeablen Cuticula und geringen Körpergröße sehr feuchtigkeitsbedürftig (Lewis, 2006), was einen Konflikt zur Forderung nach einer allgemein trockenen Kulturführung als vorbeugende Maßnahme gegen ein verstärktes Auftreten von Trauermücken darstellt (Koller et al., 2004). Bei *Atheta*-Arten müssen insbesondere etwaige negative Wechselwirkungen mit Raubmilben, die sich in Kombination mit Nematoden positiv auswirken, genau untersucht werden (Jandricic et al., 2006).

3 Material und Methoden

3.1 Attraktivität von Substratkomponenten und Zuschlagstoffen

3.1.1 Trauermücken

Für die Attraktivitäts- und Validierungsversuche wurde eine Zucht der Trauermücke *Bradysia impatiens* ausgehend von einer kleinen Menge Tiere aus der Dauerzucht des Julius Kühn-Instituts für Strategien und Folgenabschätzung (JKI-SF) in einem eigens dafür eingerichteten Raum mit gleichbleibenden Temperaturverhältnissen (ca. 23 °C) und zusätzlicher Beleuchtung mit LED-Lampen (14 Stunden Tag) aufgebaut und über die gesamte Projektdauer gepflegt. Als Anzuchtsubstrat diente mit Haferflocken versetztes Kokosmark, das in Insektenzuchtkäfigen aufgestellt, gleichmäßig feucht gehalten und alle 8 Wochen ausgetauscht wurde, um einem zu hohen, die Anzucht störenden Milben- und Springschwänzebesatz vorzubeugen.

3.1.2 Attraktivitätsversuche

Die Durchführung der Attraktivitätsversuche erfolgte in Anlehnung an das am JKI-SF entwickelte Testverfahren zur Einschätzung des Befallsrisikos komposthaltiger Pflanzsubstrate durch Trauermücken (Kühne et al., 2013). Der Ablauf der modifizierten Attraktivitätsversuche ist schematisch in Abb. 1 dargestellt: Im ersten Schritt wurden weiße Kunststoffbecher (Höhe 15 cm, Durchmesser 10 cm) mit 400 ml Prüfsupstrat (basierend auf der VDLUFA Rohdichte) befüllt und anschließend für fünf

Tage bei 25 °C inkubiert. Anschließend wurden je drei Becher mit dem zu prüfenden Material sowie eine Null- und eine 100 %-Kontrolle in 30-l-Eimer gestellt, in die zusätzlich eine Schale mit 10 bis 15 Trauermücken kamen. Die Eimer wurden mit einem Deckel verschlossen, in dessen Mitte ein kreisrunder Ausschnitt (Durchmesser 25 cm) mit einem feinmaschigen Netzeinsatz zur Sicherstellung des Gasaustausches präpariert war. Zusätzlich wurden die Deckel für die Sammlung der Duftproben mittels magnetischen „Twistern“ mit einem Kabeldurchlass versehen, durch den jeweils eine an einem Ende mit einem Magneten versehene Aluminiumstange (Durchmesser 1 cm) geschoben und arretiert werden konnte. Nach einer Befliegungszeit von 24 Stunden wurde der Becher mit den Trauermücken entfernt und die im Eimer verbliebenen adulten Tiere mit einer Gelbtafel abgefangen. Nachdem alle adulten Tiere abgefangen waren, wurden über die weißen Becher feinmaschige Insektenschutznetze gestülpt und mit Gummiringen fest verschlossen. Zudem wurden auf Bechergröße angepasste Gelbtafeln (Klebefläche 7 x 5 cm) mittels eines Drahhakens in die Becher gehängt. Mit diesen Gelbtafeln wurde nach gut drei Wochen die neu schlüpfende 2. Generation Trauermücken abgefangen und anschließend unter Zuhilfenahme der Zählfunktion in der Software Adobe Photoshop ausgezählt.

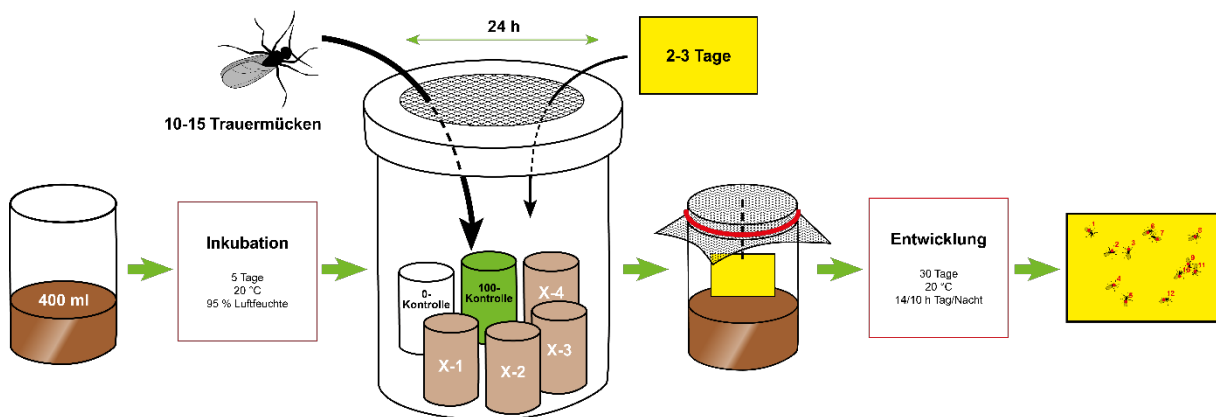


Abb. 1: Ablaufschema der Becherversuche zur Bestimmung der Attraktivität einzelner Substratkomponenten.

Für die 0-Kontrolle wurde kulturfeuchtes Kokosmark (für Trauermücken höchst unattraktiv) eingesetzt, während die 100 %-Kontrolle aus mit groben Haferflocken versetztem Kokosmark (15 g/l Kokosmark, für Trauermücken hochattraktiv) bestand. Die verschiedenen Substratausgangsstoffe (Rindenhumus, Holzfasern, Kompost) wurden mit einem Volumenanteil von 30 % in Mischung mit Kokosmark geprüft. Bei Düngern erfolgte die Dosierung entsprechend einer N-Menge von 600 mg/l, was einer mittleren bis hohen Aufdüngung entspricht, und bei Pflanzenstärkungsmitteln wurde das dreifache der empfohlenen Aufwandmenge appliziert.

Die Attraktivität eines Prüfgemisches ergab sich aus dem Vergleich der Anzahl Trauermücken, die aus dem Prüfmaterial bzw. den beiden Kontrollen (0- und 100-Kontrolle) geschlüpft waren. Je Variante wurden 12 Wiederholungen (n = 12) durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mittels einfacher ANOVA und anschließendem t-Test.

3.2 Sammlung, Analyse und Validierung volatiler Komponenten

3.2.1 Duftsammlung mit Twister-Stäbchen

Zeitgleich zur 24-stündigen Befliegungsphase zur Eiablage durch die Trauermücken wurden in den Prüfmaterien die Duftstoffe der jeweiligen Mischung gesammelt, um das Aromaprofil zu bestimmen. Dazu wurde je ein mit einem Sorbens ummantelter Stift („Twister“) an einem an einer Aluminiumstange befestigten Magneten angehaftet (Abb. 2). Die Stange wurde durch die Kabeldurchführung im Deckel des Versuchseimers geführt und so arretiert, dass der Twister unmittelbar über der Oberfläche des Prüfmaterials positioniert war. Nach 18-24 Stunden wurde der Twister wieder entnommen und die Kabeldurchführung mit einem Korkstöpsel verschlossen, um die Trauermücken im Eimer am Entweichen zu hindern.

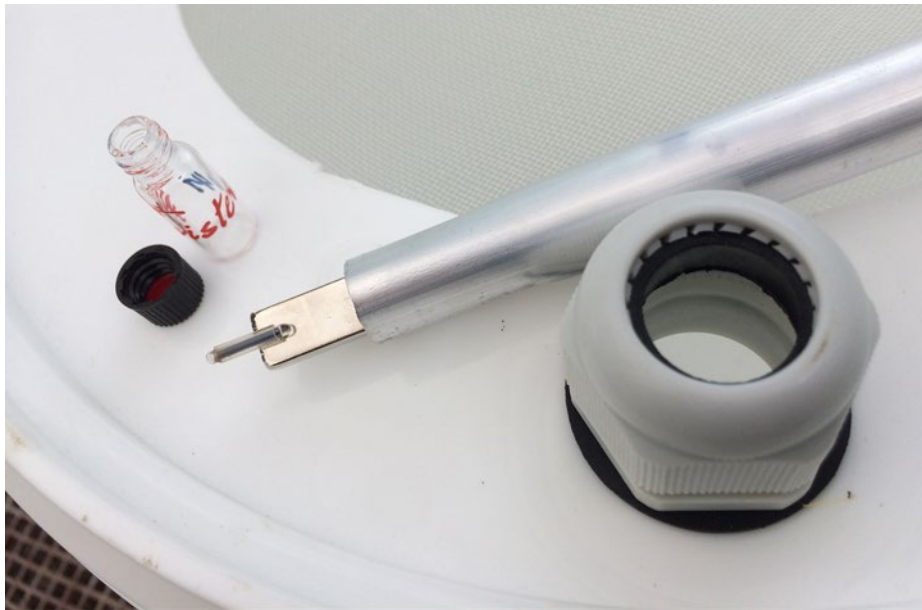


Abb. 2: An einem ans Ende einer Aluminiumstange montierten Magneten wurden die Twister-Stäbchen angehaftet und durch die im Eimerdeckel integrierte Kabeldurchführung unmittelbar über der Substratoberfläche positioniert. Nach 18 bis 24 Stunden wurde der Twister wieder entnommen und zur Analyse an das JKI-ÖPV gesendet.

3.2.2 Analyse der gesammelten Volatile mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) am JKI-ÖPV

Insgesamt wurden über 270 Proben (Einzelkomponenten wie flüssige/feste organische Dünger, Komposte, Holzfasern, Rindenhumus und Materialmischungen sowie Pilze) analysiert und die Duftmuster sowie einzelne volatile Komponenten bestimmt. Die flüchtigen organischen Verbindungen wurden mit einer Gerstel Twister Desorption Unit (TDU) thermisch von den PDMS-Twistern desorbiert. Die chemische Zusammensetzung der flüchtigen organischen Verbindungen im Luftraum wurde mittels GC-MS (Agilent 7890A GC gekoppelt mit einem 5975C Massenspektrometer (MS)) analysiert. Die Twister wurden in der TDU bei einer Anfangstemperatur von 25 °C platziert, die mit einer Geschwindigkeit von 120 °C/min auf 300 °C erhöht und für 5 Minuten gehalten wurde. Das N₂-gekühlte Injektionssystem hatte eine Anfangstemperatur von -150 °C während der Desorption. Die splitlose Injektion der flüchtigen Verbindungen in den GC erfolgte durch Erhitzen mit einer Rate von 12 °C/s auf 300 °C, die für 3 Minuten gehalten wurde. Die chemische Trennung im GC wurde mit einer J&W 122-5536UI DB-5 ms UI-Säule, 30 m x 250 mm x 0,5 µm (Agilent Technologies, Santa Clara, CA) durchgeführt. Der Ofen wurde von 40 °C (für 5 min gehalten) auf 210 °C bei 3 °C/s, dann auf 300 °C bei 10 °C/s für 15 min programmiert. Eine auf 280 °C eingestellte Transferleitung führte zum MS. Das MS

wurde im Elektronenstoßmodus (70 eV) betrieben. Als Trägergas wurde Helium verwendet (constant flow: 1 ml/min)). Der Massenbereich betrug 35 bis 450 m/z bei einer Scanzeit von 1,0 s. Die MS-Quelle war auf 230 °C und das MS-Quad auf 150 °C eingestellt.

3.2.3 Auswertung

Die Analysen wurden mit jeweils 3 Replikaten pro Substrat unter Verwendung durchgeführt. Die normalisierten Intensitäten der durch GC-MS identifizierten Metaboliten wurden mittels multivariater statistischer Analyse (PCA) unter Verwendung der Software MetaboAnalyst 4.0 (<https://www.metaboanalyst.ca> (Zugriff am 15. Februar 2020)) und der Software SIMCA-P, Version 14.1 (Umetrics AB, Umeå, Schweden) analysiert. Die PCA wurde verwendet, um die flüchtigen Muster der verschiedenen Torfsubstrate im Hinblick auf die relativen Mengen ihrer flüchtigen Verbindungen zu vergleichen (relativ zur Summe der Mengen aller Verbindungen). Die Daten wurden vor der multivariaten Analyse logarithmisch transformiert, mittelwertzentriert und automatisch skaliert.

3.2.4 Olfaktometerversuche

Um die Wirkung von einzelnen Verbindungen auf die Orientierung einzelner weiblicher Trauermücken zu testen, wurde ein nach Cloonan et al. (2016) modifiziertes Olfaktometer (Abb. 3) verwendet. Jedes Olfaktometer bestand aus einer Petrischale aus Kunststoff (D = 94 mm x H 16 mm), zwei Pipettenspitzen und damit verbunden zwei 20 ml Glasfläschchen. Pro Testapparatur wurde ein mit CO₂ betäubtes Weibchen vorsichtig in die Petrischale gegeben und bei Raumtemperatur (ca. 22 °C) und in Dunkelheit für 24 h getestet.

Die Testfläschchen wurden mit Wasser-Agar-Medium-Scheiben und mit der Substanz getränkten Wattestäbchen bestückt, während die Kontrollfläschchen mit Wasser-Agar-Medium-Scheiben und Kontroll-Wattestäbchen bestückt wurden. Der Bioassay wurde für jede Substanz 30 Mal wiederholt. Von jeder synthetischen chemischen Substanz wurde eine Lösung mit der Konzentration von 10 µg/ml mit Hexan als Lösungsmittel hergestellt. Das Lösungsmittel konnte zwei Minuten lang verdunsten, bevor die Wattestäbchen in das Teströhrchen gegeben wurde (siehe Kecskeméti et al. 2020).

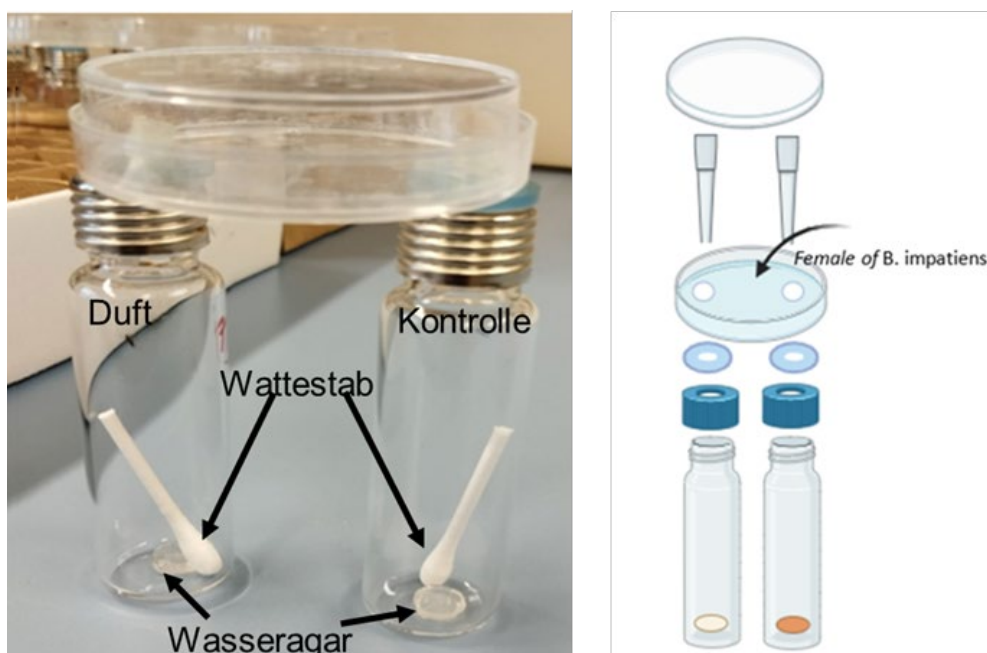


Abb. 3: Aufbau der Bioassays mit dem modifizierten zwei-Röhrchen-Olfaktometer.

3.2.5 Arenaversuche

Zur weiteren Validierung der statistisch ermittelten Duftstoffe wurden an der HSWT Arena-Versuche (nach Cloyd et al., 2007) im Dual-Choice-Verfahren durchgeführt. Für diese Versuche wurden handelsübliche Lebensmittel-Frischhaltedosen (Maße: 15 x 15 x 11 cm) mit luftdicht schließenden Deckeln verwendet. In diese wurden an ein (Satellit) bzw. zwei (Arenazentrum) Seitenwänden Löcher mit 2 cm Durchmesser gebohrt, in welche Pumpendichtungen (Innendurchmesser 2 cm) und Acrylglasröhren (Länge 12 cm, Außendurchmesser 2 cm) gesteckt wurden. Für die Validierung von attraktiven Düften wurden zwei Becher mit jeweils 150 ml kulturfeuchtem Kokosmark (unattraktiv) befüllt. Der zu prüfende synthetische Duftstoff wurde in einer Hexanlösung gelöst (10 µg Duftstoff in 1 ml Hexan) und in einer Aufwandmenge von 50 µl Lösung auf ein Wattestäbchen gegeben. Dieses wurde in einen der beiden Becher (Prüfvariante) gesteckt. Der zweite Becher ohne Wattestäbchen diente als Kontrollvariante. Beide Becher wurden mit feinen Netzen verschlossen und in die beiden Satelliten der Arena gestellt. Hinzu kam je eine Gelbtafel, die auf dem Prüf- bzw. dem Kontrollbecher positioniert wurde. Im Anschluss wurden die beiden Satelliten luftdicht verschlossen, im Arenazentrum etwa 50 Trauermücken ausgesetzt und die zentrale Dose ebenfalls dicht verschlossen. Die Arenen wurden bei gleichbleibend 20 °C unter Belichtung mittels LED-Paneelen (14/10 Stunden Tag/Nacht) im Kulturraum für 48 Stunden aufgestellt (Abb. 4). In diesem Zeitraum konnten sich die Trauermücken entweder für eine der angebotenen Varianten entscheiden und klebten im entsprechenden Satelliten auf der Gelbtafel oder sie waren in der Zentraldose verblieben und verstarben. Die Trauermücken auf den einzelnen Gelbtafeln sowie die in der Zentraldose verbliebenen Tiere wurden anschließend ausgezählt. Die Prüfung repellent wirkender Stoffe erfolgte in der gleichen Art und Weise, nur wurde anstelle des unattraktiven Kokosmark das hochattraktive Gemisch aus Kokosmark und Haferflocken, das auch als Anzuchtsubstrat diente, verwendet.

Bei jedem Duftstoffe wurden zwei zeitlich versetzte Durchläufe mit jeweils sechs Versuchsarenen durchgeführt (n = 12). Die statistische Auswertung erfolgte mittels Chi-Quadrat-Test auf gleiche Verteilung.



Abb. 4: Aufstellung der Dual-Choice-Arenen im Kulturraum bei 20 °C und einer Tageslänge von 14 h (LED-Belichtung)

3.3 Wirksamkeit Nutzorganismen (Laborversuche)

3.3.1 Verwendete Arten, Bezugsquellen und Insektenzuchten

Für Laborversuche wurde die Zucht der Trauermücke *B. impatiens* genutzt, die mithilfe eines nach Kühne et al. (1994) etablierten Protokolls auf Kokossubstrat mit zugegebenen Haferflocken in Klimakammern bei 25 °C und 60 % relativer Luftfeuchte sowie einer Beleuchtungsstärke von 8.000 Lux auf Tischhöhe über 12 h über die gesamte Projektdauer durchgeführt wurde. Für Wirksamkeitsuntersuchungen wurden *S. feltiae* auf Tonmineral sowie in Kapselform (e-nema) und *H. miles* (Katz Biotech AG) im Handel bezogen. Bei der Pastenform von *S. feltiae* handelt es sich um ein Entwicklungsprodukt der Firma e-nema. Der bislang in Deutschland nicht eingesetzte Kurzflügelkäfer *A. coriaria* wurde im Handel bezogen (Katz Biotech AG), der Parasitoid *Synacra paupera* mithilfe von Substratboxen in einem Vermehrungs- und Produktionsbetrieb (Elsner PAC Jungpflanzen Gbr, Sachsen) geködert. Die letztgenannten Arten wurden anschließend in eigenen Zuchten in Klimakammern am JKI-SF etabliert.

Für die Untersuchungen an Hundertfüßern als mögliche neue Antagonisten gegen Trauermücken wurden zunächst unterschiedliche Habitate beprobt und die dort ansässigen Arten auf ihre Eignung für den gezielten Einsatz in der Gewächshausproduktion überprüft und bewertet. Dazu wurden je fünf Bodenkerne ($A = 0,25 \text{ m}^2$) bis in eine Tiefe von 15 cm entnommen, so dass der belebte Oberboden vollständig erfasst wurde. Die Probennahme fand in Grasland, Waldboden mit Streuschicht, einer Kompostierungsanlage sowie in Bodenbeeten von Gewächshäusern im Zeitraum von Frühling bis Herbst 2022 statt. Anschließend wurden die Proben händisch nach Hundertfüßern durchsucht und die gefundenen Individuen zur Erhaltung und Vermehrung in Gefäße gesetzt. Ein weiteres Habitat stellte ein Gewächshaus, in dem langjährig *Buxus* in Containern auf Bodenbeeten kultiviert wurde, dar. Dort konnten Hundertfüßer in großer Zahl unter den Töpfen gefunden und abgesammelt werden. Die Haltung fand in Klimakabinen bei 18 °C unter Langtagbedingungen statt. Ein Teil der Individuen wurde auf dem Ursprungsboden des jeweiligen Habitats gehalten, ein anderer Teil auf reinen Substratkomponenten (Holzfaser und Kokosmark). Die Bestimmung fand unter dem Mikroskop statt. Im späteren Verlauf wurden Reproduktions- und Prädationsraten erfasst. Zur Ermittlung der Reproduktionsraten wurden nach Möglichkeit je ein Paar in ein Gefäß gesetzt und das Substrat regelmäßig auf Gelege durchsucht. Erfasst wurden die Anzahl der Eier und die Dauer der Eientwicklung. Die Erfassung der Prädationsraten erfolgte durch Zufütterung von Trauermückenlarven und Verhaltensbeobachtungen in Petrischalen.

Die Wirksamkeit von *B. thuringiensis* wurde anhand des Präparates „Neudomück® Stechmücken-Frei“ (Neudorff) beurteilt.

3.3.2 Behandlungen und Versuchsaufbauten

Gieß- und Streuansätze mit Nutzorganismen im Größenbereich von 5 µm bis 1 mm (*S. feltiae*, *H. miles*, *B. thuringiensis*) sowie einzelne Zusätze von Nützlingen in der Größenordnung von mehreren Millimetern (*A. coriaria*, *S. paupera*, *L. emarginatus*) fanden zum einen in Gefäßen mit einer zuvor zugesetzten Anzahl Trauermückenlarven (Stadien L1 bis L3) aus den eigenen Zuchten statt. Ein weiterer Ansatz der Wirksamkeitsuntersuchung war der Einsatz von Substrat, das zuvor adulten Trauermückenweibchen in einem definierten Zeitraum (24 h) zur Eiablage angeboten wurde. In beiden Fällen wurde der Schlupf von Adulten auf integrierten Gelbtafeln (IVOG Systems) in verschiedenen Zeitintervallen nach der Behandlung ausgezählt. Über den Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle konnte die Wirkung der jeweiligen Nützlingsvariante beurteilt werden. In allen Wirksamkeitsuntersuchungen wurde Kokosmark aus Blöcken (pH 5,4 - 6,8; Salzgehalt < 1 g KCl/l) verwendet.

3.4 Versuche im Praxisbetrieb

Innerhalb der gesamten Projektlaufzeit fand ein Monitoring der räuberischen Fliege *Coenosia humilis* sowie des korrespondierenden Trauermückenvorkommens in einem ökologischen Gartenbaubetrieb (Gärtnerei Hirschgarten, Berlin) statt. Bereits im Jahr 2014 wurde *C. humilis* in dem Betrieb etabliert, so dass relevante Beobachtungen dort möglich waren. *C. humilis* wurde in den Jahren 2022 bis 2024 von Anfang April bis Mitte Juli wöchentlich auf insgesamt 50 m² Gewächshaus-Tischfläche gezählt. Gleichzeitig wurde das Trauermückenvorkommen sowohl über den Befallsgrad der Töpfe auf 50 m² mittels einer Boniturskala geschätzt (0: kein Befall, 1: 25 % der Töpfe befallen, 2: 50 % der Töpfe befallen, 3: 75 % der Töpfe befallen, 4: 100 % Befall) als auch über die Zählung von Individuen in vier wöchentlich geleerten Gelbschalen (21 x 30 cm) bestimmt. Im dritten Projektjahr erfolgte zusätzlich die Ausbringung von *A. coriaria* im Rahmen eines offenen Zuchtsystems, wobei über 6 Wochen eine wöchentliche Anfütterung mit Graspellets (Entenfutter) durchgeführt wurde. Der Etablierungserfolg wurde anhand von Sichtbonituren in einem Zeitraum von 15 Wochen beurteilt. Des Weiteren wurde für ein verbessertes Monitoring sowie eine potentielle Massenfangmethode ein neuartiges Konzept für eine Köderfalle entwickelt. Diese basiert auf der olfaktorischen Anlockung von Trauermücken durch Pilzmyzel. Hierzu wurde das in den Zuchten verwendete Substrat (Kokosmark-Haferflocken-Gemisch) in eine kommerziellen Trichterfalle (Gardigo/Compo, Höhe: 22 cm, Durchmesser: 11 cm), die mit einer Gelbtafel zum Abfang versehen war, eingefüllt.

4 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1 Attraktivität von Torfersatz- und Zuschlagstoffen

Die Prüfung der Attraktivität von Torfersatzstoffen und organischen Düngern sowie Pflanzenstärkungsmitteln ergaben große Unterschiede zwischen, aber teilweise auch innerhalb der getesteten Produktgruppen: Bei den in Abb. 5 dargestellten Zuschlagstoffen (Dünger, Pflanzenstärkungsmittel (PStM)) zeigte sich, dass die festen organischen Dünger fast alle eine mittlere bis sehr hohe Attraktivität für Trauermücken hatten. Ausnahmen bildeten „ODP“ sowie Schafwolle. Bei diesen beiden Düngern ist zu berücksichtigen, dass die Stickstofffreisetzung und damit mutmaßlich auch der mikrobielle Abbau im Vergleich zu den meisten anderen festen organischen Düngern deutlich langsamer ablaufen bzw. nur verzögert einsetzen (Lohr et al., 2023). Eine längere Inkubationszeit könnte daher auch bei diesen Produkten zu einer höheren Attraktivität führen. Im Gegensatz dazu zogen die flüssigen Dünger und Pflanzenstärkungsmittel – ebenso wie die mineralischen Dünger – die Trauermücken nicht an.

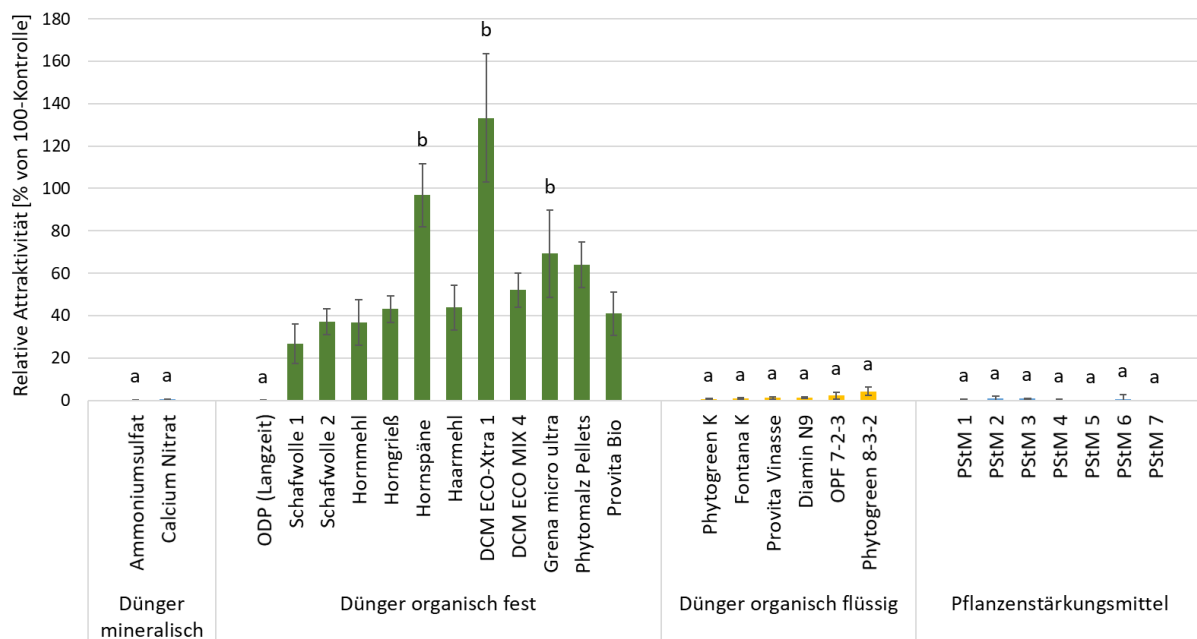


Abb. 5: Prüfung der Attraktivität von Düngern und Pflanzenstärkungsmitteln für Trauermücken (Fehlerbalken = Standardfehler; Varianten mit dem Buchstaben a unterscheiden sich nicht signifikant von der 0-Kontrolle, mit dem Buchstaben b nicht signifikant von der 100-Kontrolle (t-Test), $p < 0,05$, $n = 12$)

Bei den Torfersatzstoffen zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Produktgruppen (Abb. 6): Rinden- und Holzfaserprodukte entwickelten in der fünftägigen Inkubationszeit keine oder nur eine relativ geringe Attraktivität für Trauermücken. Bei den Komposten zeigten zwei (GGK 5 und 6) der sechs substratfähigen Grüngutkomposte eine sehr hohe Attraktivität, die auf dem gleichen Niveau wie die Attraktivität eines Frischkomposts aus Grünschnitt sowie eines nicht als Substratausgangsstoff geeigneten Biogutkomposts lagen. Die vier anderen Grüngutkomposte hatten nur eine geringe (GGK 2-4) bzw. gar keine (GGK 1) anziehende Wirkung auf Trauermücken.

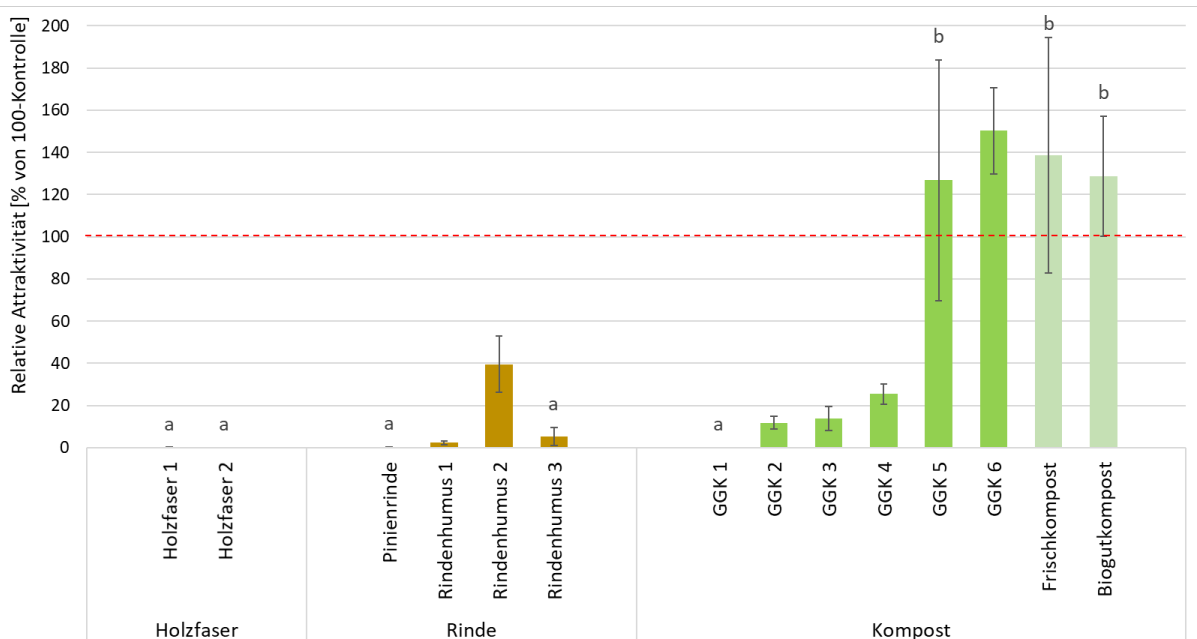


Abb. 6: Prüfung der Attraktivität von Torfersatzstoffen für Trauermücken (Fehlerbalken = Standardfehler; Varianten mit dem Buchstaben a unterscheiden sich nicht signifikant von der 0-Kontrolle, Varianten mit dem Buchstaben b unterscheiden sich nicht signifikant von der 100-Kontrolle (t-Test), $p < 0,05$, $n = 12$)

Auf Grund der der starken Divergenz der Attraktivität und der großen Bedeutung, die Grüngutkomposte als Torfersatzstoff haben, wurde der Zusammenhang zwischen der Kompostqualität und der Attraktivität für Trauermücken genauer untersucht. Dazu wurden bei Substratherstellern bzw. bei Kompostwerken, die Komposte an die Erdenindustrie liefern, 50 Grüngutkomposte beschafft, die laut Angaben der Hersteller substratfähig sein sollten, auf ihre chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften analysiert und ihre Attraktivität für Trauermücken bestimmt. Zudem wurden mittels eines Fragebogens wichtige Prozess- und Anlagenparameter (Mietengröße, Umsetztechnik, Prozesssteuerung) abgefragt. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung lagen die vollständigen Daten von 49 Komposten vor, eine weitere Probe befand sich zum Projektende noch in der Prüfung. Mit Ausnahme der Kaliumgehalte sind die Komposte auf Grundlage der Bewertungskriterien bis zu einem Anteil von 20 Vol.-% (Kompost Typ II) problemlos einsetzbar (Abb. 7 oben). Dies gilt auch für die Gehalte an wasserlöslichem Natrium und Chlorid (Daten nicht dargestellt). Wie zu erwarten, waren die Salz- und Nährstoffgehalte bei den Komposten mit Überdachung im Mittel höher als bei denen ohne Überdachung. Im Hinblick auf die übrigen Prozess- und Anlagenparameter (Mietengröße, Umsetztechnik, Prozesssteuerung) konnten keine eindeutigen Unterschiede gefunden werden.

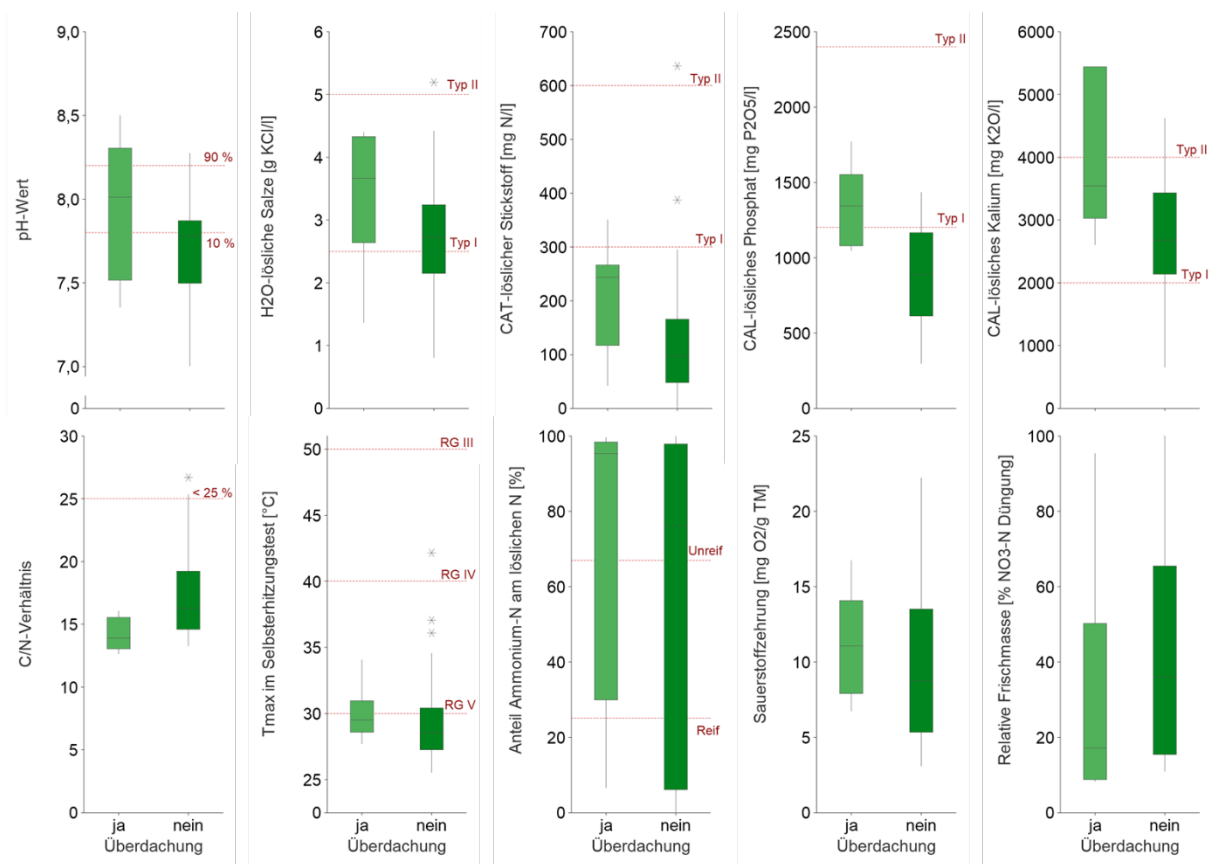


Abb. 7: pH-Werte, Salz- und lösliche Nährstoffgehalte zur grundlegenden chemischen Charakterisierung der 49 Grüngutkomposte sowie C/N-Verhältnis, T_{max} im Selbsterhitzungstest, Ammoniumanteil, Sauerstoffzehrung und relative Frischmasse im Keimpflanzenzest als Parameter für die Kompostreife aufgeteilt nach Komposten mit ($n = 8$) bzw. ohne ($n = 38$) Überdachung (Referenzlinien kennzeichnen entweder die Höhe der zulässigen Beimischung nach BGK (Typ 1 = 40 Vol.-%; Typ 2 = 20 Vol.-%), den Rottegrad (RG III-V), die für Grüngutkomposte üblichen Gehalte (10 bis 90 %-Bereich) oder Grenzen für die Reifebewertung (< 25 % C/N = reif; Ammoniumanteil) nach Brinton (2000).

Im Gegensatz zu den chemischen Eigenschaften schnitten die Komposte bei den Reifeparametern deutlich schlechter ab. So erreichten mehr als 25 % der Proben nicht den für Substratkomposte in der

Gütesicherung geforderten Rottegrad V. Noch deutlicher wird das Problem, wenn der Ammoniumanteil zur Reifebewertung herangezogen wird. 56 % der Proben war nach den von Brinton (2000) definierten Grenzen als eindeutig unreif einzustufen und nur 38 % unterschritten die Grenze von 25 % $\text{NH}_4\text{-N}$ am löslichen N, die einen reifen Kompost kennzeichnet. Dies wird auch bei der relativen Frischmasse im Keimpflanzentest (Daten hier nicht gezeigt) deutlich. Dieser wurde einmal mit einer reinen Ammonium- und einmal einer reinen Nitrat-Düngung angelegt. Bei unreifen Komposten führt die Ammoniumdüngung zu starken Pflanzenschäden. Ähnlich wie bei den chemischen Eigenschaften, war auch im Hinblick auf die Kompostreife ein systematischer Unterschied zwischen Kompostierung mit und ohne Überdachung zu erkennen.

Im Hinblick auf die Attraktivität für Trauermücken zeigte sich, dass der überwiegende Teil der in der Praxis in Substraten verwendeten Grüngutkomposte per se keine nennenswerte Attraktivität für Trauermücken mitbringt (Abb. 8). Nur drei Proben erwiesen sich als hoch attraktiv, d.h. sie unterschieden sich nicht signifikant von der 100 %-Kontrolle. Von den verbleibenden 46 Proben unterschieden sich knapp die Hälfte in ihrer Attraktivität signifikant von der 0-Kontrolle und hatten damit eine etwas erhöhte Attraktivität, während die andere Hälfte nicht attraktiver als die 0-Kontrolle war.

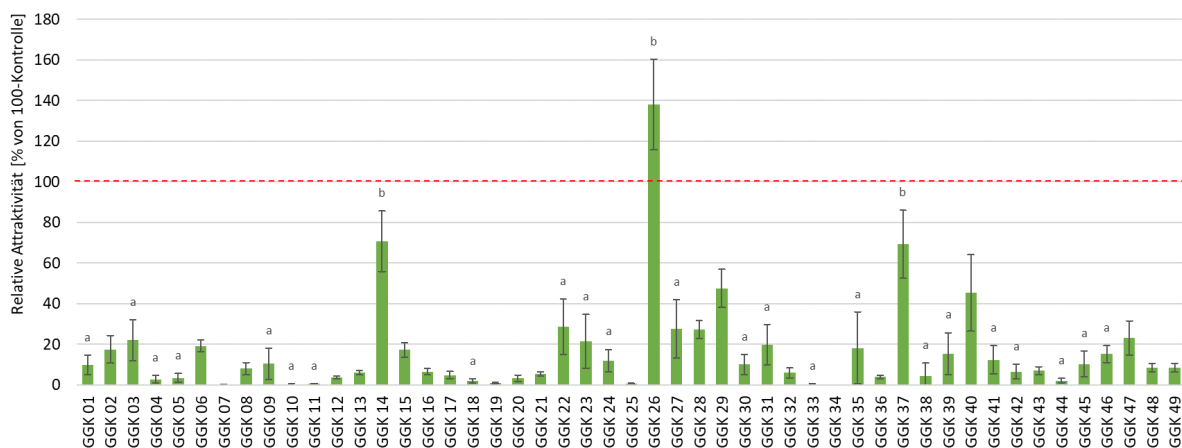


Abb. 8: Prüfung der Attraktivität für Trauermücken bei substratfähigen Grüngutkomposten (Fehlerbalken = Standardfehler; Varianten mit dem Buchstaben a unterscheiden sich nicht signifikant von der 0-Kontrolle, Varianten mit dem Buchstaben b unterscheiden sich nicht signifikant von der 100-Kontrolle (t-Test), $p < 0,05$, $n = 12$)

Im nächsten Schritt wurde nach einem Zusammenhang zwischen der Attraktivität für Trauermücken und den chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften gesucht. Dabei ergaben sich signifikante Zusammenhänge zwischen verschiedenen Reifeparametern und der Trauermückenattraktivität. Für die Kompostreifeparameter ergab sich ein leichter Zusammenhang zur Trauermückenattraktivität, der für T_{\max} , das C/N-Verhältnis, den Ammoniumanteil und die relative Frischmasse signifikant war (Abb. 9). Aus diesen Zusammenhängen lassen sich keine direkten Richtwerte ableiten. Allerdings ist festzuhalten, dass das Risiko einer starken Trauermückenbesiedlung bei nicht vollständig durchgereiften Komposten ansteigt. Gleichzeitig ist ein vollständig reifer Kompost keine 100-%ige-Garantie für Unattraktivität.

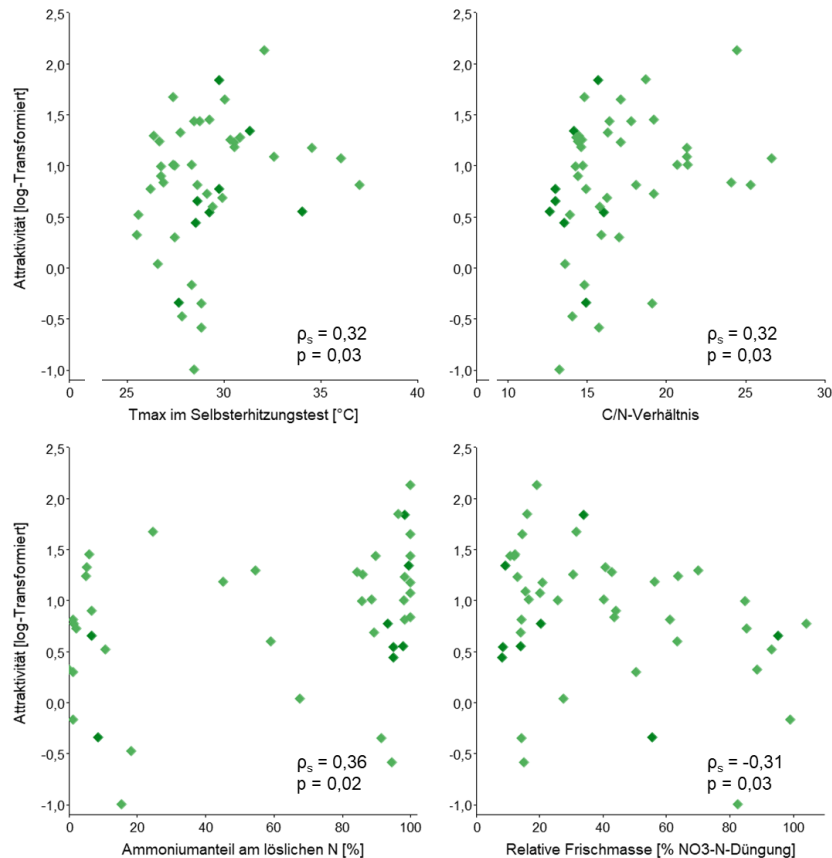


Abb. 9: Korrelationen (r_s = Spearmann's rho) zwischen der Attraktivität für Trauermücken (Daten log-transformiert) und verschiedenen Reifeparameter (Tmax im Selbsterhitzungstest, C/N-Verhältnis, Ammoniumanteil und relative Frischmasse) getrennt nach überdachter (dunkelgrün) und nicht überdachter (hellgrün) Kompostierung

4.2 Transfer der Attraktivität von Einzelkomponenten auf Substratmischungen

In Rahmen dieser Versuche wurde untersucht, wie sich die Kombination unterschiedlich attraktiver Substratausgangsstoffe bzw. Substratzuschlagstoffe auf die Attraktivität der Substratmischung auswirkt. Dazu wurden Torf-Kompost (T-GGK) bzw. Torf-Kompost-Holzfasermischungen (T-GGK-HF) hergestellt. Bei den T-GGK-HF-Mischungen wurden jeweils ein attraktiver (a) und ein unattraktiver (u) Kompost verwendet. Bei den T-GGK-Mischungen wurden diese beiden Komposte im Verhältnis (50/50 bzw. 20/80 (a/u)) gemischt. Hinzu kam eine reine Torfkontrolle. Die insgesamt fünf Substratmischungen (Tab. 1) wurden einmal mineralisch mit 275 mg N/l als Ammoniumsulfat (AMS) und einmal organisch mit 450 mg N/l als Hornmehl (Horn) gedüngt.

Tab. 1: Prüfung praxistauglicher Substratmischungen auf Trauermückenattraktivität

Zusammensetzung (Vol.-%)	Kürzel
Torf (100)	Torf
Torf (70) + GGK attraktiv (15) + GGK unattraktiv (15)	T+GGK (50/50)
Torf (70) + GGK attraktiv (5) + GGK unattraktiv (25)	T+GGK (20/80)
Torf (40) + GGK attraktiv (30) + Holzfaser (30)	T+GGK(a)+HF
Torf (40) + GGK unattraktiv (30) + Holzfaser (30)	T+GGK(u)+HF

Die statistische Auswertung ergab eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Substrat und der Art der N-Düngung (mineralisch/organisch). Daher wurden die beiden Faktoren getrennt voneinander betrachtet (Abb. 10). Bei den mit AMS gedüngten Substratmischungen ist eine sukzessive Zunahme der Attraktivität mit steigendem Anteil des attraktiven Kompost zu beobachten. Anders als von Praktikerseite oft vermutet führt die Kombination von Holzfasern und Kompost aber nicht per se zur einer verstärkten Attraktivität. Diese Unterschiede sind in der Tendenz auch bei den mit Horn gedüngten Substraten zu erkennen, wobei aber das Niveau der Attraktivität insgesamt deutlich höher ist und die Unterschiede vielfach nicht mehr statistisch abgesichert werden können. Der überlagernde Effekt der Düngung ist auch deutlich beim Vergleich der mineralisch und organisch gedüngten Varianten zu erkennen. Unabhängig vom verwendeten Substrat — auch bei der Torfkontrolle — ist ein signifikanter Anstieg der Attraktivität durch die Horndüngung zu verzeichnen.

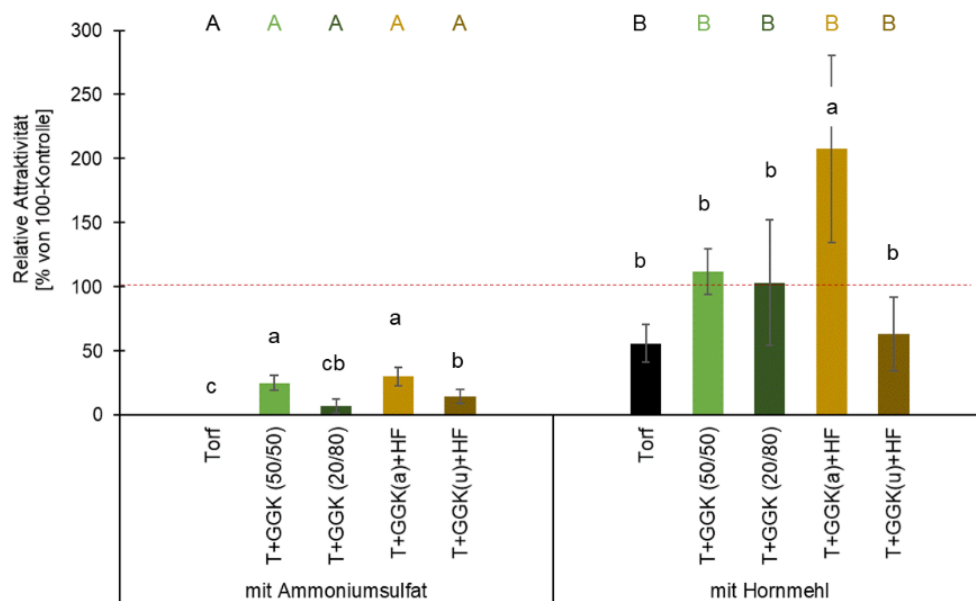


Abb. 10: Prüfung der Attraktivität unterschiedlicher Substratmischungen mit mineralischer und organischer Düngung (Fehlerbalken = 95 % KI; Varianten bei denen der Fehlerbalken die 100%-Referenzlinie überschneidet unterscheiden sich nicht signifikant von der 100%-Kontrolle, $p < 0,05$, $n = 12$; Substratmischungen mit gemeinsamen Kleinbuchstaben innerhalb eines N-Düngers unterscheiden sich nicht signifikant; Substratmischungen mit gleichen Großbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant im Hinblick auf die Art des N-Düngers (Tukey), $p < 0,05$, $n = 12$)

4.3 Analyse von volatilen Komponenten aus den Prüfmaterialien

Während der Attraktivitätsprüfung der einzelnen Substratausgangsstoffe bzw. Substratbestandteile wurden wie beschrieben während der Befliegungszeit Duftproben gesammelt. Diese wurden am JKI-ÖPV gaschromatographisch auf ihre volatilen Bestandteile untersucht.

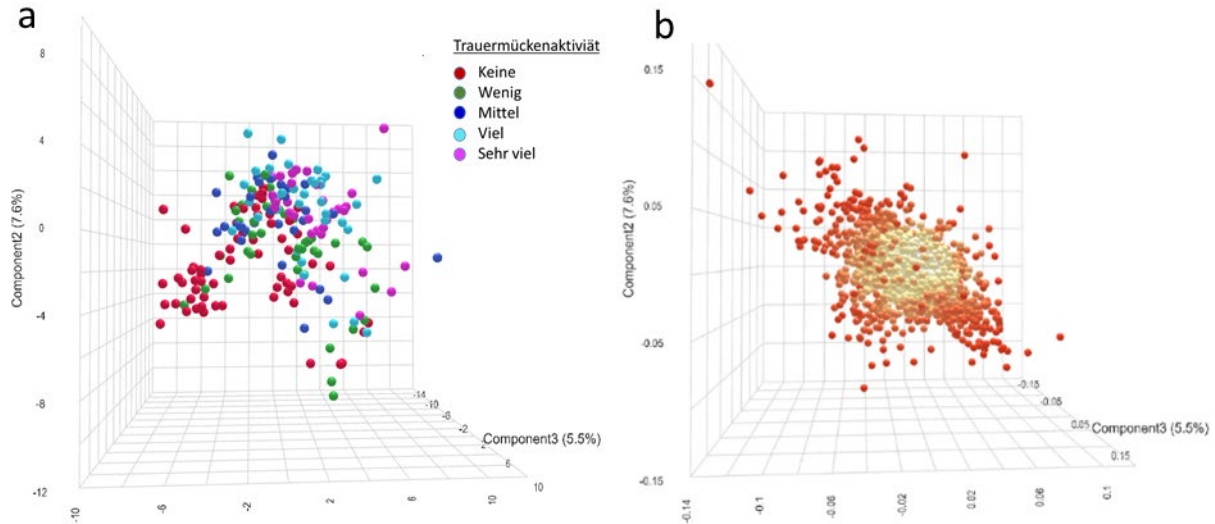


Abb. 11: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Prüfmischungen basierend auf ihrem Volatilom. a) Anordnung der Mischungen nach ihrer Duftstoffzusammensetzung, farbliche Kennzeichnung nach der Attraktivität für Trauermücken. b) Anordnung der verantwortlichen Features/Duftstoffe.

Der Vergleich des Volatiloms der Prüfmischungen (Torfersatz- und Zuschlagstoffe) mit der Trauermückenattraktivität (Abb. 11a) ergab vor allem Unterschiede in den Duftmustern nicht attraktiver Mischungen und denen, die viel und sehr-viel Trauermücken aufwiesen. Während z. B. Eicosan, 2,5-Dimethyl-Benzaldehyd, Estra-1,3,5(10)-trien-17 β -ol und 2,6,11-triethyl-Dodecan charakteristisch für einige attraktive Substrate waren, waren Octanal, Nonanal, Tetradecan und 2,6,11-Triethyl-Dodecan charakteristisch für nicht attraktive Substrate (Tab. 2).

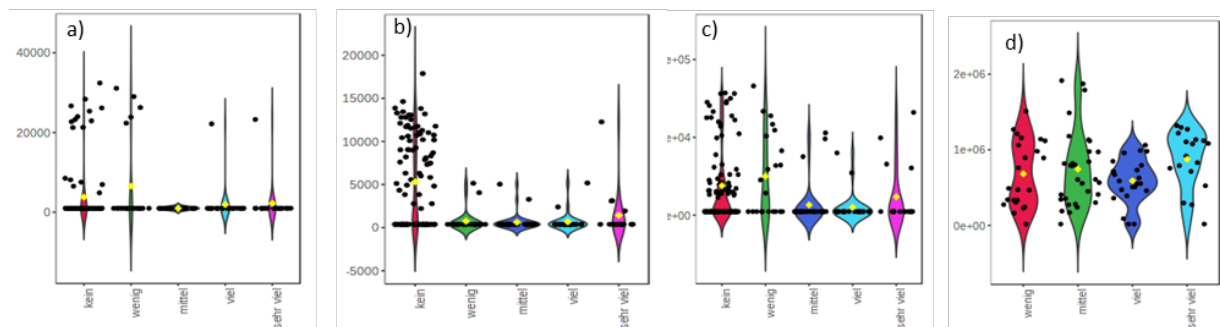


Abb. 12: Verteilung ausgewählter volatiler Verbindungen aus den Prüfmischungen anhand der Attraktivität der Materialien für Trauermücken (a) Octanal; b) Tetradecan; c) Nonanal; d) Eicosan)

Um das Spektrum attraktiver und repeller Verbindungen zu erweitern, wurden ergänzend 13 verschiedene Pilze getestet. Von diesen erwiesen sich u. a. *Mucor cillenoides* als attraktiv und *Trichoderma viride* als repellent (Abb. 13).

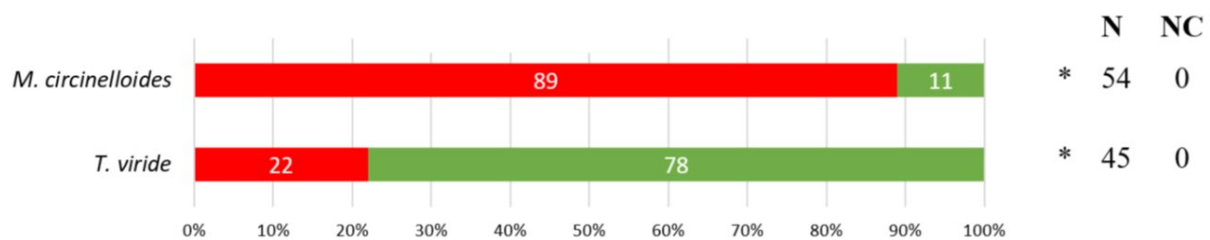


Abb. 13: Aufenthalt weiblicher Trauermücken (*Bradysia impatiens*) im Olfaktometer bei der Wahl zwischen dem Duft von *Mucor cillenoides* oder *Trichoderm viride* (rot) und einer Kontrolle (grün). * Signifikanter Unterschied ($p < 0,05$), Chi-Quadrat-Test auf gleiche Verteilung. N: Anzahl wählender Trauermücken, NC: ohne Wahl.

Im Duft von *M. circinelloides*-Kulturen wurden sechs Verbindungen nachgewiesen: 2-Methyl-1-butanol, 2,3-Butandiol, Benzylalkohol und Phenylethylalkohol, Ethylbutanoat, Ethylisovalerat. Die im Luftraum von *T. viride*-Kulturen nachgewiesenen flüchtigen organischen Verbindungen waren para-Methylanisol, 2-Undecanon, 3-Octanon, 6-Pentyl- α -pyron, 2-Pentylfuran, 2-Heptylfuran, trans-2-(1-Pentenyl)furan, Limonen, Fenchon, β -Bisabolen, α -Zingiberen, α -trans-Bergamoten, β -cis-Farnesen, β -trans-Farnesen, α -Curcumen, γ -Curcumen, β -Sesquiphellandren und -Nerylaceton.

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 2) fasst die Verbindungen zusammen, die in den Prüfmischungen und Pilzen gefunden wurden, als potentiell attraktiv oder repellent eingestuft wurden und im Folgenden getestet wurden.

Tab. 2: In Substratmischungen und Bodenpilzen detektierte Verbindungen und die olfaktorische Wirkung ihrer Herkunftsmaterialien auf Trauermücken in Olfaktometer-Tests.

Verbindung	Klasse	Herkunft	Wirkung
Decanal	Aldehyd	Torfersatz	repellent
Nonanal	Aldehyd	Torfersatz	repellent
Octanal	Aldehyd	Torfersatz	repellent
Tetradecan	Alkan	Torfersatz	repellent
Butandiol	aliphatischer Alkohol	<i>Mucor circinelloides</i>	attraktiv
2,6,11-Trimethyl-dodecan	Alkan	Torfersatz	attraktiv
Dodecan	Alkan	Torfersatz	repellent
Eicosan	Alkan	Torfersatz	attraktiv
Undecan	Alkan	Torfersatz	repellent
2-Phenylethanol	Alkohol	<i>Mucor circinelloides</i>	attraktiv
1-Octen-3-ol	Allylalkohol	Torfersatz	repellent
2,5, Dimethylbenzaldehyd	Benzaldehyd	Torfersatz	attraktiv
3-Octanon	Dialkylketon	<i>Trichoderma viride</i>	repellent
2-Pentylfuran	Furan	<i>Trichoderma viride</i>	repellent
Benzothiazol	Heterocyclen	Torfersatz	attraktiv
2-Undecanon	Keton	<i>Trichoderma viride</i>	repellent
Linalool	Monoterpen	Torfersatz	repellent
Methoxyphenyl-oxim	N-Hydroxyimine	Torfersatz	attraktiv
Thymol	Phenol	Torfersatz	repellent
b-Bisabolene	Sesquiterpen	<i>Trichoderma viride</i>	repellent
α -Bergamoten	Sesquiterpen	<i>Trichoderma viride</i>	repellent

4.4 Validierung der volatilen Komponenten

Um die Wirkung von Verbindungen aus attraktiven und unattraktiven Prüfmaterialien (Tab. 2) zu testen, wurden in Anlehnung an Cloonan et al. (2016) Attraktions- und Repellenzversuche mit einem Olfaktometer und Arenen durchgeführt.

4.4.1 Olfaktometerversuche (JKI-ÖPV)

Weibliche Trauermücken wurden von Verbindungen wie α -Bergamoten, Decanal und Dodecan abgeschreckt. Auch Linalool, 2-Undecanon oder 2-Pentylfuran hatten tendenziell eine repellente Wirkung (Abb. 14). Zusätzlich zeigte sich bei einigen Verbindungen wie z. B. Octanal eine hohe Mortalität der Trauermücken innerhalb der 24 h Testzeit. Als attraktiv entsprechend dem Duft von Anzuchtsubstrat (Kokosmark mit Haferflocken) oder der verpilzten Haferflocken erwiesen sich keine einzelnen Verbindungen.

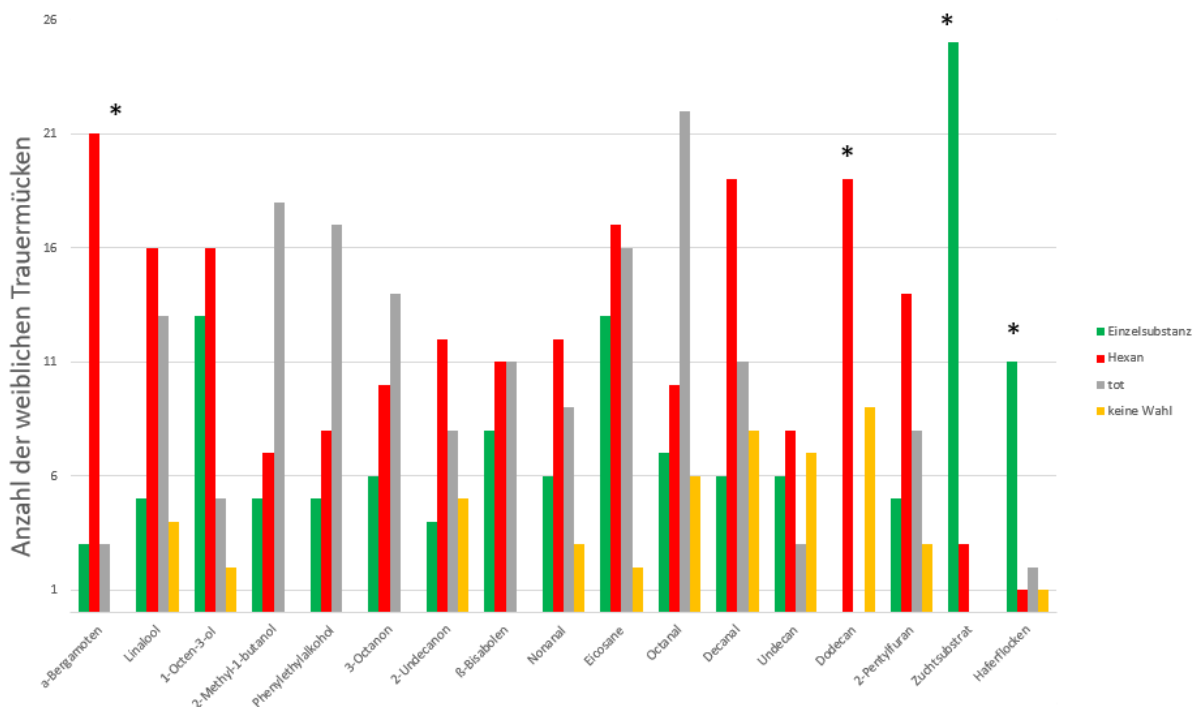


Abb. 14: Aufenthalt und Überleben weiblicher Trauermücken (*Bradysia impatiens*) im Olfaktometer bei der Wahl zwischen dem Duft von einzelnen Verbindungen oder Substraten. * Signifikanter Unterschied ($p < 0.05$, Chi-Quadrat-Test auf gleiche Verteilung) im Aufenthalt zwischen Röhrchen mit Testduft und Kontrolle (Hexan).

4.4.2 Prüfung synthetischer Düfte in Arena-Versuche (HSWT)

Bei der Validierung im Rahmen der Dual-Choice-Arenen-Versuche mit synthetischen Duftstoffen konnte bei sechs der zehn als repellent identifizierten Duftstoffe diese Wirkung bestätigt werden, bei drei Düften war keine signifikante Reaktion der Trauermücken festzustellen (Abb. 15). Bei Bisabolene zeigte sich in den Arena-Versuchen eine gegenteilige Wirkung: Die Tiere wurden von diesem sogar angezogen. Bei den als attraktiv eingestuften Düften konnte die Wirkung in keinem Fall bestätigt werden, zwei Verbindungen (Thymol und Penthanal) hatten sogar die gegenteilige Wirkung.

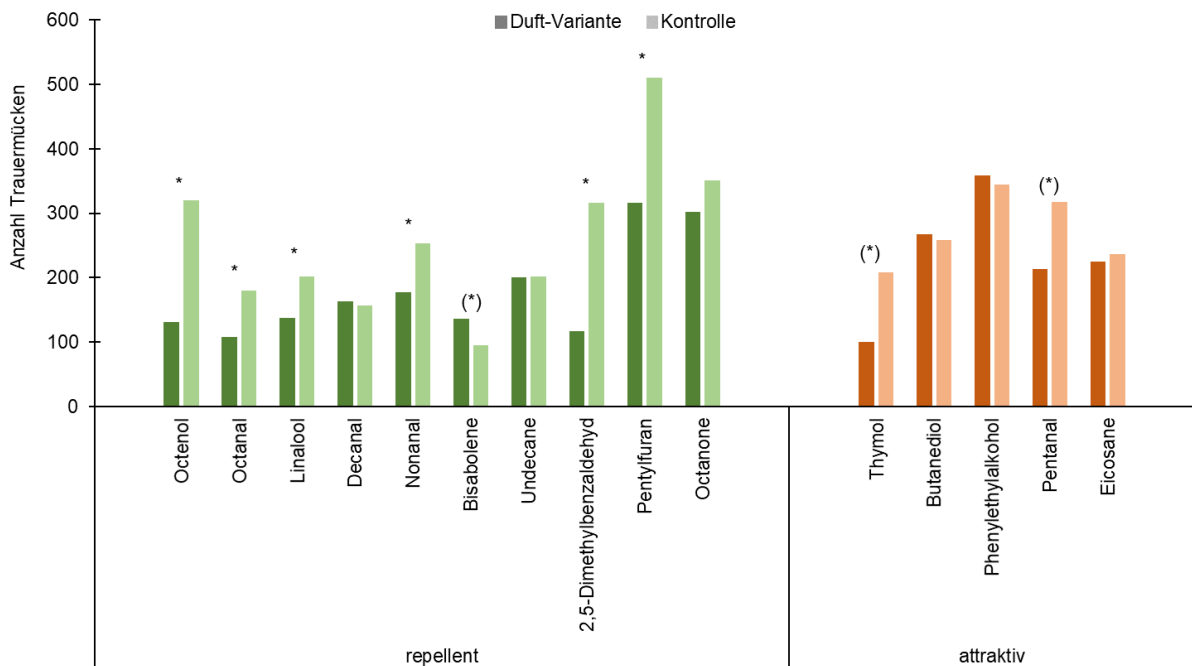


Abb. 15: Validierung der Wirkung der als repellent bzw. attraktiv eingestuftten volatilen Bestandteile im Arena-Versuch mit synthetischen Verbindungen (mit * markierte Varianten unterscheiden sich signifikant von ihrer jeweiligen Kontrollvariante; mit (*) markierte Varianten unterscheiden sich signifikant von ihrer jeweiligen Kontrolle, weisen aber die gegenteilige Wirkung als erwartet auf; Chi-Quadrat-Test auf gleiche Verteilung, $p < 0,05$)

4.5 Kombination von Nematoden und Raubmilben verbessert die Regulierung der Trauermücken

In den Laborversuchen am JKI-SF zeigte sich, dass der Anteil geschlüpfter Trauermücken durch eine Kombination von *S. feltiae* und *H. miles* sehr effektiv reduziert werden konnte. Bereits die Anwendung der einzelnen Nützlinge konnte die Anzahl geschlüpfter Trauermücken nach 21 Tagen auf 4 (Median bei *H. miles*-Anwendung) bzw. auf 2 (Median *S. feltiae*-Anwendung) von jeweils 20 eingesetzten Larven im L2 bis L3-Stadium signifikant reduzieren. In der kombinierten Variante schlüpften in allen drei Wiederholungen nur vereinzelt Individuen (Abb. 16).

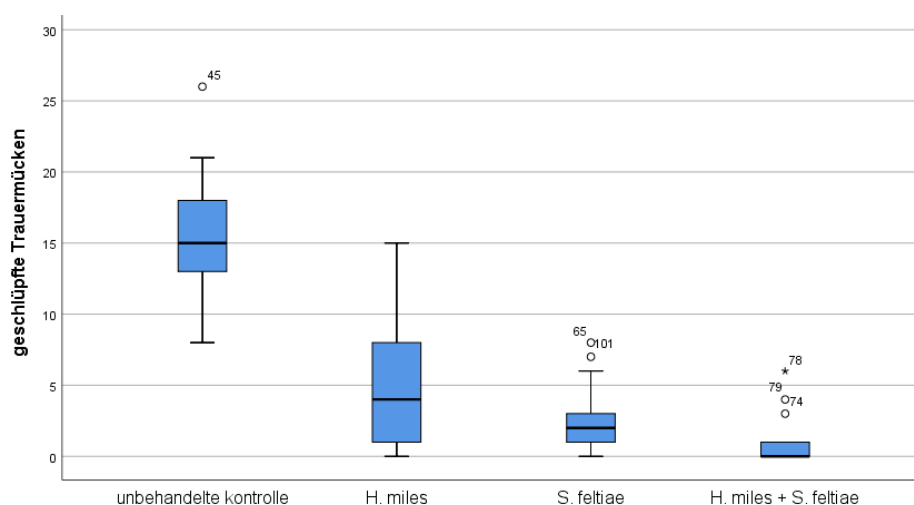


Abb. 16: Anzahl geschlüpfter Trauermücken (*Bradysia impatiens*) aus Gefäßen mit je 20 eingesetzten Trauermückenlarven ($n = 600$). Behandlung mit 180 *H. miles* und 410.000 *S. a feltiae* je Probe, einzeln sowie in Kombination.

Durch verschiedene Formulierungen der Nematoden *S. feltiae* in Form von Kapseln oder Paste konnte der Wirkungsgrad im Kokossubstrat im Rahmen der vorliegenden Arbeiten allerdings nicht reproduziert werden (Daten nicht dargestellt).

4.6 Die alleinige Anwendung von *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (BTI) zeigt nur unzureichende Wirkung

Der Einsatz von BTI in Form des Produkts Neudomück erbrachte gegenüber Trauermückenlarven im L2 bis L3 Stadium keine Reduktion, konnte jedoch die geschlüpfte Individuenanzahl aus Substrat mit Eigelegen aus einer 24-stündigen Eiablage der Trauermücke nach 21 Tagen von durchschnittlich 350 auf 229 reduzieren (Abb. 17). Dies entspricht einer Reduktion um ein Drittel (Wirkungsgrad von 34,5 %).

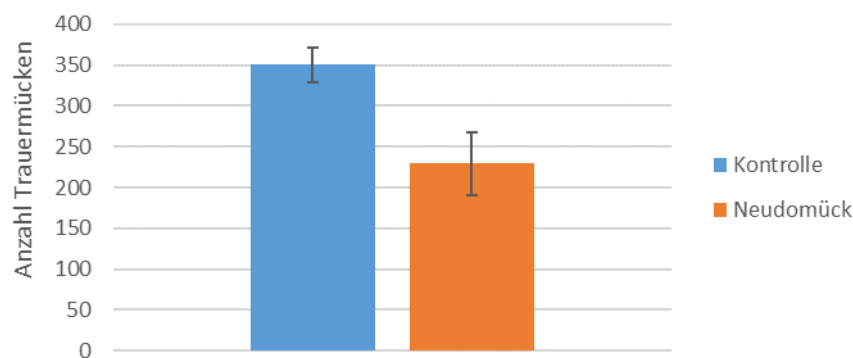


Abb. 17: Anzahl geschlüpfter Trauermücken (*Bradysia impatiens*) aus 21 Tage alten Eigelegen nach Behandlung mit dem BTI-Präparat „Neudomück® Stechmücken-Frei“ (Fa. Neudorff).

4.7 Atheta-Kurzflügelkäfer lassen sich langfristig durch „Offene Zuchtssysteme“ als Trauermückengegenspieler im Gewächshaus etablieren

Der Einsatz von Kurzflügelkäfern *A. coriaria* zeigte in Laborversuchen am JKI-SF in Kleinmachnow signifikante Reduktion beim Einsatz gegen L2-Larven von *B. impatiens*, wobei eine höhere Aufwandmenge von acht Individuen die Anzahl der geschlüpften Trauermücken im Mittel um zwei Drittel im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle reduzieren konnte (Abb. 18). Diese Ergebnisse konnten durch das JKI-GF am Standort Braunschweig allerdings nicht bestätigt werden, wobei hier die Anwendung gegen L1-Larven erprobt wurde. Weder in der Variante mit zwei noch mit acht Individuen konnten eine signifikante Wirkung von *A. coriaria* auf die Anzahl der geschlüpften Trauermücken nachgewiesen werden. Hinzuzufügen ist, dass die Auswertung durch die hohe Mobilität der adulten Käfer erschwert wurde.

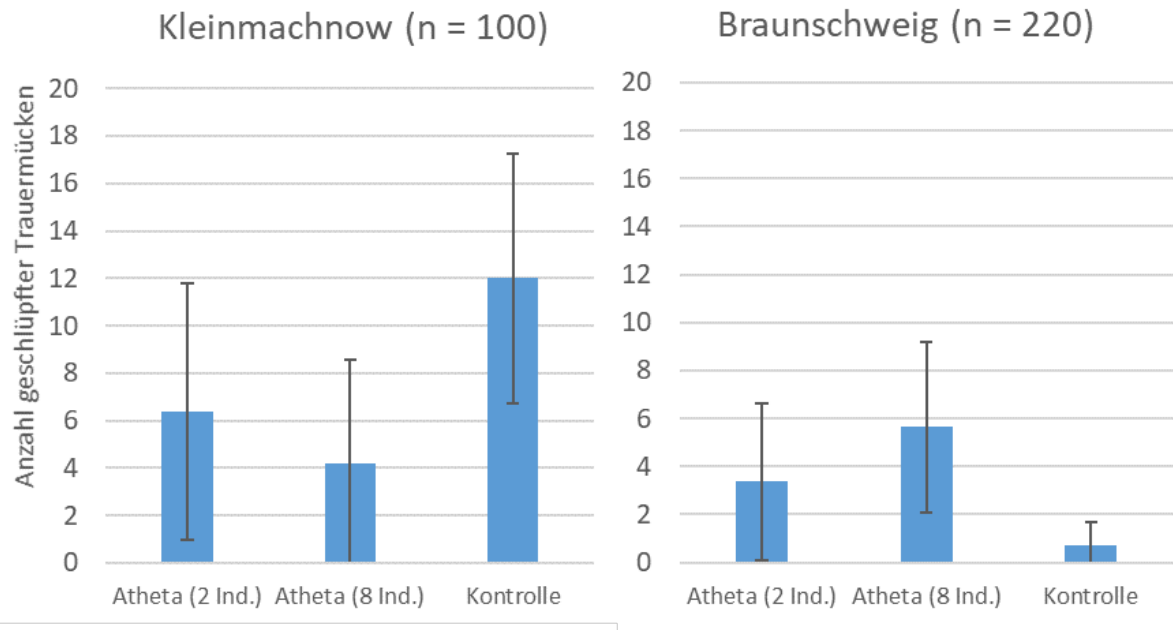


Abb. 18: Anzahl geschlüpfter Trauermücken (*Bradysia impatiens*) nach 19 Tagen nach Einsatz von *Atheta coriaria* Kurzflügelkäfern in Laborversuchen mit 20 Trauermückenlarven je Probe im L2- (Kleinmachnow) und L1- (Braunschweig) Stadium.

Im Jahr 2024 wurde eine Etablierungsstudie zu *A. coriaria* in offener Zucht im Praxisbetrieb durchgeführt. Substrat mit adulten Kurzflügelkäfern wurde im April in vier offenen Zuchtsystemen ausgebracht (Abb. 19) und die Population durch wöchentliche Fütterung zunächst aufgebaut. Die ersten Larven wurden im Substrat im Mai gefunden, wobei eine Zunahme (qualitativ) zu beobachten war. Nach Einstellen der Fütterung konnte in den darauffolgenden Wochen eine Verbreitung von *A. coriaria* im Gewächshausbestand beobachtet werden.

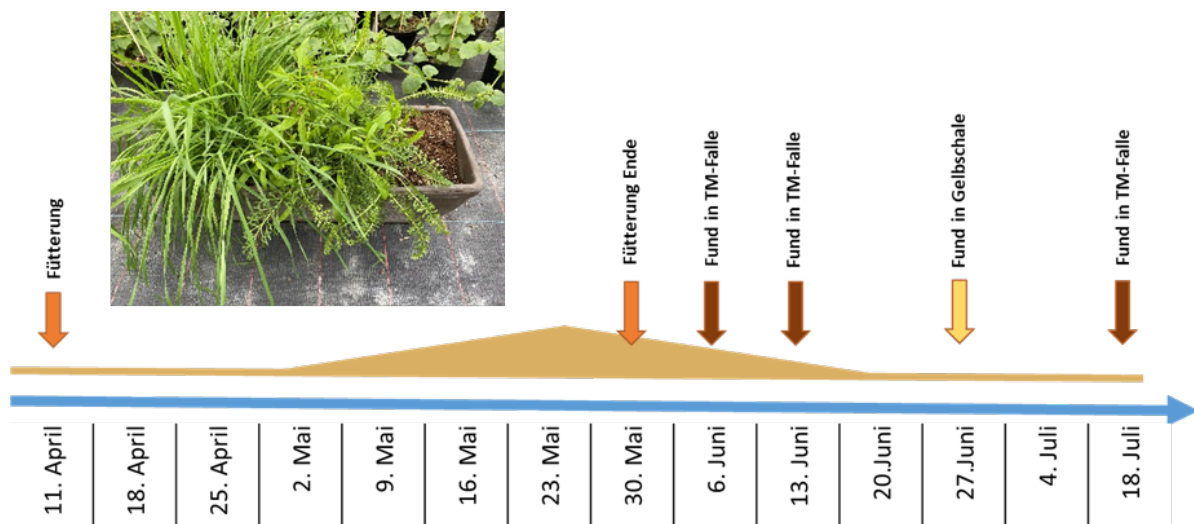


Abb. 19: Freilassungsversuche von *Atheta coriaria* in einem Praxisbetrieb in vier offenen Zuchten (Foto) und Beobachtung der Etablierung (beige) über die Anbausaison bei wöchentlicher Fütterung sowie Funde in Trauermückenfallen und Gelbschalen.

4.8 Hundertfüßer sind aufgrund der Schwierigkeiten der Massenzucht und ihrer Größe und Erscheinung weniger als Nützlinge im Gewächshaus geeignet

Aus den Bodenproben wurden unterschiedliche Arten an Hundertfüßern herausgesammelt. Die häufigsten Arten, von denen auch mehrere Individuen gefunden werden konnten, waren *Geophilus flavus* und *Schendyla nemorensis* aus der Gruppe der Geophilomorpha, sowie *Lithobius forficatus* und *Lamyctes emarginatus* aus der Gruppe der Lithobiomorpha.

Die Art *L. emarginatus* (Lithobiomorpha: Henicopidae) war die einzige Art, die innerhalb der Gewächshausanlage gefunden wurde und unter Zuchtbedingungen ausreichend lange überlebte, um Prädations- und Reproduktionsraten zu untersuchen. Die anderen Arten konnten unter künstlichen Bedingungen nicht am Leben erhalten oder gar vermehrt werden. In den Fraßversuchen konnte festgestellt werden, dass Trauermückenlarven zum Beutespektrum von *L. emarginatus* gehören. Die Prädationsleistung lag bei ca. 5 Trauermückenlarven pro Tag. Es konnte außerdem beobachtet werden, dass *L. emarginatus* auch adulte Trauermücken erbeutet und sie dazu sogar aus der Luft fängt. Die Populationsdichte auf den Gewächshaustischen mit *Buxus* lag bei ca. 3 (\pm 2) Individuen pro Topf, das entspricht einer Dichte von 15 bis 25 Individuen pro m² Tischfläche. *L. emarginatus* wurde aus Australien eingeschleppt und ist in Deutschland mittlerweile weit verbreitet. Auf Grund seiner Herkunft verträgt die Art die klimatischen Bedingungen, wie sie in Gewächshäusern herrschen, sehr gut. Als Vertreter der Lithobiomorpha ist *L. emarginatus* Streu, bzw. oberflächenaktiv und lebt im Gegensatz zu den Geophilomorpha nicht im Boden. Folglich hält er sich nicht in den Topfsubstraten auf, sondern eher darauf oder daneben bzw. unter den Containern, was mit Blick auf die Konsumentenakzeptanz beim Verkauf von getopfter Ware problematisch sein dürfte. Die Versuche eine Zucht zur Massenvermehrung zu etablieren, zeigten keinen Erfolg. Trotz der als günstig bewerteten Eigenschaft der parthenogenetischen Vermehrung, kam es nur bei ca. 5 % der gehaltenen Tiere zur Eiablage. Die Entwicklung bis zum Schlupf der ersten nachkommen Tiere dauerte ca. 6 Monate. Während dieser Zeit bewachten die Elterntiere das Gelege und waren ansonsten inaktiv.

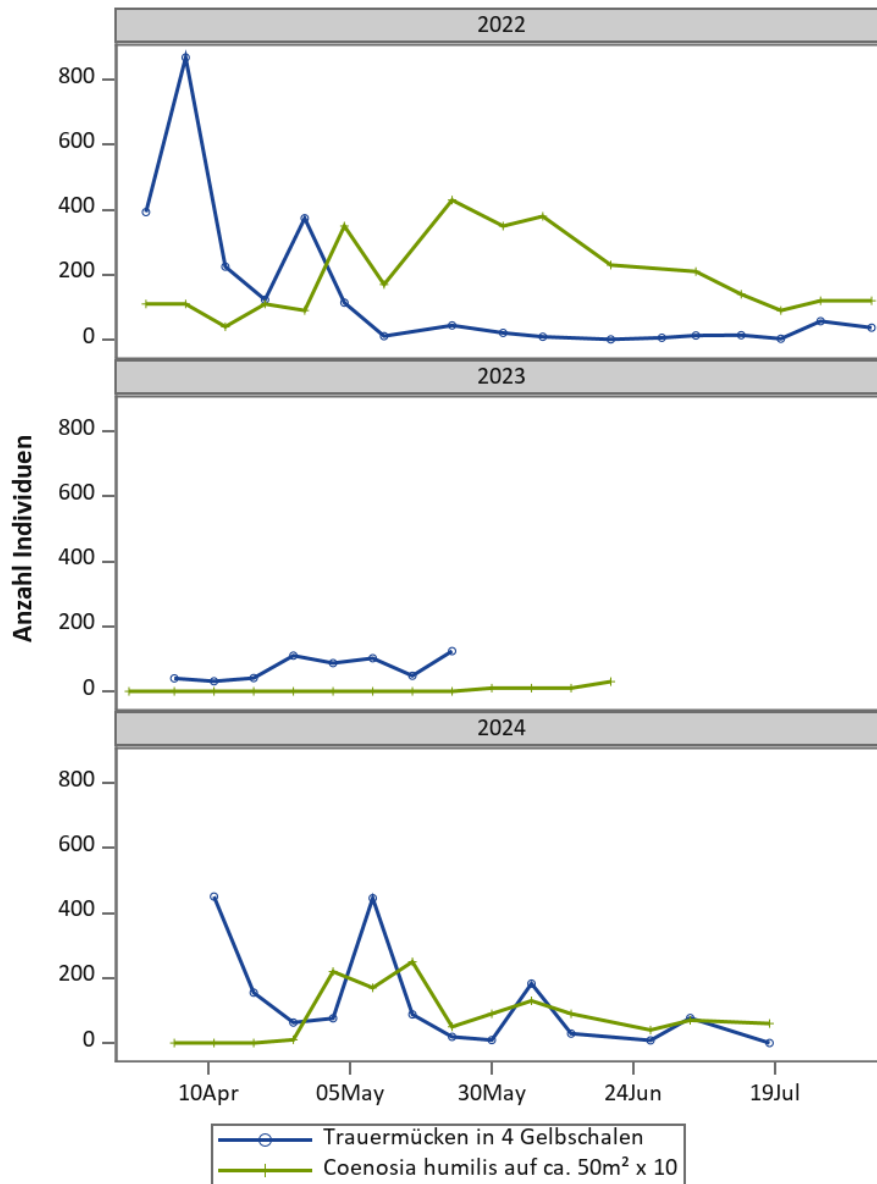
4.9 Die Schlupfwespe *Synacra paupera* etabliert sich vereinzelt in Gewächshäusern und kann langfristig zur Regulierung der Trauermückenpopulation beitragen

Den Einsatz des neuen Parasitoiden *S. paupera* konnte den Trauermückenschlupf in Laborversuchen reduzieren. Beim Einsatz nur eines adulten Parasitoiden auf 20 Trauermückenlarven im L2 bis L3-Stadium wurde in allen vier Wiederholungen ein Schlupf von 15 im Vergleich zu 17 bis 20 Trauermücken in der unbehandelten Kontrolle gezählt. Der Schlupf von *S. paupera* erfolgte unter optimalen Bedingungen nach 24-27 Tagen. Je Wiederholung schlüpften zwei bis drei adulte Parasitoide aus den jeweils maximal fünf parasitierten Trauermückenlarven. Im Rahmen der Untersuchungen sowie der erfolgreichen Etablierung der Zucht wurden wesentliche Beobachtungen zur Biologie des wenig bekannten Nützlings gemacht, die bisherige Beschreibungen (vgl. Hellqvist 1994) ergänzen. Die Erkenntnisse wurden in einer Masterarbeit sowie in Praxisberichten veröffentlicht bzw. kommuniziert.

4.10 Räuberische Fliegen der Gattung *Coenosia* können sich langfristig über viele Jahre in Gewächshäusern etablieren und zur Regulierung der Trauermückenpopulation beitragen

Das Monitoring der Trauermückenpopulation sowie der räuberischen Fliege *C. humilis* in einem ökologisch wirtschaftenden Praxisbetrieb zeigte in den Jahren 2022 sowie 2024 einen hohen Anfangsbefall bzw. Aktivität der Trauermücken kurz nach Kulturstart Anfang April (Abb. 20). In diesem Zeitraum wurden in allen drei Jahren nur vereinzelt *C. humilis* erfasst. Ab Mai kam es in den Jahren

2022 und 2024 zu einem Anstieg der *C. humilis*-Population mit einem identifizierbaren Räuber-Beute-Muster in 2024. In 2022 konnte *C. humilis* eine hohe Dichte ausbilden und unterdrückte ab Mitte Mai offenbar die Populationsentwicklung der Trauermücken effektiv. Im Jahr 2023 wurden nur sehr vereinzelt *C. humilis* gesichtet. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass überwinternde Stauden, in denen die Population des Nützlings überdauern kann, entfernt worden waren.



deutliche Vorteile: Das System besteht aus im Handel erhältlichen Trichterfallen, die zur Hälfte mit feuchtem Kultursubstrat und einem Esslöffel grober Haferflocken gefüllt werden. Innerhalb weniger Tage bildet sich darin ein starkes Pilzhypheengeflecht, durch das die Trauermücken angelockt werden. Eine Gelbtafel innerhalb der Falle fängt die Trauermücken beim Versuch, das verpilzte Substrat zu erreichen, ab. In Praxisversuchen konnte in Fallen mit Haferflocken im Vergleich zu Fallen ohne Lockmittel eine bis zu 20-fach höhere Fängigkeit erzielt werden. Das Substrat in der Falle muss nach spätestens drei Wochen ausgetauscht werden, da eine Eiablage innerhalb der Falle nicht vollständig vermieden werden kann und nach dieser Zeit neue Trauermücken in der Falle schlüpfen können. Ein weiterer Vorteil zusätzlich zur höheren Fängigkeit gegenüber frei hängenden Gelbtafeln besteht darin, dass Nützlinge wie Blattlausparasitoide oder Schwebfliegen nicht in die Falle eindringen und deshalb geschont werden.

4.12 Produktion eines Dokumentarfilmes zu den Ergebnissen des Projektes und Erstellung eines Merkblattes zu Trauermücken für die Praxis

Die gewonnenen Erkenntnisse sowie Grundlagen zur Biologie von Trauermücken wurden in einem sechsminütigen Dokumentarfilm mit dem Titel „Trauermücken vorbeugen und regulieren mit Nützlingen“ der Öffentlichkeit als YouTube-Film zur Verfügung gestellt. Eingebettet ist dieser Film auf der Plattform [oekolandbau.de](https://www.oekolandbau.de) im Bereich „Pflanzendoktor“. Hierfür ist zudem ein Schädlingsporträt in Form eines Steckbriefes neu erarbeitet worden: „Trauermücke *Bradysia impatiens* – Sciaridae“, das die Ergebnisse aus dem Projekt veranschaulicht: <https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologischer-pflanzenbau/oekologischer-pflanzenschutz/pflanzendoktor/schaderreger/schaderreger-im-gemuesebau/trauermuecke-bradysia-impatiens>

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Attraktivität und Duftstoffe

Die Prüfung der Attraktivität von Substratausgangs- und Substratzuschlagstoffen sowie Pflanzenstärkungsmitteln zeigt deutlich, dass feste organische Dünger der wesentliche Risikofaktor hinsichtlich Trauermücken sind. Im Gegensatz zu festen, haben flüssige organische Düngemittel keinerlei attraktive Wirkung auf Trauermücken (Abb. 5). Dies deckt sich auch mit Beobachtungen aus der gartenbaulichen Praxis. Ein wichtiger Ansatzpunkt, um Probleme mit Trauermücken zu verhindern, ist der möglichst weitgehende Verzicht auf feste organische Dünger, was allerdings für viele Betriebe nicht so leicht umzusetzen ist, da flüssige Dünger andere Nachteile (Geruchsentwicklung, Verstopfen von Düsen und Ventilen etc.) mit sich bringen (Chowdhury et al., 2025; Degen und Koch, 2011).

Mit Blick auf die Substratausgangsstoffe haben die Attraktivitätsprüfungen gezeigt, dass die Reduktion des Torfanteils nicht per se eine signifikante Verstärkung der Trauermückenproblematik verursacht (Abb. 6). Eine Ausnahme waren (Grüngut)komposte: Hier gab es erhebliche Unterschiede zwischen verschiedenen Herkünften. Viele Komposte waren nur wenig attraktiv bzw. sogar völlig unattraktiv (Abb. 8). Die durchgeführten Begleituntersuchungen (Abb. 7) ergaben zwar eine signifikante Korrelation zwischen der Kompostreife und der Trauermückenattraktivität. Allerdings war der Zusammenhang sehr lose und z. T. nicht eindeutig (Abb. 9). So kann aus den Untersuchungen lediglich abgeleitet werden, dass bei unreifen Komposten ein erhöhtes Risiko besteht. Eine Erklärung, warum manche Komposte attraktiv sind und manche nicht, lies sich aus den Untersuchungen nicht ableiten.

Die Attraktivitätsprüfung praxisüblicher Substratmischungen bestätigte die Prüfung der Einzelkomponenten im Wesentlichen. Auch hier war der organische Dünger – in diesem Fall Hornmehl – der

wesentliche Treiber für die Trauermückenattraktivität (Abb. 10). In viel geringerem Maße, aber dennoch deutlich sichtbar spiegelte sich die unterschiedliche Attraktivität der beiden Grüngutkomposte in der Attraktivität der Substratmischungen wieder. Dieser Versuch lieferte auch Hinweise darauf, dass entweder die absolute Menge des attraktiven Kompostes in der Mischung relevant für die Attraktivität der Mischung ist oder sich die Attraktivität eines Komposts durch die Zumischung eines unattraktiven senken lässt. Dass letzteres der Fall ist, wird durch die Ergebnisse aus dem Kompost-screening gestützt. Der lose Zusammenhang zur Kompostreife lässt vermuten, dass die Attraktivität mit dem Mikrobiom der verschiedenen Komposte zusammenhängt, wobei vermutlich nicht die absolute Menge der Mikroorganismen, sondern deren Zusammensetzung die entscheidende Rolle spielt. Dies deckt sich mit Untersuchungen u. a. von Anas und Reeleder (1988) sowie Cloonan et al. (2016), die zeigen konnten, dass nur das Myzel bestimmter Pilze von Trauermückenlarven als Nahrungsquelle genutzt wird. Sollte dies der Fall sein, wäre es gegebenenfalls möglich, auf die Zusammensetzung der Mikroorganismen bereits bei der Kompostproduktion Einfluss zu nehmen und die Entwicklung der „richtigen“ Mikroorganismen durch entsprechende Maßnahmen zu fördern. Dass eine solche Beeinflussung des Kompostmikrobioms durch die Beimpfung mittels einer kleinen Menge eines „guten“ Komposts (mit einer entsprechenden mikrobiellen Besiedlung) grundsätzlich möglich ist, zeigen Arbeiten von Olivera et al. (2024). Dies könnte ein leicht umsetzbarer Ansatz sein, um das Trauermückenproblem zu reduzieren und sollte in weiteren Versuchen genauer untersucht werden. Dabei sollte nicht nur die Mischung verschieden attraktiver Komposte bei der Herstellung – was viele Substratwerke durch das Verschneiden unterschiedlicher Komposte zur Glättung der Variabilität unterschiedlicher Chargen bereits tun – untersucht werden, sondern die Untersuchungen bereits beim Kompostierungsprozess selbst ansetzen.

In den Olfaktometer- Arenaversuchen konnte zum einen die repellente Wirkung einer Reihe von Duftstoffen bestätigt werden (Abb. 15). Diese könnten Ausgangspunkt weiterer Forschung sein, um letztlich einen Trauermücken vergrämenden Zuschlagstoff für die gartenbauliche Praxis zu entwickeln. Eine Strategie zur Bekämpfung von Trauermücken über Düfte (VOCs) aus Substraten würde auf dem Prinzip der Verhaltenssteuerung durch chemische Reize basieren. Für die gezielte Nutzung muss aber die Lock- oder Repellenz-Wirkung der VOCs aus den Substraten im Detail verstanden werden, um Trauermücken erfolgreich in Gewächshäusern und in der Pflanzenproduktion zu regulieren. Die mit den Twistern parallel zur Trauermückenattraktivität gesammelten Verbindungen zeigten eine große Variabilität, auch zwischen den Substraten. Trotzdem konnten verschiedene Alkane, Aldehyde, Ketone und Terpene identifiziert werden, die attraktiven oder nicht attraktiven Substraten entstammten und potentiell mikrobiellen Ursprungs waren. Dies konnte auch durch zusätzliche Tests und Analysen mit den attraktiven bzw. repellenten Pilzen *Mucor cillanoides* und *Trichoderma viride* gezeigt werden. Einige als Repellentien gegen Insekten bekannte Verbindungen wie Thymol und Linalool können auch von Pflanzenresten in den Grüngutkomposten stammen. Gleiches gilt für 1-Octen-3-ol, 3-Methylbutanol oder Dimethyltrisulfid, die attraktiv auf Trauermücken wirken können und oft aus mikrobieller Zersetzung organischer Substanz stammen. Dies könnte ein Aspekt der unterschiedlichen Attraktivität von Komposten sein. Neben der Verwendung von Substratkomponenten und Zuschlagstoffen mit geringem VOC-Ausstoß, bieten sich der Einsatz mikrobiell weniger attraktiver Komponenten, die Manipulation des Mikrobioms zur VOC-Modulation sowie die mögliche Behandlung mit Repellentien an. Hier ist weitere Forschung notwendig um einen Transfer in die Praxis zu bewerkstelligen. Auch wenn in diesem Projekt einzelne Verbindungen nicht attraktiv waren, geben die Duftanalysen der Substrate einen Hinweis darauf, dass sich die Duftprofile als biochemische Marker für frühe Risikoerkennung in einem Monitoring einsetzen lassen.

Zum anderen konnte bei den statistisch attraktiven Stoffen keiner in seiner attraktiven Wirkung bestätigt werden, zwei wirkten sogar repellent (Abb. 15). Dafür sind zwei Ursachen denkbar: Einerseits könnte es eine Frage der Konzentration sein, ob ein Duft für die Trauermücken attraktiv oder repellent wirkt. Ein in kleinen Dosen noch attraktiver oder neutraler Stoff kann bei steigender Konzentration vergrärend wirken (Koschier et al., 2000; Soni und Finch, 1979; Wallbank and Wheatley, 1979). Andererseits lassen Beobachtungen während der Versuchsdurchführung darauf schließen, dass die Tiere nicht gezielt von einem Duft angelockt werden, sondern zunächst ein ungerichtetes Suchverhalten („Casting behaviour“) zeigen, bis sie in die Nähe eines Substrates kommen und dessen Stimuli wahrnehmen. Treffen sie keine abschreckenden Düfte an, hängt die Entscheidung zu bleiben und optimaler Weise auch Eier abzulegen, vermutlich aber nicht nur von einem einzelnen Stoff, sondern von einer Mischung aus mehreren Duftsignalen ab. Darauf deuten auch die Untersuchungen von Cloonan et al. (2016) hin.

5.2 Nützlinge

Die Untersuchungen zeigen, dass das Einbringen der etablierten Nützlinge *S. feltiae* und *H. miles* in das mit *B. impatiens*-Larven infizierte Substrat zu einer signifikant reduzierten Schlupfrate von Trauermücken führte. Durch die Kombination der Nützlinge konnten die Larven nahezu vollständig bekämpft werden. Diese in der Praxis im ökologischen Landbau etablierten Nützlinge bieten somit ein sehr hohes Reduktionspotential von Trauermückenlarven, wenngleich selbst bei hohen Nützlingskonzentrationen auch im Labormaßstab keine vollständige Bekämpfung möglich war. Die Ergebnisse decken sich mit bisherigen Untersuchungen (Koller 2011; Harris et al. 1995). Allerdings ist in der Praxis u.a. aufgrund von schwankenden Temperaturen (Jagdale et al., 2007) von einem geringeren Wirkungsgrad auszugehen, so dass der Einsatz mit weiteren Maßnahmen kombiniert werden sollte. Der ebenfalls üblicherweise eingesetzte Organismus *B. thuringiensis* war in einem stark mit *B. impatiens* befallenen Substrat nicht ausreichend wirkungsvoll, so dass die Anwendung v. a. in der Frühphase der Besiedlung zielführend erscheint.

Synacra-Parasitoid: Die Schlupfwespe ist zum Teil in Gewächshäusern zu finden, kann phasenweise massenhaft auftreten und sich, wie Untersuchungen von Gelbtafel-Fängen in einem Produktionsbetrieb gezeigt haben, gleichmäßig ausbreiten. In Laborversuchen zeigte sich eine sehr gute Bekämpfungsleistung bei der Anwendung gegen Larven im Stadium L2 und L3. Zudem hat die Schlupfwespe unter optimalen Bedingungen einen ähnlichen Reproduktionszyklus wie Trauermücken. Diese Ergebnisse müssen allerdings in weiteren Versuchen unter Praxis(näheren)bedingungen verifiziert werden. Auf Grund des Risikos einer intraspezifischen Konkurrenz erscheint die Ausbringung des Parasitoiden in Betrieben mit einer großen Population räuberischer Fliegen der Gattung *Coenosia* als nicht sinnvoll.

Coenosia: Die räuberische Fliegen der Gattung *Coenosia* ist der einzige Nützling, der adulte Trauermücken attackiert. Aber auch die räuberisch lebenden Larven tragen zur Bekämpfung bei. Da sich der Nützling durch entsprechende Maßnahmen in offenen Zuchten langfristig etablieren lässt, kann er zur dauerhaften Regulation der Trauermückenpopulation entscheidend beitragen.

Atheta-Kurzflügelkäfer: Die Praxisversuche haben gezeigt, dass eine Etablierung der kleinen und sehr mobilen Käfer in offenen Zuchten innerhalb der Gewächshäuser einfach möglich und die Populationen durch die Zufütterung mit Entenpellets oder Haferflocken dauerhaft erhalten werden können. Der Nutzen der Käfer liegt im breiten Beutespektrum bodenlebender Schädlinge, zu denen neben Trauermückenlarven auch die Puppen von Thripsen gehören. Im Zierpflanzenbau stellen Blütenthripse ein schwierig zu lösendes Schädlingsproblem dar. Die im Laborversuch in Braunschweig verwendeten L1-

Larven wurden möglicherweise beim Umsetzen in die Versuchsgefäße in Mitleidenschaft gezogen, was die unterschiedlichen Ergebnisse der Trauermückenregulierung im Laborversuch erklären könnte.

Hundertfüßer: Die Art *Lamyctes emarginatus* ist ein möglicher Gegenspieler von Trauermücken in Gewächshäusern. Sie lässt sich jedoch nicht für den gezielten Einsatz vermehren und ausbringen. In langlebigen Containerkulturen ist es möglich, eine stabile Population aufzubauen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, das Habitat nicht zu häufig und intensiv zu stören, so dass Rückzugsräume erhalten bleiben. Dies könnte durch seltene oder partielle Wechsel der Tischeindeckung gewährleistet werden. Zudem müsste eine stabile Nahrungsversorgung, z. B. Sumpffliegen, für die Hundertfüßer gewährleistet sein. Diese Aspekte müssen aber vor dem Hintergrund der Gesunderhaltung der jeweiligen Kultur bewertet werden. Eine gezielte Massenvermehrung für die Ausbringung des Nützlings bei akuten Problemen mit Trauermücken ist auf Grund der langen Reproduktionszyklen nicht möglich. Weiterhin besteht das Problem der Akzeptanz bei den Konsumenten, die sich vor den Hundertfüßern ekelten könnten. Die oberflächenaktive Lebensweise von *L. marginatus* macht einen Kontakt zwischen Konsument und Nützling relativ wahrscheinlich. Dieses Problem könnte durch Aufklärung über die der Hundertfüßer und die Beschränkung auf Waren, die für die Auspflanzung ins Freiland vorgesehen sind, zumindest teilweise in den Griff bekommen werden.

6 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.

Wurden im Projekt praxisrelevante Ergebnisse erzielt? Falls nein, bitte begründen, falls ja: erläutern, inwiefern diese Ergebnisse direkt praktisch anwendbar sind. Sofern praxisrelevante Erkenntnisse gewonnen wurden, Erstellung eines Merkblatts zwecks Transfer dieser Ergebnisse in die Praxis.

6.1 Substrate

Durch die Attraktivitätsversuche konnte gezeigt werden, dass die meisten Torfersatzstoffe wie Holzfasern, Rindenprodukte oder Kokosmark nicht zur Erhöhung eines Trauermückenbefalls beitragen. Ein besonderes Augenmerk sollte jedoch bei der Auswahl der in Kultursubstraten verwendeten Komposte gelegt werden, da einzelne Chargen ein sehr hohes Reproduktionspotential aufweisen. Die genaue Ursache konnte nicht ermittelt werden. Teilweise bestätigte sich die in der Praxis öfter geäußerte Vermutung, dass eine unzureichende Kompostreife der wesentliche Treiber ist. Allerdings waren auch Komposte zu finden, die nach den etablierten Parametern als reif einzustufen waren und trotzdem eine erhöhte Attraktivität aufwiesen. Eine Möglichkeit zur grundsätzlichen Risikominimierung könnte die Mischung unterschiedlicher Komposte sein, da sich hierdurch die Attraktivität etwas senken lässt, wobei allerdings unklar ist, ob es sich um einen reinen Verdünnungseffekt handelt oder ob die Attraktivität per se gesenkt wird.

Eindeutig bestätigt werden konnte die von Praktikern regelmäßig berichtete Beobachtung, dass Substrate mit festen organischen Düngern eine hohe Attraktivität aufweisen. Anders aber als in der Praxis vermutet gibt es hier wohl keine wesentlichen Wechselwirkungen mit dem Substrat. Auch konnten keine festen organischen Dünger identifiziert werden, die eindeutig unattraktiv sind. Allerdings scheint es einen Zusammenhang mit der N-Freisetzung zu geben. Dünger, bei denen die N-Freisetzung langsamer abläuft, scheinen erst zu einem späteren Zeitpunkt attraktiv zu wirken, damit könnte der Befallsdruck zu Kulturbeginn eventuell gesenkt werden. Dies müsste allerdings noch im Detail untersucht werden. Damit bleibt, um die Trauermückenproblematik zu reduzieren, vor allem die verstärkte Verwendung flüssiger Dünger, da diese offensichtlich überhaupt keine attraktive Wirkung

haben. Diese haben allerdings andere Nachteile (Verstopfen von Düsen und Ventilen, Geruchsentwicklung), die gegen den Nutzen eines geringeren Trauermückenbefalls betriebsindividuell abgewogen werden müssen.

Aus den Analysen der Aromaprofile der einzelnen Substratbestandteile konnten zum jetzigen Stand noch keine direkt für die Praxis nutzbaren Erkenntnisse gewonnen werden. Allerdings bieten insbesondere die repellent wirkenden Duftstoffe Ansätze für ein Vergrämungsmittel, das in Kombination mit anderen Bekämpfungsmaßnahmen (Auswahl der Substratbestandteile und Dünger, Monitoring, Nützlinge, Fallen) eine bessere Regulierung von Trauermücken möglich machen könnte. Hier ist allerdings noch erheblicher Forschungsbedarf notwendig.

6.2 Nützlinge

Sowohl die Labor- und Praxisversuche haben gezeigt, dass die Regulierung der Trauermücken im Gewächshaus am besten durch eine Kombination von verschiedenen Nützlingen, die sich sowohl langfristig im Gewächshaus ansiedeln, als auch kurzfristig freigesetzt werden können, erfolgen sollte. Zu den kurzfristig anwendbaren Maßnahmen der Trauermückenregulierung zählen die einfache Ausbringung von Nematoden im Gießverfahren – die Trauermückenlarven werden durch diese winzigen Rundwürmer parasitiert – sowie das Ausstreuen von *Hypoaspis*-Raubmilben. Diese sind sehr langlebig und können auch ohne Nahrung mehrere Wochen überdauern. Daher sind sie auch für einen vorbeugenden Einsatz gut geeignet. Die Kombination beider Nützlinge – Nematoden und Raubmilben – zeigte die signifikant beste Wirkung. Ergänzt werden sollten diese akuten Bekämpfungsmaßnahmen durch langfristig wirksame Maßnahmen zur dauerhaften Populationskontrolle. „Offene Zuchtsysteme“ mit Duftsteinkraut, Weizenpflanzen und Schafgarbe beispielsweise, die in einzelnen Blumenkästen im Gewächshaus kultiviert werden, können über längere Zeiträume gleich mehrere Nützlingsarten fördern. Die hier untersuchten *Atheta*-Kurzflügelkäfer eignen sich besonders für den Einsatz in solchen offenen Zuchtsystemen und stellen somit einen praktikablen Baustein in der Regulierung von Trauermücken dar.

Oftmals werden Gewächshäuser, in denen auf Pflanzenschutzmittel verzichtet wird, von räuberischen Fliegen aus der Gattung *Coenosia* besiedelt, wie in dem hier untersuchten Betrieb. Die sogenannten Jagd-, Killer- oder auch Tigerfliegen erbeuten verschiedene kleine Insekten im Flug und saugen sie aus. Sie sind die einzigen Nützlinge, die bevorzugt ausgewachsene Trauermücken erbeuten. Aber auch die im Substrat lebenden Fliegenmaden ernähren sich räuberisch unter anderem von den Larven der Trauermücke. Eine gezielte Ansiedlung dieses Nützlings könnte daher einen kostengünstigen Grundschutz gegen die Massenvermehrung von Trauermücken darstellen.

Die Ergebnisse sind in dem neuen Steckbrief auf oekolandbau.de zusammengefasst und stehen der Praxis zur Verfügung.

Neben der Optimierung des Nützlingseinsatzes wurde die Trauermückenbekämpfung mit der neu entwickelten nützlingschonenden Trauermückenfalle um einen weiteren Baustein ergänzt. Die Falle kann insbesondere auch dazu beitragen einen Befall frühzeitig zu erkennen und weitere Maßnahmen einzuleiten. Auf Grund ihres simplen Aufbaus und der einfachen Anwendung kann sie direkt von der gärtnerischen Praxis übernommen werden.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

7.1 Substrate und Duftprofile

Wesentliche Ziele der Projektes konnten erreicht werden. So konnte eindeutig gezeigt werden, welche Substratbestandteile ein Substrat für Trauermücken attraktiv sind und welche Möglichkeiten bestehen dem entgegenzuwirken. Offene Fragen blieben beim Grüngutkompost. Es konnte zwar gezeigt werden, dass eine unzureichende Kompostreife einen Risikofaktor darstellt, allerdings wurde auch deutlich, dass alleine damit eine sichere Identifizierung attraktiver Komposte nicht möglich ist. Es ergaben sich aber Ansatzpunkte für zukünftige Untersuchungen, um hierfür eine Lösung zu finden.

Die Analyse der Aromaprofile brachte wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf das Verhalten der Trauermücke, allerdings ist der aktuelle Wissensstand noch nicht ausreichend, um daraus konkrete Maßnahmen für die Praxis abzuleiten. An dieser Stelle wäre aufbauende Forschung nötig, um eventuell die als repellent identifizierten Duftstoffe zur Vergrämung der Tiere auch praktisch nutzen zu können.

7.2 Nützlinge

Im Teilprojekt „Nützlinge“ konnten ebenfalls wesentliche Ziele erreicht werden. Die Ergebnisse sind in dem Steckbrief zusammengefasst und im Dokumentarfilm anschaulich beschrieben. Darüber hinaus wurde eine neue, nützlingsschonende Trauermückenfalle entwickelt und in der Praxis erprobt. Nicht erfolgreich war die Etablierung von Hundertfüßern als neue Nützlingsklasse. Gründe hierfür sind Probleme bei der Massenvermehrung und die Verbraucherakzeptanz.

8 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes TrauTopf wurden zwei Ansätze verfolgt: Einerseits wurden Bestandteile von Kultursubstraten (vornehmlich Torfersatzstoffe und organische Dünger) hinsichtlich ihrer Attraktivität für Trauermücken untersucht und beurteilt. In diesem Zusammenhang wurden auch die Aromaprofile der Stoffe aufgenommen, analysiert und ausgewertet. Andererseits wurden verschiedene Fragestellungen bezüglich bereits etablierter, aber auch möglicher neu zu integrierende Nützlinge zur Regulierung der Trauermücke im Topfpflanzenanbau bearbeitet.

Über beide Ansätze des Forschungsprojektes TrauTopf konnten für die gartenbauliche Praxis relevante Erkenntnisse erarbeitet werden, um das Ziel einer umfassenden Trauermücken-Regulierungsstrategie zu erreichen: Wie die Attraktivitätsversuche zeigten, sind die meisten getesteten Substratkomponenten für Trauermücken nicht attraktiv. Lediglich im Bereich der Komposte wurden einzelne Proben ausgemacht, die eine hohe Attraktivität für die Trauermücken mitbrachten. Die Ursache für diese in Einzelfällen auftretende hohe Attraktivität noch nicht endgültig geklärt werden. Ein Risikofaktor scheint aber eine mangelnde Kompostreife zu sein. Zwar konnte keine direkt repellente Wirkung einzelner Komposte gefunden werden, aber die Zumischung eines unattraktiven Komposts zu einem attraktiven führt zu einer gewissen Reduktion der Attraktivität. Substratherstellern ist daher im Hinblick auf die Risikominderung zu raten, die Reife der verwendeten Komposte sehr gut zu überwachen und möglichst Komposte aus unterschiedlichen Chargen zu mischen.

Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Wahl des Düngers eine entscheidende Rolle hinsichtlich des Trauermückenrisikos spielt: Während flüssige organische Dünger ebenso wie mineralische Dünger keine Trauermückenattraktivität aufwiesen, hatten feste organische Dünger unabhängig vom

Ausgangsmaterial oder Prozessierungsgrad durchweg eine stark anziehende Wirkung auf die Tiere. Selbst zunächst völlig unattraktive Substrate wurden durch Zugabe dieser Dünger hoch attraktiv für Trauermücken. Daher ist es, empfehlenswert, soweit es kulturtechnisch möglich ist, die Verwendung fester organischer Dünger zu Gunsten von Flüssigdüngern zu reduzieren.

Beim Einsatz von Nützlingen ist die Kombination mehrerer, teilweise auch langfristig in Gewächshäusern zu etablierender Insekten der effektivste Ansatz zur Trauermückenbekämpfung: So konnte gezeigt werden, dass durch eine Kombination der bereits in der gartenbaulichen Praxis etablierten, direkt ins Substrat einzubringenden Nematoden *Steinernema feltiae* und Raubmilben *Hypoaspis miles* der Wirkungsgrad dieser Prädatoren deutlich erhöht werden konnte. Ein weiterer Baustein sind „Offene Zuchtsysteme“, die in einzelnen Blumenkästen im Gewächshaus kultiviert werden und längerfristig gleich mehrere Nützlingsarten fördern können. Dazu gehören u.a. auch die in diesem Forschungsvorhaben untersuchten *Atheta*-Kurzflügelkäfer, die sich ausgehend von den Pflanzekästen dann in die Kulturtöpfe im Gewächshaus verbreiteten. Zudem besiedeln häufig räuberisch lebende Fliegen der Gattung *Coenosia* langfristig ökologisch bewirtschaftete Gewächshäuser und leisten einen substanziellen Beitrag zur Trauermückenregulierung.

Nicht zuletzt ergänzt eine neu entwickelte Trauermückenfalle eine umfassende Bekämpfungsstrategie. Diese arbeitet nach dem Prinzip „Attract and kill“: Die Trauermücken werden mittels einer hoch attraktiven Haferflocken-Substratmischung in die Trichterfallen gelockt, wo sie mit integrierten Gelbtafeln abgefangen werden. Der entscheidende Vorteil im Vergleich zur einfachen Verwendung von Gelbtafel liegt darin, dass die Fängigkeit um ein Vielfaches erhöht wird und gleichzeitig Nützlinge wie Schebfliegen, nicht in die Falle eindringen, geschont werden.

9 Literaturverzeichnis

- Abis, L., Loubet, B., Ciuraru, R., Lafouge, F., Dequiedt, S., Houot, S., ..., Bourgeteau-Sadet, S. (2018): Profiles of volatile organic compound emissions from soils amended with organic waste products. *Sci. Total Environ.* 636, 1333-1343.
- Acharya, R., Hwang, H.S., Shim, J.K., Yu, Y.S., Lee, K.Y. (2019): Control efficacy of fungus gnat, *Bradysia impatiens*, enhanced by a combination of entomopathogenic nematodes and predatory mites. *Bio. Control*, 138, 104071.
- Anas, O., Reeleder, R.D. (1988): Feeding habits of larvae of *Bradysia coprophila* on fungi and plant tissue. *Phytoprotection* 69(2), 73-78.
- Beuth, E., Schreiner, M., Lohr, D., Meinken, E. (2022): New approaches to assess stability of wood fiber. Posterbeitrag auf dem 31. International Horticultural Congress (IHC2022) in Angers.
- Blackburn, J., Farrow, M., Arthur, W. (2002): Factors influencing the distribution, abundance and diversity of geophilomorph and lithobiomorph centipedes. *J. Zoology* 256(2), 221-232.
- BÖLN (2005): Einsatz von Mykorrhizapilzen und Qualitätskomposten bei der Anzucht von Jungpflanzen im ökologischen Gemüse-und Zierpflanzenbau - Merkblatt Substrate.
- Braun, S.E., Sanderson, J.P., Daughtrey, M.L., Wraight, S.P. (2012): Attraction and oviposition responses of the fungus gnat *Bradysia impatiens* to microbes and microbe-inoculated seedlings in laboratory bioassays. *Entomol. Experim. Et Appl.* 145(2), 89-101.
- Brinton, W. F. (2000). Compost quality standards and guidelines: an international view. Woods End Research Laboratory Inc., ME, 10, 42.
- Cattivello, C. (2007): Behaviour of natural wetting agents by plant extracts on peat-based substrates. *Acta Hort.* 819, 235-242.
- Cloonan, K.R., Andreadis, S.S., Chen, H., Jenkins, N.E., Baker, T.C. (2016): Attraction, oviposition and larval survival of the fungus gnat, *Lycoriella ingenua*, on fungal species isolated from adults, larvae, and mushroom compost. *PloS one* 11(12), e0167074.
- Cloyd, R.A. (2008): Management of fungus gnats (*Bradysia* spp.) in greenhouses and nurseries. *Floricult. Ornamental Biotech.* 2(2), 84-89.
- Cloyd, R.A. (2015): Ecology of fungus gnats (*Bradysia* spp.) in greenhouse production systems associated with disease-interactions and alternative management strategies. *Insects* 6(2), 325-332.
- Cloyd, R.A., Dickinson, A.M.Y., Larson, R.A., Marley, K.A. (2007): Effect of growing media and their constituents on fungus gnat, *Bradysia* sp. nr. *coprophila* (Lintner) adults. *Insect Sci.* 14(6), 467-475.
- Cloyd, R.A., Marley, K.A., Larson, R.A., Dickinson, A., Arieli, B. (2011): Repellency of naturally occurring volatile alcohols to fungus gnat *Bradysia* sp. nr. *coprophila* (Diptera: Sciaridae) adults under laboratory conditions. *J. Econom. Entomology* 104(5), 1633-1639.
- Frouz, J., Novakova, A., Jones, T.H. (2002). The potential effect of high atmospheric CO₂ on soil fungi–invertebrate interactions. *Global Change Biology* 8(4), 339-344.
- Georgis, R., Koppenhöfer, A.M., Lacey, L.A., Bélair, G., Duncan, L.W., Grewal, P.S., Samish, M., Tan, L., Torr, P., van Tol, R.W.H.M. (2006): Success and failures in the use of parasitic nematodes for pest control. *Bio Control* 38, 103-123.
- Gerlach, W.W.P., Thesing-Herrler, M. (2010): New aspects to the control of fungus gnats (*Bradysia pauper*) in the biological production of potted herbs in Germany. *Acta Hort.* 937, 63-67.
- Gouge, D.H., Hague, N.G.M. (1995): The susceptibility of different species of sciarid flies to entomopathogenic nematodes. *Journal of Helminthology* 69, 313-318.
- Haas, H.-P., Lohr, D., Kohlrausch, F., Hauser, B. (2018): Organische Düngung im Zierpflanzenbau: Fluch oder Segen. *DeGa Gartenbau* 72(10), 46-49.

- Harris, M.A., Oetting, R.D., Gardner, W.A. (1995): Use of entomopathogenic nematodes and a new monitoring technique for control of fungus gnats, *Bradysia coprophila* (Diptera: Sciaridae), in floriculture. *Bio. Control* 5(3), 412-418.
- Jagdale, Ganpati B.; Casey, Mildred L.; Cañas, Luis; Grewal, Parwinder S. (2007): Effect of entomopathogenic nematode species, split application and potting medium on the control of the fungus gnat, *Bradysia difformis* (Diptera: Sciaridae), in the greenhouse at alternating cold and warm temperatures. In: *Biological Control* 43 (1), S. 23–30. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2007.03.013.
- Jandricic, S., Scott-Dupree, C.D., Broadbent, A.B., Harris, C.R., Murphy, G. (2006): Compatibility of *Atheta coriaria* with other biological control agents and reduced-risk insecticides used in greenhouse floriculture integrated pest management programs for fungus gnats. *Can. Entomologist* 138(5), 712-722.
- Kecskeméti, S., Szelényi, M. O., Erdei, A. L., Geösel, A., Fail, J., Molnár, B. P. (2020): Fungal Volatiles as Olfactory Cues for Female Fungus Gnat, *Lycoriella ingenua* in the Avoidance of *Mycelia* Colonized Compost. *Journal of Chemical Ecology* 46, 917-926.
- Kennedy M.K. (1974): Survival and development of *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae) on fungal and non-fungal food sources. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 67, 745–749.
- Koch R., Degen B. (2010): Bio-Zierpflanzen erfolgreich produzieren – eine Alternative mit Zukunft. *Landinfo*, 2, 62-69.
- Koller, M. (2004): Trauermücken: Empfehlungen zur Regulierung. FiBL-Merkblatt.
- Koller, Martin (2011): Comparison of *Steinernema feltiae*, *Bacillus thuringiensis* and Azadirachtin to control Sciarids in organic potted herbs. In: M. Dorais und S. D. Bishop (Hg.): I International Conference on Organic Greenhouse Horticulture. Bleiswijk, Netherlands, 25. November 2011. ISHS: Acta Hort. (915), S. 179–184.
- Koller, M., Stüssi, S., Lichtenhan, M. (2004): Der Kampf gegen Trauermücken im Bioanbau ist nicht aussichtslos. *Der Gemüsebau* 10, 4-5.
- Koschier, E. H., De Kogel, W. J., Visser, J. H. (2000). Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 26(12), 2643-2655.
- Kühne, S., Schrameyer, K., Müller, R., & Menzel, F. (1994). Räuberische Fliegen ein bisher wenig beachteter Nützlingskomplex in Gewächshäusern. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt fuer Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem* (ISSN 0067-5849 ; H. 302) Berlin/Wien: Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH.
- Kühne, S. (2000). Räuberische Fliegen der Gattung *Coenosia* Meigen, 1826 (Diptera: Muscidae) und die Möglichkeiten ihres Einsatzes bei der biologischen Schädlingsbekämpfung. Ampyx-Verlag.
- Kühne, S., Heller, K. (2010): Sciarid fly larvae in growing media- biology, occurrence, substrate and environmental effects and biological control measures. In: Schmilewski, G. (Hrsg.): Peat in Horticulture - Life in Growing Media, 95-102.
- Kühne, S., Holfert, M., Kramer, E. (2013): Testverfahren zur Einschätzung des Befallsrisikos komposthaltiger Pflanzsubstrate durch Trauermücken (*Sciaridae*). Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Lacey, L.A., Shapiro-Ilan, D.I., Glenn, G.M. (2010): Post-application of antidesiccant agents improves efficacy of entomopathogenic nematodes in formulated host cadavers for aqueous suspension against diapausing codling moth larvae (Lepidoptera: Tortricidae). *Biocont. Sci. Tech.* 20, 909-921.
- Lewis, J.G.E. (2006): *The Biology of Centipedes*. Cambridge University Press. S. 488.
- Lohr, D., Gruda, N. S., Meinken, E. (2023). Estimating Nitrogen Release from Organic Fertilizers for Soilless Production by Analysis of C and N Pools. *Horticulturae*, 9(7), 767.

- Meers, T.L., Cloyd, R.A. (2005): Egg-laying preference of female fungus gnat *Bradysia* sp. nr. *coprophila* (Diptera: Sciaridae) on three different soilless substrates. J. Econom Entomology 98(6), 1937-1942.
- Meinken, E., Lohr, D., Wöck, C. (2017): Colonization of growing media by saprophytic fungi – importance of carbon and nitrogen fractions. Acta Hort. 1168, 325-332.
- Olivera, M., Meinken, E., Lohr, D. (2025). Damage in organically produced potted herbs: effect of compost amendment and nitrogen fertilization. Acta Hort. 1416, 129-136.
- Oliveira-Hofman, C., Kaplan, F., Stevens, G., Lewis, E., Wu, S., Alborn, H.T., Perret-Gentil, A., Shapiro-Ilan, D.I. (2019): Pheromone extracts act as boosters for entomopathogenic nematodes efficacy. J. Invertebrate Pathology 164, 38-42.
- Olson, D.L., Oetting, R.D., van Iersel, M.W. (2002): Effect of soilless potting media and water management on development of fungus gnats (Diptera: Sciaridae) and plant growth. HortScience 37(6), 919-923.
- Scarlett, K., Tesoriero, L., Daniel, R., Guest, D. (2014): Sciarid and shore flies as aerial vectors of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* in greenhouse cucumbers. J. App. Entomology 138(5), 368-377.
- Schlechte, G.B. Schmilewski, G.K. (2010): Saprophytische Pilze in Kultursubstraten. Selbstverlag.
- Sohi, S., Gaunt, J., Atwood, J. (2013): Biochar in growing media: A sustainability and feasibility assessment. UK Biochar Research Center.
- Soni, S. K., Finch, S. (1979). Laboratory evaluation of sulphur-bearing chemicals as attractants for larvae of the onion fly, *Delia antiqua* (Meigen)(Diptera: Anthomyiidae). Bulletin of Entomological Research, 69(2), 291-298.
- Springer T.L. (1995): Fungus gnat (Diptera: Sciaridae) feeding damage to legume seedlings. J. Kansas Ent. Soc. 68, 240–242.
- Tomalak, M. (1994): Selective breeding of *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Nematoda: Steinernematidae) for improved efficacy in control of a mushroom fly *Lycoriella solani* Winnertz (Diptera: Sciaridae). Biocont. Sci. Tech. 4, 187-198.
- Wallbank, B. E., & Wheatley, G. A. (1979). Some responses of cabbage root fly (*Delia brassicae*) to allyl isothiocyanate and other volatile constituents of crucifers. Annals of Applied Biology, 91(1), 1-12.

10 Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

- Burghardt, L.; Kühne, S.; Kabakeris, T.; Schorpp, Q.; Zange, B.; Lohr, D.; Baron, A.: Trauermücken – vorbeugen und regulieren mit Nützlingen. Bio in der Praxis: Schädlingsvideos.
<https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologischer-pflanzenbau/oekologischer-pflanzenschutz/pflanzendoktor/schaderreger/schaedlingsvideos/>, abgerufen am 20.01.2025
- Fischer-Klüver, G.: Biologisch gegen Trauermücken. Bericht von Johanna Hinrichs in der Katz Online-Pflanzenschutzstunde. DEGA Gartenbau 01/2024, <https://www.dega-gartenbau.de/article-7799136-51839/biologisch-gegen-trauermuecken-.html>, abgerufen am 20.01.2025
- Kühne, S.; Kabakeris, T.; Schorpp, Q.; Zange, B.; Lohr, D.; Baron, A.: Trauermücke *Bradysia impatiens* – Sciaridae. Bio in der Praxis: Schaderreger im Gemüsebau.

<https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologischer-pflanzenbau/oekologischer-pflanzenschutz/pflanzendoktor/schaderreger/schaderreger-im-gemuesebau/trauermuecke-bradysia-impatiens>, abgerufen am 20.01.2025

Kühne, S.; Kabakeris, T. (2024): A novel bait trap for monitoring and mass trapping of black fungus gnat *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). In: Phytoparasitica 52 (5), S. 100. DOI: 10.1007/s12600-024-01218-7.

Beiträge auf dem LinkedIn Kanal des JKI

#Forschung goes #DIY: Die „MacGyver“-Falle für Trauermücken zum Selberbauen.
https://de.linkedin.com/posts/jki-bund_forschung-diy-%C3%B6kolandbau-activity-7264910464365518848-hls3

„Kleine Mücke, große Wirkung“
https://de.linkedin.com/posts/jki-bund_trauerm%C3%BCcken-lebensweise-monitoring-und-activity-7293638709982220290-dSMO

Bachelor- und Masterarbeiten

Hausmann, N. (2024): Weiterführende Nutzung von Pflanzen des urbanen Raums im Pflanzenschutz am Beispiel der Rosskastanie *Aesculus hippocastanum*. Masterarbeit, Berliner Hochschule für Technik

Hinrichs, J. (2023): Biologische Regulierung von Larven der Trauermücke (*Bradysia difformis* Frey, 1948) mit Nematoden (*Steinernema feltiae* Filipjev, 1934) und des Parasitoiden *Synacra paupera* Macek, 1995 (Hym., Diapriidae). Masterarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftl. Fakultät, Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften

Modairaty, F. (2025): Identification of volatiles from phytopathogenic and beneficial fungi affecting the attractiveness towards fungus gnats *Bradysia impatiens*. Masterarbeit, HNE Eberswalde, Studiengang Organic Agricultural Management

Scheibenzuber, R. (2024): Vergleich der Wirksamkeit der räuberischen Milben *Hypoaspis miles* (BERLESE, 1892) und *Steinernema feltiae* (Filipjev, 1934) und deren Kombination gegenüber den Larven der Trauermücke *Bradysia difformis* (FREY, 1948). Bachelorarbeit, HNE Eberswalde, Studiengang Ökolandbau und Vermarktung

Weigl, V. (2023): Bestimmung der Attraktivität von ausgewählten Grüngutkomposten und Düngern für Trauermücken, Bachelorarbeit, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Studiengang Gartenbau

Poster und Vorträge

Datum	Ort	Veranstaltung	Präsentationsform
12.01.23	Bay. Landesanstalt für Landwirtschaft (Freising)	Winterarbeitsbesprechung des Instituts für Pflanzenschutz (IPS)	Vortrag (Baron, A.)
06.05.23	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Freising)	Green Future Day	Informationsstand + Poster (Baron, A. et al.)

10.09.23	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Freising)	Fachseminar Pflanzenschutz	Vortrag (Baron, A.)
26.09.23	Georg-August-Universität (Göttingen)	63. Deutsche Pflanzenschutztagung	Poster (Baron, A. et al.)
23.11.23	Natur im Garten, Atrium Tulln (A)	14. Internationale Fachtage Ökologische Pflege	Vortrag (Baron, A.)
23.-26.1.24	Internationale Pflanzen- messe (IPM) Essen	Präsentationen am BMEL- Messestand	15-minütiges Prä- sentations-Video (Baron, A. et al.)
04.03.24	Online	Bioland Seminar Topfkräuter	Vortrag (Baron, A.)
06.03.24	Justus-Liebig-Universität (Gießen)	Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau	Vortrag (Baron, A.)
20.03.24	Goethe-Universität (Frankfurt)	Hortisustain-Netzwerktagung	Poster (Baron, A. et al.)
29.05.25	JKI Berlin	Austausch INIA - National Institute of Agricultural Research Uruguay	Vortrag (Meiners, T.)
11.09.24	Online	Hortisustain Online-Treffen	Vortrag (Baron, A.)
14.11.24	Natur im Garten, (St. Pölten/A)	15. Internationale Fachtage Ökologische Pflege	Vortrag (Baron, A.)
20.11.24	Landwirtschaftskammer Hamburg	Tagung biologischer Pflanzenschutz	Vortrag (Kühne, S. et al.)
21.11.24	Landwirtschaftskammer Hamburg	40. Jahrestagung des DPG/DGaaE- Arbeitskreises „Nutzarthropoden“	Vortrag (Kühne, S. et al.)
19.2.25	JKI Quedlinburg	Jahrestagung AG Mykologie	Poster (Meiners, T. et al.)
18.03.25	Essen	Jahrestagung Dt. Garten-bauwiss. Gesellschaft	Poster (Baron, A. et al.)
26.06.25	Heidelberg	BioZierVPM Workshop	Vortrag (Baron, A.)
7.-12.9.25	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf	II International Symposium on Growing Media, Compost Utilization and Substrate Analysis for Soilless Cultivation	Poster + Informationsstand (Baron, A. et al.)
09.10.25	Technische Universität Braunschweig	64. Deutsche Pflanzenschutztagung	Vortrag (Kühne, S. et al.) Poster (Baron, A. et al.)
17.10.25	ZHAW Wädenswil (CH)	Substratforum 2025	Vortrag (Lohr, D.)